

Revue des sciences 1996 et '97

de

l'Institut océanographique de Bedford,
du Laboratoire de recherche halieutique de Halifax
et de la Station de biologie de St. Andrews



Publication du:
Ministère des pêches des Océans
Région des maritimes
2000

La Revue des Sciences de l'Institut océanographique de Bedford, du Laboratoire de recherche halieutique de Halifax et de la Station biologique de St. Andrews est publiée tous les deux ans par la Région des maritimes du ministère des Pêches et des Océans.

Prière d'adresser tout changement d'adresse et toute correspondance ayant trait à cette publication à la:

Bibliothèque
Ministère des Pêches et des Océans
Institute océanographique de Bedford
C.P. 1006
Dartmouth (N. -É.)
Canada B2Y 4A2

ISSN: 1488-982X

Rédactrice:
Anna Fiander, Bibliothèque, IOB

Rédacteur scientifique:
Charles Tang, Science côtier, IOB

Maquette, mise en page et assemblage électroniques:
Francis Kelly
Technographie, IOB

Photographies:
Auteurs et Technographie de l'IOB

La Revue des sciences 1996 & '97 a été produite à l'aide de:
Macintosh G4 computer (© Apple Computer Inc.)
Macromedia Freehand (© Macromedia Inc.)
Aldus Pagemaker (© Aldus Corporation)
Adobe Photoshop (© Adobe Systems Incorporated)

Table des matières

Introduction

Les technologies sonar de pointe dans l'évaluation des stocks pélagiques

Norm Cochrane

Pour améliorer la précision des prévisions en recherche et sauvetage

Peter C. Smith, Donald J. Lawrence, Keith R. Thompson, Jinyu Sheng,
Gilles Verner, Judy St. James, Natacha Bernier and Len Feldman

Études visant l'impact des engins de pêche mobiles sur l'habitat et les communautés benthiques

D.C. Gordon Jr., P. Schwinghamer, T.W. Rowell, J. Prena, K. Gilkinson, W.P. Vass,
D. L. McKeown, C. Bourbonnais, K. MacIsaac

Conception et Mise en Oeuvre D'un Entrepôt de Données Bathymétriques au SHC

S. R. Forbes, R. G. Burke, H. Varma

Le Programme d'observation de l'Expérience sur la circulation océanique mondiale

Allyn Clarke, Fred Dobson, Ross Hendry, Anthony Isenor, Peter Jones,
John Lazier, George Needler, Neil Oakey et Dan Wright

La géologie marine : un rôle croissant en écologie benthique

Gordon B. J. Fader, R.A. Pickrill, Brian J. Todd, Robert C. Courtney,
D. Russell Parrott

La pêche à la crevette nordique dans les eaux méridionales - c'est l'environnement qui fixe les limites

Peter Koller

Devenir et effets des résidus du forage pétrolier et gazier en mer

T. G. Milligan, D. C. Gordon, D. Belliveau, Y. Chen, P. J. Cranford,
C. Hannah, J. loader, D. k. Muschenheim

L'évaluation des risques en gestion des pêches

A. Sinclair, S. Gavaris, B. Mohn

Le Programme canadien de salubrité des eaux coquillères

Amar Menon

Distribution et abondance des bactéries dans l'océan

Bill Li, P. M. Dickie

Prévisions océaniques pour la côte est du Canada

C. Tang, B. DeTracey, W. Perrie, et B. Toulany

Le Programme de santé des mollusques des Maritimes et son rôle dans la conchyliculture et la surveillance environnementale

S. E. McGladdery, M. F. Stephenson

Origine et abondance du bar rayé du sud du golfe du Saint-Laurent : Nouvelles perspectives

R. Bradford

Crabe des neiges :une pêche prospère

M. Chadwick, M. Moriyasu

La recherche géoscientifique à l'appui de l'exploitation extracôtière des ressources énergétiques

M.A. Williamson, R. Pickrill, K. D. McAlpine

Recherches sur la dispersion dans l'environnement marin des pesticides contre le pou du poisson

F. Page, B. Chand, W. Ernst, G. Julien, R. Losier

Applications des Données Multifaisceaux

M. J. Lamplugh, T. A. Kearns, A. C. Craft

BASIN - Base de données pour l'exploration des hydrocarbures et modèle pour la distribution des données

P. N. Moir

Le changement climatique et les côtes du Canada

J. Shaw, R. B. Taylor, D. L. Forbes, S. Solomon, D. Frobel, G. Parks, C. T. O'Reilly

Travaux en cours sur la dispersion des larves de homard dans le secteur canadien du golfe du Maine

By Gareth Harding, Ken Drinkwater, Peter Vass, Dwight Reimer, John Pringle, Angus Fraser and Jens Prena.

Organisation et personnel

Revue des sciences : introduction et aperçu

APERÇU

C'est en 1996 et 1997 que les effets des remaniements organisationnels et des compressions budgétaires décidés en 1995 ont commencé à se faire pleinement sentir. Les réductions effectuées au sein de la fonction publique du gouvernement fédéral dans le cadre de « l'Examen des programmes » représenteront, par exemple, une baisse d'environ 40 % du personnel et des ressources financières pour la Direction des sciences du MPO, Région des Maritimes, d'ici la fin de l'année financière 1998-1999. La plupart des effets ont été ressentis au cours des deux premières années de l'Examen des programmes, car un grand nombre d'employés ont accepté les primes



John Loch

de départ anticipé et ont quitté leur poste en mars 1998 ou avant. Les nouvelles possibilités d'emplois ont été rares, voire nulles. Par conséquent, les inquiétudes concernant le vieillissement du personnel scientifique du gouvernement du Canada se sont intensifiées.

Au printemps de 1996, suite à la réorganisation des services approuvée en 1995, la Direction des sciences, Région des Maritimes, est devenue entièrement opérationnelle. Elle est dotée d'un nouveau directeur, John Loch, et d'une nouvelle structure de gestion comptant huit divisions, un Bureau de la coordination des programmes, et un Bureau de coordination du processus consultatif régional (RAP) pour les sciences. Ces unités sont réparties dans les trois provinces Maritimes et dans quatre laboratoires, soit l'Institut océanographique de Bedford (IOB), à Dartmouth (Nouvelle-Écosse), le Centre des pêches du Golfe (CPG), à Moncton (Nouveau-Brunswick), la Station de biologie de St. Andrews (SBSA), à St. Andrews (Nouveau-Brunswick), et le Laboratoire de recherche halieutique de Halifax (LRHH), à Halifax (Nouvelle-Écosse). La clientèle est variée : elle va du secteur des pêches traditionnelles et de l'aquaculture jusqu'à l'océanologie et la protection du milieu marin en passant par la navigation maritime et le transport, au niveau local, régional, national et international. Notre participation s'est manifestée dans les dossiers du changement climatique, de l'Irving Whale, de l'effondrement des populations de morue, de la mise en valeur des hydrocarbures, etc. Le présent rapport fournit des données sur tous ces programmes et toutes ces régions géographiques.

La réorganisation interne du Centre géoscientifique de l'Atlantique (CGA) du ministère des Ressources naturelles a été effectuée en mai 1996. La sous-section d'appui au programme n'existe plus comme telle mais a été intégrée dans les trois sous-sections scientifiques.

À Environnement Canada, le Laboratoire de la qualité du milieu a été transféré au Centre de recherches en sciences de l'environnement situé sur le campus de l'Université de Moncton. L'IOB a conservé le laboratoire chargé de la protection de l'environnement (microbiologie) qui surveille la qualité de l'eau des secteurs coquilliers dans les trois provinces Maritimes.

PERSONNEL

Nombre de changements importants sont survenus à la Direction des sciences du MPO, Région des Maritimes, au cours de la période 1996-1997. Le 1^{er} avril 1996, John S. Loch est entré en fonction comme nouveau directeur régional des Sciences, MPO, Région des Maritimes. Joan

Guilderson, secrétaire du directeur régional, a pris sa retraite et a été remplacée par Marie Charlebois-Serdynska. René Lavoie a été nommé directeur adjoint et coordonnateur de la Direction pour ce qui touche les communications scientifiques et la liaison ainsi que pour les questions de santé et sécurité au travail; Joni Henderson a été mutée pour l'épauler dans ses fonctions. Richard Eisner a été nommé chef de la Division de la coordination des programmes et de la politique. Il est appuyé par Sharon Morgan à l'IOB (Dartmouth), et Yves Després au CPG (Moncton). Bob O'Boyle a quitté la Division des poissons de mer pour devenir le coordonnateur de notre bureau régional d'évaluation. Il est secondé dans ses fonctions par Dianne Geddes et Val Myra. Le Bureau du processus consultatif régional est installé à l'IOB, à Dartmouth. Pendant la période visée, Neil Bellefontaine, directeur général régional, a créé le Bureau de coordination de la Loi sur les océans (BCLO). Faith Scattolon est la première directrice de ce programme; elle représente également le MPO auprès du Conseil du golfe du Maine sur le milieu marin, et est secondée de façon très compétente par Paul Keizer; ce dernier remplace Brian Nicholls qui a pris sa retraite. Des employés du secteur de la gestion des pêches, de la gestion de l'habitat, de la Garde côtière canadienne, de la Direction des politiques et services économiques ont été désignées pour appuyer M^{me} Scattolon dans ses fonctions au BCLO. Les employés du Bureau de coordination sont en poste à l'IOB à Dartmouth ainsi qu'au CPG, à Moncton. Jim Elliot a réintégré son poste de chef de la Division des sciences de la mer après avoir occupé le poste de chef intérimaire de l'ancienne Direction des Sciences, Région Scotia-Fundy. Par la suite, il a accepté une affectation internationale à OceanTec et transmis à Allyn Clark la direction de la Division des sciences de la mer. Guy Sirois, nommé chef de la Division de la gestion de l'habitat lors du remaniement de 1995, a pris sa retraite en 1997 et a été remplacé par Brian Thompson. Wendy Watson-Wright, ancienne directrice de la Station de biologie de St. Andrews et chef de la Division de l'aquaculture à l'IOB, a été mutée au MPO, à Ottawa; Tom Sephton occupe maintenant son poste. John Pringle, chef de la Division des sciences du milieu marin, a accepté un poste semblable dans la Région du Pacifique; il est remplacé par Paul Keizer. Paul Bellemare, directeur du Service hydrographique du Canada (SHC) (Atlantique) depuis longtemps, a quitté l'IOB en août 1997 pour occuper le poste de directeur de la Politique, de la planification et de la commercialisation à l'administration centrale du SHC. M. Bellemare a participé activement au

développement d'une nouvelle technologie de gestion des bases de données pour permettre au SHC de profiter des progrès rapides dans le domaine des levés multifaisceaux. Il était également un ardent promoteur de partenariats entre le gouvernement, le milieu universitaire et le secteur privé, et les nombreux projets qu'il a lancés dans ce domaine profitent à tous. La succession de M. Bellemare au SHC (Atlantique) a été confiée à Laureen Kinney, de la Garde côtière de Vancouver, pour une période d'un an. Cette affectation fait partie d'une initiative de Pêches et Océans Canada pour assurer un enrichissement mutuel des secteurs et développer une culture de gestion par équipe.

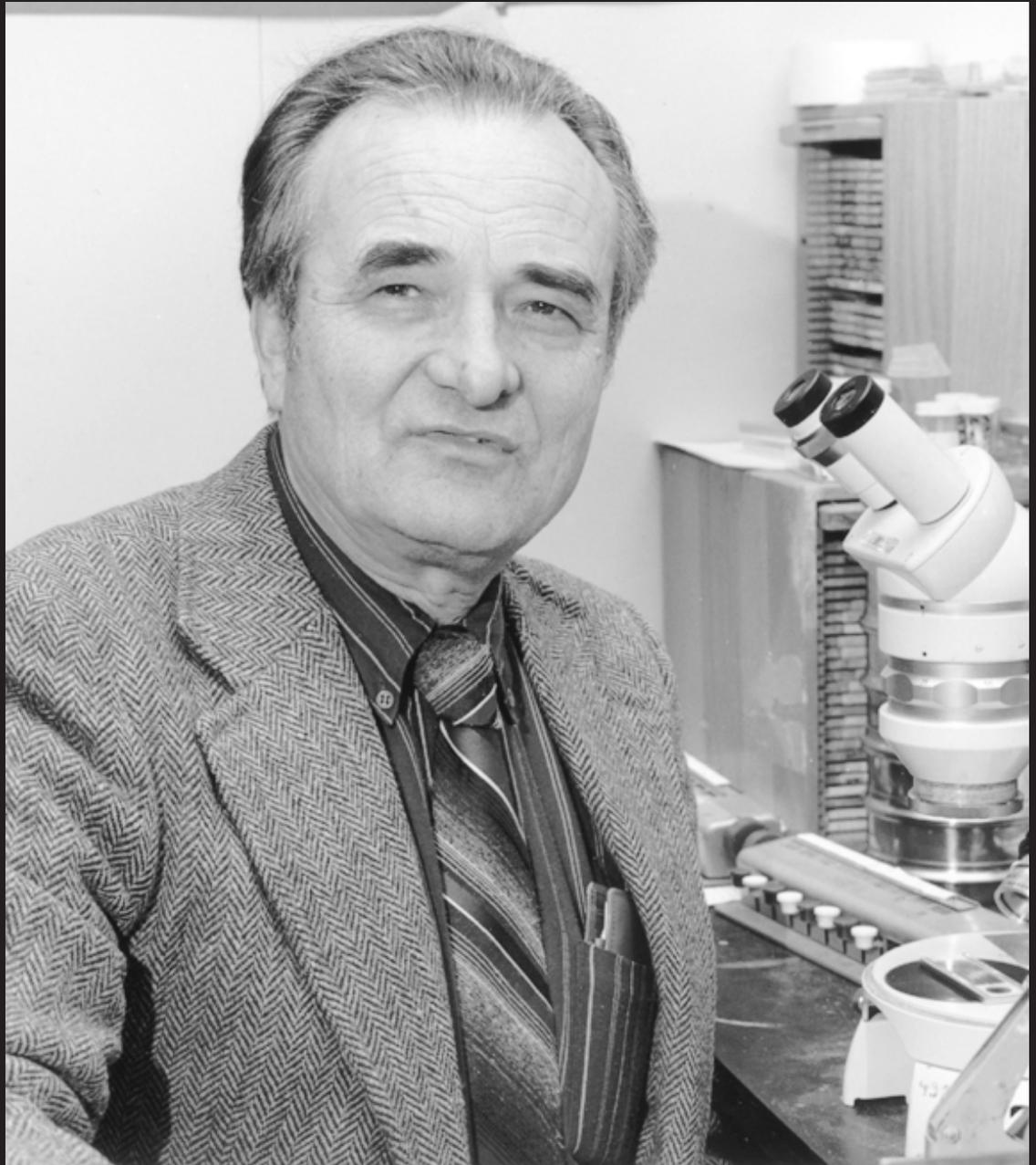
À la Division des pêches des invertébrés, Bob Rodger (LRHH) et Don Jones (Miminegash) ont pris leur retraite. Grâce à un échange interdivisions, Stephen Smith a été promu chef de la Section des pêches des mollusques.

L'examen des programmes et les compressions budgétaires ont entraîné de profonds remaniements du personnel de la Division des sciences du milieu marin en 1996 et 1997. La retraite anticipée des D^{rs} James E. Stewart et Subba Rao Durvasula a entraîné une réduction importante du programme de recherches sur la dynamique et la physiologie des proliférations algales nuisibles. Quant au départ du D^r John Vandermeulen, en raison de problèmes de santé chroniques, il cause une perte d'expertise considérable dans le domaine du devenir et des effets des déversements d'hydrocarbures. Avec le départ à la retraite du D^r Michael Brewers, le domaine des produits chimiques toxiques, à l'échelle régionale, nationale et internationale, accuse une perte considérable de connaissances et d'expérience. C'est aussi au cours de cette période que Brian Nicholls et Gerald Siebert ont pris leur retraite, entraînant du même coup la disparition de la Division de l'évaluation du milieu marin et de la liaison, chargée de la coordination des avis scientifiques. En 1997, le D^r Jocelyn Hellou a été muté de la Région de Terre-Neuve à la Région des Maritimes pour mettre en oeuvre un programme de recherches sur le devenir et les effets biologiques des contaminants organiques dans le milieu marin.

En 1996 et 1997, la Division de l'aquaculture a déploré plusieurs départs : Santosh Lall a quitté le Laboratoire d'Halifax (sept. 1996) pour rejoindre les rangs de Ressources naturelles Canada, Carol Morrison et Mabel McMenemy ont pris leur retraite respectivement en octobre 1997 et janvier 1997; la Station de biologie de St. Andrews n'a pas été épargnée : quelques-uns de ses membres ont pris

leur retraite, notamment Richard Saunders (décembre 1996), Richard Peterson (juillet 1997), Jeanine Hurley (juin 1996) et Ross Chandler (mai 1997). Le Centre des pêches du Golfe n'a enregistré qu'un seul départ à la retraite, soit celui de Clair Bryan en décembre 1997.

La fermeture du Laboratoire de recherche halieutique de Halifax a entraîné des mouvements de personnel. John Castell (et le Programme de recherche sur la nutrition des poissons) et John Martell ont été mutés à la Station de biologie de St. Andrews en 1997, et la Section de la santé du poisson a été transférée au Centre des pêches du Golfe en 1997 (G. Olivier et G. McClelland y ont été mutés en 1998).



Gus Vilks

En mars 1996, le D^r David Prior a démissionné de son poste de directeur de la Commission géologique du Canada (Atlantique) et remplacé à titre intérimaire par Don McAlpine. En septembre 1996, le D^r Jacob Verhoef a été nommé directeur de la CGC (Atlantique). En mai 1997, le D^r Mark Williamson était nommé chef de la sous-division des Géosciences marines régionales.

In Memoriam - Gus Vilks

Le D^r Gus Vilks, employé de longue date de la CGC (Atlantique), est décédé en juillet 1997. C'était un pionnier bien connu de la communauté internationale de micro-paléontologie. Il faut

souligner sa contribution exceptionnelle pendant ses trente-deux années de carrière comme chercheur dans le domaine de la géologie marine du Quaternaire, en paléoécologie et en paléocéanographie, plus particulièrement dans le domaine de l'environnement de l'océan Arctique. À partir de ses premiers travaux de déduction des paléoenvironnements du plateau continental polaire de l'Arctique, il a étendu ses études à la zone de géopression de l'océan Arctique, à la mer de Beaufort, aux chenaux de l'archipel Arctique, à la baie de Baffin, au détroit d'Hudson, à la mer du Labrador et au golfe du Saint-Laurent. Avec ses collègues des domaines de la sédimentologie, de

Chaque année, le Gouvernement du Canada décerne des récompenses aux employés qui ont mis au point de nouveaux appareils, ou logiciels, dont la licence est donnée à des industries canadiennes. Les entreprises commercialisent les appareils au Canada et à l'échelle internationale, ce qui crée des emplois pour les gens de la région. Le tableau ci-dessous indique les produits fabriqués sous licence, les employés qui ont reçu la récompense et l'entreprise qui détient la licence.

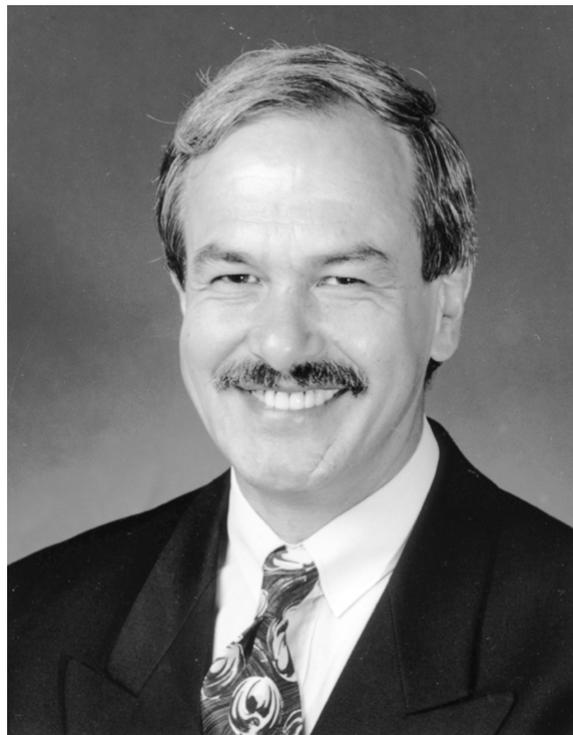
BIONESS (Système d'échantillonnage de l'environnement à filets multiples de l'IOB)	Douglas D. Sameoto	Open Seas Instrumentation Inc. Musquodoboit Harbour, (N.-É.)
Système de mesure de l'ablation/formation de la glace	Donald Belliveau Charles Tang Albert Hartling	Axiom Engineering Ltd. St. John's (T.-N.)
Poulie instrumentée de mesurage	Jean-Guy Dessureault Scott Young Brian Beanlands	Brooke Ocean Technology Dartmouth, (N.-É.)
Système CTD remorqué	Jean-Guy Dessureault E.F. Phillips Brian Beanlands Scott Young	Brooke Ocean Technology Dartmouth, (N.-É.)
Mesure optique des conditions maritimes	Alex W. Herman E.F. Phillips Brian Beanlands	Focal Technologies Inc. Dartmouth, (N.-É.)
Flotteur à remontée automatique	Mark Chin-Yee	Corepro Ltd. Dartmouth, (N.-É.)
Modèle de prévision des mouvements de la glace de mer	Charles Tang	Coretec Inc. St. John's (T.-N.)
Flotteur profilé pour amarrage	Jim Hamilton George A. Fowler	Open Seas Instrumentation Inc. Musquodoboit Harbour, (N.-É.)
Systèmes résistants au chalutage	Jean-Guy Dessureault Scott Young	Open Seas Instrumentation Inc. Musquodoboit Harbour, (N.-É.)
Profileur océanique alimenté par l'énergie des vagues	George A. Fowler Roger Cassivi Brian Beanlands Donald Belliveau Jim Hamilton	Brooke Ocean Technology Dartmouth, (N.-É.)

la géochimie et de l'océanographie physique, il a participé à des études sur les systèmes côtiers et estuariens de l'Atlantique canadien. Le Dr Vilks était reconnu pour ses réalisations scientifiques, comme en témoignent les nombreuses conférences auxquelles il a été invité à participer dans les universités et les instituts de recherche; il a été l'un des premiers scientifiques canadiens à participer à une mission en Chine après la révolution culturelle. Il était agrégé de recherche honoraire de l'Université Dalhousie, et membre honoraire de la Section de micropaléontologie nord-américaine de la Society for Sedimentary Geology.

PRIX ET RÉCOMPENSES

Les membres suivants du personnel des laboratoires ont reçu des prix et des marques de reconnaissance :

- Prix d'excellence du Ministère
Michael Chadwick
- Mention d'excellence du sous-ministre
Bob Miller (Division des pêches des
invertébrés)
- Ken Drinkwater (Division des sciences de
la mer)
- Herman Varma s'est vu décerner un prix
Smithsonian pendant cette période.



Le professeur Victor Smetacek



Dr. Robert Detrick

Une équipe de la Division des sciences de la mer, Région des Maritimes, s'est vu décerner la médaille d'argent pour l'excellence de ses travaux dans la catégorie « Renouveler la prestation des services et la réalisation des programmes : Prestation des services sur l'autoroute informatique ». Les membres de l'équipe étaient : Doug Gregory, Helen Hayden, Bob Lively, Liam Petrie et Roger Pettipas. (Article publié dans le vol. 3 n° 1 de la livraison du printemps 1998 de SONAR.)

Le Dr Graham Williams, scientifique auprès de la Commission géologique du Canada (Atlantique) a reçu deux médailles prestigieuses en 1996. Il s'agit de la médaille E.R.Ward Neale (Association géologique du Canada) qui est décernée chaque année à un scientifique pour souligner sa contribution remarquable à la sensibilisation du public aux géosciences. Ce prix reconnaît l'engagement du Dr Williams, qui partage ses connaissances de spécialiste avec des écoliers et la collectivité en général. La médaille de l'excellence scientifique de l'American Association of Stratigraphic Palynologists (AASP) est remise tous les quatre ans à des scientifiques pour souligner l'excellence de leurs travaux scientifiques. Cette médaille vient récompenser son importante contribution et ses travaux novateurs en palynologie, où il s'est affirmé comme pionnier et chef de file mondial dans le domaine de l'application de l'étude des

dinoflagellés fossiles à des problèmes géologiques, en particulier dans les bassins susceptibles de contenir des hydrocarbures, comme ceux des eaux du large dans l'Atlantique canadien.

Prix Huntsman

Le prix A.G. Huntsman d'excellence dans les sciences marines est administré par une fondation privée établie à l'IOB. Le prix a été décerné pour la première fois en 1980 et, à la fin de 1997, 19 personnes avaient reçu la médaille Huntsman. Pendant la période couverte par la présente revue, deux prix ont été attribués.

La remise du premier prix a eu lieu le 22 novembre 1995 lors d'une cérémonie tenue à l'Institut océanographique de Bedford. Dix-huitième lauréat, le professeur Victor Smetacek, de l'Institut Alfred-Wegener, Centre de recherches polaires et marines, Bremerhaven (Allemagne), s'est vu décerner le prix dans la catégorie de l'océanographie biologique. Ses travaux portent sur l'écologie et l'histoire naturelle de la microflore et de la microfaune des écosystèmes en eau peu profonde, l'écologie pélagique de l'océan austral, et les processus biogéochimiques, en particulier le flux vertical des particules. Il a étudié divers régimes océanographiques, des eaux côtières du nord de l'Europe jusqu'aux écosystèmes des grandes profondeurs de l'Antarctique. Il est également connu pour son aptitude à synthétiser des données provenant de divers domaines pour en tirer de nouvelles conclusions sur la structure et le rôle des grands cycles biogéochimiques de l'océan. Le professeur Smetacek a prononcé une brillante conférence intitulée « The Rise and Fall of Diatom Blooms » (apparition et disparition des proliférations de diatomées).

La remise du deuxième prix a eu lieu le 15 janvier 1997 lors d'une cérémonie tenue à l'Institut océanographique de Bedford. Le prix a été décerné au Dr Robert Detrick, de l'Institut océanographique Woods Hole (É.-U.), dans la catégorie des géosciences marines. Ce prix reconnaissait sa contribution fondamentale à notre compréhension de la genèse et de l'évolution de la lithosphère océanique. Le Dr Detrick a conduit la communauté des géosciences marines dans une nouvelle ère de la recherche sismique marine sur la croûte océanique. Ses travaux d'imagerie sismique des chambres magmatiques sous les dorsales à expansion rapide ont été utilisés pour définir les principales caractéristiques des dorsales médio-océaniques. De plus, il a fortement



influencé les grands programmes internationaux, comme le programme RIDGE (études internationales sur les dorsales médio-océaniques) et le PSFM (Programme de sondage des fonds marins). La savante conférence du Dr Detrick était intitulée « Mid-Ocean Ridge Magma Chambers » (les chambres magmatiques de la dorsale médio-océanique).

POINTS SAILLANTS DES RECHERCHES ET DES LEVÉS

Voici quelques exemples des travaux de recherche, ainsi que certains des principaux événements survenus en 1996 et 1997, présentés par grandes régions géographiques.

Golfe du Maine, banc Georges, baie de Fundy

En réponse à une épidémie de pou du poisson chez les saumons d'élevage dans le sud-ouest du Nouveau-Brunswick, le Programme de recherche stratégique de la Division des Sciences du MPO a reçu des subventions pour mener des recherches sur le pou et sur les méthodes de lutte contre ce parasite. Dans le cadre de ce projet, on a fait appel à des chercheurs des divisions de l'aquaculture, des sciences du milieu marin et des sciences de la mer, en collaboration avec Environnement Canada, le Centre des sciences de la mer Huntsman, l'Université du Nouveau-Brunswick, la New Brunswick Salmon Growers' Association et le ministère des Pêches et de l'Aquaculture du Nouveau-Brunswick. Les recherches ont porté sur la distribution du pou du poisson et son cycle biologique, les effets toxicologiques de deux pesticides contre le pou du poisson (l'azaméthiphos et la cyperméthrine) sur les organismes non visés, et la dispersion de ces produits dans le milieu marin après leur administration dans les cages de salmoniculture. Les travaux de recherche sur la

dispersion comprenaient des essais de rejets de colorant dans le cadre d'une simulation de traitement par des produits antiparasitaires, ainsi que des recherches océanographiques impliquant le déploiement de courantomètres et de drogues, et l'élaboration d'un modèle de circulation tridimensionnel pour la zone salmonicole du sud-ouest du Nouveau-Brunswick.

Un projet de collaboration intéressant les Divisions de l'aquaculture, des sciences du milieu marin et des sciences de la mer ainsi que la New Brunswick Salmon Growers' Association a porté sur les facteurs affectant la productivité de vingt exploitations salmonicoles dans le sud-ouest du Nouveau-Brunswick. L'étude a débuté au printemps de 1995; les chercheurs ont suivi une classe de smolts jusqu'à leur récolte. À chaque site, on établissait un lien entre la production de saumon, les méthodes d'élevage et les facteurs environnementaux. Les facteurs liés à l'élevage qui ont été mesurés comprenaient la taille des smolts, la densité d'empoissonnement, les types de cages et leur volume, les types d'aliments, et les méthodes d'alimentation. Les facteurs environnementaux mesurés étaient les suivants : la température de l'eau, l'oxygène dissous et les courants. Un système submersible à deux caméras a été mis au point à l'Institut océanographique de Bedford pour permettre de mesurer la longueur des poissons sans avoir à les retirer de la cage.

Les scientifiques du MPO ont poursuivi leurs travaux de recherche en collaboration avec les gouvernements provinciaux, les universités, le Conseil national de recherches et l'industrie sur le développement de nouvelles espèces qui pourraient permettre une diversification de l'aquaculture. Les recherches dans ce domaine visent le développement d'une industrie aquacole économiquement et écologiquement durable.

Dans le golfe du Maine, on a entrepris une étude de trois ans sur la capturabilité du homard et le recrutement de homards juvéniles, ainsi qu'un relevé exhaustif des pétoncles de la baie de Fundy.

Les recherches sur les impacts environnementaux des parcs d'aquaculture pour le saumon atlantique dans le secteur des îles de l'ouest de la baie de Fundy étaient axées sur la recherche de méthodes permettant d'évaluer et de réglementer les répercussions de ce secteur pour l'aider à se développer en protégeant l'environnement. Des problèmes chroniques de parasites et de maladies à de nombreux sites attestaient la dégradation de l'environnement. Grâce à une évaluation générale de l'élimination

des déchets dans le secteur, les répercussions de l'aquaculture ont pu être replacées dans leur contexte.

Étant donné le regain d'intérêt manifesté pour l'exploitation des réserves d'hydrocarbures pétroliers sur la plate-forme continentale de l'Atlantique canadien, les impacts que pourrait avoir ce type d'exploitation sur le poisson et son habitat constituent une source de préoccupation grandissante. Avec l'aide du Groupe de recherche et d'exploitation énergétiques, les chercheurs ont intensifié les travaux afin de comprendre les effets à long terme et sublétaux des déchets issus de ces activités. Au début, presque toutes les énergies ont été mises sur le banc Georges afin de fournir des avis scientifiques en vue d'une révision du moratoire sur le forage imposé en 1998 dans ce secteur. On s'intéressait principalement aux effets sur les pétoncles, qui représentent la pêche la plus lucrative sur le banc Georges. L'exploration du gisement sur le site Cohasset-Panuke, sur le banc de l'île de Sable, a permis de valider des modèles de prévision du devenir et des effets biologiques des déchets de forage.

En 1997, le Service hydrographique du Canada (SHC) a entrepris des levés au sonar multifaisceaux sur le banc Germain. Son objectif est de réaliser des levés couvrant tout le banc au cours des prochaines années.

La première étape, d'une durée de quatre ans, du projet GLOBEC Canada (Dynamique des écosystèmes océaniques mondiaux), un programme national de collaboration financé conjointement par le MPO et le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie (CRSNG), a débuté en 1996. GLOBEC est un programme international de recherche sur le climat qui étudie de quelle manière la variabilité de l'environnement des populations marines affecte leur abondance, leur distribution et leur productivité. Les scientifiques de la Région des Maritimes du MPO participent activement au volet atlantique de GLOBEC Canada, qui s'intéresse particulièrement aux principales espèces zooplanctoniques de la plate-forme continentale de l'Atlantique Nord-Ouest, et aux premiers stades de développement des poissons dans certaines frayères de la plate-forme Néo-Écossaise et du golfe du Saint-Laurent. Des analyses rétrospectives des données historiques et de nouveaux modèles informatiques de la circulation sur la plate-forme sont utilisés pour évaluer les effets des modifications physiques de l'environnement et des disponibilités alimentaires sur les espèces cibles. En 1997 et 1998, l'IOB et des

scientifiques du milieu universitaire ont entrepris de nouveaux travaux en mer visant les secteurs clés, notamment les sources de zooplancton sur la plate-forme Néo-Écossaise et la survie des larves de poisson sur le banc Occidental.

Le groupe chargé du programme d'étude sur le hareng a élaboré des stratégies qui permettent une répartition proportionnelle de l'effort de pêche sur les différentes composantes reproductrices de la division 4WX de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest (OPANO). La mise en oeuvre de cette stratégie exigeait une collaboration étroite avec l'industrie pour obtenir des estimations en temps réel de la taille des agrégations de géniteurs. La concertation directe entre les gestionnaires et scientifiques du MPO et l'industrie a permis de fixer des taux de capture appropriés. Le financement d'études hydroacoustiques par le Programme de recherche stratégique du MPO a permis de mettre au point des techniques de mesure de la biomasse reproductrice.

Les chercheurs ont développé des approches pour mesurer l'incertitude dans les évaluations des stocks de poisson, en déterminant des valeurs cibles, comme un certain niveau de biomasse du stock ou un seuil de mortalité par pêche, et en calculant pour chaque stratégie de gestion le ris-

que de ne pas atteindre ou de dépasser ces valeurs cibles. L'approche actuelle n'est axée que sur l'incertitude associée à l'abondance annuelle et ne comprend pas encore les variations d'autres données; le tournant important ainsi proposé a été très bien accueilli par les utilisateurs des avis sur les pêches dispensés par le MPO. Le fait de connaître la part d'incertitude associée à nos avis incite souvent les gestionnaires des pêches à choisir des taux d'exploitation plus prudents.

En 1996, les scientifiques du CGC-A ont publié une importante étude sur la structure géologique et le potentiel pétrolifère des terrains du Trias et du Jurassique dans le bassin de Fundy. Cette étude a révélé la présence d'épais sédiments fluviaux et lacustres présentant un bon potentiel de roches sources et de réservoirs de pétrole et de gaz.

Environnement Canada a collaboré très étroitement avec les groupes communautaires du sud-ouest de la baie de Fundy (Nouveau-Brunswick) pour promouvoir la biorestauration et favoriser la valorisation de l'industrie coquillière dans la région. Les activités de biorestauration ont permis la réouverture d'un gisement de mye de 100 hectares à la récolte commerciale, ce qui a généré des revenus de plus de 300 000 dollars pour l'économie locale. À l'automne 1998, une somme de plus de 100 000 dol-

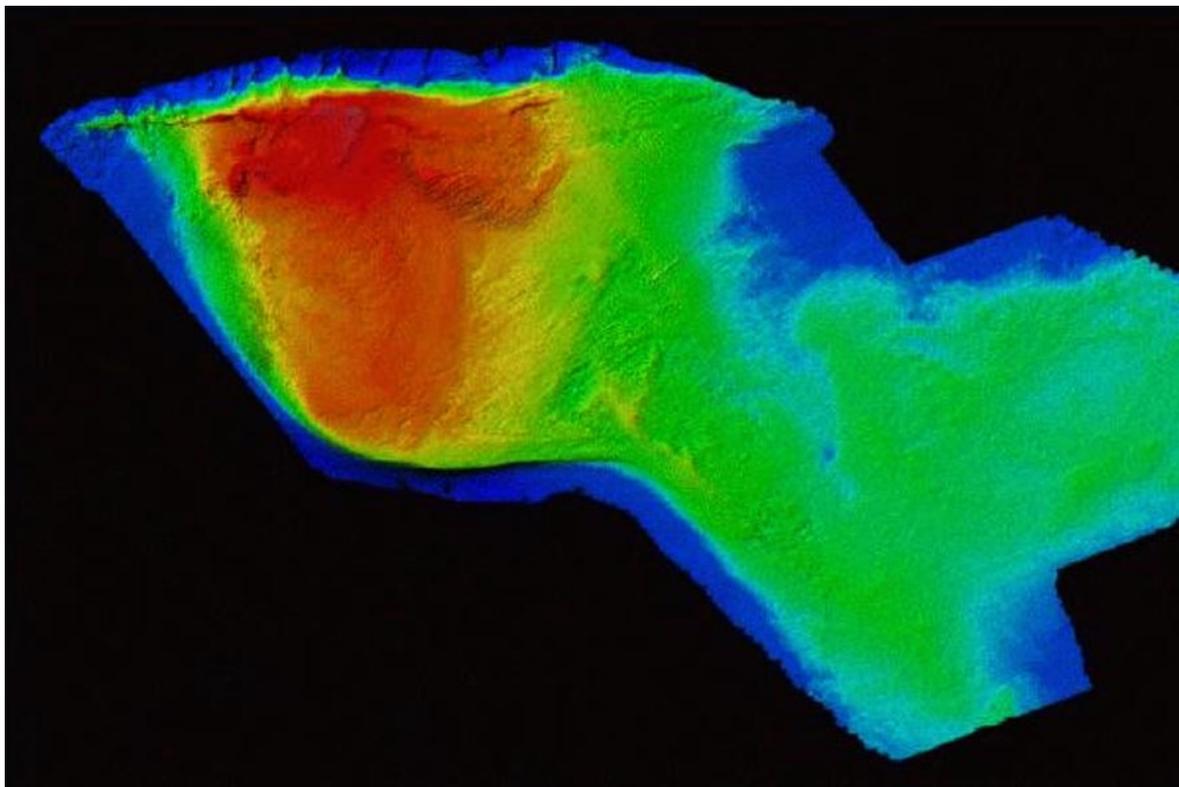


Image du plancher océanique générée à partir de données multifaisceaux recueillies à l'aide du EM1000 à bord du F.G. Creed par le Service hydrographique du Canada - région de l'Atlantique. Le travail, qui a pris 60 jours, a nécessité plus de 120 millions de sondages sur le banc Browns (~130 km sur 70 km)



lars a été octroyée au groupe communautaire local pour qu'il élabore un plan de gestion des coquillages et un programme de surveillance de la qualité de l'eau pour le sud-ouest de la baie de Fundy en partenariat avec Environnement Canada, le MPO, l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA), le ministère des Pêches et de l'Aquaculture du Nouveau-Brunswick et le secteur privé.

Plate-forme Néo-Écossaise

Au printemps 1996, les scientifiques de l'IOB ont effectué les premières évaluations approfondies des stocks de requin-taupe commun, de requin bleu et de requin-taupe bleu. Des problèmes de disponibilité des données ont nui aux analyses, mais les scientifiques disposaient de suffisamment d'information pour orienter l'élaboration du plan de gestion de la côte atlantique pour 1997-2000. Il s'agit de l'un des quatre plans mondiaux existants de gestion des requins. L'évaluation de 1996 a souligné principalement les zones où il faudrait effectuer des recherches et des collectes de données, dans de nombreux cas en collaboration avec l'industrie de la pêche.

Une étude menée conjointement par l'Université Dalhousie et la Division des poissons de mer porte sur la régulation de la population de phoque gris. Depuis plusieurs décennies, on observe une augmentation exponentielle de la population de l'est de la plate-forme Néo-Écossaise, qui se reproduit principalement sur l'île de Sable. Les scientifiques se sont intéressés au développement de nouvelles méthodes pour limiter la croissance de la population. Un vaccin anticonceptionnel

unidosé fondé sur la libération des antigènes sous forme de liposomes a réduit d'environ 90 % la production de jeunes. Contrairement aux attentes, les femelles recapturées au moins deux fois affichaient un taux d'anticorps stable ou à la hausse pendant la période de surveillance de trois ans, ce qui porte à croire que le vaccin immunocontraceptif serait efficace pendant plus de trois ans.

Sur la plate-forme Néo-Écossaise, on a effectué le premier relevé du crabe des neiges sur la côte est du Cap-Breton; ce relevé était financé par l'industrie. En 1997, on a également entrepris un programme de recherche zonale sur les larves de homard.

Le déclin de nombreuses pêches aux poissons de fond dans l'Atlantique canadien a ravivé les inquiétudes à l'égard des engins mobiles, qui sont utilisés par de nombreux secteurs et qui endommagent l'habitat propice au recrutement dans ces pêches. Une nouvelle initiative a été lancée pour évaluer cet effet. On s'est d'abord penché sur l'application des nouvelles technologies aux appareils d'échantillonnage afin de recueillir des renseignements sur les fonds marins. De nouvelles techniques faisant appel au sonar multifaisceaux, à balayage latéral à haute résolution et au positionnement précis par satellite ont été utilisées pour la conception et l'application de protocoles expérimentaux rigoureux. Des bennes à sédiments classiques ont été modifiées pour permettre un échantillonnage fiable et représentatif du benthos. De nouveaux dispositifs ont été conçus et construits pour permettre l'échantillonnage de l'interface eau-sédiment. Ces expériences sont présentement bien engagées sur le banc du Milieu (plate-forme Néo-Écossaise) et sur les Bancs de Terre-Neuve.

En 1996 et 1997, le Service hydrographique du Canada (SHC) a effectué de grands levés multifaisceaux sur le banc Browns. Pour la première fois, les données obtenues ont permis aux scientifiques et aux hydrographes de « voir » à quoi ressemble vraiment le plancher océanique de la région du banc Browns : ils découvrent

soudain une réalité qui était jusque-là cachée dans le noir. Cette technologie suscite beaucoup d'enthousiasme chez les pêcheurs, les géologues et les gestionnaires de l'habitat.

En 1997, le SHC a mené un projet conjoint avec le groupe Seabed Exploration Associates pour recueillir des images multifaisceaux en vue de l'implantation d'un gazoduc qui traverserait la plate-forme Néo-Écossaise.

Recherche géologique sur l'habitat du banc Browns - Une équipe de géologues marins, d'hydrographes, de biologistes spécialistes des pétoncles et l'industrie de la pêche étudient de nouvelles possibilités de valorisation de la récolte des pétoncles sur le banc Browns. Les recherches sont fondées sur la collecte, le traitement et l'affichage de données bathymétriques obtenues par des levés multifaisceaux, et leur interprétation en termes d'habitat des pétoncles. La mise en rapport de la géologie marine et des caractéristiques biologiques de l'habitat est une nouvelle activité qui devrait générer des données essentielles tant pour la gestion que pour le développement durable de l'exploitation des pétoncles.

Étude sur le transport des sédiments de l'île de Sable - La CGC-A, en collaboration avec Mobil Oil Canada Ltd., évalue quantitativement les dangers pour les installations sous-marines servant à la production de gaz à proximité de l'île de Sable. Dans le cadre de cette étude, la CGC-A a participé à un programme de forage afin d'établir la profondeur maximale de la couche de sable mobile sous le plancher océanique. Ces données sont essentielles tant pour les études générales sur le transport des sédiments sur la plate-forme continentale que pour la conception de pipelines. De nouveaux instruments pour étudier les fonds marins, développés par la CGC-A, ont permis de surveiller en temps réel le transport des sédiments pendant des tempêtes. Les propriétés physiques du transport des sédiments ont été documentées et elles sont présentement appliquées aux processus de migration à grande échelle des reliefs sous l'effet des tempêtes et de l'affouillement. Ces mesures servent également à la validation des données pour perfectionner les modèles régionaux de transport des sédiments.

Des prévisions en recherche et sauvetage plus précises - Avec l'aide financière du Fonds des nouvelles initiatives de la Garde côtière canadienne (GCC), des scientifiques du Centre météorologique canadien (CMC), de l'Université Dalhousie et de l'IOB ont mené une expérience visant à vérifier et à améliorer les capacités de

prévision du principal outil de planification des opérations de recherche et sauvetage (SAR) de la GCC, connu sous le nom de CANSARP. Le volet mer de l'expérience consistait en quatre essais de dérive par semaine au cours desquels des groupes de cibles de recherche et sauvetage (p. ex. radeaux de sauvetage, doris, bouées simulant une personne à la mer) étaient mis à l'eau et suivis par satellite sur la plate-forme Néo-Écossaise. Pendant ces essais, on a également recueilli des données auxiliaires, notamment sur les courants, le vent local, le niveau de la mer sur la côte, et la pression au fond de la mer.

Deux tests des capacités de prévision du logiciel CANSARP ont été effectués au moyen des données provenant des essais en mer. Le premier test a servi à évaluer les avantages potentiels de l'utilisation de modèles de prévision de vents haute résolution (maillage de 12 x 12 km) par rapport à un modèle de prévisions de vents faible résolution (35 x 35 km) pour diriger les prévisions CANSARP. On a constaté avec étonnement que, pendant la période critique des 24 premières heures de dérive, le modèle haute résolution n'a pas donné de gain de précision significatif par rapport au modèle faible résolution. Par contre, les prévisions faites au moyen d'un modèle de prévisions des courants de dérive de l'Université Dalhousie, qui assimile le niveau de la mer sur la côte et le modèle de prévisions des vents faible résolution du CMC, surpassent de beaucoup les prévisions CANSARP faites pendant la période de 0 à 30 heures et les suivantes. Par rapport aux secteurs de ratissage, les écarts des prévisions CANSARP étaient supérieures d'un ordre de grandeur (x10) en général à ceux des prévisions du modèle Dalhousie. La principale recommandation de cette étude intéresse donc l'incorporation des prévisions du modèle Dalhousie au système CANSARP.

En 1996 et 1997, les Havres Country Harbour et Ship Harbour ont été les sites de mesures d'océanographie physique poussées. Les mesures effectuées aux stations équipées de courantomètres, de thermomètres et de salinomètres ont été complétées par des levés hydrographiques saisonniers, des échantillonnages des sédiments de fond et des observations météorologiques locales. Les deux bras de mer présentaient des topographies contrastantes : la profondeur du Country Harbour diminue de l'embouchure vers le fond, tandis que le Ship Harbour est formé d'un bassin interne profond isolé de la pleine mer par un seuil peu profond. Les chercheurs examinent la vitesse de chasse des eaux dans ces bras de mer si différents, et les mécanismes responsables de cet effet. Les résultats obtenus pour

ces deux bras de mer peuvent être élargis à d'autres havres côtiers dans la Région des Maritimes. Le projet est financé par le Programme de recherche stratégique, Programme d'étude des produits chimiques toxiques.

Golfe du Saint-Laurent

Une étude de marquage à grande échelle du homard, financée par l'industrie, a été menée dans le sud du Golfe. Elle a révélé que les homards adultes s'éloignent très peu du littoral.

Pêche sentinelle - En raison de la fermeture de la pêche dirigée de nombreux stocks de l'Atlantique Nord-Ouest, les données sur l'état des stocks fournies par les pêcheurs commerciaux n'alimentaient plus les évaluations des stocks. Auparavant, ces données étaient utilisées parallèlement avec les données des relevés scientifiques pour évaluer l'état des ressources. En 1994, des pêches sentinelles ont été mises en œuvre pour obtenir d'autres données sur l'état des stocks. Il s'agit de prélever un nombre limité d'individus appartenant à divers stocks dans le cadre d'un protocole établi au préalable pour recueillir des données biologiques. Le principal objectif est d'obtenir des données sur les tendances des stocks (c.-à-d. si les stocks sont en hausse ou à la baisse), mais les données obtenues servent également à étudier la répartition, la migration, l'état, le stade de maturité des poissons, et à recueillir des renseignements sur la température de l'eau. En 1996 et 1997, dix projets de pêches sentinelles (5 sur les engins fixes et 5 sur les engins mobiles) ont été menés dans le sud du golfe du Saint-Laurent (notamment sur la côte de la Gaspésie, sur la façade du Golfe au Nouveau-Brunswick et en Nouvelle-Écosse, à l'Île-du-Prince-Édouard et aux Îles-de-la-Madeleine). Au total, plus de trente bateaux de pêche du poisson de fond ont participé à ces projets. Les renseignements tirés de ces relevés sont importants puisqu'ils fournissent un « deuxième point de vue » sur l'état des stocks. Ce point de vue est assez cohérent avec celui des scientifiques et a l'avantage de fournir des données couvrant une période de plusieurs mois.

Depuis 1994, des projets de relevés sentinelles sont réalisés dans le sud du golfe du Saint-Laurent. Ils sont conçus pour recueillir des données sur l'abondance du poisson de fond et des renseignements sur les caractéristiques biologiques générales des stocks. Les projets sont réalisés à l'aide de bateaux de pêche commerciale qui suivent un protocole scientifique pré-établi. En 1994 (2 bateaux) et en 1995 (16 bateaux), les projets ont été financés en grande partie par le ministère du Développement des ressources humaines. Le

MPO a fourni l'expertise scientifique pour surveiller les projets et les fonds pour l'équipement scientifique et la présence des observateurs.

La contamination des sédiments par les PCB dans le golfe du Saint-Laurent après le renflouage de la barge Irving Whale a été étudiée attentivement; on tente de déterminer les effets biologiques potentiels et leur ampleur. Presque tous les PCB que contenait la barge pétrolière ont disparu. Les résidus présent dans les sédiments avoisinant l'épave sont insuffisant pour rendre compte du volume de PCB que contenait la barge. On poursuit la surveillance et l'échantillonnage des sédiments et du biote de la région afin de fournir des avis scientifiques sur les possibilités de biorestauration et d'assurer que les pêches commerciales dans la région demeurent fermées jusqu'à ce que le niveau de contamination descende bien en-deçà du seuil critique. À l'appui du projet de récupération de l'Irving Whale, la CGC-A et la Garde côtière canadienne ont terminé, en 1996, un levé vidéo-aérien détaillé des côtes des Îles-de-la-Madeleine. De plus, on a exécuté un levé détaillé de la Plage et de la Dune de l'Ouest dans le cadre des activités de récupération des poches d'hydrocarbures qui avaient été abandonnées sur l'arrière-plage en 1970 après le naufrage de l'Irving Whale. Le vidéo servira à documenter les propriétés physiques du littoral, les modifications de sa morphologie et les activités d'utilisation des terres.

La CGC-A a amorcé une étude générale sur la stabilité de la zone littorale, les bilans de sédiments et la réaction du littoral à l'élévation du niveau de la mer sur la côte nord et autour de la pointe Est (Î.-P.-É.). Ce projet répondait à l'inquiétude du public concernant la sensibilité des côtes de l'Î.-P.-É. au changement climatique, car il s'agit là de l'une des aires les plus vulnérables, selon une analyse récente effectuée par la CGC sur l'ensemble du littoral canadien. Le projet a également aidé à régler un important problème d'aménagement du littoral dans la région de la baie Rustico, où les inquiétudes du public au sujet de la qualité de l'eau et de la sécurité de la navigation étaient diverses : modifications spectaculaires subies par la baie après la construction de la chaussée de l'île Rustico au milieu des années 50 et, plus récemment, avec le développement de l'aquaculture; et fin des travaux de dragage à North Rustico. Les premiers grands volets de ce projet sont un levé bathymétrique multifaisceaux détaillé et des études de la dynamique de l'eau et des sédiments dans la baie Rustico. Le projet est réalisé en col-

laboration avec la CGC, le SHC, TPSGC, Parcs Canada, les autorités portuaires de North Rustico, Bairds & Associates Coastal Engineers, Challenger Oceanography et les Universités Acadia, Mount Allison et Dalhousie.

En 1996, la CGC-A a effectué des sondages bathymétriques par secteurs (SWATH) dans trois zones de l'ouest de Terre-Neuve. Un sondage mené dans la baie des Îles, en collaboration avec une importante société pétrolière, a révélé des caractères jusque-là inconnus du plancher océanique, qui montrent clairement l'étendue d'un effondrement sous-marin. Les données recueillies au large de Port-au-Port, en partenariat avec des chercheurs du gouvernement et des universités, se sont traduites par l'obtention de remarquables images haute résolution des affleurements de roche-mère sur le fond marin, qui serviront à résoudre des problèmes géologiques dans une zone où la prospection de gisements d'hydrocarbures est active. Le relevé effectué au large de Stephenville était une répétition de celui de 1995, son but étant de démontrer de quelle manière on peut utiliser l'imagerie SWATH pour déceler des modifications du plancher océanique. Cette technique présente un grand intérêt pour les entreprises d'exploitation des ressources travaillant au large des côtes, dans les eaux canadiennes et internationales.

Initiative dans le golfe du Saint-Laurent - La CGC-A a lancé dans le golfe du Saint-Laurent une importante initiative visant à établir un lien plus étroit entre les éléments géologiques côtiers et extra-côtiers conservés dans la région. Le projet est axé sur la définition de la structure de l'écorce terrestre dans le bassin des Maritimes, l'examen des corrélations stratigraphiques et sédimentologiques côtières et extra-côtières et l'étude de leur signification pour les régimes pétroliers de la région. Pour atteindre ces objectifs, les participants ont recours à toute la gamme d'expertise des géosciences, de la géophysique et de la modélisation de l'écorce terrestre jusqu'à l'évaluation biostratigraphique à petite échelle.

La CGC-A a effectué un nouveau sondage bathymétrique par secteur (SWATH) au-dessus des mines sous-marines au large du Cap-Breton. Ce projet conjoint avec la Société de développement du Cap-Breton et le Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie visait à déterminer la subsidence annuelle du plancher océanique au-dessus des sièges d'extraction. Grâce à ces données, les scientifiques peuvent établir le danger potentiel d'inondation de la mine par l'eau de mer et mieux planifier l'exploitation minière dans l'avenir.

Validation de la signature de la glace de mer par imagerie SAR de RADARSAT avec des données fournies par des capteurs hélicoptés - Des capteurs hélicoptés sont utilisés pour recueillir des données sur les propriétés de la banquise de la côte atlantique du Canada en vue d'identifier et de valider les signatures des glaces observées sur les images SAR de RADARSAT. Pour ce faire, deux systèmes de capteurs sont utilisés; l'un est un système laser à induction électromagnétique et l'autre un système vidéo-laser. Les deux systèmes ont recours à des capteurs GPS pour localiser les données. Des profils d'épaisseur de la glace plus la neige ont été recueillis au cours des hivers de 1996 à 1998, à l'aide d'un système à induction électromagnétique hélicopté, tiré de 15 à 25 m au-dessus de la surface de la glace. Les mesures de l'altimètre laser intégré dans le système à induction électromagnétique ont été soumises à un filtrage passe-haut pour dériver les profils topographiques de la surface glacée. Le système électromagnétique utilise des fréquences de 30 et de 90 kHz et une configuration à bobinage coplanaire horizontal; l'empreinte correspond donc à environ 3,7 fois la hauteur de l'oiseau, soit environ 74 m, tandis que celle du laser est de quelques centimètres. Les images vidéo ont été recueillies à l'aide d'un caméscope VSH à détection plongeante monté en nacelle à l'extérieur de l'hélicoptère. On a indiqué la position et l'heure sur les images à l'aide d'une unité de superposition vidéo.

En 1998, on a utilisé un système GPS vidéo-laser hélicopté pour obtenir des images vidéo de différentes régions de rétrodiffusion observées sur les images RADARSAT. Le système vidéo saisit des images numériques vidéo et enregistre les profils obtenus par l'altimètre laser ainsi que les données de position GPS. Le système utilise l'altitude de vol prévue, la vitesse de vol, le champ de vision et la taille du cliché pour déterminer la vitesse de saisie des images, qui va de 0,5 s, lorsque l'appareil vole à 50 m, à 3,0 s à 300 m (1 000 pieds). Étant donné que le cliché compte 240 x 320 pixels et que la largeur du champ est à peu près égale à l'altitude de survol, la taille du pixel correspond à environ 1 m lorsque l'appareil vole à 300 m. Les données GPS sont enregistrées au rythme de 1/sec, l'altimètre radar à 10/s, et l'altimètre laser à 30/s.

En 1996, on pouvait voir sur l'image RADARSAT ScanSAR étroit de nombreux floes de grande taille, de tons foncés, à l'ouest des Îles-de-la-Madeleine. Ils correspondaient à des épaisseurs de glace d'environ 0,5 m mesurées par induction électromagnétique, ce qui est en accord



avec les mesures effectuées à la tarière, et les profils lasers présentaient une formation de crêtes négligeable. Les zones avoisinantes étaient de tons plus clairs à cause de la présence de nombreux chenaux contenant du brash jeune. Toutefois, on observait également dans ces zones des épaisseurs de glace, mesurées par induction électromagnétique, pouvant atteindre environ 2,5 m, et des hauteurs de crête de 1,5 m, mesurées au laser; la formation de crêtes se produit en général dans les zones de glace mince. L'épaisseur générale moyenne de la glace était 50 % plus grande que celle de la glace non déformée. Les zones à tons plus clairs sur l'image SAR correspondaient à de la glace en crêpes dont l'épaisseur mesurée par induction électromagnétique était inférieure à 20 cm, et à formation de crêtes négligeable.

Sur la côte du Labrador, à cause des vents de terre du début mars, on a observé de faibles épaisseurs de glace et de faibles accumulations de la glace près de la côte. Donc, le 10 mars, sur l'image ScanSAR large, la glace côtière apparaissait foncée, mais on pouvait voir des stries claires au sud-est (en aval) des petites îles côtières. Ces stries correspondaient à des blocailles dont l'épaisseur mesurée par induction électromagnétique est d'environ 1 à 2 m et dont la hauteur des crêtes mesurée au laser peut atteindre

0,9 m. L'épaisseur de la glace mesurée par induction électromagnétique dans les zones sombres avoisinantes était en général inférieure à 20 cm.

En 1998, plus de 20 000 images vidéo ont été prises de la banquise dans le sud du golfe du Saint-Laurent et dans le détroit de Northumberland, à l'endroit où le pont de la Confédération relie le continent à l'Île-du-Prince-Édouard. Le pont coupe la banquise en petits floes (10-20 m), lorsque la glace va et vient d'un côté à l'autre du pont sous l'effet des courants de marée et du forçage du vent. La position de l'étendue de glace affectée par le pont a été surveillée par des balises posées sur la glace et suivies par satellite. La luminosité de rétrodiffusion différente de l'imagerie RADARSAT près du pont est liée aux propriétés à l'échelle du sous-pixel observées sur les images vidéo. Lorsque les petits floes convergent, la luminosité de l'image RADARSAT (20 février 1998) augmente par rapport aux zones non touchées. Lorsqu'ils divergent et que de l'eau libre apparaît, la rétrodiffusion diminue puisque la faible rétrodiffusion de l'eau (par vent léger) annule l'augmentation de la rétrodiffusion due à la topographie grossière du floe. Il existait des zones de convergence similaires de petits floes endommagés par les glaces sur le bord de la banquise qui est tassée sur la côte. On peut voir ces zones claires sur l'image RADARSAT du sud

du golfe du Saint-Laurent (28 février) et sur celle de la côte du Labrador (4 mars). Dans les deux cas, les floes mesuraient moins de 20 m d'extension horizontale et étaient empilés sur plusieurs mètres d'épaisseur pour former une large bande apparaissant sous forme de zones claires sur les images SAR.

Le programme de surveillance à long terme de la température des eaux côtières s'est poursuivi avec une intensification de l'échantillonnage dans le sud du golfe du Saint-Laurent, grâce surtout aux efforts du groupe des pêches des invertébrés du Centre des pêches du Golfe. Les stations d'observation à long terme ont été maintenues sur la côte atlantique de la Nouvelle-Écosse et dans la baie de Fundy. Une nouvelle station comportant un thermomètre a été établie à North Sydney.

Eaux intérieures des Maritimes

La Division des poissons diadromes a remis au secteur privé huit des neuf écloséries qu'elle exploitait dans le cadre du programme de mise en valeur des salmonidés dans les provinces Maritimes. Ces huit installations, exploitées par des organismes à but non lucratif, continuent de produire des salmonidés pour alimenter les ressources halieutiques publiques. L'écloserie de Mactaquac et ses installations, situées sur le fleuve Saint-Jean (Nouveau-Brunswick), ont été conservées en raison d'une vieille entente légale qui oblige le gouvernement fédéral à assurer le fonctionnement de l'écloserie et le maintien du passage des poissons comme mesure d'indemnisation et d'atténuation des impacts suite au projet d'aménagement hydroélectrique de Mactaquac Hydro sur le cours d'eau.

La Division des poissons diadromes parraine, conjointement avec la Région de Terre-Neuve, un atelier spécial destiné à évaluer les retours de saumon atlantique dans les rivières canadiennes en 1997, qui sont plus faibles que prévu. Les participants à l'atelier ont conclu que la diminution des retours était un phénomène répandu dans presque toutes les rivières d'Amérique du Nord et touchait aussi bien les saumons unibermarins (madeleineaux ou grilses) que les saumons pluribermarins. La cause de cette baisse reste inexplicée; on a toutefois signalé que ce phénomène, courant au long des années 90, a coïncidé avec du temps froid et une modification de l'écosystème marin qui a favorisé la production d'espèces d'eau froide. On prévoyait pour la saison 1998 un faible retour de saumons pluribermarins, et c'était l'incertitude quant au retour des grilses.

Le Dr T. Larry Marshall, de la Division des poissons diadromes, est président du Groupe de travail sur le saumon de l'Atlantique Nord du CIEM depuis avril 1997.

Bancs de Terre-Neuve, mer du Labrador et Labrador

En avril et mai 1996, le Service hydrographique du Canada (SHC) a effectué des levés des routes maritimes et des havres sur la côte sud de Terre-Neuve pour obtenir des données récentes en vue de l'établissement de cartes électroniques et de la délimitation d'un corridor de navigation sans danger entre les ports de la côte Sud. Les levés ont été effectués dans les régions de Gaultois, Hermitage et Burnt Islands. Il s'agit d'un projet à long terme pour améliorer la couverture des cartes aux nombreux endroits qui n'ont jamais fait l'objet de levés; les données existantes remontent à plus de cent ans dans certains cas.

Pendant la deuxième partie de la saison, les scientifiques ont effectué un levé des routes standard dans les zones des baies Jeanette et Byron, sur la côte sud du Labrador. Ces travaux ont permis la modernisation des cartes et une amélioration de la navigation dans la région.

Le projet visant la côte sud de Terre-Neuve a repris en mai et juin 1997. Les travaux se sont poursuivis dans plusieurs régions, notamment à Gaultois, Hermitage, Rose Blanche, Grey River, Burgeo, Ramea et Burnt Islands.

Un levé de validation a été entrepris dans les approches de la baie Voisey près de Nain, sur la côte du Labrador. Il sert de contrôle de la qualité pour les grands levés effectués à contrat par des entreprises privées pour le compte de la compagnie de nickel de la baie Voisey. Suite à ces travaux, le SHC a convenu de produire de nouvelles cartes et de nouvelles éditions des cartes. De plus, on a procédé à des levés de vérification des cartes de la côte du Labrador.

La collecte de données pour l'établissement de la troisième et dernière série de cartes de la baie Bonavista s'est terminée en septembre et octobre 1997, ce qui permettra au SHC d'annuler une carte marine de l'Amirauté britannique utilisée depuis plus de cent ans.

La CGC-A collabore avec des entreprises travaillant à des projets énergétiques importants sur la côte atlantique. Par exemple, dans le cas de la Société d'exploitation et de développement d'Hibernia Ltée, des scientifiques évaluent de quelle manière les failles servent de voies de mi-

gration du pétrole dans les gisements et les problèmes potentiels qu'elles peuvent poser lors d'une éventuelle vidange des gisements. D'autres travaux conjoints avec l'industrie comprennent le développement de nouvelles techniques d'interprétation sismique en trois dimensions visant à mieux représenter les systèmes paléosédimentaires de subsurface. Ces travaux aident la prospection de gisements d'hydrocarbures par la recherche de pièges stratigraphiques subtils, comme des dépôts de turbidites.

Prévisions des glaces de mer sur le plateau continental du Labrador - Dans le domaine de l'océanographie opérationnelle, les recherches ont été axées sur la construction de modèles de prévision précis des océans pour les plateaux du Labrador et de Terre-Neuve, et la collecte de données sur la glace de mer, notamment la dérive, la fonte, l'épaisseur et la poussée des glaces, pour la validation des modèles. Le modèle océanique Princeton a été mis en œuvre pour la mer du Labrador et jumelé à un modèle multi-catégories de glace de mer. Ce modèle couplé a été utilisé pour la simulation saisonnière des prévisions de la distribution de la glace et des prévisions océaniques à court terme. Afin de montrer l'utilisation opérationnelle des modèles de prévision, on a mis au point un logiciel automatisé intégrant diverses opérations, notamment l'entrée des données sur les vents, l'exécution de calculs numériques, et l'affichage des résultats des prévisions. Ce système a permis d'obtenir des prévisions quotidiennes des glaces et des conditions de l'océan. Pour que ces prévisions soient accessibles au public, des cartes de prévision et des animations ont été mises sur le site Internet de la Région des Maritimes du MPO. Les prévisions des conditions océaniques étaient également transmises aux navires de l'IOB en mer et utilisées par le personnel de bord pour planifier les opérations. Parmi les autres utilisateurs potentiels, on peut mentionner les pêcheurs, le secteur du transport maritime et le secteur pétrolier offshore.

Mer du Labrador

En 1996 et 1997, l'Expérience sur la circulation océanique mondiale (WOCE) a organisé un programme d'observation de toute la circulation profonde de l'Atlantique Nord. La mer du Labrador étant un site connu de convection océanique profonde, elle a été choisie comme région d'étude spéciale. Le NSC Hudson a effectué son levé régulier de la section de la mer du Labrador au printemps 1996, puis il a effectué des levés plus exhaustifs à l'automne 1996 et au printemps 1997. Au cours du levé de l'automne 1996, le NSC Hudson a déployé un grand nombre de mouillages de

courantomètres, de sources acoustiques, de mouillages de tomographie acoustique, de flotteurs dérivants de subsurface et de surface et même une grosse bouée météorologique pour surveiller les conditions pendant l'hiver 1996-1997. Une partie des appareils a été fournie par le MPO, Région des Maritimes, mais un plus grand nombre a été placé par nos collègues allemands et américains participant à cette expérience. Le RV Knorr, de l'Institut océanographique de Woods Hole, a effectué des levés dans la mer du Labrador en février et mars 1997 dans le cadre de cette expérience. Une équipe du MPO, Région des Maritimes, qui participait à cette campagne, a effectué des mesures des champs de vents et de vagues pour déterminer les échanges de quantité de mouvement, de chaleur et de vapeur d'eau entre l'océan et l'atmosphère dans ces conditions extrêmes. Heureusement, tous ces efforts d'observation ont été récompensés lorsque les scientifiques ont observé, en mars 1997, un mouvement de convection à une profondeur de 1 400 m dans l'ouest de la mer du Labrador.

Arctique

Les scientifiques de l'IOB de la Division des sciences de la mer ont participé à la mission ARCTIC 96 à bord du brise-glace allemand Polarstern, et à la campagne de la Joint Ocean Ice Study (JOIS 97), à bord du NGCC Louis-S.-St-Laurent. Les deux expéditions, de portée internationale, étaient motivées par les inquiétudes concernant le climat mondial et le changement climatique. La mission de l'expédition ARCTIC 96 consistait à explorer le bassin oriental eurasien de l'océan Arctique, où l'eau s'écoule de l'un des deux grands bassins de l'océan Arctique vers l'autre. L'expédition JOIS 97 s'est déroulée dans l'archipel canadien et dans le bassin Canada de l'océan Arctique.

L'océan Arctique est loin d'être un océan isolé pratiquement sans interaction avec les autres océans de la planète; on a trouvé dernièrement qu'il était très variable et dynamique. De plus, d'après les indications dont nous disposons, il ferait partie intégrante de la circulation thermohaline globale. Parmi les nouveaux résultats de ces expéditions, il faut noter l'observation de modifications importantes de la distribution des masses d'eau qui sont survenues au cours des dix dernières années et un nombre étonnamment grand de tourbillons. Ces expéditions ont en outre permis d'expliquer les régimes de circulation dans l'océan Arctique, en particulier en illustrant l'existence d'un écoulement à double gyre dans le bassin Canada. Grâce aux séries de données plus complètes ainsi

obtenues, il est maintenant possible de cartographier les répartitions relatives de l'eau provenant du Pacifique et de l'Atlantique dans l'océan Arctique. Ces données ont permis de comprendre qu'une grande partie de l'eau de l'archipel canadien et de la côte du Labrador provient du Pacifique plutôt que de l'Atlantique.

Recherches en mer de Beaufort - La CGC-A a entrepris des études de la zone côtière le long du littoral canadien de la mer de Beaufort afin de mieux comprendre l'évolution de la côte, constituée de pergélisol riche en glace, en vue de produire de meilleures prévisions de la réaction du littoral au changement climatique. Ces travaux de recherche étaient financés dans le cadre du Plan vert et par le parc national Ivvavik. Les impacts de l'érosion sur les sites archéologiques de la côte du Yukon et du Mackenzie intéressaient Parcs Canada et les membres de la collectivité Inuvialuit. Tuktoyaktuk, seul établissement côtier et principal port de la région, fait face à un important problème d'érosion. Des estimations de l'érosion établies rétrospectivement d'après des photographies aériennes de 10 sites ont montré une fourchette impressionnante de taux d'érosion annuel (de <1 m/année à >10 m/année). La variance spatio-temporelle élevée et documentée de la réaction de la côte montre qu'il faut une surveillance à long terme de divers sites et qu'il s'agit du seul moyen viable de s'attaquer aux problèmes critiques en matière de science et de gestion dans la mer de Beaufort.

Projet de l'OTAN pour la protection des données sismiques russes - La CGC-A a publié un catalogue des données de réfraction sismique de l'Arctique. En plus des données touchant les régions occidentales (surtout canadiennes et norvégiennes), ce catalogue met à la disposition des scientifiques occidentaux, pour la première fois, une partie des données de réfraction de la Russie pour cette région. Après la levée des restrictions sur les données russes, les scientifiques de la CGC-A ont été invités à regrouper les données, à les conserver sous forme numérique et à les transmettre à la communauté géoscientifique occidentale. Le projet, financé par une subvention de l'OTAN dans le cadre d'une initiative du Comité international des sciences dans l'Arctique (CISA), devait contribuer à la conservation de données uniques et coûteuses recueillies par l'ex-URSS entre 1961 et 1990. Le projet permettra d'enrichir les connaissances scientifiques du Canada sur l'océan Arctique et de fournir les données nécessaires à l'application de l'article 76 du Droit de la mer.

Travaux en haute mer et études internationales

M. Moriyasu, de la Division des pêches des invertébrés, a été invité au Japon pour réaliser un levé du crabe des neiges au moyen des mêmes protocoles que ceux utilisés au Canada. E. Kenchington a été invitée au Chili en raison de son expertise dans le domaine de la génétique des pétoncles. S. Smith a été nommé au Comité sur les méthodes d'évaluation des stocks du National Research Council des États-Unis. Doug Pezzack a participé à l'examen de l'évaluation des stocks de homard des États-Unis. Le SHC a collaboré au Nova Scotia Oceans Initiative (NSOI) pour développer en Uruguay l'application du Droit de la mer et les activités océanologiques commerciales. La marine uruguayenne reconnaît le rôle de premier plan que joue le Canada dans le domaine des techniques océanologiques, et des possibilités de rapport plus étroit se profilent à l'horizon.

Compilation des données magnétiques - Les scientifiques de la CGC-A ont dirigé un projet auquel ont participé plus de 40 organisations de 14 pays en vue de compiler les données magnétiques de l'Atlantique nord et de l'océan Arctique et des masses continentales avoisinantes. Toute la base de données, évaluée à plusieurs centaines de millions de dollars, a été fusionnée en un ensemble complet de données numériques et placées sur un disque compact, accompagnées d'un rapport complet documentant les procédures observées à cette fin. La base de données finale nous permettra de mieux comprendre le potentiel en ressources des marges continentales des côtes arctique et atlantique du Canada.

Détachements de la CGC à la SOPAC - Un protocole d'entente entre la CGC et la South Pacific Applied Geoscience Commission (SOPAC) a fourni le cadre de coopération dans le domaine des sciences géologiques par des échanges scientifiques, de la formation, de l'aide technique et des études conjointes sur des sujets d'intérêt commun. Deux scientifiques de la CGC-A ont été détachés à la SOPAC à Suva (Fidji) pour apporter leur expertise en géologie des côtes. La SOPAC effectue des relevés géologiques régionaux pour 16 pays insulaires membres dans le centre et le sud de l'océan Pacifique. En plus de s'attaquer à plusieurs problèmes régionaux, le personnel de la CGC-A a participé à l'évaluation de la vulnérabilité des collectivités côtières à l'élévation du niveau de la mer et à d'autres dangers naturels (notamment des ondes de tempête et des cyclones tropicaux).

Recherche générale

Créé le 1^{er} avril 1997, le Bureau du processus consultatif régional (PCR) des Maritimes est devenu depuis le centre d'examen par les pairs de travaux scientifiques destinés aux clients du MPO et concernant divers sujets : populations marines et dulcicoles de la région, nombreux problèmes qui apparaissent en matière d'habitat et, de plus en plus, stratégies et mesures de gestion des pêches. Faits saillants de la période : tenue d'un atelier sur les stratégies écosystémiques pour les pêches d'espèces fourrage; avis sur le projet de dragage du chenal de Middle Shoals atelier pour examiner les principes de conservation du saumon atlantique dans l'est du Canada; atelier sur la gestion des ressources de hareng de la Région. Ces activités s'ajoutent à la douzaine de réunions tenues au cours de l'année, la majorité d'entre elles comportant la participation d'intervenants pour évaluer les 120 ressources aquatiques de la Région. Le Secrétariat a coordonné le calendrier des réunions, s'est occupé des documents produits à l'issue de ces réunions et de leur transmission aux intervenants participants. Il est également devenu le principal moyen de communication du secteur des Sciences de la Région.

Dans le cadre d'une étude conjointe avec la NOAA et les régions de la zone Atlantique du MPO, les chercheurs ont analysé les séries de données des relevés sur les poissons de fond accumulées de 1970 à 1994, du cap Hatteras au détroit de Davis, afin de décrire les assemblages et la biogéographie des poissons démersaux de la côte est de l'Amérique du Nord. La portée géographique de l'étude est exceptionnelle puisqu'elle repose sur des données concernant les déplacements pendant une période d'une vingtaine d'années. À un moment où l'on favorise les approches écosystémiques pour la gestion des pêches, l'étude est une première tentative d'étude des profils écosystémiques à une échelle spatiale qui vise vraiment les profils de répartition des poissons marins démersaux. Les assemblages de poissons déterminés par plusieurs méthodes étaient cohérents sur le plan spatial. Toutefois, les analyses statistiques expliquaient environ la moitié de la variance de la distribution des espèces, ce qui indique qu'il faudrait interpréter les assemblages comme des entités indéterminées potentiellement adaptables, plutôt que comme des concepts écologiques rigides. La composition des assemblages se maintenait dans le temps, mais leur emplacement semblait changer. La fragilité apparente des assemblages et leur persistance temporelle, malgré les graves répercussions de l'exploitation sur certaines espèces, laissent

supposer que des stratégies de gestion monospécifiques ne sont pas entièrement à rejeter pour les principales espèces de poissons de fond de la zone d'étude.

On observe en général des variations interannuelles importantes de l'abondance des populations de poissons marins, mais elles sont souvent difficiles à expliquer. Selon le paradigme actuel, un avantage de survie est accordé aux poissons à croissance rapide qui connaissent une « fenêtre de mortalité », période de plusieurs mois pendant laquelle la mortalité de la cohorte peut atteindre 99,9 %. En tirant profit du registre de croissance quotidienne encodé dans les otolithes (concrétions calcaires de l'oreille) des jeunes morues, un scientifique de la Division des poissons marins a signalé la première indication directe d'un lien entre les taux de croissance des juvéniles et de mortalité chez un poisson marin sauvage. La reconstitution des antécédents de croissance quotidienne de cinq classes de morue a montré qu'il existait une forte corrélation entre les trajectoires de croissance et le taux de survie au stade adulte. Les différences dans les taux de croissance et donc dans la durée d'exposition à une mortalité élevée chez les larves étaient suffisantes pour expliquer une grande partie de l'écart de 400 % observé dans l'abondance des adultes d'une cohorte à l'autre.

Impacts des tempêtes sur la côte - L'ouragan Hortense a touché la côte de la Nouvelle-Écosse en septembre 1996, et a causé des dégâts matériels dans plusieurs collectivités côtières. En Nouvelle-Écosse, la dernière fois qu'un ouragan a balayé des terres remonte à 1975, et les développements domiciliaires le long du littoral ont augmenté énormément depuis. Les scientifiques de la CGC-A ont analysé les répercussions d'Hortense sur la côte et les plages de la Nouvelle-Écosse. Des vents violents combinés à de fortes marées ont produit une onde de tempête de 1 m et un creux de vague significatif de près de 9 m. Les répercussions physiques de cet ouragan ont été mesurées à plusieurs endroits près d'Halifax. Les cordons littoraux de gravier et de sable entourant des lagunes ont été très gravement touchés. Certains cordons littoraux bas ont reculé de 10 à 20 mètres vers les terres au cours de cette catastrophe. Des plages plus élevées, protégées par des dunes ou des crêtes de gravier, ont été moins gravement touchées par un affouillement peu prononcé de la ligne des dunes du côté de la mer. Des relevés séquentiels des mêmes sites côtiers ont illustré leur récupération après la tempête et la résilience des différents types de littoraux aux fortes tempêtes. La surveillance continue et

l'exécution de relevés amélioreront la capacité d'intervention en cas d'urgence, et permettront de mieux comprendre la dynamique et la stabilité du littoral.

Changement climatique – Des études paléocéanographiques menées à la CGC-A ont porté sur la production de données pour le programme sur l'histoire et la dynamique des systèmes climatiques, qui est destiné à améliorer la capacité du Canada à développer des modèles climatiques globaux et à prévoir l'environnement futur. La reconstitution des milieux climatiques et océaniques d'il y a 6 000 ans (6ka) a été choisie comme la principale cible des simulations paléoclimatiques et à des fins des modèles climatiques globaux. Des microfossiles marins provenant de 67 carottes de sédiments ont été utilisés pour établir les conditions de surface de la mer à ce moment-là dans l'est de l'Arctique canadien et la région de l'Atlantique. Il y a 6 000 ans, la plupart des sous-régions semblent avoir été plus chaudes que maintenant. Dans l'est de l'Arctique, la glace en mouvement remplaçait la banquise polaire permanente actuelle, l'eau subarctique de l'est du Groenland pénétrait dans le nord de la baie de Baffin et un important volume d'eau de la plate-forme du Labrador s'écoulait probablement dans le bassin Foxe. Sur les bords du Labrador et de Terre-Neuve, l'eau relativement chaude du courant du Labrador remplissait les bassins de la plate-forme et atteignait les fjords extérieurs. Sur les bancs de Terre-Neuve et la plate-forme Néo-Écossaise, les bassins étaient remplis d'eau chaude du talus continental, et les eaux côtières étaient également plus chaudes. Au large, il semble qu'il y ait eu un mélange plus fréquent des eaux subtropicales du Gulf Stream et des eaux tempérées de la dérive nord-atlantique autour des bancs de Terre-Neuve et dans le sud de la mer du Labrador, mais nous ne possédons aucune indication claire de réchauffement dans le nord-est de la mer du Labrador.

Droit de la mer – Les études menées par la CGC-A et le SHC visent à déterminer la zone hauturière sur laquelle le Canada pourrait avoir des droits souverains lorsqu'il ratifiera la Convention des Nations Unies sur le droit de la mer (UNCLOS). En vertu de l'UNCLOS, les droits souverains du Canada pourraient bien s'étendre au-delà de la limite minimale de 200 milles, en particulier dans les océans Atlantique et Arctique. L'article 76 précise de quelle manière un état côtier peut délimiter l'étendue de son plateau continental, sur lequel il peut exercer des droits souverains aux fins d'exploration et d'exploitation

de ses ressources naturelles. À l'aide de ces critères, le SHC et la CGC compilent les données bathymétriques existantes dans la région de l'Atlantique et vérifient si elles sont assez précises et complètes pour fixer les limites extérieures de la plate-forme continentale ou si d'autres relevés sont nécessaires, et où ces relevés doivent être réalisés.

Sédiments côtiers et facteur humain – Pour comprendre les processus de transfert des déchets de la terre vers l'océan, la CGC-A a effectué des études des milieux marins associés à de grands centres urbains : port d'Halifax et delta du Fraser (Vancouver). Des méthodes identiques ont été utilisées pour prélever des carottes de sédiments et mesurer le taux de sédimentation et la teneur en métaux. Les sources et les puits naturels et anthropiques (humains), la géométrie régionale, le bilan hydrique et les marées sont différents dans chaque région. En raison de la faible circulation d'eau dans la rade d'Halifax, il y a accumulation en concentrations élevées de zinc, de cuivre, de plomb et de cadmium. Dans le cas de Vancouver, ces concentrations sont beaucoup plus faibles parce que les effluents sont mieux traités et que le grand volume de sédiments naturels apportés par le Fraser dilue les matières anthropiques à un tel point que leur concentration est en deçà du seuil de détection. Ces deux projets fournissent des données qui seront utilisées par les organismes locaux pour surveiller et gérer le rejet d'effluents.

Loi sur les océans du Canada - La Loi sur les océans, adoptée par le Parlement en décembre 1996, précise les fonctions et les responsabilités du Canada en ce qui concerne ses zones maritimes et présente un nouveau modèle de gestion des océans - un modèle fondé sur la collaboration des intervenants et sur les principes de développement durable, de gestion intégrée et d'approche prudente. Le Bureau de coordination de la Loi sur les océans du MPO, Région des Maritimes, a été formé pour diriger et coordonner l'action du MPO dans le cadre de la Loi sur les océans.

La Loi sur les océans comprend trois parties :

- Partie I : elle définit l'étendue des océans relevant de la compétence du Canada et affirme les droits et les responsabilités du Canada en matière de protection et de gestion;
- Partie II : elle attribue au ministre des Pêches et des Océans la responsabilité, en collaboration avec d'autres ministres et organismes fédéraux, les gouvernements provinciaux et territoriaux, et les organismes autochtones,

les collectivités côtières et les autres personnes et organismes..., de diriger et de favoriser l'élaboration et la mise en oeuvre d'une stratégie nationale de gestion des écosystèmes estuariens, côtiers et marins. La Partie II décrit les outils particuliers qui peuvent être utilisés pour rendre exécutoire une stratégie de gestion des océans :

- plans de gestion intégrée de toutes les activités ou mesures touchant les estuaires, les eaux côtières et marines;
- lignes directrices concernant la qualité de l'environnement marin;
- zones de protection marine.
- Partie III : elle définit les pouvoirs, les rôles et les fonctions du ministre des Pêches et des Océans, notamment la responsabilité de fournir des services de garde côtière et des services hydrographiques, ainsi que des services maritimes (notamment l'exécution de travaux de recherche scientifique).

L'approche envisagée dans la Loi sur les océans signifie une collaboration avec d'autres organismes du gouvernement, d'autres paliers de gouvernement et intervenants, la recherche de partenariats et l'appui des intervenants pour régler les différends au stade de la planification.

Un certain nombre d'initiatives à l'appui de la Loi sur les océans ont été lancées en 1996, entre autres :

- la préparation de documents d'information concernant l'élaboration d'une stratégie nationale sur les océans;
- une première version d'un document de travail sur la gestion intégrée de la zone côtière;
- des discussions publiques sur les dispositions de la Loi sur les océans et la manière dont elles peuvent être utilisées pour la gestion et la protection des océans.

Les programmes de cartographie des ressources côtières se sont poursuivis en 1996. Ces cartes, signalant les ressources côtières importantes, ont été souvent dressées en partenariat avec des organismes des collectivités côtières, et constituent un outil important pour la gestion intégrée et la planification de la zone côtière.

Le Bureau de coordination de la Loi sur les océans (BCLO), Région des Maritimes, a été créé en octobre 1997. Le BCLO est chargé d'orienter la participation de la Région à l'élaboration de la Stratégie sur les océans, de diriger et de coordonner la mise en oeuvre de la Loi sur les océans dans la Région des Maritimes. Le BCLO sert de centre de liaison pour les intervenants s'occupant de la Stratégie sur les océans et de la mise en oeuvre de la Loi sur les océans. Il coordonne également la participation de la Région des Maritimes aux activités de l'Année internationale des océans en 1998.

La Loi sur les océans engage le gouvernement du Canada à adopter une nouvelle approche en matière de gestion des océans : une approche fondée sur les principes du développement durable, la gestion intégrée et l'approche prudente. En vertu de cette loi, le MPO est chargé de diriger et de faciliter l'élaboration de la Stratégie nationale du Canada sur les océans et de diriger la planification et la gestion intégrées des activités maritimes touchant tous les intervenants. La loi contient des dispositions pour l'élaboration des politiques, des processus et des outils, notamment des lignes directrices pour les zones de protection marine et pour la qualité de l'environnement marin, qui sont nécessaires à la mise en oeuvre de la Stratégie de gestion des océans.

En 1996 et 1997, le Service hydrographique du Canada (SHC) a continué d'augmenter la couverture des cartes électroniques de navigation (CEN). Reconnues comme une amélioration importante de la sécurité et de l'efficacité de la navigation, ces cartes sont rapidement devenues la norme sur les navires commerciaux de gros tonnage au Canada et dans le monde. Pour respecter les exigences de l'Organisation hydrographique internationale (OHI) et de l'Organisation maritime internationale (OMI), le SHC a entrepris une importante campagne de conversion de toutes les cartes électroniques de navigation en format S57. Ce format général et non exclusif fournira une norme internationale pour la navigation maritime.

La technique du sonar multifaisceaux a évolué ces dernières années. Elle est parvenue à un stade où elle peut être utilisée comme outil régulier de collecte des données. Les séries de données, comme celles du relevé du banc Browns, ont suscité beaucoup d'intérêt et d'enthousiasme chez les groupes de pêcheurs, de géologues et de gestionnaires de l'habitat. Le voile a été levé et ils peuvent voir des détails qu'il n'avait jamais été possible de voir auparavant. Le Service

hydrographique du Canada, avec l'aide de Ressources naturelles Canada, continue de perfectionner la collecte de données, les logiciels de traitement et autres outils. Cette technique représente une révolution dans les levés hydrographiques, l'exploration des océans et la gestion des ressources.

NOMINATIONS

Divers membres du personnel ont été nommés à des fonctions nationales et internationales au cours de la période :

- Michael Chadwick a été nommé rédacteur en chef du Journal of Marine Science du CIEM, membre du Comité interdisciplinaire du CRSNG et président du comité d'Examen des sites.
- Stephen Smith a été nommé rédacteur en chef adjoint du Journal canadien des sciences halieutiques et aquatiques.
- Allyn Clarke a été nommé en 1996 coprésident du Groupe directeur scientifique pour l'Étude de la variabilité et de la prévisibilité du climat (CLIVAR) pour le Programme mondial de recherche sur le climat (PMRC).
- Allyn Clarke a été nommé membre du Comité d'océanographie du Conseil international pour l'exploration de la mer (CIEM).
- Ken Drinkwater a été nommé président du Groupe de travail sur la morue et le changement climatique du CIEM.
- Peter Jones a été nommé (avril 1997) membre du Programme mondial de recherche sur le climat (PMRC), de l'Organisation météorologique mondiale (OMM), du Groupe directeur scientifique - Étude du système climatique de l'Arctique (ACYS).
- Trevor Platt a été nommé président du Groupe international de coordination sur la couleur des océans.
- David Piper, scientifique principal de la CGC-A, a été nommé troisième rédacteur en chef de la revue Marine Geology, une des principales revues internationales dans le domaine des géosciences marines. Le Dr Piper vient de terminer un mandat de cinq ans comme rédacteur en chef du

Journal canadien des sciences de la terre, principal journal canadien dans ce domaine.

- Gordon Fader : Le conseil régional d'Halifax a approuvé la nomination de Gordon Fader, de la CGC-A, au Comité consultatif des intervenants pour la recherche de solutions aux problèmes de la rade d'Halifax. Le comité conseillera le Conseil municipal régional d'Halifax sur le choix des stratégies appropriées pour assurer le traitement des eaux usées et formulera des recommandations qui conduiront à une solution définitive au problème permanent d'évacuation des eaux usées dans la rade d'Halifax.

CONFÉRENCES ET ATELIERS

Pendant la période considérée, les laboratoires ont accueilli ou parrainé, en tout ou en partie, plusieurs conférences et ateliers importants :

- Programme de sondage des fonds marins - En 1997, l'un des groupes de ce projet s'est réuni à l'IOB. Cette réunion a été organisée en même temps qu'une visite du navire de forage utilisé dans le cadre de ce projet à Halifax.
- Atelier annuel du Réseau canadien pour l'éducation en géoscience (EdGEO) - Dans le cadre des activités d'extension de la CGC-A, le personnel a organisé cet atelier pour permettre aux enseignants de comprendre les notions des sciences de la terre et, par la suite, de les enseigner.
- Colloque sur la toxicité aquatique - Le 22^e Colloque annuel a eu lieu à St. Andrews (N.-B.) en 1996.
- Groupe de travail sur le saumon de l'Atlantique Nord du CIEM - Cet événement a été tenu à Moncton (N.-B.), du 10 au 19 avril 1996.
- Oceans Optic III - Cet événement s'est déroulé à Halifax (N.-É.), du 22 au 25 octobre 1996.
- Atelier sur les travaux de recherche sur les algues nuisibles - Cet atelier a eu lieu au Centre des pêches du Golfe (MPO), Région des Maritimes, à Moncton (N.-B.), le 19 juin 1996. Le compte rendu est publié comme suit : Bates, S.S. and P.D. Keizer.

1996. Proceedings of the Workshop on Harmful Algae Research in the DFO Maritimes Region. Can. Tech. Rep. Fish. Aqua. Sci. 2128, 44 pp.

- Conférence hydrographique du Canada « CHC 96 » - Cette conférence a eu lieu au World Trade and Convention Centre de Halifax, du 3 au 6 juin 1996.

Événements particuliers hébergés ou parrainés par la Station de biologie de St. Andrews :

- Dynamique de l'écosystème du golfe du Maine - Symposium et atelier scientifiques, du 16 au 20 septembre 1996.
- Réunion organisée par la Regional Association for Research on the Gulf of Maine (RARGOM), et tenue par la Station de biologie à l'hôtel Algonquin à St. Andrews.
- Exercice CANUSLANT'96 - Événement tenu les 23 et 24 septembre 1996. La Station de biologie a servi de centre de commandement pour ces deux jours d'exercice de simulation de déversement d'hydrocarbures auquel ont participé des représentants des gouvernements (fédéraux, provinciaux, d'État) et des industries du Canada et des États-Unis.
- Entretiens Canada/États-Unis sur les pêches - Treizième d'une série, ces entretiens ont eu lieu à la SBSA, du 8 au 10 octobre 1996. Il s'agit de rencontres officielles tenues tous les 2 ou 3 ans, réunissant des représentants des organismes fédéraux canadiens et américains qui fournissent des données scientifiques sur les pêches à l'appui de la gestion des ressources. Les données d'entrée sur les pêches (présentes et futures dans les deux pays) et les ressources halieutiques transfrontières dans le golfe du Maine étaient les deux thèmes des rencontres de 1996.
- Atelier sur les recherches sur l'anémie infectieuse du saumon et le syndrome hémorragique rénal - Cet atelier, tenu à la SBSA le 5 novembre 1997, était parrainé par le HKS Industry Committee.
- Atelier scientifique sur l'écozone maritime de l'Atlantique - Cet atelier a été tenu à la SBSA, du 11 au 15 novembre 1997. Réseau

d'évaluation et de surveillance écologiques (RÉSÉ) de Quoddy, projet sur l'écosystème de la baie de Fundy, parrainé par le Centre des sciences de la mer Huntsman.

PARTENARIAT ET TRANSFERT DE TECHNOLOGIE

Les partenariats et transferts de technologie et les faits saillants de la période considérée ont augmenté en nombre et en complexité. En voici la liste :

Secteur des Sciences du MPO : plus de 80 arrangements de partenariat ont été mis en place en 1996 et 1997 à la Direction des sciences du MPO, Région des Maritimes. Ces ententes avec des membres de l'industrie, des organismes publics, des institutions internationales et des universités ont permis d'obtenir des contributions de l'ordre de 6,5 millions de dollars des partenaires en 1997. Voici une liste des partenariats, des transferts de technologie et des faits saillants de la période considérée :

- En avril 1997, une entente relative à un projet conjoint de cinq ans a été signée entre cinq associations de pêcheurs de crabe des neiges représentant 160 crabiers du Québec, du Nouveau-Brunswick, de l'Île-du-Prince-Édouard et de la Nouvelle-Écosse travaillant dans les zones de pêche du crabe 12, 25 et 26 dans le golfe du Saint-Laurent et Pêches et Océans Canada. La contribution de l'industrie aux recherches (fonds directs et transférés au MPO) atteint 647 000 dollars par année, alors que celle de la Direction des sciences est de 318 000 dollars par année. Les recherches sont menées par une équipe sous la direction du D^r Mikio Moriyasu, du Centre de recherche sur les pêches à Moncton. Cette entente de projet conjoint fait partie du Plan de gestion intégrée qui est également en vigueur jusqu'en 2002.
- En avril 1997, une expérience d'évaluation sur le terrain des activités de biorestauration des vasières a été entreprise en collaboration par Pêches et Océans Canada et l'IFREMER (France), l'AEA (R.-U.) et le TNO (Pays-Bas). L'expérience, menée dans un mésocosme contrôlé avec des sédiments de faible granulométrie, vise

à évaluer le potentiel des stratégies de biorestauration avec enrichissement en substances nutritives pour nettoyer les résidus contaminés. La Communauté économique européenne fournit une aide financière (300 000 dollars) et des ressources humaines, tandis que le MPO apporte l'expertise du Dr Ken Lee de l'Institut Maurice-Lamontagne et de l'Institut océanographique de Bedford. L'équipe chargée du projet a identifié les facteurs limitants de la biodégradation des hydrocarbures dans les vasières et a évalué les stratégies opérationnelles pour accroître le taux d'élimination naturelle, et donc réduire le temps de séjour des hydrocarbures après un déversement accidentel. En ce qui concerne les impacts sur les pêches, la présente étude comprenait un programme de surveillance général pour évaluer l'impact des traitements sur les espèces d'invertébrés naturellement présentes. Des stratégies de nettoyage appropriées pour les vasières seront recommandées aux organismes d'intervention en cas de déversements accidentels.

- Dans le cadre de l'Expérience sur la circulation océanique mondiale (WOCE), un projet conjoint réunissant Pêches et Océans Canada, l'Université du Rhode Island et l'Office of Naval Research des États-Unis a été entrepris en mai 1996 pour mesurer l'évolution et la distribution des propriétés de l'eau de la mer du Labrador au cours de l'hiver de 1996-1997. Les organismes américains ont investi près de 440 000 dollars dans le projet, tandis que la contribution de Pêches et Océans Canada atteignait 576 000 dollars jusqu'à la fin du projet en mai 1998. Le chef du projet est le Dr Allyn Clarke, de Pêches et Océans Canada à l'IOB. Cette collaboration a permis de mouiller en mer du Labrador une batterie d'émetteurs acoustiques devant constituer un système de navigation acoustique couvrant l'Atlantique Nord-Ouest. Ce système a été utilisé pour positionner un grand nombre de flotteurs subsur-

face qui ont été déployés dans la région au cours des douze mois qui ont suivi.

- Les laboratoires et l'expertise de l'Institut de Bedford ont été de nouveau mis à la disposition de l'entreprise Brooke Ocean Technology Ltd., de Dartmouth (N.-É.) en 1996 et 1997. La société a travaillé, avec l'aide de l'équipe du Dr Alex W. Herman, à concevoir, construire et mettre à l'essai un système CTD remorqué. Le Dr Herman est bien connu pour sa contribution régulière aux activités de transfert de technologie dans le secteur de l'océanologie.
- Le Service hydrographique du Canada, à la demande de l'entreprise locale Scallop Seafood Industry Ltd. et suite à une entente de commercialisation avec Nautical Data International de St. John's (T.-N.), a entrepris un projet de production de cartes du plancher océanique et d'images du banc Browns pour la gestion de l'habitat du poisson, l'établissement de cartes de navigation et de cartes géologiques. Ce projet, qui a débuté en 1997, produira des données sur la cartographie du plancher océanique qui seront mises à la disposition de l'industrie de la pêche et d'autres clients potentiels sous forme de disques compacts.
- L'équipe chargée de l'aquaculture dans la Région continue de fournir des données précieuses aux partenaires de l'industrie par le transfert direct de technologie grâce à des subventions octroyées dans le cadre de l'Entente de coopération Canada-Nouveau-Brunswick sur le développement économique de nouvelles espèces aquacoles; les travaux sont axés sur la production de géniteurs d'aiglefin et de flétan, l'élevage de larves et leur nutrition, et la formulation de régimes alimentaires, et sur les diagnostics concernant la santé des poissons; la dynamique des larves de pétoncles et de myes, et l'amélioration du recrutement; enfin, les maladies et les parasites des coquillages. Au cours de 1996, un projet conjoint sur l'élevage de saumon atlantique transgénique a été parachevé en partenariat avec A/F

Protein Canada Inc. et, en 1996-1997, un projet sur les techniques de production de masse d'aiglefins juvéniles a été mené en partenariat avec Maritime Mariculture Inc. Nous avons également participé au jumelage de projets de recherche avec des membres de l'industrie coquillière, par le biais de l'initiative de recherche aquacole et halieutique de l'Î.-P.-É., en examinant les méthodes pour améliorer la culture des myes et des palourdes, des moules et des huîtres. Les recherches appliquées sur la salmoniculture se poursuivent de concert avec des partenaires industriels qui examinent les effets de l'éclairage des cages sur la maturation des poissons et le passage à l'état de grilse.

- Le Service hydrographique du Canada a travaillé activement à la formulation de dispositions de partenariat pour recueillir des données produites par des sonars multifaisceaux sur la plate-forme Néo-Écossaise et améliorer la cartographie de la côte du Labrador. En 1997, un projet conjoint a été mené avec le groupe Seabed Exploration Associates en vue du transfert de technologie et de la collecte d'images multifaisceaux pour la mise en place d'un gazoduc sur la plate-forme Néo-Écossaise. Un projet à long terme a été amorcé avec la Voisey's Bay Nickel Company pour effectuer des contrôles de la qualité et produire de nouvelles cartes de la baie Voisey (Labrador). On a terminé les négociations avec Nautical Data International qui visaient à financer le traitement des données multifaisceaux du banc Browns et à commercialiser et développer les produits ainsi obtenus.
- Sri Lanka – La CGC-A, à la demande du Fonds autorenouvelable des Nations Unies pour l'exploration des ressources naturelles, a entrepris un levé du littoral à la recherche de minéraux lourds au large de la côte du Sri Lanka. Dans le cadre d'une coentreprise avec Canadian Industries Limited, l'équipe a utilisé Seistec, un système de sismique-réflexion canadien, qui convient bien pour reproduire des images des sédiments

grossiers en eau peu profonde. Le levé, dont le coût a été entièrement recouvert, a permis de cartographier les dépôts ayant une valeur économique potentielle et à identifier des sites en vue de l'échantillonnage futur et de l'évaluation des ressources.

- Location d'équipement – La CGC-A possède des appareils spéciaux pour les travaux en mer qu'elle met à la disposition de partenaires de l'extérieur selon certaines conditions. Des demandes internationales de collaboration scientifique font souvent appel à ces appareils spécialisés. En vertu d'une entente, la CGC-A peut prêter ces appareils à l'industrie pour lui permettre de présenter des soumissions pour des contrats. Par exemple, la CGC-A met à la disposition de la compagnie canadienne Geoforce ses sismomètres de fonds marins; cette firme veut soumissionner en vue d'obtenir un contrat avec la British Antarctic Survey pour effectuer des levés dans l'Atlantique Sud.

Fishermen and Scientists Research Society

La Fishermen and Scientists Research Society (FSRS), organisme à but non lucratif, est un partenariat actif entre des pêcheurs et des scientifiques, dont l'objectif global est d'établir et de maintenir un réseau de personnes compétentes oeuvrant dans le secteur de la pêche afin de recueillir des données sur la durabilité à long terme des pêches maritimes dans la région de l'Atlantique, et de faciliter et de promouvoir un dialogue efficace entre les pêcheurs, les scientifiques et le public en général. Plus particulièrement, elle vise à conclure un partenariat entre les pêcheurs et les scientifiques afin d'augmenter les interactions, les communications et la coopération dans les domaines suivants :

- participation des pêcheurs au processus d'évaluation des stocks;
- amélioration du processus d'évaluation des stocks en rendant accessibles des données que seuls les pêcheurs peuvent obtenir sur une base quotidienne;
- meilleure connaissance des autres membres de la FSRS;

- participation des pêcheurs à l'élaboration d'une base de données solides, dont le principal objectif est de contribuer à une gestion plus efficace de la ressource.

VISITEURS

Comme les années précédentes, les établissements régionaux ont reçu de nombreux visiteurs de marque, tant canadiens qu'étrangers. Citons en particulier les visites des personnalités suivantes :

- M^{me} Raquel Guerstein de la Universidad Nacional del Sur, Bahia Blanca (Argentine) a travaillé à la CGC-A pendant un an grâce à une bourse de l'Argentine pour des travaux en biostratigraphie.
- En 1996 et 1997, la GCC-A a organisé 75 visites pour le secteur pétrolier. En général, les entreprises demandaient un breffage sur les activités au large de la côte de l'Atlantique canadien, et plus particulièrement sur des études des sites réalisées par la CGC, comme la modélisation de la charge en hydrocarbures du bassin Hibernia et des études environnementales concernant les dangers que présentent ces activités offshore.

Visiteurs de marque à la SBSA :

- 5 novembre 1996 - Groupe de travail du caucus libéral sur l'aquaculture (dirigé par George Rideout)
- 20 juin 1997 - Jim Barkhouse, ministre des Pêches et de l'Aquaculture de la Nouvelle-Écosse
- 20 juin 1997 - Kevin MacAdam, ministre des Pêches et de l'Environnement de l'Î.-P.-É.
- 28 novembre 1997 - Délégation de scientifiques norvégiens invités par le ministère des Pêches et de l'Aquaculture du Nouveau-Brunswick pour discuter du problème de l'anémie infectieuse du saumon (Tor Håstein, Knut Falk, Tyrgve Poppe, Are Nylund, Yngve Torgersen, Martin Binde, Asgeir Østvik)

- 5 septembre 1997 - Gilbert Normand, secrétaire d'État fédéral (Pêches et Océans, Aquaculture et Agroalimentaire).

Visiteurs à l'IOB en 1996 et 1997 :

- 15 juillet 1996 - Fred Woodman, président du CCRH
- 27 août 1996 - 20 boursiers du Center for International Affairs, de l'Université Harvard, ont visité l'IOB où ils ont assisté à une présentation sur l'exploration scientifique de l'Atlantique et de l'Arctique par l'IOB
- 21 mars 1997 - Son Altesse royale le prince Phillip a présidé à l'IOB un Atelier du Fonds mondial pour la nature sur les espèces menacées
- 4 juillet 1997 - Le ministre des Pêches et des Océans, David Anderson, a visité l'IOB et a participé aux cérémonies de remise des récompenses aux employés. (Mention d'excellence du sous-ministre et récompenses)
- 3 septembre 1997 - L'honorable Gilbert Normand, député et secrétaire d'État, Pêches et Océans et Agriculture et Agroalimentaire, a visité l'Institut.

INSTALLATIONS ET SERVICES DE SOUTIEN

PUBLICATIONS

Les établissements communiquent avec leurs clients respectifs par divers moyens : articles de journaux, rapports et cartes marines. En 1996 et 1997, ils ont continué à publier à un rythme soutenu. Les publications suivantes méritent d'être citées :

- Parmi les nouvelles cartes et les nouvelles versions produites par le Service hydrographique du Canada en 1997, deux produits sont à signaler :
- La nouvelle carte 4854 du havre Catlina à Inner Gooseberry Islands
- La nouvelle carte 4855 de la partie sud de la baie Bonavista.

- Représentant des années d'effort pour la collecte des données et leur compilation, ces nouveaux produits remplacent les cartes de l'Amirauté britannique fondées sur des levés hydrographiques remontant à la fin du XIX^e siècle. Leur publication a coïncidé avec les célébrations du 500^e anniversaire de la découverte de Terre-Neuve par Jean Cabot et l'ouverture du centre d'interprétation de la mer au Parc national Terra Nova (Terre-Neuve); ces cartes sont une amélioration précieuse pour la communauté des gens de mer.

- Un guide sur l'élevage du bar rayé a été publié en 1996 : PETERSON, R.H., D.J. MARTIN-ROBICHAUD, P. HARMON ET A. BERGE. 1996. Notes sur l'élevage du bar rayé et son application aux provinces maritimes. Ministère des Pêches et des Océans, Direction des communications, Halifax, ii, 39 p. (also available in English)

- Une publication marquante dont le co-auteur est un employé de la SBSA, Dave Wildish : WILDISH, D. and D. KRISTMANSON. 1997. Benthic suspension feeders and flow. Cambridge, UK : Cambridge University Press. 409 p. John Loch

Les technologies sonar de pointe dans l'évaluation des stocks pélagiques

N.A. Cochrane

Introduction

Les lecteurs qui se sont déjà servis d'échosondeurs à faisceau vertical ou de détecteurs de poissons ont probablement été impressionnés par la visibilité des échos des poissons. En 30 ans de recherche, les chercheurs des universités et de l'industrie ont transformé l'échosondeur classique à faisceau vertical en un outil toujours plus performant qui permet à la fois de mesurer la biomasse totale d'un stock de poisson et de dénombrer et caractériser les échos individuels des poissons à l'aide des techniques dites du " faisceau double " et du " faisceau partagé ". L'année 1998 a vu la première utilisation officielle de l'échosondage classique appliqué à l'estimation des stocks de hareng dans la Région des Maritimes.

Même si elles sont déjà utiles pour l'évaluation des stocks, les techniques et méthodologies acoustiques peuvent être davantage raffinées. L'application des méthodes du levé acoustique " classique " aux stocks pélagiques de hareng présente deux difficultés particulières : tout d'abord, les bancs de harengs sont parfois si petits et dispersés qu'on ne les détecte que peu fréquemment pendant un levé acoustique. Par exemple, si l'on utilise un échosondeur à faisceau vertical étroit, les bancs de harengs mesurant quelques dizaines de mètres et espacés de quelques centaines de mètres ne seront repérés que pendant environ 1 % de la durée totale du levé. À moins de disposer de ressources permettant de passer un grand nombre de fois sur un même fond de pêche, on n'obtiendra que des estimations imprécises de la population de poissons, car on n'aura pu repérer qu'un petit échantillon, probablement non représentatif. Le deuxième problème est lié au comportement des

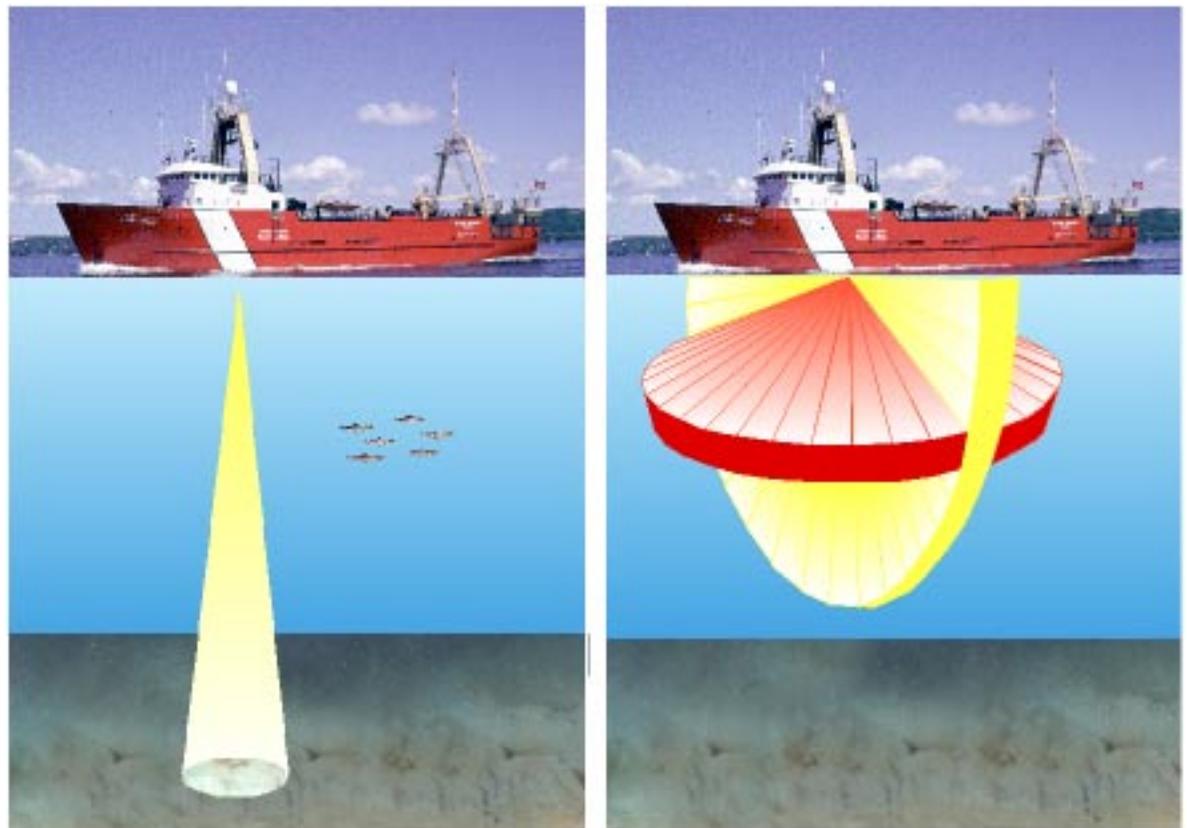


Figure 1 : Échosondeur classique et sonar à couverture spatiale

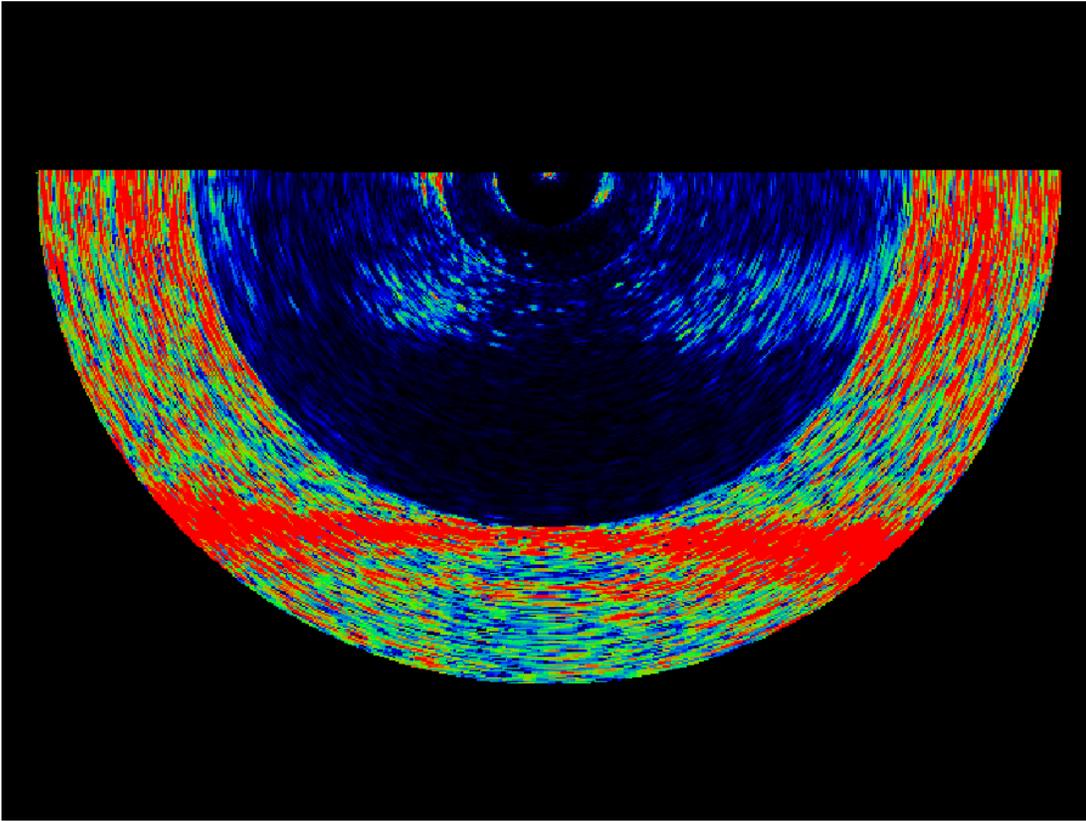


Figure 2 : Échos de harengs (traits allongés sur fond noir) enregistrés sur le banc Germain dans une seule section verticale de sonar multifaisceaux. Portée totale d'environ 70 m. Le cercle extérieur représente le bruit reflété par le fond (ligne rouge horizontale à environ deux tiers de distance du rebord inférieur).

poissons. Le hareng a une bonne ouïe et s'éloigne lorsqu'il entend le grondement des moteurs d'un bateau qui s'approche. C'est évidemment un problème avec l'échosondeur classique qui ne voit que dans la direction verticale au-dessous du bateau - problème particulièrement difficile à quantifier.

Travaux en mer Travaux du début

À partir de l'été 1995, Gary Melvin, halieute du MPO en poste à la Station de biologie de St. Andrews, et moi-même, acousticien à l'Institut océanographique de Bedford, avons commencé à examiner des sonars conçus pour viser latéralement aussi bien que verticalement à partir d'un navire, ce qui devrait permettre d'améliorer les estimations acoustiques. Par exemple, l'emploi d'un sonar orienté latéralement et fonctionnant selon un mode de " tranche verticale " de bâbord à tribord (fig. 1) permet d'obtenir un balayage beaucoup plus large qu'avec un échosondeur à faisceau vertical. Pour notre premier essai en mer, nous avons employé un sonar SIMRAD MS 900 de 330 kHz au large de Margaretsville, dans la baie de Fundy. Dans ce type de sonar à balayage, le transducteur émetteur d'ondes acoustiques était mécaniquement orienté dans une série de di-

rections, dont certaines très éloignées de la verticale. Les premiers résultats ont été encourageants, car nous avons pu observer des bancs de harengs de façon assez détaillée jusqu'à des distances de 70-100 m. Au cours de l'été 1996, nous avons poursuivi les essais avec le MS 900 dans la baie de Fundy à bord du J.L. HART, et sur le banc Germain à l'aide du chalutier de recherche acoustique du MPO, le TELEOST. Au cours des mois suivants ont été développés des algorithmes de traitement quantitatif à l'IOB, et des techniques avancées de visualisation ont fait l'objet d'applications au département de Génie géodésique et géomatique de l'Université du Nouveau-Brunswick, sous la direction de Larry Mayer, avec l'aide de l'étudiant diplômé Yanchao Li. Les chercheurs ont découvert que le navire de levé éloignait le poisson vers le bas et vers l'extérieur par rapport au balayage, résultats qui ont été communiqués lors de la conférence scientifique OCEANS 97.

Avec un sonar à balayage comme le MS 900, il faut un temps relativement long pour cartographier une " tranche " ou section verticale. Tout d'abord, on envoie une impulsion acoustique; on attend les échos, qui sont reçus et enregistrés; on oriente ensuite le transducteur dans une direc-

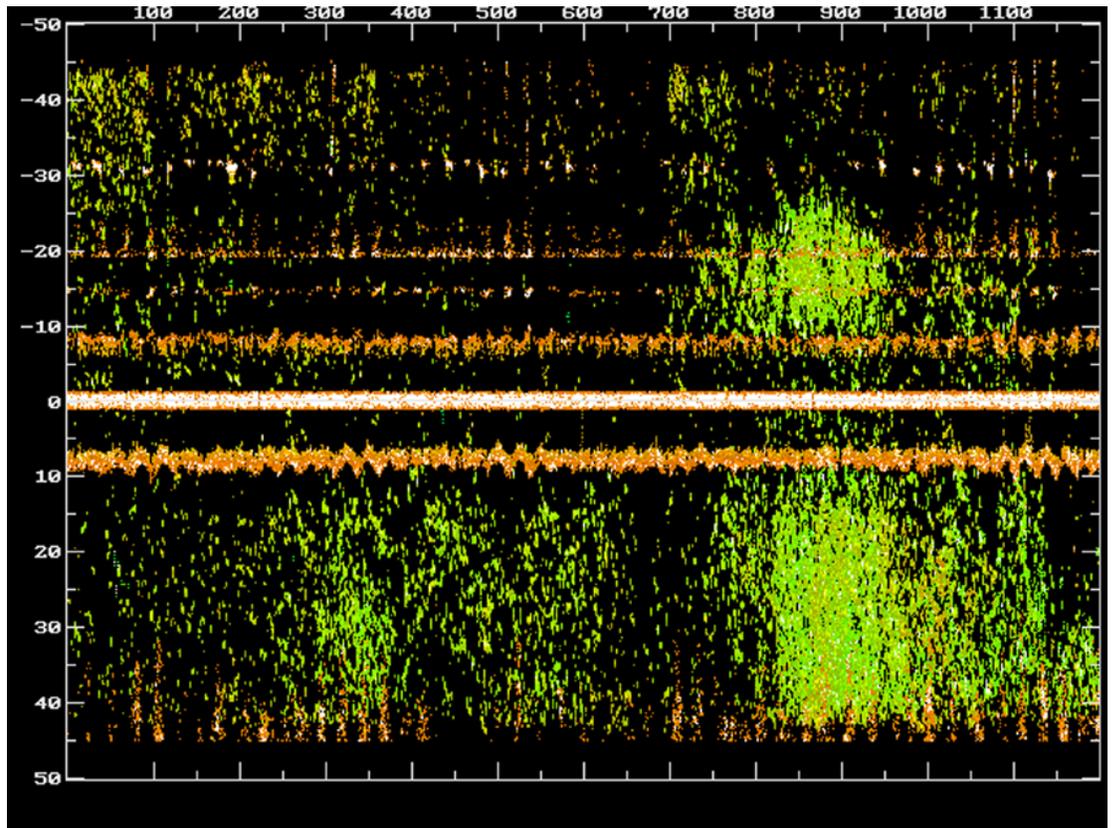


Figure 3 : Distribution horizontale du hareng le long de la route de levé du banc Germain, vue d'en haut. Les taches représentent les poissons (résolution individuelle).

tion légèrement différente, et on répète l'opération jusqu'à ce que toute la section, d'un côté à l'autre du navire, ait été entièrement insonifiée. Quand le bateau avance rapidement, le mode opérationnel " tranche verticale " ne peut échantillonner qu'une surface bidimensionnelle ondulée au sein du volume tridimensionnel de l'océan, ce qui donne un échantillonnage beaucoup moins serré qu'on ne le voudrait. La technologie est heureusement venue à notre rescousse avec les nouveaux sonars " multifaisceaux " qui assurent une couverture tridimensionnelle rapide et complète. Dans un sonar multifaisceaux, un transducteur acoustique fixe est divisé en une série de composantes électriques indépendantes ou " éléments ". Les signaux sonores reçus séparément par les éléments sont combinés électroniquement, de sorte qu'un grand nombre de faisceaux peuvent simultanément être " synthétisés ", chaque faisceau pointant dans une direction différente, ce qui permet de reconstituer de façon extrêmement rapide l'image de l'espace autour d'un navire. Depuis quelque temps, on trouve sur le marché des sonars multifaisceaux appliqués à la pêche commerciale, mais rares sont ceux qui possèdent une précision suffisante pour la recherche scientifique ou qui permettent d'extraire et d'enregistrer des données.

En 1996, nous avons pu accumuler une expérience précieuse grâce au sonar multifaisceaux Simrad SR 240 de 24 kHz monté sur le TELEOST. L'appareil nous a fourni une vue à assez faible résolution (11° de largeur de faisceau) de bancs de harengs présents autour du navire jusqu'à une distance d'environ 200-300 m, par un mode de recouvrement utilisant soit la tranche verticale soit une fauchée circulaire sur 360° (fig. 2). À l'IOB, nous nous sommes servis de modèles acoustiques pour examiner les effets de la réfraction, la flexion des ondes sonores qui se déplacent obliquement dans des couches d'eau où la vitesse du son est différente. La réfraction affecte seulement les sonars à visée oblique, pas les sondeurs à faisceau vertical. Dans les cas extrêmes, la taille et la profondeur apparentes des bancs de poissons peuvent être fortement distordues; certains bancs peuvent devenir totalement indétectables. Nous avons établi que la distorsion des images sonar peut être importante à des portées de plusieurs centaines de mètres, particulièrement au début de l'été, lorsque se produisent de forts changements de température en profondeur juste sous le transducteur. Si les résultats obtenus avec le sonar SR 240 ont été encourageants, il était nécessaire de travailler avec une unité multifaisceaux à plus forte résolution, équipée de sorties quantitatives qui faisaient défaut dans le SR 240.

Travaux récents

Après la saison en mer de 1996, nous avons appris que la division Mesotech de Simrad située à Port Coquitlam (C.-B.) achevait la mise au point d'un sonar multifaisceaux haute résolution de 200 kHz qui pourrait s'appliquer à nos travaux. C'est en septembre 1997, sur le banc Germain, que nous avons fait l'essai du nouveau SM 2000. Nous avons obtenu des résultats impressionnants dans le mode " tranche verticale ", qui consistait en balayages de 180° de bâbord à tribord, à une résolution de 1,5°, répétées jusqu'à cinq fois par seconde, avec enregistrement des données numériques. À l'IOB, le développement de logiciels de formation et de visualisation du faisceau en différé et de logiciels de traitement quantitatif des données a rapidement suivi, ainsi que des études théoriques sur les caractéristiques du faisceau selon différentes options de traitement.

La figure 3 montre, après traitement, une vue à la verticale de la distribution horizontale des poissons jusqu'à 50 m à bâbord et à tribord (axe des Y) de la route centrale de remorquage (zéro de l'axe des Y, le sonar étant remorqué à environ 10 m sur bâbord du navire). L'axe des X s'étend sur 750 m de profil et porte les numéros de transmission acoustique. Il est particulièrement intéressant d'observer la scission apparente d'un banc de harengs qui commence près de la transmission n° 800, avec une ligne " claire " située juste au-dessous du sonar. Ce tracé représente probablement une réaction d'évitement au bruit du moteur et de l'hélice du TELEOST. La portion du banc qui se trouvait au départ sur tribord s'est scindée et a été repoussée plus loin dans la même direction. La fraction du banc qui se trouvait juste devant le navire, et qui pouvait être partiellement protégée du bruit, passe avec moins de perturbations sous la coque. Nous cherchons à comprendre ces effets d'évitement, car ils peuvent influencer sur la précision quantitative d'une évaluation établie à l'aide d'un échosondeur embarqué à faisceau vertical.

En mai 1998, un radar SM 2000, acheté par le Pelagics Research Council avec l'aide du MPO, a été mis à l'essai en mer dans le centre de la plate-forme Néo-Écossaise, à proximité de la zone appelée " Patch ". Grâce à l'installation d'un transducteur émetteur séparé, on a réduit la largeur du faisceau de la proue à la poupe d'environ 20° à 1,5°, ce qui a amélioré la résolution dans le sens longitudinal aussi bien que transversal. Il était alors possible de résoudre les échos individuels de poissons rassemblés en densité 10 fois plus forte qu'auparavant, et d'observer de

menus détails spatiaux comme le creux en forme de ruche qui se dessine à l'intérieur des bancs de harengs. Ces données récentes sont en cours d'évaluation.

Orientations futures

Malgré les progrès réalisés dans le matériel et le traitement des signaux, nous avons de lourds défis à relever avant que le sonar puisse être utilisé de façon régulière dans l'évaluation des stocks. En particulier, l'intensité des échos sonar très éloignés de la verticale dépend fortement de l'orientation ou de la direction de nage des poissons - ce qui n'est pas le cas pour un échosondeur ordinaire. Si les techniques de moyennage statistique des signaux peuvent régler partiellement le problème, les volumes de données nécessaires seront beaucoup plus grands, ce qui pourrait compromettre quelque peu l'efficacité inhérente de l'utilisation du sonar. Nous pourrions à tout le moins extraire l'effectif, la superficie et le volume des bancs sur de larges balayages, ce qui donnerait des clés sur l'abondance. Il existe aussi un potentiel de dénombrement direct de certains échos de poissons pélagiques sur des sections verticales successives qui se chevauchent, ce qui pourrait constituer dans certains cas une forme d'évaluation particulièrement intéressante. De façon réaliste, notre but à court terme est de définir avec précision le mode d'évitement observé chez les poissons, et de le mettre en rapport avec les caractéristiques du bruit du navire et le comportement des poissons. Enfin, il serait possible de formuler pour les levés à l'échosondeur classique des corrections correspondant à ce comportement d'évitement, ou de fixer des critères de relevé (p. ex. des plages de profondeurs ou des moments de la journée, la proximité des frayères, etc.) afin de minimiser les effets de l'évitement.

Remerciements

Nous remercions tout spécialement Gary Melvin, de la Station de biologie de St. Andrews du MPO, partenaire de notre recherche depuis les débuts, ainsi que Chris Stevens, du Centre des pêches de l'Atlantique nord-ouest, qui nous a facilité l'utilisation du TELEOST et de ses instruments. Nos travaux ont été soutenus par Kongsberg Simrad-Mesotech Ltd., et nous remercions particulièrement M. John Gillis, du bureau de Dartmouth de Simrad. Le Pelagics Research Council nous a fourni du matériel et du personnel pour la campagne de 1998. Le financement provient du Programme national d'acoustique du MPO.

Pour améliorer la précision des prévisions en recherche et sauvetage

Peter C. Smith, Donald J. Lawrence, Keith R. Thompson, Jinyu Sheng, Gilles Verner, Judy St. James, Natacha Bernier and Len Feldman

Introduction

Le succès de toute opération de recherche et sauvetage en mer dépend de la précision des renseignements sur la dérive et du délai pour les obtenir. Le Centre de coordination des opérations de sauvetage (RCC) de la Garde côtière canadienne a la responsabilité d'obtenir ces renseignements et de les utiliser dans la planification des opérations de recherche. Le principal outil dont se sert le RCC à cette fin est un logiciel connu sous le nom de CANSARP (Programme canadien de planification de recherche et sauvetage). Pour prédire le mouvement d'un objet perdu en mer depuis sa dernière position connue, le logiciel se base sur les cartes des courants de

dérive dans la région considérée, fondées sur des observations historiques, sur un modèle mathématique simple qui évalue la composante éolienne des courants de dérive, ainsi que sur les facteurs empiriques de dérive due au vent (dérive accrue par l'action du vent sur les surfaces exposées). En se servant des prévisions de vent du Centre météorologique canadien (CMC) et en intégrant dans ses calculs les incertitudes liées aux facteurs de dérive due au vent, CANSARP prédit un ensemble de trajectoires de dérive possibles (fig. 1). Ces données servent ensuite à délimiter un secteur de ratissage qui englobe les positions les plus probables de l'objet des recherches.

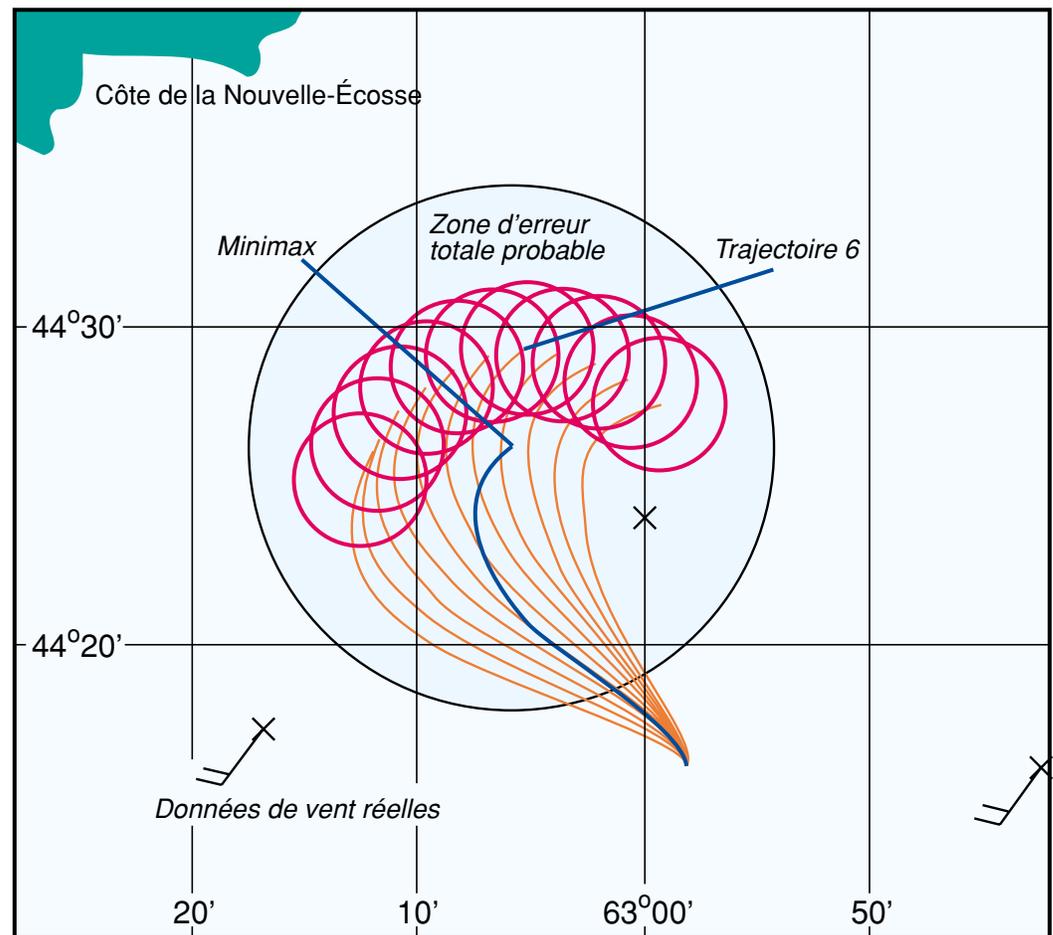


Figure 1. Exemple de prévisions de dérive CANSARP. Le grand cercle représente la zone d'erreur totale probable qui englobe tous les points extrêmes des trajectoires de dérive et les marges d'erreur correspondantes (Verner et al. 1998)

L'exactitude de ces renseignements est critique durant les premières heures d'une opération de recherche et sauvetage étant donné que :

- les erreurs de prévision et, par conséquent, le secteur à ratisser augmentent rapidement avec le temps.
- dans des conditions extrêmes (fortes tempêtes hivernales ou eaux très froides, p. ex.), les risques pour la vie humaine augmentent aussi de façon considérable avec le temps.

De toute évidence, le succès et le coût des opérations de sauvetage dépendent en grande partie de la précision des prévisions à court terme du logiciel CANSARP.

Pour améliorer ces capacités de prévision, la Garde côtière canadienne, le CMC, l'Université Dalhousie et l'Institut océanographique de Bedford

ont entrepris un programme conjoint de recherche et développement, conçu pour vérifier l'effet des prévisions améliorées des vents et courants de dérive. Les chercheurs se proposaient d'utiliser comme base de référence les taux de dérive observés lors d'une expérience menée au cœur de l'hiver sur la plate-forme Néo-Écossaise afin de comparer divers modèles, y compris CANSARP, dirigé par les modèles de prévision de vents standard ou haute résolution du CMC, ou encore par un nouveau modèle de circulation océanique élaboré à l'Université Dalhousie.

Les essais en mer

Description

Les essais du CANSARP en mer ont été effectués au mois de février 1996, sur la plate-forme Néo-Écossaise au large de Halifax. Se fondant sur l'expérience du Programme canadien d'étude des tempêtes dans l'Atlantique (CASP; Anderson et Smith, 1989) mené dans les années 1980, l'essai du CANSARP faisait appel à une station de mesures formée de deux courantomètres ancrés, d'une bouée météorologique MINIMET (fig. 2b), et des relevés hydrographiques hebdomadaires ainsi que le déploiement de différents groupes d'objets flottants le long de la station de mesures. Le programme PCETA avait révélé que l'écoulement de surface moyen à fort cisaillement du courant Néo-Écossais se situait grosso modo entre les verticales des isobathes 100 et 170 m (fig. 2a), et que les fortes tempêtes hivernales, environ deux par semaine, modifiaient profondément la situation. Les chercheurs s'attendaient donc à ce que les essais du CANSARP avec des bouées dérivantes, réalisés sur plusieurs semaines, illustrent l'importance de la variabilité des courants et des vents.

Cinq types (ou configurations) différents d'objets flottants ont été utilisés lors de ces essais (fig. 3a). L'Accurate Surface Tracker (AST) de la SEIMAC est une bouée dérivante en forme de baril avec un tirant d'eau de 80 cm et un petit mât qui dépasse à la surface. Elle présente les mêmes caractéristiques de dérive (c.-à-d. de résistance au vent) qu'une personne à la mer et son comportement est bien connu grâce à de nombreuses expériences antérieures. Les bouées Convertible Accurate Surface Tracker (CAST) de la SEIMAC étaient lestées pour immerger à environ 15 m de profondeur (soit celle du moins profond des courantomètres ancrés) afin de suivre les courants à cette profondeur. Les chercheurs ont aussi utilisé trois cibles de recherche et sauvetage plus réalistes : un petit doris (5,2 m) lesté d'un poids de 159 kg et relié à une AST permettant d'en suivre le déplacement, ainsi que des radeaux de sauvetage

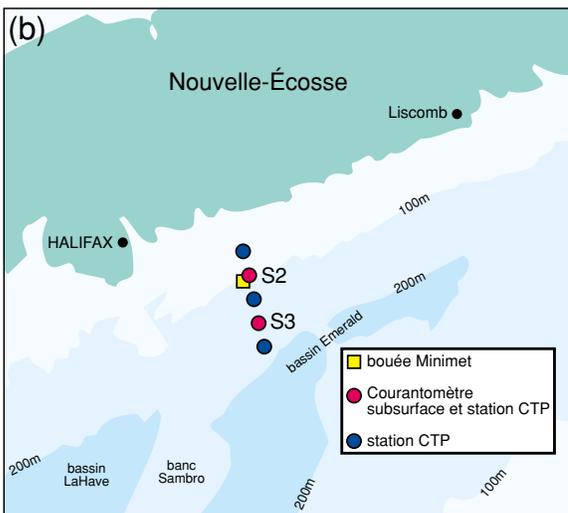
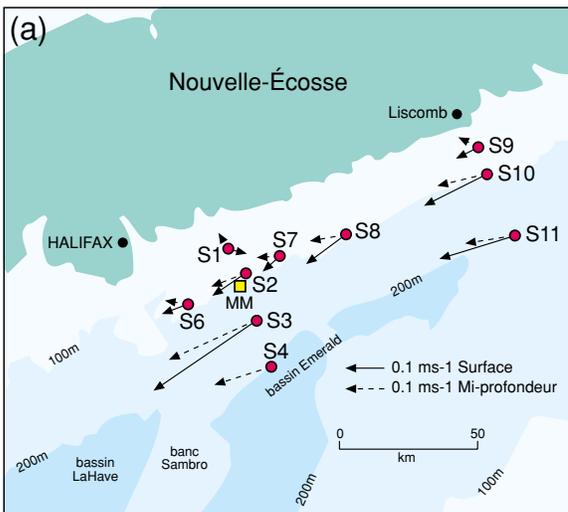


Figure 2. a) Courants moyens observés 1985-1986 b) Emplacements des courantomètres et principaux instruments CTP utilisés pour l'expérimentation sur le terrain du logiciel CANSARP, février 1996

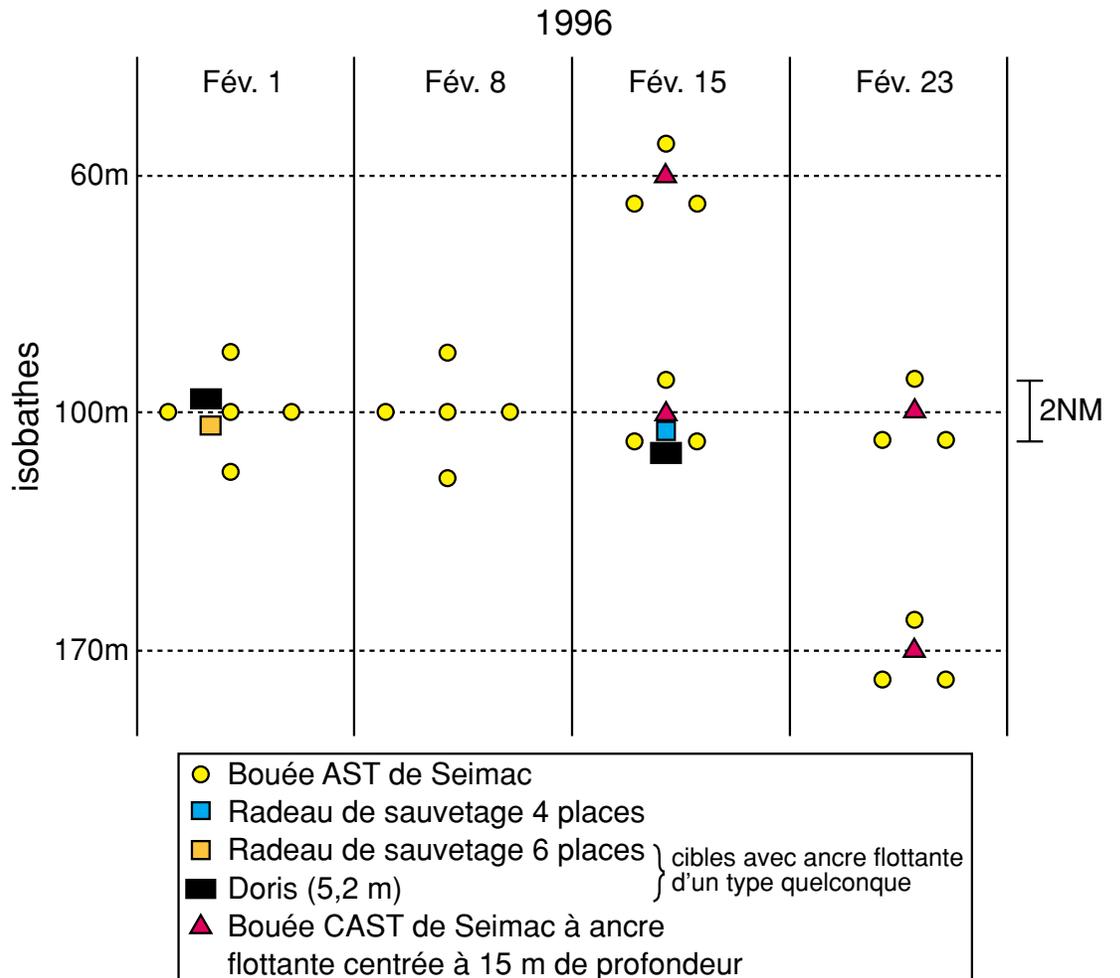
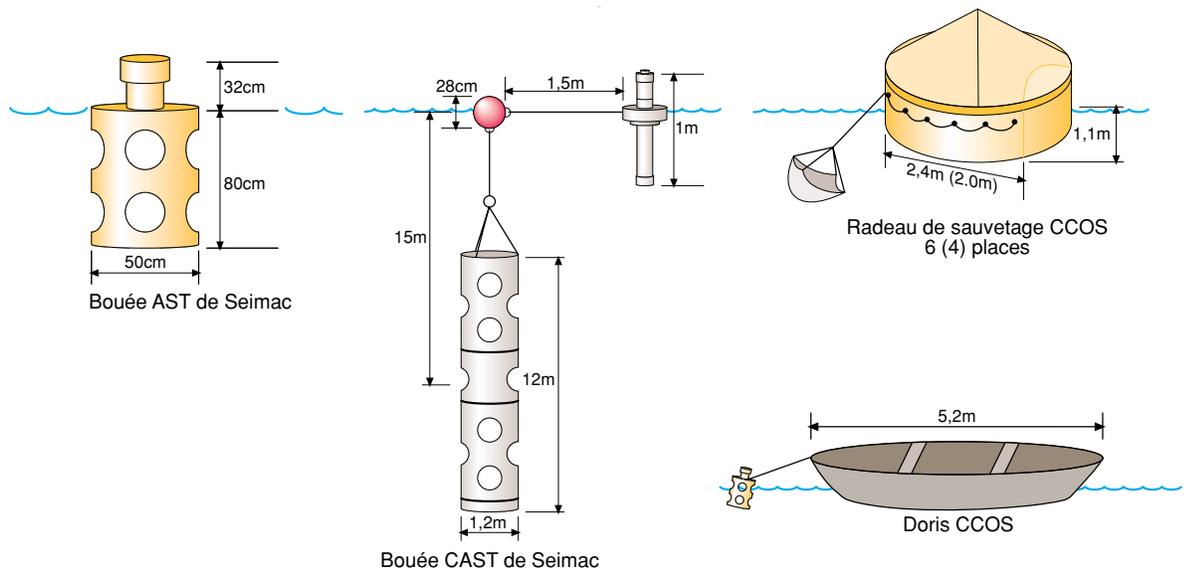


Figure 3. Expérimentation sur le terrain du logiciel CANSARP

a) Types d'objets flottants utilisés

b) Groupements d'objets flottants

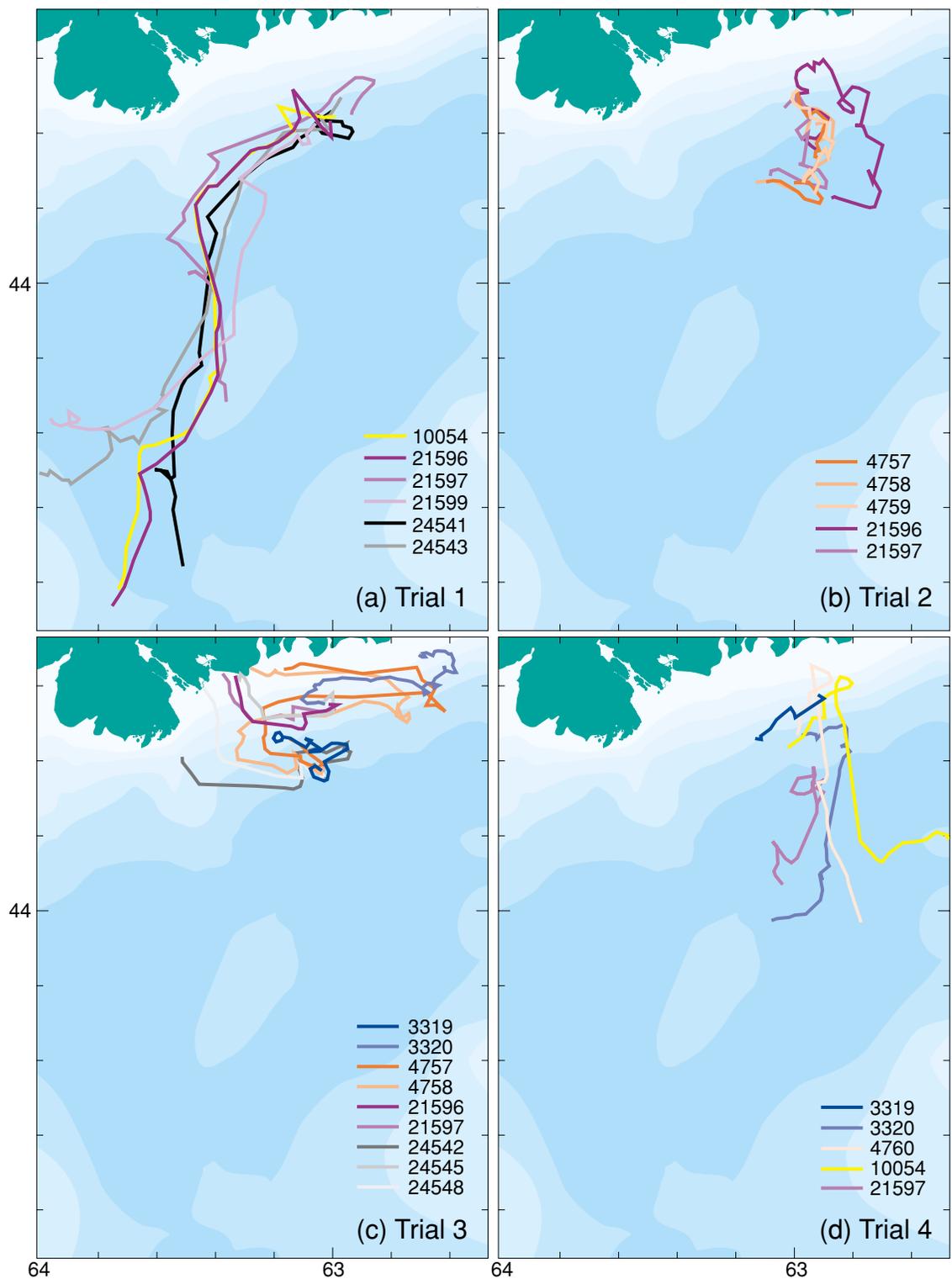


Figure 4. Trajectoires des objets flottants au cours des quatre essais de l'expérience CANSARP en février 1996

4 et 6 places lestés, avec et sans ancre flottante. La plupart des AST étaient munies d'un système de navigation qui donnait leur position à toutes les heures avec une précision de ± 10 m. Les bouées dérivantes CAST et les AST reliées aux radeaux de sauvetage et au doris étaient équipées pour leur part d'un système dont la précision n'était que de ± 150 m.

Chaque semaine, des groupements différents d'objets flottants étaient déployés (fig. 3b).

Résultats des essais

Les trajectoires des objets flottants (fig. 4.) montrent une grande variabilité du champ de dérive en surface entre les quatre essais. Toutes les trajectoires de l'essai 1 (fig. 4a) vont vers le large,

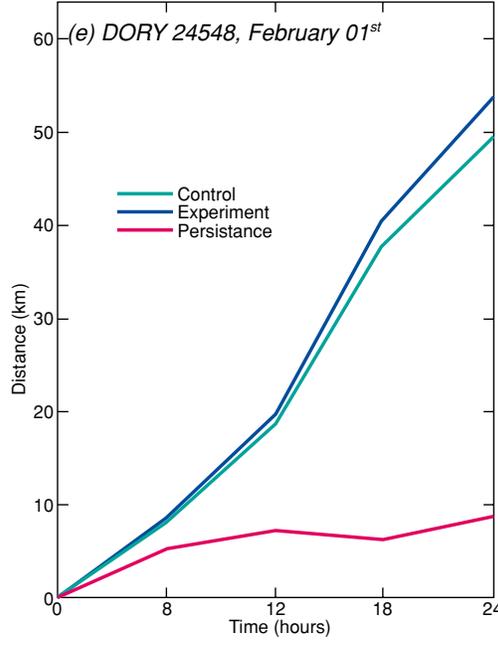
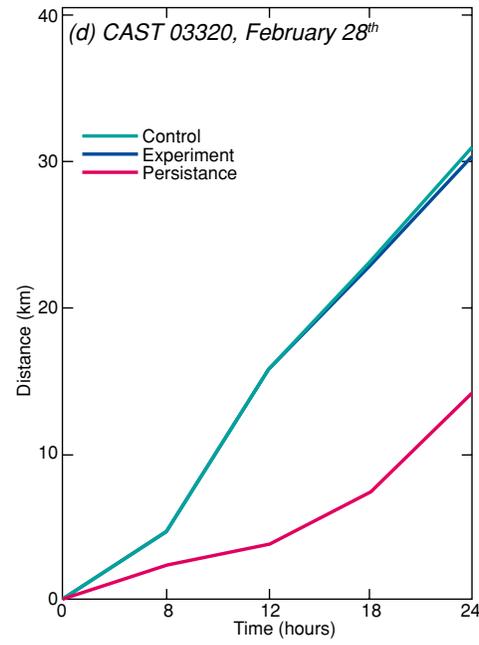
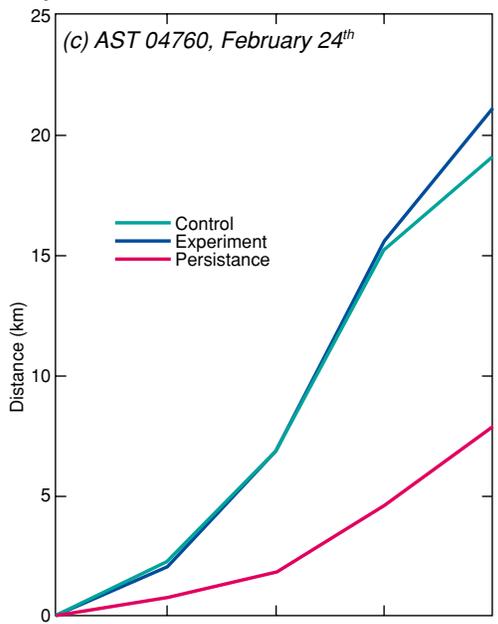
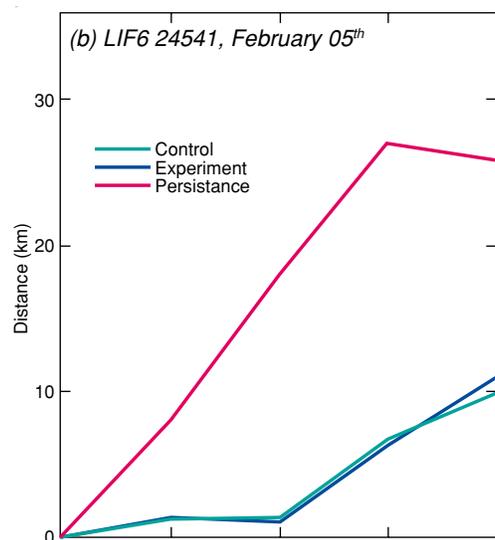
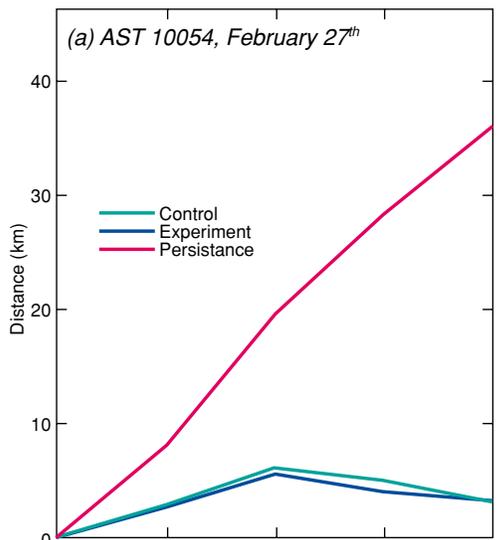


Figure 5. Evolution de la dérive sur 24 heures de divers types d'objets flottants. Comparaison entre le déplacement observé des objets (persistence) et les simulations CANSARP avec prévisions de vent par modélisation standard et haute résolution).

- a) Bouée AST n° 10054, 27 février 1996
- b) RS6 n° 24541, 5 février 1996
- c) Bouée AST n° 4760, 24 février 1996
- d) Bouée CAST n° 3320, 28 février 1996
- e) Doris n° 24548, 1^{er} février 1996

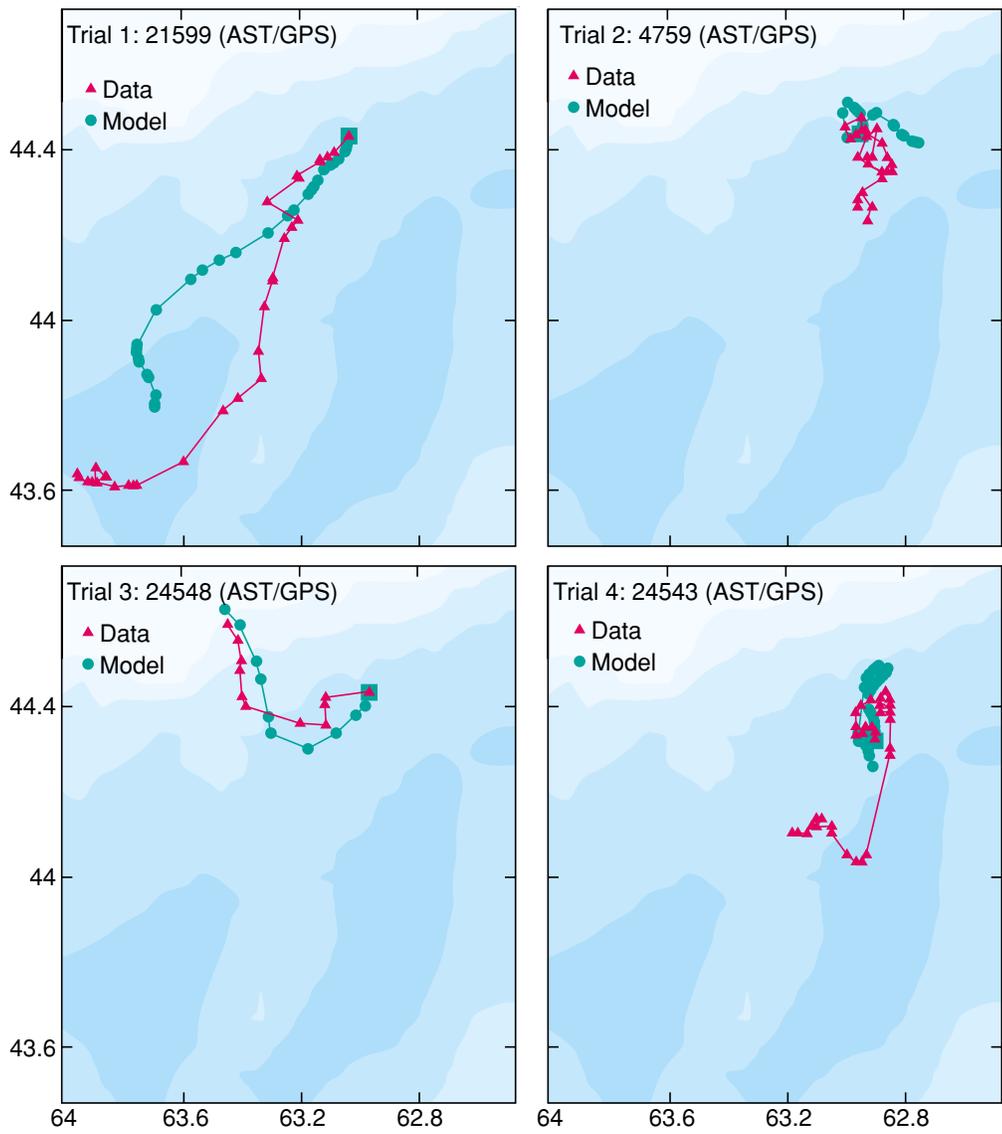


Figure 6: Trajectoires de dérive typiques observées et prédites durant les expériences sur le terrain de CANSARP

direction sud-ouest, à grande vitesse et suivent apparemment une dorsale topographique (banc Sambro), comme le suggère la circulation de fond moyenne (Sheng et Thompson, 1996). Les trajectoires de l'essai 2 (fig. 4b) vont généralement dans la même direction, mais à une vitesse beaucoup plus lente. Par contre, au cours de l'essai 3 (fig. 4c), toutes les bouées sauf quatre (2 CAST et 2 AST) ont été rabattues vers le rivage par les forts vents soufflant du sud entre le 16 et 18 février. Enfin, les trajectoires de l'essai 4 (fig. 4d) vont vers le large, mais divergent vers l'est et l'ouest à peu près à 44° N, mettant en évidence l'importance des particularités à petite échelle (~10 km) du champ de courant de surface. Manifestement, le degré de variabilité noté entre les essais et l'absence d'un épisode de vent significatif (tempête) durant toute la période des essais posera des difficultés à tous les systèmes de prévision, même les meilleurs. Néanmoins, on

a remarqué une corrélation entre les vitesses de dérive et, d'une part, le niveau de la mer à Halifax et, d'autre part, les composantes perpendiculaires au rivage des courants à faible profondeur par rapport aux courantomètres (Sheng et al., 1999), ce qui permet de conclure que l'on peut, dans une certaine mesure, déduire la dérive à partir de relevés éloignés.

Pour de meilleures prévisions de vent

Au cours de l'expérience CANSARP, on a utilisé les prévisions de vent de surface produites par le modèle opérationnel du Centre canadien de météorologie, dit Modèle atmosphérique régional aux éléments finis. On a élaboré deux versions de ce modèle : pour fins de contrôle, le modèle opérationnel nord-américain standard à résolution de 35 km et, pour les essais, une version haute résolution (12 km) configurée pour couvrir la zone d'exploitation de CANSARP. L'évaluation

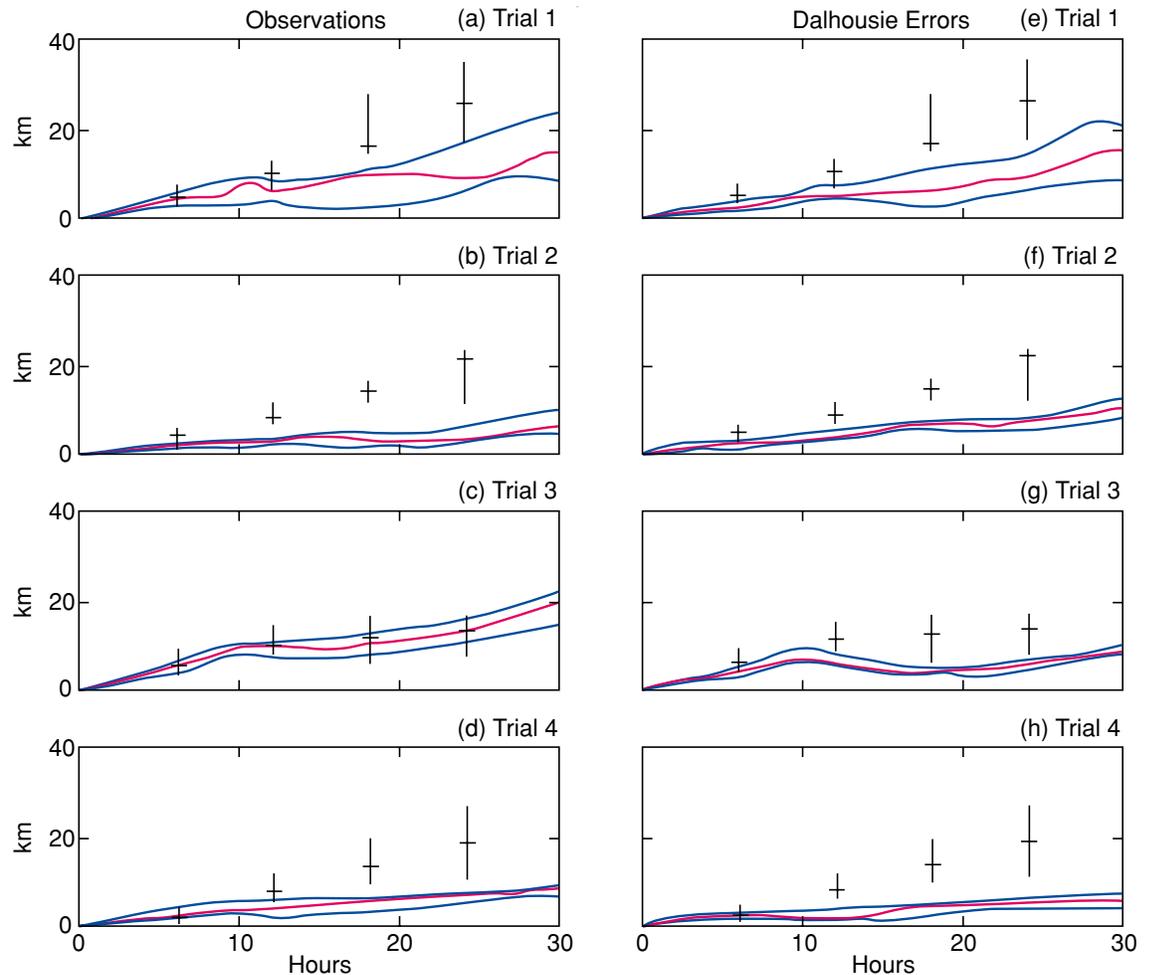


Figure 7: Déplacement des dériveurs par rapport à leur position initiale (a-d: panneaux de gauche) et à leur position prévue (e-h: panneaux de droite) pour les trente premières heures de dérives seulement. La ligne continue montre le rayon temporalisé d'un cercle qui englobe 50% des dériveurs. Les lignes pointillées supérieures et inférieures représentent les quartiles du 25% et du 75% respectivement. Les croix représentent le quartile médian et le premier et le troisième quartile des rayons d'erreur du CANSARP à des intervalles de 6, 12, 18 et 24 heures après le début de la dérive.

préliminaire des deux versions (12 et 35 km) par comparaison d'une série de prévisions aux observations (14 novembre 1995 à 12 UTC) a indiqué que le modèle haute résolution ne donnait pas un gain de précision significatif par rapport au modèle standard. Plus précisément, les prévisions de vitesse et de direction du vent fournies par les deux modèles affichaient des erreurs systématiques et des erreurs-types largement variables quoique à peu près du même ordre par rapport aux observations de 22 stations établies le long de la côte est du Canada. Malgré cette constatation, il a été décidé de tester les deux modèles sur le domaine CANSARP.

Afin de vérifier la capacité du modèle CMC haute résolution à améliorer les simulations CANSARP de la dérive de surface, les chercheurs ont analysé 54 trajectoires de dérive observées sur différentes périodes de 24 heures au cours des essais en mer. Ils se sont servis à cette fin des

courants de surface et facteurs de dérive due au vent utilisés couramment par CANSARP, repris du Manuel national de recherche et de sauvetage. Les courbes de déplacement en fonction du temps (fig. 5) indiquent qu'il y a très peu de différence entre les prévisions des modèles haute résolution (12 km) et standard (35 km), dans tous les cas étudiés. Ainsi, les champs de vent du modèle haute résolution n'apportent aucun gain de performance mesurable du CANSARP par rapport à celui obtenu avec les champs standard. De plus, dans les cas où le déplacement net de l'objet est faible, une prévision fondée sur la persistance (c.-à-d. dérive nulle) donne de meilleurs résultats que les deux modèles utilisés. Cette constatation est vérifiée par les moyennes globales de déplacement pour l'ensemble des 54 trajectoires étudiées, sauf en ce qui concerne les radeaux de sauvetage (RS4, RS6). Il se peut que cette divergence soit attribuable à l'influence prédominante du forçage éolien sur le comportement dynamique des

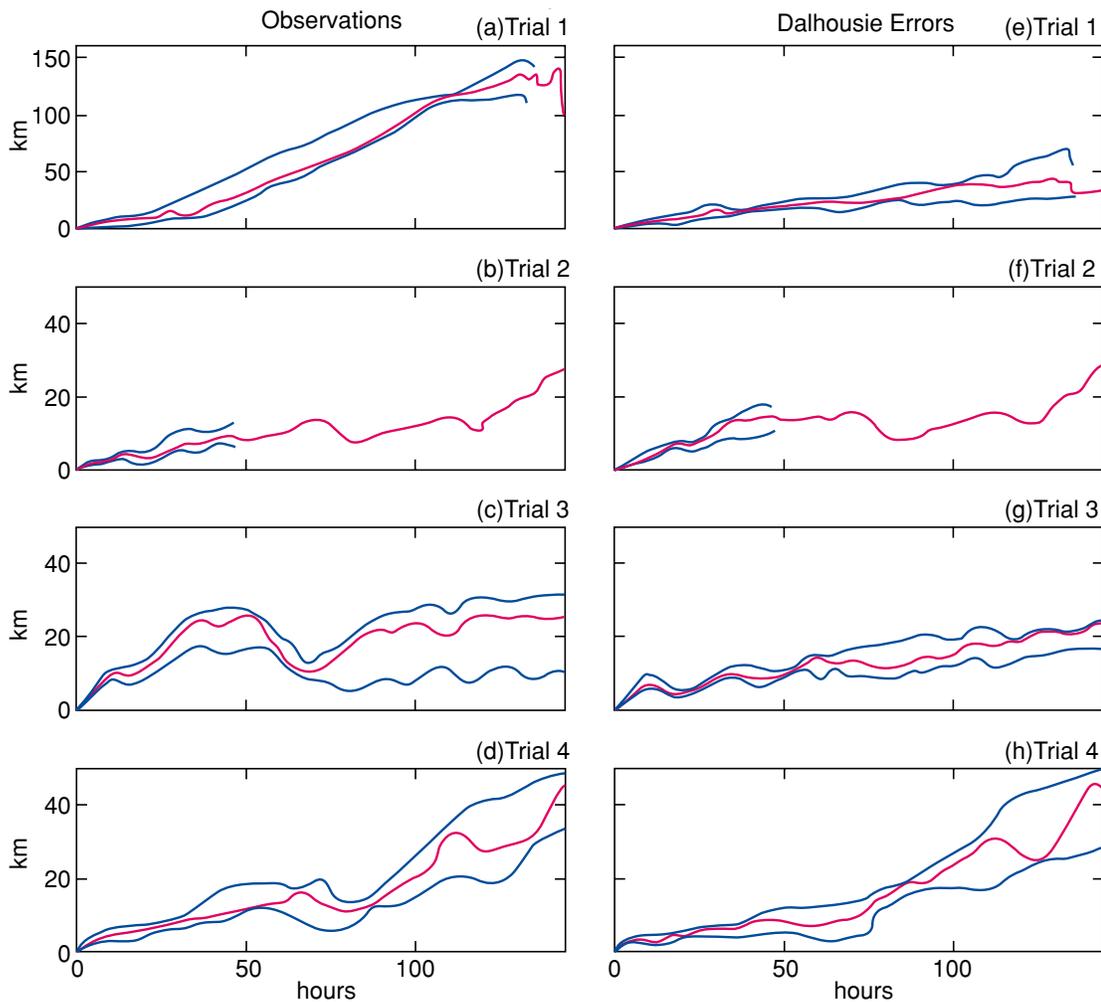


Figure 8: Déplacement des dériveurs par rapport à leur position initiale (a-d: panneaux de gauche) et à leur position prévue (e-h: panneaux de droite) comme à la figure 7, mais pour toute la période de 140 heures de dérive.

radeaux de sauvetage. Toutefois, la conclusion préliminaire reste que le nouveau modèle haute résolution n'améliore pas les simulations CANSARP.

Vers un modèle plus performant

Dans le but d'améliorer les prévisions de dérive en surface, les chercheurs ont également modifié un modèle de circulation tridimensionnel, mis au point à l'université Dalhousie (Sheng et Thompson 1993), pour pouvoir calculer les trajectoires de dérive d'objets flottants et les comparer aux simulations CANSARP. Ce modèle est fondé sur l'hypothèse que l'écoulement peut être estimé par sommation de deux composantes :

- a) une composante à variation saisonnière extraite du champ de densité observé;
- b) une composante due au vent et aux courants à l'extérieur des limites du modèle.

L'écoulement de surface hivernal attribuable aux différences de densité a été estimé au moyen d'une méthode de diagnostic robuste proposée par Sheng et Thompson (1996), qui suppose un équilibre dynamique du champ de fond et son invariance sur une échelle de temps inférieure à une saison. La composante due au vent et aux courants hors limites est obtenue en appliquant la méthode spectrale dite de Galerkin où la structure verticale du courant est représentée par la combinaison linéaire d'un nombre limité (10) de fonctions de base. Cette méthode permet de rendre la majeure partie de la variabilité à court terme du champ tout en simplifiant considérablement le calcul.

Les trajectoires des objets flottants ont été dérivées du modèle par intégration de l'équation suivante :

$$d\mathbf{x}(t)/dt = \mathbf{u}(\mathbf{x},t) + a\mathbf{w}(\mathbf{x},t) ,$$

où $x(t)$ est la position de l'objet au temps t , $u(x,t)$, la vitesse du modèle, $w(x,t)$, la vitesse du vent et a le facteur de dérive. Les facteurs de dérive appliqués aux intégrations du modèle de Dalhousie provenaient de relevés et de modélisations réalisés récemment et non du Manuel national de recherche et de sauvetage utilisé pour les fins des simulations CANSARP. La formulation du modèle et sa mise en oeuvre sont expliquées plus en détail dans Thompson et al. (1999).

Comparaison des trajectoires

Les trajectoires représentatives du modèle se comparent relativement bien aux trajectoires observées (fig. 6). Le modèle estime bien la forte dérive en direction sud-ouest notée durant l'essai 1 ainsi que la dérive vers le rivage lors de l'essai 3, mais il semble sous-estimer les dérives vers le large des essais 3 et 4.

Comparaison des erreurs aux courtes échelles de temps (de 0 à 30 heures)

Pour obtenir des comparaisons plus quantitatives, les chercheurs ont porté sur un graphique l'expression statistique de trois séries d'erreurs sur les 30 premières heures de dérive (fig. 7) :

- les déplacements observés représentant les erreurs des prévisions fondées sur la persistance (dérive nulle),
- les écarts des prévisions CANSARP par rapport aux positions observées des objets flottants,
- les écarts du modèle Dalhousie par rapport aux positions observées.

Dans cette figure, les écarts statistiques des prévisions CANSARP sont indiqués à la fois par rapport aux positions observées (à gauche) et aux écarts du modèle Dalhousie (à droite), après 6, 12, 18 et 24 heures, sous formes de croix représentant les rayons des zones circulaires renfermant respectivement 25, 50 et 75 % des objets flottants, soit les rayons des zones de recherche typiques. À cette échelle de temps particulièrement significative dans les opérations de recherche-sauvetage, le modèle Dalhousie surpasse nettement le programme CANSARP pour tous les essais, et les prévisions fondées sur la persistance (comparaison des panneaux de gauche et de droite) dans le cas de l'essai 3 seulement. Après 24 heures, les rayons de la zone renfermant 50 % des objets flottants de l'essai 1 d'après le programme CANSARP et le modèle Dalhousie diver-

gent grosso modo par un facteur de trois, ce qui représente un facteur de neuf dans les superficies. Les prévisions fondées sur la persistance (panneaux de gauche) sont également plus exactes que les prévisions CANSARP pour tous les essais sauf l'essai 3.

Comparaison des erreurs aux longues échelles de temps (de 0 à 140 heures)

Les mêmes mesures statistiques des déplacements observés des objets flottants sont présentées dans les panneaux de gauche de la figure 8, mais sur une plus longue période. Par exemple, le panneau supérieur de gauche montre qu'après 100 heures, seulement la moitié des objets flottants de l'essai 1 se trouvait à moins de 10 km du point de départ; le panneau inférieur gauche indique que la moitié des objets flottants de l'essai 4 avait dérivé de moins de 20 km en 100 heures. Par conséquent, la prévision fondée sur la persistance devrait être meilleure pour l'essai 4 que pour l'essai 1.

Les panneaux de droite de la figure 8 montrent des statistiques similaires en ce qui concerne les déplacements observés par rapport aux positions prévues par le modèle Dalhousie. D'après le panneau supérieur de droite, la moitié des objets flottants de l'essai 1 se trouve après 100 heures à peu près à 40 km des positions prévues, ce qui représente un facteur d'amélioration de 2,5 (6,3) du rayon de recherche par rapport aux prévisions fondées sur la persistance. Pour les essais 2, 3 et 4, les rayons des zones renfermant la moitié des objets flottants sont plus proches de 20 km après 100 heures, et le gain de précision par rapport aux prévisions fondées sur la persistance est moindre.

Conclusions

Cette étude mène aux conclusions principales suivantes :

- 1) Les estimations de dérive obtenues des modèles CANSARP et Dalhousie n'affichent aucun gain de précision notable lorsqu'elles sont fondées sur les prévisions de vent fournies par le modèle haute résolution (12 km) du CMC plutôt que sur celles du modèle faible résolution (35 km).
- 2) Aux échelles de temps critiques en recherche et sauvetage, soit de 0 à 30 heures, le modèle Dalhousie dépasse nettement en précision le modèle CANSARP et également, à un moindre degré, les prévisions fondées sur la

persistance. Pour l'essai 1 par contre, le rayon prévu de la zone renfermant la moitié des objets flottants selon la technique fondée sur la persistance dépasse celui de la modélisation par un facteur de 3 (9).

- 3) Aux échelles de temps plus longues (140 heures), les prévisions du modèle Dalhousie sont encore une fois meilleures que celles fondées sur la persistance, en particulier pour l'essai 1.

Compte tenu des résultats ci-dessus et des gains d'efficacité des opérations de recherche et sauvetage qu'ils laissent espérer, nous avons recommandé d'incorporer les prévisions du modèle Dalhousie (ou de ses équivalents) au système CANSARP pour accroître les possibilités de secourir plus rapidement un plus grand nombre de marins en détresse.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier M. A. Patterson, de la Garde côtière canadienne, pour son appui et les conseils prodigués depuis le début, pour les facteurs de dérive due au vent qu'il leur a aimablement fournis ainsi que pour le soutien opérationnel dont ils ont pu bénéficier. Ce projet a été financé par le Fonds des nouvelles initiatives de recherche et de sauvetage du Secrétariat national de Recherche et sauvetage (SNRS).

Références

- Anderson, C. and P.C. Smith. 1989. Oceanographic observations on the Scotian Shelf during CASP. *Atmosphere-Ocean*, 27(1), 130-156.
- Sheng, J. and K.R. Thompson. 1993. A modified Galerkin-spectral method for three-dimensional, barotropic, wind-driven circulation, *J. Geophys. Res.*, 98, 7011-7022.
- Sheng, J. and K.R. Thompson. 1996. A robust method for diagnosing regional shelf circulation from scattered density profiles. *J. Geophys. Res.*, 101(10), 25647-25659.
- Thompson, K.R., J. Sheng, P.C. Smith, L. Cong and G. Verner. 1999. Assessing the skill of an operational model of circulation on the Scotian Shelf. *Journal of Geophysical Research*, submitted.
- Verner, G., St. James, J., Bernier, N., Feldman, L., Smith, P.C., Lawrence, D.J., Thompson, K.R., and Sheng, J. 1998. Improved coastal environmental CANSARP, New Initiatives Fund Project Report, EC-2/95, Dept. of Fisheries and Oceans, 63 pp.

Études visant l'impact des engins de pêche mobiles sur l'habitat et les communautés benthiques

D.C. Gordon Jr., P. Schwinghamer, T.W. Rowell, J. Prena, K. Gilkinson, W.P. Vass, D. L. McKeown, C. Bourbonnais and K. MacIsaac

Introduction

La baisse des ressources de poisson de fond dans plusieurs régions du monde pose la question de l'impact possible des engins de pêche mobiles sur l'habitat et les communautés benthiques. Ces engins de pêche sont fréquemment utilisés au Canada atlantique, notamment les chaluts à panneaux, les dragues à pétoncle et les dragues hydrauliques à coquillages (Messieh et al., 1991). Les renseignements scientifiques sur le sujet étant limités, le ministère des Pêches et des Océans (MPO) a créé en 1990 un programme de recherche qui étudie les effets des engins de pêche mobiles sur les écosystèmes marins benthiques du Canada atlantique. Ses objectifs spécifiques sont : 1) obtenir des renseignements quantitatifs sur les impacts des engins de pêche mobiles sur l'habitat benthique (structure physique et communautés vivantes); 2) obtenir des renseignements quantitatifs sur le taux de récupération de l'habitat benthique après le passage des engins de pêche mobiles; et 3) concevoir de nouveaux instruments pour examiner et échantillonner l'habitat marin benthique afin de quantifier sa capacité de production. Ce programme a réuni un grand nombre de scientifiques et d'ingénieurs des Régions des Maritimes et de Terre-Neuve du MPO, et a aussi profité de l'aide de la Commission géologique du

Canada - Atlantique, d'universitaires, de collègues européens et de différents entrepreneurs. Des études de terrain à grande échelle concernant les effets des engins de pêche mobiles sont en cours dans des endroits spécialement choisis du Canada atlantique.

Étude sur le chalutage dans le Bassin des Mines

La première expérience, en collaboration avec l'Université Acadia, a été réalisée dans la zone intertidale de la baie de Fundy (Brylinsky et al., 1994). Une pêche expérimentale au chalut à panneaux a été menée par un pêcheur commercial à marée haute, tandis que l'échantillonnage pour évaluer les effets a été effectué à marée basse (fig. 1). Globalement, les impacts ont été jugés mineurs; ces résultats ne sont pas surprenants, car l'écosystème intertidal du bassin des Mines est exposé à un niveau élevé de stress physique d'origine naturelle à cause de son très grand marnage et de l'effet des tempêtes et des glaces. Ces résultats ne peuvent être appliqués directement aux écosystèmes infratidaux moins hydrodynamiques observés sur les bancs de pêche du large.

Développement d'instruments pour les études au large

L'étude des effets des engins de pêche mobiles sur les écosystèmes marins benthiques demande un équipement spécialisé pour échantillonner et visualiser l'habitat et les communautés. Ce genre d'instruments n'existant pas au début du programme, nous avons donc, avec l'aide de la Division de l'ingénierie et des services techniques de l'IOB, déployé de gros efforts pour en concevoir. Les quatre principaux appareils d'échantillonnage que nous avons conçus sont décrits plus loin; ils ont suscité un intérêt considérable dans la



Figure 1 : Collecte d'échantillons dans la trace laissée par un panneau de chalut dans la zone intertidale du bassin des Mines, dans la baie de Fundy.



Figure 2 : Le BRUTIV, véhicule remorqué utilisé pour filmer l'habitat du fond marin.

communauté scientifique internationale et peuvent s'appliquer à un large éventail de préoccupations concernant l'habitat benthique. Pour plus de détails, consulter Rowell et al. (1997).

BRUTIV (véhicule d'observation du fond sous-marin)

De nombreuses améliorations ont été apportées au modèle de BRUTIV, notamment un nouveau treuil, un câble et une caméra vidéo. Le BRUTIV (fig. 2) peut être remorqué à une vitesse de plusieurs nœuds, seulement quelques mètres



Figure 3 : Drague épibenthique utilisée pour récolter les gros organismes vivant sur le fond marin (échantillonne environ 18 m² par trait de 50 m).

au-dessus du fond, et donne une image vidéo continue en couleur de l'habitat benthique et des gros organismes épibenthiques (clypeasters, crabes, pétoncles, etc.), le long de transects de plusieurs kilomètres.

Drague épibenthique

De nombreuses améliorations ont aussi été apportées à la drague épibenthique Aquareve III, qui permet d'effectuer des échantillonnages plus quantitatifs des écosystèmes à fond sablonneux (fig. 3). Cet appareil est remorqué sur de courtes



Figure 4 : Échantillonneur vidéo (avec DRUMS) utilisé pour récolter des organismes habitant sur et dans le fond marin (échantillon 0,5 m²).

distances (par exemple, 50 m) sur le plancher océanique pour récolter les gros organismes vivant sur le fond ou dans les 2 à 3 premiers centimètres de sédiments (clypeasters, étoiles de mer, oursins, etc.). Ces améliorations comprennent des ailes de stabilisation, des patins plus larges, une bouche d'échantillonnage plus étroite (0,34 m), un panneau à fermeture positive et un nouveau système vidéo qui surveille le fonctionnement.

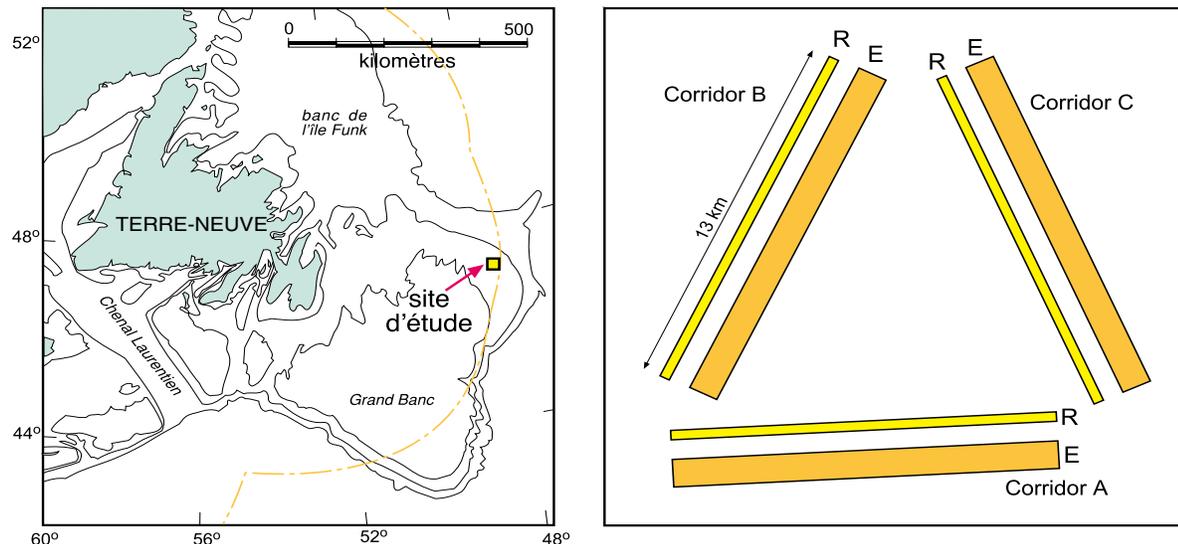


Figure 5 : Emplacement du site expérimental de chalutage sur les Bancs de Terre-Neuve et orientation des corridors chalutés (E) et de référence (R).

Échantillonneur vidéo

Ce tout nouveau système vidéo équipé d'un échantillonneur de 0,5 m² et de mâchoires contrôlées hydrauliquement a été conçu et construit pour récolter le sédiment et les organismes benthiques (fig. 4). Il est commandé à distance, ce qui permet au scientifique installé dans le laboratoire du navire océanographique de

prendre en main les contrôles du treuil de l'échantillonneur, une fois le plancher océanique en vue. La position et le fonctionnement de l'échantillonneur sont surveillés par une caméra vidéo couleur de haute résolution et, avec un peu de pratique, l'échantillonneur peut se poser avec précision dans des micro-habitats choisis du fond. Si des problèmes de fermeture surviennent, l'échantillonneur peut être soulevé, ouvert hydrauliquement et réinstallé dans un autre habitat.

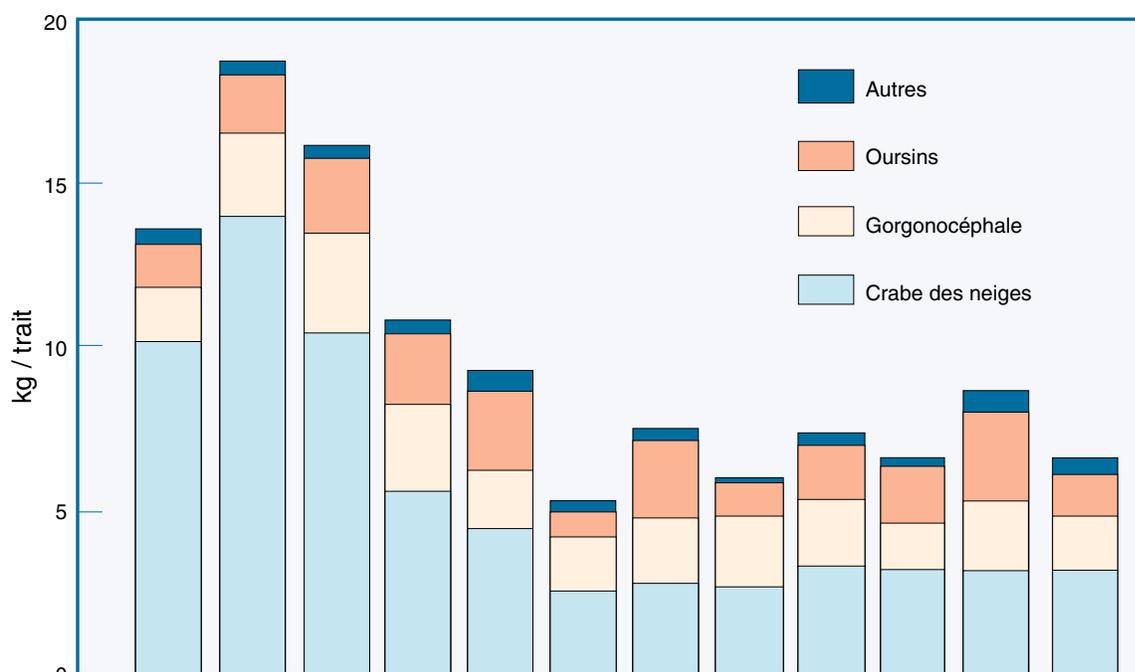


Figure 6 : Captures d'invertébrés pour chaque trait consécutif (kg de biomasse en poids frais par trait de 13 km). Moyenne de trois ans (1993-1995) sur trois corridors (A, B et C).



Figure 7 : Principales espèces capturées par la drague épibenthique.

DRUMS

Le système d'imagerie acoustique DRUMS^{MC} a été conçu spécifiquement par Guigné International Ltée de Paradise, à Terre-Neuve, pour ce projet. Cette nouvelle technologie utilise l'acoustique à faisceau étroit et à large spectre de fréquence pour mesurer avec une haute résolution la structure de l'habitat sédimentaire. Dans le cadre de ce programme, le DRUMS a été placé sur l'échantillonneur vidéo (fig. 4) pour que les données acoustiques proviennent exactement de la même zone de fond que les échantillons. Pour d'autres applications, le DRUMS peut être placé sur un trépied autonome. Pour de plus amples renseignements sur le DRUMS et ses applications, consulter Schwinghamer et al. (1996).

Ces appareils ne peuvent être utiles aux études sur l'impact des engins de pêche mobiles que s'ils peuvent se positionner avec précision sur le fond marin, ce qui est possible grâce au DGPS (système mondial de localisation en mode différentiel) qui donne la position du navire avec une marge de 3 à 4 m, au système de positionnement acoustique ORE Trackpoint qui enregistre la position de l'équipement d'échantillonnage par rapport au bateau (avec une marge de 4 à 20 m selon la distance du bateau), et au système de navigation AGC qui affiche et enregistre les données de navigation (McKeown et Gordon, 1997).

EXPÉRIENCE DE CHALUTAGE SUR LES BANCs DE TERRE-NEUVE

Une fois la conception d'appareils d'échantillonnage terminée, une expérience au chalut à panneaux d'une durée de trois ans (1993-1995) a été réalisée en mer sur un site des Bancs de Terre-Neuve, entre 120 et 146 m de profondeur (fig. 5). Le choix de ce site est expliqué dans Prena et al. (1996). Une boîte expérimentale de 10 x 10 milles marins a été délimitée, où toute activité de pêche a été interdite indéfiniment et où aucune pêche intensive n'avait eu lieu depuis dix ans. Le plancher océanique est homogène, fait de sable et de sédiment bien trié. La communauté benthique, riche en biomasse et relativement homogène, est composée de nombreuses espèces.

Le plan de l'expérience est décrit en détail dans Rowell et al. (1997). À l'intérieur de la boîte expérimentale, trois corridors de 13 km de longueur (fig. 5) ont été chalutés douze fois chaque année avec un chalut à panneaux Engel 145 (équipé d'un bourrelet sauteur) remorqué par le NSC Wilfred Templeman. Cet engin était la norme pour la pêche commerciale et, jusqu'en 1995, pour les relevés de recherche du MPO dans la Région de Terre-Neuve. Des corridors parallèles de référence ont été établis, avec une distance de 300 m entre les axes des corridors. En 1995, un système acoustique de classification du fond RoxAnn a été

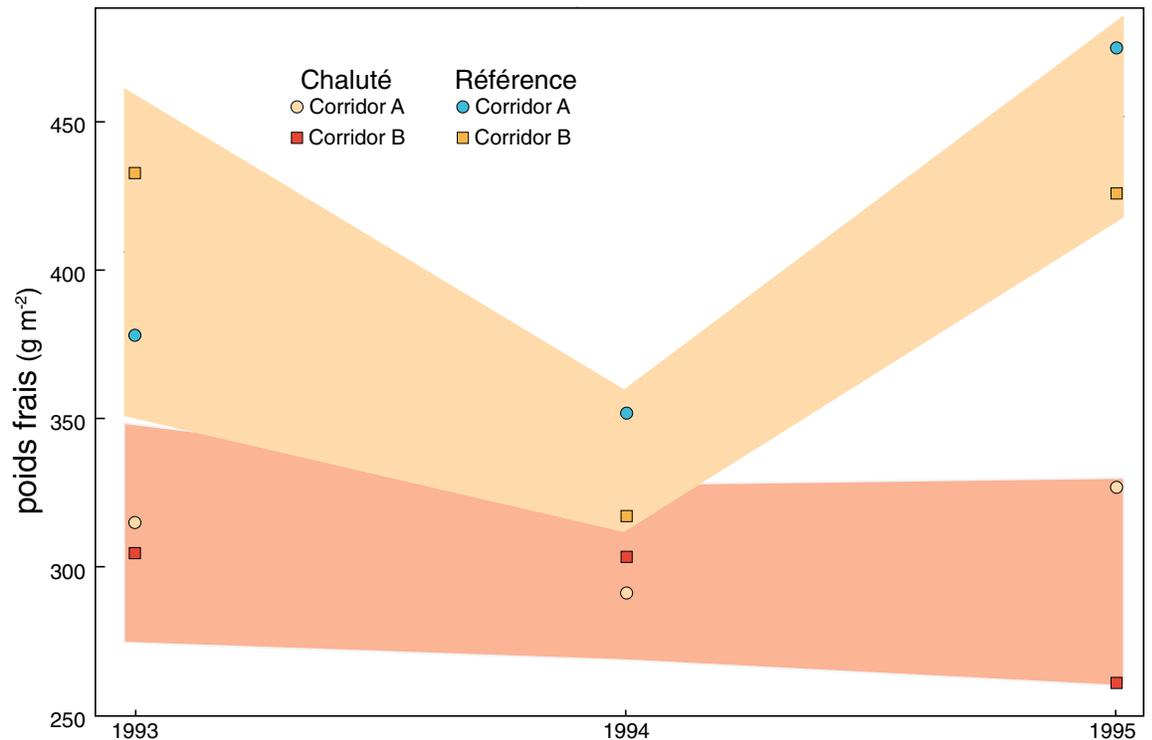


Figure 8 : Biomasse totale des invertébrés récoltés par la drague épibenthique dans les corridors chalutés et de référence (seulement A et B) pour chaque année de l'étude. Les zones ombrées représentent des intervalles de confiance de 95 %.

utilisé pour déterminer si le chalutage produisait des changements notables sur les caractéristiques acoustiques du fond. Les captures (poissons et invertébrés) de chaque trait ont été triées par espèces et pesées dans le laboratoire du navire.

Le NSC Parizeau a récolté de l'information sur l'habitat et les communautés benthiques (avant et après chaque trait) dans les corridors chalutés et dans les corridors de référence. Une campagne additionnelle a eu lieu en septembre 1993 pour recueillir des données deux mois après le premier chalutage. Des relevés au sonar latéral et des enregistrements vidéo au BRUTIV ont été effectués, ainsi que des échantillonnages à la drague épibenthique et à l'échantillonneur vidéo (équipé du DRUMS). Les invertébrés ont été classés par espèce et catégorie de blessures, dénombrés et pesés.

Les impacts du chalutage sur l'habitat physique étaient évidents (Schwinghamer et al., 1998). Les traces de chalutage sur le plancher océanique étaient nettement visibles sur les relevés au sonar latéral juste après le chalutage et, dans certains cas, étaient encore faiblement apparents après un an. Les données RoxAnn indiquent une augmentation du signal E2 (substitut de la perturbation des sédiments) après chaque chalutage. Les données du DRUMS ont montré que le chalutage réduisait

la complexité de la structure sédimentaire intense à petite échelle, jusqu'à une profondeur de 4,5 cm. L'enregistrement vidéo pris par le BRUTIV indique que la couleur du sédiment de surface était plus pâle et plus uniforme dans les corridors chalutés que dans les corridors de référence. Les observations vidéo à haute résolution de l'échantillonneur vidéo montrent que le chalutage a réduit les structures sédimentaires biogènes et l'abondance de matière organique floculée. Aucun effet notable du chalutage sur la granularité du sédiment n'a été remarqué; cependant, on a repéré des variations naturelles interannuelles.

La biomasse des organismes épibenthiques capturés par le chalut à panneaux (principalement le crabe des neiges *Chionæcetes opilio*, l'oursin *Strongylocentrotus pallidus* et le gorgonocéphale *Gorgonocephalus arcticus*) a fortement diminué après les traits répétés, particulièrement les six premiers (fig. 6) (Prena et al., 1999). Une invasion de crabes des neiges détritivores a été observée pendant les derniers traits de chalut (environ entre 10 et 12 h après le début du chalutage). Les captures de poisson ont été très faibles (<25 kg de poids frais par trait de 13 km) et ont baissé progressivement durant les trois années de l'étude.

Les organismes prédominants capturés par la drague épibenthique étaient des clypeasters (*Echinarachnius parma*), des oursins, des ophiures (*Ophiura sarsi*), des crabes des neiges, des coraux mous (*Gersemia* sp.) et quatre espèces de mollusques (*Astarte borealis*, *Clinocardium ciliatum*, *Cyclocardia novangliae* et *Margarites sordidus*) (fig. 7). La biomasse totale des organismes échantillonnés par la drague épibenthique était en moyenne 25 % plus faible dans les corridors chalutés que dans les corridors de référence (fig. 8). La biomasse des clypeasters, des ophiures, des crabes des neiges et des coraux mous était nettement plus faible dans les corridors chalutés. Des clypeasters, des oursins et des ophiures ont été physiquement blessés par le chalutage. Des impacts associés à la taille ont aussi été remarqués, en particulier pour les clypeasters qui étaient beaucoup plus petits dans les corridors chalutés. Aucun effet important n'a été remarqué chez les quatre espèces dominantes de mollusques. La vaste base de données sur les invertébrés endofauniques et épibenthiques récoltés par l'échantillonneur vidéo chaque année, avant et après le chalutage, est en cours d'analyse.

Dans le cadre d'un contrat passé avec le MPO, le C-CORE (Centre for Cold Ocean Resources Engineering de l'Université Memorial) a effectué une série d'études en laboratoire sur les interactions physiques entre un panneau de chalut et une simulation de fond sablonneux des Bancs de Terre-Neuve contenant des mollusques bivalves placés à différentes profondeurs. Les chercheurs ont remarqué un important déplacement des mollusques et du sable dans la zone fluidisée à l'avant du panneau en mouvement, ce qui a abaissé la fréquence des blessures (Gilkinson et al., 1998). Ces observations expérimentales appuient les données de terrain selon lesquelles les mollusques sont peu blessés.

PLANS D'AVENIR

Beaucoup de lacunes restent à combler avant de pouvoir comprendre en détail les effets des engins mobiles sur la durabilité de l'habitat marin et des pêches. Ces effets variant selon le type d'engin de pêche, l'habitat et les espèces présentes, nous devons donc effectuer des études supplémentaires bien conçues et visant d'autres types d'engins de pêche et de fonds marins. En 1996, une campagne a examiné des sites possibles pour de futures expériences sur le plateau Néo-Écossais. Les résultats obtenus et les commentaires des gestionnaires des pêches et de l'industrie nous ont amenés à tenir deux autres

études. La première, qui a débuté en octobre 1997, étudie les effets du chalutage dans une région à fond de gravier du banc Occidental, située dans la zone d'alevinage de l'aiglefin de 4TVW, où la pêche du poisson de fond aux engins mobiles est interdite depuis 1987 pour protéger les petits aiglefins (ou immatures) contre le chalutage. La deuxième étude, qui a commencé en mai 1998, examine, en collaboration avec l'industrie hauturière de la pêche des coquillages, les effets des dragues hydrauliques dans une région du Banquereau.

Une fois que les effets des différents types d'engins mobiles sur l'habitat et les communautés benthiques seront mieux compris, il faudra déterminer l'importance de leurs conséquences sur la pêche commerciale. Par exemple, est-ce que les changements dans la structure de l'habitat physique influenceront sur la vulnérabilité des petits poissons à la prédation? Est-ce que les espèces commerciales de poisson trouveront de meilleures conditions d'alimentation, le chalutage augmentant la disponibilité des proies benthiques, ou le contraire, le chalutage réduisant les populations de proies benthiques? Au fur et à mesure qu'ils seront disponibles, les résultats de ces recherches seront intégrés au processus de gestion des pêches pour assurer que les meilleures décisions possibles seront prises en vue de protéger la durabilité à long terme des ressources halieutiques et de leur habitat.

Références

Brylinsky, M., J. Gibson and D.C. Gordon Jr. 1994. Impacts of flounder trawls on the intertidal habitat and community of the Minas Basin, Bay of Fundy. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51: 650-661.

Gilkinson, K., M. Paulin, S. Hurley and P. Schwinghamer. 1998. Impacts of trawl door scouring on infaunal bivalves: results of a physical trawl door model / dense sand interaction. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 244: 291-312.

McKeown, D.L. and D.C. Gordon Jr. 1997. Grand Banks otter trawling impact experiment: II. Navigation procedures and results. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2159: xi + 79 p.

Messieh, S.N., T.W. Rowell, D.L. Peer and P.J. Cranford. 1991. The effects of trawling, dredging and ocean dumping on the eastern Canadian continental shelf seafloor. *Cont. Shelf Res.* 11: 1237-1263.

Prena, J., T.W. Rowell, P. Schwinghamer, K. Gilkinson and D.C. Gordon Jr. 1996. Grand Banks otter trawling experiment: I. Site selection process, with a description of macrofaunal communities. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2094: viii + 38 p.

Prena, J., P. Schwinghamer, T.W. Rowell, D.C. Gordon Jr., K.D. Gilkinson, W. P. Vass and D.L. McKeown. 1999. Experimental otter trawling on a sandy bottom ecosystem of the Grand Banks of Newfoundland: analysis of trawl bycatch and effects on epifauna. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*

Rowell, T.W., P. Schwinghamer, M. Chin-Yee, K. Gilkinson, D.C. Gordon Jr., E. Hartgers, M. Hawryluk, D.L. McKeown, J. Prena, D.P. Reimer, G. Sonnichsen, G. Steeves, W.P. Vass, R. Vine and P. Woo. 1997. Grand Banks otter trawling impact experiment: III. Experimental design and methodology. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2190: viii + 36 p.

Schwinghamer, P., D.C. Gordon Jr, T.W. Rowell, J. Prena, D.L. McKeown, G. Sonnichsen, and J.Y. Guigné. 1998. Effects of experimental otter trawling on surficial sediment properties of a sandy bottom ecosystem on the Grand Banks of Newfoundland. *Conservation Biology* 12: 1215-1222.

Schwinghamer, P., J.Y. Guigné, and W.C. Siu. 1996. Quantifying the impact of trawling on benthic habitat structure using high resolution acoustics and chaos theory. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53: 288-296.

Conception et Mise en Oeuvre D'un Entrepôt de Données Bathymétriques au SHC

S. R. Forbes, R. G. Burke, H. Varma

Introduction

Au cours des dix dernières années, le Service hydrographique du Canada (SHC) a mis en oeuvre divers systèmes de collecte de données bathymétriques numériques qui permettent d'assurer la couverture complète du fond marin. Lors d'une campagne de levés bathymétriques de trois mois, le sondeur multifaisceaux Simrad EM3000, par exemple, peut recueillir quelque 2 800 millions de mesures bathymétriques, lesquelles correspondent à 280 gigaoctets d'informations dont il faut ensuite assurer la gestion. Cinq campagnes réalisées en une seule année à l'aide du sondeur EM3000 peuvent générer à elles seules plus d'un téraoctet de données. Il importe donc de mettre au point de nouvelles techniques qui faciliteront l'agrégation et la gestion de cet imposant volume d'informations spatiales.

Pour résoudre le problème que représente l'accroissement du volume de données acquises, le SHC a conçu une base de données source faisant appel à un système de gestion de base de données relationnelles (SGBDR) capable de gérer l'information bathymétrique. L'entrepôt de données permet de satisfaire aux impératifs d'agrégation, de partitionnement et de transformation verticale et horizontale de l'information bathymétrique. La conception et la mise en oeuvre du prototype de base de données dont il est question ci-après reposent sur le système Oracle Spatial Data Option (SDO), mis au point par la Oracle Corporation, auquel on a intégré certains composants de cartouches de données spatiales. Ces ajouts sont essentiels à la gestion d'un très grand volume de données bathymétriques en environnement d'entrepôt de données.

Depuis les années 80, le SHC s'intéresse à la gestion des données spatiales en environnement de SGBDR. La création par le SHC en 1989 d'un type de données spatiales appelé Code hyperspatial hélicoïdal (HHCode, pour Helical Hyperspatial Code) (Varma, 1990) a permis de faciliter les opérations de chiffrement et de manipulation des données spatiales (multidimensionnelles) à l'aide d'une clé unique. La technologie ainsi mise au point a été transférée à la Oracle Corporation de Redwood, en

Californie, et intégrée à la version 7.1.3 du SGBDR d'Oracle. Le produit a été lancé en mars 1996 et est commercialisé sous l'appellation Oracle SDO.

Critères de conception

Afin de gérer de très grands volumes d'informations spatiales dont on ne peut prévoir le taux de croissance, il importe d'adopter une approche de conception particulière qui permette d'optimiser l'entreposage et la gestion de l'information ainsi que l'accès à cette information. Voici les principaux objectifs qui ont présidé à l'établissement des critères de conception de l'entrepôt de données bathymétriques :

- 1) assurer une couverture géographique continue;
- 2) uniformiser l'accès aux données et veiller à ce que le temps de réponse soit prévisible, quel que soit le volume des données gérées dans l'entrepôt;
- 3) minimiser les coûts d'entreposage des données en mettant en oeuvre un modèle de gestion de mémoire hiérarchique (HSM, pour Hierarchical Storage Management). Ce modèle permet d'entreposer sur support peu coûteux l'information qui n'est pas tenue d'être accessible en ligne en tout temps;
- 4) concevoir un entrepôt de données évolutif. L'entrepôt croîtra au fur et à mesure qu'augmentera le volume des données recueillies. Les ressources d'entreposage et de calcul évolueront en fonction des besoins en matière d'entreposage;
- 5) permettre la transformation horizontale et verticale des données au moment de la requête;

Il n'existe à l'heure actuelle aucun produit commercial basé sur un SGBDR capable d'atteindre tous les objectifs énoncés. Le SHC et la société CubeWerx Inc. de Hull, au Québec, ont conçu un produit ainsi que des applications qui visent à satisfaire ces exigences.

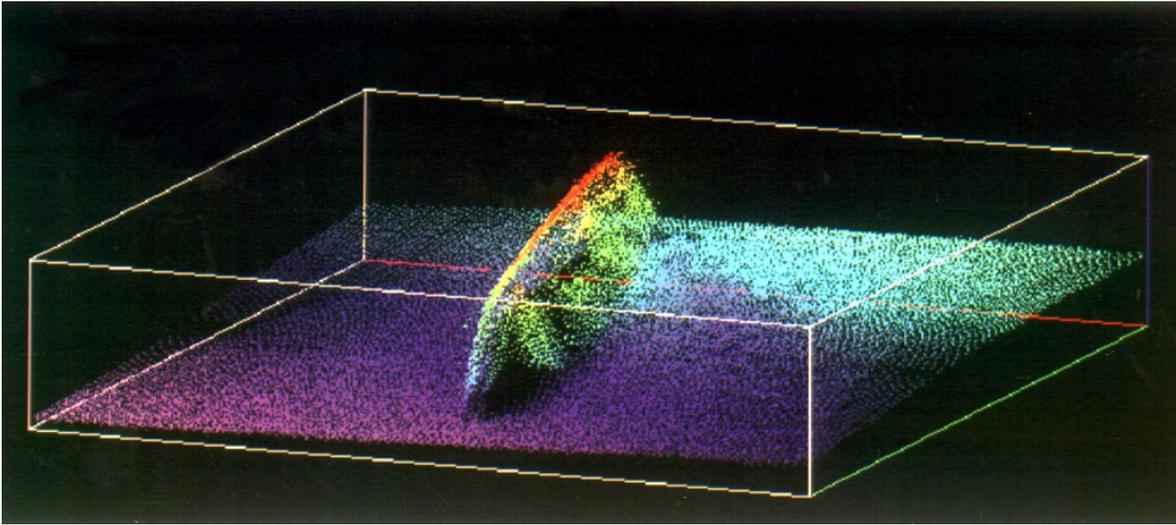


Figure 1 : Représentation tridimensionnelle de l'Empress of Ireland dérivée d'un ensemble de données ponctuelles EM1000.

Concepts

Pour répondre aux critères de conception et aux impératifs opérationnels du secteur de l'hydrographie, la solution proposée devait tenir compte des éléments suivants :

- 1) la nature spatiale et temporelle de l'information hydrographique;
- 2) la réduction de l'espace d'entreposage par le biais d'une application d'agrégation des données pour les ensembles de données de grande densité;
- 3) l'accès aux données fondé sur le concept du partitionnement;
- 4) la minimisation des coûts d'entreposage grâce à la mise en oeuvre de l'architecture HSM reposant sur des modules d'archivage et d'importation/exportation des données;
- 5) l'intégration d'une fonctionnalité de transformation verticale et horizontale du système de référence dans le modèle de données ainsi que des mécanismes autorisant les transformations au moment de la requête.

Information spatiale et temporelle

Des données de référence spatiales et temporelles correspondent à chaque sondage ou mosaïque (voir Agrégation des données) contenu dans l'entrepôt de données. La gestion de l'information bathymétrique repose sur l'introduction de données chronologiques qui

tiennent compte de la nature temporelle de l'information. Citons comme exemples d'activités faisant appel aux données temporelles, l'examen des modifications physiques de la topographie du fond marin résultant de phénomènes naturels ou anthropiques, la prise périodique, à l'aide d'une technologie améliorée, de nouveaux levés dans les zones marines critiques, comme les ports, et la transmission au Bureau d'hydrographie d'avis de dangers pour la navigation.

Le recours aux données chronologiques constitue un moyen de remplacer automatiquement les données contenues dans l'entrepôt de données, sans devoir les retirer manuellement. Il permet également d'effectuer des requêtes à l'égard de processus hydrographiques standard, sans que des données remplacées ne soient produites, et permet d'utiliser des requêtes pour l'extraction de données à des fins d'analyse des tendances et des prévisions.

Agrégation des données

Le SHC a mis au point des algorithmes basés sur les Codes HH en vue de l'agrégation¹ d'ensembles de données bathymétriques de haute densité. Par exemple, les ensembles de données acquis au moyen du Simrad EM3000 se prêtent bien à ce type d'opération. L'agrégation des ensembles de données bathymétriques repose sur la création d'une cellule unique de Codes HH contenant plusieurs cellules de plus petite dimension. Cette cellule unique de Codes HH (mosaïque) sera établie en fonction d'un critère défini par l'utilisateur. Pour ce qui est de l'information bathymétrique, voici la tolérance maximale établie pour une profondeur donnée :

¹ Application mise au point pour le SHC par M. McConnell Information Technologies, Lunenburg (Nouvelle-Écosse).

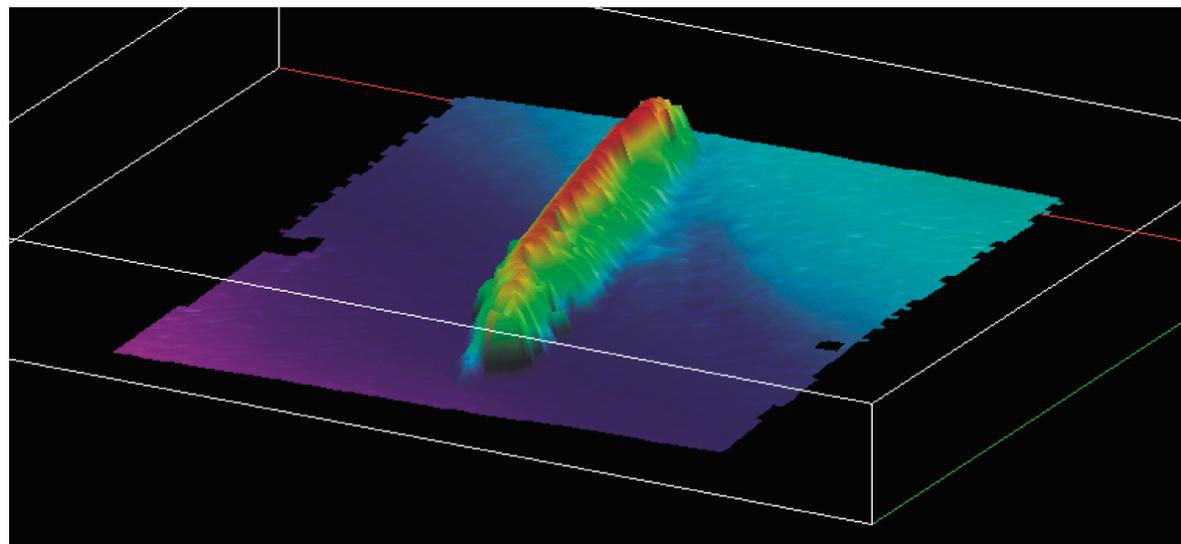


Figure 2 : Représentation tridimensionnelle de l'Empress of Ireland dérivée de l'ensemble de données ayant subi une opération d'agrégation.

profondeur maximale - profondeur minimale = tolérance définie par l'utilisateur.

Cette technique permet de regrouper l'ensemble de données, de préserver la résolution de profondeur définie par l'utilisateur et de minimiser le volume des données qui doivent être chargées ou interrogées.

Lors d'essais préliminaires faisant appel à cet algorithme, on a réussi à regrouper en six minutes sept millions de mesures de profondeur captées par un sondeur multifaisceaux EM3000 et à réduire l'espace d'entreposage requis par un facteur de 9,33.

La figure 1 présente un exemple d'ensemble de données ponctuelles tiré d'un levé réalisé au moyen du système Simrad EM1000. La figure 2 présente l'ensemble de données regroupé à l'aide de ces techniques. Le levé a été effectué au-dessus de l'épave de l'Empress of Ireland dans le fleuve Saint-Laurent.

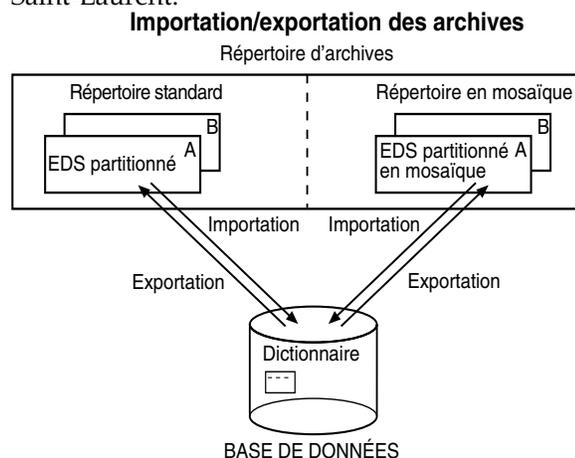


Figure 3 : Importation/exportation des archives

Partitionnement des données

La mise au point de nouvelles techniques d'entreposage et d'extraction de l'information s'avère nécessaire en raison du très grand volume de données spatiales à gérer. Lorsqu'une approche de gestion classique des données ne permet pas d'établir avec précision le taux de croissance des données, il peut être alors nécessaire de procéder à la restructuration de la base de données et au rechargement périodique des données. Grâce à la technique du partitionnement des données (Varma, 1991), la prévision exacte du taux de croissance des données s'avère moins importante. Le produit SDO d'Oracle s'appuie sur cette technique pour entreposer les données dans plusieurs partitions (tables) qui se subdivisent de façon dynamique et automatique chaque fois que des données sont chargées ou mises à jour.

Le partitionnement des données a pour principal avantage d'assurer une certaine cohérence et prévisibilité lors de l'interrogation d'une très grande base de données (TGBD) dont le taux de croissance ne peut être aisément prévu.

Modules d'archivage et d'importation/exportation des données

Le module d'archivage permet d'entreposer les données dans des répertoires sous forme de fichiers standard. S'il n'est pas nécessaire d'accéder aux données en ligne, l'opération de chargement des données se transforme en une opération d'enregistrement des partitions de données dans le dictionnaire de données, et les données archivées sont accessibles en ligne, au besoin.

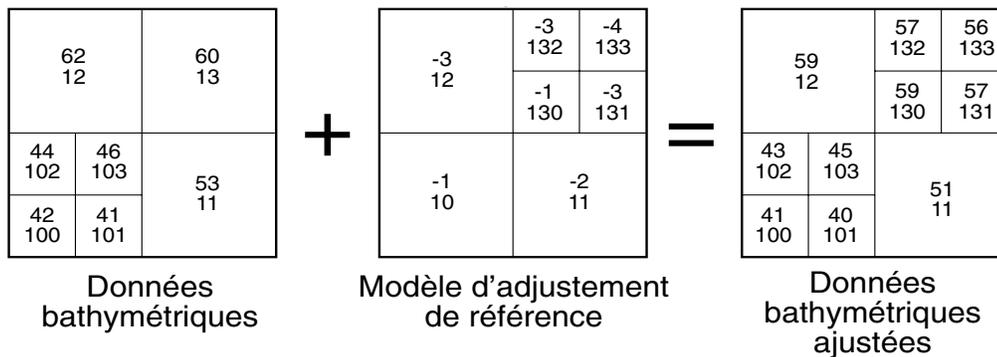


Figure 4 : Modèle de transformation verticale des données bathymétriques

Le module d'importation extrait les données du répertoire d'archivage et les transfère dans la base de données lorsque les utilisateurs veulent y avoir accès. Une fois les données mises à jour dans la base de données, le module d'exportation les extrait et les transfère dans le répertoire d'archivage. La figure 3 illustre l'opération d'importation/exportation.

L'entrepôt de données est placé en un système de fichiers gérable par système HSM offrant trois types de données : en ligne, quasi-en ligne et hors ligne.

Tel qu'il est conçu, l'entrepôt peut fonctionner sans système HSM. L'objectif visé consiste à organiser les données de manière à obtenir une structure d'entreposage économique de même qu'un accès efficace, tout en évitant la surcharge de ressources limitées.

Mise en oeuvre de transformations horizontales et verticales du système de référence

L'information bathymétrique doit pouvoir être comparée à un système de référence horizontale et verticale. Les clients qui interrogent les bases de données spatiales peuvent avoir besoin de données établies à partir d'un système de référence différent de celui utilisé lors de l'entreposage de l'information. Par exemple, la comparaison et la vérification des données bathymétriques historiques par rapport aux données d'un levé récent exigent une transformation des données historiques au système de référence utilisé pour le nouveau levé. Au fur et à mesure que le volume des données contenues dans l'entrepôt augmente (de l'ordre des téraoctets), il devient impossible de retirer, de transformer puis de réintroduire les données de manière à établir l'adéquation avec les nouveaux systèmes de référence requis pour satisfaire à la plupart des requêtes. En outre, toute erreur dans

l'application de transformation du système de référence risque de compromettre l'intégrité des données bathymétriques source.

Pour éliminer ce type de contrainte, des modèles de transformation sont intégrés à la base de données. Les transformations s'effectuent au moment où le client interroge les données contenues dans l'entrepôt.

La figure 4 donne un exemple de modèle de transformation verticale. Le modèle numérique de terrain (MNT) (à gauche) correspond à une zone définie, à laquelle sont associés une valeur bathymétrique et un identificateur spatial unique. Le MNT d'ajustement de référence (au centre) donne la valeur d'ajustement vertical en décimètres ainsi que son identificateur spatial unique. Le MNT bathymétrique ajusté (à droite) est obtenu par simple addition des valeurs bathymétriques et des valeurs du modèle d'ajustement de référence. Par exemple, la valeur de profondeur de 62, établie pour la zone 12, est additionnée à la valeur de -3 du modèle d'ajustement, ce qui donne la nouvelle valeur de 59 pour cette zone. Dans la figure, à noter que la zone 13 a été subdivisée en quatre nouvelles zones correspondant aux zones définies dans le modèle d'ajustement (zones 130 à 133 inclusivement). Lorsque la zone bathymétrique source est plus grande que celle du modèle d'ajustement de référence, la zone source doit être subdivisée jusqu'à ce qu'elle corresponde à la résolution des zones représentée dans le modèle d'ajustement de référence.

Les ajustements horizontaux sont réalisés à l'aide d'une méthode semblable. Le modèle d'ajustement horizontal comporte une valeur d'ajustement de la latitude et de la longitude (x et y) pour chacune des zones.

2 Mis au point pour le SHC par CubeWerx Inc., 200, rue Montcalm, Hull (Québec).

Enfin, ce concept permet d'entreposer les données bathymétriques référencées selon plusieurs systèmes, et d'interroger et d'extraire les données en fonction d'un ou de plusieurs systèmes de référence définis par les clients. Les données de bathymétrie sont référencées en fonction d'un système de référence connu; elles sont vérifiées puis introduites dans l'entrepôt de données. Cette méthode assure l'intégrité des données bathymétriques source.

Prototype d'entrepôt de données spatiales

En novembre 1997, un prototype² d'entrepôt de données spatiales a été mis au point et testé. Ce prototype devait permettre de :

- 1) vérifier que les structures de données conviennent aux très gros ensembles de données spatiales et satisfont aux exigences de performance;
- 2) démontrer qu'il est possible d'accéder rapidement à de grands volumes de données spatiales contenues dans un SGBDR sans faire appel à des serveurs d'entreprise. L'évolubilité de l'entrepôt en fonction de la catégorie d'architectures matérielles requise est un important critère de conception;
- 3) démontrer qu'il est possible de gérer l'agrégation des données et la représentation sectorielle des données bathymétriques dans un environnement relationnel;
- 4) vérifier que la méthode d'archivage retenue pour minimiser les coûts d'entreposage constitue une solution réalisable. Il importe de démontrer que la méthode d'archivage permet de minimiser les coûts d'entreposage et que le temps requis pour importer l'information des archives jusque dans l'entrepôt est acceptable.

Le prototype a permis de démontrer que les critères de conception avaient été aisément réalisés, voire dépassés. Il a également permis de vérifier que les ensembles de données ponctuelles et les ensembles de données sectorielles regroupées pouvaient coexister dans l'entrepôt de données, à condition qu'une seule architecture de données spatiales soit utilisée. Il est en outre ressorti des essais que les valeurs de performance pour le chargement et l'interrogation étaient linéaires sur le plan des délais de chargement et d'accès par rapport au nombre de points de données à traiter.

Mise en oeuvre de la base de données source

À l'heure actuelle, l'infrastructure retenue pour la gestion de l'information bathymétrique basée sur les données spatiales dans un environnement de SGBDR est quasi achevée. Parmi les tâches qu'il reste à accomplir, citons la conception et la mise en oeuvre d'une interface cliente et l'évaluation des performances de l'entrepôt de données et des applications connexes.

L'évaluation des performances a été amorcée dans le but de déterminer quel matériel conviendra le mieux à la charge de travail prévue. Les essais doivent avoir lieu aux installations de la Digital Equipment Corporation de Markham (Ontario) en juillet 1998. On y réalisera entre autres des essais de performance en matière de tri, d'agrégation, de chargement, d'interrogation et d'extraction des données contenues dans l'entrepôt. Le SHC se fondera sur les résultats de ces essais pour choisir l'architecture matérielle selon laquelle l'entrepôt de données sera mis en oeuvre à l'échelle nationale.

Conclusion

L'entrepôt de données bathymétriques créé au SHC fait appel à de nouvelles techniques et technologies de conversion, d'agrégation et de gestion de l'information bathymétrique qui visent à faciliter la mise en oeuvre des produits et services du SHC. Un prototype a été développé et mis à l'essai dans le but de régler les problèmes de nature fonctionnelle et opérationnelle et de vérifier les hypothèses établies au cours du développement. L'entrepôt de données bathymétriques du SHC devrait être mis en oeuvre à l'échelle régionale au cours de 1999.

Références

- Barker, R., CASE*Method Tasks and Deliverables, Addison Wesley, 1990.
- Barker, R., CASE*Method Entity and Relationship Modelling, Addison Wesley, 1990.
- Barker, R., CASE*Method Function and Process Modelling, Addison Wesley, 1992.
- Forbes, S., Burke, R., Day, C., Varma, H., CHS Source Data Base Strategy Report, Volume I (Internal DFO Report), April, 1996.
- Forbes, S., Burke, R., Day, C., Varma, H., CHS Source Data Base Analysis Report, (Internal DFO Report), April 30, 1997.
- Mattison, Rob, Data Warehousing Strategies, Technologies and Techniques, McGraw-Hill, 1996.
- Oracle7 MultiDimension User's Guide, Version 1.3.2, May, 1995.
- Varma, H.P., H Boudreau, and Prime, W., A Data Structure for Spatio-Temporal Databases, IHO Review Monaco LXVII(1), January 1990.
- Varma, H., Boudreau, H., Prime, W., Galluchon, M., Dahlgren, G., MacDonald, L., Spatio-Temporal Database Implementation and Functionality using HHCode, 1991 Proceedings US Hydrographic Conference.

Le Programme d'observation de l'Expérience sur la circulation océanique mondiale

Allyn Clarke, Fred Dobson, Ross Hendry, Anthony Isenor, Peter Jones, John Lazier, George Needler, Neil Oakey and Dan Wright

L'Expérience sur la circulation océanique mondiale (WOCE) est de loin l'entreprise océanographique la plus vaste et la plus ambitieuse de tous les temps. Le Programme d'observation de WOCE a débuté en 1990, mais les origines de l'expérience comme telle remontent à la fin des années 70. L'expérience implique les efforts de plus de 40 pays, sur une période de plus de 10 ans, et utilisé plusieurs satellites, des douzaines de navires et des milliers d'instruments. Ces observations ont déjà amélioré notre connaissance de l'état actuel de l'océan mondial, de sa variabilité spatiale et temporelle, et de son rôle dans le système climatique mondial. Ce n'est pas cependant avant au moins dix ans que l'on pourra réaliser l'impact final de cette expérience, puisque les chercheurs du monde entier doivent encore traiter les montagnes de données ainsi recueillies.

Les océanographes et les météorologistes savent depuis longtemps que l'océan mondial joue un rôle critique dans les changements climatiques à l'échelle de la décennie ou plus. WOCE a été conçue lorsque le milieu de l'océanographie a réalisé que le moment était venu de procéder à une expérience d'envergure réellement planétaire. Grâce aux progrès accomplis dans plusieurs domaines, il était maintenant possible d'envisager une telle entreprise. D'abord, les scientifiques disposaient d'un nouvel outil précieux pour observer l'océan planétaire : la télédétection par satellite. La mission Seasat avait fait la preuve de sa capacité d'effectuer depuis l'espace des observations utiles de l'élévation de la surface de la mer et de la tension du vent en surface. La mission de mesure altimétrique TOPEX/POSEIDON, qui a maintenant connu un grand succès, en était encore au stade de la planification. En même temps, les progrès rapides des capacités de calcul informatique permettaient de disposer de modèles réalistes de l'océan mondial, et d'analyser la grande quantité de données que fournirait une expérience sur celui-ci. Enfin, le projet jouissait d'un fort appui de la part du milieu de l'océanographie. C'est ainsi que le Comité sur les changements climatiques et l'océan (CCCCO) a été amené à envisager le lancement d'une expérience océanographique à échelle mondiale. En 1983, le CCCC et le Comité scientifique mixte du Pro-

gramme mondial de recherche sur le climat ont créé un Groupe directeur scientifique (GDS), chargé de concevoir et de mettre en oeuvre une expérience océanographique à échelle mondiale - l'Expérience sur la circulation océanique mondiale (WOCE).

Les objectifs officiels du programme international WOCE sont les suivants :

- mettre au point des modèles utiles pour la prévision du changement climatique et recueillir les données nécessaires pour les valider;
- déterminer jusqu'à quel point les ensembles de données typiques du WOCE sont représentatifs du comportement à long terme de l'océan, et trouver des méthodes permettant de déterminer les changements à long terme de la circulation océanique.

Le Programme d'observation de WOCE

Les objectifs d'observation du programme international WOCE sont ambitieux.

Le programme de terrain a été conçu pour définir et comprendre, sur une base planétaire, les aspects suivants de la circulation océanique mondiale et leur relation avec le climat :

- les flux à grande échelle de chaleur et d'eau douce, leurs variations au fil des ans, ainsi que leur variabilité annuelle et interannuelle;
- l'équilibre dynamique de la circulation océanique mondiale et sa réponse aux variations des flux en surface;
- les composantes de la variabilité océanique à des échelles temporelles allant du mois à l'année et à des échelles spatiales allant du mégamètre à celle de la planète; des statistiques pour les échelles plus petites;
- la vitesse et la nature de la formation, de la ventilation et de la circulation des masses d'eau qui influent sur le système climatique à des échelles de temps de dix à cent ans.

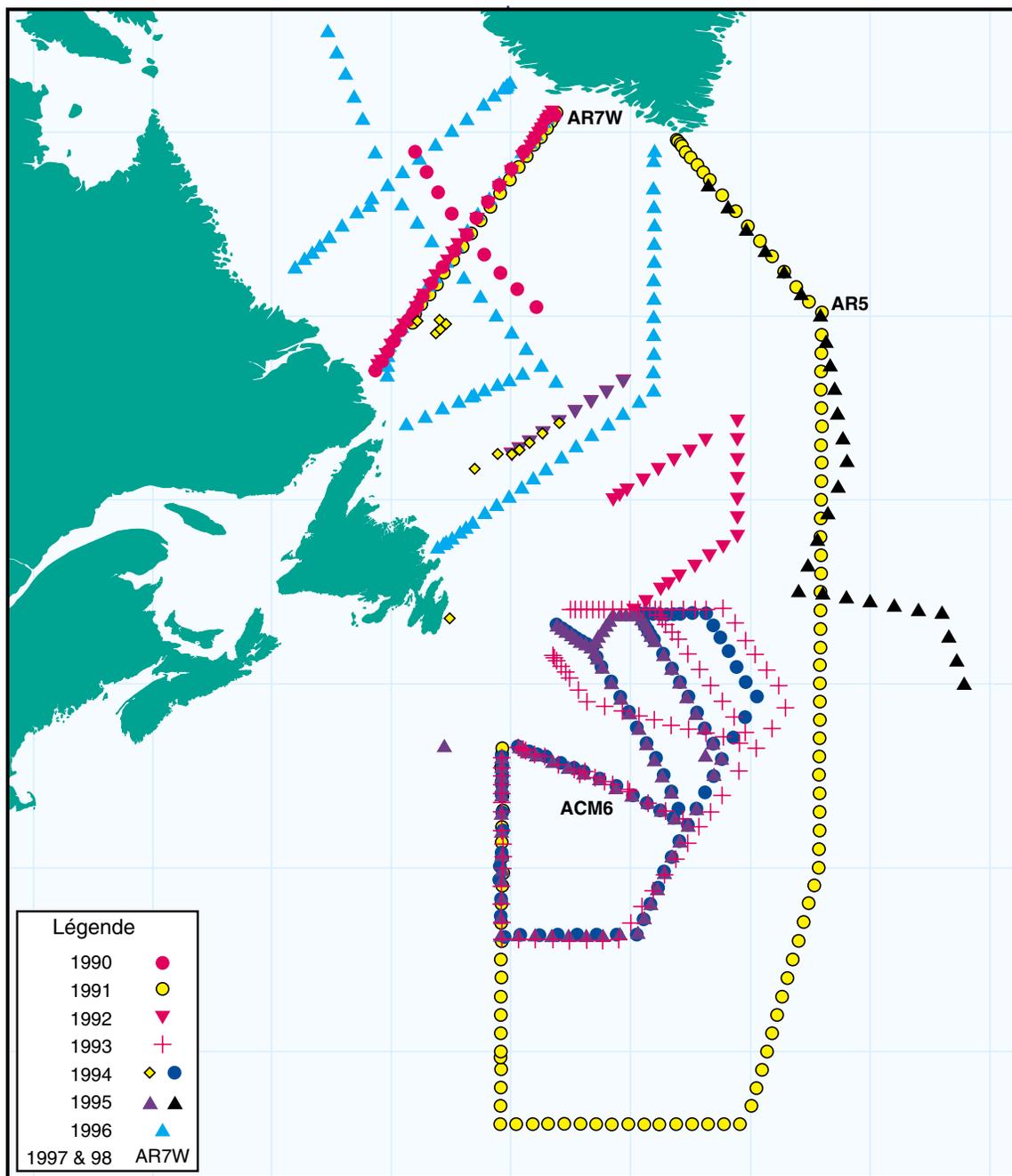


Figure 1 : Campagnes WOCE de 1991 à 1998. Les abréviations sont explicitées dans le corps du texte.

Outre ces grands objectifs, les scientifiques participants veulent recueillir des ensembles de données de grande qualité, qui seront une information précieuse à long terme, et ils veulent pouvoir mettre cette information à la disposition d'un milieu plus large d'une façon plus efficace que jamais. Les très courts délais pour la présentation des ensembles de données au Bureau du Programme hydrographique de WOCE et le besoin de renseignements sur la manière dont les données sont recueillies, traitées et étalonnées ont posé des défis considérables à l'Institut océanographique de Bedford (IOB) et à d'autres

institutions du monde entier. Pour atteindre les objectifs de présentation de données, nos procédures de relèvement et d'assurance de qualité à bord ont dû être considérablement remaniées.

Le ministère des Pêches et des Océans (MPO) a entrepris plusieurs grands programmes de terrain de WOCE dans l'Atlantique Nord. Conformément aux pratiques scientifiques internationales, nombre de ces travaux ont impliqué des partenariats avec des collègues d'universités et institutions océanographiques du Canada, des États-Unis et d'Europe.

Certaines contributions à WOCE sont la poursuite de travaux déjà en cours. Par exemple, la section AX2 de mesure par bathythermographes largables (XBT) s'étendant d'Halifax à l'Islande a été occupée sur une base trimestrielle depuis le milieu de 1985. Elle a été poursuivie jusque dans les années 90 dans le cadre du programme intensif XBT de WOCE, et reprise en 1996 par la National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA) des États-Unis dans le cadre de son programme XBT mondial.

La mer du Labrador est étudiée par des océanographes de l'IOB depuis les années 60. C'est un des rares endroits de la planète où le refroidissement crée de l'eau plus dense. Cette eau dense coule vers le fond, se mélangeant avec les niveaux plus profonds pour former l'« eau de la mer du Labrador », qui s'écoule dans l'Atlantique Nord aux profondeurs moyennes. Dans le cadre de WOCE, on a mis en place en 1990 un programme très amélioré d'observation de la mer du Labrador. Depuis lors, des expéditions ont occupé la ligne AR7W de WOCE (fig. 1) au moins une fois par an pour observer les changements des processus et des propriétés. D'autres mesures ont été effectuées dans la mer du Labrador et des zones

voisines de l'Atlantique Nord, afin d'évaluer la variabilité saisonnière et interannuelle des propriétés de l'océan.

La période 1990-1997 de WOCE a été marquée par une variabilité considérable dans la mer du Labrador. On a constaté de grandes différences d'une année à l'autre dans la profondeur jusqu'à laquelle pénétrait l'eau nouvellement formée. En 1993, après un hiver exceptionnellement rigoureux, la convection profonde a atteint plus de 2000 mètres, soit le double de ce qu'on avait observé au cours des études précédentes. La figure 2 illustre cette situation avec les distributions de la salinité et du CFC-11 (« Fréon-11 »). On y voit la présence en 1993 d'une masse homogène d'eau de la mer du Labrador dans le centre de la mer du Labrador. En 1995, la convection profonde était encore très active. Par contraste, en 1997, la convection profonde n'atteignait qu'une profondeur d'environ 1000 mètres, et les profils de la salinité et du CFC-11 montraient une structure beaucoup plus verticale.

Lors de la campagne 1996-1997, dans le cadre de l'expérience de la circulation atlantique, la communauté internationale de WOCE a examiné

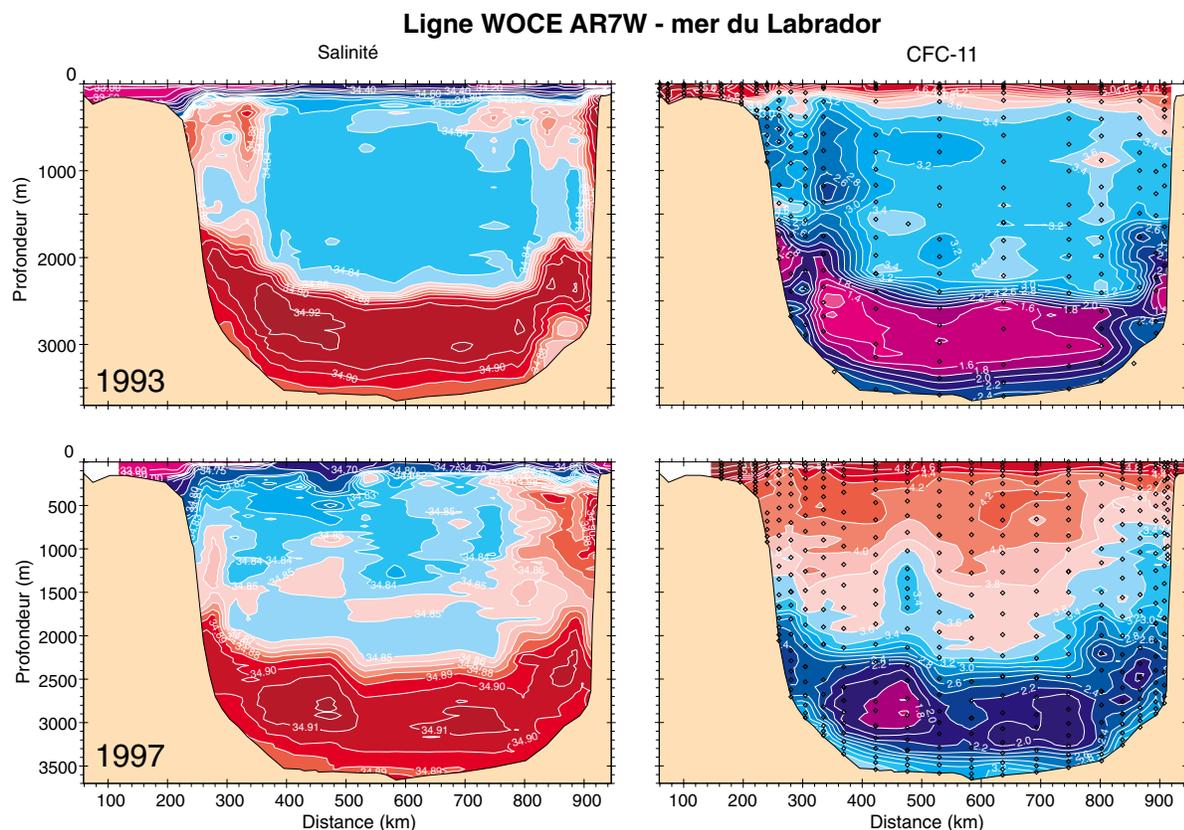


Figure 2 : Distributions de la salinité et du CFC-11 sur la ligne AR7W de WOCE, allant de Hopedale, au Labrador, (à gauche) jusqu'au Groenland (emplacement indiqué à la figure 1).

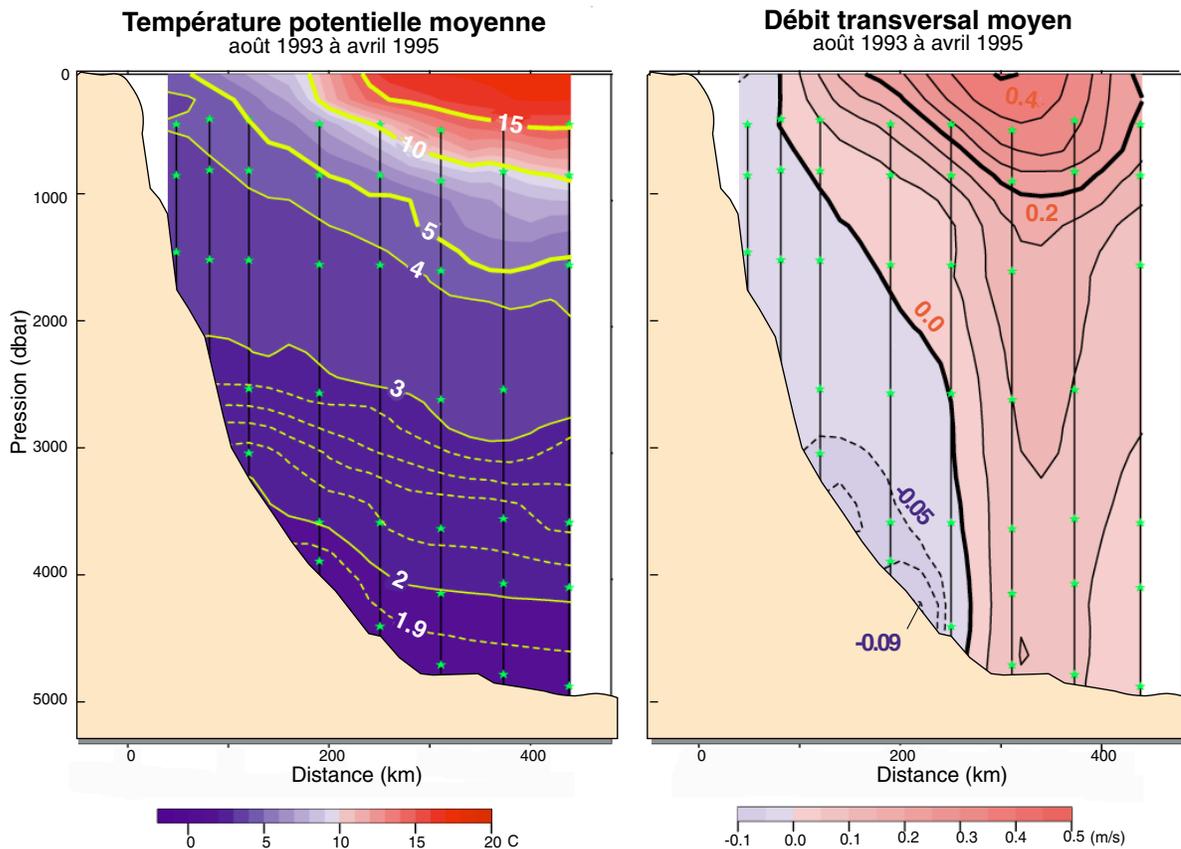


Figure 3 : Coupes de la température et de la vitesse des mouillages courantométriques ACM6 de WOCE, s'étendant des Bancs de Terre-Neuve vers l'est (emplacement indiqué à la figure 1).

le gyre subpolaire de l'Atlantique Nord pendant l'automne, l'hiver et le printemps. L'équipe de l'IOB a cartographié la totalité de la mer du Labrador au cours d'expéditions menées en octobre 1996 et mai 1997. En outre, dans le cadre de programmes de coopération bilatérale du ministère des Pêches et des Océans avec les États-Unis et l'Allemagne, on a déployé à l'automne 1996 un grand nombre de flotteurs autonomes, de bouées dérivantes de surface et de mouillages pour observer la température, la salinité et la circulation entre les expéditions de recherche. Ces activités ont ouvert la voie d'une expédition multinationale dans la mer du Labrador en février et mars 1997, à bord du RV Knorr, de la Woods Hole Oceanographic Institution.

Les principaux objectifs de l'expédition du Knorr étaient de documenter la convection et les mécanismes qui la régissent dans la mer du Labrador pendant l'hiver. Les chercheurs ont eu la chance de voir un important épisode de mélange se dérouler au moment de l'expérience et de pouvoir documenter les conditions atmosphériques et océaniques du haut en bas et d'un rivage à l'autre. L'équipe canadienne a effectué des mesures des flux air-mer à partir du

Knorr, un exploit compte tenu de la rigueur des conditions. Les résultats, qui commencent à être publiés dans la littérature, suscitent beaucoup d'intérêt dans les milieux de la physique océanique et de la recherche climatologique.

Il a été avancé que la convection profonde dans la mer du Labrador pouvait être un important puits de dioxyde de carbone anthropique et jouer un rôle significatif pour atténuer l'effet de serre lié à ce gaz. La détection du CO₂ anthropique dans l'océan est une tâche difficile, mais les estimations initiales reposant sur les données de WOCE suggèrent que la mer du Labrador pourrait séquestrer jusqu'à 40 % de la quantité totale entrant dans les eaux plus profondes de l'océan mondial. Les chercheurs font actuellement un examen critique de cette estimation. Une approche est de recourir à d'autres traceurs qui ont des conditions similaires d'entrée dans l'atmosphère, mais sont plus faciles à mesurer. Le CFC-11 répond à ces deux critères et pourrait donc être un indicateur utile de la manière dont le dioxyde de carbone pénètre dans l'océan. Les profils verticaux du CO₂ anthropique et du CFC-11, estimés dans le cadre du programme de WOCE visant le centre de la mer du Labrador, sont en effet très similaires, et l'approche semble prometteuse.

Dans la région située à l'est des Bancs de Terre-Neuve, des scientifiques de l'IOB ont mené un effort conjoint du Canada, des États-Unis et de l'Allemagne pour estimer les transports de chaleur, de sel et de volume par la dérive nord-atlantique. On pense que ce courant chaud est la principale voie de transport de chaleur et de salinité vers le nord par la circulation thermohaline de l'Atlantique Nord. Le climat tempéré du nord-ouest de l'Europe est dû à ce courant chaud et aux échanges air-mer qui lui sont associés. La contribution du Canada à ce projet consistait en un ensemble de huit mouillages courantométriques déployés entre l'est de la plate-forme continentale des Bancs de Terre-Neuve et le centre du bassin de Terre-Neuve. On a également effectué trois relevés hydrographiques et par traceurs du système Gulf Stream/dérive nord-atlantique, entre la Queue du Grand Banc et le Bonnet flamand. Les sections hydrographie/traceurs étaient conçues pour qu'on puisse estimer les flux dans la dérive nord-atlantique, le courant du Labrador et diverses autres branches de ce système complexe. Les relevés devaient aussi permettre de tirer profit des mesures altimétriques de TOPEX/POSEIDON.

Les huit mouillages de courantométrie composaient l'ensemble ACM6 de WOCE (fig. 1). Ils formaient une ligne coupant la dérive nord-atlantique près de 43N, déployée en août 1993 et relevée en juin 1995. L'ensemble de mouillages a fourni des mesures directes des transports de chaleur et de masse par la dérive nord-atlantique. Ces mesures ont aussi quantifié les transports d'eau profonde et d'eau intermédiaire vers le sud par le sous-courant de frontière ouest et les courants associés présents entre le rivage et le courant nord-atlantique. L'Université du Rhode Island a fourni des courantomètres pour l'ensemble de mouillages, et déployé un ensemble d'échosondeurs inversés pour déterminer si ces appareils pouvaient être utilisés comme moyen moins coûteux d'étudier ces transports. Pendant la même période, le Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), de Hambourg, a occupé à trois reprises une section transatlantique allant de l'embouchure de la Manche jusqu'aux Bancs de Terre-Neuve, et dont l'extrémité ouest chevauche l'ensemble de mouillages de courantométrie. La combinaison de mesures hydrographiques à l'échelle du bassin et de mesures courantométriques directes dans la région frontière ouest à fort hydrodynamisme fournira des estimations des flux méridiens de chaleur et de salinité à l'échelle du bassin, à une latitude nominale de 48N.

Une expérience de terrain conjointe de l'IOB et de l'Université Dalhousie a recueilli des mesures d'hydrographie et de microstructure pendant deux expéditions vers une région centrée près de 33E 28N (dite volume de contrôle AR10 de WOCE) dans le cadre de l'expérience d'injection de traceurs dans l'Atlantique Nord (NATRE). Un traceur a été injecté dans la pycnocline, et sa distribution et sa concentration ont été mesurées quatre fois au cours d'une période de deux ans par des équipes des États-Unis et du Royaume-Uni. L'analyse des résultats donne une estimation de la diffusion verticale, mais n'examine pas les processus physiques en jeu. Des mesures ont donc été faites par l'équipe IOB-Dalhousie pour estimer la diffusion diapycnale (c.-à-d. le mélange à travers les surfaces de densité) à partir de la microstructure et de la turbulence à petite échelle, et comparer les résultats avec ceux issus de l'étude par diffusion du colorant. On a observé régulièrement des valeurs de la diffusion verticale de l'ordre de $2 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, ce qui est inférieur d'environ un ordre de grandeur aux valeurs normalement inférées à partir des modèles d'advection-diffusion verticale. On a aussi progressé dans la compréhension de la façon de paramétriser les rapports de mélange pour que ces résultats puissent être extrapolés des sites expérimentaux à l'océan mondial. Les observations de ce genre sont très rares. Les conclusions qu'on en tire ont une forte influence sur les paramétrisations du mélange diapycnal, très importantes sur le plan de la dynamique, et essentielles pour les modèles océaniques à grande échelle.

Regard sur l'avenir

La phase d'observations de WOCE touchera bientôt à sa fin, mais on commence seulement à ressentir son influence. Un des grands résultats du programme d'observation est que des discussions sérieuses ont été entamées sur la manière d'utiliser cette nouvelle capacité d'effectuer des mesures coordonnées de l'océan mondial pour des applications pratiques, par le biais d'un éventuel système d'observation de l'océan mondial. Les résultats servent aussi à planifier la prochaine génération d'expériences, visant à mieux comprendre la nature et la cause de la variabilité à grande échelle du climat.

Sur le plan de la modélisation, l'analyse et l'interprétation des données de WOCE aident à définir les processus et éléments clés du système climatique qui doivent faire partie des modèles du climat.

Le Programme d'observation de WOCE a aidé à jeter des bases solides pour les travaux à venir, et les scientifiques ne peuvent que souhaiter poursuivre en ce sens.

La géologie marine : un rôle croissant en écologie benthique

Gordon B.J. Fader, R.A. Pickrill, Brian J. Todd, Robert C. Courtney, D. Russell Parrott

Introduction

Depuis une dizaine d'années, les géologues marins s'intéressent de plus en plus à l'application des géosciences marines aux questions biologiques de caractérisation des habitats, d'évaluation de l'impact des engins de pêche et de gestion des pêches. Cette nouvelle orientation est le résultat direct des remarquables progrès réalisés dans la résolution et la précision des technologies de cartographie du fond marin, mais aussi d'une meilleure compréhension des complexes processus à l'œuvre sur le fond. Les premières cartes des fonds marins répondaient en général assez mal aux besoins des biologistes parce qu'elles ne pouvaient fournir un degré de détail suffisant pour établir une corrélation directe entre le type de sédiment et l'habitat biologique (Kennington et Halliday, 1994). L'objectif de ces premières cartes régionales était de caractériser la distribution des sédiments du fond sur de vastes superficies de

plateau continental dans une perspective géologique, et se fondait sur un échantillonnage peu serré et des interprétations d'échogrammes acoustiques provenant de séries de données largement espacées (King, 1970; King et Fader, 1986). Bien que non conçues à des fins biologiques, elles étaient toutefois utiles au secteur de la pêche pour certaines applications spécifiques, comme l'évitement des régions aux fonds peu propices (zones rocheuses et terrains accidentés) et la localisation de nouvelles zones présentant un potentiel de pêche, notamment pour les palourdes, le pétoncle d'Islande et le homard. Grâce à la collecte régulière de données et à l'utilisation de bases de données photographiques du fond à l'échelle régionale (Lawrence et al., 1989), ainsi qu'à l'information fournie par de nouvelles technologies comme le sonar latéral, on a pu enrichir ces cartes. Par exemple, une série de cartes régionales conçues spécialement pour l'industrie

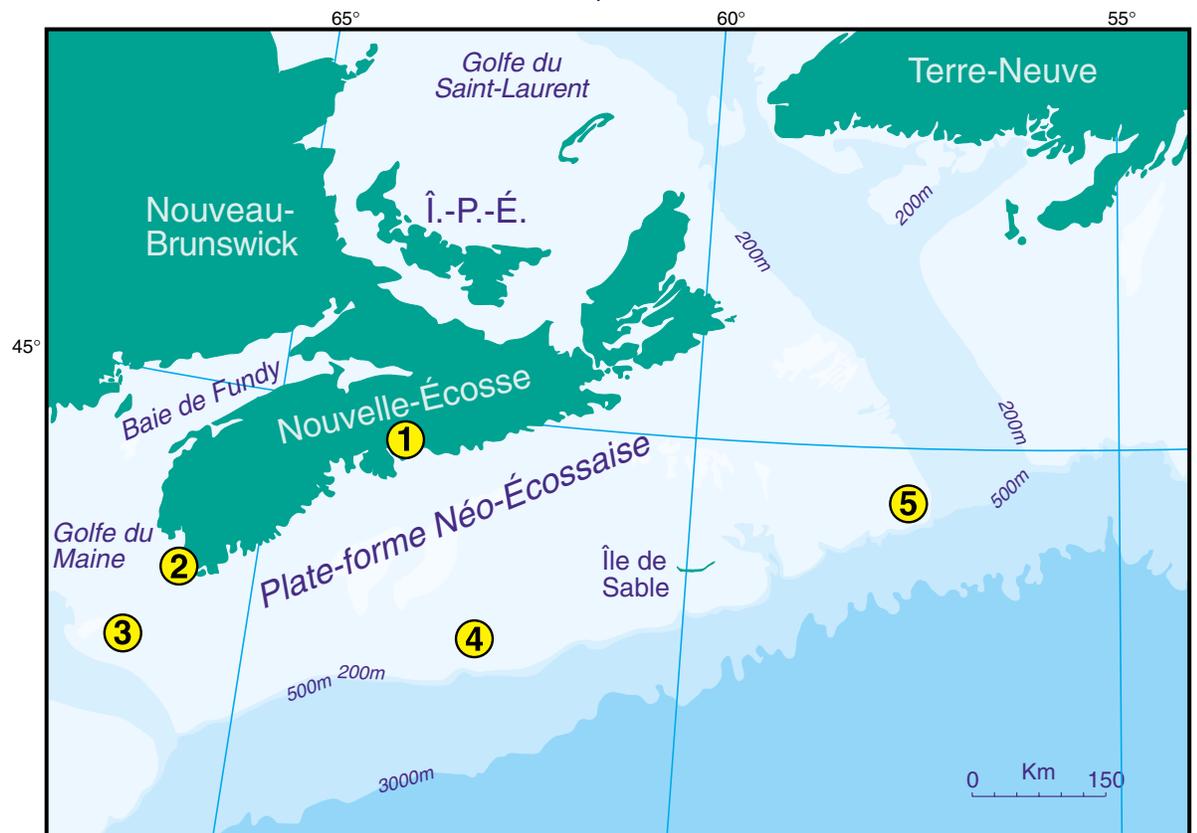


Figure 1 : Carte de la zone couverte; les chiffres renvoient aux illustrations suivantes.

canadienne de la pêche (Canadian Fishermen's Charts) et produites par la firme Nordco Ltd., de Terre-Neuve, décrivaient, à partir des premières cartes de la Commission géologique du Canada, la géologie des dépôts superficiels, la bathymétrie et la localisation des « croches » signalées par l'industrie de la pêche et qui nuisent aux engins de fond.

La cartographie géologique traditionnelle du fond marin est axée sur la définition d'unités de sédiments superficiels ou de formations, qui constituent les unités cartographiques de base pouvant être repérées sur de vastes superficies. Ces premières cartes géologiques régionales se fondaient sur des grilles d'échantillonnage statistique dont le maillage pouvait aller des centaines de mètres aux kilomètres. L'avènement du sonar à balayage latéral a fourni aux géologues une imagerie du fond marin comparable à la photographie aérienne des terres. La méthodologie d'échantillonnage s'est donc orientée vers la validation sur le terrain des caractéristiques acoustiques des sédiments et du relief établies à partir de l'interprétation des données sonar. On a pu ainsi réduire notablement le nombre d'échantillons nécessaires et améliorer la précision de la corrélation entre échantillons. Jusqu'aux années 80, la production de cartes détaillées des fonds marins restait toutefois entravée par l'imprécision des systèmes de navigation.

Depuis dix ans, des progrès considérables ont été réalisés dans la technologie de cartographie du plancher océanique, qui répond maintenant à bon nombre des besoins des biologistes marins : sonar haute résolution à balayage latéral, systèmes de cartographie bathymétrique multifaisceaux, systèmes de navigation précis, échantillonnage et photographie de précision, et techniques de pointe en traitement des données numériques et en visualisation scientifique. Nous décrivons ici les recherches récemment menées par la Commission géologique du Canada - Division de l'Atlantique (CGC-A) qui, à l'aide de ces techniques de cartographie des fonds marins, contribuent à la cartographie des habitats, à la recherche écologique et à la gestion des pêches.

Description géologique des habitats

Le souci des habitats, considéré par certains comme l'un des concepts les plus fondamentaux de l'écologie, est souvent absent de la gestion des pêches maritimes (Willison et Butler, 1998). Pour régler ce problème, il est nécessaire de resserrer la collaboration entre les biologistes et les géologues marins. Voici une liste d'attributs

géologiques critiques des fonds marins qui, suite à des travaux préliminaires et à des collaborations en cours sur des projets de recherche, sont considérés comme présentant une importance écologique :

- microrelief - des centimètres aux décimètres (rugosité)
- macrorelief - des mètres aux centaines de mètres (topographie, morphologie, pente)
- granulométrie (gravier, sable, limon et argile)
- pétrographie (composition des roches)
- répartition (variabilité locale, forme, variations spatiales)
- distribution des sédiments
- tri des sédiments
- porosité (espaces interstitiels, compaction)
- forme des grains (régularité, sphéricité)
- stratigraphie (présence de couches - des centimètres aux décimètres)
- dynamique/processus (formes reliques et modernes, et combinaisons)
- morphologie (toutes les échelles, des centimètres aux dizaines de kilomètres)
- voies de transport des sédiments (direction nette et directions variables)
- épaisseur des sédiments (des centimètres aux mètres)
- paysage (p. ex. banc de sable, moraine, crête de plage, bassin)
- histoire géologique (origine)
- éléments anthropiques (épaves, traces d'ancre, câbles, débris)

Certains de ces attributs, comme la granulométrie des sédiments et la pétrographie, sont plus faciles à déterminer que d'autres, à condition que l'on puisse prélever des échantillons valides du fond, ce qui n'est pas facile dans un sédiment de gravier grossier. D'autres caractéristiques comme la porosité et la stratigraphie haute résolution sont plus difficiles à mesurer, car l'opération d'échantillonnage détruit fréquemment la structure même du matériau du fond, particulièrement dans du sédiment grossier. Il faut plutôt avoir alors recours à la télédétection acoustique et à des méthodes géotechniques in situ. Pour la mesure de bon nombre de ces attributs, les recherches se poursuivent.

Outils et techniques

L'emploi du sonar latéral a montré aux géologues marins que la morphologie et la distribution des sédiments sur le fond étaient infiniment plus complexes qu'on ne le croyait. De plus, on peut interpréter les sonogrammes de façon à évaluer les conditions dynamiques du fond à l'aide de l'information géologique connue sur la

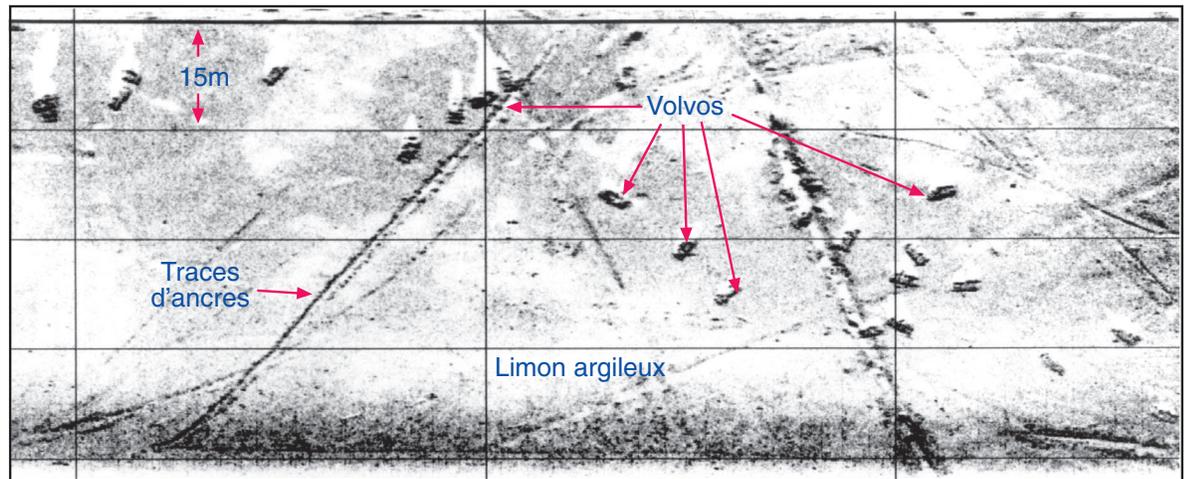


Figure 2 : Sonogramme (330 kHz) du bassin de Bedford, dans la rade d'Halifax, obtenu avec un poisson à flottabilité neutre et à dispositif de découplage minimisant le mouvement au remorquage. L'image montre un fond vaseux et plat sillonné de traces d'ancres. On aperçoit une vingtaine de rectangles sur le fond; il s'agit d'automobiles usagées de marque Volvo dont le toit a été enfoncé avant leur immersion. La présence de cibles connues comme celles-ci permet d'étalonner les essais pour améliorer la résolution du sonar. La résolution et la qualité de l'image obtenues sont nettement meilleures que celles des données obtenue avec des dispositifs remorqués conventionnels.

morphologie des sédiments, leurs voies de transport et les autres processus à l'œuvre sur le fond, afin d'en déterminer la mobilité temporelle et spatiale.

Les possibilités de cette nouvelle technologie étant de mieux en mieux connues, les biologistes y ont vu une possibilité de répondre à certains de leurs besoins. C'est ainsi que sont nés plusieurs programmes coopératifs visant l'évaluation d'habitats comme celui du homard au large de l'île du Cap-Breton; ceux des palourdes, du pétoncle d'Islande et de l'holothurie sur les Bancs de Terre-Neuve; enfin, celui de la crevette de la baie Chedabucto. La technologie de la cartographie géologique a eu des applications nouvelles et imprévues en biologie, notamment avec la détection des filets fantômes présents sur le fond marin, l'optimisation de l'emplacement des prises d'eau pour les viviers à homard, et l'évaluation du site des établissements aquacoles et des effets de leurs effluents sur le fond marin.

Tant du côté de la biologie que chez les géologues, on souhaite pouvoir cartographier le fond marin avec une résolution toujours plus haute. Au sein de la CGC-A, l'une des approches retenues consiste à maximiser la résolution des systèmes existants qui jusque-là fonctionnaient à basse résolution pour la cartographie régionale. Par exemple, on peut utiliser des sonars à balayage latéral de 330 kHz avec une portée de 25 m et une faible vitesse de remorquage de 2 noeuds, de façon à approcher leurs limites théoriques de résolution d'environ 10 cm et 100 % de couverture du fond. Pour obtenir cette résolution, on a modifié les

systèmes actuels de manière à réduire le mouvement du poisson remorqué et à accroître sa stabilité. On installe sur le câble de remorquage des poids dépresseurs, de sorte qu'un poisson à flottabilité neutre peut être tiré près du fond. Le mouvement du poisson est ainsi découplé de celui du bateau. Les caractéristiques de remorquage ayant ainsi été améliorées, on a travaillé à optimiser le positionnement en se servant de transpondeurs à base courte pour positionner le poisson par rapport au navire, tandis que des détecteurs inertiels fournissent des données sur le tangage, le roulis et le pilonnement pour corriger la distorsion des sonogrammes. On obtient ainsi une amélioration notable de la résolution des cartes et de la cartographie du micro-habitat (fig. 1).

La deuxième approche retenue pour accroître la résolution de la cartographie des fonds marins est l'extraction des attributs du fond à partir des données de la bathymétrie numérique multifaisceaux, du sonar latéral et de la sismique-réflexion. À l'heure actuelle, une bonne partie des données de rétrodiffusion et de réflectivité (type de sédiment) ne représentent que les changements relatifs dans le caractère du fond. Grâce à l'étalonnage des systèmes actuels de levé acoustique, il est possible d'extraire une information supplémentaire sur la rugosité, la pente et le relief du fond. Nous en sommes encore aux premières étapes de cette approche, et nous avons achevé l'étalonnage des systèmes de sismique-réflexion et de sonar latéral. Une série d'expériences acoustiques a été réalisée sur le banc Browns à l'été 1998; les résultats obtenus, une fois

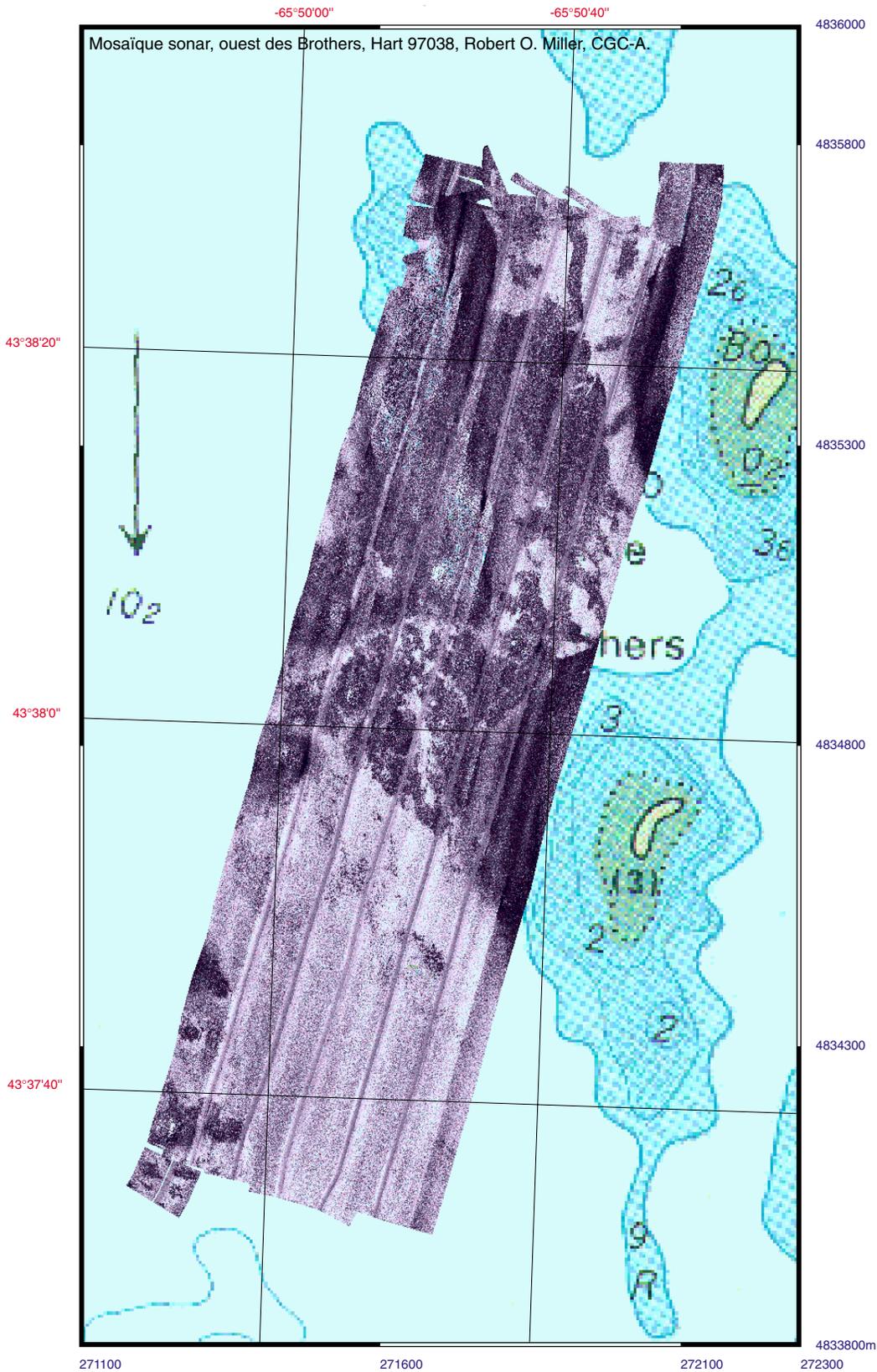


Figure 3 : Mosaïque du fond marin obtenue au sonar latéral haute résolution dans la baie Lobster, sud-ouest de la Nouvelle-Écosse. Les données traitées ont été obtenues avec une portée de 50 m et une puissance de 330 kHz, ce qui donne une très haute résolution et permet d'identifier individuellement des blocs de plus de 0,20 m. L'image montre que le fond est dur et couvert de blocs, et constitue l'extension vers le large des hauts-fonds et des îles d'origine glaciaire de la baie Lobster. Dans les zones plus profondes, on trouve du sable, mélangé ou non de vase. De telles mosaïques constituent le cadre géologique à partir duquel on construit les relevés d'évaluation du homard.

couplés à la modélisation théorique, devraient permettre de mieux déterminer quels sont les paramètres physiques du fond marin qui se manifestent dans les données de réflexion et de rétrodiffusion acoustiques.

La bathymétrie multifaisceaux ouvre de nouvelles possibilités pour la cartographie haute résolution de la morphologie des fonds marins sur des régions relativement grandes. C'est en 1990 qu'on l'a appliquée pour la première fois au Canada au large de la côte est (Courtney, 1993; Courtney et Fader, 1994; Courtney et al., 1993), avec au départ une batterie de transducteurs montés sur des espars, puis un système plus avancé à transducteurs multifaisceaux installés sur la coque du navire. Les aspects les plus notables de cette nouvelle technologie sont une couverture à 100 % de la morphologie du fond marin, la possibilité d'interpréter des processus à l'œuvre sur le fond à l'échelle régionale, et la représentation d'aspects subtils du dépôt et de l'érosion grâce à des techniques de visualisation scientifique. En plus d'une couverture complète du fond marin et de la production d'images morphologiques détaillées (bathymétrie du relief par ombres portées), ces systèmes fournissent aussi une information par rétrodiffusion sur le fond (texture, rugosité et pétrographie). Il s'agit là d'une amélioration remarquable de l'évaluation géologique du fond car on obtient, avec le même groupe de capteurs, un outil de cartographie à distance du type de fond avec géoréférence à la morphologie. Ces systèmes, et les produits qui en sont dérivés, ont révolutionné la façon dont les géologues marins voient les fonds marins et comprennent les processus qui y sont à l'œuvre.

Partenariats

L'applicabilité des outils géologiques modernes aux questions de pêche et d'habitat benthique, se concrétise, dans le cadre de la nécessité d'une gestion durable des stocks de poisson, par des partenariats entre la CGC-A et le MPO dans plusieurs nouveaux projets de recherche menés depuis deux ans. La CGC-A fournit le cadre géologique dans lequel peuvent être abordées ces questions. On trouvera ci-dessous une analyse de plusieurs de ces projets de collaboration, qui illustrent la place nouvelle et dynamique des géosciences dans l'évaluation des habitats : un projet de recherche zonale sur le homard (ZLORP); une évaluation de l'habitat du pétoncle sur le banc Browns; enfin, des travaux sur les effets du chalutage et du dragage des coquillages sur les fonds marins.

Programme de recherche zonale sur le homard

Le programme ZLORP se sert de la cartographie géologique pour tenter de déterminer la dynamique spatiale de l'établissement des homards sur le fond en fonction des caractéristiques de celui-ci, en termes d'éléments structuraux de l'habitat et d'assemblages biotiques. Les gestionnaires des pêches ont besoin d'information sur le lieu, la nature et la superficie des habitats de recrutement du homard au sein des vastes zones productives à l'échelle régionale. La connaissance de l'écologie des homards pendant les trois premières années de leur vie benthique fournit aux pêches canadiennes une information essentielle pour la prévision à long terme (cinq à sept ans) du recrutement. De plus, une connaissance détaillée de la localisation et des caractéristiques de l'habitat est indispensable à la conception d'un programme de surveillance du recrutement et à la réussite dans la gestion des stocks.

La cartographie géologique à haute résolution et la caractérisation des fonds marins de l'habitat près-côtier du homard ont été entreprises dans des régions de l'ouest du golfe du Saint-Laurent et du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse. On a constitué des mosaïques de données de sonar latéral haute résolution (fig. 2); après leur interprétation géologique, elles ont été fournies aux biologistes spécialistes du homard qui s'en servent pour établir la base des transects de validation en plongée pour observation visuelle, vidéo et échantillonnage. Les premiers résultats indiquent que l'évaluation géologique de la distribution des sédiments, de la topographie du fond et de la dynamique du transport des sédiments fournit une information essentielle permettant de comprendre la distribution spatiale et temporelle des habitats de recrutement du homard.

Évaluation du pétoncle

Un nouveau projet de collaboration entre l'industrie, le MPO et la CGC-A vise à explorer l'application de l'information géoscientifique à la pêche du pétoncle géant sur le banc Browns, dans l'ouest de la plate-forme Néo-Écossaise. Le pétoncle géant est l'un des invertébrés de pêche commerciale les plus importants de l'est du Canada, qui vient au deuxième rang, après le homard, pour la valeur au débarquement. On trouve généralement ce bivalve dans des zones à fond de gravier, mais on connaît assez mal les autres caractéristiques des fonds favorables. Le projet vise des objectifs multiples :

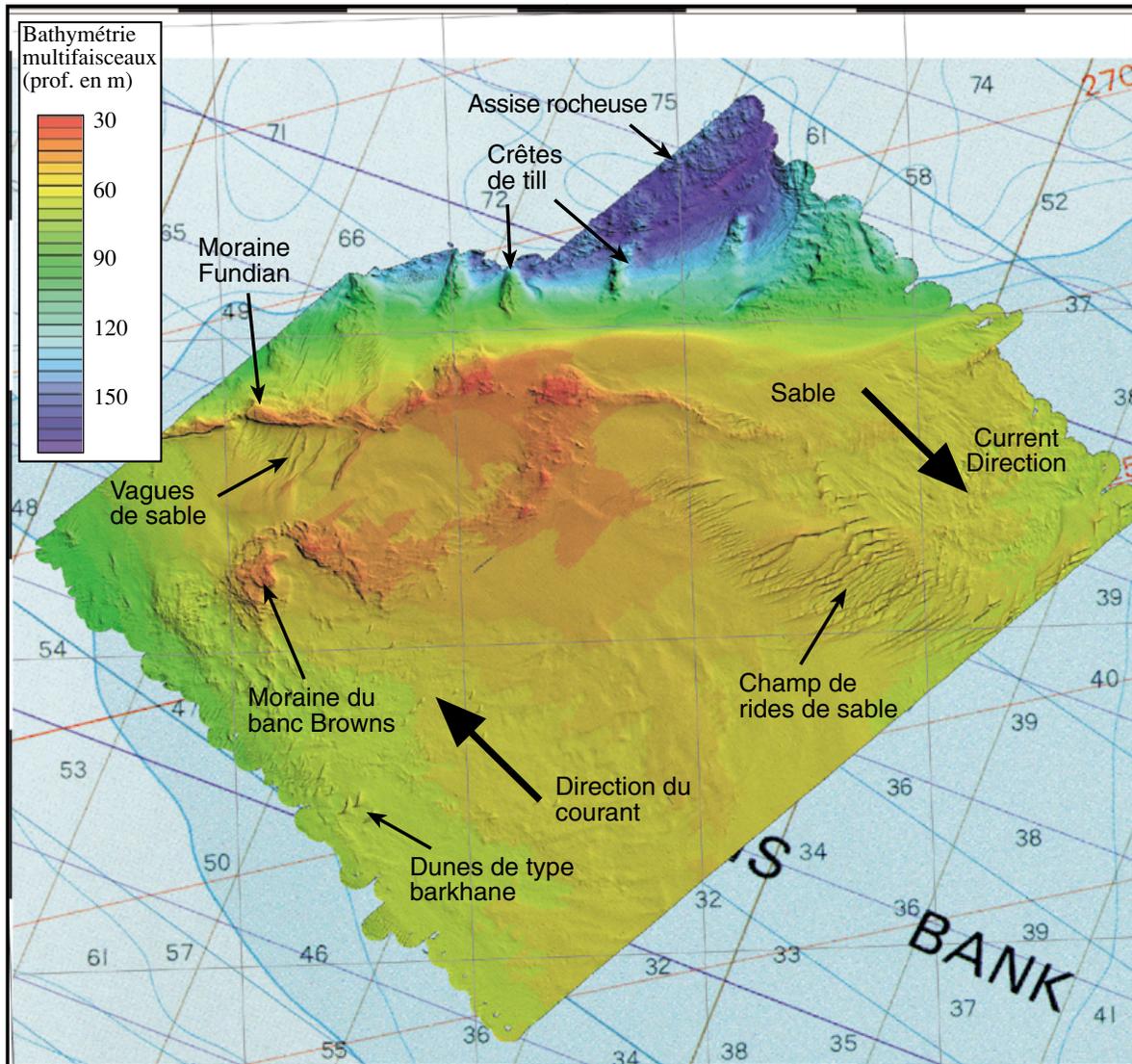


Figure 4 : Image de bathymétrie multifaisceaux de l'ouest du banc Browns, ouest de la plate-forme Néo-Écossaise. Le code des couleurs représente les profondeurs, et on a ajouté des ombres portées du nord-ouest pour faire ressortir la morphologie. On observe des moraines à crêtes de blocs, des champs de rides de sable, des deltas d'accore de bas niveau, et divers autres types particuliers de terrain. Le banc est globalement constitué de matériaux glaciaires, remaniés et modifiés par une transgression marine à la période post-glaciaire. On observe les unes à côté des autres des formes glaciaires (reliques) et modernes (actuelles) du fond marin.

- comprendre la relation entre l'histoire de l'effort de pêche, les débarquements et le substrat;
- comprendre la relation entre la répartition du pétoncle, son écologie et son habitat benthique;
- fournir de l'information permettant d'améliorer l'efficacité de la pêche, notamment en évitant les obstacles et les dangers, et d'optimiser les pratiques de pêche;
- constituer un savoir sur lequel fonder une gestion durable de cette pêche.

En travaillant à répondre à ces objectifs, la CGC-A a aussi recueilli une information critique pour le programme de géoscience fondamentale, qui vise à comprendre l'évolution glaciaire et post-glaciaire de la plate-forme Néo-Écossaise, cadre dans lequel s'inscrit la distribution des sédiments superficiels et des éléments de relief.

Les travaux avaient commencé par la collecte, le traitement et l'interprétation des données de bathymétrie multifaisceaux; on a ensuite recueilli des grilles de levés de sismique-réflexion haute résolution et de sonar à balayage latéral, ainsi que l'information fournie par un échantillonnage à gros volume et des images vidéo et photographiques. L'intégration de toutes ces séries de données ouvre

une perspective remarquable, puisqu'elle permet de séparer les processus anciens et modernes, à l'œuvre sur le banc Browns, qui agissent sur la répartition et l'abondance des pétoncles. Par exemple, le flanc nord du banc est constitué par la moraine Fundian, élévation de 80 km de longueur, aux flancs abrupts hauts de 15 m et au sommet large de 2 km couvert de gros blocs. La moraine s'est formée pendant le retrait des glaciers qui couvraient l'ouest de la plate-forme Néo-Écossaise, il y a environ 20 000 ans (fig. 3). L'observation du flanc nord de la moraine montre la présence de communautés denses de pétoncles juvéniles associées à du gravier dont la taille va du granule au petit caillou. D'autres zones situées au sud de la moraine abritent des pétoncles plus gros et plus matures. La présence des juvéniles sur le flanc de la moraine permet de penser que

Effets du chalutage

À l'échelle mondiale, tant dans l'industrie de la pêche que chez les législateurs, on s'inquiète des effets des engins mobiles sur l'habitat du fond et les écosystèmes benthiques (productivité et biodiversité). Le chalutage occasionne un certain nombre de modifications directes et indirectes dans l'écosystème, notamment des changements dans les populations de poisson et les communautés benthiques, et la libération de matières nutritives organiques et inorganiques (De Groot, 1984). Le chalut de fond modifie directement la structure et la morphologie du fond marin, et la pression de l'engin affecte la constitution du sédiment subsuperficiel, notamment la structure de l'habitat. Un fond non perturbé contient généralement une épifaune constituée de

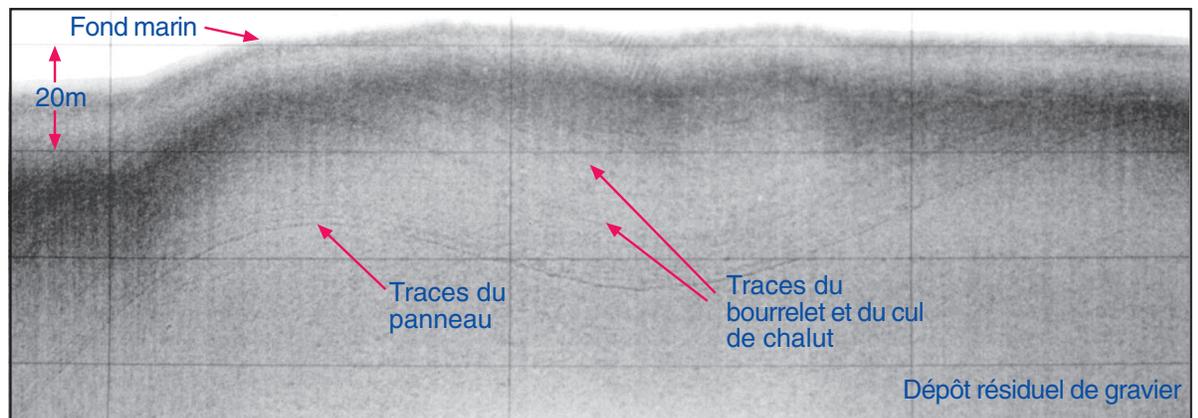


Figure 5 : Sonogramme des marques laissées par le chalut sur un fond de gravier du banc Occidental, plate-forme Néo-Écossaise. La marque extérieure, creusée par les panneaux, est plus profonde et plus continue que les lignes laissées par le bourrelet et le cul de chalut. Ces marques peuvent persister pendant plusieurs années, particulièrement lorsqu'elles sont faites sur des fonds durs graveleux.

les forts courants venus de la baie de Fundy qui traversent le banc du nord-ouest au sud-est sont modulés par le relief de la moraine, ce qui crée un habitat aux caractéristiques favorables et où la nourriture abonde pour les pétoncles juvéniles.

Dans ses étapes ultérieures, le projet visera à extraire une information complémentaire sur les propriétés des sédiments à partir des données étalonnées de rétrodiffusion de la bathymétrie multifaisceaux. On combinera cette information aux données sur les captures de pétoncles et sur le transport des sédiments pour mieux comprendre la relation complexe entre la distribution des pétoncles et la géologie du fond marin. Il est prévu qu'une série d'évaluations géologiques du fond, présentées comme des couches d'information sur les caractéristiques et les conditions dynamiques du fond, constitueront la base permettant d'améliorer à la fois les pratiques de pêche et la gestion des pêches.

bryozoaires, d'hydrozoaires et d'éponges, ainsi que des tubes de polychètes et d'amphipodes qui offrent une protection et un substrat à des taxons fragiles comme les crevettes, les ophiures et les polychètes (Collie et al., 1997). Par contre, on observe souvent une réduction des communautés épifauniques et de la porosité des sédiments grossiers dans les zones chalutées.

Dans l'ensemble, les études précédentes étaient surtout qualitatives, et les caractéristiques géologiques du fond marin étaient souvent omises ou évaluées de façon insuffisante. Un projet récemment mis sur pied par le MPO, RNCAN et l'industrie tente d'aborder ces questions dans le cadre d'une étude de trois ans sur les effets du chalutage du fond sur le banc Occidental et les effets du dragage des coquillages sur le Banquereau. Il s'agit du suivi d'une étude menée antérieurement sur les Bancs de Terre-Neuve sur

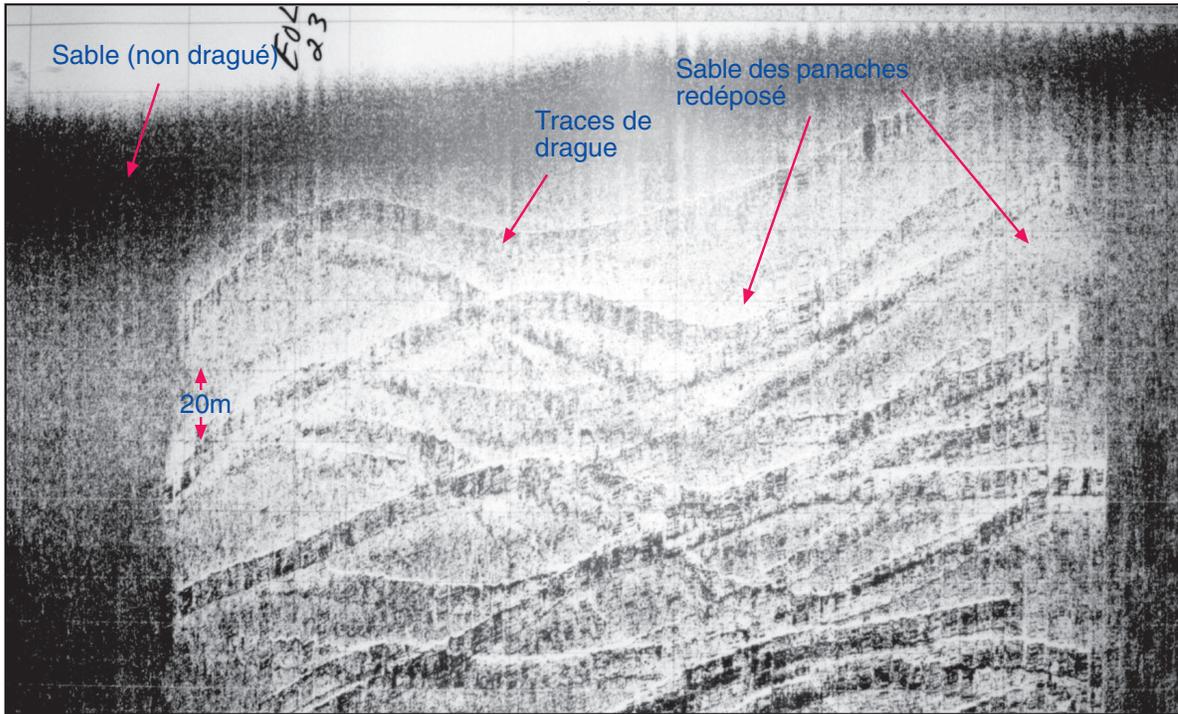


Figure 6 : Sonogramme d'une zone labourée par une drague à coquillages dans le sud du Banquereau, sur la plate-forme Néo-Écossaise. Le fond non perturbé est constitué de sable moyen abritant une communauté benthique dense et présentant de nombreux trous de siphons de pitot et de mactre. Il présente une rétrodiffusion d'intensité moyenne sur les données sonar. Les traces de la drague sont des dépressions linéaires de 4 m de largeur et de 20 cm de profondeur présentant une rétrodiffusion d'intensité moyenne. Entre les traces de la drague, le fond est d'une couleur plus pâle, ce qui indique une rétrodiffusion acoustique faible. Le phénomène est dû aux dépôts des panaches de sable produits par le dragage. Noter les ondulations et les croisements des traces de la drague.

un substrat sablonneux, qui avait fait ressortir une réduction de 25 % des invertébrés dans les corridors chalutés par rapport aux corridors témoins non chalutés (Gordon et al., dans la présente Revue).

La région couverte par cette étude est la zone d'alevinage de l'aiglefin de 4TVW située sur le banc Occidental, plate-forme Néo-Écossaise, qui est fermée depuis 1987 à la pêche du poisson de fond aux engins mobiles. Des campagnes de chalutage contrôlé ont été menées, accompagnées d'observations au sonar latéral, par échantillonnage et par vidéo, avant et après le chalutage, dans les zones d'étude et des zones de référence. Un système original d'imagerie acoustique qui donne une résolution de l'ordre du millimètre (DRUMS^{MD}) a également été déployé pour étudier à très haute résolution la structure du fond marin jusqu'à une profondeur de 0,5 m (Schwinghamer et al., 1996). Le système fournit une mesure étalonnée de la texture du sédiment (structure de l'habitat), qui donne un moyen acoustique supplémentaire et indépendant pour quantifier la perturbation causée par le chalutage.

Les données du sonar latéral montrent nettement que ce sont les panneaux du chalut qui creusent les sillons linéaires les plus profonds sur la surface plate de dépôts résiduels constitués de galets et de cailloux, mais le cul de chalut et le bourrelet dessinent aussi des lignes distinctes sur le fond marin (fig. 4). C'est ainsi que l'on interprète le subtil alignement de particules auquel le sonar latéral est particulièrement sensible. Les relevés sonar menés parallèlement à l'opération de chalutage établissent une corrélation entre les effets de chaque composante du train de pêche et des marques distinctes sur le fond. Les échantillons benthiques prélevés dans les zones chalutées sont actuellement à l'étude, mais les observations préliminaires révèlent une réduction de la biodiversité et un changement dans la porosité du sédiment. On note également une réduction du volume des échantillons prélevés dans les zones chalutées, ce qui peut être imputable à un réarrangement des clastes graveleux en associations plus compactes qui rendent moins efficace l'échantillonnage.

Impacts de la récolte des coquillages

Deux types de pêche des coquillages sont évalués : près du littoral et sur les bancs du large. Au Nouveau-Brunswick et à l'Île-du-Prince-Édouard, on récolte les palourdes dans la zone

intertidale à l'aide de petits râteaux hydrauliques. On ne connaît pas l'impact des râteaux sur la population de palourdes, mais la baisse des récoltes a contraint les autorités à interdire cette pêche dans les deux provinces. La CGC-A a participé à une expérience contrôlée visant à évaluer l'impact de la récolte sur le recrutement des juvéniles. Les râteaux hydrauliques fluidisent la couche supérieure de 30 cm de sédiments. Le prélèvement de courtes carottes dans le sable avant et après le passage du râteau montre que l'opération accroît la porosité et réduit la densité globale des gisements de palourdes pour une période de trois à quatre semaines. Le recrutement des juvéniles est plus élevé dans ces gisements « labourés » que dans les sites témoins des alentours, ce qui permet de penser que le passage du râteau a un effet bénéfique sur les palourdes pendant les premiers stades de leur vie. Les propriétés géotechniques du sol fournissent donc une méthode simple mais efficace pour quantifier les modifications physiques induites dans les gisements par l'opération de récolte.

À plus grande échelle, la pêche des palourdes en haute mer sur le Banquereau, dans l'est de la plate-forme Néo-Écossaise, utilise des dragues de 4 m équipées d'un système à jets d'eau sous pression pour liquéfier le sédiment. L'examen des corridors avant et après le chalutage, ainsi que des corridors témoins, montre que la drague hydraulique perturbe plus le fond que le chalutage, car les jets d'eau creusent un sillon pouvant mesurer jusqu'à 20 cm. Les panaches de sable mis en suspension par l'opération de pêche retombent sur le fond à une distance de 10 à 15 m de part et d'autre du passage de la drague, et apparaissent nettement dans les données acoustiques et photographiques sous la forme d'un dépôt frais de sable fin, pratiquement dépourvu d'organismes brouteurs (fig. 5). Nous poursuivons l'analyse des échantillons benthiques pour effectuer une évaluation quantitative de la mortalité.

La technologie du sonar latéral est précieuse, car elle fournit une confirmation que le fond marin est intact avant le relevé, puis donne une carte des traces laissées par la drague. Malgré les efforts déployés pour suivre des lignes parallèles et équidistantes, les données sonar montrent que les traces de la drague sont souvent ondulées, se croisent et se chevauchent, ce qui est dû à la présence de forts courants et à l'impossibilité de tirer la drague en ligne droite sur le fond. L'information sonar permet toutefois d'effectuer correctement l'échantillonnage après le dragage, en positionnant l'équipement de prélèvement dans la zone draguée et à l'extérieur.

Autres projets visant l'habitat

Dans la baie de Fundy, des recherches en cours sur le couplage benthique-pélagique (Wildish et al., 1998; Wildish et Fader, 1998) concernent des récifs linéaires de bivalves (modioles) couvrant de grandes portions du fond marin. Ces récifs ont été découverts grâce au sonar latéral pendant des projets de cartographie géologique menés par la GCC-A. Ils se présentent comme de longs biohermes linéaires pouvant atteindre 3 m de hauteur au-dessus du fond environnant, 20 m de largeur et une longueur de l'ordre du kilomètre. Cette recherche, en collaboration avec le MPO, s'est élargie à l'évaluation d'autres communautés benthiques et aux relations avec les provinces sédimentaires dans la baie de Fundy.

La possibilité d'élever le pétoncle en pleine mer a été envisagée pour certaines zones de la baie de Fundy. Pour qu'un tel projet réussisse, il est indispensable de connaître le type de sédiment du fond, et tout particulièrement le transport des sédiments.

La diffusion du savoir géoscientifique à l'industrie aquacole côtière ouvre aussi de nouvelles possibilités. Comme pour tout grand projet ou structure installés sur le fond marin, la première étape de la localisation doit passer par une évaluation des conditions environnementales du site proposé. Les nouveaux outils de cartographie haute résolution proposés par le géologue, notamment la bathymétrie multifaisceaux, permettent de caractériser les zones où on veut implanter un projet aquacole, pour déterminer les voies de transport des contaminants, la présence de danger sur le fond et au-dessous, et l'existence de ressources comme des gisements d'or ou d'agrégats de minéraux qui susciteraient une exploitation concurrente. On peut interpréter les données subsuperficielles pour extrapoler l'information sur ces caractéristiques et sur l'environnement, en remontant dans le temps, avec une très haute résolution.

Discussion

Sur toute la planète, comme au Canada, le développement et l'application d'outils de cartographie haute résolution des fonds marins et de moyens géotechniques à la recherche géoscientifique traditionnelle dans le milieu marin ont coïncidé avec la baisse des stocks de poisson, une plus grande efficacité des techniques de pêche, l'exploitation commerciale de nouveaux stocks de poisson et un déclin à l'échelle mondiale de la viabilité des écosystèmes marins. Les chercheurs et les gestionnaires du domaine des pêches se sont

donc trouvés confrontés à la nécessité de comprendre l'écologie des fonds marins pour assurer le développement durable des pêches. Il est maintenant reconnu que les outils géoscientifiques fournissent une information précieuse qui aide à répondre à certaines des questions que posent la recherche en écologie benthique, la définition et la délimitation des habitats, la gestion des pêches et les études sur l'impact des engins de pêche. Le but à long terme est de comprendre de façon systématique le couplage entre les caractéristiques du fond et les communautés benthiques qui leur sont associées.

L'application du savoir géoscientifique aux questions océanologiques va se renforcer dans l'avenir, avec notamment la contribution à des projets comme la délimitation des Zones de protection marine, l'élaboration de stratégies pour protéger les habitats critiques, la construction de récifs artificiels pour l'élevage du homard et l'évaluation des sites aquacoles. Les cartes de l'utilisation des fonds marins vont se répandre, tout comme les cartes de l'utilisation des terres, qui jouent maintenant un rôle de premier plan dans le développement urbain et rural. Pour le géologue marin, les recherches futures seront axées sur l'extraction des attributs géologiques à partir de données de télé-acoustique.

La présence de demandes concurrentes visant les ressources déjà trop sollicitées du littoral a mené à l'élaboration d'une politique de gestion intégrée des zones côtières pour le Canada. Cette politique établit un cadre dans lequel il est possible de prioriser, de contrôler et de soutenir des usages concurrents du territoire, comme l'aquaculture, la pêche, l'exploitation minière, le tourisme, l'élimination des déchets, l'installation de câbles et de pipelines et l'exploitation des gisements pétroliers. Avec la nouvelle Loi sur les océans, la cartographie des fonds marins va fournir des cartes de base qui constitueront le fondement de la gestion intégrée des zones côtières, et les liens ne pourront que se renforcer entre les océanographes, les gestionnaires des pêches, l'industrie et les géologues marins.

Remerciements

Nous remercions les techniciens géoscientifiques Austin Boyce et Bob Miller, qui ont recueilli et traité les données de sonar latéral pour les présenter sous forme de mosaïques. Le Service hydrographique du Canada nous a fourni des données de bathymétrie multifaisceaux au fil de plusieurs années de collaboration à des levés et des projets, et nous le remercions de son soutien. Nous avons tiré profit de nombreuses conversations et collaborations avec des

biologistes marins qui, en apportant leur savoir sur les habitats, ont éclairé la communauté des géologues. La liste est longue et inclut Don Gordon, Peter Lawton, Dave Wildish et leurs techniciens. Nos levés n'auraient pu être réalisés sans l'aide des bâtiments de la Garde côtière canadienne. Le manuscrit a été revu par Gary Sonnichsen et Don Forbes, de la CGC-Atlantique.

Références

Collie, J.S., Valentine, P.C. and Auster, P. 1997. Trawlimpact studies in New England. Conference on effects of fishing gear on the sea floor of New England, Northeastern University, Ashland, MA.

Courtney, R.C., Sonnichsen, G. and Parrott, D.R. 1993. Hibernia Swath Bathymetry, the Grand Banks of Newfoundland. Geological Survey of Canada Open File Report # 2712. Poster.

Courtney, R.C., 1993, Halifax Harbour Bathymetric Morphology, Geological Survey of Canada Open File Report No. 2637.

Courtney, R. C. et Fader, G.B.J. 1994. Une nouvelle compréhension du plancher océanique grâce à la cartographie multifaisceaux. Revue des sciences 1992 et 1993. Ministère des Pêches et des Océans, p. 10-16.

De Groot, S.J. 1984. The impact of bottom trawling on the benthos fauna of the North Sea. Ocean Management 9: p. 177 - 190.

King L. H. 1970. Surficial geology of the Halifax-Sable Island Map Area. Marine Sciences Paper No. 1, 16p.

King, L. H. and Fader, G. B. J. 1986. Wisconsinian glaciation of the southeastern Canadian Continental Shelf. Geological Survey of Canada Bulletin 363.

Kenchington, T.J. and Halliday, R.G. 1994. A survey of fishing practices in the Scotia-Fundy region groundfish longline fisheries. Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences 2225, Department of Fisheries and Oceans, Bedford Institute of Oceanography.

Lawrence, P., Strong, K.W., Pocklington, P., Stewart, P.L. and Fader, G.B.J. 1989. A Photographic Atlas of the Eastern Canadian Continental Shelf, Geological Survey of Canada Open File Report No. 2054. 185 p.

Schwinghamer, P., Guigne, J.Y. and Siu, W.C. 1996. Quantifying the impact of trawling on benthic habitat structure using high resolution acoustics and chaos theory. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences: 53: p. 288- 296.

Wildish, D.J., Fader, G.B.J, Lawton, P. and MacDonald, A.J. 1998. The acoustic detection and characteristics of sublittoral bivalve reefs in the Bay of Fundy. Continental Shelf Research 18, p. 105 - 113.

Wildish, D.J. and Fader, G.B.J. 1998. Pelagic-benthic coupling in the bay of Fundy. Hydrobiologia 375/376: 369-380.

Willison, M. and Butler, M. 1998. Ecosystem management of fisheries. Ecology Action Centre Publication Winter, 1998, Vol. 16, No. 1. P. 8-11. Figures

La pêche à la crevette nordique dans les eaux méridionales - c'est l'environnement qui fixe les limites

Peter Koeller

La crevette nordique, *Pandalus borealis* (fig. 1), porte bien son nom, puisqu'elle se rencontre dans toute la partie septentrionale des grands océans du monde, en particulier le Pacifique Nord et l'Atlantique Nord, ainsi que dans les mers de Barents et de Béring. Sur la plateforme Néo-Écossaise, l'espèce atteint presque les limites de son aire de répartition et, par inférence, ses limites physiologiques. Les conditions n'y sont pas toujours optimales, ni pour la survie de l'animal, ni pour la pêche qui en dépend. En effet, bien que les fonds vaseux qui constituent l'habitat de prédilection de l'espèce y soient relativement répandus, la zone thermique préférée (1 à 6 °C) ne s'observe pas partout, non plus en tout temps de l'année. Dans le sud de son aire de répartition (p. ex. au sud d'Halifax, dans l'ouest de l'Atlantique Nord), la crevette nordique effectue normalement des migrations saisonnières vers des zones plus froides. Comme on peut s'y attendre chez une espèce nordique qui vit en eaux froides, les hausses soutenues de température se traduisent par une réduction de l'abondance du

crustacé. Si le refroidissement des eaux au cours des années 90 a certainement contribué à l'accroissement observé des stocks méridionaux de la crevette nordique, il convient de rappeler que durant cette même période, les populations des principaux prédateurs du crustacé, en particulier la morue, sont tombées à un seuil plancher sans précédent. Les stocks de crevette déclineront probablement à leur tour si les températures augmentent et si les stocks de poisson de fond se rétablissent. Il est donc impératif de mettre en place un régime de gestion permettant de maximiser l'exploitation d'une population dont l'évolution est si intimement liée aux changements environnementaux et écologiques. Comment peut-on obtenir un rendement durable d'une population qui a de la difficulté à se maintenir par elle-même? En prenant toutes les précautions qui s'imposent. Ainsi, il est absolument essentiel de bien comprendre les liens qui existent entre la biologie de la crevette nordique et la dynamique de ses populations, d'une part, et l'environnement,



Figure 1 : *P. borealis* à 300 m de profondeur, au large de Louisbourg. (Photographier à partir d'un véhicule submersible)

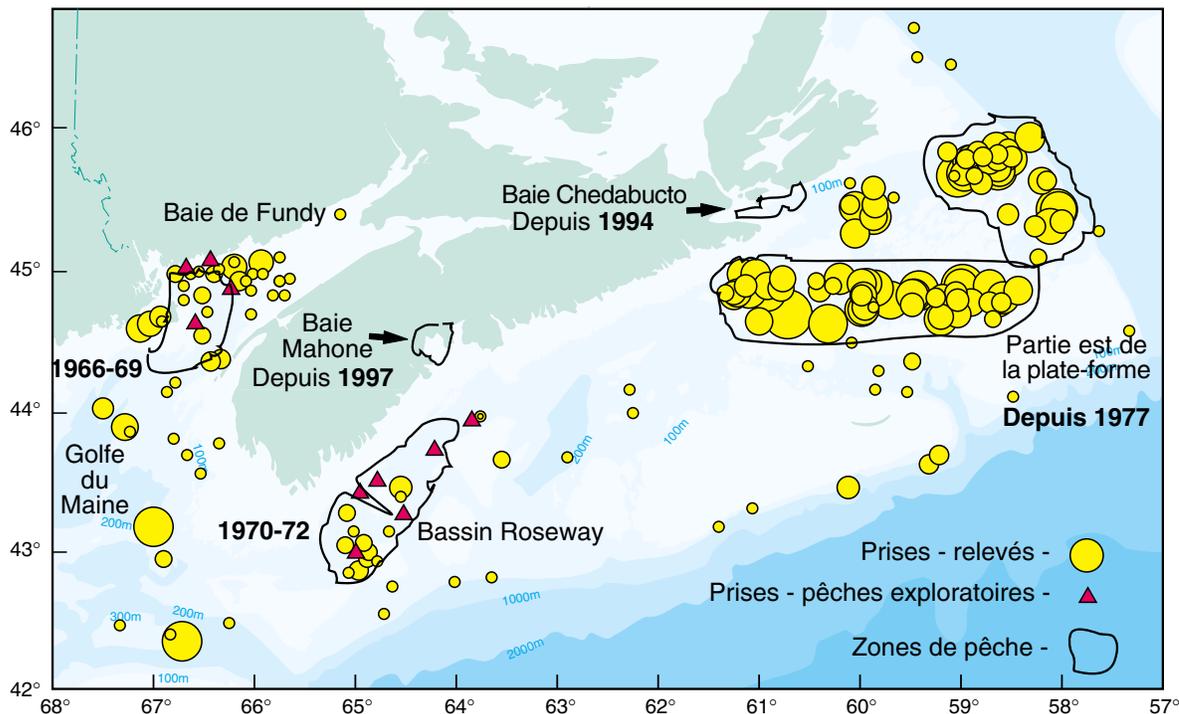


Figure 2 : Distribution des prises de crevettes enregistrées dans le cadre des relevés du poisson de fond menés par le MPO sur la plate-forme Néo-Écossaise (1970-1984), emplacement des prises importantes enregistrées dans la partie ouest de la plate-forme durant les expéditions de pêche exploratoire conduites par les ministères des Pêches de la Nouvelle-Écosse et du Nouveau-Brunswick, et emplacement des zones de pêche à la crevette actuelles et passées. Le diamètre des cercles est proportionnel à l'importance des prises.

d'autre part. Il faut également se doter d'un régime de gestion permettant de surveiller les activités de pêche et l'évolution des populations de la crevette avec suffisamment de précision pour réduire les quotas dès que les conditions environnementales menacent la ressource ou, au contraire, les accroître lorsque la situation s'améliore.

La pêche à la crevette sur la plate-forme Néo-Écossaise a débuté dans la baie de Fundy au milieu des années 60 (fig. 2), mais elle a périclité rapidement après 1969. En 1970, la plupart des crevettiers de la baie de Fundy devaient gagner la haute mer pour pêcher les fortes concentrations connues dans le bassin Roseway. Les taux de capture ont cependant continué de diminuer au point d'entraîner l'arrêt complet des activités de pêche quelques années plus tard. L'essor de la pêche à la crevette dans la partie ouest de la plate-forme, c'est-à-dire la zone située à l'ouest de la baie Chedabucto, coïncide avec l'enregistrement de prises records dans le golfe du Maine (fig. 3A) et l'observation, dans le cadre de relevés indépendants menés par l'industrie de la pêche, d'indices d'abondance élevés dans les deux secteurs (fig. 3C). Dans le golfe du Maine et la partie ouest de la plate-forme, les fortes

abondances ont été observées après une période de refroidissement significatif des eaux qui s'est révélée favorable au crustacé (fig. 3B).

Dans la partie est de la plate-forme, c'est-à-dire dans les secteurs situés au sud et à l'est de la baie Chedabucto, la pêche à la crevette nordique se pratique sans interruption depuis le milieu des années 70 (fig. 2). Sa progression y a toutefois été entravée par l'imposition de limites de prises secondaires jusqu'au début des années 90. Les pêcheurs ont alors commencé à utiliser un engin de pêche qui permettait aux poissons de fond de s'échapper et qui ne retenait que les crevettes. Le fait que la pêche ait été par la suite fructueuse seulement dans la portion est de la plate-forme et que les stocks y aient été plus abondants (fig. 2) et aient évolué de façon distincte dans le temps (fig. 3C) démontrent que les conditions environnementales dans ce secteur diffèrent fondamentalement de celles qui prévalent dans la partie ouest. L'abondance et la distribution de la crevette à l'échelle de la plate-forme sont principalement liées à la température de l'eau et à la disponibilité des habitats favorables (fig. 4). Si la population est nettement moindre et plus instable dans la partie ouest, les habitats favorables y sont par contre plus nombreux. L'habitat n'est donc pas en cause ici. En revanche, les zones où la

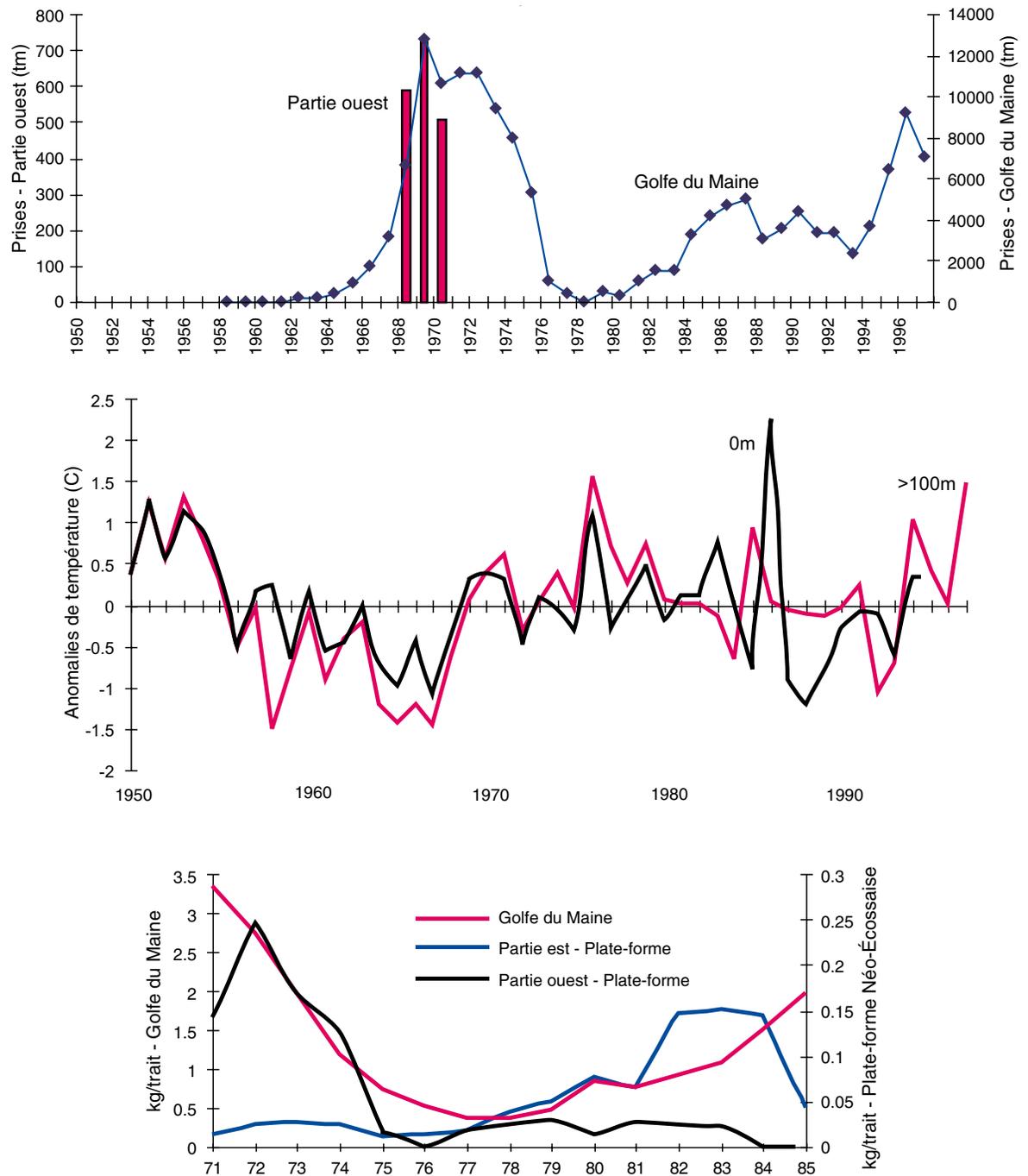


Figure 3 : A. Prises commerciales de crevettes enregistrées dans la partie ouest de la plate-forme Néo-Écossaise et dans le golfe du Maine. B. Anomalies de température en surface et en profondeur à un point précis de la partie ouest. C. Prises secondaires de crevettes (moyenne stratifiée, en kilogrammes par trait) enregistrées dans le cadre de relevés de poissons de fond menés dans le golfe du Maine et sur la plate-forme.

température de l'eau est favorable à l'espèce y sont rares et, à l'exception de la région du bassin Roseway, se trouvent hors de l'aire de distribution de la crevette. La situation est pratiquement opposée dans la partie est, les habitats favorables y étant relativement rares, mais les zones thermiques favorables y étant beaucoup plus abondantes et plus étendues. Apparemment, c'est la température qui restreint la croissance de la population dans la partie ouest, alors que c'est la

disponibilité des habitats favorables qui semble jouer ce rôle dans la partie est. Ironiquement, le succès soutenu de la pêche dans la partie est pourrait être dû à la superficie relativement faible des habitats favorables, la population se trouvant concentrée dans une zone à la fois circonscrite et facilement accessible.

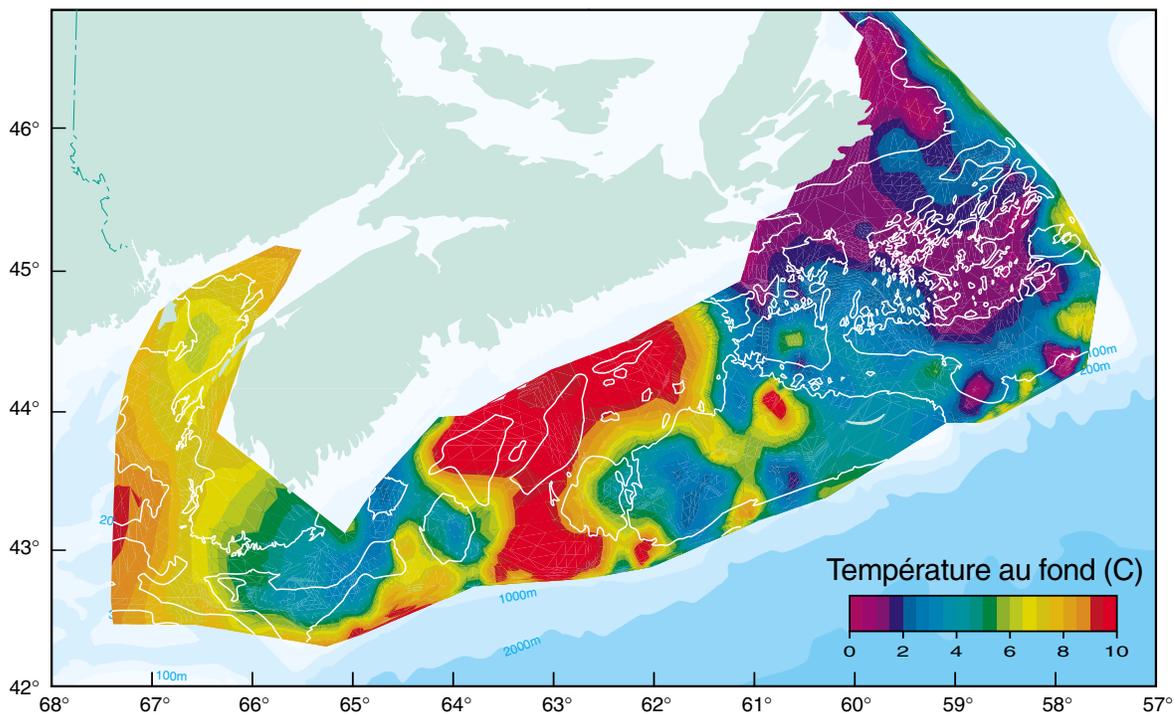


Figure 4 : Distribution des températures au fond mesurées lors du relevé des poissons de fond en juillet 1996 et emplacement des habitats favorables à la crevette (argile La Hève) sur la plate-forme Néo-Écossaise (délimité par la ligne blanche et noire pointillée).

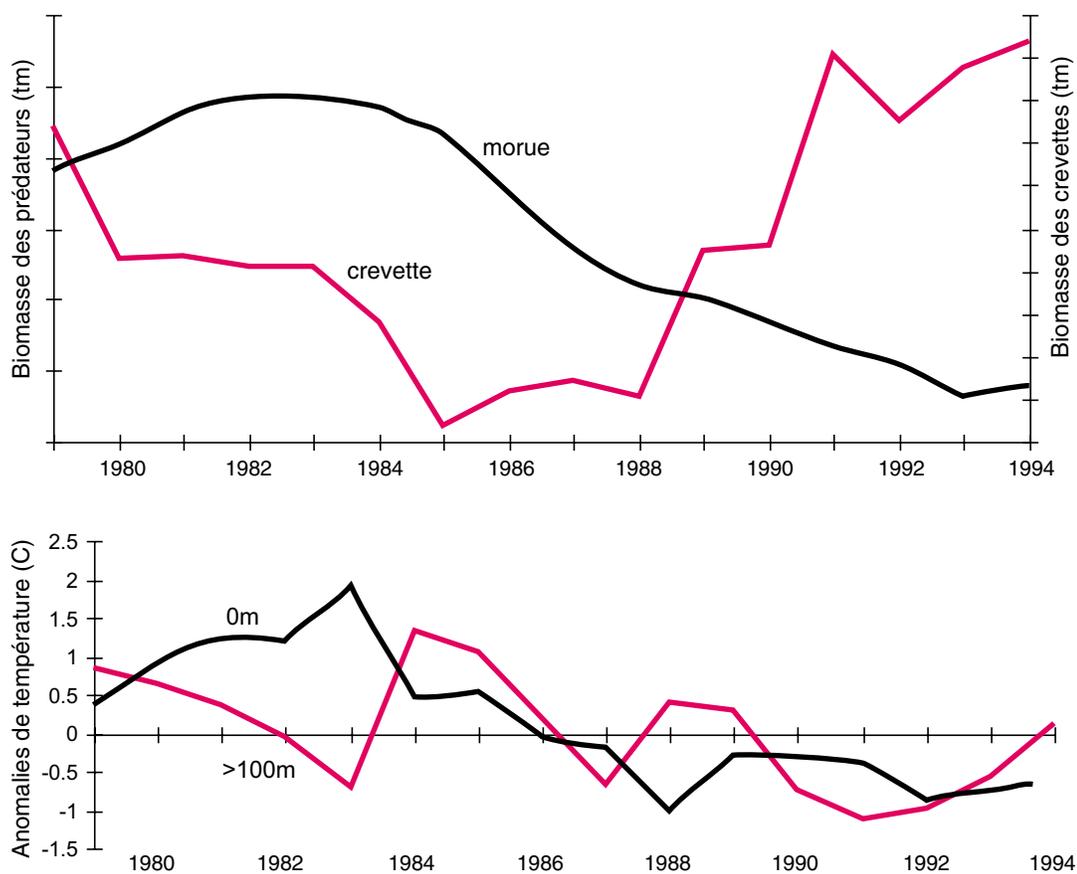


Figure 5 : Abondance de la crevette et de la morue et anomalies de température moyennes en juillet sur la partie est de la plate-forme Néo-Écossaise, 1979-1994.

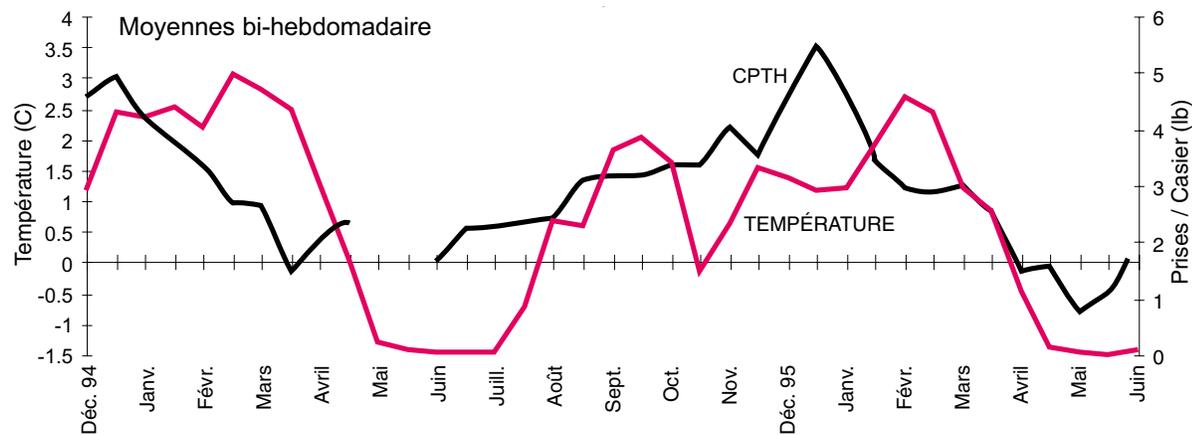


Figure 6 : Moyennes sur deux semaines des prises par casier et des températures au fond dans les zones de pêche à la crevette de la baie Chedabucto (Nouvelle-Écosse). Aucune donnée pour mai 1994.

En dépit de sa plus grande abondance, la population de la partie est peut connaître des fluctuations considérables dans le temps (fig. 5). Comme la température de l'eau en surface (ce facteur peut agir sur la survie des larves) et l'abondance de la morue ont reflété assez fidèlement l'abondance de la crevette nordique durant toute cette période, il semble que les prédateurs influent tout autant que les températures sur l'abondance de la crevette dans la partie est.

La partie est constituée également le seul endroit où l'on trouve une population de crevette établie en zone côtière. C'est probablement parce que cette zone est également le seul secteur côtier où les habitats (fonds vaseux en zones profondes) et les températures demeurent favorables à l'espèce durant la majeure partie de l'année (fig. 4). L'abondance de cette population a rendu possible le développement d'une pêche côtière au casier dans la baie de Chedabucto. Les pêcheurs interrompent leurs activités uniquement au printemps et au début de l'été, lorsque les crevettes de grande taille quittent la baie, fuyant les eaux trop froides (fig. 6). De façon surprenante, une autre pêche au filet de fond s'est développée dans la baie Mahone (fig. 2), pourtant beaucoup plus pauvre en habitats favorables que la partie est, les secteurs à fond vaseux se limitant à une petite zone à l'intérieur de la baie. Alors que la présence de tous les stades de développement dans la zone côtière de la partie est témoigne d'une population locale stable, les prises effectuées dans la baie Mahone ne renferment que des femelles oeuvées. Les crevettes présentes dans la baie Mahone proviennent donc d'ailleurs, et sont probablement issues de la population du bassin Roseway, qui était exploitée au début des années 70. La situation est similaire dans le golfe du Maine, où les

femelles oeuvées à la recherche d'eaux plus froides gagnent les zones côtières peu profondes en hiver. Paradoxalement, alors que la population du bassin Roseway est demeurée trop faible depuis les années 70 pour soutenir une pêche commerciale, la même population semble supporter une petite pêche au casier lorsqu'elle migre vers les eaux côtières pour se rassembler dans une zone bien circonscrite.

Pourquoi les crevettes gagnent-elles les eaux côtières dans certaines régions, alors qu'elles s'en abstiennent ailleurs? Cette disparité s'explique probablement par des différences régionales dans les fluctuations saisonnières de la température de l'eau. Dans la portion centrale de la plate-forme, les températures au niveau des fonds vaseux situés en eaux profondes, habitats préférés de la crevette, demeurent trop élevées ($> 6^{\circ}\text{C}$) durant toute l'année (fig. 7A). Aucune population de crevette ne s'y est établie. Dans le golfe du Maine, les températures en haute mer correspondent à la zone thermique préférée de la crevette uniquement du printemps à l'été. À mesure que les températures augmentent en automne et en hiver, les crevettes de plus grande taille migrent vers les zones côtières peu profondes où les températures sont plus favorables. Elles refont le chemin inverse lorsque les zones plus profondes en haute mer se refroidissent et les zones côtières se réchauffent (fig. 7A et B). Le même phénomène se produit dans la partie ouest de la plate-forme, où des crevettes de grande taille, provenant probablement des fonds du bassin Roseway, entrent dans la baie Mahone au printemps pour en ressortir à l'automne. En comparaison, au large de Terre-Neuve, les crevettes trouvent durant toute l'année des températures qui leur sont favorables et n'effectuent donc pas de migrations saisonnières. Dans la partie est de la plate-forme,

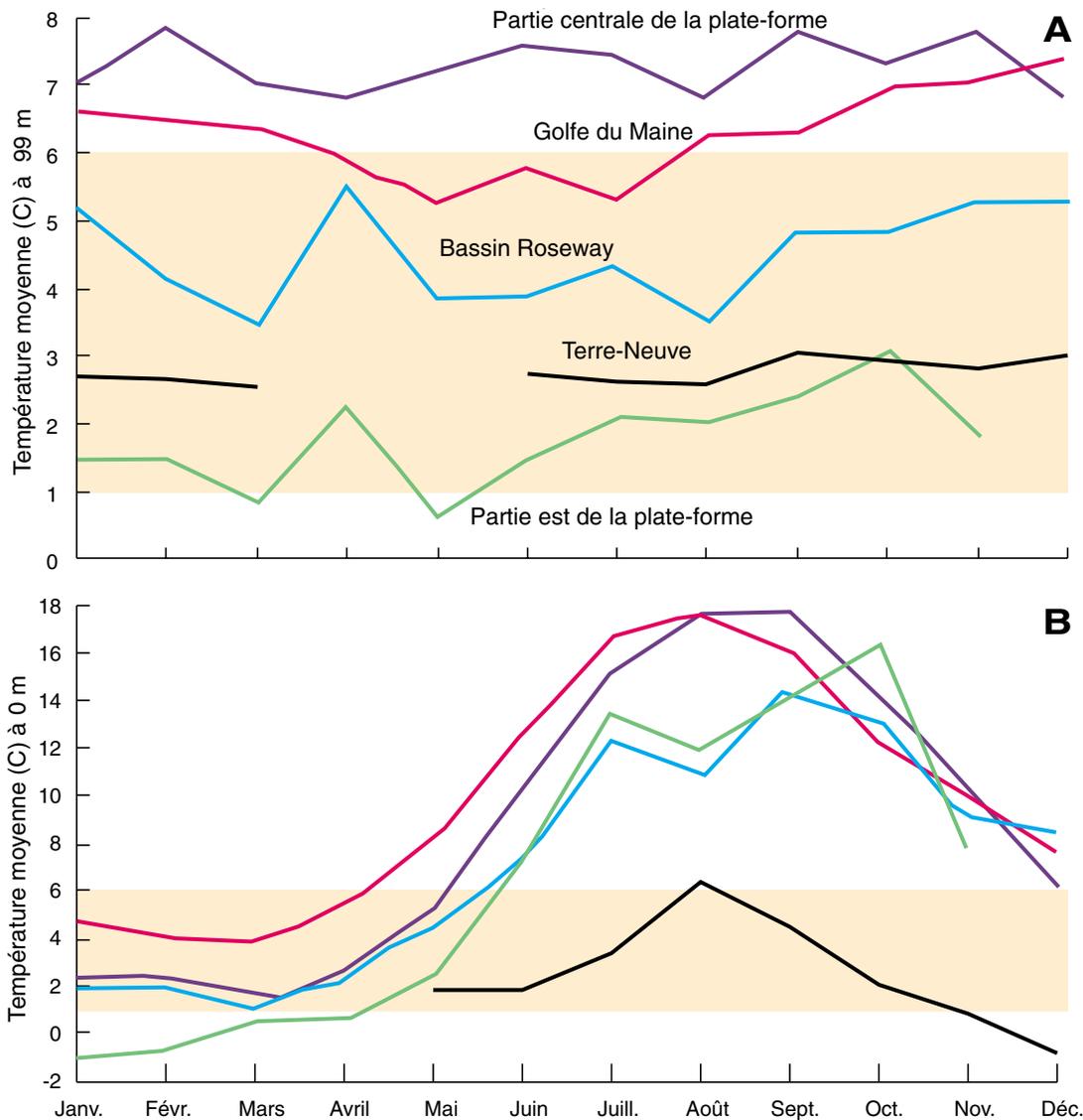


Figure 7 : Températures mensuelles moyennes en divers endroits situés à A. > 99 m de profondeur; B. 0 m de profondeur. Les zones ombrées indiquent la zone thermique préférée par *P. borealis*.

les crevettes demeurent dans la zone côtière durant toute l'année, mais elles migrent vers des eaux légèrement plus profondes au printemps et au début de l'été lorsque les températures à proximité des côtes s'abaissent trop (fig. 7B).

Pour toutes ces raisons, la plate-forme Néo-Écossaise semble être une zone de transition pour la crevette nordique. Comme dans le golfe du Maine, l'abondance de la population dans la partie ouest varie considérablement sous l'influence des fluctuations de température. En comparaison, la population de la partie orientale est beaucoup plus importante, et sa dynamique est régie par les prédateurs, les fluctuations de température et la disponibilité des habitats. Pour établir une pêche hauturière viable dans la partie ouest, il faudrait au préalable effectuer des relevés de reconnaissance afin de déterminer les périodes

et les aires d'abondance, de manière à pouvoir mobiliser rapidement la flottille crevettière dès que les taux de capture atteignent le seuil de la rentabilité commerciale.

Bien que la partie est puisse apparemment soutenir une pêche pendant de longues périodes, les taux de capture et l'abondance fluctuent encore par un facteur d'au moins 3 (fig. 5). Une simulation par ordinateur révèle comment une population de crevette soumise à un stress environnemental peut réagir à la pression additionnelle engendrée par la pêche. Cette population simulée, dont l'abondance initiale, la structure selon la taille, la croissance, la production d'oeufs et la biomasse correspondent à celles du stock de la partie est, peut être soumise à des fluctuations naturelles de la mortalité (due à la prédation), de la survie des oeufs (due à la varia-

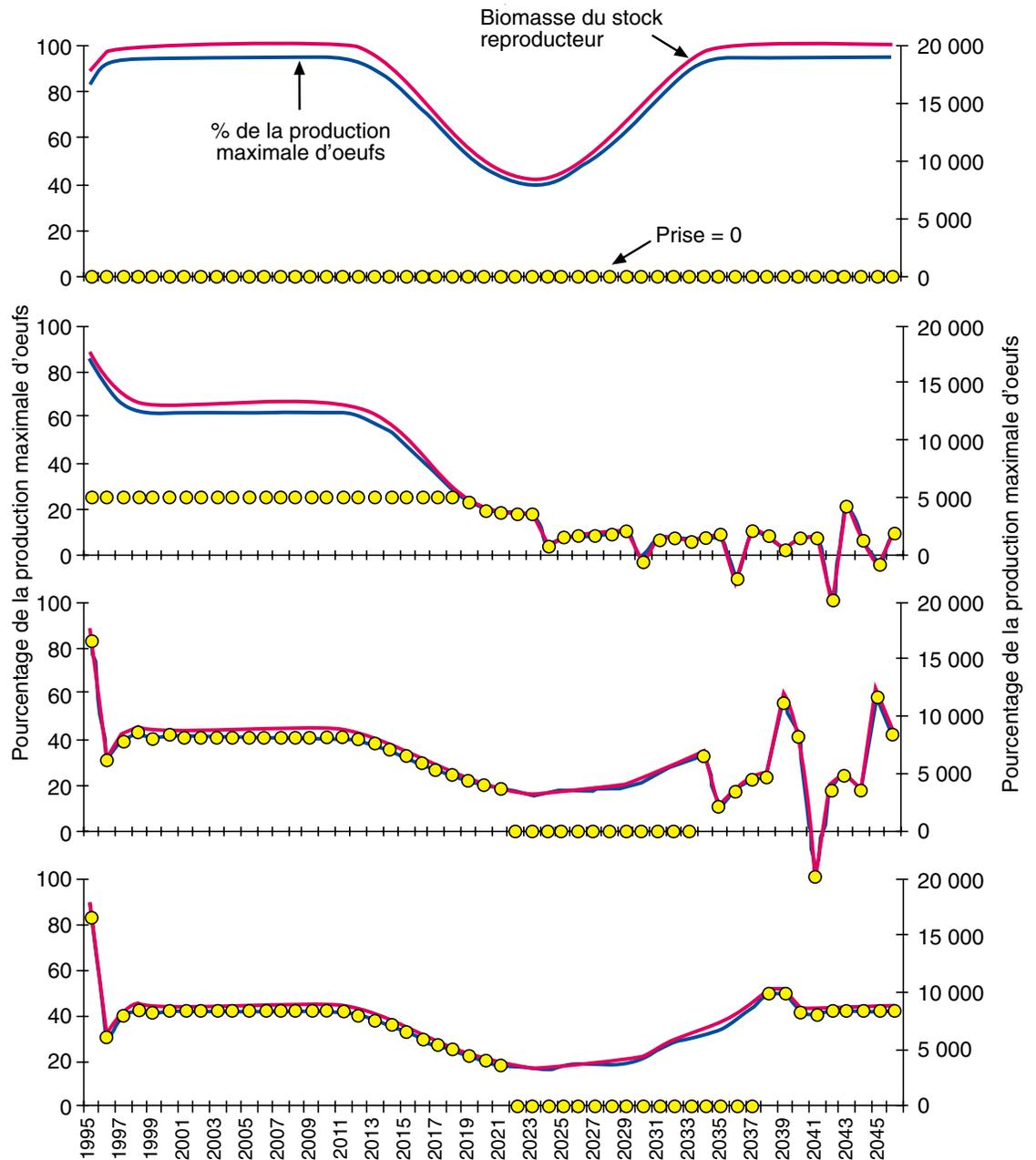


Figure 8 : Simulation d'une population de crevette dont la biomasse initiale du stock reproducteur, la production d'oeufs, la croissance et la sélectivité de la pêche correspondent à celles du stock de l'est de la plate-forme (pêche pratiquée après l'éclosion des oeufs au printemps) et fluctuations de la mortalité naturelle due à la prédation sur une période de 20 ans. A. Aucune pêche. B. Prises constantes de 5 000 tonnes métriques. C. Pêche non limitée entraînant l'élimination de tout le stock reproducteur, suivie d'un moratoire restreignant la pêche imposé après la chute du taux de mortalité naturelle. D. Situation semblable à celle décrite en C, mais moratoire prolongé de cinq ans.

tion de la température de l'eau) et de la pression de la pêche. On peut imposer un seuil hypothétique de production d'oeufs (E_{s-r}) au-delà duquel l'environnement est toujours saturé de larves et le taux de recrutement est maximal, et en deçà duquel le taux de recrutement est proportionnel à la taille du stock reproducteur. La figure 8A montre une population non exploitée soumise à des fluctuations de mortalité naturelle (prédateurs) sur une période de vingt ans. E_{s-r}

s'établit à 30 % de la production d'oeufs maximale observée. Les figures 8B-D montrent trois scénarios d'exploitation où la pêche débute toujours après l'éclosion des oeufs au printemps. En 8B, les prises demeurent constantes à 5 000 tonnes métriques; en 8C, la totalité du stock reproducteur est l'objet d'une exploitation illimitée, mais un moratoire est imposé dès que la production d'oeufs chute en deçà de 20 % de la production maximale observée. Enfin, en 8D, le

scénario est le même qu'en 8C, mais le moratoire est prolongé de cinq ans. En 8B, les prises demeurent raisonnablement constantes, mais avant le changement environnemental, la mortalité naturelle entraîne l'élimination d'une bonne partie de la ressource, et après ce même changement, la population ne parvient pas à se rétablir jusqu'au seuil précédent. En 8C, le rendement total de la pêche est beaucoup plus élevé, mais la population devient instable. Enfin, en 8D, les rendements sont encore plus élevés malgré l'imposition d'un moratoire plus long, et la population s'est stabilisée.

L'élimination de toutes les femelles reproductrices n'est pas aussi catastrophique pour la crevette nordique qu'elle pourrait l'être pour les poissons, car la crevette atteint sa maturité sexuelle sous la forme d'un petit mâle, puis change de sexe au cours de sa troisième ou quatrième année de vie. Le stock reproducteur se reconstitue donc deux fois plus vite que chez une espèce de poisson présentant un sex-ratio constant de 50:50 durant toute sa vie. Toutefois, le moment où surviennent le changement de sexe et la maturation des mâles à partir des effectifs juvéniles joue un rôle crucial dans le succès de l'accouplement. Le modèle ne tient pas compte de ce point parce que bien des aspects du cycle de vie de cette espèce et de son comportement reproducteur dans la région demeurent méconnus. Nous ignorons également tout de la relation « stock-recrutement » (nombre de nouvelles crevettes produit par un stock reproducteur d'une taille donnée), ainsi que la valeur exacte de E_{s-r} . Sans ces informations, il est impossible d'établir des mécanismes de régulation de l'exploitation comme le seuil de 20 % utilisé dans le modèle, ou même de fixer l'objectif global de la pêche : vaut-il mieux chercher à maximiser les prises sur une longue période ou plutôt s'assurer d'un rendement plus faible mais stable chaque année?

Il semble que le modèle nous livre surtout un aperçu de nos lacunes. Toutefois, cette simulation confirme l'observation selon laquelle les stocks de crevette, en présence de certaines conditions, peuvent faire preuve d'une résilience remarquable même lorsqu'ils sont soumis à de forts niveaux d'exploitation, en raison principalement de leur taux de croissance élevé et de leur brève durée de vie et du fait que les pêcheurs prélèvent de façon générale les plus gros spécimens. La simulation met également en relief le type d'information dont il faut disposer pour prendre en temps opportun des décisions

éclairées sur les niveaux d'exploitation qu'il convient d'instaurer eu égard aux conditions actuelles - un programme scientifique de surveillance permettant de détecter les changements démographiques à mesure qu'ils se produisent - au minimum, un relevé annuel au chalut sur l'ensemble des zones de pêche de la crevette. Le régime de gestion doit également avoir la souplesse voulue pour permettre l'imposition rapide de nouveaux quotas ou la modification du nombre de permis.

Dans la partie est de la plate-forme, l'objectif d'une pêche durable à la crevette fournissant le plus de retombées possible aux pêcheurs sans mettre en péril la ressource n'a été atteint que partiellement. Un relevé est effectué annuellement depuis plusieurs années, et l'on dispose de données sur les températures de l'eau et l'abondance des prédateurs. La cogestion de la pêche devrait permettre de concilier la souplesse d'une entreprise privée et la rigueur du gouvernement au chapitre de l'application de la loi. Mais il nous reste bien des lacunes à combler au plan des connaissances. Tant que nous n'aurons pas déterminé les principaux paramètres démographiques de la ressource, et il est à espérer que ce ne sera pas au prix d'expériences malheureuses, la gestion de la pêche à la crevette devra comporter une composante préventive qui, malheureusement, pourrait bien nous révéler le côté excessif de la « production maximale équilibrée ».

Devenir et effets des résidus du forage pétrolier et gazier en mer

T.G. Milligan, D.C. Gordon, D. Belliveau, Y. Chen, P.J. Cranford, C. Hannah, J. Loder, D.K. Muschenheim.

La région située au large des côtes est du Canada est une zone frontière qui contient d'énormes réserves de pétrole et de gaz naturel, et la politique actuelle des gouvernements fédéral et provinciaux vise à encourager leur exploitation. PanCanadian Nova Scotia Ltd. (anciennement LASMO) a commencé, en 1992, la production dans les champs pétrolifères de Cohasset et Panuke (CoPan), sur le banc de l'île de Sable et le premier puits du Grand Banc a été mis en service à l'automne 1997 par la Société d'exploitation et de développement d'Hibernia ltée. Les propositions de mise en valeur du Projet énergétique extracôtier Sable et de Terra Nova ont récemment fait l'objet d'un examen réglementaire et sont maintenant à l'étape de la mise en oeuvre. D'autres activités de mise en valeur des ressources d'hydrocarbures du banc de l'île de Sable et des bancs de Terre-Neuve sont possibles, et l'exploration sur le banc Georges est de nouveau envisagée.

Les activités d'exploration, de mise en valeur et de production des hydrocarbures entraînent des incidences et des risques environnementaux. Les impacts sur les pêches et la faune non seulement des rejets accidentels occasionnés par des éruptions ou des déversements, mais également des rejets autorisés de résidus opérationnels comme les boues de forage, les déblais et les eaux extraites sont particulièrement préoccupants. La protection des ressources renouvelables et de leurs habitats, qui seront là bien après la disparition des installations de forage et des pipelines, est hautement prioritaire et nécessite une information objective, crédible et opportune. Il importe de connaître exactement les effets possibles, la façon de les atténuer et l'importance de ceux qui ne peuvent pas être atténués. Cette information doit être incorporée dans un cadre réglementaire évolutif et scientifiquement fondé visant l'industrie des hydrocarbures en mer afin de protéger les précieuses ressources vivantes renouvelables. Par ailleurs, ce cadre doit être efficace et ne pas imposer des contraintes inutiles à une industrie en plein essor.

Vers la fin des années 80, le Groupe interministériel de recherche et d'exploitation énergétiques (GRDE) a commencé à financer un programme sur le devenir et les effets des résidus de forage, que gérât le ministère des Pêches et des Océans (MPO), principalement à l'Institut océanographique de Bedford. À cette époque, malgré les forages exploratoires intensifs réalisés au large de ses côtes, le Canada avait peu d'expérience scientifique sur le devenir et les effets des résidus de forage. La proposition de Texaco de forer des puits d'exploration sur le banc Georges a suscité une vive opposition, qui s'est traduite par le moratoire de 1988 qui fermait cette zone jusqu'en 2000. Le programme du GRDE visait d'abord le banc Georges et cherchait à déterminer si les préoccupations suscitées par les impacts possibles sur les pêches, particulièrement sur le pétoncle géant, étaient valides. Avec le temps, la couverture géographique du programme s'est élargie pour inclure le banc de l'île de Sable et le Grand Banc et permettre ainsi des études en collaboration avec l'industrie aux sites de mise en valeur et de production des hydrocarbures. La collaboration scientifique a également été élargie au cours des dernières années pour inclure les scientifiques des laboratoires du MPO à St.John's et à Mont-Joli, ainsi que les scientifiques de Ressources naturelles Canada travaillant pour la Commission géologique du Canada (Atlantique) à l'IOB.

Une série de projets de recherche ciblés et bien intégrés a été conçue de façon à fournir l'information nécessaire pour connaître le devenir et les effets des déchets de forage sur les ressources benthiques, particulièrement sur le pétoncle géant. Étant donné la nature des questions posées, ces projets couvraient toute une gamme de disciplines scientifiques, et les recherches comprenaient des travaux de terrain sur l'océanographie physique du banc Georges et la sédimentologie du banc Georges, du banc de l'île de Sable et du Grand Banc, des études de laboratoire sur la floculation des boues de forage et les effets de divers résidus de forage sur le pétoncle géant, la mise au point de nouveaux instruments pour mesurer les résidus de forage dans le milieu extracôtier, et l'élaboration de modèles numériques de la circulation et de la dispersion.

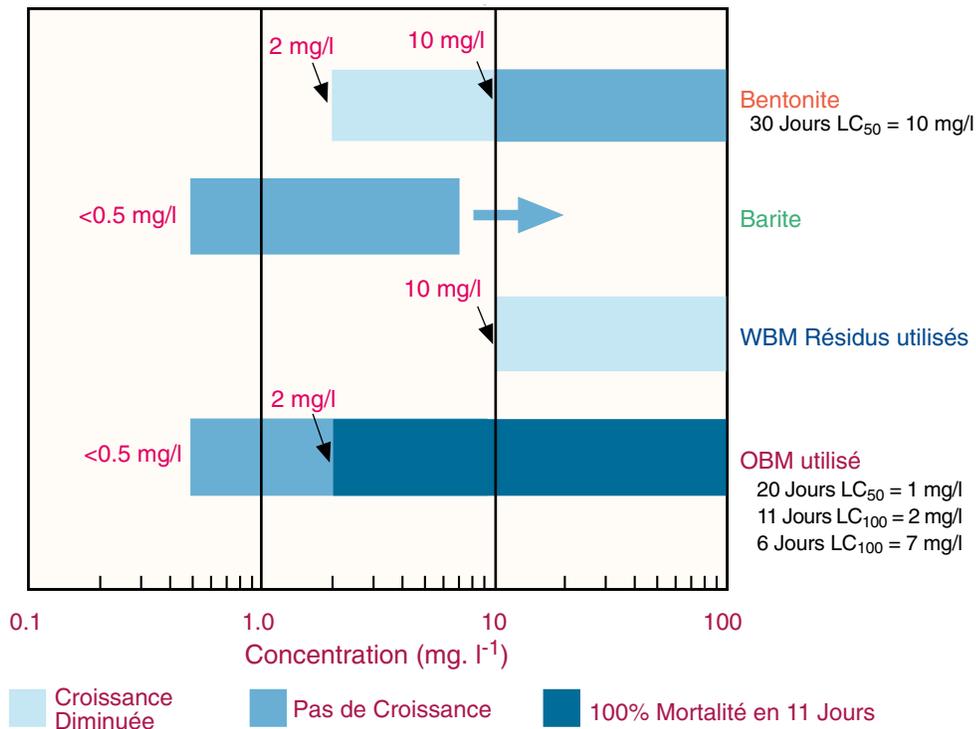


Figure 1 : Illustration des effets létaux et sublétaux des résidus de forage et de certaines de leurs composantes sur la croissance de pétoncles géants (*Placopecten magellanicus*). Les pétoncles ont été exposés à diverses concentrations au cours de périodes allant jusqu'à 70 jours.

Océanographie physique

Le premier projet entrepris dans le cadre de ce programme était une étude de terrain détaillée de la circulation frontale et du brassage au-dessus des gisements de pétoncle, à la limite septentrionale du banc Georges (Loder et al., 1992). Il comprenait des mesures du courant à l'aide de dispositifs ancrés, le pistage de bouées dérivantes, des profils de la turbulence et des levés hydrologiques détaillés. L'étude a révélé la présence d'une convergence de surface intermittente sur le front de marée et un brassage vertical accru à la limite du banc en raison du déferlement des ondes internes, qui peuvent avoir une grande influence sur la trajectoire des déversements d'hydrocarbures et la dispersion des résidus de forage rejetés dans cette zone. L'étude a également fourni un important ensemble de données d'observation pour le forçage et la validation des modèles de la circulation et de la dispersion.

En collaboration avec les scientifiques américains, on a élaboré un modèle tridimensionnel aux éléments finis de la circulation dans la région du golfe du Maine (Greenberg et al., sous presse). Cette modélisation permet une résolution spatiale élevée dans les zones clés, ce

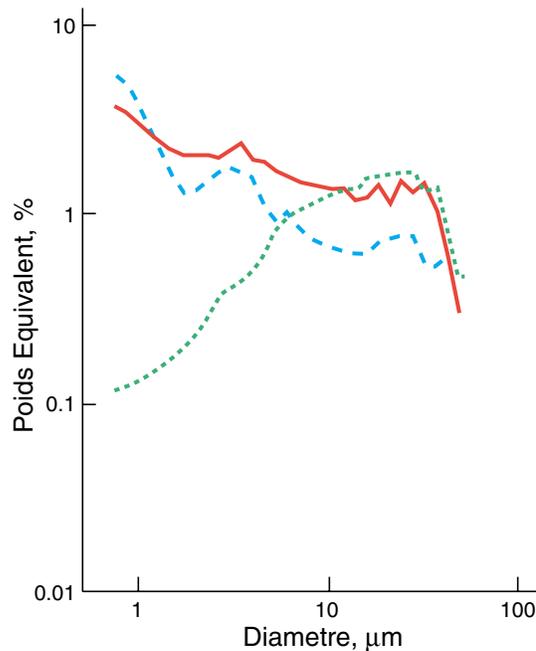


Figure 2 : Distribution granulométrique désagrégée des matières inorganiques de la boue de forage (trait solide) et de deux de ses composantes : la bentonite (tirets) et la barite (pointillés). La distribution caractéristique de la bentonite sert à identifier la boue de forage dans les échantillons prélevés en mer.



Figure 3 : Récupération du BOSS après échantillonnage près de la plate-forme Hibernia sur les bancs de Terre-Neuve. Les échantillons de sédiments en suspension sont prélevés dans la couche limite benthique à l'aide de seringues activées par un ressort à 7 profondeurs, entre 5 et 50 cm au-dessus du fond marin.

qui est important pour un système aussi complexe que le banc Georges. Le modèle a permis de calculer, en fonction des saisons, les champs à variation verticale de l'écoulement moyen et des courants de marée qui servent d'intrants aux modèles des impacts benthiques décrits ci-dessous. Le modèle a également été utilisé avec succès dans des études des premières étapes de la vie de la morue, de l'aiglefin et des pétoncles sur le banc Georges. Des modèles à haute résolution

semblables sont en cours d'élaboration pour la plate-forme Néo-Écossaise et les bancs de Terre-Neuve.

Effets biologiques

Les études initiales ont révélé que l'exposition des pétoncles géants aux résidus de boues à base d'huile peut avoir des effets néfastes sur la production, le succès de reproduction et la survie des populations dans le voisinage d'une plate-forme

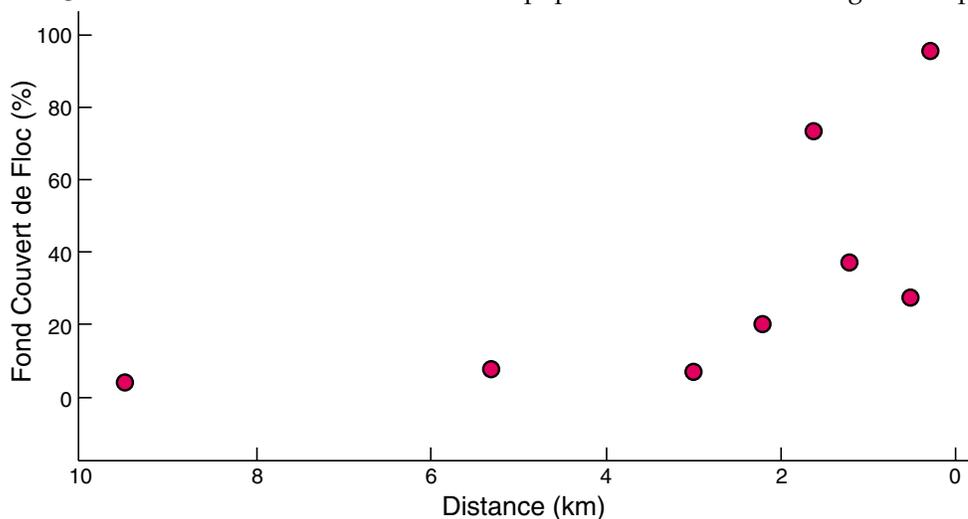


Figure 4 : Graphique indiquant le pourcentage du fond couvert par du floc contenant des boues de forage le long d'un transect partant de l'ouest et allant jusqu'à Rowan Gorilla III sur le banc de l'île de Sable.

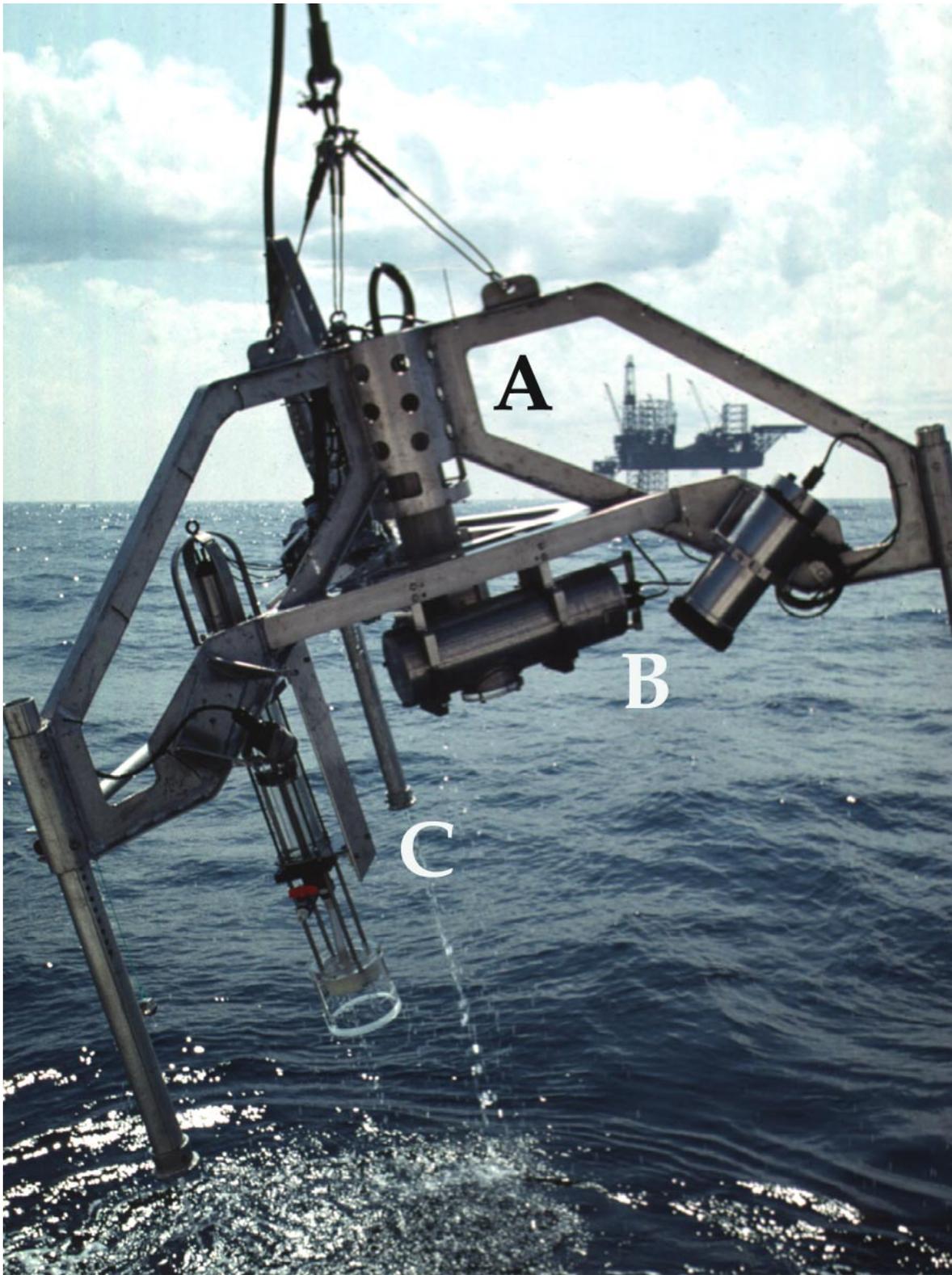


Figure 5 : Le trépied de caméra Campod est déployé près du site de forage Rowan Gorilla III, sur le banc de l'île de Sable. Une caméra vidéo à haute résolution est montée sur l'axe central du trépied, orientée vers le bas (A). Une caméra 35 mm équipée de flash (B) et un échantillonneur spécial de floc, appelé Slurper(c), sont également montés sur le trépied.

de forage (Cranford et Gordon, 1991). Ces incidences ont ensuite fait l'objet d'une longue série d'expériences en laboratoire dans des conditions représentatives du milieu naturel au cours desquelles des pétoncles adultes étaient exposés en bassin, pendant des périodes allant jusqu'à 70 jours, à des différents types et concentrations de fluides de forage et à leurs principaux éléments constitutifs, afin de déterminer l'effet de l'exposition chronique sur la mortalité, la croissance des tissus et les réactions physiologiques (Cranford et Gordon, 1992). Les résultats indiquent que les pétoncles géants sont très sensibles à de faibles concentrations (10 mg/L¹ ou moins) de résidus de forage et de contaminants connexes dans leur alimentation (fig. 1). On connaît maintenant les concentrations seuils ayant des effets, qui permettent d'interpréter les résultats des modèles d'évaluation des impacts. La toxicité relative des quatre types de résidus testés est (en ordre croissant) la boue à base d'eau (BBE), la bentonite, la barite et la boue à base d'huile (BBH).

Nous avons mis au point des instruments permettant de placer des pétoncles géants juste au-dessus du fond marin et de mesurer avec précision leur croissance en réaction à des conditions environnementales changeantes. Cela permet de détecter les réactions sublétales à une exposition chronique aux résidus de forage qui contaminent

la chaîne trophique. Ces techniques seront mises à l'épreuve à Hibernia à partir de 1999 et pourront vraisemblablement être utilisées dans les programmes de surveillance des incidences environnementales financés par l'industrie.

Devenir des résidus de forage

D'après les directives actuelles, les boues et les résidus de forage à base d'eau peuvent être rejetés en mer. Lorsque le forage se fait à l'aide de boue à base d'huile, seuls les résidus contenant moins de 15 % d'huile en poids peuvent être rejetés. Un élément important de cette étude visait à déterminer ce qu'il advenait de ces matières après leur rejet. Pour cette étude, il fallait absolument pouvoir faire la différence entre les résidus de forage et les matériaux naturels.

L'analyse granulométrique des principales composantes de la boue de forage, de l'argile bentonitique et de la barite, et de la boue à base d'eau usée indique qu'elles sont principalement constituées de silts et d'argiles fins. Une analyse de la granulométrie désagrégée des matières inorganiques plus précise à l'aide du compteur Coulter Multisizer révèle que la bentonite a une distribution granulométrique bien distincte, avec un diamètre modal inférieur à 1 mm et, lorsque les résultats sont exprimés en log de la concentration/log du diamètre, on obtient une pente

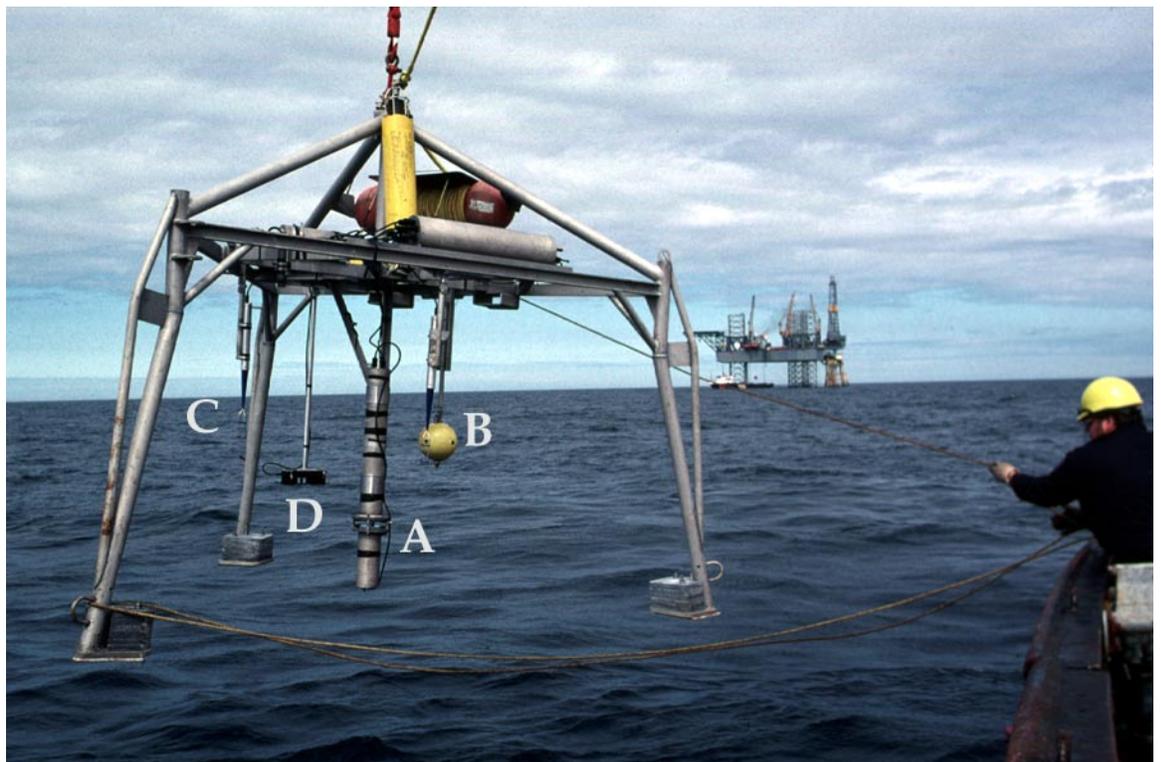


Figure 6 : Trépied MIMS déployé près du forage Rowan Gorilla III, sur le banc de l'île de Sable. Les capteurs visibles sont A) caméra numérique de la silhouette du floe, B) courantomètre S\$, C) courantomètre VDV et D) transmissiomètre.

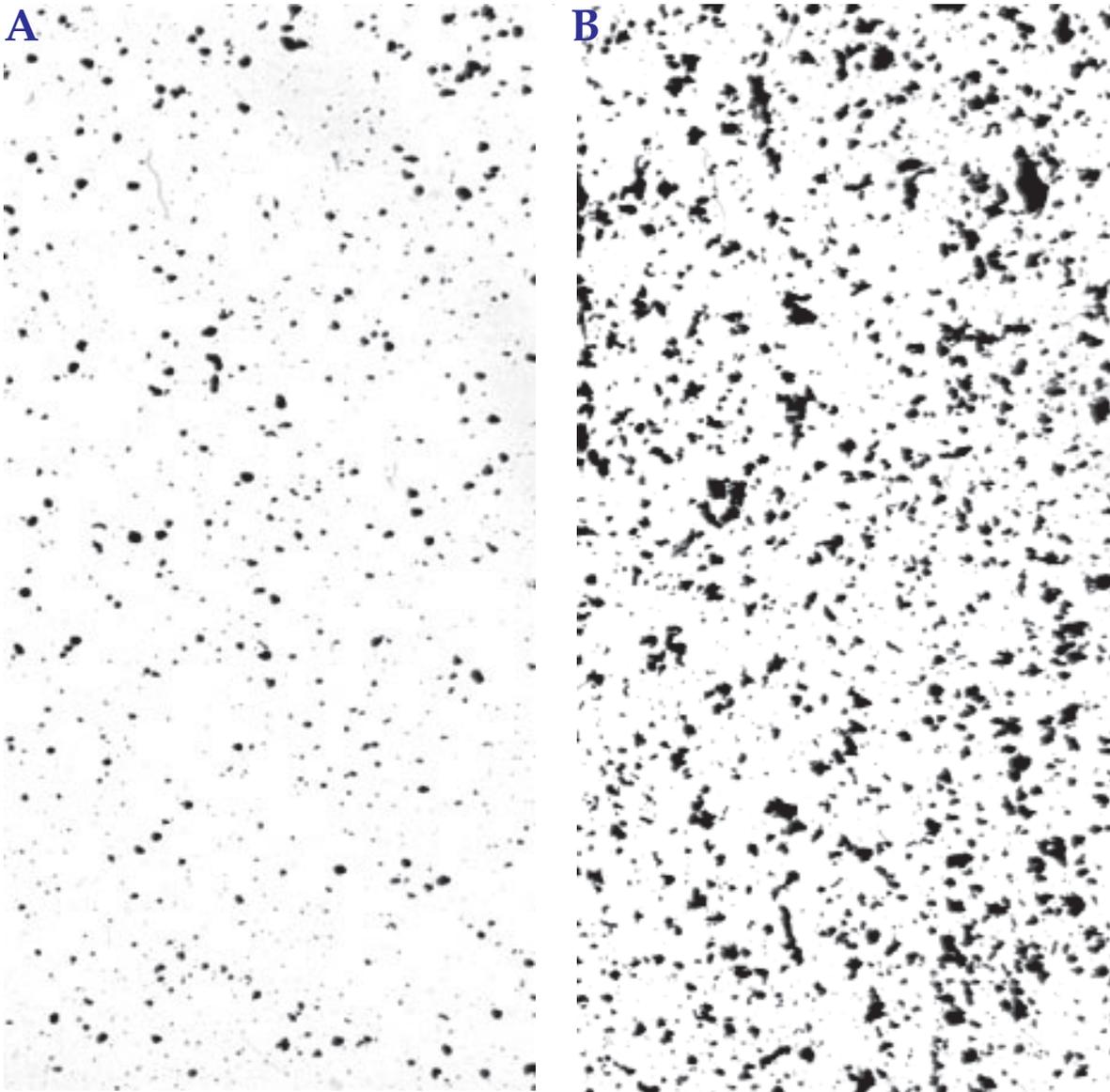


Figure 7 : Images en silhouette des sédiments en suspension à 0,5 m au-dessus du fond, prises durant et après une tempête sur le banc de l'île de Sable. L'image A, prise au plus fort de la tempête, montre du sable de 180 μm en suspension et aucun floc. L'image B, prise alors que la tempête se dissipe, montre un grand nombre de floes en suspension. Les images prises plus tard montrent que le floc en suspension se dépose lorsqu'il se trouve à moins de 0,5 m au-dessus du fond lorsque la turbulence continue à diminuer. Échelle : L'image mesure 2 cm x 4 cm et a une profondeur de 3,8 cm.

négative abrupte entre 1 et 10 mm (fig. 2) (Muschenheim et al., 1995; Muschenheim et Milligan, 1996). On peut observer cette distribution granulométrique caractéristique dans un échantillon de boue de forage usée provenant des rejets du convoyeur à secousses incliné au site de forage de Rowan Gorilla III à CoPan (fig. 2). Par contre, la granulométrie désagrégée de la matière particulaire en suspension (MPS) naturelle prélevée dans le cadre des études sur le banc Georges, le banc de l'île de Sable et les bancs de Terre-Neuve présente de très faibles concentrations de sédiments fins dont la granulométrie est positive ou variant de 1 à 10 mm. À l'aide d'un

échantillonneur de la couche limite benthique spécialement conçu, appelé BOSS (fig. 3), on a également pu constater que les concentrations de MPS sont plus fortes dans la zone qui se trouve à proximité du fond et qu'elles varient en fonction de la vitesse du courant.

Autrefois, on supposait que les matériaux comme les boues de forage, constituées de très petites particules dont la vitesse de décantation est inférieure à $0,001 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$, se disperseraient facilement pour donner des concentrations négligeables sur les bancs à fort hydrodynamisme au large de la côte est du Canada. Des études faites

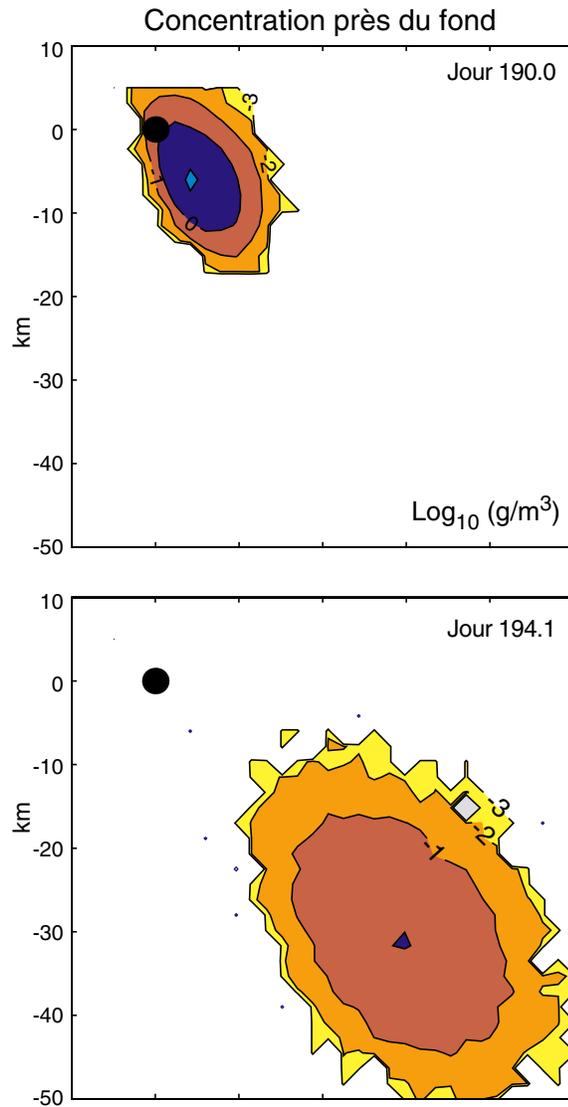


Figure 8 : Exemple de résultat du modèle bblt montrant les concentrations prévues de résidus de forage dans la couche de fond de 10 cm, 1 et 4 jours après le rejet massif de 95 tonnes de boue de forage dans une zone frontale recouvrant les gisements de pétrocles à la pointe nord-est du banc Georges. La simulation suppose une vitesse de décantation de $0,5 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ pour la boue floculée et forcée par des observations faites à l'aide d'un mouillage de courantomètre.

en laboratoire dans le cadre de cette étude ont cependant indiqué que les résidus de forage constituent facilement des floccs dans l'eau de mer pour former des agrégats fragiles dont le diamètre varie de 0,5 à 1,5 mm, avec une vitesse de décantation supérieure à $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. Cela signifie que les résidus de forage peuvent sédimenter rapidement et se concentrer dans la couche limite benthique à proximité d'une installation de forage. En 1991, un programme d'échantillonnage mené à partir d'un bateau de soutien de l'industrie près de RGIII a utilisé les données sur la distribution granulométrique pour confirmer la présence

de résidus de forage non seulement dans le panache de surface, mais également dans la couche limite benthique.

Il est impossible d'échantillonner les floccs à l'aide des méthodes conventionnelles en raison de leur fragilité. Une deuxième étude faite à CoPan en septembre 1993, après une longue période de forage, a confirmé que la boue de forage forme des floccs et se concentre dans la couche limite benthique. Les images prises à l'aide d'une caméra vidéo SONY3-CCD à haute résolution montée dans un échantillonneur ont permis d'observer de fortes accumulations de flocc foncé sur le fond marin, les plus fortes concentrations se trouvant près de RGIII (fig. 4). L'analyse granulométrique des échantillons recueillis par le BOSS a révélé que les floccs contenaient de la boue de forage et que celle-ci pouvait être décelée jusqu'à 8 km de la plate-forme. D'autres observations ont indiqué que ces résidus de forage flocculés étaient alternativement remis en suspension et déposés selon le cycle des marées.

Au printemps 1994, un troisième relevé, fait 5 mois après la fin des activités de forage à CoPan, a été effectué à l'aide d'un bâti de caméra, léger et nouvellement conçu, appelé Campod (fig. 5). Le profil ouvert du Campod permet de prendre des images vidéo et des images fixes en perturbant le moins possible la couche de flocc qui se trouve sur le fond marin. Même si les floccs étaient très abondants dans la colonne d'eau et dans la couche limite benthique, on n'a trouvé aucune trace de boue de forage. L'hypothèse attribuant ce phénomène à la remise en suspension et à la dispersion au cours des mois d'hiver a été étayée par les données recueillies au cours d'un déploiement de 10 jours du trépied MIMS (Moored Impact Monitoring System - système ancré de surveillance des impacts) (fig. 6). Une caméra numérique conçue et construite à l'IOB a pris des images en silhouette des sédiments en suspension durant une tempête. Le nouvel instrument utilise une simple caméra CCD pour permettre la caractérisation des propriétés des sédiments de façon à calculer la vitesse de décantation. Les résultats ont montré qu'au plus fort de la tempête, les floccs étaient dispersés et le sable était en suspension à 0,5 m au-dessus du fond, soit la hauteur à laquelle se trouve l'ouverture de la caméra (fig. 7a). Lorsque la tempête s'est calmée, les floccs se sont reformés et redéposés au fond (fig. 7b).

Les nouvelles méthodes d'échantillonnage mises au point dans le cadre de ce projet servent maintenant à étudier la dispersion des résidus de forage à Hibernia. Les résultats d'octobre 1997

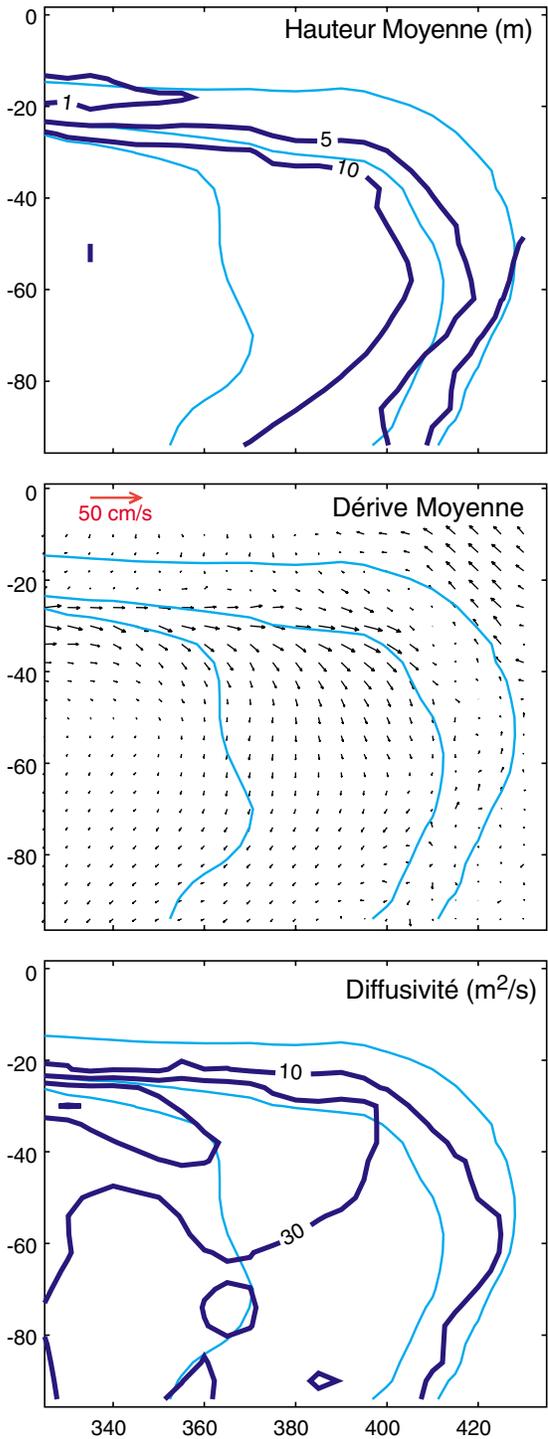


Figure 9 : Variabilité spatiale de la dérive et de la dispersion sur le banc Georges illustrée pour la période de septembre et octobre, avec une vitesse de décantation de $0,5 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$. La hauteur moyenne du profil de concentration des sédiments est la plus grande au-dessus des zones les moins profondes où les courants de marée sont les plus forts. La dérive et la diffusivité sont les plus fortes au dessous du jet frontal, le long du flanc nord. Le forçage est apporté par la moyenne sur 3 jours et par les champs de circulation M2 calculés à l'aide du modèle de circulation de Naimie (1996).

supposent que, contrairement à ce qui s'est passé à CoPan, les résidus de forage n'ont pas atteint le fond, mais qu'ils ont été captés par les eaux de surface, probablement à cause d'une plus grande profondeur d'eau et de la stratification de la colonne d'eau. En juin 1998 cependant, on a observé des flocs sur le fond marin, près de la plate-forme. On n'a pas encore déterminé s'ils contenaient des boues de forage.

Modélisation numérique des impacts

Les modèles existants de dispersion du panache ont été utilisés pour mesurer la probabilité que les résidus de forage atteignent le fond marin dans différentes conditions de rejet au site CoPan sur le banc de l'île de Sable et le banc Georges (Andrade et Loder, 1997). Les facteurs qui influent considérablement sur la profondeur de descente sont la densité des boues, la profondeur de rejet, le flux descendant initial du rejet, la force du courant et la stratification de la colonne d'eau. Au site CoPan, relativement peu profond, les résidus atteignent généralement le fond rapidement dans la plupart des conditions prévues. Sur le banc Georges, où les profondeurs sont habituellement plus grandes et les courants de marée plus forts, il y a une plus grande dilution et un déplacement horizontal plus important durant la descente, et les impacts sur le fond marin varient beaucoup, selon l'endroit.

Un nouveau modèle de transport de la couche limite benthique appelé bblt a été formulé afin de simuler la dispersion et le transport des résidus de forage à proximité du fond marin (Hannah et al., 1995). Un élément clé de ce modèle est la représentation simplifiée du brassage vertical par le déplacement aléatoire des paquets de matières et l'utilisation de profils observés de sédiments en suspension comme fonctions de distribution de probabilités pour la répartition verticale globale. Le transport horizontal est représenté par l'advection des paquets dans les champs d'écoulement, qui varient dans la dimension verticale en fonction du temps, tirés soit des données des courantomètres soit du modèle tridimensionnel aux éléments finis de la circulation décrit plus haut. Ce modèle produit aussi bien les isobathes des concentrations de résidus de forage à proximité du fond autour du point de rejet (fig. 8) que les séries chronologiques des concentrations à des endroits donnés. Les applications du modèle à l'île de Sable et au banc Georges révèlent une sensibilité à la vitesse de décantation réelle des résidus de forage, ainsi que d'importantes variations spatiales dans les

caractéristiques de dispersion et de dérive des bancs du large, comme celles qui sont présentées pour le banc Georges (fig. 9).

Les chercheurs rassemblent les diverses pièces du casse-tête afin d'élaborer un modèle d'évaluation des impacts. Les résultats des études d'impacts biologiques faites sur les pétoncles servent à interpréter les résultats du modèle bblt en termes de perte de croissance attribuable à l'exposition aux résidus de forage. Les simulations de scénarios réalistes de rejet sur le banc Georges sont reliées à la fois aux séries en temps réel et aux résultats obtenus à l'aide du modèle aux éléments finis du banc Georges pour prévoir les zones d'impact à divers endroits. Les résultats initiaux indiquent que les niveaux d'impact dépendent beaucoup du site où ont lieu les activités de forage.

Résumé

Un des plus importants résultats généraux de l'ensemble du programme est le fait qu'on reconnaît que le devenir et les effets des résidus de forage dépendent d'un grand nombre de facteurs, dont le type de résidu, les propriétés du rejet, l'océanographie physique du milieu et le moment de l'année. Il n'existe pas de situation type, et chaque projet de forage doit être évalué en fonction de ses conditions particulières. Les directives existantes concernant le traitement des résidus de forage en mer sont habituellement génériques et ne tiennent compte que des propriétés du rejet à partir d'une plate-forme. Des directives plus réalistes doivent tenir compte des propriétés du milieu récepteur. Certaines conditions de rejet peuvent être acceptables dans un endroit et pas dans un autre.

Grâce aux recherches effectuées dans le cadre de ce programme, le gouvernement et l'industrie sont beaucoup mieux préparés pour gérer de futurs projets de mise en valeur des hydrocarbures en mer au Canada. Dans l'ensemble, nous possédons de meilleures connaissances scientifiques sur le devenir et les effets possibles des résidus de forage dans l'environnement marin, qui peuvent être utilisées pour évaluer les questions soulevées par le public. Il existe des modèles numériques améliorés qui peuvent servir à prévoir les incidences environnementales de projets spécifiques. De nouveaux instruments et de nouvelles méthodes sont disponibles pour mener des programmes efficaces et valides de surveillance des incidences environnementales aux sites approuvés. Les résultats des programmes de surveillance des incidences permettent d'intervenir au jour le jour dans les activités d'exploitation en

cours (p. ex. gestion environnementale adaptative) ou peuvent être incorporés à plus long terme dans une meilleure réglementation sur les rejets. Ils peuvent aussi servir à perfectionner les modèles de prévision numériques. Ce processus itératif permettra de protéger de précieuses ressources renouvelables sans imposer de fardeau inutile à l'industrie d'exploration et d'exploitation des hydrocarbures en mer.

Références

- Andrade, Y. and J.W. Loder. 1997. Convective descent simulations of drilling discharges on Georges and Sable Island Banks. Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 185: vi + 83 p.
- Cranford, P.J. and D.C. Gordon Jr. 1991. Chronic sublethal impact of mineral oil-based drilling mud cuttings on adult sea scallops. Mar. Poll. Bull. 22:339-344.
- Cranford, P.J. and D.C. Gordon Jr. 1992. The influence of dilute clay suspensions on sea scallop (*Placopecten magellanicus*) feeding activity and tissue growth. Neth. J. Sea Res. 30, 107-120.
- Greenberg, D.A., J.W. Loder, Y. Shen, D.R. Lynch and C.E. Naimie. 1997. Spatial and temporal structure of the barotropic response of the Scotian Shelf and Gulf of Maine to surface wind stress: a model-based study. J. Geophys. Res. (sous presse).
- Hannah, C.G., Y. Shen, J.W. Loder and D.K. Muschenheim. 1995. bblt: Formulation and exploratory applications of a benthic boundary layer transport model. Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 166: vi + 52 p.
- Loder, J.W., R.I. Perry, K.F. Drinkwater, G.C. Harding, W.G. Harrison, E.P.W. Horne, N.S. Oakey, C.T. Taggart, M.J. Tremblay, D. Brickman, J. Grant et M.M. Sinclair. 1992. Physique et biologie du système frontal du banc Georges. MPO Revue des sciences 1990 & 91: 57-61.
- Muschenheim, D.K., T.C. Milligan and D.C. Gordon, Jr. 1995. New technology and suggested methodologies for monitoring particulate wastes discharged from offshore oil and gas drilling platforms and their effects on the benthic boundary layer environment. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2049: x + 55 p.
- Muschenheim, D.K. and T.C. Milligan. 1996. Flocculation and accumulation of fine drilling waste particulates on the Scotian Shelf (Canada). Mar. Pollut. Bull. 32: 740-745.
- Naimie, C.E. 1996. Georges Bank residual circulation during weak and strong stratification periods. J. Geophys. Res. 101: 6496-6486.

L'évaluation des risques en gestion des pêches

Alan Sinclair, Stratis Gavaris, Bob Mohn,

Avez-vous souvent entendu un météorologue affirmer : « Il va pleuvoir après-demain à 3 heures de l'après-midi »? Votre conseiller en investissement vous a-t-il assuré que votre REER vaudrait un million de dollars quand vous atteindrez l'âge de 55 ans, et que vous pourrez alors prendre votre retraite? Si vous entendiez de telles affirmations, les croiriez-vous? Est-ce que cela vous aiderait à décider si vous allez prendre un parapluie pour aller au travail ou accroître vos contributions au REER?

Personne ne peut dire avec certitude quel temps il va faire précisément en un point donné de l'avenir, ou ce qu'un investissement va rapporter dans dix ans. Les inconnues sont tout simplement trop nombreuses. Les prévisions météorologiques courantes couvrent des périodes relativement courtes (jusqu'à 5 jours) et sont souvent exprimées en termes de probabilité de précipitations. La recherche peut aider à mieux comprendre les situations complexes et à améliorer les prévisions, mais les résultats seront longs à venir. Entretemps, nous devons continuer à prendre au jour le jour des décisions sur ce que nous allons faire et sur la façon de composer avec ce que nous ne connaissons pas. De plus en plus, les décisions se fondent sur la possibilité de voir apparaître une conséquence pagheuse, plutôt que sur un seul résultat prévu. Cette tendance commence à faire jour dans la gestion des pêches, et en conséquence on observe des modifications dans le type d'information que la recherche scientifique apporte aux gestionnaires.

L'incertitude dans l'évaluation des stocks de poisson

Traditionnellement, les évaluations produisaient des estimations ponctuelles de la taille du stock qui servaient à calculer un total autorisé des captures (TAC) pour un taux d'exploitation établi. Cela laissait peu de marge aux gestionnaires et à l'industrie de la pêche pour examiner de façon rationnelle les conséquences de la mise en oeuvre de ce TAC, étant donné le manque d'indications sur les incertitudes impliquées. Au fil des années et de la réédition des évaluations sur des séries chronologiques plus longues, il est devenu évident que les résultats annuels présentaient un degré élevé de variation. Au départ, les intervalles de confiance des estimations de l'effectif des stocks étaient au moins

de l'ordre de +/- 25 %. Toutes les évaluations n'étaient pas de valeur égale. Certaines étaient plus précises que d'autres. Les estimations ponctuelles ne pouvaient rassembler toute l'information nécessaire, et il fallait apporter des changements au type d'information scientifique issue des évaluations des stocks.

Les halieutes (spécialistes des pêches) cherchent depuis longtemps des façons de calculer et de transmettre d'une façon utile et pratique l'information concernant l'incertitude aux personnes qui prennent des décisions, c'est-à-dire aux gestionnaires des pêches et à l'industrie de la pêche. Un changement fondamental d'approche s'imposait. Au lieu de se servir d'une estimation ponctuelle pour déterminer le TAC, il fallait reposer la question en se demandant quelles sont les chances que la mise en oeuvre du TAC ait des conséquences néfastes. Plusieurs événements indésirables peuvent ainsi être envisagés, comme le déclin de l'effectif du stock, la chute (ou le maintien) de l'effectif au-dessous d'un niveau critique établi, ou encore le fait que le taux annuel d'exploitation dépasse une cible fixée. Selon notre expérience, lorsqu'on donne cette information supplémentaire aux gestionnaires, ils ont tendance à éviter le risque, c'est-à-dire qu'ils vont choisir le scénario dans lequel il y a moins de 50 % de risque de voir se produire l'événement indésirable. Jusqu'à quel point on descend en dessous de 50 % semble dépendre de l'état du stock en question, des diverses personnes qui participent à la prise de décision, et probablement de leur tolérance au risque. La plupart des travaux menés jusqu'à maintenant ont été axés sur l'estimation des probabilités que se produisent des événements spécifiques à la suite de mesures de gestion spécifiques. Il ne s'agit toutefois que d'une partie d'une analyse complète des risques qui inclurait une évaluation des coûts d'occurrence de l'événement indésirable.

L'approche ci-dessous, qui concerne l'évaluation des risques de mesures de gestion à court terme, a récemment été présentée au Processus d'évaluation régional (PER) du ministère des Pêches et des Océans, Région des Maritimes. Le régime de gestion des pêches du poisson de fond utilise une stratégie qui limite les taux d'exploitation à un niveau égal ou inférieur à $F_{0,1}^1$. L'abondance de nombreux stocks de poissons de

1 C'est en 1977 que le Canada a accepté le taux cible d'exploitation de $F_{0,1}$. Ce taux se fonde sur l'examen de la croissance et de la mortalité d'une cohorte de poisson. On définit $F_{0,1}$ comme le taux de mortalité par pêche auquel une petite augmentation de l'effort de pêche ne rapportera que 10 % de la production par unité de recrutement que cette même augmentation de l'effort aurait apporté dans une population non exploitée.

2 La procédure « bootstrap » calcule la distribution des estimations de populations en répétant le processus d'estimation à l'aide de pseudo-données issues de la première procédure d'estimation. Dans l'évaluation des stocks, la procédure d'estimation compare les estimations prévues de l'effectif du stock fournies par un modèle aux valeurs observées grâce aux relevés des navires de recherche. La différence entre les valeurs prévues et les valeurs observées est appelée résidu. On rééchantillonne les résidus pour produire de nouvelles pseudo-données d'observation, et on répète la procédure d'estimation. Chacune des estimations de la population sert alors à faire une série de projections des captures pour une gamme de TAC. À partir des résultats, on détermine les probabilités de voir soit la biomasse du stock baisser, soit le taux de mortalité par pêche dépasser $F_{0,1}$.

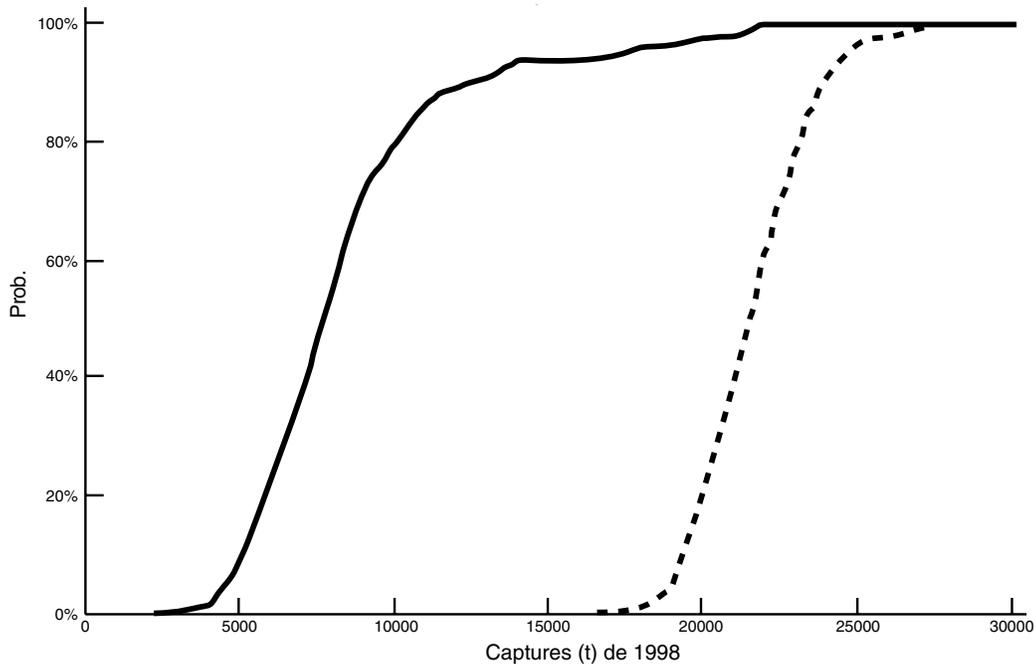


Figure 1 : Probabilité d'une réduction de la biomasse reproductrice (ligne continue) entre 1998 et 1999, et d'un dépassement du niveau $F_{0.1}$ par la mortalité par pêche en 1998 (ligne pointillée) pour une gamme de volumes des prises totales en 1998 pour la morue du sud du Golfe. Les probabilités ont été estimées à partir d'une analyse séquentielle de la population qui suppose un taux de mortalité naturelle de 0,2.

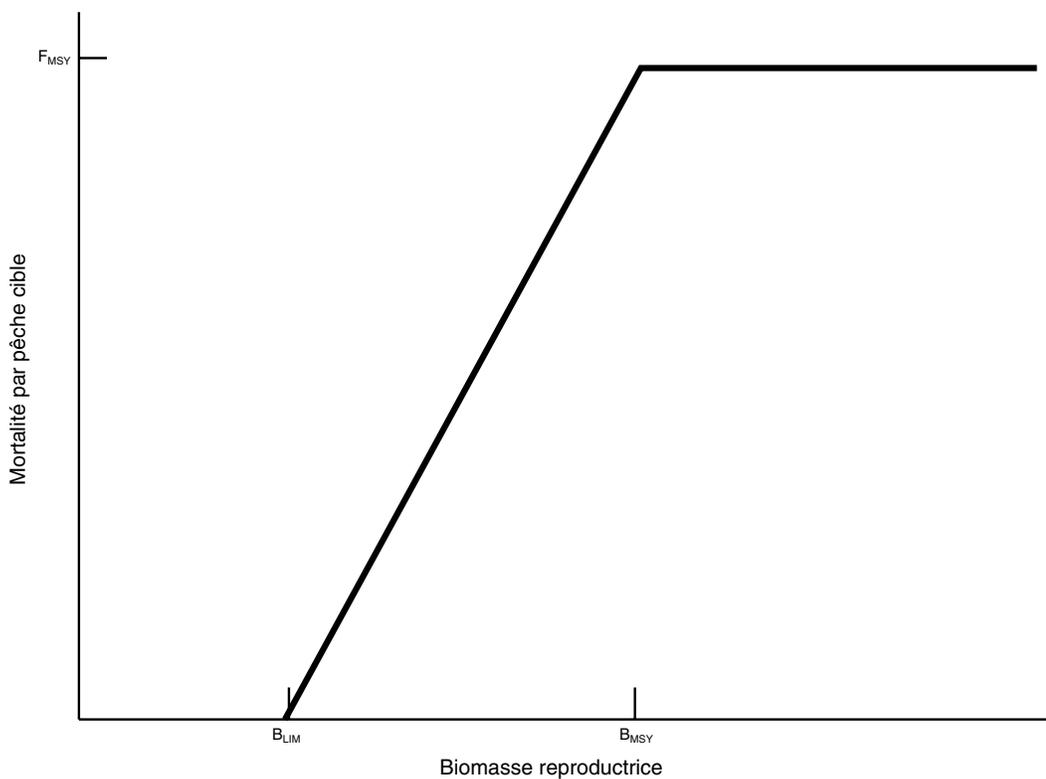


Figure 2 : Exemple de règle décisionnelle associée à l'approche de prudence dans la gestion des pêches. La règle fixe la mortalité par pêche annuelle cible en fonction de la biomasse reproductrice actuelle.

fond est maintenant si basse qu'on a dû soit fermer complètement la pêche soit la restreindre à des taux nettement inférieurs à $F_{0,1}$. Les gestionnaires des pêches voudraient pouvoir constater une certaine croissance de l'effectif du stock dans le court terme (1-2 ans) et par la suite voir les effectifs remonter à des niveaux qui permettraient une reprise complète de la pêche. Dans cette perspective, on a donc défini des événements indésirables pour l'évaluation des risques : 1) le déclin de l'effectif du stock; 2) un taux d'exploitation dépassant $F_{0,1}$. Nous estimons la probabilité d'occurrence de ces événements pour une gamme de TAC à l'aide de la procédure de « bootstrap »². On trouvera à la **figure 1** un exemple de présentation graphique des résultats concernant la morue dans le sud du golfe du Saint-Laurent. Pour des prises de 5 000 t, le risque de voir décliner la biomasse reproductrice était d'environ 10 %; il montait à 50 % pour des captures de 8 000 t et à 90 % pour des prises de 12 000 t. La probabilité que le taux de mortalité par pêche dépasse la cible était d'environ 10 % pour des prises de 19 500 t, et montait à 90 % pour des prises de 24 000 t. Ces estimations des probabilités n'éliminent cependant pas toutes les sources possibles de variation. Par exemple, nous supposons que le taux de mortalité naturelle est connu et fixe, que le volume des captures est bien établi, et que l'on peut se fier aux projections sur les poids selon l'âge et sur le mode d'exploitation selon l'âge dans la population. Nous poursuivons la recherche sur les façons d'inclure ces facteurs additionnels dans le processus d'évaluation des risques.

Établissement de stratégies de gestion à long terme

Les stratégies de gestion à long terme s'appuient sur l'examen de la production par recrue et visent à éviter une perte de production due à des taux d'exploitation élevés. Ces dernières années, on a accordé davantage d'attention aux questions de production et aux moyens d'éviter les impacts négatifs éventuels sur le recrutement potentiel des stocks. L'objectif des analyses des risques pour les stratégies de gestion est d'évaluer diverses séries de règles prédéfinies qui serviraient à prendre des mesures à court terme. L'approche générale se fonde sur la simulation d'un système de pêche comportant des caractéristiques plausibles de la population en ce qui concerne la croissance, la maturation, la dynamique stock/recrutement, et enfin les interactions avec d'autres espèces; sur une évaluation des stocks dans laquelle les processus de collecte et d'analyse des données sont simulés; et, évidemment, sur une pêche régie par des ensembles différents de règles

décisionnelles. La simulation est indispensable, car il n'est guère possible d'entreprendre des études expérimentales de cette nature. L'objectif principal est de mesurer la robustesse de la stratégie de gestion à l'égard des incertitudes concernant le régime de pêche lui-même. Par exemple, on sait peu de choses sur les relations possibles entre l'effectif du stock et le recrutement (c.-à-d. le nombre de jeunes poissons qui entrent dans la population exploitable). Nos recherches ne visent pas à clarifier ces relations, mais plutôt à déterminer ce qui pourrait arriver au stock et à la pêche si la relation choisie est fautive ou, autre question, est-il possible de formuler une hypothèse « sans danger » sur la relation stock/recrutement.

Des recherches sont en cours au sein de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-ouest (OPANO), du Conseil international pour l'exploration de la mer (CIEM) et de la Direction des Sciences du MPO pour élaborer des règles de décision concordant avec les récentes ententes internationales qui définissent une approche de prudence dans la gestion des pêches³. Ces conventions précisent les qualités souhaitables des régimes de gestion des pêches comme suite:

- La pêche doit être limitée à un niveau durable.
- L'incertitude ne doit pas être un prétexte pour maintenir une forte mortalité par pêche.
- La biomasse d'un stock doit être maintenue au-dessus du niveau qui donnera une production maximale équilibrée (B_{MSY})⁴.
- La mortalité par pêche doit être maintenue au-dessous du niveau qui donnera une production maximale équilibrée (F_{MSY}).
- Il ne doit exister qu'une faible probabilité que la biomasse puisse tomber au-dessous de B_{MSY} et que la mortalité par pêche puisse monter au-dessus de F_{MSY} .

On trouvera à la **figure 2** un exemple de règle décisionnelle correspondant à ces critères. Elle établit un rapport entre la biomasse reproductrice et la mortalité par pêche cible pour une année donnée. La limite supérieure de la mortalité par pêche, définie selon l'approche de prudence, est la mortalité par pêche associée à la production maximale équilibrée (F_{MSY})⁵. Il s'agit là de la mortalité par pêche maximale, entièrement opérationnelle, qui servirait de cible quand la biomasse du stock atteint ou dépasse le niveau associé à la production maximale équilibrée (B_{MSY}). Quand on établit que l'effectif du stock est inférieur à B_{MSY} , la mortalité par pêche cible doit être réduite pour favoriser le rétablissement du stock. Si la biomasse reproductrice est tellement

³ L'approche de prudence se fonde essentiellement sur deux accords, l'Accord pour la conservation et la gestion des stocks de poissons chevauchants et grands migrateurs, adopté en août 1995 par l'Assemblée générale des Nations Unies, et le Code de conduite pour une pêche responsable adopté en novembre 1995 par le Comité des pêches de la FAO.

⁴ MSY (maximum sustainable yield) est l'abréviation employée par convention pour la production maximale équilibrée en gestion des pêches (NdT).

⁵ F_{MSY} et B_{MSY} sont des points de référence théoriques associés au modèle de la production excédentaire des populations de poisson, modèle qui inclut la croissance des individus, leur taux de maturation, les taux spécifiques à l'âge de mortalité naturelle, et la relation entre la biomasse reproductrice et le recrutement. Le modèle prédit le taux de mortalité par pêche et la biomasse reproductrice qui donneront une production maximale pour une population à l'équilibre. Il existe aussi un taux de mortalité par pêche qui n'est pas durable (F_{CRASH}), au-dessous duquel le stock ne peut pas produire assez de recrues pour remplacer la population reproductrice.

affaiblie qu'on considère le stock comme en danger ($< B_{\text{LIM}}$), on doit réduire la mortalité par pêche cible au niveau le plus bas possible.

Il reste beaucoup à faire pour quantifier correctement les risques. Ces premiers travaux ouvrent toutefois la voie de l'avenir, et les clients se rendent compte de l'intérêt de recevoir les avis scientifiques pour la gestion des pêches sous une forme qui quantifie les incertitudes et les risques.

Références

La publication spéciale ci-dessous contient plusieurs articles sur l'évaluation des risques dans les pêches.

Smith, S.J., J.J. Hunt, and D. Rivard 1993. [ed.] Risk evaluation and biological reference points for fisheries management. Can. Spec. Pub. Fish. Aqua. Sci. 120.

Les documents ci-dessous donnent des exemples actuels de l'application de l'évaluation des risques aux pêches canadiennes du poisson de fond.

Gavaris, S. and L. Van Eeckhaute. 1998. Assessment of haddock on eastern Georges Bank. Canadian Stock Assessment Secretariat Research Document 98/66.

Sinclair, A. and S. Gavaris. 1996. Some examples of probabilistic catch projections using ADAPT output. DFO Atlantic Fisheries Research Document 96/51.

Sinclair, A.F., G.A. Chouinard, L. Currie. 1998. Assessment of cod in the southern Gulf of St. Lawrence, January 1998. Canadian Stock Assessment Secretariat Research Document 98/08.

Le Programme canadien de salubrité des eaux coquillières

Amar Menon

Introduction

Le Programme canadien de contrôle de la salubrité des mollusques est administré conjointement par le ministère des Pêches et des Océans (MPO), l'Agence canadienne d'inspection des aliments (ACIA) et Environnement Canada (EC). Environnement Canada s'occupe principalement de la classification des eaux coquillières selon des critères de qualité des eaux fondés sur leur condition sanitaire et bactériologique. Le Programme canadien de salubrité des eaux coquillières a pour principal objectif de faire en sorte que les coquillages consommés par la population ne soient pas contaminés en veillant à ce que ces fruits de mer (huîtres, myes, palourdes, moules et pétoncles entiers) soient récoltés dans des eaux salubres. Le deuxième objectif de ce programme est de promouvoir la prévention de la pollution, et l'assainissement et la restauration des zones coquillières contaminées.

Historique

Le Programme canadien de contrôle de la salubrité des mollusques a été élaboré au cours des ans suite à une épidémie de fièvre typhoïde qui a sévi aux États-Unis à l'hiver 1924-1925. Cette épidémie, attribuée à la consommation d'huîtres contaminées, avait frappé 1 500 personnes et en avait tué 150. Le Canada avait alors adopté le 3 juillet 1925, en vertu de la Loi sur l'inspection du poisson, un règlement stipulant que la salubrité alimentaire des huîtres devait être assurée. Les États de New York et du Massachusetts avaient aussi étendu leurs exigences en matière d'accréditation à l'ensemble des envois destinés à leurs marchés. La volonté commune du Canada et des États-Unis de protéger la population contre les coquillages contaminés s'est concrétisée le 30 avril 1948 par la signature d'un accord bilatéral qui visait les pratiques sanitaires des industries coquillières des deux pays.

Législation

Le Programme canadien de contrôle de la salubrité des mollusques a pour base juridique la Loi sur les pêches, le Règlement sur la gestion de la pêche du poisson contaminé, la Loi sur l'inspection du poisson et le Règlement sur l'inspection du poisson. Ces lois et règlements

permettent aux ministères de classer toutes les zones coquillières actuelles ou potentielles selon leur exploitabilité sur la base de critères de salubrité et de santé publique. En vertu de cette base juridique, les services responsables (MPO et ACIA) ont aussi les pouvoirs suivants : contrôler la récolte des coquillages dans les zones fermées; réglementer et superviser le reparcage, la transplantation, la dépuración et la réinstallation; restreindre la récolte des coquillages dans les zones contaminées ou susceptibles de l'être dans les situations d'urgence de santé publique; empêcher la vente, l'expédition ou la possession des coquillages d'origine non identifiée; accréditer et inspecter les opérations des expéditeurs et des transformateurs et déterminer s'ils respectent les exigences sanitaires prescrites; réglementer les conditions d'expédition et les exigences d'étiquetage pour les mollusques en écaille; réglementer l'exportation, l'importation, la transformation, l'emballage, l'expédition, l'entreposage et le réemballage des coquillages; réglementer la dépuración contrôlée des coquillages; suspendre les opérations des transformateurs de coquillages ou leur retirer leur accréditation; évaluer les laboratoires qui effectuent les analyses des coquillages; recueillir des échantillons et effectuer les tests bactériologiques, chimiques et physiques appropriés pour déterminer la qualité des produits; interdire l'exportation ou la possession de coquillages d'origine non identifiée, provenant de commerçants non accrédités, etc.

Le Règlement sur la gestion de la pêche du poisson contaminé autorise le directeur général régional du MPO à émettre des avis interdisant la récolte des poissons et des invertébrés dans les zones où des contaminants ou des substances toxiques présentent des risques pour la santé humaine. Environnement Canada veille à l'application du paragraphe 36(3) de la Loi sur les pêches qui vise à empêcher la pollution par immersion ou rejet de substances nocives dans les eaux où vivent des poissons ou invertébrés, ou de substances qui pourraient avoir un impact négatif sur l'utilisation que fait l'homme des poissons ou invertébrés qui vivent dans ces eaux.

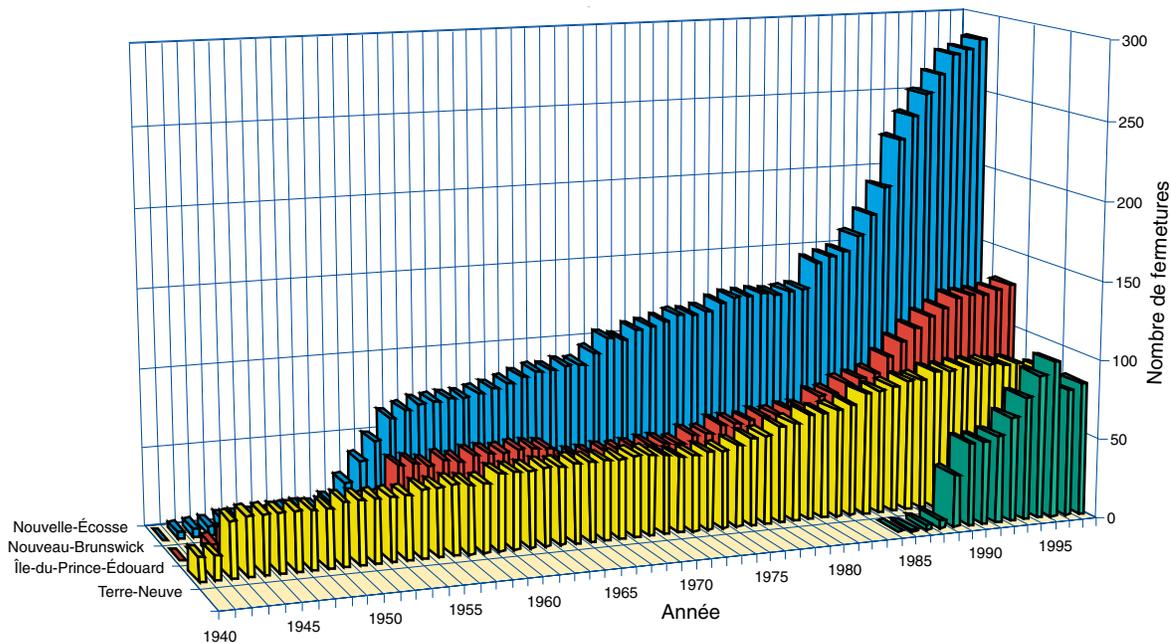


Figure 1. Tendances des fermetures des secteurs coquilliers au Canada atlantique (1940-1997)

Lignes directrices

Le Manuel des opérations du Programme canadien de contrôle de la salubrité des mollusques suit de près les lignes directrices de l'American National Shellfish Sanitation Program. Ce manuel présente les politiques et les procédures que le personnel d'EC, de l'ACIA et du MPO doit suivre dans l'application de la Loi sur les pêches, de la Loi sur l'inspection du poisson et de leurs règlements, qui régissent le contrôle des secteurs coquilliers ainsi que la récolte, la transformation et la distribution des mollusques. Le manuel canadien contribuera à assurer une interprétation et une application uniformes des politiques et règlements.

Les critères de qualité des eaux utilisés dans la classification des secteurs coquilliers sont basés sur les niveaux de coliformes fécaux. Ces bactéries croissent principalement dans le tractus intestinal de tous les animaux à sang chaud, êtres humains compris. La présence de ces microorganismes dans les eaux est habituellement le signe d'une contamination fécale et présente un risque potentiel pour la santé. On interdit la récolte des coquillages dans les zones où la médiane ou la moyenne géométrique de la densité de coliformes fécaux dans l'eau est supérieure à 14 NPP (nombre le plus probable) par 100 ml, ou quand plus de 10 % des échantillons donnent une valeur supérieure à 43 NPP par 100 ml. En outre, la présence d'une biotoxine marine peut aussi entraîner la fermeture d'un secteur coquillier.

Les coquillages provenant des zones fermées ne peuvent être vendus directement, mais cela ne veut pas dire qu'on ne peut en aucun cas les commercialiser. Les coquillages contaminés peuvent se dépolluer si on les met dans des eaux propres durant un certain temps et dans des conditions appropriées. On peut obtenir d'une agence de contrôle de la salubrité des mollusques un permis de récolte dans des zones fermées stipulant les modalités de reparcage, de dépollution et d'autres pratiques approuvées requises pour rendre les coquillages contaminés propres à la consommation humaine. Le reparcage consiste à récolter les coquillages contaminés et à les transporter dans un site approuvé où ils sont transplantés durant au moins deux semaines pour subir une dépollution biologique naturelle avant d'être mis en marché. Dans le cas de la dépollution, des coquillages récoltés dans des zones seulement légèrement contaminées sont placés dans des bacs à l'intérieur de réservoirs d'eau de mer purifiée, habituellement au moyen d'UV, et dans des conditions contrôlées qui leur permettent d'éliminer les bactéries fécales qu'ils renferment en moins de 24 heures. L'efficacité du processus de dépollution est fonction de la température, de la salinité, de l'oxygène dissous, des particules en suspension et du degré de contamination des coquillages. Des études contrôlées ont montré que les coquillages légèrement contaminés peuvent être commercialisés après une dépollution de 24 heures, tandis que ceux qui renferment de fortes concentrations de bactéries et de virus ne sont pas

complètement dépurés après 24 heures (Metcalf et al., 1979). Ainsi, il est interdit de récolter dans les zones fortement contaminées des coquillages en vue de la dépuración.

Les lignes directrices du programme établissent que chaque secteur coquillier doit faire l'objet d'un relevé sanitaire complet avant qu'on puisse y autoriser la récolte. De nouveaux relevés sont réalisés périodiquement pour détecter tout changement important dans les conditions sanitaires. Dans le cadre d'un examen officiel mené au bureau et sur le terrain, on évalue aussi chaque année tout changement dans les sources de pollution dans tous les secteurs coquilliers approuvés. Au moins une fois tous les trois ans, chaque zone approuvée fait l'objet d'une ré-évaluation complète qui comprend un examen des sources de pollution sur le terrain, une analyse d'au moins les 15 derniers échantillons d'eau prélevés à chaque station, et d'autres travaux de terrain jugés nécessaires pour déterminer dans quelle catégorie la zone doit être classée.

IMPACT DE LA POLLUTION CÔTIÈRE

La pollution côtière a des effets néfastes sur les pêches locales. La pêche des coquillages au Canada atlantique est celle qui en souffre le plus. En effet, le nombre de secteurs coquilliers fermés s'accroît régulièrement depuis 1940 (fig. 1) en raison de la contamination fécale. La contamination bactérienne issue des déchets d'origine humaine et animale est la principale responsable de la fermeture de nombreux secteurs coquilliers au Canada atlantique.

Les sources de pollution peuvent être ponctuelles ou diffuses. On entend par sources ponctuelles des canalisations ou des fossés qui rejettent des polluants dans l'environnement. Les

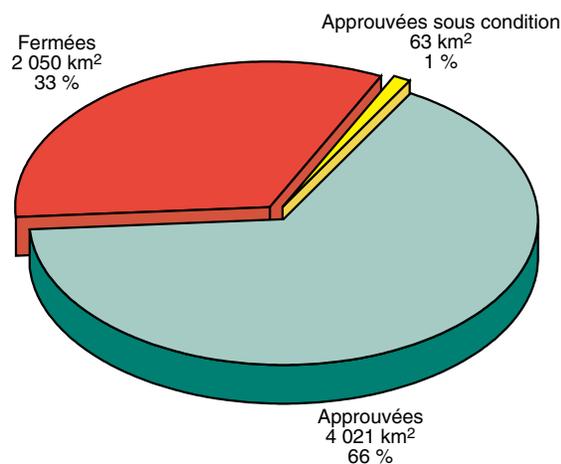


Figure 2. Classification des secteurs coquilliers (1997)

sources ponctuelles de contamination bactérienne comprennent, entre autres, les rejets dans l'environnement d'effluents industriels municipaux, traités ou non traités. Au Canada atlantique, environ $5 \times 10^5 \text{ m}^3$ / jour d'eaux usées municipales sont rejetés directement dans les eaux côtières, et moins de 50 % de ces eaux ont été traitées (Chambers et al., 1997).

Au cours des dernières années, il est devenu de plus en plus clair que les sources ponctuelles n'étaient responsables que d'une partie des problèmes de pollution. On s'est rendu compte que l'assainissement des rejets industriels et municipaux n'apporterait pas une amélioration marquée de la qualité de l'eau de certains estuaires. Les sources non ponctuelles de pollution – eaux de ruissellement et infiltrations souterraines – sont diffuses. Leurs polluants n'entrent pas dans l'environnement à un endroit repérable, et sont difficiles à mesurer et à définir. Ce type de pollution ne peut pas être combattu par les mesures habituelles de lutte qui insistent sur la prévention à la source plutôt que sur le traitement en aval. Les eaux de ruissellement agricoles constituent la principale source de pollution non ponctuelle affectant les secteurs coquilliers de l'Île-du-Prince-Édouard. Elles ont contribué à près de 50 % des fermetures de secteurs coquilliers dans l'île. Les filtrats issus de fosses septiques défectueuses, le ruissellement des eaux pluviales, les bateaux et la faune sont d'autres sources de pollution diffuse.

Conclusion

Les eaux usées d'origine domestique constituent une menace considérable pour la qualité de l'eau des secteurs coquilliers. En 1997, environ 200 000 hectares d'eaux côtières au Canada atlantique ont été fermés pour cause de contamination par des bactéries fécales, ce qui représente 33 % de la superficie totale des secteurs coquilliers classés (fig. 2). À moins d'adopter des mesures appropriées pour enrayer la pollution des eaux côtières, il faudra inévitablement fermer d'autres secteurs coquilliers, ce qui aurait des répercussions socio-économiques sérieuses dans la région.

L'assainissement des sources de pollution et l'amélioration de la qualité de l'eau concernent aussi la santé humaine. Un rapport récent de la National Academy of Sciences des États-Unis sur les produits de la mer révèle que la plupart des risques sanitaires associés à ces derniers trouvent leur origine dans l'environnement. La consommation de coquillages crus ou partiellement cuits représente pour le

consommateur humain le plus grand risque pour la santé en raison de la contamination microbienne d'origine fécale. Par ailleurs, une eau propre favorise la pratique d'activités récréatives et la préservation des qualités esthétiques des régions côtières. Souvent, les résidents des zones côtières, les personnes qui pratiquent ces activités récréatives et les promoteurs contribuent à la pollution des secteurs coquilliers. L'éducation de la population des zones côtières et des écoliers est donc capitale pour la restauration des secteurs coquilliers.

Un nombre toujours croissant de collectivités côtières du Canada atlantique ont entrepris des activités de restauration des secteurs coquilliers. Dans le comté de Charlotte, le long de la baie de Fundy, au Nouveau-Brunswick, le comité d'action du premier ministre sur les gisements de coquillages et les groupes du Programme d'action des zones côtières de l'Atlantique s'affairent à régler le problème de contamination bactérienne de leur région. Des activités semblables sont aussi entreprises dans d'autres parties du Nouveau-Brunswick, à l'Île-du-Prince-Édouard et en Nouvelle-Écosse. Des activités de restauration ont en effet permis de rouvrir une partie des secteurs coquilliers productifs du port de Yarmouth, en Nouvelle-Écosse, de Caraquet, au Nouveau-Brunswick et de Murray River, à l'Île-du-Prince-Édouard. Depuis 1990, on a rétabli la récolte commerciale des coquillages sur 2 485 hectares grâce à la lutte contre la pollution.

La lutte contre la pollution dans les secteurs coquilliers n'est qu'un des défis que doit relever l'industrie coquillière du Canada atlantique. S'y ajoutent la gestion des stocks de coquillages, la restauration des milieux et l'aménagement de la zone côtière. De nombreux organismes fédéraux et provinciaux ont des pouvoirs et des responsabilités dans ces domaines. La multiplicité de ces instances complique la mise en oeuvre des règlements visant à protéger les secteurs coquilliers. Il importe donc que tous les ordres de gouvernement et les communautés élaborent et coordonnent leurs efforts pour que les activités associées au développement de la zone côtière et à l'élimination des déchets assurent une protection efficace de la qualité du milieu marin. La préservation de nos eaux estuariennes et côtières est d'une importance cruciale pour la santé de notre industrie coquillière. L'amélioration de la qualité de l'eau et des habitats et l'expansion de l'aquaculture permettront au Canada atlantique de réaliser son plein potentiel sur le marché mondial des fruits de mer.

Références

Chambers et al. 1997. Impacts of Municipal Wastewater Effluents on Canadian Waters: a Review. Water Quality Research Journal of Canada. 32: 659-713.

Pêches et Océans Canada et Environnement Canada, 1992. Programme canadien de contrôle de la salubrité des mollusques - Manuel des opérations. Ministère des Pêches et des Océans, Ottawa.

Metcalf, T.G., B. Mullin, D. Eckerson, E. Moulton and E.P Larkin. 1979. Bioaccumulation and depuration of enteroviruses by the soft-shelled clam, *Mya arenaria*. Appl. Environ. Microbiol. 38:275-282.

U.S. Food and Drug Administration, 1995. National Shellfish Sanitation Program - Manual of Operations. U.S Food and Drug Administration, Washington, D.C.

Distribution et abondance des bactéries dans l'océan

W.K.W. Li and P.M. Dickie

Introduction

On trouve des bactéries partout dans l'océan. Cependant, leur distribution varie suivant la profondeur, la région et le temps. Dans son ouvrage bien connu, *Ecology, The Experimental Analysis of Distribution and Abundance* (1972), Charles J. Krebs définit succinctement l'écologie comme étant l'étude scientifique des interactions qui déterminent la distribution et l'abondance des organismes. Les écologistes s'intéressent donc à la distribution et à l'abondance des organismes, ainsi qu'aux raisons qui les expliquent.

On a établi au siècle dernier que les bactéries font partie du plancton marin. Pendant la majeure partie de la période qui a suivi, l'étude des bactéries marines s'est inscrite dans la tradition des géants de la microbiologie, Pasteur et Koch : les cellules étaient prélevées dans leur milieu naturel pour être ensuite cultivées en laboratoire dans un milieu artificiel. Il s'agit d'une approche fondée sur les espèces. Au cours des dernières décennies, on a développé une approche qui met l'accent sur le rôle des microbes dans leur milieu naturel. C'est l'approche fondée sur les processus. Dans le domaine des études océanographiques, cette approche a conduit à la fondation d'une nouvelle tradition lancée en 1962, à Nanaimo, en Colombie-Britannique, par les océanographes Parsons et Strickland et suivant laquelle l'activité biologique des cellules est étudiée in situ. Une explosion de nouveaux résultats et de nouvelles idées en a découlé, révélant clairement l'importance vitale des bactéries dans l'océan.

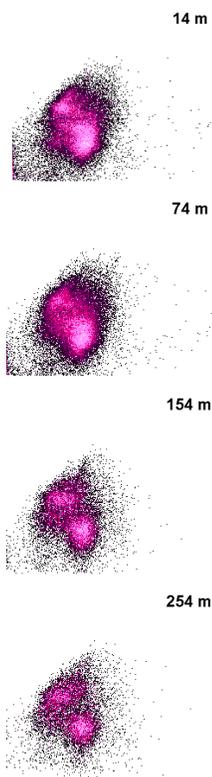
Dans les mers, les bactéries sont indispensables pour deux raisons importantes : elles nourrissent d'autres organismes et elles sont responsables de la dégradation de la matière organique. On pourrait dire que les bactéries se trouvent tant à la base qu'au sommet de la chaîne trophique : elles contribuent à la production initiale de particules alimentaires, en transformant les substrats organiques dissous, et sont responsables de la dégradation ultime de la matière organique qui remet en circulation les nutriments dans la mer. Les bactéries pourraient représenter le chaînon crucial (ou le puits) entre les déchets, la matière organique dissoute et les niveaux trophiques supérieurs. Pour ces raisons, les bactéries jouent un rôle de premier plan dans

la solution à deux problèmes environnementaux d'importance mondiale, étroitement liés, soit la durabilité des ressources vivantes exploitables et l'atténuation des changements climatiques par la séquestration du carbone dans les profondeurs de l'océan.

Dénombrement des bactéries

Le nombre de bactéries à un endroit et à un moment donnés constitue l'information de base la plus essentielle qui soit. Sans elle, on ne peut même pas songer à établir une géographie descriptive des bactéries, encore moins à évaluer l'impact des microbes sur la production marine. Les bactéries ne sont pas toutes identiques. Certaines ont une forte activité métabolique, d'autres non. De plus, dans un volume d'eau donné, il est possible de trouver des populations génétiquement différentes dont certaines sont adaptées pour connaître une croissance optimale dans des conditions autres. Quoiqu'il en soit, la tâche fondamentale qui consiste à dénombrer les bactéries n'est pas aussi simple qu'on pourrait l'imaginer, même si on suppose, à tort, qu'elles sont toutes pareilles. À la différence d'autres paramètres océanographiques, comme la température, la salinité, l'irradiation solaire, l'oxygène et la couleur, qui peuvent être mesurés d'une façon automatisée et continue et, pour certains, au moyen d'instruments aéroportés, les bactéries doivent être comptées manuellement dans des échantillons d'eau de mer.

Fait remarquable, c'est seulement au cours des quelque 20 dernières années que les océanographes ont pu disposer de relevés exacts du nombre total de bactéries. Auparavant, les populations de bactéries marines étaient largement sous-estimées parce que les méthodes étaient inadéquates. Une importante percée méthodologique a renouvelé l'étude des bactéries planctoniques. Grâce aux colorants chimiques qui se lient spécifiquement aux macromolécules, particulièrement à l'ADN, il devenait possible de visualiser par leur fluorescence toutes les bactéries montées sur une lame de microscope et exposées à une lumière d'une longueur d'onde appropriée. Au fur et à mesure que les chercheurs, partout dans le monde, adoptaient la microscopie à fluorescence pour dénombrer les bactéries, les données ont peu à peu commencé à s'accumuler,



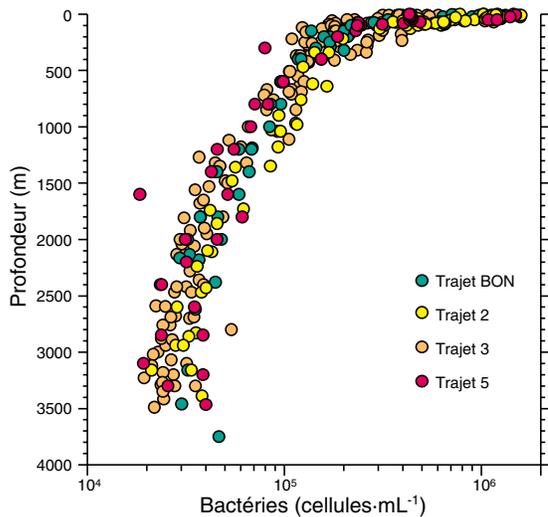


Figure 1 : Distribution des bactéries selon la profondeur dans la mer du Labrador en mai 1997.

ce qui a permis le développement de la notion contemporaine de « boucle microbienne », qui attribue aux bactéries libres un rôle primordial dans les réseaux trophiques.

À l'Institut océanographique de Bedford (IOB), nous avons mis au point une technique semi-automatisée de dénombrement des bactéries dont l'ADN a été coloré (Li et al., 1995). L'examen au microscope prend énormément de temps et demande beaucoup de travail. En utilisant un cytomètre de flux pour détecter électroniquement les cellules selon leurs caractéristiques optiques, on peut grandement améliorer la procédure de dénombrement en termes de précision, de vitesse et de facilité d'exécution. Ainsi, alors qu'il faut 10 minutes pour compter 500 bactéries au microscope, la cytométrie de flux nous permet d'en compter 5 000 en 10 secondes seulement. Récemment, des chercheurs français (Jacquet et al., 1998) ont réalisé des dénombrements par cytométrie de flux de cellules recueillies à haute fréquence (minutes) par un échantillonneur autonome constitué d'un collecteur de fractions microprocessorisé, d'une pompe péristaltique et d'un jeu d'électrovalves qui étranglent le tube. On peut donc maintenant cartographier la distribution des bactéries en mer en même temps que celle de la chlorophylle avec une résolution approchant celle obtenue pour cette dernière. Cette capacité d'apparier les échelles de variation de microorganismes ayant des modes de nutrition différents nous est précieuse pour mieux comprendre les processus des réseaux alimentaires marins.

Distribution selon la profondeur

Habituellement, les bactéries sont les plus abondantes dans la couche supérieure éclairée, et leur nombre décroît avec la profondeur. Par exemple, dans la mer du Labrador (fig. 1), les concentrations sont de l'ordre de 10^5 à 10^6 bactéries par millilitre dans les 100 premiers mètres, et de l'ordre de 10^4 à 10^5 bactéries par millilitre aux plus grandes profondeurs. La croissance bactérienne dépend du flux de matière organique dissoute provenant du phytoplancton et du zooplancton. Le fait que la production primaire soit limitée à la couche éclairée détermine donc de façon évidente la distribution verticale des bactéries. Les bactéries qui sont présentes loin dans la zone aphotique,

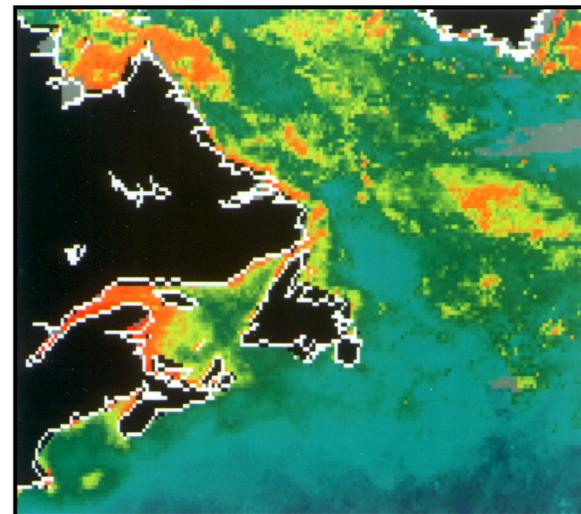
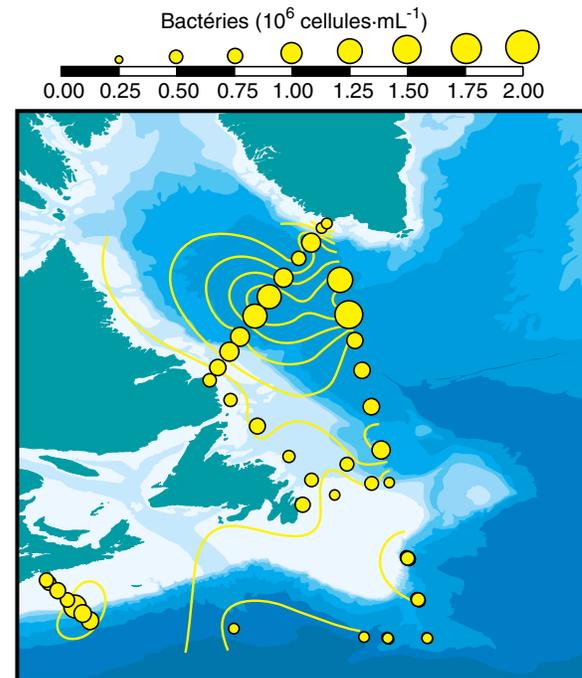


Figure 2 : Abondance des bactéries dans les eaux de surface en juillet 1995 (image du haut) et distribution moyenne de la chlorophylle en juillet d'après le balayeur couleur de zone côtière (image du bas).

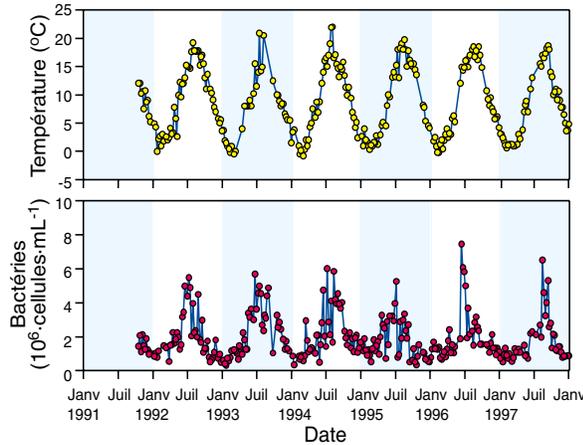
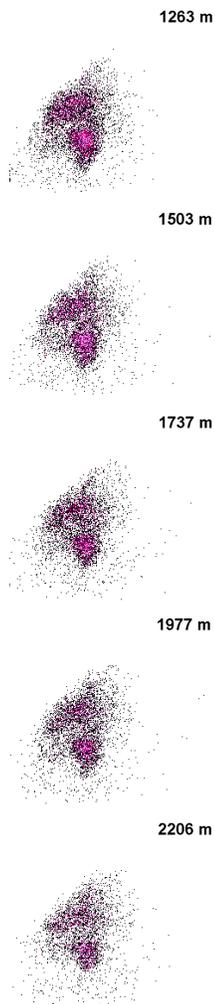


Figure 3 : Cycle saisonnier de la température de surface et de la concentration de bactéries dans le bassin de Bedford.

exempte de phytoplancton, y sont les principaux agents métaboliques régissant la dynamique des matières organiques.

Distribution régionale

En général, la distribution des bactéries à l'échelle régionale a été peu étudiée. En gros, l'abondance des bactéries (en cellules par millilitre) dans les lagunes et les estuaires eutrophes (10^7), les zones côtières (10^6) et en haute mer (10^5) sont fonction de l'importance du flux de matière organique dissoute, ce qui témoigne de la dominance des facteurs déterminants ascendants (limitation des ressources) sur les facteurs déterminants descendants (pression de broutage) aux grandes échelles temporelles et spatiales (Ducklow, 1992). La figure 2 montre la corrélation entre l'abondance des bactéries et la distribution de la chlorophylle en été depuis la Nouvelle-Écosse jusqu'à la mer du Labrador.

Distribution saisonnière

Dans les eaux tempérées, le cycle annuel de l'abondance des bactéries peut être assez régulier. Généralement, les bactéries sont plus abondantes en été et moins abondantes en hiver. La surveillance à long terme du plancton à des stations fixes permet de détecter les variabilités annuelle et décennale. En octobre 1991, on a entrepris d'établir pour le bassin de Bedford un registre continu de mesures de paramètres physiques, chimiques et planctoniques importants, dont l'abondance des bactéries. Les observations hebdomadaires (fig. 3) montrent que les réponses à court terme des bactéries aux changements supposés dans les facteurs déterminants ne masquent pas les cycles annuels sous-jacents.

À l'échelle des saisons, il apparaît que la température a une influence dominante. Les abondances bactériennes et les températures mensuelles moyennes sont étroitement corrélées de janvier à juin. Avec sa température moyenne de $14\text{ }^{\circ}\text{C}$, le mois de juin marque le début du déclin des populations bactériennes, qui serait dû aux effets dominants d'un autre facteur. Taguchi et Platt (1978) ont montré que, dans le bassin de Bedford, la biomasse de microzooplancton était faible durant l'hiver et augmentait à partir du mois de mai pour atteindre son maximum en septembre, ce qui laisse penser que la pression de broutage doit être importante en été. Nous n'avons pas traité ici du rôle de l'apport de substrat disponible pour les bactéries, mais on peut penser qu'il augmente durant l'été vu l'accroissement des taux métaboliques découlant de la hausse de température.

Pyramide de la biomasse

L'une des représentations les plus courantes des réseaux alimentaires est celle de la pyramide de la biomasse, la base de la pyramide représentant l'importante biomasse végétale supportant des étages de plus en plus étroits de consommateurs, avec au sommet le prédateur ultime. Les bactéries, qui dépendent (directement ou indirectement) de la production photosynthétique, se trouvent à un étage supérieur à celui du phytoplancton. Cependant, il n'est pas rare que la biomasse bactérienne excède la biomasse phytoplanctonique, ce qui donne une « pyramide inversée ».

Au cours des 10 dernières années, l'Institut océanographique de Bedford a effectué plus de 1 000 collectes de bactéries planctoniques (fig. 4) à proximité (p. ex. bassin de Bedford) et très loin (p. ex. eaux côtières du Groenland, de l'Afrique

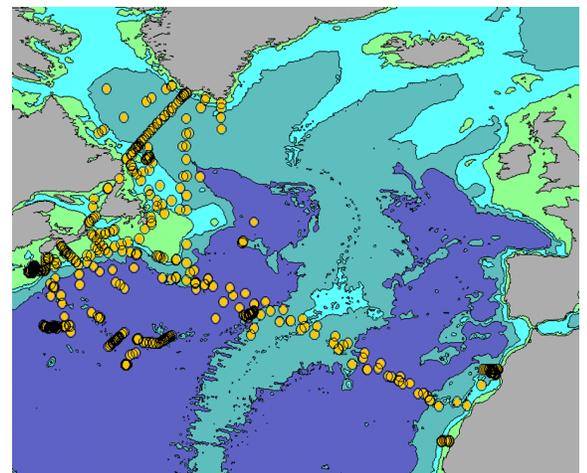


Figure 4 : Sites où l'IOB a échantillonné les bactéries, 1987-1997.

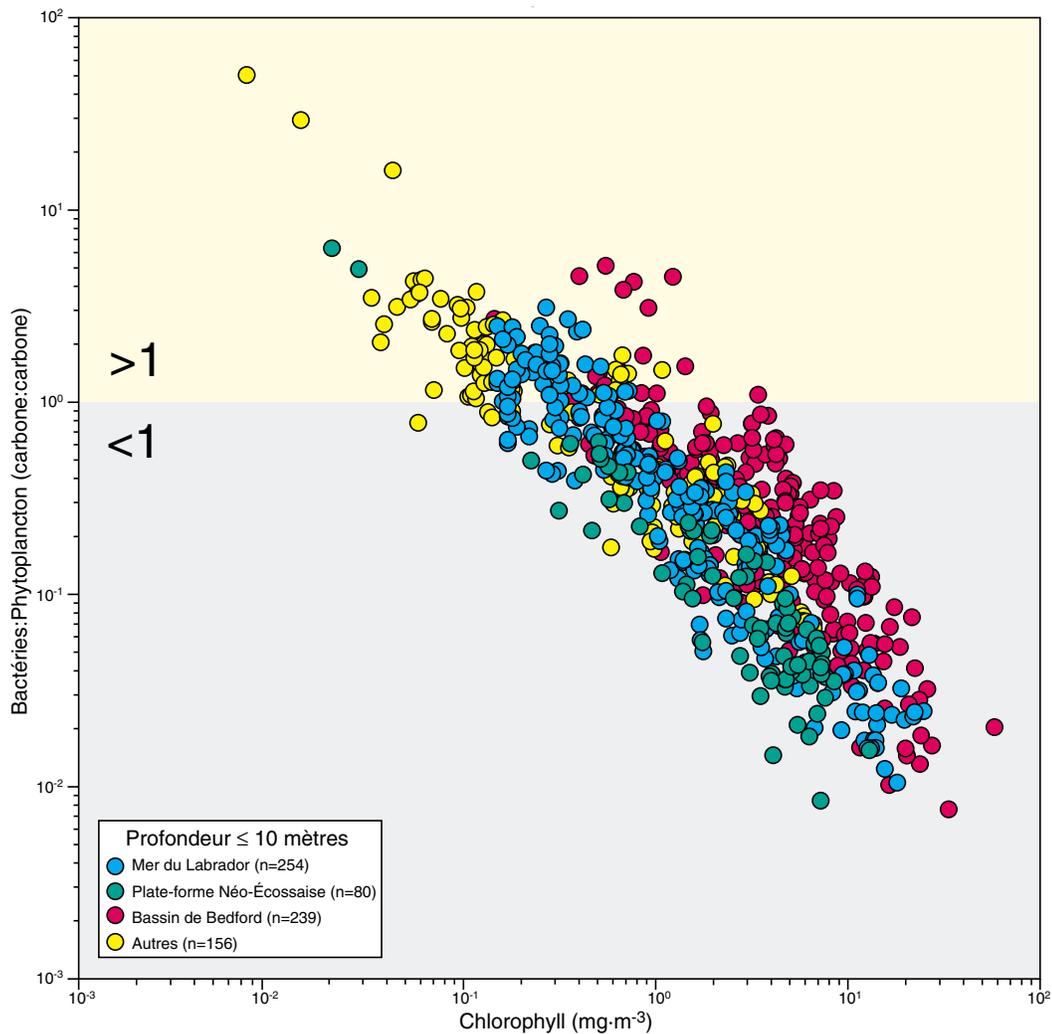


Figure 5 : Dominance biomassique des bactéries sur le phytoplancton dans les eaux pauvres en chlorophylle.

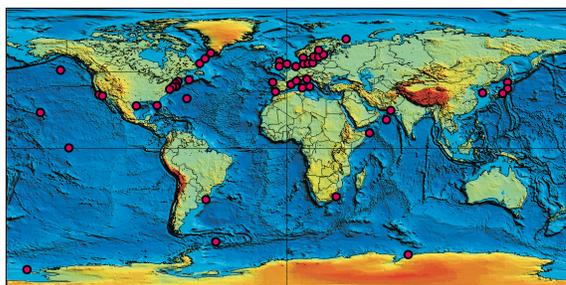


Figure 6A : Sites où ont été recueillies les données indiquant la variation saisonnière de l'abondance des bactéries.

du Nord, etc.) de ses installations. Tout comme d'autres chercheurs (Gasol et al., 1997; autres références citées dans le texte), nous avons observé que moins les eaux sont riches en nutriments, moins les biomasses phytoplanctonique et bactérienne sont importantes. Toutefois, la diminution de la biomasse bactérienne est moins importante que celle de la biomasse phytoplanctonique. En d'autres mots, le déclin

des bactéries quand on passe d'eaux riches à des eaux pauvres en nutriments est moins marqué que celui du phytoplancton. La représentation graphique du ratio des biomasses révèle l'existence de deux domaines : dans les eaux riches en chlorophylle, la quantité de phytoplancton excède

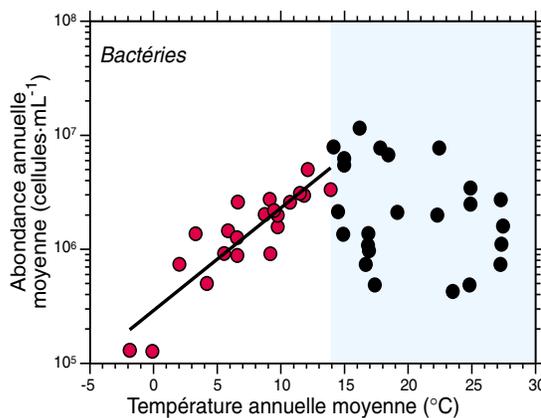
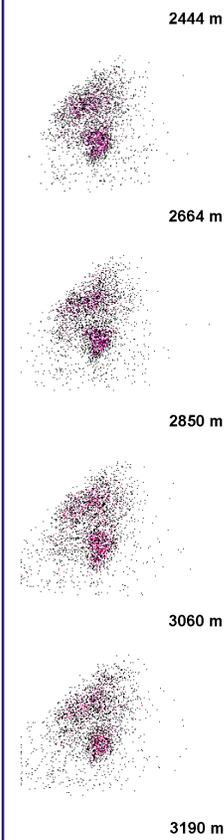


Figure 6B : Relation entre l'abondance des bactéries et la température à l'échelle de l'année selon les données recueillies aux sites indiqués à la figure 6A.



la quantité de bactéries; inversement, dans les eaux pauvres en chlorophylle, la quantité de bactéries excède la quantité de phytoplancton (fig. 5).

Quand on ajoute aux bactéries les autres membres hétérotrophes (c'est-à-dire dépendants des substances organiques) du réseau alimentaire (c'est-à-dire les animaux), la demande de phytoplancton se trouve accrue. Il semble que cette demande de production primaire peut être satisfaite si le taux de renouvellement du phytoplancton est élevé, si les détritiques sont abondants ou s'il y a apport de matières organiques en provenance de sources extérieures au milieu considéré.

Perspective planétaire

Dans les eaux tempérées, l'abondance des bactéries suit de façon évidente les fluctuations de la température durant l'année (fig. 3). Plus largement, cependant, on peut se demander si la température exerce un effet notable sur l'abondance des bactéries à l'échelle des aires biogéographiques. En d'autres mots, existe-t-il une relation entre les moyennes climatologiques de l'abondance et la température dans divers habitats marins? Si oui, on pourrait éventuellement cartographier la distribution à grande échelle des bactéries en fonction de la température.

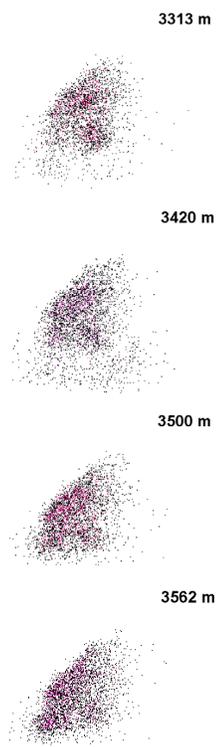
Une climatologie planétaire annuelle de l'abondance des bactéries a été établie à partir de 45 études distinctes (fig. 6A) qui ont couvert l'ensemble des températures annuelles observables. Au-dessous de 14 °C, l'abondance annuelle moyenne des bactéries est directement reliée à la température annuelle moyenne; cependant, au-dessus de 14 °C, aucune relation n'est discernable (fig. 6B). Autrement dit, à l'échelle de la planète et de l'année, la température constitue un indicateur raisonnablement précis de l'abondance des bactéries dans les régions où la température annuelle moyenne est inférieure à 14 °C.

Dans les océans du monde, 49 % de toutes les mailles de 1° de latitude et de longitude, ce qui représente 32 % de la surface de l'ensemble des océans, ont une température de surface moyenne inférieure à 14 °C. Dans ces régions, qui s'étendent vers les pôles Nord et Sud depuis environ 40° de latitude dans les deux hémisphères, la distribution des bactéries marines à la surface peut largement refléter la baisse des températures vers les pôles. Ce profil de distribution des abondances observables des bactéries est le résultat net des processus de croissance et de déperdition sur lesquels les effets physiologiques de la

température s'exercent directement. La compilation détaillée des moyennes climatologiques des taux de croissance et de déperdition et la prise en considération de toute la population bactérienne de la couche de mélange supérieure devraient nous permettre de mieux connaître l'écogéographie des bactéries marines.

Références

- DUCKLOW, H. W. 1992. Factors regulating bottom-up control of bacteria biomass in open ocean plankton communities. *Archiv für Hydrobiologie Beihefte Ergebnisse der Limnologie* 37: 207-217.
- GASOL, J.M., P.A. del GIORGIO, and C.M. DUARTE. 1997. Biomass distribution in marine planktonic communities. *Limnology and Oceanography* 42: 1353-1363.
- JACQUET, S., J.F. LENNON, and D. VAULOT. 1998. Application of a compact automatic sea water sampler to high frequency picoplankton studies. *Aquatic Microbial Ecology* 14: 309-314.
- KREBS, C.J. 1972. *Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance*. Harper & Row Publishers, New York, 694 pp.
- LI, W.K.W., J.F. JELLETT, and P.M. DICKIE. 1995. DNA distributions in planktonic bacteria stained with TOTO or TO-PRO. *Limnology and Oceanography* 40:1485-1495.
- TAGUCHI, T. and T. PLATT. 1978. Size distribution and chemical composition of particulate matter in Bedford Basin, 1973 and 1974. Fisheries & Marine Service Data Report No. 56, Canadian Department of Fisheries & Environment, p. 1-370.



Concentrations automnales des bactéries selon la profondeur dans la mer du Labrador, représentées par des cytogrammes obtenus grâce à la fluorescence de flux induite par un colorant SYTO-13 en fonction de la lumière diffusée orthogonalement.

Prévisions océaniques pour la côte est du Canada

Charles Tang, Brendan DeTracey, William Perrie and Bechara Toulany

Nous connaissons tous les prévisions météorologiques, sur lesquelles nous nous basons pour prendre des décisions quotidiennes : quoi porter, prendre ou non l'avion, sortir en bateau, faire un pique-nique ou aller jouer à la balle. Pour les gens qui gagnent leur vie sur l'eau ou habitent à proximité de la côte, les prévisions océaniques revêtent la même importance. Ils doivent savoir quelle hauteur auront les vagues, s'ils rencontreront ou non de la glace de mer, de combien montera le niveau de l'eau avec la tempête, à quelle vitesse dérivera une nappe de pétrole ou un navire chaviré. C'est la prévision océanique, une sorte de prévision météorologique pour l'océan, qui leur fournira ces informations.

Sur le plan démographique, 50 % de la population de la planète vit aujourd'hui à moins de 10 km de la mer, et 16 des 20 plus grandes villes sont situées dans cette « zone côtière ». Cette situation géographique a des avantages évidents, mais s'accompagne de dangers naturels. Les ondes de tempête, les ouragans et l'érosion des plages infligent des dommages sérieux aux régions à proximité immédiate de la côte. Ces dommages sont une source de préoccupations pour l'est du Canada mais, étant donné que la région est relativement peu peuplée, on y attache généralement moins d'importance qu'aux nombreuses régions côtières à forte densité de population situées ailleurs sur la planète.

Ce qui préoccupe le plus les Canadiens de l'est du pays, ce sont les situations à la fois habituelles et d'urgence liées aux activités humaines, comme la navigation de plaisance et l'utilisation récréative des eaux côtières. Chaque année, on déplore des morts et des pertes financières considérables dues à des tempêtes qui se propagent le long des plates-formes continentales du Canada et des États-Unis. Les activités humaines dans les eaux de l'est du Canada ne sont bien entendu pas limitées aux seuls loisirs. Il s'agit entre autres des pêches sur la plate-forme Néo-Écossaise, sur les Bancs de Terre-Neuve et dans les eaux voisines. Les activités en mer à Hibernia et sur le banc de l'île de Sable mettent actuellement en jeu un grand nombre de personnes et contribuent de façon importante à l'économie de la région. On voit donc l'importance de disposer rapidement de prévisions environnementales des vents, de la

glace, des vagues et des courants. Dans les conditions normales, on doit avoir des prévisions exactes pour organiser les horaires et calendriers de travail. En cas d'accident, les navires et aéronefs de secours doivent pouvoir se fier à des prévisions exactes et à jour des facteurs environnementaux. Pendant les épisodes de tempêtes extrêmes, comme les vagues de 30 m de la « tempête de l'Halloween » (1991), la « tempête du siècle » (1993) et l'ouragan Luis (1995), qui ont tous touché la plate-forme Néo-Écossaise ou les Bancs de Terre-Neuve, il faut avoir un préavis suffisant pour arrêter les opérations, arrimer l'équipement et évacuer les personnels non essentiels.

Les recherches en prévision océanique menées à l'Institut océanographique de Bedford (IOB) sont orientées vers le développement de modèles de prévision exacts et d'un système automatisé de prévision en vue de faire la démonstration de l'utilisation opérationnelle des modèles et de fournir de précieux renseignements d'experts aux clients de l'IOB. Les paramètres océaniques prévus sont la hauteur et la direction des vagues, la présence de glace et sa vitesse de déplacement, les trajectoires de la dérive en surface et l'élévation de la surface de la mer.

Élévation de la surface de la mer, courants de surface et glaces de mer

Le mouvement à court terme de la glace de mer et de l'eau de surface est essentiellement régi par les vents en surface, mais un certain nombre d'autres facteurs peuvent intervenir de façon significative à une échelle plus locale. Le vent déplace la glace de mer et l'eau de surface en exerçant sur elles une tension. Grosso modo, la vitesse de déplacement de la glace et de l'eau de surface est de 3 % de celle du vent. Du fait de la rotation de la Terre et du frottement dans la couche supérieure de l'océan, les déplacements de la glace et de l'eau de surface ne suivent pas la direction du vent. En fait, ils sont déviés vers la droite de la direction du vent, avec un angle typique de 30°, mais qui varie considérablement avec l'endroit et les conditions de vent.

Parmi les autres facteurs du mouvement en surface figurent les courants moyens, la pente de la surface de la mer, les marées, les mouvements inertiels, et les mouvements oscillatoires liés au

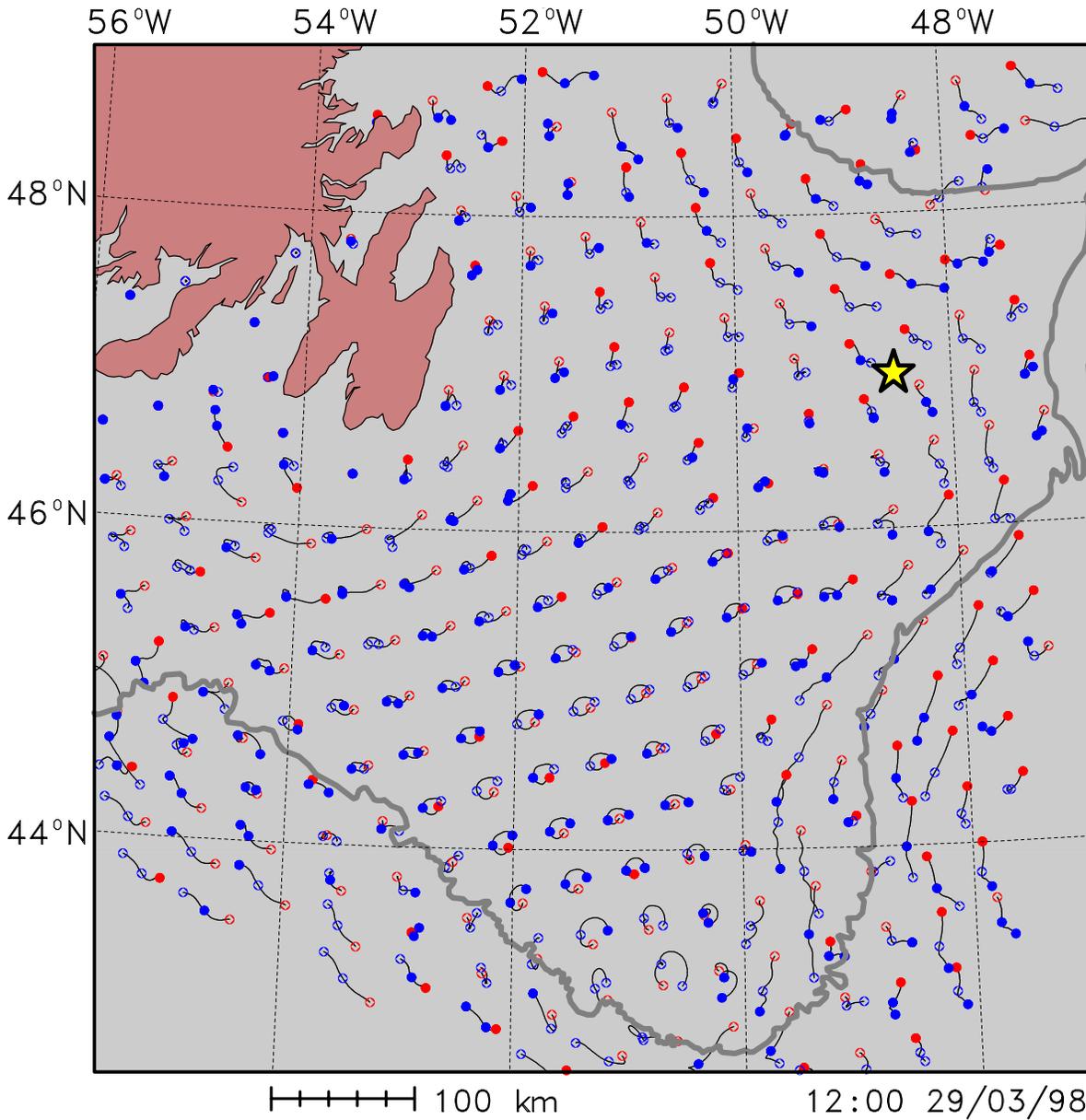


Figure 1. Dérive de la surface de l'océan au cours de la période de prévision de 2 jours commençant le 27 mars 1998. Le diagramme de trajectoire représente la trajectoire de particules d'eau, ou d'objets légers flottant à la surface, au cours de la période. Les cercles rouges indiquent les positions de départ, les cercles bleus les positions à intervalles d'un jour; la plate-forme Hibernia est marquée par une étoile jaune. La ligne grise est l'isobathe 1000 m.

relief. Les courants moyens sont le résultat du forçage atmosphérique à grande échelle, de la distribution de la densité de l'eau et du relief du bassin océanographique, qui ne changent pas avec les vents à court terme. En règle générale, les courants moyens sont à un maximum sur la lisière de la plate-forme continentale et à un minimum sur l'océan libre. La glace de mer et l'eau de surface peuvent se déplacer par gravité si la surface de la mer présente une pente. La vitesse de ce mouvement est beaucoup plus petite que celle du mouvement directement forcé par le vent, sauf près de la côte, où la variation de surface de la mer est importante. Des changements prononcés

du champ de vent peuvent induire un mouvement oscillatoire, appelé courants d'inertie, en raison de la rotation de la Terre. La périodicité des courants d'inertie varie avec la latitude, la période étant de 17 heures à 45°N, et de 35 heures à 20°N. L'interaction des courants et du relief peut donner naissance à un autre genre de mouvement oscillatoire, appelé ondes topographiques, qui sont le plus prononcées sur la lisière de la plate-forme pendant les épisodes de vent fort.

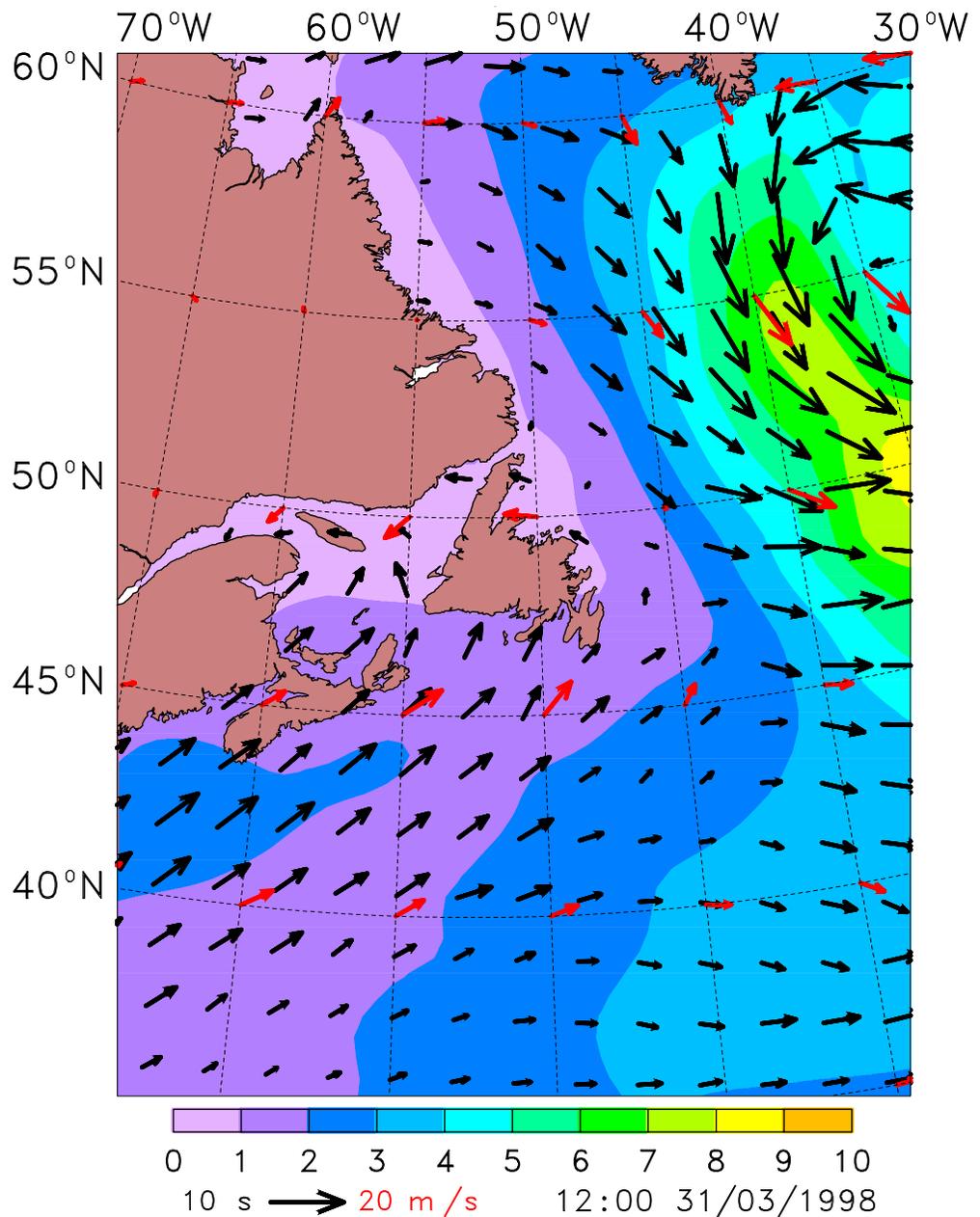


Figure 2. Hauteur et direction prévues des vagues pour le 31 mars 1998. Les zones de couleur définissent des hauteurs de vagues en mètres. Les flèches noires indiquent la direction des vagues, et les flèches rouges la vitesse et la direction du vent de surface.

Vagues de surface

Les vagues sont engendrées par la tension du vent sur la surface de l'eau. Elles croissent et évoluent dans le temps et dans l'espace, selon la structure et le développement des champs de tension du vent qui leur ont donné naissance et continuent d'agir sur elles. À leur tour, les champs de tension du vent subissent une influence des vagues, dans un processus interactif qui se perpétue tout au long de leur vie. Celle-ci commence par la formation de petites rides et ondes capillaires, se poursuit avec le développement de la vague, parfois jusqu'à d'énormes vagues du type « tempête du siècle », et prend fin avec la dis-

sipation progressive des vieilles vagues de houle. Quand elles finissent par disparaître, les vagues ont souvent traversé des bassins océaniques au complet, franchissant des distances énormes. Bien des aspects de la formation et de l'évolution des vagues sont mal compris, ou commencent juste à émerger comme théories préliminaires. Par exemple, quelle est la bonne méthode pour calculer l'énergie fournie aux vagues par le vent, ou l'énergie perdue par les vagues lorsqu'elles se brisent et déferlent? Quel est l'effet d'une profondeur finie sur ces processus?

Dans la pratique, les processus liés à la formation et à l'évolution des vagues sont l'objet d'approximations. On tente de trouver un équilibre entre l'efficacité informatique et la précision de la représentation. La croissance et l'évolution de la vague, comme mesure de « l'âge de la vague », sont représentées en termes de la fréquence de pointe non dimensionnelle du spectre de vagues. Des résultats expérimentaux, obtenus en utilisant un champ de forçage du vent idéal, constant et uniforme, ont déterminé que les interactions non linéaires vague-vague font

migrer la fréquence de pointe du spectre vers les basses fréquences à mesure que le champ de vagues vieillit. La non-dimensionnalisation de la fréquence de pointe est obtenue en utilisant la vitesse du vent (ou la tension de vent) et l'accélération due à la gravité. L'énergie fournie aux vagues par le vent est représentée par une fonction assez simple de « l'âge de la vague », dérivée des paramétrisations des données de terrain recueillies au cours d'expériences dédiées.

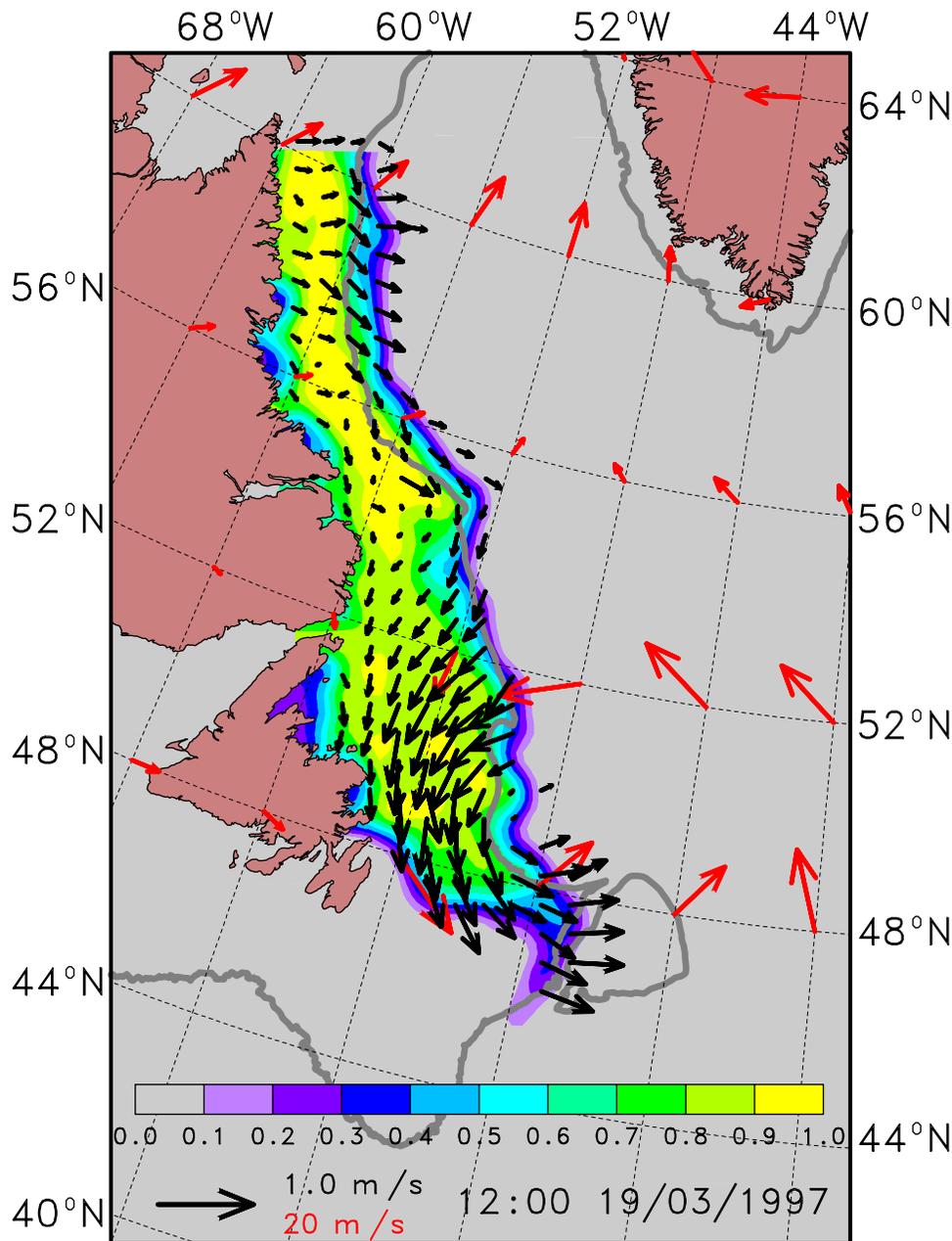


Figure 3. Conditions glacielles pour le 19 mars 1998. Les zones de couleur définissent la concentration des glaces (de 0 pour l'absence de glace à 1 pour une couverture totale). Les flèches rouges indiquent le vent en surface, et les flèches noires la direction et la vitesse de la vague. La ligne grise est l'isobathe 1000 m.

Les interactions non linéaires vague-vague mentionnées plus haut sont la composante d'un modèle de vagues la plus coûteuse et la plus longue à calculer. Bien que l'on dispose depuis plus de trente ans de formulations assez exactes de ces processus, celles-ci sont mathématiquement complexes. Les codes informatiques assez rapides pour des applications opérationnelles sont encore loin de la perfection, et on devra attendre d'avoir à la fois des ordinateurs plus rapides et des méthodes numériques plus efficaces. En principe, la dissipation due au déferlement est au moins aussi compliquée que l'énergie apportée par le vent, ou les interactions non linéaires vague-vague. En fait, la dissipation est encore moins bien comprise. Les paramétrisations sont donc formulées sur la base de quelques principes et « ajustements » physiques, de sorte que les estimations finales du modèle concordent avec les paramétrisations acceptées issues d'expériences de terrain bien étalonnées mesurant la croissance et l'évolution des vagues dans des conditions de forçage bien définies.

Les modèles de vagues utilisés à l'IOB sont des modèles de deuxième et de troisième génération. Les modèles de deuxième génération sont des modèles spectraux discrets qui modélisent ensemble l'apport du vent, la dissipation et les interactions non linéaires vague-vague, comme une « fonction de forme de la vague » gaussienne avec une sorte de pointe, dépendant de cinq ou six paramètres. À mesure que les champs de vagues sont générés, croissent et évoluent, la pointe de la fonction de forme migre vers les fréquences plus basses et s'accroît. Les modèles de troisième génération sont des modèles d'avant-garde. Ils tentent explicitement de représenter les termes d'apport du vent, de dissipation et de transfert non linéaire à partir des premières composantes principales. Cependant, comme on le disait plus haut, les inconnues de ces processus sont telles que l'on doit appliquer de nombreuses approximations et hypothèses. Dans les tests opérationnels réels, quand on compare les modèles des deux générations, la supériorité de l'un sur l'autre n'est pas toujours évidente.

Réalisation de prévisions océaniques

Les divers types de mouvements définis ci-dessus sont régis par un ensemble d'équations d'hydrodynamique. Ces équations ne peuvent être résolues directement que dans les situations les plus simples. Dans la réalité, où les vents, la bathymétrie et les traits de côte sont complexes, elles ne peuvent être résolues qu'à l'aide de méthodes numériques sur de puissants ordinateurs. Pour effectuer une prévision, on doit

fournir au modèle les champs de vent aussi bien des derniers jours que des jours à venir, puisque l'état de l'océan est déterminé non seulement par le champ de vent au moment de la prévision, mais aussi par le passé de celui-ci.

Pour intégrer les opérations d'entrée des champs de vent dans les modèles, effectuer les calculs et afficher les prévisions résultantes, l'IOB a développé un logiciel, le système de prévision glace-océan (IOFS), qui produit des prévisions océaniques quotidiennes et en rend les résultats accessibles au grand public via Internet. Le système IOFS se compose d'un module d'automatisation écrit en Visual Basic de Microsoft, d'un modèle prévisionnel couplé glace-océan (Tang et Gui, 1996) et d'un modèle spectral de prévision de vagues de deuxième génération (Perrie et al., 1989). Le modèle d'avant-garde WAM (WAVE Model, ou modèle de vagues) de troisième génération (Komen et al., 1994) est présentement mis en service opérationnel pour remplacer ce modèle de vagues de deuxième génération. Tous les modèles de vagues sont codés en FORTRAN et dirigés par les données de vent prévu téléchargées toutes les 12 heures à partir du Centre météorologique canadien (CMC). Les états initiaux de la glace requis pour le modèle couplé glace-océan sont dérivées des cartes de glaces numérisées téléchargées tous les jours du Service canadien des glaces (SCG). Les variables prévues sont les courants en surface, l'élévation de la surface de la mer, la hauteur, la direction et la fréquence des vagues, et la concentration (couverture en pourcentage), l'épaisseur et la vitesse de la glace. Les prévisions sont faites pour 48 heures à partir de 1200 UTC. L'opération de prévision s'exécute en environ 90 minutes, commençant à 1200 HNA après le téléchargement des données de prévision de 1200 UTC ce jour du CMC, et se terminant avec le téléchargement des prévisions au serveur Web de la Région des Maritimes du MPO.

Dans les cas où les données du CMC et du SCG sont manquantes, que ce soit en raison d'une panne de courant ou de réseau, l'IOFS dispose d'une procédure décisionnelle simple qui lui permet de tenter une prévision. Le chevauchement temporel des données prévues du CMC permet le « rapiéçage » s'il n'y a qu'une perte partielle de données. Les cartes des glaces du SCG manquantes peuvent être remplacées par les conditions de glace récemment prévues comme données d'état initial pour la prévision de la journée. En cas de perte totale des données, l'IOFS

devra attendre jusqu'à ce qu'on dispose de suffisamment de données pour reprendre la prévision.

Affichage et utilisation des résultats prévus

Les prévisions sont disponibles sous forme de cartes et d'animations à la page prévisions glace-océan (http://www.mar.dfo-mpo.gc.ca/science/ocean/ice_model/ice_ocean_forecast.html) du site Web de la Région des Maritimes du MPO. Toutes les variables prévues mentionnées plus haut y sont affichées. Les cartes peuvent être transmises aux navires par courriel ou fax. On trouve aussi des animations de l'épaisseur et de la concentration des glaces de la saison, ainsi qu'une prévision sur 48 heures de la dérive de la surface de l'océan sur les Bancs de Terre-Neuve.

Les figures 1 à 3 sont des exemples de cartes prévues réalisées dans le passé. La **figure 1** montre les trajectoires de l'eau de surface sur les Bancs de Terre-Neuve sur une période de deux jours. S'il se produit un déversement d'hydrocarbures en un point quelconque de la carte, les trajectoires prévues donnent la longueur et la direction de la dérive de la nappe pour ces deux jours. La **figure 2** présente la hauteur des vagues sur la côte est du Canada. Les navires et bateaux circulant dans ces eaux peuvent utiliser l'information des cartes pour planifier leurs trajets ou leurs opérations en haute mer. Il y a de la glace de mer au large de Terre-Neuve de février à mai. La **figure 3** montre la couverture et la vitesse de déplacement de la glace à la fin de mars, lorsqu'elle a atteint son extension maximale. Les années où il y a beaucoup de glace, la lisière sud peut atteindre le champ pétrolifère d'Hibernia (dont l'emplacement est indiqué sur la **figure 1**).

À l'heure actuelle, la période maximale de prévision est de 48 heures, limite qui est imposée par la disponibilité des données de vent. Avec l'amélioration de la performance des prévisions météorologiques à long terme, on devrait pouvoir prolonger la période des prévisions océaniques.

Références

Komen, G.J, L. Cavaleri, M. Donelan, K. Hasselmann, S. Hasselmann and P.A.E.M. Janssen, 1994: Dynamics and Modelling of Ocean Waves, Cambridge University Press, 532 pp.

Perrie, W., H. Gunther, W. Rosenthal and B. Toulany, 1989: Modelling wind-generated surface gravity waves using similarity. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 115, 1373-1396.

Tang, C.L. and Q. Gui, 1996: A dynamical model for wind-driven ice motion: application to ice drift on the Labrador Shelf. Journal of Geophysical Research, 101, 28,343 - 28,364.

Le Programme de santé des mollusques des Maritimes et son rôle dans la conchyliculture et la surveillance environnementale

Sharon E. McGladdery, Mary F. Stephenson

Introduction

Au cours des trente dernières années, la production de mollusques et la conchyliculture ont connu une importante croissance au Canada atlantique, notamment grâce à une intensification des efforts d'optimisation des taux de croissance et de la productivité. Par ailleurs, l'accroissement notable de la surveillance et de la manipulation des stocks a permis de détecter plus tôt certains problèmes sanitaires, comme les retards ou les anomalies de croissance, les difficultés de reproduction, la présence de bivalves bâillants et les mortalités. Cependant, l'intensification des transferts et l'accroissement des densités des populations ont aussi augmenté les risques d'introduction accidentelle de nouvelles maladies ou d'organismes nuisibles ainsi que de prolifération d'organismes opportunistes en nombres suffisants pour affecter les coquillages. À la fin des années 80, vu les besoins accrus de cette industrie florissante en matière de protection de la santé des mollusques, le MPO a créé un Programme de santé des mollusques au Centre des pêches du Golfe (CPG) de Moncton. La création de ce programme était l'aboutissement d'un riche passé en matière de recherche sur la santé des mollusques, remontant aux années 30 avec la création par le MPO du Centre de recherches sur les mollusques d'Ellerslie, à l'Île-du-Prince-Édouard, en réponse aux ravages causés par la maladie de Malpègue chez l'huître creuse américaine (*Crassostrea virginica*). Le rétablissement des populations d'huîtres vers la fin des années 60 et dans les années 70 a ralenti la recherche sur les maladies des mollusques, mais, particulièrement depuis 20 ans, on observe une reprise avec le développement de la conchyliculture et les efforts de mise en valeur de la ressource. Actuellement, le MPO administre les deux seuls laboratoires entièrement consacrés à la santé des invertébrés, l'un à la Station biologique du Pacifique, à Nanaimo (C.-B.), et l'autre au Centre des pêches du Golfe, à Moncton (N.-B.).

Le personnel du Programme de santé des mollusques du CPG se compose de deux employés à temps plein, d'étudiants des cycles supérieurs (travaillant sur place et à l'extérieur), d'étudiants

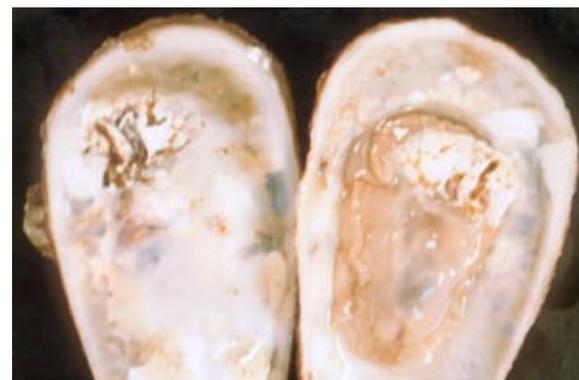


Figure 1. Coquilles d'huîtres (*Crassostrea virginica*) endommagées par une éponge perforante (*Cliona* sp.) et des vers polychètes perforants (*Polydora* sp.).

du premier cycle participant à un régime coopératif, de même que de stagiaires occasionnels d'autres institutions. Il y a collaboration étroite avec l'industrie, qui a contribué à la constitution d'une riche collection de matériel de référence couvrant une vaste gamme de mollusques, surtout des huîtres, des moules, des myes et des pétoncles (McGladdery et al., 1993). Dans le cadre du Programme, on réalise aussi des recherches sur les problèmes affectant la santé et la commerciabilité des coquillages du Canada atlantique et fournit des services de diagnostic aux conchyliculteurs, aux ministères provinciaux et aux universités. Les résultats des recherches et le matériel diagnostique sont par ailleurs utilisés pour enseigner aux étudiants, aux conchyliculteurs et aux gestionnaires comment faire un examen visuel dans le cadre de leurs activités de surveillance de la santé de leurs coquillages. On s'en sert aussi pour fournir des avis concernant les risques de maladie liés au déplacement de mollusques vivants.

Activités de recherche Développement de la conchyliculture

Contrairement à certaines autres grandes régions coquillières du globe, le Canada atlantique n'est frappé actuellement par aucune maladie grave des mollusques. Cependant, l'industrie conchylicole y connaît certains problèmes



Figure 2a. Maladie de Malpègue chez l'huître creuse américaine (*Crassostrea virginica*) - abcès (flèches).

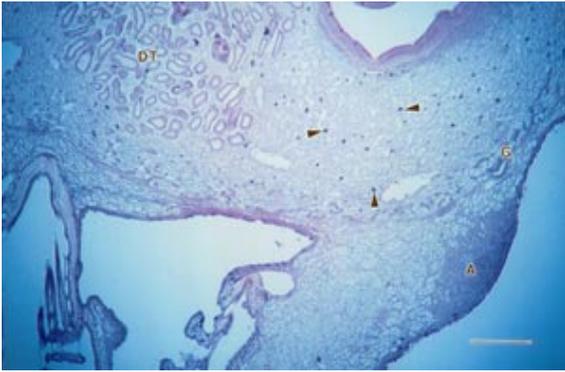


Figure 2b. Microscopie optique d'une coupe tissulaire d'une huître souffrant de la maladie de Malpègue. Notez l'abcès (A), les tubules digestifs (TD) et les gonoductes (G) rétractés, et l'accumulation de céroïde (flèches). Coloration : hématoxyline et éosine. Le segment du coin inférieur droit représente 500 μ m.

sanitaires qui font l'objet d'un vaste éventail de projets de recherche. Certains de ces projets ont trait aux problèmes d'apparence des produits qui peuvent nuire à leur commercialisation, comme les dommages causés aux coquilles par les éponges perforantes (*Cliona* spp.) et les polychètes perforants (*Polydora* spp.) (fig. 1), tandis que d'autres visent des maladies proprement dites. Quelques exemples de ces projets sont présentés ci-dessous.

Recherche sur la maladie de Malpègue. La maladie de Malpègue (fig. 2a, b) a été l'une des premières maladies épizootiques signalées chez les coquillages. Elle a frappé l'huître creuse (*Crassostrea virginica*) dans la baie Malpègue, à l'Île-du-Prince-Édouard, au début du siècle par suite de transferts de naissains apparemment sains provenant de la Nouvelle-Angleterre (Needler et Logie, 1947). La maladie s'est répandue partout autour de l'Î.-P.-É. dans les années 30, puis sur le littoral néo-brunswickois du Golfe dans les années 50. La descendance des

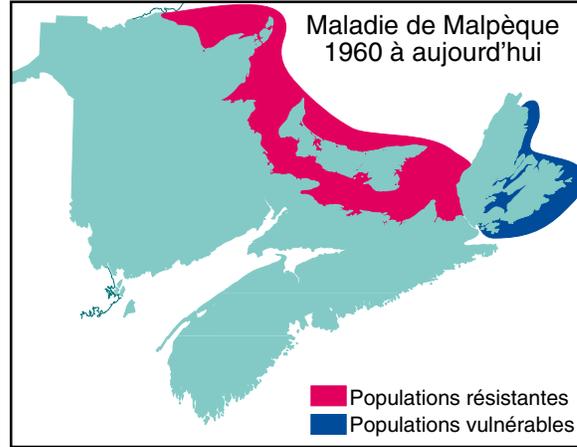


Figure 3. Situation actuelle de la maladie de Malpègue dans les Maritimes.

huîtres qui ont survécu aux diverses épizooties a développé une résistance à cette maladie, qui semble aujourd'hui à peu près disparue (Drinnan et Medcof, 1961; McGladdery et al., 1993) (fig. 3). Normalement, on devrait s'en réjouir, mais des essais récents de transplantation d'huîtres "vulnérables" (c.-à-d. qui n'ont pas été exposées à la maladie dans le passé et n'ont donc pu

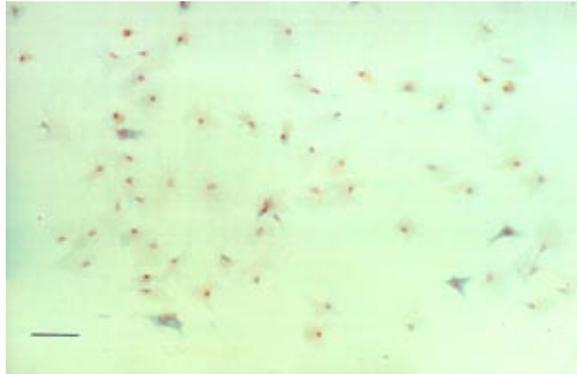


Figure 4a. Hémocytes normaux de mye (*Mya arenaria*). Coloration : hématoxyline et éosine. Le segment représente 25 μ m.

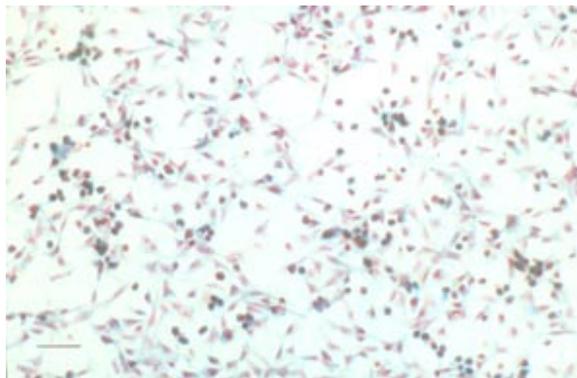


Figure 4b. Hémocytes néoplasiques de mye (*Mya arenaria*). Coloration : hématoxyline et éosine. Le segment représente 25 μ m.

développer de résistance) du Cap Breton à l'Î.-P.-É. et sur le littoral néo-brunswickois du Golfe ont montré que les huîtres du sud du golfe du Saint-Laurent peuvent encore infecter ces huîtres vulnérables (M^cGladdery et Stephenson, données inédites). Ainsi, même si les huîtres du Golfe paraissent saines, le fait qu'elles puissent transmettre la maladie de Malpègue interdit leur transfert dans des secteurs où cette maladie n'a jamais sévi. Les recherches visant à identifier l'agent pathogène se poursuivent, et on espère mettre au point des outils diagnostiques sensibles à cet agent qui permettraient de détecter les huîtres porteuses résistantes. On pourrait ainsi établir la distribution véritable du pathogène au Canada atlantique, et peut-être en Nouvelle-Angleterre, et distinguer les porteurs sains des huîtres non infectées. Ces recherches permettraient aussi de découvrir les facteurs responsables du développement rapide de la résistance ou de la tolérance au pathogène.

Néoplasie de la mye. Comme beaucoup d'autres bivalves, la mye (*Mya arenaria*) peut souffrir de maladies néoplasiques. Un des néoplasmes de la mye les mieux connus est dû à la néoplasie hémocytaire (fig. 4a, b), qui est présente au Canada atlantique (Morrison et al., 1993), mais n'a pas été associée aux mortalités massives attribuées à la même maladie dans la baie Chesapeake, en Virginie (Farley et al., 1986). Dans le cadre de ses travaux de doctorat¹ sur les maladies des bivalves fouisseurs, Bacon (comm. pers.) n'observe que de faibles prévalences (< 4 %) de néoplasie hémocytaire dans la baie de Fundy et le golfe du Saint-Laurent, et, bien que cette maladie ne soit pas un problème sanitaire important, il demeure intéressant de l'étudier d'un point de vue environnemental. L'existence de corrélations positives entre la prévalence de l'infection et les polluants aquatiques, observée également dans le cas d'autres néoplasmes, laisse croire en une relation de cause à effet (Leavitt et Capuzzo, 1989; Gardner et al., 1991). On espère que les données recueillies dans le cadre de cette étude réalisée conjointement par l'Université du Nouveau-Brunswick et le MPO constitueront une base solide pour un examen plus approfondi de ce problème sanitaire environnemental dans un avenir rapproché. À cet égard, les progrès récents dans le domaine des anticorps monoclonaux permettant de détecter les cellules néoplasiques (Bachère et al., 1995) devraient s'avérer très utiles étant donné que ces anticorps permettent de détecter les néoplasmes dès leurs premiers stades de développement, qui peuvent facilement être pris pour d'autres types d'altérations hémocytaires quand on utilise plutôt des

¹ G.S. Bacon, Université du Nouveau-Brunswick, Saint-Jean, et CPG; communication personnelle.

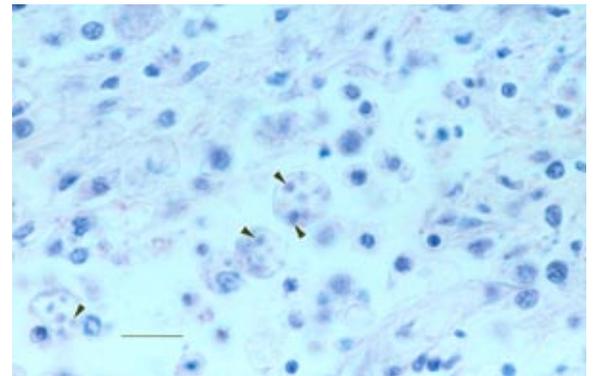


Figure 5. Microscopie optique d'hémocytes d'une huître plate (*Ostrea edulis*) attaqués par le protiste parasitaire *Bonamia ostreae* (flèches). Coloration : hémotoxyline et éosine. Le segment représente 15 μ m.

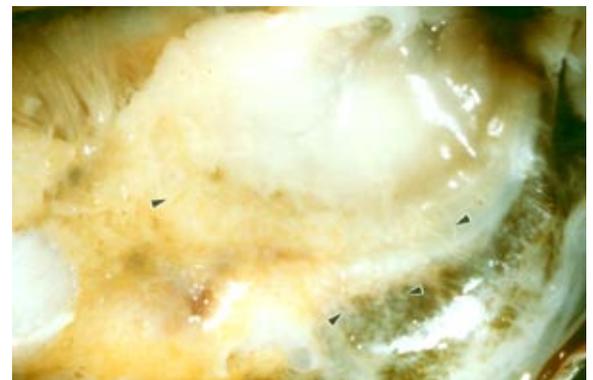


Figure 6. Tissus d'une moule bleue (*Mytilus edulis*) attaqués par des larves sporocystiques (flèches) du ver plat digénien *Prosorhynchus squamatus*.

méthodes diagnostiques courantes, comme les examens histologiques. Les essais immunologiques permettront aussi d'examiner des échantillons beaucoup plus gros.

Une autre néoplasie récemment détectée chez les myes du nord du golfe du Maine (Barber, 1996) affecte les cellules épithéliales germinales des gonades. La prolifération des cellules épithéliales obstrue la lumière des gonoductes peu après l'infection. Le néoplasme évolue en envahissant les gonoductes pour gagner ensuite d'autres tissus. Bacon et Barber (données inédites) ont récemment détecté la même maladie lors d'examen de coupes histologiques de gonades de myes recueillies par S.M.C. Robinson (MPO, Station de biologie de St. Andrews) dans le cadre d'une étude sur la ponte dans la baie de Fundy menée en 1990-1991. On cherche actuellement à savoir si cette maladie sévit ailleurs au Canada atlantique et à déterminer si elle a un effet sur la dynamique du recrutement des populations infectées (Barber, 1996). Cette étude est réalisée



Figure 7. Préparation d'une cercaire de *Prosorhynchus squamatus* entière montrant sa queue trilobée caractéristique. Contraste de phase. Le segment représente 25 µm.

en collaboration avec Bruce Barber, de l'Université du Maine, et Shawn Robinson, de la Station de biologie de St. Andrews du MPO.

Bonamiase de l'huître plate. L'huître plate européenne (*Ostrea edulis*) a été introduite au Canada atlantique dans les années 70 et 80 pour y être cultivée (Newkirk et al., 1995). La gamétogenèse étant inhibée par l'eau froide et faiblement salée, les géniteurs hivernent en éclosion. Comme cette huître a une grande valeur sur le marché et ne connaît pas de problème sanitaire, les opérations nécessaires pour l'hivernage n'empêchent pas l'exploitation d'être rentable. Il est particulièrement intéressant que les populations du Canada atlantique n'aient jamais été infectées par *Bonamia ostreae*, un protiste microscopique (fig. 5) qui envahit des ostréicultures d'huître plate en d'autres endroits depuis le début des années 70. Vu cette absence

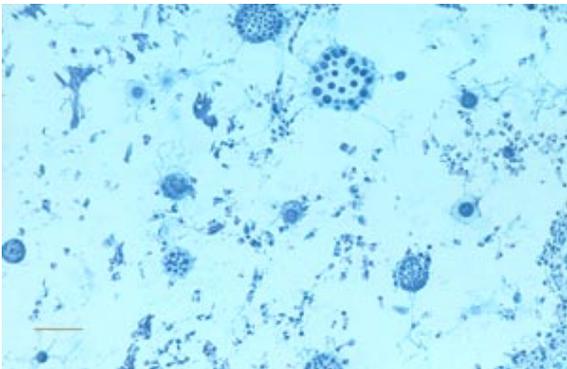


Figure 8. Microscopie optique des tissus d'une palourde américaine (*Mercenaria mercenaria*) attaquée par le QPX ("quahaug parasite X"; un champignon chytridoïde). Coloration : hématoxyline et éosine. Le segment représente 25 µm.

de maladie, on a veillé à empêcher tout transfert d'huîtres du Maine et d'ailleurs vers le Canada atlantique, mais, en contrepartie, l'exportation des naissains des Maritimes soulève un vif intérêt. Cependant, on peut se demander comment se comporteraient les huîtres plates du Canada atlantique dans des eaux où sévit *B. ostreae*. Cette question est étudiée par Bruce Barber et son étudiant au doctorat Ryan Carnegie, de l'Université du Maine, en collaboration avec Tristan Renault, de l'IFREMER (France). Dans le cadre de ces travaux, on expose un stock canadien non infecté à des huîtres infectées au Maine et en France, ainsi qu'au parasite isolé. Par ailleurs, on utilise aussi des huîtres plates des Maritimes pour étudier de nouveaux outils diagnostiques mis au point pour détecter *B. ostreae*. Comme dans le cas de la maladie de Malpègue, les porteurs asymptomatiques de *B. ostreae* sont extrêmement difficiles à repérer au moyen des outils diagnostiques courants (coupes histologiques et frottis sanguin). Cela complique le repérage d'huîtres témoins non porteuses dans les secteurs enzootiques et fait que les populations jamais infectées, comme celles du Canada atlantique, sont recherchées pour les tests de spécificité et de sensibilité des nouveaux outils diagnostiques.

Digénien parasitant la moule bleue: En 1997, on a observé une forte prévalence de larves d'un digénien (Plathelminthes), *Prosorhynchus squamatus*, chez les moules bleues (*Mytilus edulis*) à un seul endroit en Nouvelle-Écosse (fig. 6). C'était la première observation confirmée de ce parasite chez les moules du Canada atlantique (McGladdery et Stephenson, 1997²), les observations antérieures n'ayant été effectuées que dans des coupes histologiques de spécimens isolés du Nouveau-Brunswick et des îles de la Madeleine. Les dissections des moules infectées de la Nouvelle-Écosse ont révélé la présence de cercaires, avec leur queue trilobée caractéristique (Matthews, 1973) (fig. 7) confirmant qu'il s'agissait bien de *P. squamatus*, parasite déjà décrit par suite de sa détection chez *M. edulis* et *M. galloprovincialis* dans le nord-ouest de l'Europe et en Grande-Bretagne (Coustau et al., 1990). Dans le cas des observations antérieures réalisées au Canada atlantique, la santé des moules ne paraissait pas affectée, mais les moules infectées de la Nouvelle-Écosse montraient des signes de faiblesse, avec des cas de mortalité, et une conservabilité réduite. Le parasite finit par envahir tout le corps de son hôte, en commençant par les gonades. En collaboration avec l'Aquaculture Association of Nova Scotia, des mytiliculteurs et des biologistes des gouvernements de la Nouvelle-Écosse et de l'Île-du-Prince-Édouard

² McGladdery, S.E. and Stephenson, M.F. A parasite castrator of blue mussels, *Mytilus edulis* from Atlantic Canada.- Atlantic Canadian Association of Parasitologists. - Fredericton, August 1997.

³ Reantaso, M.B. and McGladdery, S.E. Parasites, Pests and Disease of the Pearl Oyster Industry in The Philippines. Atlantic Canadian Association of Parasitologists. - Fredericton, August 1997.

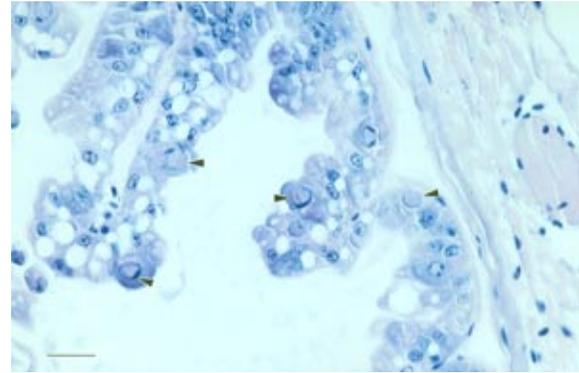


Figure 9. Microscopie optique d'inclusions (flèches) dans l'épithélium hépatopancréatique d'une crevette grise (*Crangon septemspinosus*). Coloration : hématoxyline et éosine. Le segment représente 25 μ m.

spécialisés dans l'aquaculture, on étudie le cycle vital et la dynamique saisonnière de ce parasite pour établir pourquoi il est si abondant au site où on l'a trouvé et s'il peut gagner d'autres secteurs abritant des moules.

Parasite inconnu (QPX pour " quahaug parasite unknown ") infestant la palourde américaine: Le QPX est un organisme fongöide observé pour la première fois par Drinnan et Henderson (1963) (figure 8) chez des palourdes américaines, *Mercenaria mercenaria*, tuées par ce parasite sur le littoral néo-brunswickois du Golfe. Depuis, le QPX n'a généralement pas causé de graves problèmes au Canada atlantique, sauf dans certains stocks de géniteurs d'écloserie (Whyte et al., 1994). Par contre, il a entraîné des mortalités massives de palourdes américaines au Massachusetts et en Virginie (Smolowitz et Leavitt, 1997, Calvo-Ragone et al., 1997). On ne s'explique pas très bien cette différence de virulence entre le Canada et la Nouvelle-Angleterre, mais un étudiant au doctorat qui travaille sur les maladies des bivalves fouisseurs examine la dynamique de ce parasitisme, caractérisé notamment par le fait que les juvéniles exposés ne semblent pas être parasités (Bacon, comm. pers.). Ce travail, réalisé en collaboration avec l'écloserie de coquillages d'Ellerslie (ministère des Pêches et de l'Environnement de l'Î.-P.É.), intéresse les chercheurs du Woods Hole Laboratory du Massachusetts et de celui du laboratoire de la NOAA-DNR à Oxford (Maryland), qui se penchent sur les mortalités observées au Massachusetts et en Virginie.

Maladies des huîtres perlières: Par suite de mortalités massives observées chez des huîtres perlières (*Pinctada maxima* et *Pteria penguin*) recueillies dans le milieu naturel puis transférées



Figure 10. Examen superficiel visant à détecter chez les huîtres (*Crassostrea virginica*) toute lésion externe pouvant avoir un impact sur les tissus mous internes.

dans des sites de grossissement aux Philippines, le Bureau of Fisheries and Aquatic Research (BFAR) des Philippines a entrepris une étude du problème avec le Programme de santé des mollusques du CPG (Reantaso et McGladdery, 1997³). Avec l'accroissement de la pression exercée sur les populations déclinantes d'huîtres sauvages, les ostréiculteurs se sont montrés intéressés à connaître les causes de ces mortalités et à établir des mécanismes de surveillance et d'amélioration de la santé de leurs stocks, la croissance des perles n'étant optimale que chez les huîtres saines. Peu de travaux sur les maladies des huîtres perlières ont été réalisés (Pass et al., 1987; Norton et al., 1993), de sorte qu'on a d'abord effectué un relevé de base des principales espèces d'huîtres perlières. On a aussi enseigné sur place au personnel de plusieurs perlicultures comment réaliser une évaluation sanitaire et recueillir des échantillons. On a en outre conseillé le personnel de la Fish Health Unit du BFAR sur l'élaboration d'un programme sanitaire pour les



Figure 11. Collection de tissus d'huître creuse américaine (*Crassostrea virginica*) pour microscopie optique.

mollusques, notamment en ce qui a trait aux protocoles de diagnostic, pour aider l'industrie perlière. Le matériel recueilli pour ce travail a été examiné par M. Reantaso, du BFAR, et le personnel du Programme de santé des mollusques du CPG en 1997, et servira à la rédaction d'un manuel de référence sur les maladies courantes et inhabituelles chez les huîtres perlières et d'autres bivalves des Philippines (Reantaso, 1997).

Surveillance environnementale

Dans le cadre du Programme de santé des mollusques du CPG, en plus d'étudier les maladies infectieuses des mollusques, on effectue également des recherches sur les effets des facteurs environnementaux sur la santé des invertébrés (mollusques et crustacés). Les mollusques se prêtent particulièrement bien à ce genre de recherches vu leurs relations physiologiques étroites avec les composantes microbiotiques et abiotiques des sédiments et de la colonne d'eau. On a à ce jour terminé deux études préliminaires qui devraient servir de base à d'autres recherches de ce genre.

Relevé des maladies des invertébrés d'estuaires du golfe du Saint-Laurent: On a réalisé un relevé histologique des maladies de la crevette grise (*Crangon septemspinosa*), de la moule bleue (*Mytilus edulis*) et du crabe commun (*Cancer borealis*) à partir d'échantillons prélevés dans cinq estuaires du golfe du Saint-Laurent. Trois de ces estuaires (Pictou, Miramichi et Restigouche) reçoivent les effluents d'usines de pâte, à papier tandis que les deux autres ont servi de témoins négatifs. Les travaux ont été effectués par J.P. Ochieng-Mitula, un histopathologiste du Programme de santé des mollusques, en collaboration avec S.C. Courtenay, directeur du programme de toxicologie aquatique de la Division des études environnementales du CPG. Les résultats préliminaires ont révélé la présence d'une grande variété de parasites et de maladies, dont quelques uns affichaient des variations d'un estuaire à l'autre. Cependant, les variations observées n'étaient pas constantes, certains parasites et maladies étant plus abondants dans les estuaires pollués, tandis que d'autres y étaient moins abondants. De plus, certaines pathologies tissulaires montraient des étiologies multiples, de sorte qu'on ne pouvait supposer que l'agent causal dans un estuaire donné était le même que dans un autre estuaire. On s'est cependant particulièrement intéressé à la présence d'inclusions de corps pathologiques dans l'épithélium hépatopancréatique de certaines crevettes grises qui ressemblait aux importantes infections virales des pénaéides de culture

(Lightner et Redman, 1992) (fig. 9). Comme il s'agit de la première recherche histopathologique documentée sur cette espèce de crevette, on devra effectuer d'autres travaux pour identifier les inclusions, établir la dynamique des infections observées et déterminer s'il s'agit d'une histopathologie spécifique ou générale (Ochieng-Mitula et McGladdery, 1997a).

État sanitaire d'invertébrés exposés à un déversement de tourbe dans la Richibucto: On a prélevé des échantillons de crevettes grises et de myes en amont, en aval et au lieu même d'un site de déversement de tourbe dans le ruisseau Mill, un bras de la Richibucto. Selon les observations histopathologiques préliminaires, de nombreuses myes étaient infectées par des bactéries intracellulaires (rickettsies), mais les infections étaient généralement légères, de sorte qu'on ne pouvait pas parler véritablement de maladie (Ochieng-Mitula et McGladdery, 1997b). On a aussi détecté des infections rénales dues à un protiste coccidien et un déplacement des gonades lié à la présence d'un digénien (semblable à celui des moules décrit plus haut), mais, encore une fois, sans qu'on puisse les corrélérer distinctement avec la localisation des myes par rapport au panache de tourbe ou y voir un état pathologique véritable. On n'a détecté aucune morbidité chez les crevettes. Comme dans le cas du relevé sanitaire dans le milieu exposé aux effluents d'usine de pâte à papier on ne pourra tirer des conclusions qu'après avoir recueilli plus de données.

Activités diagnostiques

Une bonne partie des activités de recherche décrites plus haut visent à appuyer les services diagnostiques fournis par le Programme de santé des mollusques aux clients qui souhaitent que l'état de santé de leurs bivalves soit examiné. Au nombre des raisons invoquées pour les demandes de diagnostic, on compte des cas de croissance anormale ou de mortalité, ou encore la nécessité de procéder à un examen sanitaire des organismes avant leur transfert dans une autre région. Au cours des dix dernières années, le nombre de demandes de diagnostic est passé de moins de vingt à plus de cent par année, cette activité constituant aujourd'hui pour le Programme une responsabilité à temps plein. Comme on l'a mentionné dans l'introduction, il n'y a heureusement pas de problèmes sanitaires majeurs chez les invertébrés du Canada atlantique; cependant, les cas de mortalité dus à des conditions environnementales sous-optimales ne sont pas rares, et les services diagnostiques sont alors nécessaires pour distinguer ces mortalités de celles causées par des agents infectieux. Par exemple, les mortalités

4 Cyr Couturier,
Chair, Aquaculture
Programs, School of
Fisheries, Marine
Institute, Memorial
University of
Newfoundland.

d'huîtres creuses (*C. virginica*) au printemps sont souvent associées à une faible prolifération planctonique automnale. Dans ces conditions, les réserves énergétiques accumulées par les huîtres avant l'hiver sont faibles. Comme les huîtres se trouvent dans les Maritimes à la limite septentrionale de leur aire de répartition, elles ont fortement besoin de bonnes réserves énergétiques pour survivre au long hiver. Par ailleurs, les mortalités estivales de moules sont aussi liées à des problèmes écophysiologiques. Par exemple, la mortalité est particulièrement importante dans certains stocks de moules des îles de la Madeleine quand les ressources alimentaires sont insuffisantes après la ponte (Myrand et Gaudreault, 1995).

Le dépistage de maladies avant introduction ou transplantation exige un échantillon d'au moins 60 individus pour qu'on puisse détecter un cas d'infection pour une maladie dont la prévalence est de 5 % dans une population de plus d'un million d'animaux (Simon et Schill, 1984). On peut cependant prélever un plus petit échantillon dans le cas d'une population limitée, comme celle d'un cheptel d'écloserie. Idéalement, les mollusques doivent parvenir vivants au laboratoire, ou être préservés sur place, pour prévenir toute dégénération post-mortem des tissus. On examine l'animal entier, y compris la coquille, étant donné que tout dommage externe peut avoir un effet marqué sur les tissus mous sous-jacents. Par exemple, la réparation chronique de la coquille, donnant lieu à la formation d'ampoules ou de perles (fig. 10), requiert beaucoup d'énergie, de sorte que la gamétogenèse ou les défenses des tissus mous contre des infections autrement bénignes peuvent être entravées (McGladdery et al., 1993).

Le dépistage des maladies se fait la plupart du temps par des moyens histologiques (fig. 11) vu qu'il existe peu d'outils diagnostiques immunologiques ou fondés sur les acides nucléiques, de tels outils étant cependant actuellement mis au point (Bachère et al., 1995). De plus, on ne dispose pas de lignées cellulaires autoreproductrices pour détecter les virus des mollusques. Ainsi, les diagnostics prennent beaucoup de temps (le Programme de santé des mollusques prévoit environ trois à quatre semaines pour la réalisation d'un diagnostic), et il faut de l'expérience pour repérer les pathogènes importants et distinguer les lésions normales des lésions anormales. Les examens sanitaires exigés pour les permis de transplantation doivent être réalisés par des diagnosticiens du CPG spécialisés en histopathologie des mollusques. Dans le cadre

du Programme de santé des mollusques, on veut étendre cette expertise en formant des diagnosticiens des maladies des mollusques, et on espère que Terre-Neuve aura bientôt son propre service d'histopathologie pour réaliser le dépistage pré-transplantation (Couturier, comm. pers.⁴). Comme la plupart des diagnostics ont trait à des demandes d'introduction ou de transplantation, on examine actuellement le matériel de référence recueilli au cours des dix dernières années en vue de cartographier les zones dans lesquelles toutes les moules (*M. edulis*) ou toutes les huîtres (*C. virginica*) sont frappées par les mêmes parasites, ravageurs et maladies. Le zonage est presque terminé et permettra de justifier sur la base de données précises quels transferts requièrent ou non un dépistage sanitaire (McGladdery et al., en préparation).

Remerciements

Nous remercions tout particulièrement les collègues et les conchyliculteurs, trop nombreux pour être mentionnés ici, qui ont aidé à faire du Programme de santé des mollusques du Centre des pêches du Golfe ce qu'il est aujourd'hui. Avec leur appui, les activités visant la santé des mollusques sont devenues un élément important du développement de la conchyliculture, grâce à la collaboration de l'industrie et des gouvernements fédéral et provinciaux.

Références

- BACHÈRE, E., E. MIALHE, D. NOEL, V. BOULO, A. MORVAN, and J. RODRIGUEZ 1995. Knowledge and research prospects in marine mollusc and crustacean immunology. *Aquaculture* 132: 17-32.
- BARBER, B.J. 1996. Effects of gonadal neoplasms on oogenesis in softshell clams, *Mya arenaria*. *J. Invert. Pathol.* 67: 161-168.
- CALVO-RAGONE, L.M., J.G. WALKER, and E.M. BURRESON 1997. Occurrence of QPX, quahog parasite unknown, in Virginia hard clams, *Mercenaria mercenaria*. *J. Shellfish Res.* 16: 334.
- COUSTAU, C., C. COMBES, C. MAILLARD, F. RENAUD, and B. DELAY 1990. *Prosorhynchus squamatus* (Trematoda) Parasitosis in the *Mytilus edulis*-*Mytilus galloprovincialis* complex: specificity and host - parasite relationships. In: T.C. Cheng and F.O. Perkins (eds.), *Pathology in Marine Science*, Academic Press, San Diego, pp. 291- 298.
- DRINNAN, R.E. and E.B. HENDERSON 1963. 1962 mortalities and a possible disease organism in Neguac quahaugs. *Ellerslie Biol. Sta. Ann. Rept.* 1962-1963, B: 18-20.
- DRINNAN, R.E. and J.C. MEDCOF 1961. Progress in rehabilitating disease affected oyster stocks. *Fish. Res.*

Bd. Canada Gen. Ser. No. 34, 3 pp.

FARLEY, C.A., S.V. OTTO, and C.L. REINISCH 1986. New occurrence of epizootic sarcoma in Chesapeake Bay soft shell clams, *Mya arenaria*. Fish. Bull. 84: 851-857.

GARDNER, G.R., P.P. YEVICH, J. HURST, P. THAYER, S. BENJI, J.C. HARSHBARGER, and R.J. PRUELL 1991. Germinomas and teratoid siphon anomalies in softshell clams, *Mya arenaria*, environmentally exposed to herbicides. Environ. Health Persp. 90: 43-51.

LEAVITT, D.F. and J.M. CAPUZZO 1989. Hematopoietic neoplasia in the soft shell clam: Possible interactions with anthropogenic inputs into the environment. J. Shellfish Res. 8: 438.

LIGHTNER, D.V. and R.M. REDMAN 1992. Penaeid virus disease of the shrimp culture industry of the Americas. In: A.W. Fast and L.J. Lester (eds.) Marine shrimp culture: Principles and Practices. Developments in Aquaculture and Fisheries Science 23. Elsevier, Amsterdam, pp. 569-588.

MATTHEWS, R. 1973. The life-cycle of *Prosohrhynchus crucibulum* (Rudolphi, 1819) Odhner, 1905, and a comparison of its cercaria with that of *Prosohrhynchus squamatus* Odhner, 1905. Parasitology 66: 133-164.

McGLADDERY, S.E., R.E. DRINNAN, and M.F. STEPHENSON 1993. A manual of parasites, pests and diseases of Canadian Atlantic bivalves. Can. Tech. Rep. Fish. Aquatic. Sci. No. 1931, 121 pp.

McGLADDERY, S.E., M.F. STEPHENSON, and J. OCHIENG-MITULA (en préparation). Health diagnostic profiles of Atlantic Canadian American oysters (*Crassostrea virginica*) and blue mussels (*Mytilus edulis*) - A zonation study. Can. Tech. Rep. Fish. Aquatic. Sci.

MORRISON, C.M., A.M. MOORE, V.M. MARRYATT, and D.J. SCARRATT 1993. Disseminated sarcomas of soft shell clams, *Mya arenaria* Linnaeus 1758, from sites in Nova Scotia and New Brunswick. J. Shellfish Res. 12: 65-69.

MYRAND, B. and J. GAUDREAULT 1995. Summer mortality of blue mussels (*Mytilus edulis* Linnaeus, 1758) in the Magdalen Islands (southern Gulf of St Lawrence, Canada). J. Shellfish Res. 14: 395-404.

NEEDLER, A.W.H. and R.R. LOGIE 1947. Serious mortalities in Prince Edward Island oysters caused by a contagious disease. Trans. Roy. Soc. Can. XLI(III) Section V: 73-89.

NEWKIRK, G.F., B.C. MUISE, and C.E. ENRIGHT 1995. Culture of the Belon oyster, *Ostrea edulis*, in Nova Scotia. In: A.D. Boghen (ed.) Cold-water Aquaculture in Atlantic Canada. Canadian Inst. Res. Reg. Dev., Moncton, NB, Canada. pp. 225-253.

NORTON, J.H., M.A. SHEPHERD and H.C. PRIOR 1993. Papovavirus-like infection of the golden-lipped pearl oyster, *Pinctada maxima*, from the Torres Strait, Australia. J. of Invert. Pathol. 62: 198-200.

OCHIENG-MITULA, J.P. and S.E. McGLADDERY 1997a. Invertebrate pathology alternatives for monitoring paper industry effects and environmental health - Final Report. Alternatives to the Adult Fish Survey for Pulp and Paper Environmental Effects Monitoring. 7 pp.

OCHIENG-MITULA, J.P. and S.E. McGLADDERY 1997b. Mill Creek peat moss survey: Invertebrate pathology report. Département des études environnementales. Université de Moncton. 6 pp.

PASS, D.A., R. DYBDAHL and M.M. MANNION 1987. Investigations into the causes of mortality of the pearl oyster, *Pinctada maxima* (Jamson), in Western Australia. Aquaculture 65: 149-169.

REANTASO, M.B. 1997. Report of a Global Technology Search Program: Direct search for technologies on mollusc health management at the Gulf Fisheries Centre, Moncton, NB, Canada. (rapport inédit). 17 pp.

REINISCH, C.L., A.M. CHARLES, and J. TROUTNER 1983. Unique antigens on neoplastic cells of the soft shell clam *Mya arenaria*. Dev. Comp. Immunol. 7: 33-39.

SIMON, R.C. and W.B. SCHILL 1984. Tables of sample size requirements for detection of fish infected by pathogens: three confidence levels for different infection prevalence and various population sizes. J. Fish Dis. 7: 515-520.

SMOLOWITZ, R. and D. LEAVITT 1997. Quahog parasite unknown (QPX): An emerging disease of hard clams. J. Shellfish Res. 16: 335-336.

WHYTE, S.K., R.J. CAWTHORN and S.E. McGLADDERY 1994. QPX (Quahaug Parasite X), a pathogen of northern quahaug *Mercenaria mercenaria* from the Gulf of St. Lawrence, Canada. Dis. Aquat. Org. 19: 129-136.

Origine et abondance du bar rayé du sud du golfe du Saint-Laurent : Nouvelles perspectives

Ron Bradford

Contexte

L'aire de répartition naturelle du bar rayé (*Morone saxatilis*, ordre: Perciformes; famille: Percichthyidae), espèce anadrome, s'étend du golfe du Mexique jusque dans l'estuaire du fleuve Saint-Laurent (Scott et Scott, 1988). La région de la baie de Chesapeake, dans l'est des États-Unis d'Amérique, est en général considérée comme le cœur de son aire de répartition et sa région de plus forte abondance. On connaît deux sites dans la région des Maritimes où le bar rayé vient frayer d'une année à l'autre, l'estuaire de la Miramichi Nord-Ouest, dans la partie sud du golfe du Saint-Laurent, et la rivière Shubenacadie, à l'intérieur de la baie de Fundy (fig. 1). Les deux populations sont génétiquement distinctes (Wirgin et al., 1993) et elles sont toutes deux génétiquement différentes des stocks du fleuve Hudson et de la baie de Chesapeake (Wirgin et al., 1993).

Le bar rayé adulte pénètre en eau douce pour frayer au printemps. La montaison dans les rivières de l'est du Canada se produit en mai et juin et va rarement au-delà de la limite des eaux de marée. En général, les poissons redescendent individuellement vers la mer dans les deux semaines qui suivent. Le déclenchement de la fraye se produirait lorsque la température de l'eau atteint 16 à 18 °C (Robichaud-LeBlanc et al., 1996). Les œufs et la laitance sont libérés directement dans la colonne d'eau où les œufs fécondés, semi-flottants, demeurent en suspension pendant toute la durée de la période d'incubation. L'éclosion des larves vésiculées pélagiques et libres survient environ 72 heures plus tard. Après résorption de la vésicule vitelline, qui prend entre sept et dix jours environ, les larves se nourrissent du zooplancton dans l'estuaire (Robichaud-LeBlanc et al., 1997). Le passage de l'état de larve à l'état de juvénile s'étend sur une période d'environ six semaines, puis les jeunes poissons forment des bancs et adoptent un mode d'existence plus démersal. En été et à l'automne, les adultes et les juvéniles peuvent s'éloigner de plusieurs centaines de kilomètres de leur rivière natale, mais ils demeurent en général à quelques kilomètres de la rive. Les mâles atteignent la maturité à trois ans environ tandis que les femelles frayent en général pour la première fois à l'âge de quatre ans (Bradford et Chaput, 1996).

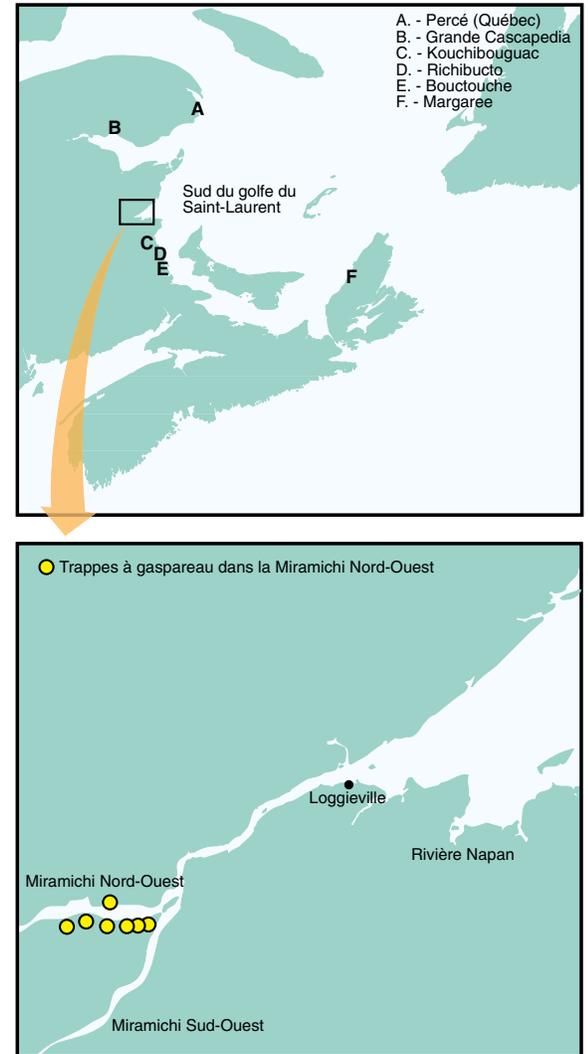


Figure 1 : Carte de la région des Maritimes indiquant les lieux mentionnés dans le texte et représentation détaillée de l'estuaire de la Miramichi Nord-Ouest.

Sur la côte est des États-Unis, le bar rayé est un poisson de pêche sportive très prisé et d'une grande valeur commerciale; par contre, la pêche sportive de ce poisson est peu développée dans les eaux de l'est du Canada, ce qui s'explique en partie par l'incertitude quant à la ressource exploitable d'une année à l'autre. D'après les tendances des débarquements déclarés, les bars rayés originaires des rivières de l'est du Canada connaissent des cycles d'abondance et de déclin. Ces cycles n'ont jamais été bien compris, mais des facteurs environnementaux et la mortalité par pêche ont été considérés comme des facteurs favorisant (Chaput et Randall, 1990).

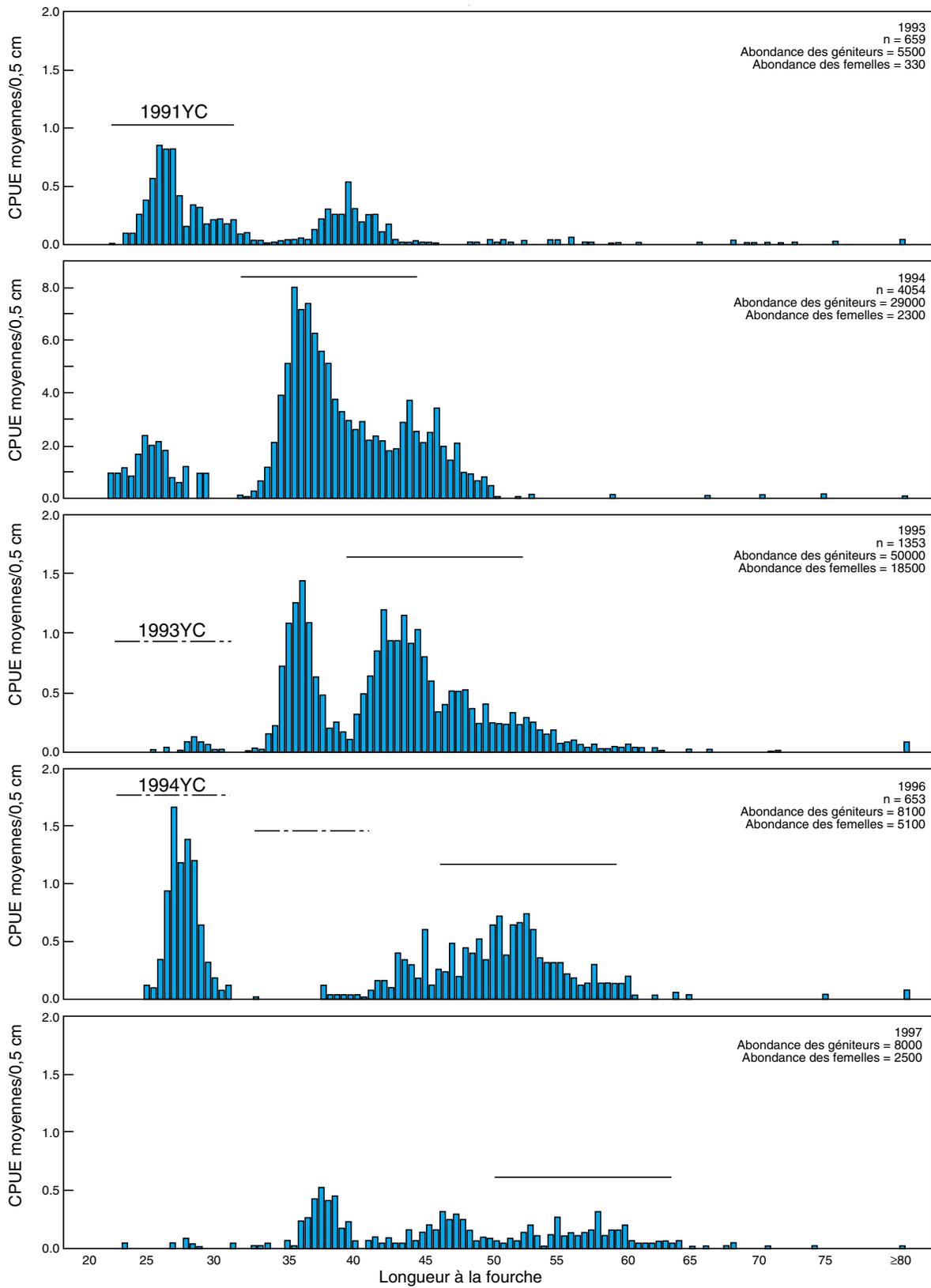


Figure 2 : Distributions des fréquences de longueur des bars rayés adultes dans l'estuaire de la Miramichi Nord-Ouest, pour la période de 1993 à 1997. On trouve également les effectifs des échantillons, des estimations de l'abondance des géniteurs, et le nombre de femelles présentes dans la population (YC = Classe).

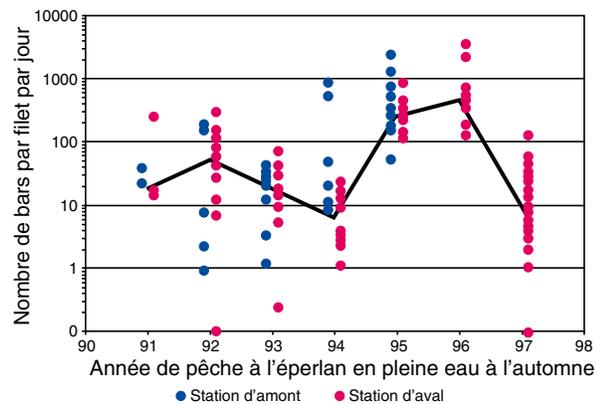


Figure 3 : Captures par unité d'effort (nombre de poissons par filet par période de 24 heures) de jeunes bars rayés de l'année dans la pêche de l'éperlan en pleine eau dans la Miramichi, stations d'amont et d'aval, de 1991 à 1997. La ligne pleine représente la moyenne géométrique annuelle de la station d'aval. Chacun des points peut représenter plusieurs observations.

Plan de gestion axé sur la conservation

La viabilité à long terme de la ressource semblant compromise en raison de l'absence de gestion officielle de la ressource et des risques de conséquences néfastes d'une pêche non réglementée (Chaput et Randall, 1990), un plan de gestion axé sur la conservation a été élaboré en 1993 (Pêches et Océans Canada, 1993). Les principaux éléments du plan sont les suivants :

- freiner la diminution de l'abondance
- accroître l'abondance
- maintenir l'abondance à des niveaux correspondants à ce que peut soutenir l'habitat.

La mise en oeuvre complète du plan remonte à mars 1996 : les ventes de bars rayés canadiens capturés à l'état sauvage sont maintenant illégales. À l'heure actuelle, la gestion appuie le développement de pêches sportives à la ligne qui devraient générer des revenus de plus de 10 millions de dollars par année au Nouveau-Brunswick seulement (Loftus et al., 1993). Le bar rayé continue d'être exploité à des fins alimentaires, sociales et cérémonielles pour répondre aux besoins traditionnels des Amérindiens dans toute la région (Perley, 1852; Bradford et Chaput, 1996).

Un programme de recherche destiné à appuyer le plan de gestion axé sur la conservation et le développement de pêches sportives a été mis en oeuvre au printemps 1993. Il s'agissait principalement d'établir des protocoles pour calculer l'abondance des adultes et le recrutement, ainsi que pour déterminer la structure du stock, les profils de migration, et les besoins d'habitat

de cette espèce dans le sud du golfe du Saint-Laurent (fig. 1). Les principaux éléments de ce programme et les résultats obtenus jusqu'à maintenant sont résumés ci-dessous.

Projet sur le bar rayé du sud du golfe du Saint-Laurent

Le sud du golfe du Saint-Laurent (sud du Golfe) est le site de reproduction du bar rayé dans les provinces Maritimes (Chaput et Randall, 1990). Le bar rayé y était exploité commercialement bien avant l'existence de la Confédération canadienne (Perley, 1857); certaines années, les débarquements déclarés ont même dépassé 40 t (LeBlanc et Chaput, 1991). Il est intéressant de souligner que cette espèce n'a jamais été visée par un effort de pêche important. Le bar rayé faisait plutôt partie des prises accessoires des pêcheurs commerciaux côtiers, et il était débarqué et vendu (LeBlanc et Chaput, 1991; Bradford et al., 1995). Les premiers résultats du programme de recherches ont montré que les prises accessoires de bar rayé dans la pêche du gaspateau en mai et en juin pouvaient servir de base à l'évaluation de l'abondance des adultes, et que les prises accessoires des pêches de l'éperlan en octobre et novembre pouvaient être une indication de l'abondance des juvéniles issus de la fraye du printemps précédent (Bradford et al., 1995). En outre, les types d'engins utilisés dans les deux pêches permettent de garder le poisson capturé vivant jusqu'à ce que les filets soient remplis et les captures amenées à bord du bateau de pêche. Le bar rayé peut donc être trié, échantillonné et remis à l'eau vivant.

Il a été établi que l'estuaire de la Miramichi Nord-Ouest (fig. 1) serait le site du sud du Golfe qui permettrait d'obtenir les estimations annuelles les plus fiables de l'abondance des adultes alors que les poissons sont concentrés dans les frayères. Premièrement, on y observait un taux élevé, persistant d'une année à l'autre, des prises accessoires d'adultes dans la pêche du gaspateau en mai et juin, d'après la série chronologique des débarquements déclarés de bar rayé par la pêche commerciale (LeBlanc et Chaput, 1991). Deuxièmement, l'échantillonnage biologique des prises accessoires dans l'estuaire de la Miramichi Nord-Ouest a révélé que le poisson était en période de fraye (Bradford et al., 1995). Troisièmement, les œufs et les larves de bar rayé font partie de la communauté planctonique de l'estuaire dans la période où les bars rayés sexuellement matures dominent les prises accessoires de la pêche du gaspateau (Bradford et al., 1995; Robichaud-LeBlanc et al., 1996).

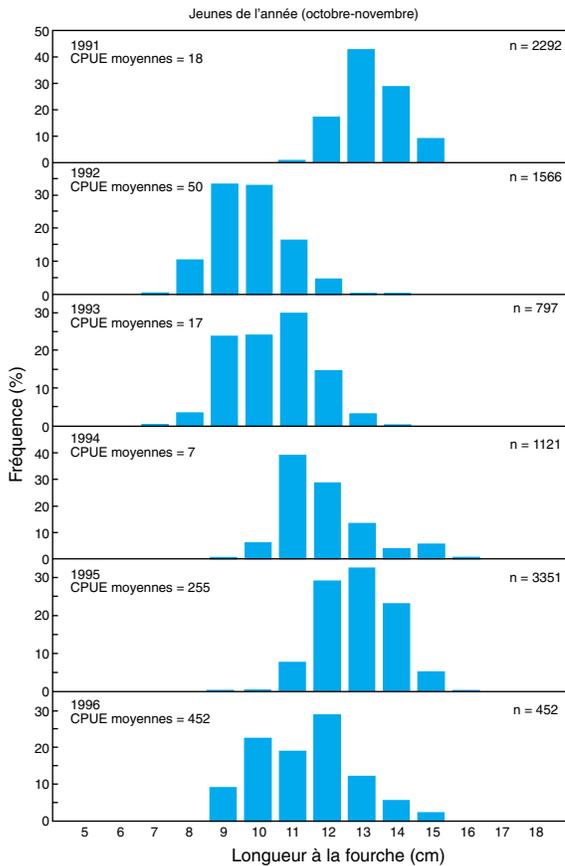


Figure 4 : Distributions des fréquences de longueur des bars rayés de l'année dans la pêche à l'éperlan en pleine eau dans la Miramichi pour tous les sites, de 1991 à 1996. La longueur modale est représentée en ombré (n = effectif de l'échantillon).

Des expériences de marquage-recapture permettent d'estimer l'abondance des adultes. Une population échantillon de poissons adultes est marquée (marques externes portant un numéro insérées dans la nageoire dorsale antérieure) une ou deux semaines environ avant la période de fraie. On mesure aussi chaque poisson, on pratique un examen externe afin de déterminer son sexe, et on prélève un échantillon d'écailles aux fins d'études sur l'âge et la croissance. Pendant la saison de fraie, on compte le nombre de bars rayés adultes capturés dans les trappes à gaspateau et on enregistre le nombre total de recaptures. Donc, en connaissant le nombre de marques disponibles, le nombre de recaptures et le nombre total de bars rayés dans les captures échantillonnées, il est possible d'estimer le nombre total de bars rayés adultes. De plus, on note le numéro des marques de tous les poissons recapturés avant de les remettre à l'eau. Pendant plusieurs années, ces données permettent de suivre les migrations saisonnières, que chaque poisson fraie ou non chaque année, et le taux de fidélité de chaque poisson à l'égard de l'estuaire de la Miramichi comme aire de fraie.

Aire de répartition et affinité pour les frayères

L'aire de répartition connue de la population de la Miramichi comprend toutes les parties continentales du sud du golfe du Saint-Laurent. On a signalé des recaptures de poissons à Percé (Québec), et des poissons marqués aux trappes du secteur des Sciences du MPO sur la Margaree (Nouvelle-Écosse) (fig. 1) ont été recapturés à l'état de géniteurs dans la Miramichi Nord-Ouest. Des recaptures effectuées plusieurs années consécutives montrent que le bar rayé de la

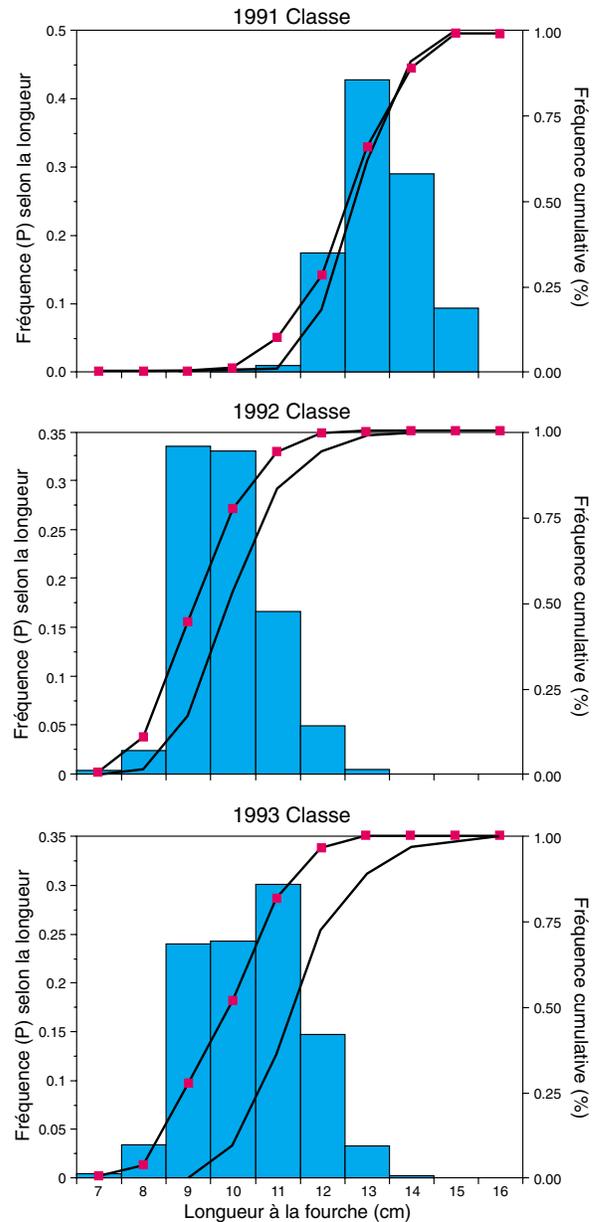


Figure 5 : Histogrammes de fréquences de longueur et distribution de fréquence cumulative (ligne avec symbole) des longeurs observées avant l'hiver chez les jeunes bars rayés dans la Miramichi, de 1991 à 1993. La ligne pleine sans symbole représente la fréquence de longueur cumulative des survivants à l'âge 1 estimée par rétrocalcul de la longueur selon l'âge à partir des anneaux sur les écailles.

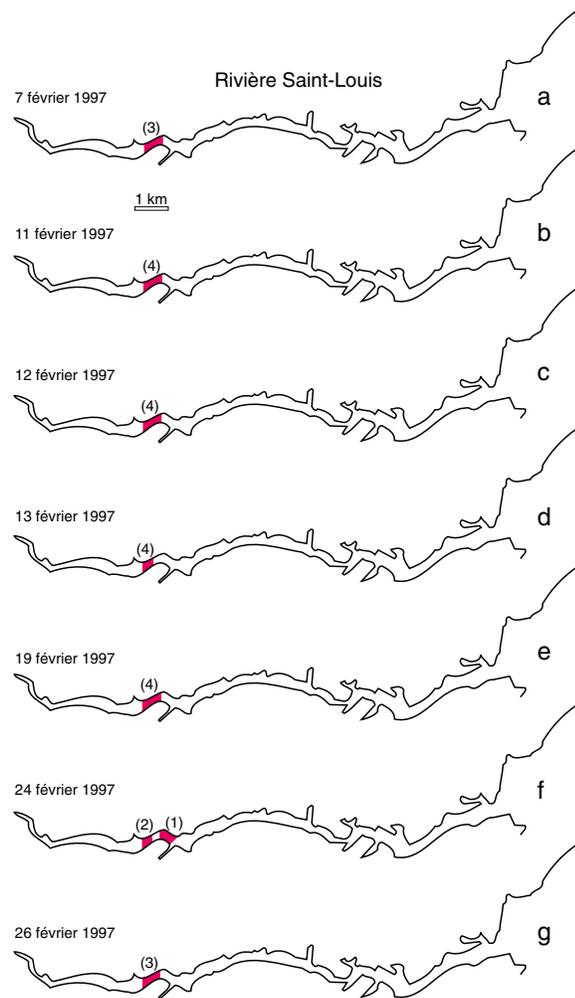


Figure 6 : Distribution spatiale (portion ombrée) du bar rayé suivi sous la glace de la rivière Saint-Louis par jour d'échantillonnage pendant le mois de février 1997. Les chiffres entre parenthèses représentent le nombre de bars rayés munis d'émetteurs ultrasonores qui ont été localisés la journée de l'échantillonnage. L'échelle de 1 km est indiquée.

Miramichi fraie chaque année dès l'âge de 3 ans et jusqu'à sept ans, et que tous reviennent fraier dans l'estuaire de la Miramichi Nord-Ouest au cours des années qui suivent.

Abondance des géniteurs

Les estimations de l'abondance des adultes de 1993 à 1997 sont indiquées à la figure 2, ainsi que la distribution correspondante des fréquences de longueur dans les captures de l'année. La baisse spectaculaire de 80 % de l'abondance des adultes entre 1995 et 1996 résultait presque entièrement de la non-réglementation de la pêche commerciale pendant cette période (Bradford et Chaput, 1997), ce qui montre de quelle manière une pêche non réglementée contribue au cycle caractéristique d'abondance et de déclin de cette population. Un examen des distributions des adultes chaque année montre que la classe de 1991, qui a été

recrutée pour la première fois à l'âge 3 (mâles seulement) en 1994, est demeurée l'élément dominant de la population reproductrice jusqu'en 1997 (fig. 2; les poissons de moins de 32 cm environ de longueur à la fourche sont d'âge 2⁺ et immatures). On peut aussi remarquer l'échec de la classe de 1993, ce qui s'est traduit par un recrutement négligeable dans la population adulte de mâles d'âge 3 en 1996, et de femelles d'âge 4 en 1997 (fig. 2). Ce phénomène peut s'expliquer en partie par le fait que moins de 350 femelles ont frayé au printemps de 1993 (fig. 2) avec pour résultat une faible production de jeunes de l'année (fig. 3). Par contre, la plus forte abondance de juvéniles dans la pêche d'automne de l'éperlan a été enregistrée pendant les années au cours desquelles l'abondance des femelles était supérieure à 5 000 individus (années 1995 et 1996; fig. 3). Toutefois, des études sur la taille en fonction de l'âge montrent que d'autres facteurs peuvent influencer énormément sur le recrutement, comme on l'explique plus bas.

Production de juvéniles : contraintes environnementales et physiologiques

L'estuaire de la Miramichi constitue la limite septentrionale de l'aire de fraie du bar rayé (Bradford et al., 1995a; Rulifson et Dadswell, 1995). Comme la plupart des poissons qui se reproduisent à la limite géographique de leur aire de répartition naturelle, le bar rayé du sud du golfe du Saint-Laurent est très sensible aux caprices des facteurs environnementaux qui peuvent influencer sur la croissance. La variabilité interannuelle de la taille à la fin de la première saison de croissance est une caractéristique marquée des populations de juvéniles de bar rayé échantillonnées dans le sud du golfe du Saint-Laurent. La figure 4 montre que la variation de la longueur médiane peut atteindre trois centimètres d'une année à l'autre. On peut aussi remarquer que la forte classe de 1991, même si elle n'est pas aussi abondante par rapport aux autres classes, était composée d'individus relativement gros (fig. 4). Ces observations montrent que la survie des populations septentrionales de bar rayé est reliée à un facteur dépendant de la taille.

Des comparaisons des distributions de taille observées chez les juvéniles avant l'hiver (âge 0⁺) pour les classes de 1991, 1992 et 1993 (prises accessoires de la pêche d'automne de l'éperlan dans la Miramichi), avec la fréquence de longueur des survivants à l'âge 1 (estimée par rétrocalcul de la longueur à l'âge 1 à partir des anneaux de croissance des écailles du poisson), montrent (fig. 5) que la longueur à la fourche chez le bar rayé doit être supérieure à 10 cm à la fin de la

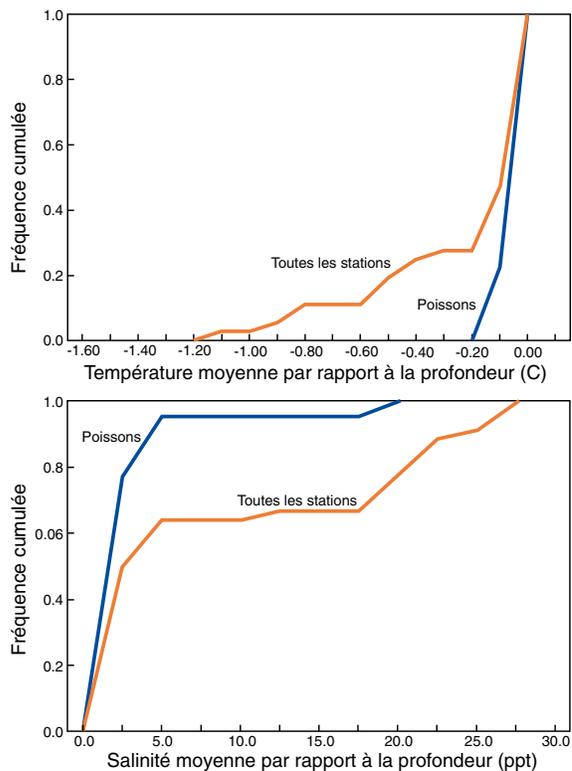


Figure 7 : Courbes des fréquences cumulées de la température moyenne par rapport à la profondeur et de la salinité moyenne par rapport à la profondeur de toutes les stations hydrographiques échantillonnées sur la rivière Saint-Louis, de janvier à mars 1997, et des stations où des bars rayés munis d'émetteurs ultrasonores ont été localisés.

première saison de croissance pour qu'il ait une possibilité raisonnable de survivre au premier hiver. Présentement, les mécanismes sous-jacents ne sont pas entièrement compris, mais ils sembleraient découler du fait que le bar rayé du sud du golfe du Saint-Laurent ne s'alimente pas lorsque la température de l'eau est inférieure à 4 °C. L'énergie stockée sous forme de graisse est plutôt utilisée par le poisson pour répondre à ses besoins métaboliques pendant les quatre mois d'hiver. Dans des conditions similaires ailleurs, et chez d'autres espèces de poisson, on a montré que les plus gros sujets résistent mieux au manque de nourriture, et connaissent peut-être un stress osmotique plus faible, et donc un meilleur taux de survie au cours du premier hiver (Shuter et Post, 1990).

Habitat d'hiver

Dans le sud du Golfe, les bars rayés retournent dans les habitats dulcicoles à l'arrivée de l'hiver (Hogans et Melvin, 1984; Hanson et Courtenay, 1995; Rulifson et Dadswell, 1995; Bradford et Chaput, 1996), probablement pour éviter les basses températures de l'eau de mer, qui leur sont fatales. Le choix du site d'hivernage semble être opportuniste, et dépend en grande

partie de leur situation géographique au début de l'hiver (Bradford et Chaput, 1996), de sorte que les poissons qui frayent dans la Miramichi ne reviennent pas nécessairement dans ce cours d'eau avant l'hiver (Bradford et al., 1995a; Bradford et Chaput, 1996).

C'est un fait bien connu dans toute la région depuis plus d'un siècle (Perley, 1852) que presque tous les principaux cours d'eau du sud du golfe du Saint-Laurent abritent des populations de bar rayé pendant l'hiver. Il n'est donc pas étonnant que les agrégations hivernales de cette espèce soient exploitées à des fins alimentaires et économiques jusqu'à la fonte des glaces au printemps suivant. L'association entre les conditions hydrographiques dans l'estuaire et la répartition réelle du poisson en hivernage n'était pas claire et, sans ces données, il était impossible de déterminer si les sites de pêche d'hiver correspondaient aux limites de l'aire de distribution hivernale des poissons ou étaient simplement des lieux où ils sont plus susceptibles d'être capturés. La pêche commerciale n'est plus permise, mais ce type de connaissance a une valeur contemporaine car elle constitue une base pour formuler les mesures anti-braconnage, et pour évaluer les conséquences des modes d'utilisation des terres et des eaux marines sur la viabilité de l'habitat. Afin d'étudier ces problèmes, les chercheurs ont implanté des émetteurs ultrasonores chez dix bars rayés, qu'ils ont suivis sous la glace dans la Kouchibouguac et la rivière Saint-Louis, dans le sud-est du Nouveau-Brunswick, pendant l'hiver de 1996-1997.

Les résultats parlent d'eux-mêmes. Les poissons suivis étaient confinés à une zone de moins de 1 km dans l'estuaire, qui correspondait à la présence historique de la pêche d'hiver. Les profils hydrographiques de l'estuaire montraient une agrégation de poissons dans le coin salé des estuaires (point de rencontre de l'eau douce provenant des rivières avec l'eau salée). La répartition en février du bar rayé dans la rivière Saint-Louis est illustrée à la figure 6 à titre d'exemple. La figure 7 montre l'affinité du bar rayé d'hiver avec le coin salé au cours de la période hivernale.

Conclusions et autres études

Jusqu'à maintenant, les résultats cumulatifs des études suivies sur le bar rayé du sud du golfe du Saint-Laurent nous rappellent assez brutalement que les activités anthropiques, en l'absence de cadre de gestion des ressources, peuvent avoir un effet néfaste sur le cycle naturel des populations de poisson. Les contraintes imposées au prélèvement des bars rayés juvéniles

et adultes par le plan de gestion axé sur la conservation doivent être vues comme un facteur positif à long terme. Désormais, et pour la première fois depuis la Confédération canadienne, ce seront probablement des facteurs naturels qui définiront la dynamique de cette population. L'ampleur des répercussions des modes d'utilisation des terres et des eaux marines par l'homme sur les habitats de fraye, d'élevage et d'hivernage du bar rayé devra cependant être examinée plus à fond.

La structure du stock de bar rayé du sud du Golfe demeure, peut-être, l'inconnue la plus importante dans l'effort actuel de gestion de la ressource. Les preuves accumulées montrent que ces poissons constituent une seule unité biologique qui fraye exclusivement dans l'estuaire de la Miramichi Nord-Ouest. On n'a pas trouvé d'oeufs et de larves à l'extérieur de cet estuaire (Robinson et al., 1997; Bradford et Chaput, 1998), et les données de marquage-recapture révèlent que les poissons qui ont déjà frayé au moins une fois dans la Miramichi ne montrent aucune tendance à frayer ailleurs dans le sud du Golfe au cours des années qui suivent (R.G. Bradford, données inédites). Toutefois, il est possible que la pêche non réglementée qui sévissait dans le passé ait entraîné la disparition de populations de bar rayé ailleurs dans le sud du Golfe. Au cours des prochaines années, il est possible qu'on observe une extension de la fraye dans des estuaires autres que celui de la Miramichi. Si c'est le cas, la gestion du bar rayé du sud du Golfe comme une seule unité biologique sera remise en question. Donc, il faudrait trouver le moyen d'identifier rapidement toute modification de la distribution de la fraye, ce qui aurait une valeur considérable comme outil de gestion de la ressource. L'utilité de l'expérience de marquage-recapture pour surveiller la modification de la distribution de la fraye du bar rayé dans le sud du Golfe est présentement en cours d'évaluation.

Partenaires passés et actuels

- Première nation de Burnt Church
- Première nation d'Eel Ground
- Parc national Kouchibouguac
- Comité d'évaluation écologique de la rivière Miramichi
- Comité de gestion du bassin de la Miramichi
- Fédération de la faune du Nouveau-Brunswick
- Southeast Anglers Association

Références

Bradford, R.G., and G. Chaput. 1996. The status of striped bass (*Morone saxatilis*) in the southern Gulf of St. Lawrence in 1995. Department of Fisheries and Oceans Atlantic Fisheries Research Document 96/62. 36 p. Department of Fisheries and Oceans, Dartmouth, N.S.

Bradford, R.G., and G. Chaput. 1997. Status of striped bass (*Morone saxatilis*) in the southern Gulf of St. Lawrence in 1996 with revised estimates of spawner abundance for 1994 and 1995. Department of Fisheries and Oceans Atlantic Fisheries Research Document 97/16. 31p. Department of Fisheries and Oceans, Dartmouth, N.S.

Bradford, R.G., E. Tremblay, and G. Chaput 1997. Winter distribution of striped bass (*Morone saxatilis*) and associated environmental conditions in Kouchibouguac National Park during 1996-1997. Pks. Can. -Eco. Monit. Data Rep. No. 0003. iv +56 p.

Bradford, R.G., G. Chaput, and E. Tremblay 1995a. Status of striped bass (*Morone saxatilis*) in the Gulf of St. Lawrence. Department of Fisheries and Oceans Atlantic Fisheries Research Document 95/119. 43p. Department of Fisheries and Oceans, Dartmouth, N.S.

Bradford, R.G., K.A. Robichaud, and S.C. Courtenay. 1995b. By-catch in commercial fisheries as an indicator and regulator of striped bass (*Morone saxatilis*) abundance in the Miramichi River estuary, p. 249-259. In E.M.P. Chadwick [editor]. Water, science, and the public: the Miramichi ecosystem. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 123.

Bradford, R.G., G. Chaput, T. Hurlbut, and R. Morin. 1997. Bycatch of striped bass, white hake, winter flounder, and Atlantic tomcod in the autumn 'open water' smelt fishery of the Miramichi River estuary. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2195: 43p.

Chaput, G.J., and R.G. Randall. 1990. Striped bass (*Morone saxatilis*) from the Gulf of St. Lawrence. Canadian Atlantic Fisheries Scientific Advisory Committee Research Document 90/71, 29 p. Department of Fisheries and Oceans, Dartmouth, N.S.

Department of Fisheries and Oceans. 1993. Striped bass management plan for New Brunswick: major elements. 5 p.

Hanson, J.M., and S.C. Courtenay. 1995. Seasonal abundance and distribution of fishes in the Miramichi estuary, p. 141-160. In E.M.P. Chadwick [editor]. Water, science, and the public: the Miramichi ecosystem. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 123.

Hogans, W., and G. Melvin. 1984. Kouchibouguac National Park Striped Bass (*Morone saxatilis*) Fishery Survey. Aquatic Industries Limited, St. Andrews, N.B.

LeBlanc, C.H., et G.J. Chaput. 1991. Débarquements de poissons estuariens dans le golfe du Saint-Laurent 1917-1988. Rapport statistique canadien des sciences halieutiques et aquatiques. N° 842, 101 p.

Loftus, K.K., L.A. Grieg, T.A. Pinhorn, M. Kilfoil, and J.D. Meisner. 1993. Comprehensive strategy for the anadromous and inland recreational fisheries of New Brunswick. Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2216: xxii + 235 p. (Stratégie globale de développement des pêches récréatives anadromes et intérieures du Nouveau-Brunswick. Sommaire en français de 11 pages.)

Perley, M.H. 1852. The sea and river fisheries of New Brunswick. Queens Printer, Fredericton, N.B. 294p.

Robichaud-LeBlanc, K.A., S.C. Courtenay and A. Locke. 1996. Spawning and early life history of a northern population of striped bass (*Morone saxatilis*) in the Miramichi River estuary, Gulf of St. Lawrence. Can. J. Zool. 74: 1645-1655.

Robichaud-LeBlanc, K.A., S.C. Courtenay and J.M. Hanson. 1997. Ontogenetic diet shifts in age-0 striped bass, *Morone saxatilis*, from the Miramichi River estuary, Gulf of St. Lawrence. Can. J. Zool. 75: 1300-1309.

Robinson, M., G. Klassen, A. Locke, A. Verschoor, E. Tremblay, A. St-Hilaire, and S. Courtenay. 1997. A preliminary analysis of the early life-history of striped bass (*Morone saxatilis*) in the Kouchibouguac Estuary in 1996. Pks. Can. Atl. - Tech. Rept. Ecol. Sci. 0000: 000-000.

Rulifson, R.A., and M.J. Dadswell. 1995. Life history and population characteristics of striped bass in Atlantic Canada. Trans. Amer. Fish. Soc. 124: 477-507.

Scott, B.S., et M.G. Scott. (Sous presse). Les poissons de l'Atlantique canadien. Bull. can. sci. hal. aquat.

Shuter, B.J. and J.R. Post. 1990. Climate, population viability, and zoogeography of temperate fishes. Trans. Am. Fish. Soc. 119: 314-336.

Wirgin, I.I., T.-L. Ong, L. Maceda, J.R. Waldman, D. Moore, and S. Courtenay. 1993. Mitochondrial DNA variation in striped bass (*Morone saxatilis*) from Canadian rivers. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 50: 80-87.

Crabe des neiges : une pêche prospère

Michael Chadwick et Mikio Moriyasu

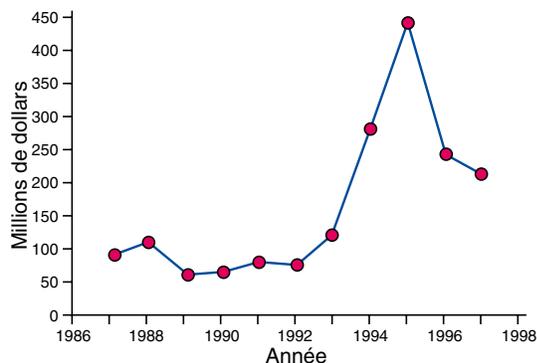


Figure 1 : Valeur au débarquement des pêches du crabe des neiges de l'est du Canada, 1987-1997

Introduction

La pêche du crabe des neiges dans la région des Maritimes est l'une des pêches les plus prospères au Canada. Quatre facteurs expliquent ce succès : le prix élevé du crabe, l'excellence du programme scientifique, les objectifs de gestion prudents et réellement axés sur la conservation, et un processus de consultation ouvert et efficace. Dans le présent article, nous traiterons aussi brièvement des perspectives d'avenir de la pêche, qui comprennent une augmentation de l'effort de pêche et une modification des conditions environnementales qui pourrait être défavorable au crabe des neiges.

Crabe mâle



Face dorsale



Face ventrale

Crabe femelle



Section de crabe mâle



Coupe de la section congelée



Cartons de sections de crabes

Figure 2 : Crabes des neiges mâle et femelle et préparation des sections de crabe congelées.

Le prix élevé du crabe des neiges

La valeur au débarquement du crabe des neiges s'élève à environ 200 millions de dollars (fig. 1). Le Japon est le seul marché de ce produit, et le prix est élevé. La qualité est la priorité de l'industrie du crabe des neiges. Les spécimens sont capturés à l'aide de casiers appâtés. Dans le sud du Golfe, le nombre limite de casiers par permis va de 50 à 150. Le taux de prises moyen de ces casiers est d'environ 50 kg de crabe. Seuls sont retenus les mâles matures dont la largeur de carapace est supérieure à 95 mm. Les casiers étant bien conçus, les prises accessoires d'autres organismes non visés sont négligeables. Les crabes sont gardés au froid jusqu'à leur débarquement à l'usine de transformation quelques heures plus tard. Ils sont alors cuits, nettoyés, triés selon la taille, la couleur et l'état de la carapace, emballés et congelés. Presque tout le crabe pêché dans le sud du Golfe est vendu sous forme de sections (fig. 2). La présentation visuelle du crabe est aussi importante que la qualité de la chair. Des techniciens japonais sont constamment présents dans les installations de transformation pour veiller à ce que seuls des crabes de la plus haute qualité soient expédiés au Japon. Grâce à cette exigence de qualité, la demande de crabe des neiges est demeurée forte, malgré les fluctuations des marchés financiers.

L'excellence du programme scientifique

Le programme scientifique réussit à représenter sous forme visuelle l'état de la ressource de manière que les gestionnaires des pêches et l'industrie de la pêche puissent prendre des décisions éclairées concernant la gestion de cette espèce. Le crabe des neiges vit sur le fond, dans des sédiments de faible granulométrie, il se déplace peu, et il est donc facile de le capturer au chalut. Avant l'ouverture de la pêche, des échantillons sont prélevés sur le fond, à des stations choisies au hasard, à l'aide d'un chalut qui creuse dans le plancher océanique pour faire sortir les crabes de la vase et les capturer. Le relevé est conçu selon la même technique qu'un sondage; il permet d'estimer l'abondance des crabes, de toutes les tailles et de tous les sexes, y compris ceux de taille commerciale et ceux qui atteindront la taille commerciale d'ici un an ou deux. Des cartes établies pour illustrer l'emplacement et la densité des différents types de crabe (fig. 3) sont utilisées par les pêcheurs pour cibler les mâles matures et pour éviter les zones dans lesquelles se trouve un fort pourcentage de crabes immatures ou à carapace molle.

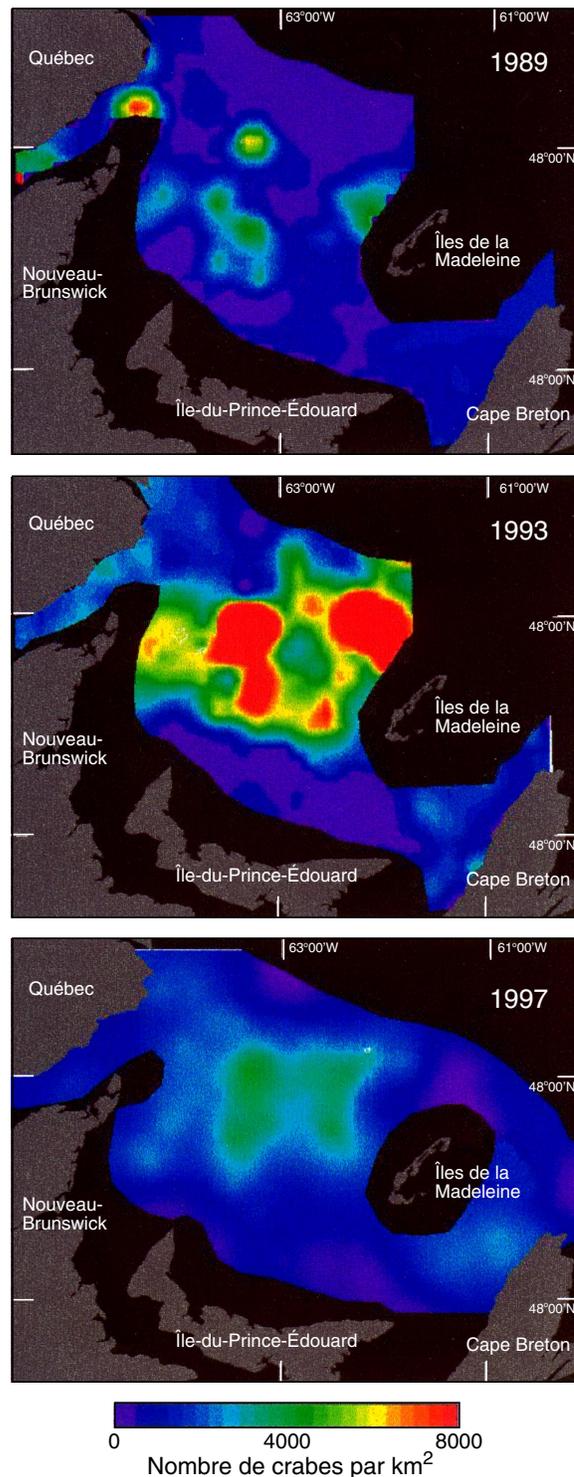


Figure 3 : Cartes de la densité exploitable des crabes des neiges mâles adultes (largeur de carapace ≥ 95 cm) d'après les relevés au chalut de 1989, 1993, et 1997.

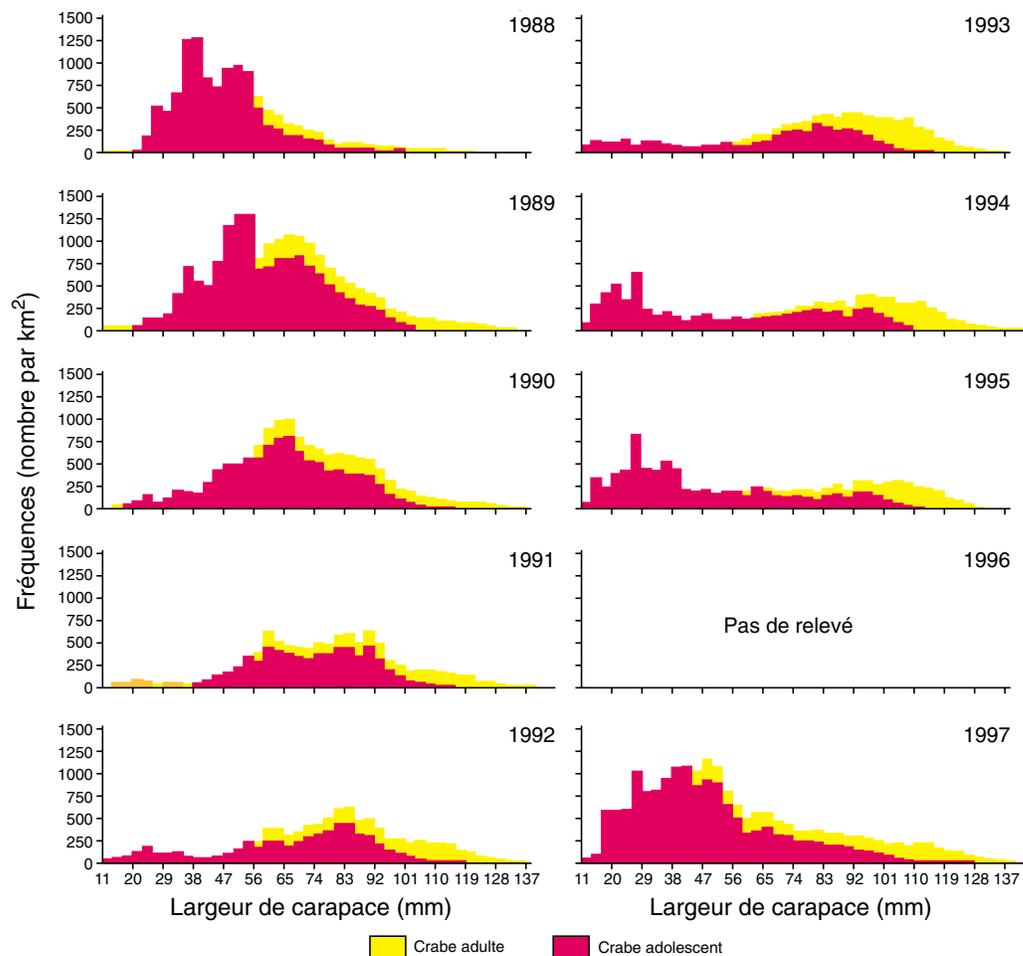


Figure 4 : Distribution de fréquences de tailles des crabes mâles pendant les relevés de recherche dans le sud du Golfe (zone 12), 1988 à 1997.

La conception du relevé et les techniques d'analyse ont été élaborées par des scientifiques travaillant dans le sud du Golfe. Le relevé est effectué dans cette région chaque année depuis presque dix ans. Nous savons qu'il est fiable parce que nous avons pu suivre les modifications de la distribution de cette espèce d'une année à l'autre (fig. 4). Le relevé du Golfe montre que les données sur les prises et l'effort de pêche sont exactes, car les variations du taux de capture commerciale suivent de très près les variations de la biomasse du stock (fig. 5). Nous avons suivi le

développement d'une génération complète de crabes, depuis la première observation de spécimens de la taille d'un dollar jusqu'à leur recrutement dans la pêche environ six ans plus tard. Nous savons qu'une autre vague de recrutement est sur le point d'entrer dans la pêche au cours des deux prochaines années. Selon les pêcheurs, les cartes sont utiles et nos évaluations sont fiables. L'industrie subventionne donc presque tout le programme scientifique.

Stock	Débarquements tonnes 1997	Budget du MPO Sciences (K)	Partenariat avec l'industrie (K)	Réunions publiques	Permis	Stations de relevés	Crabes échantillonnés	Échantillons d'eau de mer
Sud du Golfe	17,750	190	500	14	228	220	25,000	17
Sud Plate-forme	1,700	80	170	10	129	240	15,000	9
Total	19,450	270	670	24	357	460	40,000	26

Tableau 1 : Données sur la pêche du crabe des neiges et le programme scientifique, Région des Maritimes.

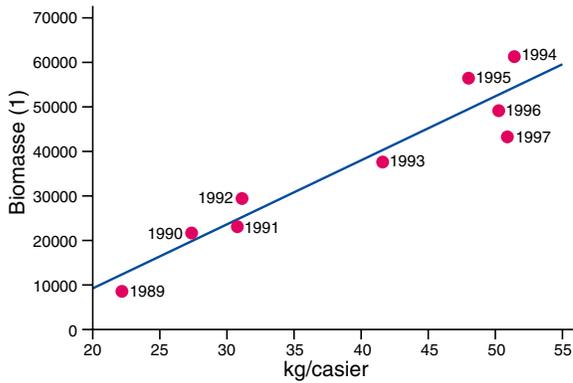


Figure 5 : Taux de capture commerciale de la pêche du crabe des neiges dans le sud-ouest du golfe du Saint-Laurent par rapport à la biomasse de crabe exploitable selon le relevé de recherche, de 1989 à 1997. Environ 90 % de la variation annuelle des taux de capture peuvent s'expliquer par des fluctuations de la biomasse.

Une partie du succès du partenariat entre l'industrie et le programme scientifique réside dans le fait que les produits sont clairs. Ils comprennent des cartes d'isolignes de l'abondance des femelles, des crabes mâles blancs ou à carapace molle, et des mâles à carapace dure; des estimations de la biomasse exploitable; des prévisions des tendances futures de la biomasse; l'analyse des données d'observateurs pendant la saison; la surveillance des crabes blancs par lieux de pêche, et l'analyse des journaux de bord pour connaître la répartition des captures, de l'effort et des taux de capture.

Gestion prudente

L'objectif de gestion est très clair, et c'est l'une des principales raisons expliquant le succès de cette pêche. Le nombre de tonnes de crabe mâle à carapace dure de plus de 95 mm de largeur est clairement indiqué avant l'ouverture de la saison. Cet objectif est axé sur la conservation, du fait que les femelles sont exclues de la pêche et que les mâles atteignent la maturité sexuelle avant d'atteindre la taille commerciale. La méthode de pêche est axée sur la conservation, car elle utilise un engin passif et très sélectif, ce qui permet d'éviter les types de crabe non désirés; de plus, elle protège les crabes de taille commerciale mais immatures, qui seront recrutés dans la pêche les années suivantes. Il faut signaler également que la saison de pêche se déroule lorsque le rendement en chair et la qualité de la carapace sont à leur valeur maximale.

Les données scientifiques fournissent une estimation de la biomasse exploitable, mais c'est l'industrie qui détermine le taux d'exploitation approprié. La clé du succès réside dans le rôle que joue l'industrie dans la gestion de cette espèce.

Les taux d'exploitation sont en général établis à environ 30 %, ce qui signifie qu'il faudrait trois ans pour prélever la biomasse exploitable. Mais cette valeur peut varier selon la zone de pêche.

Le critère décisif d'une pêche, cependant, c'est sa performance par rapport à l'objectif de gestion. Depuis 1990, la pêche du crabe des neiges a atteint l'objectif visé sans le dépasser (fig. 6), ce qui montre une bonne performance de la pêche, au moins pour les dix dernières années.

Un processus de consultation ouvert

Le processus de consultation est l'un des aspects les plus concluants de cette pêche. Ce n'est pas un hasard si les plans d'exploitation globaux et les ententes conjointes de partenariat ont d'abord été élaborés avec l'industrie du crabe des neiges. Ces ententes entre le ministère des Pêches et des Océans (MPO) et l'industrie établissent les modalités de gestion de la pêche, déterminent le programme de recherche scientifique qui sera mis en oeuvre et fixent les critères d'ouverture et de fermeture de la pêche. Le cadre de travail est toujours fondé sur des données scientifiques, et un dialogue franc est essentiel. Au cours de la dernière année, vingt-quatre réunions publiques ont été tenues entre le personnel scientifique et l'industrie de la pêche; on y a discuté des programmes de relevé et d'échantillonnage, des observateurs, et des différents aspects de la biologie du crabe des neiges.

Une récente initiative visant l'expansion de l'effort de pêche dans l'est de la Nouvelle-Écosse est un exemple de cette forme de consultation. Un relevé pilote a révélé qu'il y avait plus de crabe que prévu dans cette région. Il s'agissait d'un relevé préliminaire, mais l'accès à cette ressource a suscité l'intérêt de pêcheurs non traditionnels. Les responsables scientifiques ont dirigé le processus

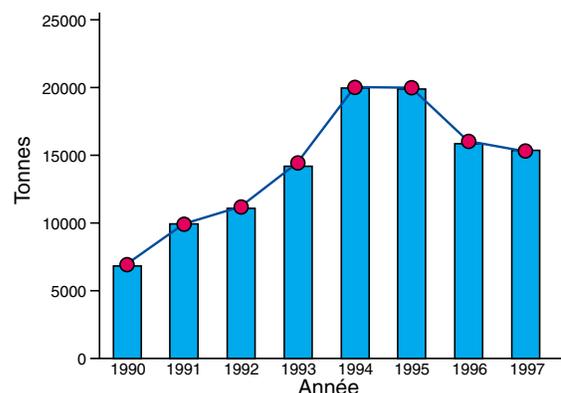


Figure 6 : Débarquements de crabe des neiges par rapport à l'objectif de gestion (total autorisé des captures - TAC) pour le sud du golfe du Saint-Laurent (zone 12).

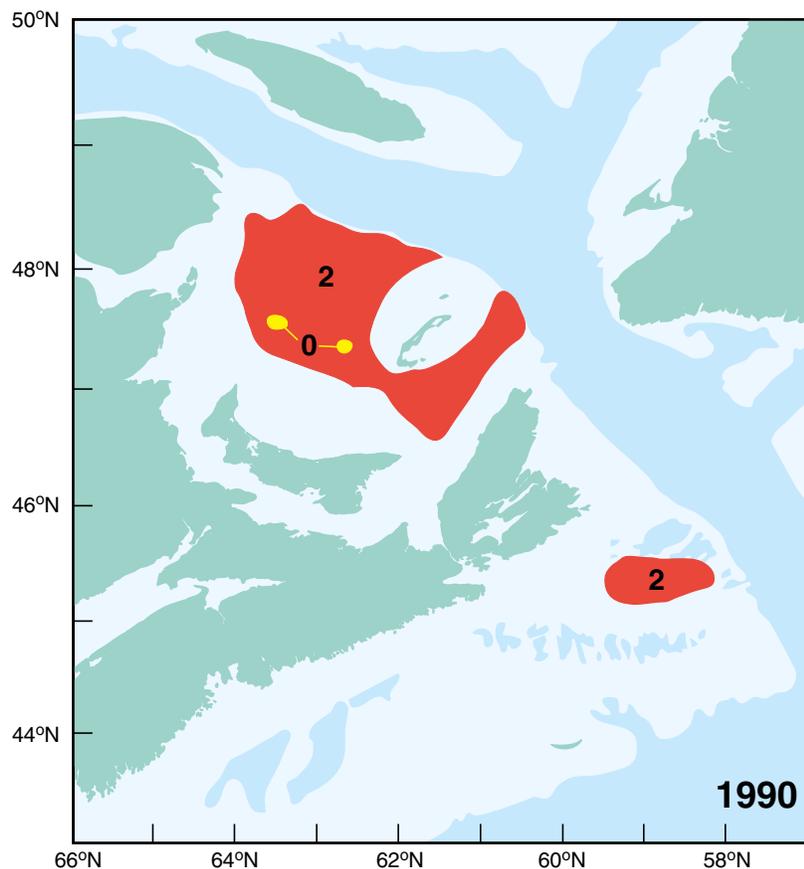
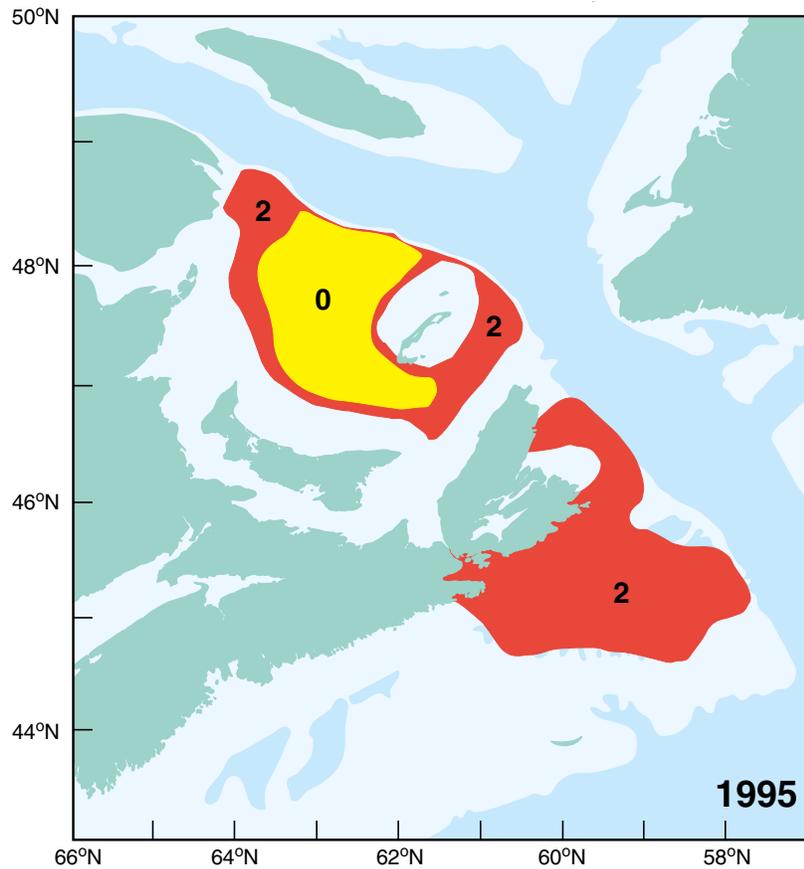


Figure 7 : Superficie des eaux de fond dont la température est inférieure à 0 °C (jaune) et à 2 °C (rouge) sur les petits fonds Madelinien et dans le nord-est de la plate-forme Néo-Écossaise pendant l'été de 1980 et de 1995. À remarquer la plus grande étendue d'eau froide en 1995.

de consultation en mettant l'accent sur le fait que toutes les questions seraient abordées ouvertement autour de la table. Il a été décidé que la flottille actuelle pourrait revendiquer la partie des fonds marins qui avait déjà été exploitée. On a constaté sans surprise que cette région correspondait à l'étendue de la zone visée par le relevé pilote. Les pêcheurs non traditionnels ont convenu d'explorer les zones situées à l'extérieur des lieux de pêche. En ce sens, le crabe des neiges offre un modèle de la démarche permettant d'établir de nouvelles pêches. Le secret consiste à veiller à ce que les bonnes données soient largement diffusées.

Perspectives d'avenir

Le crabe des neiges vit en eau froide et préfère des températures comprises entre 0 et 3 °C. Si les eaux du fond se réchauffent, l'abondance du crabe des neiges risque de diminuer. En raison des basses températures enregistrées à la fin des années 80 et au début des années 90, il est tout à fait possible que la distribution du crabe des neiges se soit élargie aux chenaux profonds du golfe du Saint-Laurent et, vers le sud, au large de l'est de la Nouvelle-Écosse. On peut voir très nettement sur la carte jointe que la couche d'eau froide du fond était très étendue au milieu des années 90 (fig. 7). Un retour à la normale et des eaux plus chaudes pourraient marquer la fin de cette vaste distribution. Les eaux au large du Cap-Breton marquent la limite méridionale de l'aire de répartition du crabe des neiges, aussi les températures

élevées des trois dernières années pourraient-elles avoir un effet, et il est possible que la ressource ne se maintienne pas aux niveaux observés aujourd'hui.

D'une certaine façon, la réussite du programme scientifique a apporté son lot de problèmes. Les attentes de l'industrie de la pêche dépassent la capacité de notre petit groupe de scientifiques. Conscients de cela, nous devons renseigner les pêcheurs sur les risques et les incertitudes des relevés; nous devons consacrer plus de temps à expliquer les limites de nos relevés, et nous devons montrer la relation entre le coût des travaux scientifiques et la précision de nos avis. Il faut souligner clairement que plus on effectue de relevés, plus la précision est grande. Pour accroître la précision, il faut permettre à un plus grand nombre de participants de collaborer à la collecte des données et à l'analyse des avis. À cet égard, nous prévoyons former plus de personnes qui travailleront à l'établissement des cartes et à l'intégration des incertitudes dans nos cartes de relevés. Finalement, nous avons l'intention de faire mieux connaître les réussites de cette pêche et de montrer que la gestion scientifique des pêches est non seulement possible, mais ouvre la voie de l'avenir.

La recherche géoscientifique à l'appui de l'exploitation extracôtière des ressources énergétiques

M. A. Williamson; R. Pickrill, and K.D. McAlpine

Contexte de développement

La prospection de gisements et les activités de production d'hydrocarbures dans l'est du Canada ne cessent d'augmenter; parmi les plus importants projets en exploitation, il faut noter ceux d'Hibernia (pétrole) et de l'île de Sable (gaz), qui se situent tous les deux dans les eaux extracôtières canadiennes. Les bassins près des côtes et les bassins extracôtiers non traditionnels ne sont pas à l'écart du développement, comme nous le montrent les activités dans l'est de Terre-Neuve, en Nouvelle-Écosse et dans les régions extracôtières du golfe du Saint-Laurent et du bassin Sydney. Cet intérêt pour les possibilités d'investissement dans les ressources énergétiques sur la côte est devrait être plus durable que les projets précédents, car il est étayé par des activités de production à forte concentration de capital. Hibernia et Sable, entreprises de plusieurs milliards de dollars, s'accompagnent d'un investissement dans les infrastructures, ce qui jouera un rôle clé dans l'évaluation économique des futurs projets d'exploitation des ressources.

Le regain d'intérêt de l'industrie pour les possibilités énergétiques extracôtières de la côte est ne date pas d'hier; l'histoire de ce secteur est riche en cycles d'activités de prospection et d'évaluation s'étalant sur plusieurs décennies. Durant ces cycles, la CGC-Atlantique (CGC-A) a joué un important rôle de soutien et de facilitation en fournissant, au bon moment, des connaissances et des renseignements fondamentaux et appliqués en géosciences. Deux exemples seront utilisés pour montrer comment la CGC-Atlantique, par sa stratégie délibérée de recherche à long terme en géosciences marines, est particulièrement bien placée pour fournir un savoir géoscientifique fondamental et appliqué extrêmement ciblé à une variété toujours croissante de clients. Ces divers produits géoscientifiques, très en demande, viennent accroître la compétitivité de la région sur la scène mondiale de l'investissement dans les projets énergétiques.

La géoscience et les options énergétiques extracôtières du Canada

La politique de développement durable du gouvernement du Canada favorise une prise de décision éclairée, sur les plans économique et environnemental, dans le domaine des options énergétiques nationales. Depuis plusieurs décennies, la CGC-Atlantique a pour mission d'élaborer pour les options énergétiques extracôtières un contexte de connaissances géoscientifique étendues qui servirait de base pour prendre de telles décisions.

Deux aspects de la recherche géoscientifique jouent un rôle clé dans l'évaluation* économique et environnementale de l'exploitation énergétique sur la côte est :

- estimation des bassins sédimentaires extracôtiers du Canada sont susceptibles de renfermer du pétrole et du gaz, et évaluation des réserves trouvées et à trouver pour savoir si elles seront en quantité suffisante et exploitables à un taux assez élevé pour être compétitives avec les autres réserves existantes ou prévues;
- évaluation des dangers géologiques et techniques et des implications pour l'environnement de l'exploitation des réserves existantes.

*L'évaluation complète de la viabilité économique des possibilités d'investissement dans des projets énergétiques extracôtiers pour les organisations commerciales, les organismes gouvernementaux de réglementation et les responsables des politiques est un processus complexe qui comprend une analyse des risques économiques sur un cycle complet, une analyse des lois et des règlements, une analyse détaillée des coûts d'ingénierie, une étude sur les impacts environnementaux, etc.

Des connaissances géoscientifiques étendues et interliées sur le système complexe terre-océan sont nécessaires pour traiter ces éléments. Cette complexité empêche pratiquement le travail à court terme; pour rassembler les connaissances

nécessaires il faut plutôt élaborer une stratégie délibérée de recherche à long terme en géosciences marines.

CGC-Atlantique et développement extracôtier

La CGC a connu plusieurs phases de la recherche en géosciences marines sur la côte est. Dans les années 60 et 70, les levés géophysiques régionaux en 2D de la couche profonde de l'écorce terrestre (sismologie de réfraction) et la cartographie des champs magnétiques et gravitationnels de la Terre ont défini un vaste cadre de travail pour la recherche sur la géologie et les bassins de la marge de la côte est. On étudiait de plus l'accumulation des sédiments des bassins par la sédimentologie, la paléontologie et la réflexion-sismique. Conjointement, un programme systématique de cartographie superficielle était en cours pour développer des techniques de levés géophysiques sous-marins de haute résolution qui seraient utilisées avec de vastes opérations d'échantillonnage et de carottage directs. La plupart de ces travaux étaient menés par discipline et mettaient l'accent sur l'observation, mais ils ont fourni les données de base nécessaires à l'étude à la fois des structures de la couche profonde de l'écorce terrestre et des bassins, et des milieux sédimentaires actuels moins profonds. Au cours des années 70 et 80, les scientifiques de la CGC-A ont pu concevoir et présenter des modèles innovateurs sur l'évolution de la marge continentale, travaux qui leur ont valu une reconnaissance internationale.

La nature de ces travaux a évolué vers la fin des années 80 et durant les années 90; ils ont perdu leur caractère disciplinaire pour constituer maintenant la science du système de la Terre, science qui reconnaît le lien entre un grand nombre de processus clés de la Terre ou des bassins. Même si ces liens sont connus depuis longtemps, l'intégration multidisciplinaire nécessaire pour augmenter la compréhension des systèmes de la Terre se produisait habituellement après le fait, c'est-à-dire après que le géophysicien, le chimiste, le géologue, etc. avaient développé individuellement leurs modèles scientifiques. La science du système de la Terre se fonde sur l'interaction/intégration tout au long de la formulation des modèles terrestres.

Dans le contexte de la science du système de la Terre, la distribution du pétrole et du gaz dans un bassin sédimentaire est fonction des relations entre une grande variété de processus géologiques. La compréhension de ces relations commence avec l'étude et la formulation de

mécanismes sur la formation des bassins qui seront considérés dans le cadre général de la tectonique des plaques et de la convection dans le manteau. La formation d'un bassin commence par l'apparition d'une dépression superficielle, qui se remplit ensuite de sédiments à cause de la création de gradients topographiques et/ou bathymétriques. Le mode et le rythme de dépôt des sédiments dans le bassin est fonction des relations entre la tectonique et l'eustatisme; chaque bassin possède sa propre histoire ou empreinte thermique, qui est liée au mécanisme de son origine. Cette influence de la température sur les sédiments du bassin peut être reconstituée grâce à des observations indirectes des conditions météorologiques antérieures, notamment la réflectance de la vitrinite, les inclusions fluides et les données sur les traces de fission. Ces méthodes aident à déterminer l'historique temps-température des roches mères, ce qui, selon la chimie de leur matière organique, détermine le moment et le rythme de production, d'expulsion et de migration des hydrocarbures. L'histoire thermique et la structure des bassins influencent aussi les autres interactions eau-roche, comme la diagenèse qui joue un rôle prépondérant dans la productibilité et la capacité d'emmagasinage du gisement.

L'observation et la compréhension des processus sédimentologiques actuels sont un élément clé si nous voulons définir une position globale et rationnelle sur les conséquences géologiques et géo-environnementales de l'exploitation extracôtier. À l'intérieur de la science du système de la Terre, la compréhension de ces processus demande non seulement la quantification de la physique du mouvement et du glissement des sédiments, mais aussi l'étude des influences biotiques et autres. Beaucoup des processus responsables de la présence en profondeur de roches mères et de roches-réservoirs, et révélés par les enregistrements sédimentaires, sont encore actifs, ce qui veut dire qu'une étude approfondie des processus et des interrelations sédimentologiques actuels est aussi un élément clé pour interpréter les observations.

Ce haut niveau d'interconnectivité exige des recherches bien intégrées et multidisciplinaires; c'est ce qui a permis à la CGC-A de se positionner de façon à fournir le contexte géoscientifique essentiel à l'intérieur duquel il est possible de répondre à certaines demandes et aux besoins à court terme de l'industrie et d'autres clients.

Voici deux exemples des buts de nos travaux :

- quantifier le rôle des failles en tant que barrières, pièges et conduits pour le déplacement des fluides dans les bassins sédimentaires;
- mieux comprendre la dynamique moderne des sédiments présents sur les bancs extracôtiers de l'est du Canada.

Les failles comme barrières, conduits et/ou pièges

Les failles sont des fractures dans la croûte terrestre, souvent accompagnées d'un déplacement vertical ou latéral, et elles constituent une structure clé des bassins extracôtiers Jeanne d'Arc et Sable. Les failles peuvent mesurer entre une dizaine de mètres (ou moins) et des dizaines de kilomètres de longueur; témoins de la répartition passée et présente des contraintes, elles peuvent aussi être des conduits efficaces pour le déplacement souterrain des fluides, notamment des hydrocarbures. Paradoxalement, les failles peuvent devenir des barrières ou des pièges pour les fluides, dans certaines circonstances. Selon le moment de leur développement, elles peuvent aussi être d'abord des barrières puis devenir des conduits. Il est donc important de comprendre à l'échelle régionale leur comportement dynamique et l'histoire de la transmission des fluides dans les failles pour étudier non seulement l'évolution de la structure des bassins, mais aussi son influence sur la distribution des hydrocarbures. Les premières études de la CGC-A portaient sur le rôle des failles dans la structure et la formation des bassins. Cependant, pour comprendre parfaitement l'influence des failles sur la distribution des hydrocarbures, il fallait disposer de plus de détails sur les relations géométriques entre les failles et les sédiments. C'est seulement dans les données sismiques tridimensionnelle de l'industrie, auxquelles la CGC-A a accès grâce à ses nombreuses collaborations avec les compagnies d'exploration pétrolière, qu'on trouve ces détails. Ces études ont permis de mieux mesurer le rôle des failles dans la distribution du gaz et du pétrole sur l'ensemble des bassins sédimentaires de la côte est. De plus, au niveau de l'accumulation de pétrole dans un gisement, la compréhension de la capacité de transmission des fluides dans une faille est essentielle pour prédire la production du gisement, exercice obligatoire pour les compagnies, et élément géoscientifique clé de l'équation d'évaluation économique décrite plus haut. Les études sur les failles de la CGC-A répondent donc à un besoin à long terme, celui de comprendre à l'échelle régionale la structure des

bassins extracôtiers et la migration du pétrole dans ces bassins. Ces études ont créé le contexte essentiel dans lequel les besoins détaillés à court terme des compagnies pétrolières, particulièrement en ce qui concerne le rôle des failles dans la vidange des nappes pétrolifères, peuvent être en partie satisfaits.

Banc de l'île de Sable et dynamique des sédiments

Le plancher océanique autour de l'île de Sable est reconnu pour ses "sables mouvants". Ce phénomène se produit souvent durant les fortes tempêtes hivernales et les ouragans de fin d'été. Le mouvement du sable crée sur le fond de l'océan de larges formations mobiles appelées crêtes sablonneuses. Le banc de l'île de Sable est depuis un bon nombre d'années un laboratoire naturel, qui permet à la CGC-A d'étudier le taux de formation et de migration de ces crêtes sablonneuses et de mesurer la profondeur du remaniement du fond. Ces études sur les processus modernes de sédimentation et la stabilité du fond marin sont essentielles aux travaux de conception visant à protéger contre l'affouillement les installations et pipelines placés sur le fond océanique et à évaluer l'impact environnemental de la dispersion des déchets de forage. L'expertise gagnée par l'observation et la compréhension de la dynamique moderne des sédiments a permis à la CGC-A de contribuer de façon notable à la conception d'un gazoduc, allant du champ Venture au littoral. Les mesures systématiques obtenues grâce à la bathymétrie par secteurs et les observations détaillées du fond marin fournies par le module de descente benthique RALPH de la CGC-A ont constitué les données sur lesquelles s'est appuyée la conception du gazoduc.

L'affouillement du fond marin peut être très important autour des structures et a déjà causé l'enfoncement d'installations de forage. Ce phénomène se produit durant les tempêtes, lorsque les vagues, la marée et les courants d'impulsion conjuguent leurs effets. Des années de déploiement répété d'instruments sur le fond marin durant l'hiver ont permis de concevoir des modèles de prévision numérique qui sont utilisés par l'industrie pour la conception technique, par les universités pour la recherche et par le gouvernement pour la réglementation. Récemment, la CGC-A a été approchée par le Projet énergétique extracôtier Sable qui souhaite munir la plate-forme d'exploitation Thebaud d'instruments pouvant surveiller l'affouillement du fond durant les tempêtes. Ces instruments

serviront à récolter des données de base sur l'affouillement qui pourront être appliquées aux installations de forage dans le monde entier.

La stratigraphie moderne des sédiments superficiels du banc de l'île de Sable est aussi une source de renseignements pour les agences d'exploitation du gaz et du pétrole. Des levés sismiques de haute résolution, de larges carottes rectangulaires et des carottes des sédiments de surface ont montré l'évolution du banc au cours des 10 000 dernières années, de sorte que des données récoltées durant les dernières décennies peuvent nous renseigner sur des événements survenus il y a des siècles et même des millénaires. Ces données sont essentielles pour définir les risques d'accidents naturels comme les fuites de gaz et la liquéfaction du fond marin; on a par exemple découvert sur le banc de l'île de Sable un tel phénomène, qui a causé l'affaissement de plates-formes de forage dans le golfe du Mexique.

La recherche à long terme sur la dynamique moderne des sédiments a donc donné à la CGC-A l'expertise, l'expérience et les connaissances générales nécessaires pour satisfaire les besoins à court terme de l'industrie pétrolière et des organismes de réglementation, qui doivent envisager et atténuer les conséquences environnementales et les risques d'accidents naturels associés à l'exploitation extracôtière.

Résumé

- L'industrie pétrolière est revenue en force sur la côte est du Canada
- Des connaissances géoscientifiques exhaustives sont un élément clé de l'évaluation économique et environnementale des possibilités d'investissement dans des projets énergétiques extracôtiers.
- Les besoins géoscientifiques à court terme de l'exploitation extracôtière ne peuvent être satisfaits que dans un contexte géoscientifique très vaste et à l'échelle régionale.
- L'échelle de temps nécessaire pour acquérir et diffuser l'infrastructure des connaissances géoscientifiques est nettement plus longue que celle dans laquelle s'inscrivent les projets et les évaluations d'investissements énergétiques.
- La CGC-Atlantique, grâce à son programme de recherche géoscientifique marine à long terme, occupe une position unique qui lui permet de combler les besoins à court et à long terme de l'industrie du pétrole et des responsables des évaluations réglementaires.

Recherches sur la dispersion dans l'environnement marin des pesticides contre le pou du poisson

F. Page, B. Chang, W. Ernst, G. Julien, and R. Losier

Introduction

L'aquaculture commerciale du saumon atlantique (*Salmo salar*) a commencé au Canada atlantique en 1979. Depuis, cette industrie a connu une croissance exponentielle et sa valeur dépasse maintenant les 100 millions de dollars. La plus grande partie de cette industrie est située dans la région de Quoddy, dans le sud-ouest du Nouveau-Brunswick (voir la [fig. 1](#)).

Au cours des dernières années, cette industrie a dû faire face à de fortes proliférations d'un copépode parasite externe, le pou du saumon (*Lepeophtheirus salmonis*). On trouve ce parasite à l'état naturel chez le saumon sauvage et, jusqu'à ces derniers temps, il était rare chez le saumon d'élevage dans le sud-ouest du Nouveau-Brunswick (MacKinnon, 1997). À l'automne de 1994, on a noté une forte prolifération de *L. salmonis* chez les saumons d'élevage du

Nouveau-Brunswick (Hogans, 1995) et, en 1996, l'industrie du saumon du Nouveau-Brunswick a connu ses premières épidémies d'anémie infectieuse du saumon (AIS), une maladie virale qui serait transmise, entre autres, par le pou du poisson (Nylund et al., 1993). Pour l'industrie, les coûts cumulés de ces infestations s'élèvent à des dizaines de millions de dollars en perte de revenus.

Dans les prochaines années, les traitements chimiques resteront nécessaires pour la lutte contre le pou du poisson. Actuellement, le seul agent chimique autorisé à cette fin au Canada est l'organophosphate azaméthiphos ("Salmosan"), pour lequel on a obtenu une homologation temporaire au Canada en 1995. L'industrie a aussi demandé l'homologation d'Excis" (cyperméthrine à 1 %), qui bénéficie d'une exemption à titre de nouveau médicament expérimental pour animaux

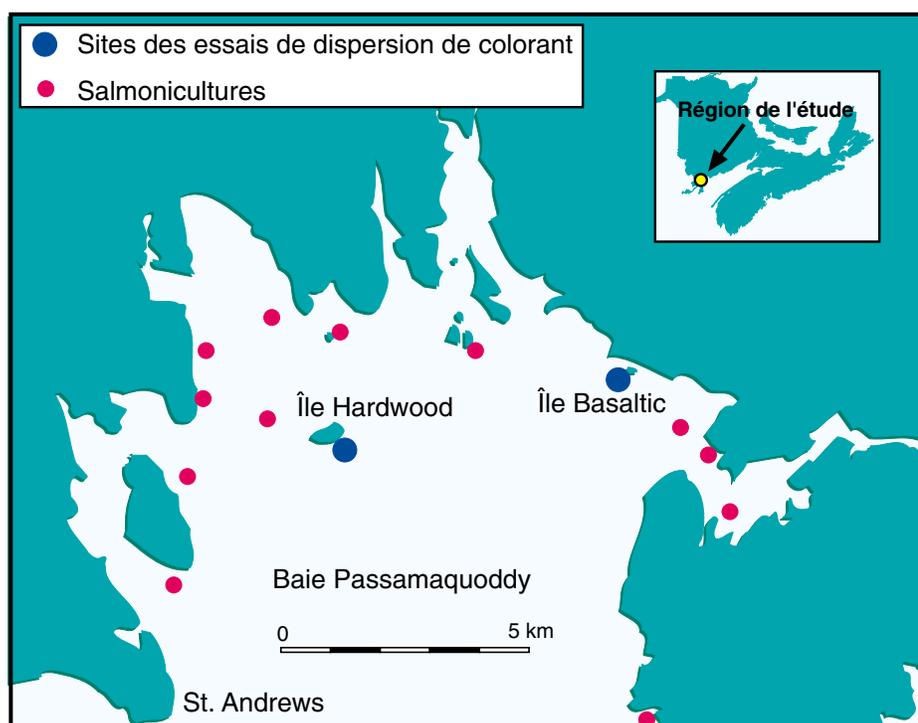


Figure 1: Carte montrant les sites d'essais de dispersion de colorant près des îles Hardwood et Basaltic dans la baie Passamaquoddy, au sud-ouest du Nouveau-Brunswick, en septembre 1997. On y indique aussi l'emplacement des salmonicultures.

(Investigational New Animal Drug - INAD) dans l'État du Maine pour la période de 1995 à 1999, et qu'on a utilisé à grande échelle dans les piscicultures du côté américain de la baie de Passamaquoddy.

Malheureusement, ces produits chimiques peuvent aussi être toxiques pour des organismes marins non visés, notamment des crustacés exploités commercialement comme le homard et d'autres crustacés marins qui peuvent jouer un rôle important dans l'écosystème côtier. Constatant l'insuffisance des connaissances sur la dispersion des pesticides utilisées pour la lutte contre le pou du poisson, sur les conditions probables d'exposition des organismes non visés, ainsi que sur les conséquences toxiques d'expositions données, les autorités ont lancé un programme de recherches pluridisciplinaire et multilatéral devant contribuer à pallier ce manque d'information, en partie pour faciliter la tâche à l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire, responsable du processus d'homologation de ces agents chimiques. Le programme prévoyait des études de dispersion et de toxicité devant être effectuées par des chercheurs de Pêches et Océans Canada et d'Environnement Canada, en collaboration avec la New Brunswick Salmon Growers' Association. On décrit ci-dessous divers aspects des études de dispersion, qui comportaient quatre volets principaux :

1. une série de rejets de colorants et d'agents chimiques;
2. une série de lâchers de bouées dérivantes dans le voisinage de piscicultures sélectionnées;
3. une série de mouillages de courantomètres;
4. le développement de modèles de circulation tridimensionnels, d'advection-diffusion et de pistage des particules.

Les rejets de colorants et de produits chimiques avaient pour objectifs d'obtenir une mesure empirique de la vitesse de dispersion et de dilution des pesticides dans des zones typiques de l'emplacement des piscicultures; d'utiliser ces données conjointement à des données de toxicité pour faciliter l'évaluation de l'impact de ces agents chimiques sur les organismes non visés;

enfin, d'obtenir des données pour la validation des modèles de circulation et d'advection-diffusion. Le but des lâchers de bouées dérivantes était de déterminer la direction et l'étendue de la dérive en surface à une demi-douzaine de piscicultures, au cours des premières heures suivant le rejet d'un pesticide, et de déterminer les trajectoires des bouées dérivantes pour la validation des modèles de circulation et de pistage des particules. Les mouillages de courantomètres ont fourni, pendant toute la période de pistage, des données sur la vitesse et la direction des courants à chacun des sites de l'étude et à 20 salmonicultures de toute la région. Cela a permis de comparer les sites de rejet de colorant avec de vrais sites de piscicultures. Nous élaborons des modèles permettant de faire des extrapolations et des prévisions pour tout le sud-ouest du Nouveau-Brunswick. Toutefois, l'article présent ne porte que sur les données des rejets de colorant, et les analyses mentionnées sont préliminaires et en cours d'amélioration.

Méthodes

À l'automne de 1996 et de 1997, on a effectué six essais de rejet de colorant dans les eaux côtières de la région de Quoddy, au sud-ouest du Nouveau-Brunswick. Dans ce rapport, nous présentons des informations sur les deux essais les plus complets, effectués dans la baie Passamaquoddy en 1997 (tableau 1). Pour chacun de ces essais, on a amarré au large de la zone intertidale une cage à saumon circulaire, sans filet, de 16 m de diamètre. Les emplacements ont été choisis conformément aux critères du permis, délivré par le Nouveau-Brunswick, autorisant le rejet de solutions de colorant. Ces critères prévoyaient notamment que les rejets de colorant ne pouvaient être faits à moins de 1 km d'une pisciculture en exploitation et qu'on devait choisir l'emplacement de façon à éviter que la solution de colorant ne dérive jusqu'au site d'un tel établissement dans les heures qui suivent le rejet.

Une fois la cage amarrée, on mouillait un courantomètre InterOcean S4 à plusieurs centaines de mètres de la cage. Ensuite, on étendait à la main, à l'intérieur de la cage, une bêche du type utilisé pour les applications de pesticides de lutte contre

Date	Emplacement	Profondeur (m)	Heure du rejet (HNA)	Heure de la marée (HNA)
10 septembre 1997	Île Hardwood	18,2	13 h 05	13 h (basse)
11 septembre 1997	Île Basaltic (McDougalls)	7,3	13 h 12	14 h (basse)

Tableau 1: Deux essais de dispersion de colorant effectués dans la Baie Passamaquoddy, au sud-ouest du Nouveau-Brunswick, 1997.

le pou du poisson. On laissait la bâche se remplir d'environ 1 m d'eau de mer, puis on la fixait au bâti de la cage.

On versait ensuite dans l'eau ainsi confinée une solution de colorant Rhodamine WT (10 kg de matière colorante active par essai), de méthanol et de cyperméthrine. On utilisait un filet de bulles d'air, obtenu en pompant de l'air à travers une pierre d'aération commerciale, pour agiter l'eau et mélanger la solution de colorant dans le volume d'eau confiné.

Après environ 1 h (durée typique d'une application commerciale de pesticide pour la lutte contre le pou du poisson), on détachait les bords de la bâche, et le colorant commençait à se répandre à l'extérieur de la cage et à se disperser. Au cours de la période de 30 minutes suivant le rejet de colorant, on lâchait de 5 à 10 bouées dérivantes à GPS dans la nappe de colorant et on les pistait pendant toute la durée de l'essai. À intervalles réguliers, on vérifiait l'extension horizontale et verticale de la nappe à l'aide d'un système submersible composé d'une pompe, d'un tuyau flexible et d'un fluorimètre, immergé à partir du Pandalus III, un bateau de recherche de 12,8 m de la Garde côtière canadienne. On prélevait des échantillons à des intervalles fréquents pour les dosages en laboratoire du colorant et des composés chimiques, ainsi que pour des tests de toxicité. On mesurait également les profils verticaux de température et de salinité de l'eau pendant chaque essai. Un hélicoptère de la Garde côtière canadienne prenait des photographies aériennes à divers moments au cours de ces deux essais.

À l'aide des photographies aériennes et des données de fluorescence, nous avons estimé les dimensions horizontales des nappes, d'abord circulaires et s'allongeant ensuite en ellipses. Les photographies aériennes nous ont permis de calculer la longueur des axes majeur et mineur des ellipses par rapport à la longueur hors tout d'un bateau (ou du diamètre d'une cage à poisson) qui donne l'échelle sur chacune des photographies. Les données de fluorescence, pour leur part, ont servi, avec celles sur les trajectoires des bateaux, à répartir les enregistrements de données (pour chacun des essais) entre un certain nombre de nappes à caractéristiques spatiales et temporelles distinctes. On a ensuite estimé les dimensions de ces nappes, définies comme les distances maximales, sur les axes majeur et mineur, entre les points dont les concentrations de colorant atteignaient 1 % ou plus des valeurs maximales mesurées après le rejet (Elliott et al., 1997).

Ensuite, on a calculé l'aire de la nappe (A) avec l'équation :

$$A = \pi \cdot a \cdot b$$

où 2·a et 2·b sont la longueur des axes majeur et mineur de la nappe. On peut ensuite calculer le rayon (R_e) d'un cercle d'aire équivalente avec l'équation :

$$R_e = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

On a estimé que la vitesse du changement des dimensions d'une nappe en voie de dispersion d'une substance à flottabilité nulle, rejetée de façon instantanée dans l'environnement marin, se situe dans une limite d'un ordre de grandeur par rapport à la valeur prévue par l'équation empirique développée par Okubo (1971, 1974), qui relie s_{rc}^2 , la variance horizontale de la concentration dans la nappe elliptique de colorant, au temps (t) après le rejet, (équation 3) :

$$\sigma_{rc}^2 = c_1 \cdot t^3$$

où $c_1 = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ sec}^{-3}$ ($117 \text{ m}^2 \text{ h}^{-3}$) pour des périodes d'environ 1 à 12 h et des longueurs d'environ 100 à 1000 m (Okubo, 1974).

L'équation d'Okubo vaut pour des rejets de colorant effectués au large. Elliott et al. (1997) ont comparé des valeurs calculées à l'aide de l'équation d'Okubo avec les données sur des rejets de colorant effectués à des points situés à quelques centaines de mètres du rivage, le long des côtes de l'Irlande, et ils ont montré que, pour ces points au moins, l'équation d'Okubo permettait de déterminer raisonnablement l'ordre de grandeur de dispersion des nappes. Dans cette étude, nous avons comparé les valeurs calculées à l'aide de l'équation d'Okubo aux données de dispersion de colorant pour nos points de rejet près du rivage.

Elliott et al. (1997) ont constaté que la longueur (diamètre) d'une nappe (dont le contour était défini par les points auxquels la concentration de colorant n'était plus que 1 % de la valeur maximale) était de l'ordre de 4s, s étant l'écart-type du profil de concentration du colorant dans la direction choisie. Par conséquent, on peut estimer la valeur de s_{rc} dans l'équation d'Okubo à l'aide de l'équation :

$$\sigma_{rc} = \frac{R_e}{2}$$

Pour des dimensions initiales de nappe non nulles, comme c'est le cas pour la nappe de colorant rejetée d'une cage à poisson, on peut modifier l'équation (3) comme suit :



Figure 2 : Photographie aérienne du rejet de colorant près de l'île Hardwood (10 septembre 1997), après environ 30 min.

$$\sigma_{rc} = c_1 \varepsilon (t_0 + t)^3$$

où t_0 est le temps calculé pour lequel s_{rc}^2 est égal à la taille initiale de la nappe (soit l'aire de la cage), obtenue par $s_{rc} = r_0/2$, et où r_0 est le rayon de la cage (soit 8 m dans notre étude) et ainsi :

$$R_e = 3 \sqrt{\frac{\sigma_{rc}^2}{c_1 \varepsilon}}$$

Lorsque les données sur la taille de la nappe en fonction du temps présentait un bon accord avec la courbe calculée à l'aide de l'équation d'Okubo, nous avons aussi comparé les données sur la diminution de la concentration de colorant en fonction du temps, mesurée à l'aide des données de fluorescence, aux valeurs prévues par l'équation d'Okubo. À cette fin, nous avons supposé que le colorant formait un mélange homogène dans un cylindre d'aire égale à celle de la nappe et d'une profondeur constante représentative de la profondeur observée du mélange de colorant. Pour calculer les concentrations prévues de colorant, on a divisé la quantité initiale de colorant (10 kg pour chaque essai) par le volume de la nappe, qu'on a estimé à l'aide de l'aire de la nappe, calculée à l'aide de l'équation d'Okubo pour une profondeur constante établie à partir des profils verticaux du colorant. On a comparé les valeurs prévues aux valeurs observées pour la concentration moyenne de col-

orant de chaque nappe, calculée comme la moyenne de toutes les valeurs de fluorescence obtenues à l'intérieur de chaque nappe (la plupart des lectures ont été faites près de la surface).

Résultats

Dimensions de la nappe de colorant en fonction du temps

Lors de l'essai de l'île Hardwood, on a rejeté le colorant au début de la marée montante. Le déplacement et la dispersion du colorant étaient d'abord très lents (voir la fig. 2). Puis, le panache de colorant a commencé à avancer lentement vers le nord-est et, après un peu plus de 2 h, il a contourné l'extrémité est de l'île Hardwood et il a poursuivi sa route vers le nord, en continuant à se disperser.

Lors de l'essai de l'île Basaltic, on a aussi rejeté le colorant au début de la marée montante. Comme pour l'essai de l'île Hardwood, le déplacement et la dispersion du colorant ont été d'abord très lents; puis il a avancé vers le nord et dépassé l'extrémité ouest de l'île Basaltic. Moins de 1,5 h plus tard, il s'étendait jusqu'à l'embouchure du chenal situé entre l'île et la terre ferme. Il a ensuite continué vers l'est, dans le chenal.

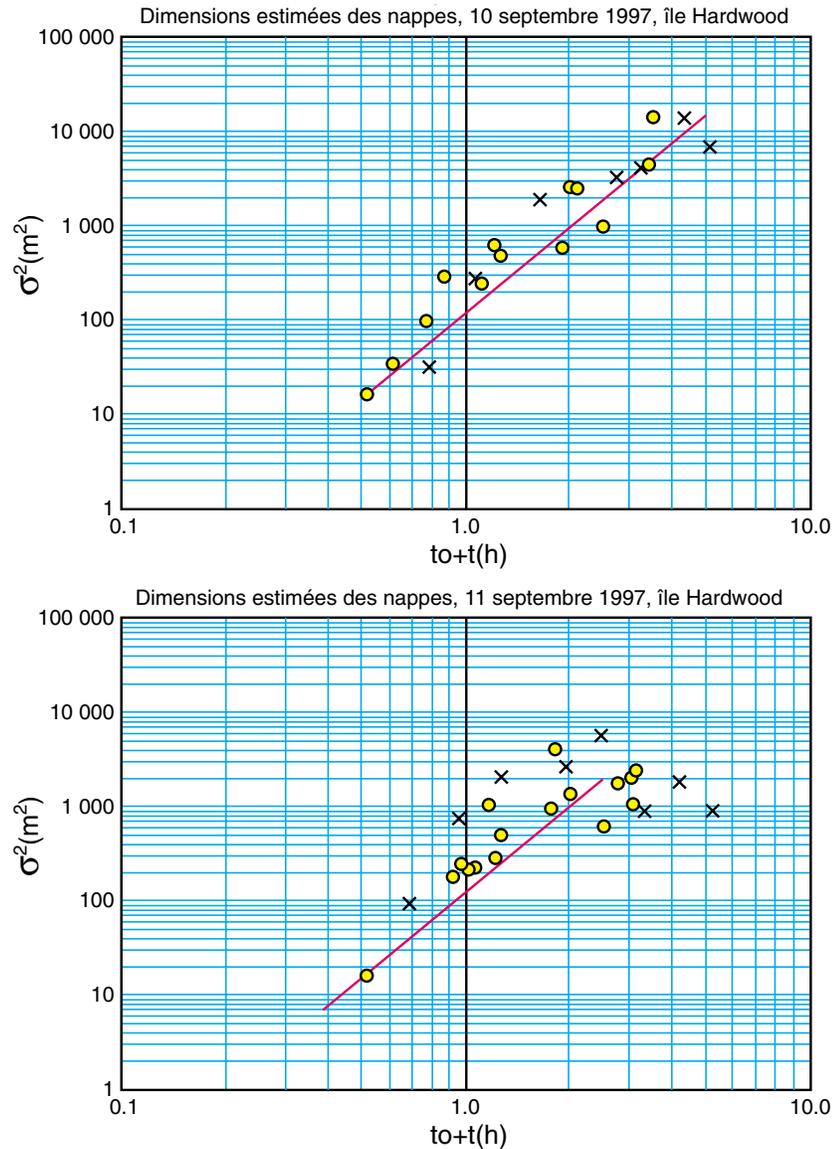


Figure 3 : Dimensions estimées des nappes de colorant selon les données de fluorescence (X) et les photographies aériennes (o), pour les essais de rejet de colorant aux îles Hardwood et Basaltic. Ces dimensions sont aussi indiquées par des valeurs calculées avec l'équation d'Okubo (1974) modifiée, ($\sigma_c = c_1 \varepsilon^? (to + t)^3$) (trait plein).

La figure 3 représente les courbes des dimensions observées de la nappe en fonction du temps pour les essais des îles Hardwood et Basaltic, ainsi que les valeurs calculées avec l'équation d'Okubo (1974). Ces graphiques montrent que, pour des périodes d'environ 1 à 12 h, il existe un accord satisfaisant entre les valeurs calculées et observées d'accroissement en fonction du temps des dimensions des nappes. Dans le cas de l'essai de l'île Basaltic, les dimensions des nappes observées plus de 2 h (et jusqu'à plus de 2,4 h) après le rejet de colorant semblaient inférieures à celles prévues par l'équation d'Okubo, probablement parce que la nappe de colorant avait pénétré dans un chenal étroit et peu profond, qui la comprimait.

Concentration du colorant en fonction du temps

Dans la figure 4, nous comparons aux valeurs prévues par l'équation d'Okubo (1974) les valeurs observées de diminution de la concentration de colorant en fonction du temps. Les profondeurs utilisées pour estimer le volume des nappes (nécessaires pour le calcul des valeurs prévues) étaient de 3 m pour l'île Hardwood et de 4 m pour l'île Basaltic, sauf qu'on a utilisé une profondeur de 1 m pour établir le volume initial de la nappe à chaque essai (alors que le colorant était encore retenu par la bêche dans la cage).

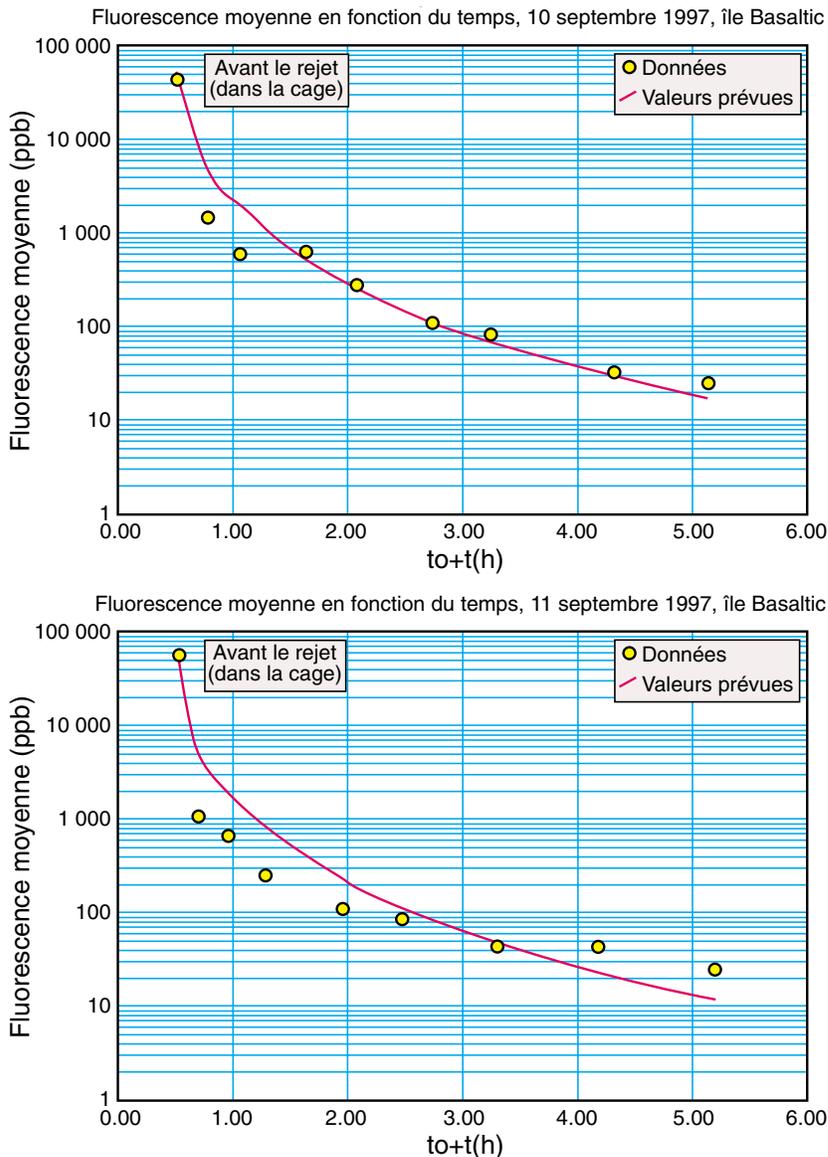


Figure 4 : Essais de rejet de colorant aux îles Hardwood et Basaltic - Comparaisons entre les concentrations moyennes observées de colorant et les concentrations homogènes prévues, pour un rayon donné et une profondeur de nappe constante dans l'équation d'Okubo.

On obtient un bon accord qualitatif entre les concentrations prévues et observées, ce qui peut indiquer que ce modèle simple a une certaine valeur empirique. On conclut donc que le facteur de dilution du colorant, et par conséquent, celui des pesticides, atteint environ trois ordres de grandeur après 3 à 5 heures.

Discussion

La dispersion des pesticides, comme celle de la plupart des substances, est un processus complexe. Pour cette raison, on a souvent tendance à élaborer des modèles complexes de circulation et d'advection-diffusion représentant bon nombre des caractéristiques physiques et chimiques d'un emplacement donné. Même si la mise au point de ces modèles est souvent

souhaitable et justifiée, leur développement demande beaucoup de temps et d'argent. D'où l'intérêt d'approches relativement rapides et peu coûteuses, peut-être moins précises, mais qui donnent des indications raisonnablement exactes sur la dispersion et la dilution relatives d'un pesticide.

C'est précisément le cas des équations empiriques développées par Okubo (1974). Même si elles sont basées sur des essais de rejet de colorant en haute mer, à des points du plateau continental où la dispersion n'est pas influencée par la proximité du rivage et par des régimes de circulation complexes, elles semblent utiles pour obtenir des indications sur les vitesses de dispersion, dans certaines zones côtières au moins.

Bien que les analyses des données et le développement du modèle ne soient pas encore terminés, à ce jour, les résultats des essais permettent de conclure que :

- la distance franchie par une nappe de pesticide au cours des 2 à 4 premières heures suivant le rejet va de quelques centaines à quelques milliers de mètres et que, par conséquent, le panache peut traverser les eaux d'une pisciculture voisine (actuellement, au Nouveau-Brunswick, la distance minimale admissible de séparation des salmonicultures est de 300 m);
- les vitesses de dispersion, du moins dans certaines des zones utilisées par des piscicultures de la région de Quoddy, correspondent à celles observées ailleurs dans le monde (Elliott et al., 1997) et aux valeurs des équations empiriques décrivant les vitesses de dispersion (Okubo, 1974);
- la dispersion des pesticides est un processus tridimensionnel dont le facteur prédominant est probablement la diffusion par cisaillement vertical;
- la dispersion entraîne une dilution du pesticide par un facteur de 3 à 4 ordres de grandeur en 3 à 5 h.

Ces résultats vont à l'encontre de l'opinion de certains intervenants des organismes gouvernementaux et de l'industrie, qui croient que les pesticides rejetés dans le milieu marin de la région de Quoddy se diluent instantanément. Ils mettent également en évidence le fait qu'un grand nombre de piscicultures partagent régulièrement les mêmes eaux que leurs voisines et que les connaissances sur les profils de circulation et de dispersion sont non seulement utiles, mais essentielles. Ces résultats ont aussi grandement facilité le travail de l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire, responsable de l'évaluation de l'azaméthiphos et de la cyperméthrine. On peut espérer que, grâce à la poursuite des activités d'analyse des données, de collecte des données sur place, de développement de modèles et d'échange d'informations entre l'industrie et les organismes de réglementation, on pourra élaborer des règlements et des pratiques industrielles qui garantiront le développement d'une industrie salmonicole durable et compétitive, aussi inoffensive que possible pour l'environnement.

Remerciements

Nous tenons à remercier la New Brunswick Salmon Growers' Association, ainsi que les exploitants des salmonicultures qui nous ont permis d'effectuer des recherches près de leurs installations. Nous remercions également, pour leur contribution aux travaux de terrain, les personnes suivantes : Station biologique de St. Andrews du MPO : le capitaine W. Miner et P. Leonard (garde-côte Pandalus III), ainsi que M. Ringuette, P. McCurdy, C. Kohler et T. Johnston; Environnement Canada : C. Garron, K. Doe, P. Jackman et A. MacDonald; Centre des sciences de la mer Huntsman : E. Carter (capitaine du W.B. Scott), W. Hogans et T. Hurley; Garde côtière - MPO : C. Swannell, (pilote d'hélicoptère) et C. Nisbet (responsable de la logistique pour l'hélicoptère); ainsi que K. MacKay, de Martec Ltd. et M. Bolden, du ministère de l'Environnement du Nouveau-Brunswick. Les coûts de ces travaux ont été financés en partie par le Programme de recherche stratégique du MPO et Environnement Canada.

Références

- Elliott, A.J., A.G. Barr, and D. Kennan. 1997. Diffusion in Irish coastal waters. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 44 (Suppl. A): 15-23.
- Hogans, W.E. 1995. Infection dynamics of sea lice, *Lepeophtheirus salmonis* (Copepoda: Caligidae) parasitic on Atlantic Salmon (*Salmo salar*) cultured in marine waters of the lower Bay of Fundy. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2067: iv + 10 p.
- MacKinnon, B.M. 1997. Sea lice: a review. *World Aquaculture* 28(3): 5-10.
- Nylund, A., C. Wallace, and T. Hovland. 1993. The possible role of *Lepeophtheirus salmonis* (Kroyer) in the transmission of infectious salmon anemia. In G.A. Boxshall et
- D. Defaye (ed.) *Pathogens of wild et farmed fish: sea lice*. Ellis Horwood Ltd., New York. pp. 367-373.
- Okubo, A. 1971. Oceanic diffusion diagrams. *Deep-Sea Research* 18: 789-802.
- Okubo, A. 1974. Some speculations on oceanic diffusion diagrams. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer* 167: 77-85.

Applications des Données Multifaisceaux

M J Lamplugh, T. A. Kearns, A. C. Craft

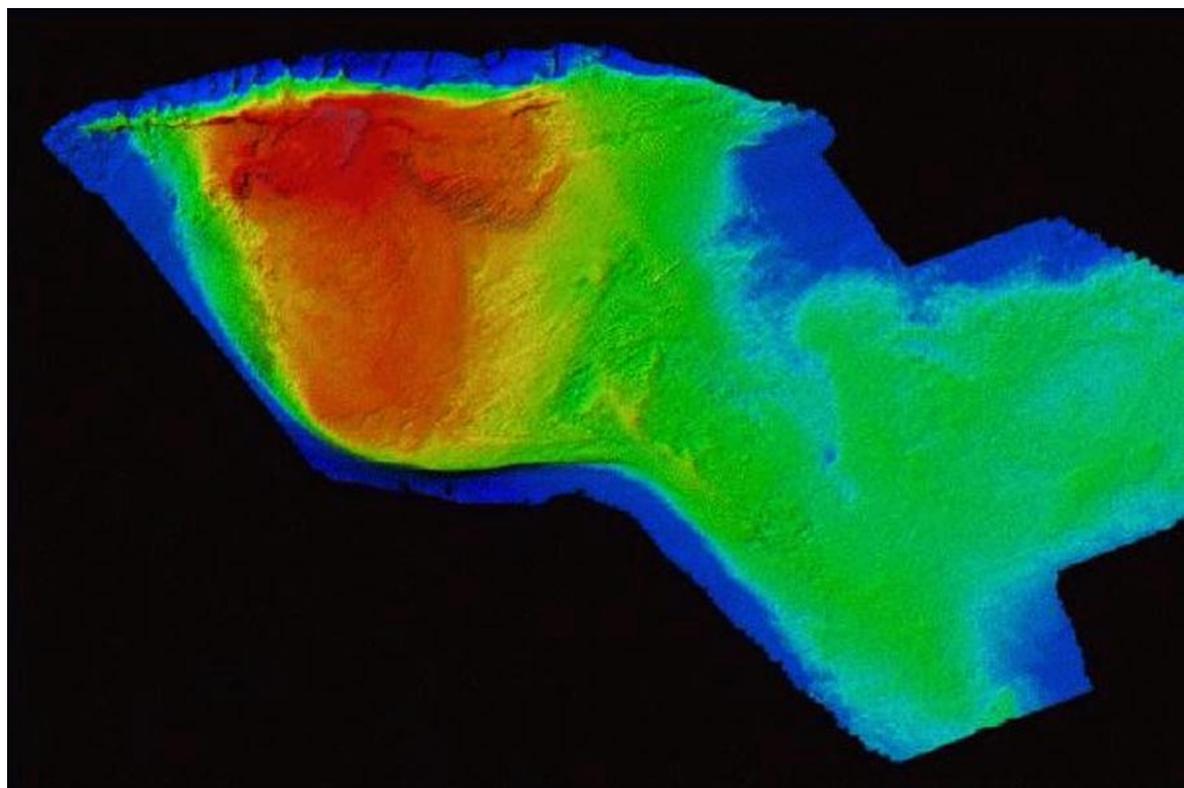


Image du plancher océanique générée à partir de données multifaisceaux recueillies à l'aide du EM1000 à bord du F.G. Creed par le Service hydrographique du Canada - région de l'Atlantique. Le travail, qui a pris 60 jours, a nécessité plus de 120 millions de sondages sur le banc Browns (~130 km sur 70 km)

Introduction

Les récents progrès réalisés dans les technologies informatiques (vitesse, traitement et capacité d'emmagasinage des données) et la demande croissante de bases de données numériques et de capacités de production de cartes informatisées ont favorisé l'utilisation des données de télédétection comme source d'information pour une variété d'applications cartographiques. De plus, les "nécessités" économiques des dernières années ont stimulé (forcé) une diversification de l'utilisation de cette ressource pour ajouter les applications commerciales à celles des utilisateurs traditionnels. Dans une certaine mesure, ce phénomène est à l'origine d'une nouvelle demande pour une grande variété de produits de cartographie. Ces deux changements sont à l'origine d'un nouveau marché pour le Service hydrographique du Canada (SHC). Bien qu'elle diffère sensiblement de nos cartes traditionnelles, l'imagerie bathymétrique accompagnée des avantages associés à un meilleur contenu

d'information et une plus grande précision d'échelle ne peut qu'améliorer la gamme des produits du SHC.

Au cours des dernières années, nous avons travaillé à l'identification de nombreuses applications pour ce type de données incluant les opérations maritimes où une connaissance du plancher océanique est importante pour le dragage, les immersions, l'installation et l'entretien des pipelines et des réseaux de télécommunications, la construction sous-marine et les pêches. Au nombre des utilisateurs finaux de cette imagerie bathymétrique on peut compter les entreprises d'exploitation de ressources (pêches, mines, pétrole), les industries de services et d'appui (ingénierie), les organismes de développement d'utilités et d'infrastructure (pipelines, télécommunications, transports, énergie), d'autres organismes gouvernementaux de cartographie et le secteur militaire.

Le lecteur trouvera à la fin de cet article une liste d'acronymes accompagnés des définitions correspondantes.

Contexte

Le Service hydrographique canadien s'intéresse principalement à la cartographie des voies navigables au Canada; c'est même là son mandat. Les relevés hydrographiques et la cartographie représentent non seulement l'essentiel de nos tâches, mais ces activités constituent une composante intégrale du rôle et des responsabilités du SHC au sein de Pêches et Océans Canada – élément important de la gestion de nos ressources océaniques. L'information cartographiée est devenue le produit courant de l'analyse des données télédéteectées. Il est maintenant possible de voir l'imagerie créée à partir d'un sonar multifaisceaux utilisée comme une étape dans cette direction, même si la technique a plus de points en commun avec la télédétection aérienne et spatiale qu'avec les relevés hydrographiques.

Systèmes multifaisceaux utilisés par le SHC

En 1986, le SHC-Atlantique commençait à utiliser le F.C.G. Smith, un navire à batterie de transducteurs montés sur des espars qui a permis d'obtenir une couverture intégrale du plancher océanique à des profondeurs supérieures à 7,5 mètres. La fauchée couverte à chaque passage du navire était de 42 mètres. Grâce aux recoupements systématiques des fauchées, la capacité de couverture et l'utilisation des systèmes de haute précision de sondage et de positionnement se sont vite révélées une combinaison gagnante. Les avantages et la sécurité accrue pour la navigation que garantissait l'utilisation de cette technologie sont vite devenus apparents. Ce navire a servi à effectuer les sondages dans tous les principaux ports de cette région entre 1987 et 1993.

Vers la fin des années 80, les spécialistes pouvaient déjà compter sur de nouvelles méthodes (à transducteur unique) qui permettaient d'obtenir 100 % de couverture du plancher océanique et qui offraient les avantages d'un travail en eau plus profonde, avec des vitesses d'acquisition plus rapides et moins de contraintes associées aux conditions météorologiques. Le SHC a d'abord fait l'acquisition du système Simrad EM100 (32 faisceaux par impulsion) qui a été installé à bord du nsc Lauzier en 1988, puis à bord du F.G. Creed en 1989 et du nsc Matthew en 1990. En 1991, l'installation a été améliorée à bord du Creed puisqu'elle a été remplacée par un système

EM1000 (60 faisceaux). Dès 1996, le SHC prenait livraison de 4 Simrad EM3000 qui ont été installés dans des vedettes de 9 mètres destinées à chacune des Régions du MPO au Canada. Ces systèmes de sondage en eau peu profonde (127 faisceaux à des profondeurs pouvant atteindre 100 mètres) ont considérablement amélioré la capacité du SHC à effectuer rapidement et précisément des levés dans des secteurs critiques de navigation comme les ports, les quais, les zones draguées et les profondeurs utiles dans un chenal.

Avènement de l'imagerie Contribution du SHC

Bob Courtney (SHC-Atlantique) a été le premier, en 1992, à créer des images à l'IOB, à partir de données bathymétriques (voir Revue des sciences 1993-1994). Il a d'abord réalisé son projet à partir des données du SHC dans le port d'Halifax. Cette technique est maintenant devenue une exigence standard pour bon nombre de ce type de levés. Le SHC a également commencé à utiliser cette méthodologie pour créer des images à des fins internes.

Progrès du SHC

En 1997, une relation s'est établie entre le College of Geographic Sciences et le SHC. Ce dernier a reconnu la valeur des techniques et des méthodes utilisées par les spécialistes en télédétection pour traiter et afficher des données d'image. Cela a joué un rôle important dans l'évolution de l'affichage de l'imagerie multifaisceaux. Le premier tournant dans le traitement et l'affichage des images a été l'intégration de la chromostéréoscopie dans la sortie finale. La technique de la chromostéréoscopie fait l'objet d'une description ci-dessous.

Un choix de couleurs pour accentuer les caractéristiques désirées

Deux approches ont été adoptées pour accentuer l'impact et la qualité des images produites. La première a été la mise en application d'une palette de couleurs successives qui s'inscrivait dans le cadre de la définition de la chromostéréoscopie. La chromostéréoscopie repose sur l'utilisation d'un procédé par lequel les stimuli couleurs coplanaires (longueurs d'onde) sont perçus comme étant différents en profondeur apparente. Observée avec les lunettes Chromadepth^{MD}, l'image encodée en profondeur est décodée à l'aide d'une micro-optique dans les lunettes. On obtient ainsi l'illusion d'une profondeur apparente comme l'explique le site web Chromatek [voir <http://www.chromatek.com> pour obtenir de plus amples informations]. Cette approche attribue l'extrémité

rouge du spectre aux profondeurs les plus faibles et applique le reste des couleurs, jusqu'aux bleus foncés, aux profondeurs croissantes. Le texte ci-dessous, tiré du site web de l'entreprise, explique cette approche :

“ Le concept de base du ChromaDepth^{MD} est explicite. Il s'agit d'encoder la profondeur dans une image au moyen de couleurs et de décoder optiquement les couleurs pour créer une véritable image holographique. Il existe une variété de palettes de couleurs qui permettent une programmation efficace de la profondeur holographique, mais la plus simple est la suivante :

Sur fond noir, le rouge apparaîtra plus proche, le bleu plus éloigné et les autres couleurs se situeront entre ces deux couleurs selon la place qu'elles occupent dans le spectre des couleurs (rouge, orange, jaune, vert, bleu). ”

La seconde étape a été l'application d'une rampe de couleurs proportionnelle à la profondeur. En attribuant le nombre de couleurs utilisées d'après une analyse d'histogramme des profondeurs, on a obtenu une image en couleurs équilibrée. Mais avant d'adopter cette approche, nous avons utilisé une table des couleurs qui avait la capacité de colorer l'image de manière à ne pas accentuer ou rehausser les caractéristiques du plancher océanique. Dans l'exemple indiqué dans le diagramme, les profondeurs varient de 30 à 225 mètres et il a été possible, à ce stade, d'appliquer jusqu'à 256 couleurs (est solaire appliqué quand l'éclairement, on obtient plus de 4 000 couleurs en comptant les ombres, etc.). Puisque nous étions essentiellement intéressés par la partie peu profonde du banc (moins de 95 mètres), nous avons décidé d'attribuer une plus petite portion des couleurs aux profondeurs se situant entre 95 et 225 mètres. Il en a résulté un changement de couleur environ tous les cinq mètres. Les couleurs restantes ont ensuite été attribuées de telle manière que toutes les caractéristiques subtiles et frappantes étaient facilement observables. Cela a été initialement réalisé en changeant de couleur à tous les 5 décimètres dans les zones peu profondes (rouge), et, à mesure que la pente s'accroissait, les changements de couleur se sont rapprochés, jusqu'à atteindre 1,1 décimètre dans la partie sud-est du banc (vert). Le diagramme donne un bon exemple de la différence entre un ajustement linéaire et un ajustement sur mesure, ainsi que de la clarté de visualisation des caractéristiques que permet l'application du concept.

Les images générées sont saisissantes et donnent rapidement à l'observateur une excellente idée de la géomorphologie du plancher océanique, qui est encore mieux visible lorsque l'image est observée à l'aide des lunettes Chromodepth^{MD} (lunettes spéciales en 3D) disponibles auprès de la société Chromatech. Du point de vue hydrographique, ce type de rendu est extrêmement efficace au moment de visualiser et de planifier la couverture d'un levé, de voir rapidement une zone posant problème dans les données recueillies et de montrer la nature générale du plancher océanique. Cependant, de nombreuses autres applications nous sont apparues réalisables. Nous décrivons certaines d'entre elles dans les paragraphes suivants tandis que d'autres feront l'objet d'hypothèses.

Projets récents

Au cours de la campagne en mer en 1996 et 1997, le SHC a déployé le F.G.Creed sur le banc Browns (20 milles marins au sud de l'île Cap-de-Sable, N.-É.). Les levés ont commencé dans le cadre d'un projet de démonstration de cartographie de l'habitat du plancher océanique à la suite d'un atelier qui avait été tenu à l'Université du Nouveau-Brunswick. En raison de l'intérêt marqué exprimé ultérieurement par la flottille hauturière de pétoncle, nous avons mis sur pied un projet pilote et une entente de partenariat a été conclue entre les représentants de cette industrie, NDI et le SCH. L'industrie souhaite obtenir de l'imagerie pour éviter les croches sur le plancher océanique et trouver des zones de capture qui n'étaient pas accessibles jusqu'à maintenant. Elle compte (avec le personnel du secteur des Pêches de Pêches et Océans Canada et en appliquant les AE courantes) pratiquer une pêche responsable en vue d'optimiser les captures. Les pêcheurs prélèveraient essentiellement les spécimens les plus matures/gros dans les nouvelles zones et abandonneraient les secteurs traditionnels pendant un an ou plus, ce qui permettrait aux pétoncles dans ces secteurs de prendre de la maturité. L'impact global se manifesterait par un accroissement de la biomasse du pétoncle et de la rentabilité (moins de pertes de matériel de pêche, moins de temps-navire et des pétoncles plus gros), le tout grâce à une seule approche innovatrice.

Les images accentuées (couleurs et échelle de gris) seront envoyées à NDI au début de 1998 avec l'information de position pertinente afin que ce service puisse géoréférencer les données correctement. NDI publiera ensuite ces données dans un format utilisable par le Système de cartes électroniques (SCÉ). Ces données pourraient

devenir une nouvelle gamme de produits pour le SCH. Par la suite, le SCH a effectué ses premiers levés du banc Germain à l'automne de 1997. On prévoit que ce banc sera la prochaine étape du projet pilote et qu'il pourra faire l'objet d'une évaluation vers le milieu de 1999.

Utilisations spécifiques de l'imagerie bathymétrique.

Les progrès réalisés grâce à la science permettent manifestement de mieux comprendre le plancher océanique. Les répercussions sont nombreuses, allant des zones de protection marines (ZPM) aux études d'habitats, en passant par la cartographie géologique et la surveillance des sites d'aquaculture. L'imagerie bathymétrique multifaisceaux et l'information de rétrodiffusion connexe peuvent être utilisées pour extraire de l'information sur la structure et la composition de surface ou de subsurface. La géologie structurale joue un rôle important dans l'exploration minière et pétrolière de même que dans l'identification et la surveillance des dangers possibles. Les structures comme les failles, les plis, les synclinaux, les anticlinaux, les linéaments et l'action glaciaire peuvent être observés avec beaucoup de clarté sur l'imagerie bathymétrique. La compréhension de ces structures constitue une clé pour l'interprétation des mouvements de l'écorce terrestre qui ont donné sa forme actuelle au plancher océanique.

Comme diraient nos collègues de la CGC-Atlantique, ce qui devient immédiatement apparent quand nous travaillons avec de l'imagerie bathymétrique, c'est l'extraordinaire potentiel d'applications géologiques qui découle de la télédétection au sonar. L'imagerie créée à partir des données multifaisceaux constitue une base solide d'interprétation des dépôts superficiels, de cartographie de la roche-mère, de cartographie structurale, d'exploration minérale et pétrolière, de géologie environnementale et de cartographie et de surveillance des risques naturels.

La CGC a effectué un levé géologique intégral du banc Browns en 1997, à bord du NGCC Hudson, en utilisant comme fond de carte l'image de " première ébauche " prise dans le cadre du levé de 1996. La CGC prévoit effectuer une deuxième mission avec l'image intégrale étant donné que le levé du banc a été complété en 1997 par le SCH. Il s'agit d'un jeu de données imposant comportant plus de 140 millions de sondages sur une superficie de près de 7 000 km². Cette image nous permet de reconnaître facilement de nombreuses caractéristiques géologiques intéressantes.

Puisque nous avons maintenant la capacité de cartographier les bancs canadiens de façon systématique à l'aide du sonar multifaisceaux, nous serons en mesure de constituer une base de données qui nous permettra de beaucoup mieux connaître les parties immergées de notre territoire.

Avenir

Au cours des années à venir nous espérons pouvoir trouver d'autres applications à la télédétection par sonar multifaisceaux au profit de la plus grande communauté océanographique. L'application de la télédétection en milieu marin à partir de satellites devient déjà de plus en plus courante en océanographie. Bon nombre des principes dynamiques de la haute mer et des changements dans les régions côtières peuvent être cartographiés et surveillés à l'aide de techniques de télédétection. Nous estimons que l'utilisation de l'imagerie obtenue par télédétection à l'aide du sonar multifaisceaux pourrait fournir une grande quantité de données dans diverses disciplines océanologiques qui utilisent déjà la télédétection par satellite : étude du régime de circulation océanique, prévision des tempêtes, évaluation des stocks de poissons et de mammifères marins (en utilisant la surveillance de la température de l'eau, la qualité de l'eau, la productivité océanique, les concentrations et la dérive du phytoplancton). De même, la surveillance spatiale de la pollution et la détection des déversements d'hydrocarbures peuvent fournir rapidement des renseignements sur les menaces qui pourraient peser sur nos ressources hauturières. En combinant les modélisations et en comparant les liens entre nos jeux de données d'imagerie du plancher océanique et les données recueillies dans le cadre d'autres applications de télédétection, nous pourrions en venir à beaucoup mieux comprendre nos océans et les ressources qu'ils contiennent.

Les types de produits que cette imagerie peut donner (cartes de base, thématiques et hypsographiques) sont essentiels à la planification, à l'évaluation et à la surveillance, pour fins de reconnaissance militaire ou civile ou de gestion des ressources, surtout si les produits sont intégrés dans une base de données avec accès au SIG. L'information dérivée peut être utilisée pour appuyer les questions de souveraineté territoriale, évaluer et surveiller les ressources potentielles et leur exploitation, et encourager le développement économique.

L'examen des structures reproduites sous forme d'images peut permettre d'y déceler des indices de mouvements de la croûte terrestre et de risques possibles de tremblements de terre ou

d'activité volcanique. L'étude de ces types de risques donne un rôle à l'imagerie bathymétrique multifaisceaux dans le cadre d'études géotechniques se rapportant à la construction ou à l'ingénierie. Nous pouvons voir que la télédétection au sonar ne doit pas être limitée à des applications directes en géologie, mais qu'elle peut aussi être utilisée pour appuyer des travaux de logistique comme la planification du tracé de pipelines vers une zone d'extraction minière et pour générer des cartes de base sur lesquelles des données géologiques peuvent être référencées ou superposées. L'identification de lignes de faille peut faciliter la planification en restreignant les travaux de construction dans des zones d'activité sismique potentielle.

Les perspectives les plus intéressantes pour l'imagerie bathymétrique pourraient bien se trouver dans des secteurs d'application touchant la multi-temporalité, les multicapteurs et la modélisation. La demande de modèles altimétriques numériques (MAN) pour des applications terrestres de télédétection monte en flèche. Cette demande de MAN augmente avec l'accroissement de l'utilisation du SIG et de la qualité de l'information extraite à l'aide des données d'élévation (par exemple, la délimitation des terres humides, la cartographie des zones inondables et la gestion des ressources). Le développement de ces modèles est perçu comme une source critique d'information à des fins d'analyse.

Même si l'imagerie bathymétrique nous donne une vue améliorée du plancher océanique, les modèles numériques de terrain (MNT) bathymétriques constituent le véritable point fort de la télédétection au sonar multifaisceaux. L'imagerie intégrée facilite déjà le processus de prise de décisions dans les domaines de la gestion des ressources, de la planification des réseaux de télécommunications et de la cartographie à des fins militaires. L'application de modèles numériques de terrain en 3D et les produits créés à partir de ces modèles (modèles de pentes et d'aspect et jeux de données de classification thématique) ne peuvent que contribuer au développement durable de nos ressources océaniques. Bien sûr, un MNT peut être utilisé comme source unique de données pour modéliser une surface ou des vues en perspective tridimensionnelle.

Les changements qui découlent du développement économique et de l'évolution de l'utilisation des terres dans ces zones écologiquement sensibles sont évidents, et nous devons y réagir. Plus de 60 % de la population

mondiale vit présentement à proximité des océans. La zone côtière est par conséquent une région soumise à un stress croissant découlant de l'activité humaine. Les organismes gouvernementaux, comme le MPO, qui se préoccupent de l'impact des activités humaines dans cette région ont besoin de nouvelles méthodes pour surveiller des changements aussi divers que l'érosion côtière, la perte des habitats naturels, l'urbanisation, les effluents et la pollution de la haute mer. On planifie déjà l'adoption d'une approche de détection à multicapteurs pour modéliser les effets de la marée et des tempêtes ainsi que l'impact de l'activité humaine sur la zone intertidale. En utilisant le RADAR et le LIDAR pour cartographier les terres et le rivage dans la zone intertidale, et en intégrant ces données aux modèles bathymétriques multifaisceaux véritables, nous espérons créer des images qui permettront de réaliser des cartes de nos zones côtières. L'imagerie géoréférencée résultante pourrait servir à la production de cartes et de modèles hypsographiques qui permettraient de mieux délimiter l'interface terre/eau et de mieux modéliser les caractéristiques et la dynamique du littoral en vue d'améliorer la prise de décision de gestion.

Définitions

Levés hydrographiques selon la définition de l'Organisation hydrographique internationale : L'hydrographie est la science qui a pour objet le levé et la représentation des paramètres requis pour décrire la nature et la configuration précises du fond marin, sa relation géographique avec la masse continentale de même que les caractéristiques et la dynamique océaniques. Parmi ces paramètres, citons la bathymétrie, les marées, les courants, les vagues, les propriétés physiques de l'eau de mer, la géologie ainsi que la géophysique.

Les données recueillies servent avant tout à établir des cartes marines et d'autres documents graphiques à l'intention des marins, pour les aider à naviguer en toute sécurité sur tous les océans du monde, et à l'intention des spécialistes de l'environnement marin, comme les ingénieurs océanologues, les océanographes, les biologistes marins et les spécialistes de l'environnement.

Les principales applications des données hydrographiques sont notamment la planification des opérations d'exploration et d'exploitation des ressources marines, la détermination des limites vers le large des eaux sous la juridiction nationale, et la délimitation des frontières maritimes.

Sigles et acronymes

AE - Allocation aux entreprises. On entend par " Allocation aux entreprises " le quota de capture d'une espèce particulière dans une zone géographique donnée, attribué à un particulier ou à une entreprise par le MPO.

CGC - La Commission géologique du Canada (CGC) est une division de Ressources naturelles Canada (RNCan). Le groupe CGC - Atlantique (CGC-A) est établi à l'Institut océanographique de Bedford.

COGS - College (Centre) of Geographic Sciences, situé à Lawrencetown en Nouvelle-Écosse.

Hypsographie - Du grec hypso, signifiant hauteur, l'hypsographie est la description ou la cartographie de divers éléments de relief.

LIDAR - Acronyme de l'expression anglaise " Light Detection And Ranging " qui se traduit en français par " Détection et télémétrie par la lumière ". À l'instar des systèmes radar, les lidars sont des systèmes actifs de télédétection. Des impulsions de lumière laser cohérente sont émises depuis un point situé en dessous d'une plate-forme aéroportée. Les signaux laser cohérents émis par l'appareil sont réfléchis à la surface du terrain et sont enregistrés, ce qui permet de déterminer avec une très grande précision l'altitude des entités au sol. Une autre version de ce système mesure la profondeur de l'eau. Pour de bons résultats cependant, la colonne d'eau doit être claire.

MAN et MNT - Les modèles altimétriques numériques (MAN) et les modèles numériques de terrain (MNT) sont des représentations sous forme numérique de la surface topographique dérivée d'images sur lesquelles les hauteurs correspondent à différents tons de gris (ou différentes couleurs). Les données topographiques numériques sont traitées à l'aide d'un SIG en vue de produire une vue tridimensionnelle de la zone observée. Ces termes sont bien souvent interchangeables. Dans le présent contexte, nous utilisons le sigle MAN pour désigner les modèles qui ne présentent que les hauteurs au-dessus du niveau de la mer et le sigle MNT pour décrire les modèles montrant le relief complet, y compris les données de hauteur et les données de bathymétrie.

Multifaisceaux - Se dit de la capacité d'insonifier un couloir (90 degrés par rapport à la route du navire) de manière à pouvoir en tirer de nombreuses mesures distinctes de profondeur. La largeur de la fauchée est généralement fonction de la profondeur de l'eau; avec 3,5 fois la profondeur de l'eau, les passages en parallèle permettent de couvrir le plancher océanique au complet. Il s'agit de la méthode la plus efficace pour satisfaire à la spécification de couverture de 100 % du fond marin préconisée par l'OHI.

NDI - Nautical Data International est le partenaire privé du SHC qui s'occupe de la commercialisation des données numériques.

OHI - Organisation hydrographique internationale, qui a son siège à Monaco.

RADAR - L'acronyme RADAR est dérivé de l'expression anglaise " Radio Detection And Ranging " qui se traduit par " Détection et télémétrie par radioélectricité ". Les radars sont des systèmes actifs de télédétection qui fonctionnent dans la bande des hyperfréquences du spectre électromagnétique. Ces systèmes émettent en direction de la surface de la Terre des ondes radioélectriques de 1 mm à 1 m et mesurent les signaux hyperfréquences réfléchis (appelés rétrodiffusion). Contrairement aux autres systèmes de télédétection, les systèmes radars peuvent être utilisés de jour comme de nuit, sans égard à la couverture nuageuse et aux conditions météorologiques. Ils " voient " au travers du couvert arboré et, dans des milieux sablonneux très secs, permettent l'étude du sol jusqu'à une profondeur de quelques mètres. La plupart des systèmes de télédétection radar sont désignés sous l'appellation radar à synthèse d'ouverture SAR (pour Synthetic Aperture Radar). Ils sont à visée latérale, c'est-à-dire que les signaux ne sont pas émis directement à la verticale, mais plutôt à un certain angle. Par conséquent, les images captées par radar comportent de nombreuses distorsions et nécessitent un traitement intensif avant l'analyse proprement dite des données. On peut donc voir sur l'imagerie à tons de gris ainsi produite des détails fins du relief ainsi que la couverture du terrain. Cartographie thématique : images ou cartes thématiques présentant des ensembles de données se rapportant à des sujets ou des thèmes particuliers.

RVB - Les images numériques sont généralement affichées comme des compositions colorées par addition de couleurs combinant les trois couleurs primaires, soit le rouge, le vert et le bleu (RVB). Cette technique n'est pas nouvelle; elle s'applique déjà notamment aux écrans de téléviseurs couleurs et d'ordinateurs. Ce modèle de couleurs est appelé "cube couleurs RVB" ou simplement "RVB", et ce sont les niveaux de brillance de chacune des couleurs primaires qui le définissent. Dans le domaine du traitement des images, on parlera de couleurs 24 bits dans une image de 24 bits. Un code associé à chacune des couleurs primaires est affecté à 8 bits de données par pixel (chacun des points d'un écran d'ordinateur). Pour les images couleurs de 24 bits, la plage des valeurs possibles de brillance pour chaque couleur primaire va de 0 à 255. Par conséquent, 256³ ou 16 777 216 combinaisons de rouge, de vert et de bleu peuvent être affichées à l'écran.

SCÉ - Système de cartes électroniques (SCÉ) fonctionnant sur PC et présentant l'image matricielle d'une carte sur laquelle est indiquée la position d'un navire (généralement équipé d'un GPS). D'autres informations peuvent également y être présentées, notamment la route, le cap et la vitesse du navire ainsi que de nombreux autres renseignements pour assurer une navigation en toute sécurité. Ce système constitue une excellente aide à la navigation pour de nombreux marins.

SCH - Service hydrographique du Canada. Organisme faisant partie du secteur des Sciences de Pêches et Océans Canada. Le SCH a pour mandat d'exécuter des levés hydrographiques et de publier des cartes des eaux navigables du Canada.

SIG - Un système d'information géographique (SIG) est une base de données relationnelle servant à cataloguer, à commander et à exécuter des analyses en vue d'établir des rapports spatiaux entre des données de diverses sources. Ces systèmes peuvent traiter les données liées à la position des entités ainsi que les données d'attributs connexes.

Références

Kerr, A.J. Les percées de la technologie hydrographique. Revue 1986 de l'IOB, p. 26-30

Burke, R.G. Le balayage acoustique vertical : un nouvel outil pour le Service hydrographique du Canada. Revue des sciences 1987.

Kearns, T.A. Halifax Harbour Drained : Integration of Multibeam, Elevation, and SAR Data, Hydro International, Volume 3, No 2 March 1999, pp 28-30

Kerr A.J. Adams A.L. et Burke R.G. Le bâtiment hydrographique à balayage acoustique CSS FCG Smith. Revue hydrographique internationale. Volume 64, n° 2, juillet 1987, p. 7-19.

Burke R.G. et Hally P. Les systèmes de sondage multifaisceaux : nouvel outil pour le service hydrographique du Canada. Revue des sciences 1988-1989, p. 72-75.

Courtney, R.C. et Fader G.B.J. Une nouvelle compréhension du plancher océanique grâce à la cartographie multifaisceaux. Revue des sciences 1992-1993, p. 10-16

Dinn, D. F. et al. Des nouvelles technologies pour la cartographie des zones littorales. Revue des sciences 1994-1995, p. 81-85

BASIN - Base de données pour l'exploration des hydrocarbures et modèle pour la distribution des données

P. N. Moir

Introduction

La création et le maintien de bases de données numériques est l'un des services offerts par le programme de recherche en géosciences pour l'exploration pétrolière de la Commission géologique du Canada, Division de l'Atlantique (CGC-A). Il y a quelques années, l'accès à ce type de base de données était ardu et il fallait souvent obtenir l'aide d'experts en recherche documentaire, qui devaient extraire les informations de bases de données aux architectures disparates et non compatibles. Des améliorations s'imposaient, notamment à cause des besoins de la CGC, qui souhaitait un accès plus convivial et un meilleur archivage des données, et aussi à cause d'une forte augmentation des demandes d'accès de clients de l'extérieur. La solution qui répondait à tous ces besoins était l'utilisation d'Internet et du Web avec un système de base de données relationnelles, de façon à obtenir des interfaces utilisateurs graphiques conviviales permettant d'extraire et d'afficher les données rapidement et efficacement. Cet article présente les points saillants du développement de la base de données BASIN et de son interface Web, qui est le pivot d'un important centre d'archivage et réseau de distribution d'informations scientifiques. Il présente aussi des exemples d'interfaces opérationnelles de base de données et un modèle qui permet une distribution économique des données aux clients.

La base de données numériques BASIN

BASIN contient un vaste répertoire, constitué au fil des ans, d'informations géologiques, géophysiques et techniques touchant l'exploration pétrolière, surtout au large des côtes de l'est du Canada (figure 1). BASIN comporte des données brutes et interprétées sur tous les puits d'exploration de l'industrie du pétrole, ainsi que des données sur un grand nombre de relevés sismiques (Moir et al., 1995). Ces données proviennent de nombreuses sources; il s'agit notamment de données historiques sur les puits, de rapports de forage, d'ensembles de données achetées contenant des relevés de diagraphie électrique et des descriptions de débris de roches, ainsi que des données explicatives, notamment sur la hauteur des formations, des analyses géochimiques, des déterminations d'âge et des

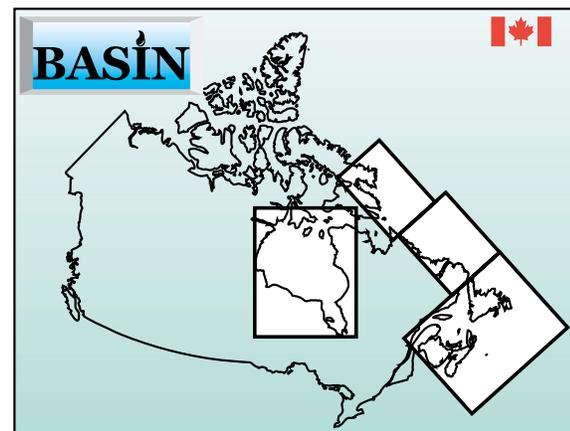


Figure 1 : Carte du Canada indiquant les zones de couverture des données de BASIN.

valeurs de réflexion vitrinitique (maturation des composés organiques). À l'été de 1998, BASIN contenait 6,5 millions d'enregistrements portant sur 389 emplacements de puits, ainsi que presque 1 million d'enregistrements provenant de 458 relevés sismiques couvrant 780 000 kilomètres linéaires. La plus grande partie de ces données sont contenues dans une base de données relationnelles créée à l'aide d'Oracle.

La base de données BASIN est le fruit de plus de 25 ans de travaux de prise et d'enregistrement de données en format numérique, destinés à l'acquisition de données scientifiques de base et à l'évaluation des ressources. La CGC-A n'a pas entrepris ces travaux dans le seul but de créer une base de données numériques; celle-ci est plutôt un sous-produit naturel de ses activités scientifiques. Plusieurs des membres de la Division ayant pressenti que les données en format numérique pourraient être utiles pour des projets futurs, on a créé diverses bases de données. Au début des années 90, on a fusionné en un seul modèle (BASIN) plusieurs de ces bases de données, par exemple Wellsys (Lake, 1991), Seismic Navigation, Geochem, Biostrat, Pressure et Lithodata. On poursuit les travaux de prise et d'interprétation de nouvelles informations liées à des objectifs scientifiques. Ce modèle de données est dynamique : il doit éventuellement incorporer de nouveaux types de données, et ses caractéristiques d'interopérabilité seront améliorées.





DEMO



WELLS

MOBIL ET AL VENTURE H-22

Unique Well ID:	300 H22 44100 59300	GSC#:	D232
Spud Date:	26-JUL-1983	Area:	SCOTIAN SHELF
Well Class:	DELINEATION	Basin:	SCOTIAN BASIN
Gas:	GAS (C)	RT:	38.1 metres
Oil:	UNRATED	WD:	24.1 metres
		TD:	5943.6 metres

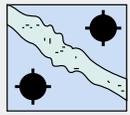
Unit type:

metric

imperial

Change

location



LOCATION

info



RIG INFO

testing



TESTING

reports



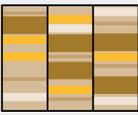
REPORTS

elogs



E-LOGS

samples



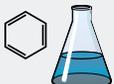
SAMPLES

pressure



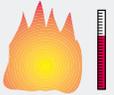
PRESSURE

geochem



GEOCHEM

temperature



TEMPER

maturation



MATURITY

lithostrat



LITHO-
STRAT

biostrat



Figure 2 : Exemple de la page de sélection des options pour des puits uniques.

Le modèle original des données était basé sur de simples observations concernant l'utilisation des données et il visait à répondre à la demande immédiate. Afin d'améliorer son utilité, sa flexibilité, sa cohérence et ses caractéristiques d'interopérabilité, ainsi que sa compatibilité avec les logiciels de sociétés indépendantes, on travaille à y intégrer un modèle de données normalisé de l'industrie du pétrole, le Public Petroleum Data Model (PPDM). Pour les nouvelles tables, on a adopté l'architecture PPDM actuelle, moins exigeante pour ce qui est du développement, des modifications et du maintien des modèles de données internes.

L'interface Web de BASIN

Depuis 1995, la CGC-A a développé pour BASIN des interfaces graphiques mettant à profit toutes les fonctionnalités du World Wide Web et d'Internet. Pour l'accès à BASIN, le seul logiciel requis est un fureteur Web standard connecté à

Internet; aucun module externe n'est nécessaire. On peut extraire les données à l'aide d'une série de boutons commandant des scripts en langage de base de données statique (SQL), lancés à partir de scripts en langage Perl, qui créent des pages Web dynamiques. Pour les recherches statiques, on se base sur des observations des données utilisées par les clients de la CGC et de l'extérieur. Cette approche simple, d'une souplesse limitée pour l'extraction des données, ne permet pas tous les types de recherches possibles dans une base de données. Cependant, elle met l'accent sur l'efficacité et la vitesse du serveur de la base de données en refusant les demandes chronophages de types complexes ou non testés, qui ralentissent les recherches des clients. Pour les clients de l'extérieur, les demandes uniques sont gérées par des courtiers en information ou par leurs propres experts en interrogation des bases de données, travaillant avec leur propre exemplaire de BASIN.

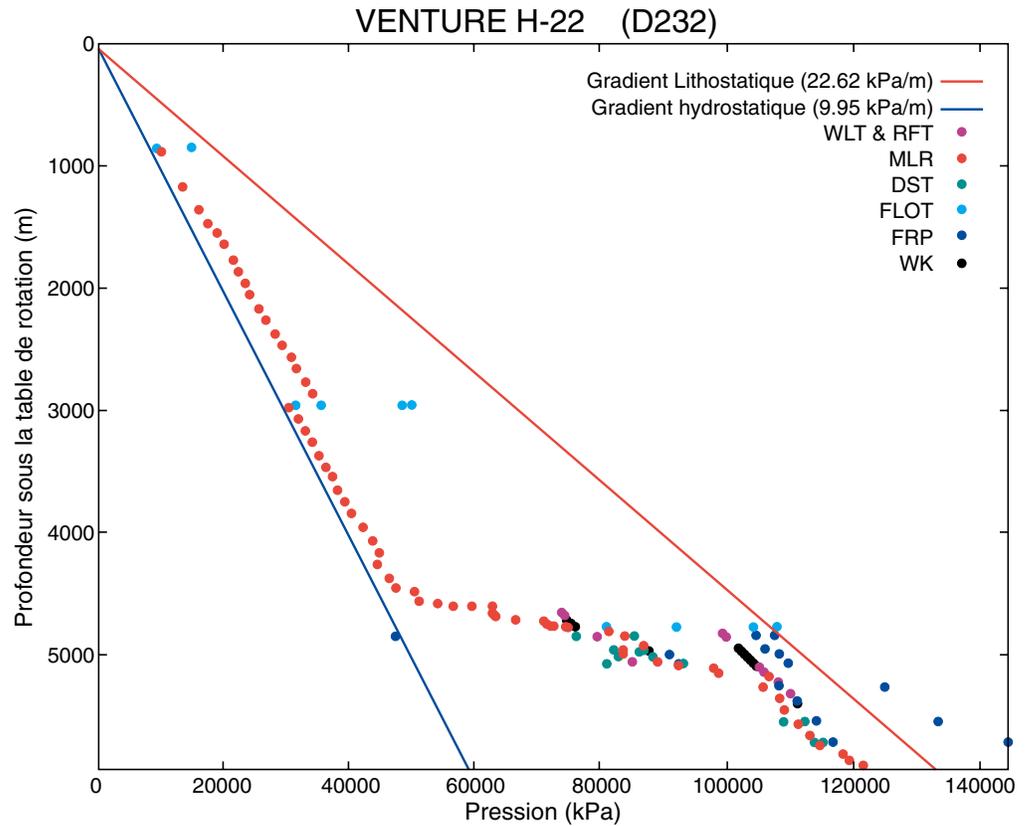


Figure 3 : Exemple de graphique de données sur les pressions, créé par l'interface Web BASIN, utilisé comme aide visuelle pour la compréhension de la distribution et de la disponibilité des données.

Cette solution s'est avérée profitable tant pour la CGC que pour ses clients, et les commentaires reçus sont positifs et constructifs.

La figure 2 présente une page de sélection des options de l'interface de BASIN pour les puits uniques, qui offre des informations de base et douze autres catégories d'information sur les puits, allant de leur emplacement à des résultats analytiques détaillés d'études sur les sédiments ou les hydrocarbures.

La figure 3 présente un graphique créé dynamiquement à l'aide de données limitées d'un utilisateur. Les graphiques Web de BASIN jouent un rôle d'aide visuelle qui facilite la compréhension des distributions de données. Pour des analyses supplémentaires, l'utilisateur peut "couper et coller" les données dans d'autres logiciels.

La figure 4 est une carte produite à partir d'un programme de réflexion-sismique sélectionné par l'utilisateur. Les données de sismique-réflexion de BASIN sont présentement limitées aux informations du programme et à diverses coordonnées de points de tirs; cette structure ne prend pas en compte les traces sismiques.

On peut trouver sur le Web une version des interfaces qui fait la démonstration des fonctionnalités les plus utiles en offrant un accès illimité aux données d'un puits et d'un programme sismique.

Clients

Même si elles ont été conçues pour les utilisateurs de la CGC, ces interfaces sont devenues des outils très appréciés par un grand nombre de sociétés d'exploration pétrolière, d'organismes de réglementation et d'organismes provinciaux effectuant des relevés.

Ces interfaces permettent d'obtenir un grand volume de données rapidement et efficacement. Le système BASIN a aidé la CGC à mieux connaître ses clients et leurs besoins, ainsi que les problèmes scientifiques auxquels ils sont confrontés. Leurs commentaires aident la CGC à adapter ses projets scientifiques à leurs besoins, tout en lui assurant une source de revenus qui lui permet d'améliorer BASIN et de poursuivre d'autres objectifs scientifiques.

Grâce à la puissance d'Internet, les spécialistes de l'exploration peuvent extraire des données en toute commodité sans quitter leurs bureaux de Calgary, de Houston, de Londres ou de Paris. Un grand nombre d'entre eux utilisent

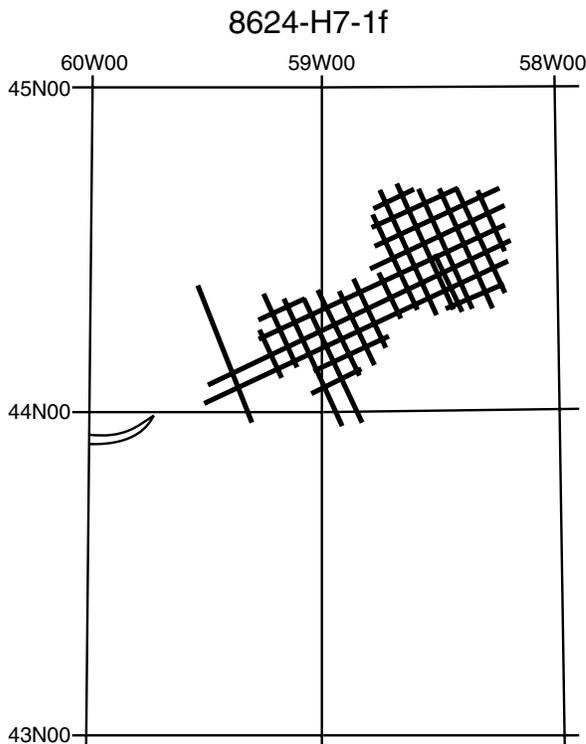


Figure 4 : Présentation rapide du secteur étudié par le programme par une carte de navigation sismique (Seismic Navigation).

quotidiennement cet outil Web. D'autres ont incorporé les données de BASIN dans leur propre base de données, qu'ils consultent avec leurs propres logiciels. La plupart des grandes sociétés pétrolières (13 à l'été de 1998) qui effectuent des opérations extracôtières d'exploration ou de production gazière ou pétrolière dans l'est du Canada ont acheté cette base de données. De plus, trois organismes de réglementation, les ministères des ressources (ou des richesses) naturelles de trois provinces et d'autres ministères du gouvernement fédéral interrogent la base de données gratuitement par le Web, parfois même quotidiennement. Les opérateurs de la CGC l'utilisent aussi chaque jour, non seulement ceux de la Division de l'Atlantique, mais aussi ceux des Divisions de Calgary et de Québec. De plus, on accorde un accès limité aux chercheurs et aux étudiants des universités qui en font la demande.

Modèle de distribution des données

On considère que le modèle de distribution des données permet une collaboration utile avec les services commerciaux de courtiers en information, car il n'entre pas en compétition avec eux. La base de données BASIN et son interface Web sont ainsi commercialisées par QCData, de Calgary, qui a acquis les droits de commercialisation de BASIN par suite d'un processus compétitif d'appels d'offres. Le courtier en information offre un accès rapide aux données dans un grand nombre de formats différents de ceux

de la CGC. Ces services permettent la création pour des clients de versions personnalisées de la base de données, qu'ils peuvent intégrer à leurs propres bases. La CGC n'offre BASIN qu'en deux formats à ses clients de l'extérieur, un format de fichier d'exportation d'Oracle et le format Web (HTML). Ainsi, la CGC évite de perdre du temps à rechercher et à créer des formats d'échange répondant aux demandes de ses clients; elle laisse plutôt ces tâches ancillaires aux experts du courtier en information. Ce dernier s'occupe également de facturer aux clients les services et les tâches annuelles d'entretien, ainsi que la distribution des mises à jour et les services d'aide qui répondent aux questions les plus fréquentes concernant la base de données. Les responsabilités de la Division de l'Atlantique de la CGC se bornent au maintien du site Web et à l'accès des clients.

Orientations futures

Actuellement, la CGC-A vise à améliorer le contrôle de la qualité et à accroître le contenu de sa base de données. On y verse régulièrement des données recueillies dans divers rapports, ainsi que les données sur les nouveaux puits et programmes sismiques extracôtiers, à mesure qu'elles sont disponibles. On doit augmenter le contenu du site Web afin d'offrir un meilleur accès aux données et on y ajoutera des liens vers d'autres sources de données, notamment des cartes, des références, des graphiques et des renseignements hébergés sur d'autres sites Web. On examine la possibilité d'utiliser des techniques innovatrices d'extraction des données, de traçage de courbes et de visualisation des données, par exemple l'interface SIG (Système d'information géographique), qui offre des fonctionnalités plus dynamiques pour la consultation des cartes et leur distribution.

Remerciements

L'auteur tient à remercier P.B. Lake et K.D. McAlpine, qui ont fait l'examen critique de cet article.

Références

- Moir, P.N., Williamson, M.A., Coflin, K.C., et Lake, P.B. 1997. Responding to increased demand for east coast petroleum geoscientific data information and knowledge. Programme with Abstracts, CSPG-SEPM Joint Convention: 194.
- Moir, P.N., Williamson, M.A., et King, S. 1995. Integrating geoscientific data, knowledge and interpretation for the east coast basins of Canada. Proceedings of the Oil et Gas Forum '95, Energy From Sediments, Dossier public n_ 3058 de la Commission géologique du Canada, 287-290.
- Lake P.B. 1991. Wellsys: A database on wells of offshore eastern Canada. Dossier public n_ 2501 de la Commission géologique du Canada.

Le changement climatique et les côtes du Canada

J. Shaw, R.B. Taylor, D.L. Forbes, S. Solomon, D. Frobel, G. Parkes, and C.T. O'Reilly

Introduction

Le système climatique planétaire est en train d'être modifié par les activités humaines (Houghton et al., 1996), et l'on prévoit que le principal effet en sera une hausse, d'ici 2100, des températures moyennes mondiales de l'air en surface de 2 °C au-dessus des valeurs de 1990. Quel impact aura ce changement climatique planétaire sur les côtes du Canada? Dans ce bref document, nous aborderons certaines des questions sur lesquelles travaillent actuellement les chercheurs de la CGC et leurs collaborateurs, soit les effets de:

1. une réduction de l'extension et de la durée de la couverture de glace de mer;
2. des changements de la climatologie des tempêtes; et
3. une élévation du niveau de la mer.

Réduction de l'extension et de la durée de la couverture de glace de mer

Le réchauffement du climat pourrait induire une réduction de l'extension et de la durée de la couverture de glace de mer (Solomon et al., 1993). Lorsque l'océan est gelé, le remodelage des plages par les vagues est suspendu (bien que la glace de mer puisse elle-même être un agent géomorphologique actif). Sur la côte de la mer de Beaufort, la lisière des glaces recule jusqu'à plusieurs centaines de kilomètres vers le large pendant quelques mois à la fin de l'été, ce qui laisse aux vagues et aux ondes de tempête une distance suffisante pour causer beaucoup d'érosion, par exemple à Tuktoyaktuk. Si la saison sans glace s'allongeait de façon significative, l'augmentation de la fréquence et de l'intensité cumulative des vagues et ondes de tempête pourrait accroître l'érosion sur une côte qui subit déjà des changements rapides.

La saison libre de glaces dans le sud du golfe du Saint-Laurent est beaucoup plus longue (de l'ordre de 8 mois), mais l'absence de couverture glacielle protectrice au début de l'hiver, époque où l'activité des ondes de tempête est maximale (Parkes et al., 1997), accélérerait les changements géomorphologiques sur la façade golfe de l'île du Prince-Édouard, déjà sujette à une érosion rapide (voir plus bas).

Sur une grande partie de la côte atlantique de la Nouvelle-Écosse, il n'y a généralement pas de glace de mer, mais la banquise quittant le golfe du Saint-Laurent peut descendre jusqu'à Halifax et, certains hivers, il peut se former de la banquise côtière durant les vagues de temps très froid. Une élévation des températures hivernales empêcherait la formation de cette banquise côtière, qui protège les rivages contre les fortes vagues de tempête, et l'extension vers le sud de la glace de mer sortant du golfe du Saint-Laurent et dérivant le long de la côte atlantique de la Nouvelle-Écosse serait réduite. En mars 1993, la banquise côtière et le brash ont protégé ces côtes pendant la « tempête du siècle » (Taylor et al., 1997).

Changements de la climatologie des tempêtes

Houghton et al. (1996) se demandaient quels changements le réchauffement planétaire du climat induirait sur les tempêtes des latitudes moyennes et sur la formation des cyclones tropicaux, dont les ouragans (bien que des recherches récentes suggèrent que les ouragans du Pacifique pourraient se trouver renforcés en raison du réchauffement planétaire). La plupart des plages connaissent de longues périodes de beau temps, pendant lesquelles il ne survient que peu de changements, ponctués de tempêtes brèves et violentes où de fortes vagues conjuguées aux ondes de tempête agissent de façon significative sur les côtes. Des relevés effectués sur la côte est de la Nouvelle-Écosse ont montré comment les plages ont répondu à des changements décennaux de l'intensité et de la fréquence des ondes de tempête. Il y a eu beaucoup d'ondes de tempête dans les années 20 et 30, peu dans les années 40 et au début des années 50, et de nouveau un grand nombre après 1954. Ces cycles ont été accompagnés de recul et d'érosion des plages. Des augmentations de la fréquence et de l'intensité des tempêtes se traduiraient donc par une accélération des changements géomorphologiques sur la côte (Forbes et al., 1997).

La côte atlantique de la Nouvelle-Écosse subit de graves dommages du fait des cyclones tropicaux, dont la plupart remontent vers le nord-est et atteignent les provinces Maritimes du

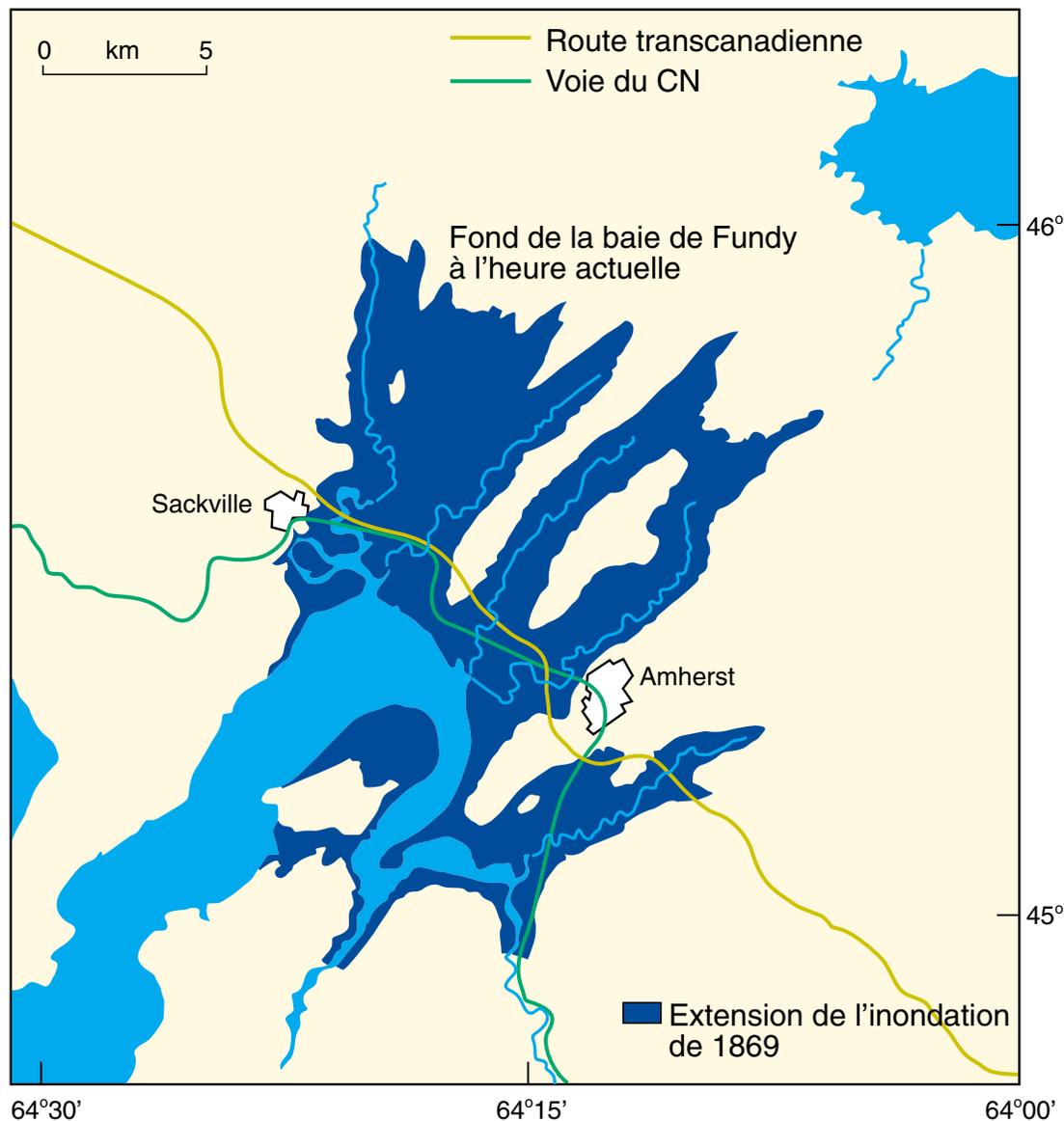


Figure 1 : Extension de l'inondation dans le fond de la baie de Fundy au cours de la tempête de Saxby, en 1869.

Canada. Parkes et al. (1997) ont mis en évidence la vulnérabilité du fond de la baie de Fundy aux inondations dues aux ondes de tempête de ces cyclones tropicaux. Le risque le plus grand est celui d'une tempête intense qui remonterait le golfe du Maine pendant des marées de vives-eaux coïncidant avec des marées de périgée, et qui couperait la côte du Nouveau-Brunswick juste à l'ouest de Saint John, au moment où la marée monte dans la baie de Fundy. L'onde de tempête de la fameuse « tempête de Saxby », un cyclone tropical survenu en 1869, a atteint une hauteur estimative de 1,8 m, et de vastes régions ont été inondées (fig. 1). Ce n'est pourtant pas le pire des scénarios parce que, d'abord, la marée astronomique aurait pu être plus haute de 0,6 m dans le fond de la baie de Fundy pendant la tempête de Saxby et, ensuite, que le niveau relatif

de la mer a monté d'environ 0,4 m depuis 1869. On est en train d'évaluer les risques courus par cette région, surtout à la lumière d'une accélération de l'élévation du niveau marin et du changement climatique planétaire.

Élévation du niveau marin

La hausse projetée des températures fera monter le niveau moyen de la mer de 0,49 m d'ici 2100 (Houghton et al., 1996), ce qui doit être ajouté aux tendances actuelles des changements du niveau marin. Aux endroits où le niveau marin relatif (NMR) baisse rapidement aujourd'hui (en raison du relèvement isostatique), il baisserait plus lentement dans le futur. Là où il est stable ou baisse de façon modérée, la tendance serait renversée, et le NMR commencerait à monter, de sorte que la zone de submersion s'étendrait vers l'intérieur des

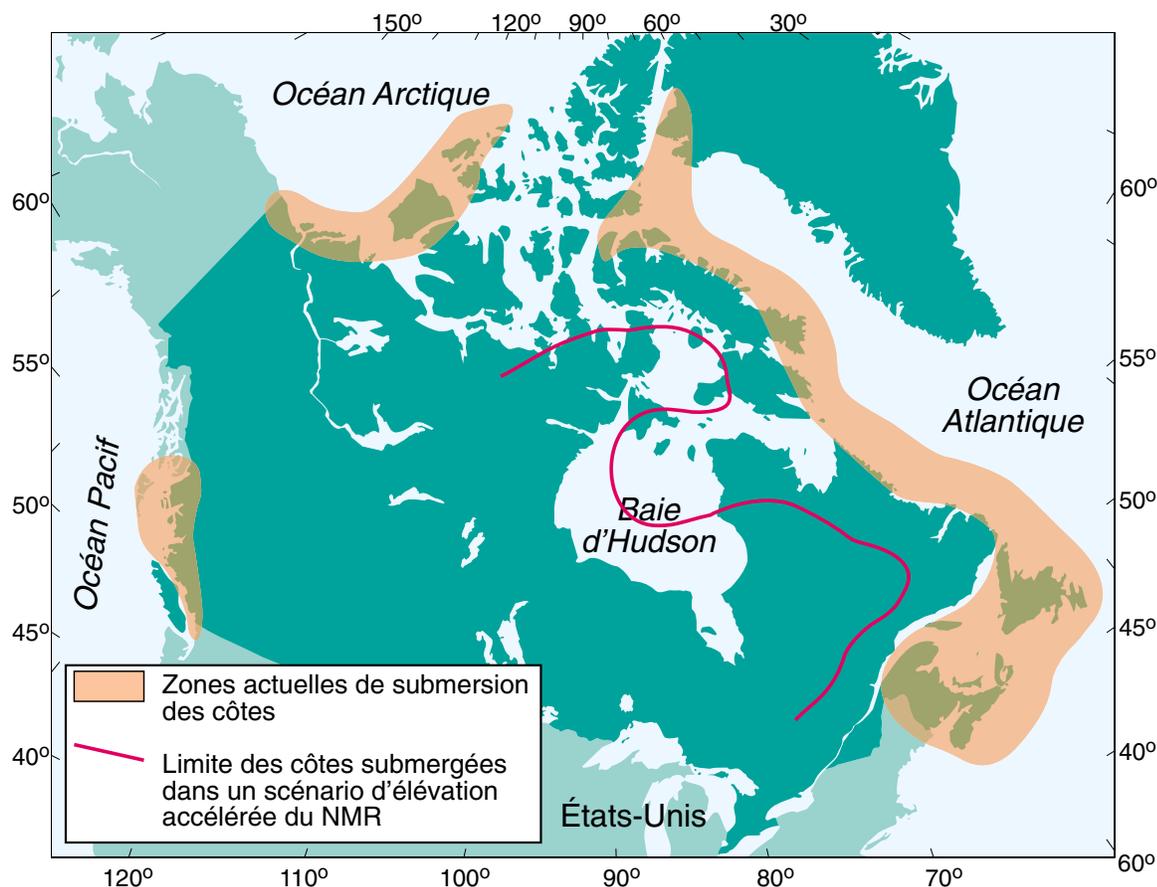


Figure 2 : Zones de submersion des côtes au Canada, c.-à-d. zones où le niveau marin est présentement en train de monter. L'extension possible des zones de submersion en 2100 est basée sur les prédictions du GIEC (Houghton et al., 1995).

terres (fig. 2). Dans les zones montrées à la figure 2, la vitesse de submersion s'accroîtrait. À Halifax, par exemple, le niveau de la mer a monté à une vitesse de $\sim 0,3$ m/siècle depuis 1896, surtout à cause de la subsidence de la croûte, et pourrait encore s'élever de 0,8 m pendant le prochain siècle.

Sensibilité des côtes à l'élévation du niveau marin

Nous avons réalisé une carte décrivant la sensibilité du trait de côte du Canada à une accélération de la hausse du niveau de la mer (fig. 3) (Shaw et al., 1998); on y voit que 67 % de la côte est faiblement sensible, 30 % modérément sensible, et 3 % très sensible. Les zones de forte sensibilité comprennent de vastes parties des provinces Maritimes du Canada, les côtes continentales de la mer de Beaufort, ainsi que le delta du Fraser et le nord-est de l'île Graham, dans la région du Pacifique. Les descriptions régionales de la sensibilité de la côte qui accompagnaient la carte étant trop générales, nous avons entrepris un nouveau projet dans l'une des régions de forte sensibilité : la côte nord de l'île du Prince-Édouard.

Notre objectif est d'en arriver à une meilleure prédiction de l'évolution que connaîtra cette côte au cours du prochain siècle.

Évolution d'ici 2100 de la côte de l'île du Prince-Édouard faisant face au Golfe

Pour prédire l'évolution de la côte nord de l'île du Prince-Édouard dans un scénario de poursuite ou d'accélération de l'élévation du niveau marin, il faut comprendre son évolution passée, disposer d'une hypothèse de travail sur la morphodynamique contemporaine de la côte, et extrapoler les vitesses de changement mesurées. Certaines conclusions sont présentées ici.

Dans la géographie du sud du golfe du Saint-Laurent (fig. 4) il y a 9000 années radiocarbone BP (environ 10 000 années sidérales), les terres s'étendent de la Nouvelle-Écosse jusqu'au delà des îles de la Madeleine. Les fleuves et lacs de grande taille (Franck, 1972) ne figurent pas sur cette reconstitution. L'élévation subséquente du niveau marin a fait reculer le trait de côte à travers le banc des îles de la Madeleine à des vitesses pouvant atteindre 14 km par siècle,

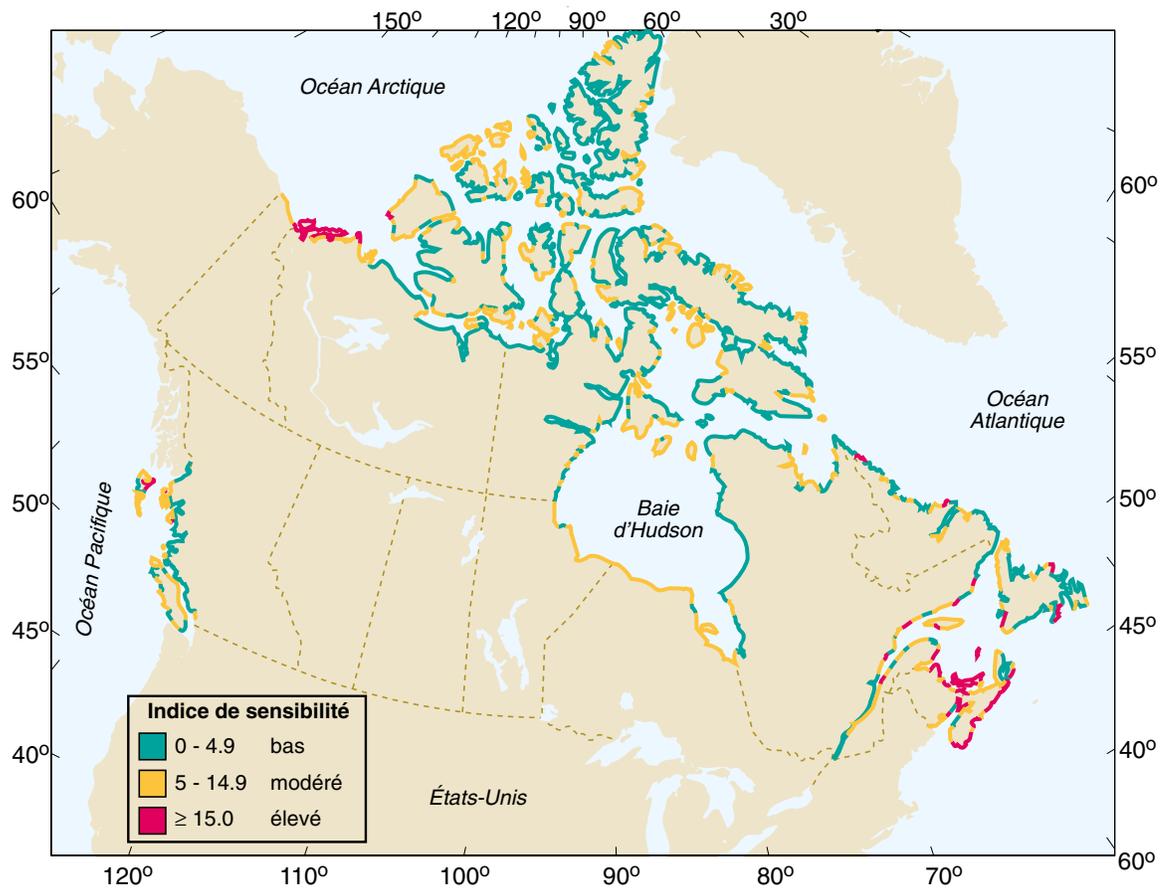


Figure 3 : Sensibilité des côtes du Canada à l'élévation mondiale du niveau marin.

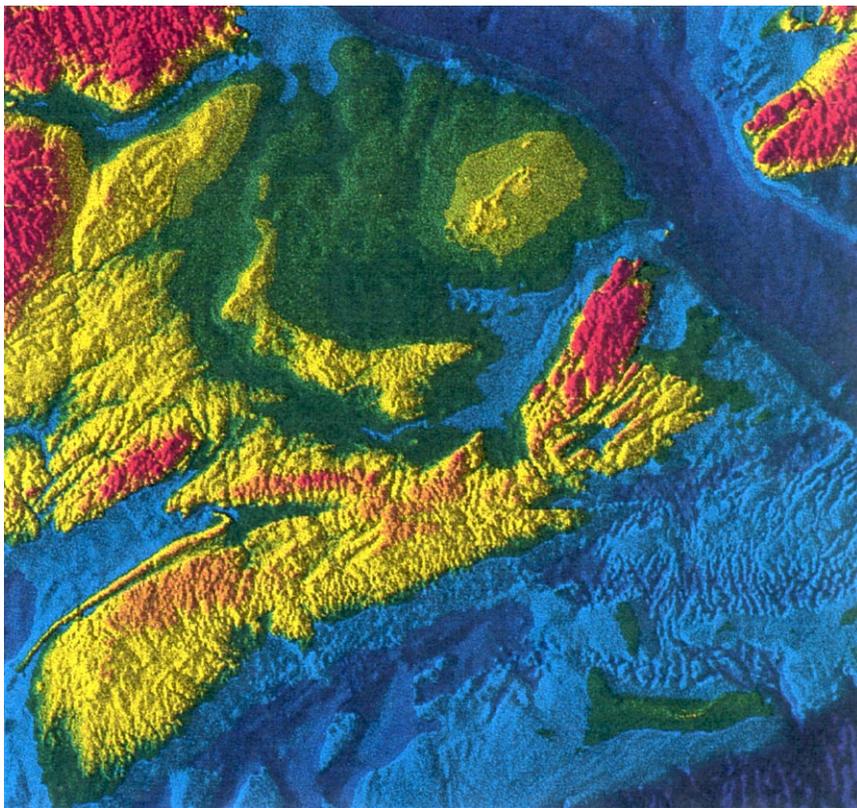


Figure 4 : Relief d'une partie du Canada atlantique en 9000 années carbone BP (soit environ il y a 10 000 années sidérales).

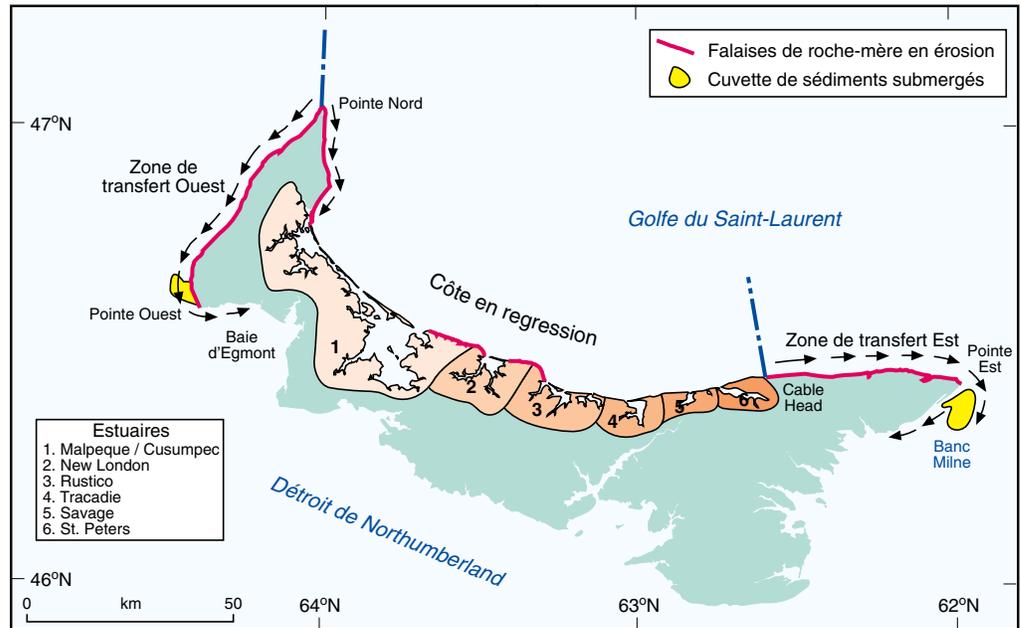


Figure 5 : Processus côtiers dans l'échancrure de la côte nord de l'île du Prince-Édouard.

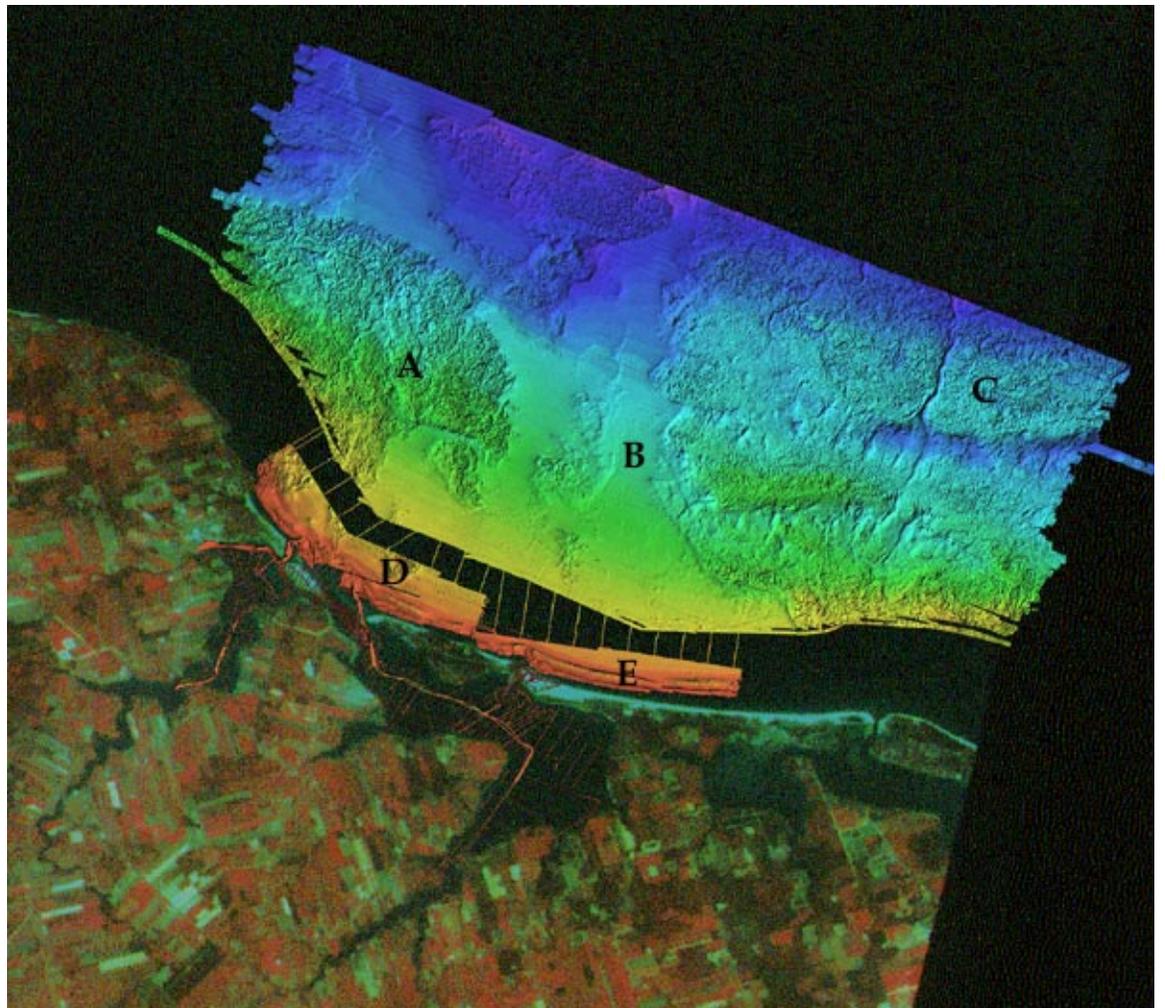


Figure 6 : Bathymétrie multi-faisceaux à relief par ombres portées de la région de Rustico issue des données EM-1000 et des données de balayage. Les lettres sont expliquées dans le texte.

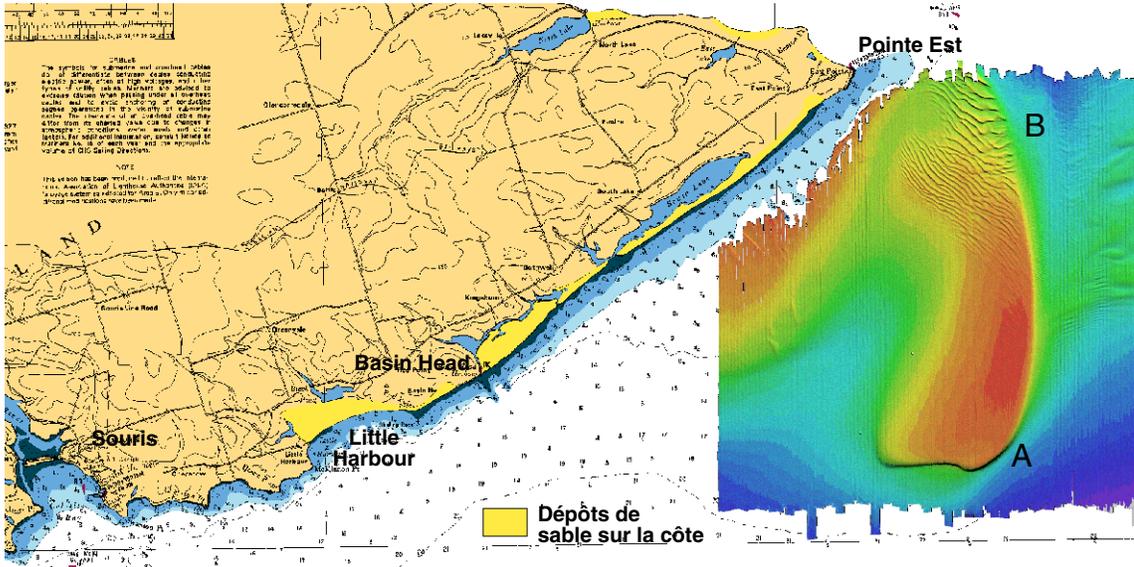


Figure 7 : Bathymétrie multi-faisceaux à relief par ombres portées du banc Milne issue des données EM-1000. On montre aussi les dépôts de sable sur la côte.

isolant les îles aux alentours de 8000 BP, et séparant l'île du Prince-Édouard du continent vers 5000 BP. Au cours des derniers millénaires, l'élévation du niveau de la mer sur le nord de l'île du Prince-Édouard s'est accélérée, et dépasse maintenant légèrement 0,3 m par siècle (Shaw et Forbes, 1990). Avec l'élévation planétaire, le niveau pourrait encore monter d'environ 0,8 m d'ici 2100.

Pour faciliter la prédiction, nous avons divisé la côte nord de l'île en trois segments morphodynamiques (fig. 5). La zone de transfert Ouest s'étend de la pointe Nord vers le sud-ouest et se compose de falaises de roche-mère tendre en érosion. Le sable est transporté vers le sud-ouest dans la zone littorale, avec un transit annuel de 38 000 m³, jusqu'à la pointe Ouest, sur une bande de sable infralittorale au large de la pointe Ouest (Kranck, 1971) et aussi dans la baie d'Egmont. Une estimation prudente est que la totalité de la côte ouest reculera de 30 à 100 m d'ici 2100.

La côte en regression (fig. 5), qui s'étend de la pointe Nord à la pointe Cable, se compose de plusieurs longues zones de falaises de roche-mère tendre en érosion et de six complexes estuariens, comportant chacun des cordons littoraux de sable avec dunes côtières, protégeant des estuaires peu profonds à prépondérance de courant de flot. Les sédiments suivent un corridor littoral allant des deux extrémités de la côte vers le centre. Cette côte est considérée comme un front d'érosion migrant vers les terres concurrentement avec l'élévation du niveau marin. La migration est

effectuée par érosion des falaises, des dunes et des plages, submersion des plages, inondation des estuaires, apport de sable en deltas de flot dans les estuaires, et migration latérale des passes de marée.

L'imagerie à relief par ombres portées (fig. 6) produite à partir des données bathymétriques multi-faisceaux recueillies dans la zone de la baie de Rustico montre que le sable s'est déplacé vers les terres avec le recul de la côte, laissant derrière lui une surface de roche-mère érodée (A). Le sable et la vase estuarienne ont été piégés dans les vallées submergées plus grandes (B), les remplissant entièrement, alors que les vallées submergées plus petites ne sont pas complètement remplies (C). Près de la côte, on observe un coin de sable (D) relié aux plages et à la passe (E), et marqué par des barres littorales parallèles au rivage (F). Ce complexe sédimentaire littoral forme un corridor dans lequel le sable est déplacé vers le rivage, mais avec des discontinuités aux hauts-fonds rocheux entre les vallées submergées.

L'évolution de la côte en regression d'ici 2100 inclut la poursuite du recul des cordons littoraux de 25 à 50 m, l'inondation des rives estuariennes basses, et l'érosion des falaises de roche-mère. Cette situation pourrait être accompagnée d'un décalage des passes de marée et d'un comblement des chenaux de navigation actuels avec les modifications des cordons dues à la submersion des plages et à la réorientation des flèches. Les estuaires peuvent aussi devenir moins profonds. Sur la partie rocheuse s'étendant de la pointe Nord vers le sud-est, les falaises côtières pourraient reculer de 60 à 150 m.

Dans la zone de transfert Est (fig. 5), le sable se déplace dans le corridor littoral vers la pointe Est, où il s'accumule dans une cuvette sous-marine, le banc Milne (Frobel, 1990; Kranck, 1971), qui contient au moins $1 \times 10^9 \text{ m}^3$ de sable. Une partie du sable « fuit » du banc Milne dans le corridor littoral et est transporté vers le sud-ouest. On estime à $38\,000 \text{ m}^3$ le volume de sable transporté chaque année du nord au sud de la côte. Au cours des derniers millénaires, les baies de la côte sud se sont successivement remplies de sable, formant parfois de très larges dépôts éoliens (fig. 7) comme le complexe de la pointe Basin. Par effet dominos, à mesure que chaque baie s'est remplie, le corridor s'est étendu jusqu'à la baie suivante en aval dans le sens de la dérive. La fin du transfert se situe maintenant à Little Harbour.

Sur l'image multi-faisceaux du banc Milne (fig. 7), les pentes prononcées au sud et à l'est (A) indiquent une progradation dans ces directions, ce que confirment les données sismiques. Les ondulations sableuses asymétriques et à grande échelle du fond (B) suggèrent un transport du sable vers le sud sur le banc. Les ondulations plus petites qui sont visibles sur cette image à résolution de 5 m et sur les images du sonar à balayage latéral indiquent un mouvement actif des sédiments à travers la majeure partie du banc.

L'évolution de la zone de transfert est au cours du prochain siècle inclut 100 à 200 m d'érosion sur la côte nord, une légère érosion sur les systèmes de dunes et plages de sable qui s'étendent de la pointe Est vers le sud-est, et l'inondation des lagunes et milieux humides derrière les dunes. L'effet dominos se poursuivra, de sorte que Little Harbour se remplira de sable, ce qui permettra à la zone de transfert littoral de s'étendre vers le sud-ouest, et à terme emportera du sable jusque dans la baie de Souris.

Références

FORBES, D.L., SHAW, J., and TAYLOR, R.B. 1997. 'Climate change impacts in the coastal zone of Atlantic Canada' in *Climate Impacts and Adaption, Canada Country Study, Atlantic Regional Report*. Environment Canada, Bedford, N.S.

FROBEL, D. 1990. Cruise Report 88018 (F) Phase 12, M.V. Navicula, northeastern Northumberland Strait. Geol. Surv. Can. Open File 2243.

HOUGHTON, J.T., MEIRA FILHO, L.G., CALLANDER, B.A., HARRIS, N., KATTENBERG, A. et MASKELL, K. 1996 (sous la dir. de.) *Changements climatiques 1995. Contribution du GTI au Deuxième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts*

intergouvernemental sur l'évolution du climat; GIEC

KRANCK, K. 1971. Surficial geology of Northumberland Strait. Geol. Surv. Can. Paper 71-53, 10 p.

KRANCK, K. 1972. Geomorphological development and post-Pleistocene sea level changes, Northumberland Strait, Maritime Provinces. Can. J. Earth Sci., 9: 835-844.

PARKES, G.S., KETCH, L.A., et O'REILLY, C.T.O. 1997. Storm surge events in the Maritimes. Comptes rendus de la Conférence canadienne sur le littoral 1997, 21-24 mai 1997, Guelph, Ontario, sous la dir. de M.G. Skafel. (Association canadienne pour la science et le génie du littoral) 115-129

SHAW, J. and FORBES, D.L. 1990 'Short- and long-term relative sea-level trends in Atlantic Canada'. Comptes rendus de la Conférence canadienne sur le littoral 1990 (Kingston), (Comité associé d'étude des littoraux, Conseil national de recherches du Canada) 291-305

SHAW, J., TAYLOR, R.B., FORBES, D.L., RUZ, M.-H., and SOLOMON, S. 1998 'Sensitivity of the coastline of Canada to sea-level rise'. Geol. Surv. Can. Bulletin 505.

SOLOMON, S.M., FORBES, D.L., and KEIRSTEAD, B. 1993 'Coastal impacts of climate change: Beaufort Sea erosion study' Geol. Surv. Can. Open File 3558

TAYLOR, R.B., FORBES, D.L., FROBEL, D., SHAW, J., and PARKES, G. 1997 'Hurricane Hortense strikes Atlantic Nova Scotia: an examination of beach response and recovery' Geol. Surv. Can. Open File 3503

Travaux en cours sur la dispersion des larves de homard dans le secteur canadien du golfe du Maine

Gareth Harding, Ken Drinkwater, Peter Vass, Dwight Reimer, John Pringle, Angus Fraser, Jens Prena.

Tout le monde ou presque sait que le homard est un organisme marin qui vit sur le fond et dont la femelle transporte ses oeufs sous la queue, accrochés à ses pattes natatoires. Toutefois, on sait rarement que ces oeufs, qui sont pondus et fécondés à la fin de l'été, éclosent seulement près d'un an plus tard, au milieu de l'été, et que les larves nouvellement écloses remontent directement à la surface; elles passent l'été en phase nageuse ou planctonique dans la couche d'eau chaude qui apparaît de façon saisonnière à la surface de l'océan. Les crustacés comme le homard possèdent un squelette externe, ou carapace, de sorte qu'ils doivent d'abord s'en débarrasser, c'est-à-dire muer, avant de pouvoir grossir dans une nouvelle carapace de plus grande taille. Les larves planctoniques connaissent trois mues avant de descendre sur le fond marin à la fin du stade IV. Cette phase planctonique du cycle de vie peut durer de 1 à 2 mois selon la température locale et la nourriture disponible. Si la température est élevée et la quantité de nourriture suffisante, le développement est accéléré.

On étudie depuis longtemps la possibilité qu'il existe des liens entre les populations côtières et hauturières de homard le long de la côte nord-est de l'Amérique du Nord. Rogers et al. (1968) ont été les premiers à penser que certaines populations côtières de homard pouvaient provenir de larves écloses au large et ramenées vers les côtes aux endroits où existent des courants de surface favorables. Cette hypothèse se fondait sur des observations réalisées au large du Rhode Island, où les larves du stade I étaient plus abondantes en pleine mer, près de la marge continentale, tandis que les larves du stade IV, en fin de phase planctonique, étaient beaucoup plus nombreuses dans la baie du Rhode Island, où la profondeur de l'eau est généralement inférieure à 30 mètres. Plus loin, près du sud de la Nouvelle-Angleterre, d'autres biologistes n'ont trouvé aucune indication d'un "ensemencement" des eaux côtières par des larves venues du large, mais ont toutefois découvert des concentrations étonnamment élevées du stade IV, celui de l'établissement sur le fond, dans le détroit de Long Island.

Au départ, on pensait que les larves de homard étaient rares dans les eaux hauturières du Canada (Stasko, 1977). Les relevés réalisés dans les années 70, dans le cadre du Programme d'étude de l'ichtyoplancton de la plate-forme Scotian, ont permis de localiser des rassemblements de larves près du banc Germain et du banc Browns, avec un éparpillement des larves le long de la marge continentale vers l'ouest, jusqu'au bassin Émeraude et au banc Occidental (Watson et Miller, 1991). Stasko, se fondant sur la circulation superficielle générale et sur une durée de développement des larves d'environ un mois à la température locale, a émis l'hypothèse que les larves provenant du banc Georges pouvaient aller s'établir jusque sur le banc Browns, "en aval". Les larves du banc Browns, à leur tour, pouvaient se retrouver près des côtes jusqu'au sud-ouest de la Nouvelle-Écosse. Stasko (1978) a élargi son hypothèse pour inclure un mouvement de retour des homards adultes sur le fond marin jusqu'aux eaux profondes proches des bancs Georges, Browns et Germain, et au large de l'île Grand Manan, ce qui compléterait leur cycle biologique. Stasko et ses collaborateurs ont alors effectué des relevés des larves dans les eaux côtières et hauturières du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse, en 1977 et 1978, essentiellement en échantillonnant la couche superficielle (1,3 mètre) au filet. Ils ont confirmé l'omniprésence de larves de homard, avec éclosion et apparition du stade I dans les eaux de surface au début de juillet, une hausse de l'abondance qui atteignait son maximum dans les deux premières semaines d'août, puis une disparition vers la mi-septembre (Stasko et Gordon, 1983). Les chercheurs n'ont toutefois pas découvert le gradient temporel du stades de développement qu'ils avaient prévu entre les bancs du large et la côte du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse. En effet, de façon inexplicée, leurs captures étaient dominées par des larves du stade IV (66 %). Les homards du stade I composaient l'essentiel du reste des captures (29 %), tandis que les stades II et III étaient rarement capturés. Les chercheurs n'ont pas observé non plus d'augmentation de l'abondance relative du stade IV, fin de la phase planctonique, en fonction du temps et en direction de la côte,

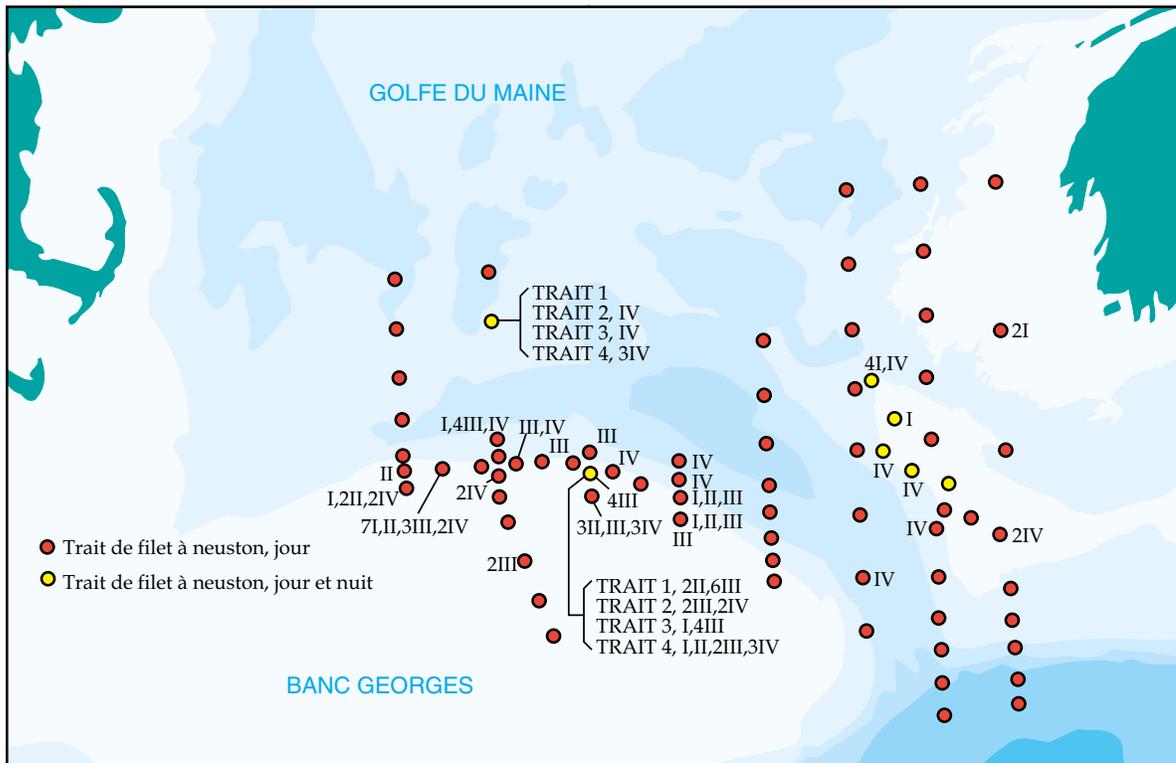


Figure 1 : Répartition de l'abondance des larves de homard (nombre par trait de 30 minutes) par stade de développement (I à IV) dans un relevé, effectué du 12 au 21 juillet 1983, de la couche superficielle de 1 m dans la région des bancs Germain, Browns et Georges du golfe du Maine.

mais cela peut s'expliquer par des différences dans l'époque de la ponte et le rythme de développement entre le banc Browns et les zones côtières. Une réanalyse de ces relevés a montré que, les deux années, les larves capturées au large, par trait, étaient environ 2,5 fois plus nombreuses que celles capturées dans les eaux côtières. Pour ces calculs, les eaux côtières étaient définies comme situées en deçà de l'isobathe de 20 m, ce qui inclurait la zone de Trinity Ledge. Les concentrations hauturières des larves du stade I apparaissent généralement dans des eaux dont la profondeur est de plus de 80 mètres. Par ailleurs, Campbell et Pezzack (1986) ont estimé que 23 à 53 % des larves produites au large du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse pouvaient provenir de sources côtières, si l'on se fonde sur l'abondance continue de femelles ovigères ou " oeuvé ", mais ils ont presque certainement inclus dans leurs calculs des migrants d'eaux profondes provenant du golfe du Maine, du banc Germain au haut-fond Lurcher, et de Grand Manan. Watson et Miller (1991), après examen des relevés menés de 1978 à 1981 dans le cadre du Programme d'étude de l'ichtyoplancton de la plate-forme Scotian, ont établi que la plupart des larves de homard du large se trouvaient près des bancs Browns et Georges. Découverte particulièrement intéressante, ils ont observé une

distribution en forme de panache de homards du stade IV, dont l'abondance diminuait à partir du banc Browns vers le nord-est. Les auteurs ont conclu que cette répartition pouvait s'expliquer par une dispersion des larves sous l'effet des courants dominants et/ou du forçage superficiel des eaux par les vents en été.

Nous avons estimé que, de façon générale, la période où les températures locales sont favorables dans les eaux côtières du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse est trop courte pour que les larves atteignent la phase d'établissement sur le fond avant l'hiver. Nous avons conclu que le succès du recrutement côtier devait être essentiellement confiné aux petites baies où les températures superficielles sont élevées. Nous avons calculé que le recrutement du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse, à partir des rythmes de développement déterminés en laboratoire, des températures locales de la surface de l'eau et de la vitesse et de la direction des courants dominants, pouvait être attribuable principalement à la libération des larves portées par les femelles hauturières présentes sur la face nord du banc Georges. De plus, Lawrence et Trites (1983) ont prédit, à partir de modèles fondés sur les courants dominants et les vecteurs de vent, que le pétrole présent en surface dans la région des bancs Georges et Browns en été se retrouvait

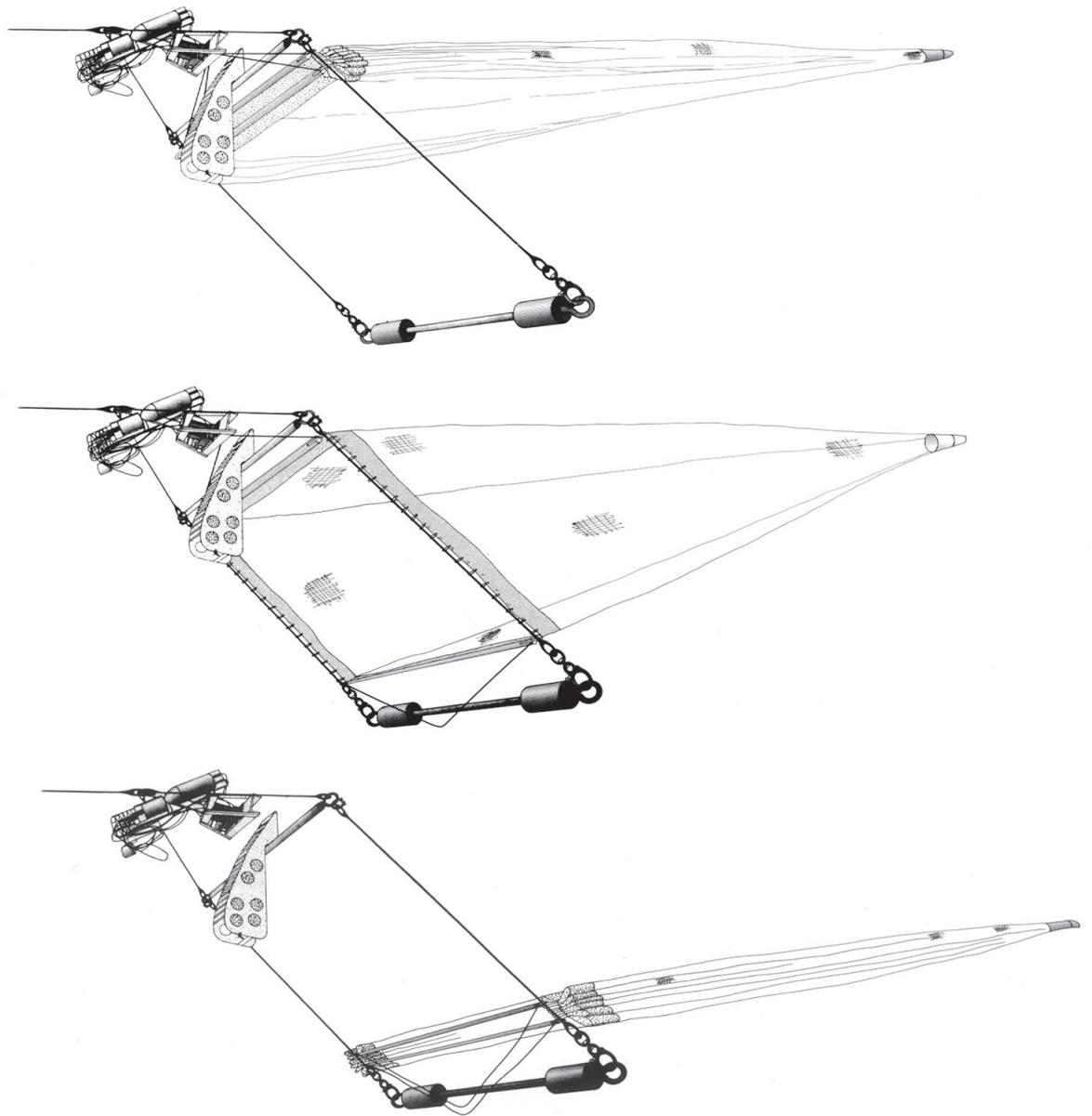


Figure 2 : Chalut Vass-Tucker conçu pour étudier les larves de homard, dans trois positions : déploiement (en haut), pêche (milieu) et fermeture (en bas).

fréquemment sur le littoral du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse et de la baie de Fundy après un temps de dérive de plus de 20 jours. Harding et al. (1983) ont conclu qu'on pouvait considérer le golfe du Maine comme un seul système de recrutement des homards, dans lequel les larves seraient transportées vers l'aval dans le gyre antihoraire. Cette conclusion a été étayée par la similarité des débarquements commerciaux de homard tout autour du golfe, ce qui semble indiquer que l'abondance du homard y est régie par le même ensemble de facteurs environnementaux.

Nous avons réinterprété les résultats des anciens relevés de 1977-1978 à la lumière des données inédites fournies par les bouteilles dérivantes dans les relevés de 1977 pour projeter la dispersion des larves du banc Browns au début de l'éclosion (début juillet) et au moment de l'abondance maximale du stade I (début août) (Harding et Trites, 1988). Nous en avons conclu que les larves hauturières pouvaient apporter une contribution importante au recrutement, non seulement vers le sud-ouest de la Nouvelle-Écosse, mais dans tout le secteur oriental du golfe du Maine, jusqu'à la baie Casco. Au sud-ouest de la Nouvelle-Écosse, on a calculé que la production de larves du stade IV était de 3,6 millions dans les

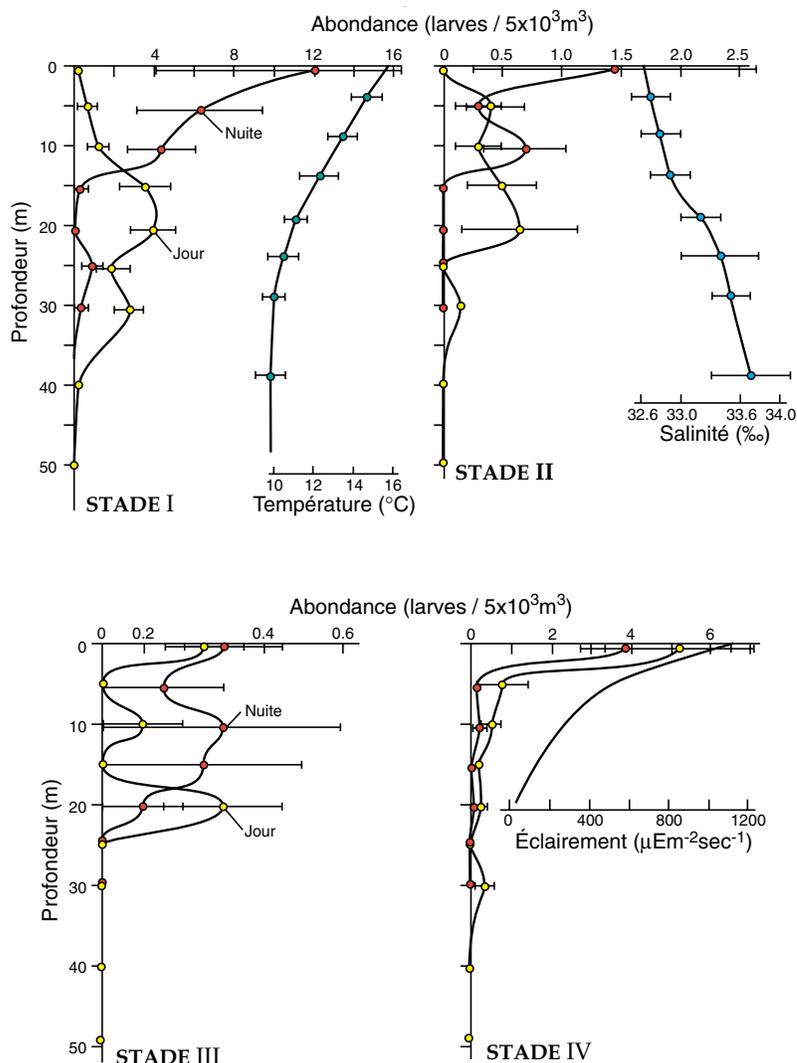


Figure 3 : Distribution verticale nyctémérale des quatre stades planctoniques observés au-dessus du banc Browns en août 1984. On indique aussi la température moyenne, la salinité et le profil de l'éclairement à midi (avec les moyennes et l'écart type).

eaux côtières, contre 100 millions au large; si les prédictions de dispersion étaient correctes, une grande partie de la production côtière pouvait en fait provenir de femelles se trouvant sur les bancs Browns et Germain.

En 1983, nous avons entrepris un relevé des larves dans la couche superficielle (1,3 m) pour déterminer si les zones d'éclosion des larves des bancs Georges et Browns pouvaient constituer une source potentielle de larves pour les eaux côtières du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse. Les résultats ont de nouveau montré que le cycle planctonique des larves de homard commence sur les bancs Browns et Germain entre la deuxième et la troisième semaine de juillet, et confirmé les prévisions selon lesquelles le flanc nord du banc Georges serait une source abondante de larves pour les eaux situées en aval. Tous les stades de développement étaient abondants du milieu à la

fin de juillet sur le banc Georges, dans les eaux de surface à température de 14 à 21 °C (fig. 1). Toutefois, la présence éparse de homards du stade IV au-dessus du banc Browns et du chenal Nord-Est à des températures de moins de 11 °C semble nettement indiquer que ces larves sont venues par advection des zones plus chaudes situées " en amont ", comme le rebord de la plate-forme à l'est du chenal Nord-Est ou du banc Georges (fig. 1). Aucune larve de homard n'a été capturée à l'embouchure du chenal Nord-Est, ce qui écarte cette zone de la liste des sources possibles de larves. Le point tournant de nos travaux a été la découverte que les larves du stade IV étaient absentes des eaux de surface du golfe du Maine pendant la journée, mais étaient constamment présentes si on poursuivait le prélèvement la nuit venue. Stasko et Gordon (1983) signalent un déplacement vertical moindre mais notable des homards du stade IV, qui sortent le jour de la

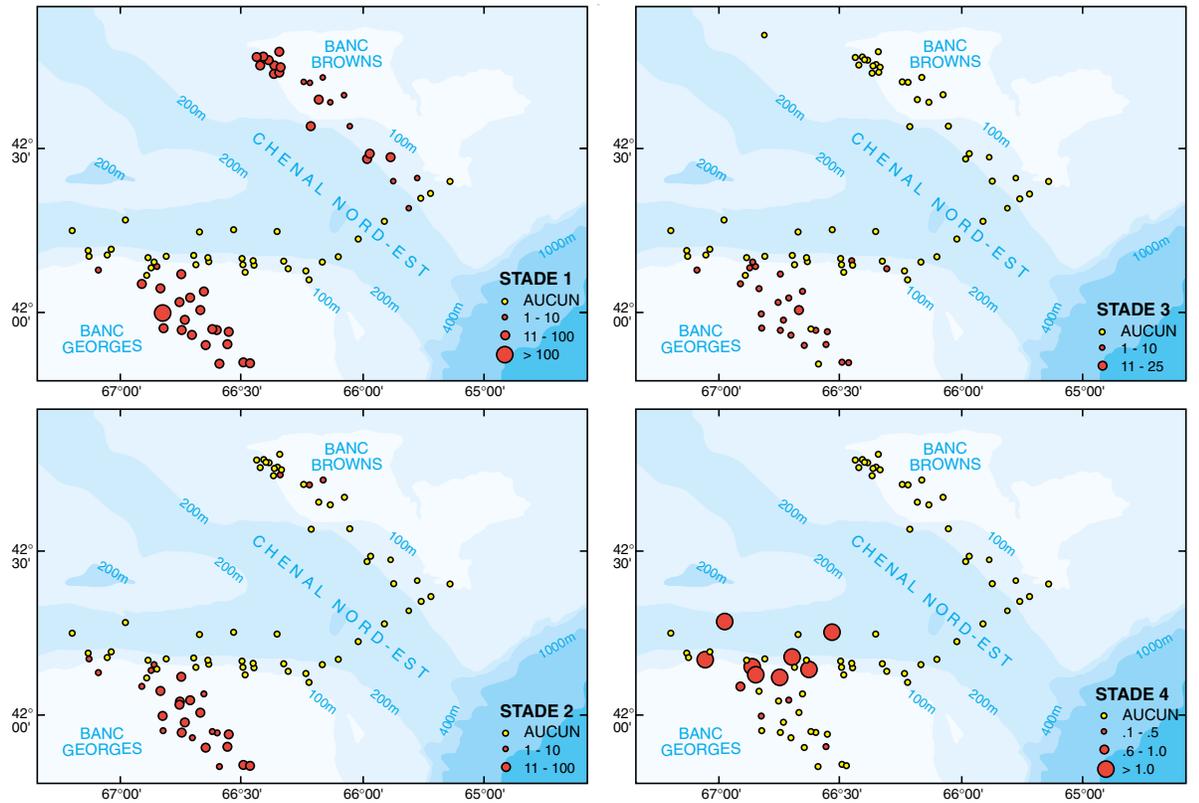


Figure 4 : Distribution de l'abondance des larves de homard par stade de développement (nombre/1000m²) dans une étude menée du 14 au 28 juillet 1987, avec intégration des résultats de traits horizontaux du chalut Vass-Tucker effectués d'une profondeur de 50 m ou du fond jusqu'à la surface (les traits horizontaux étaient effectués à intervalle de 5 m de profondeur dans la couche supérieure de 30 m et à intervalle de 10 m au-dessous de 30 m).

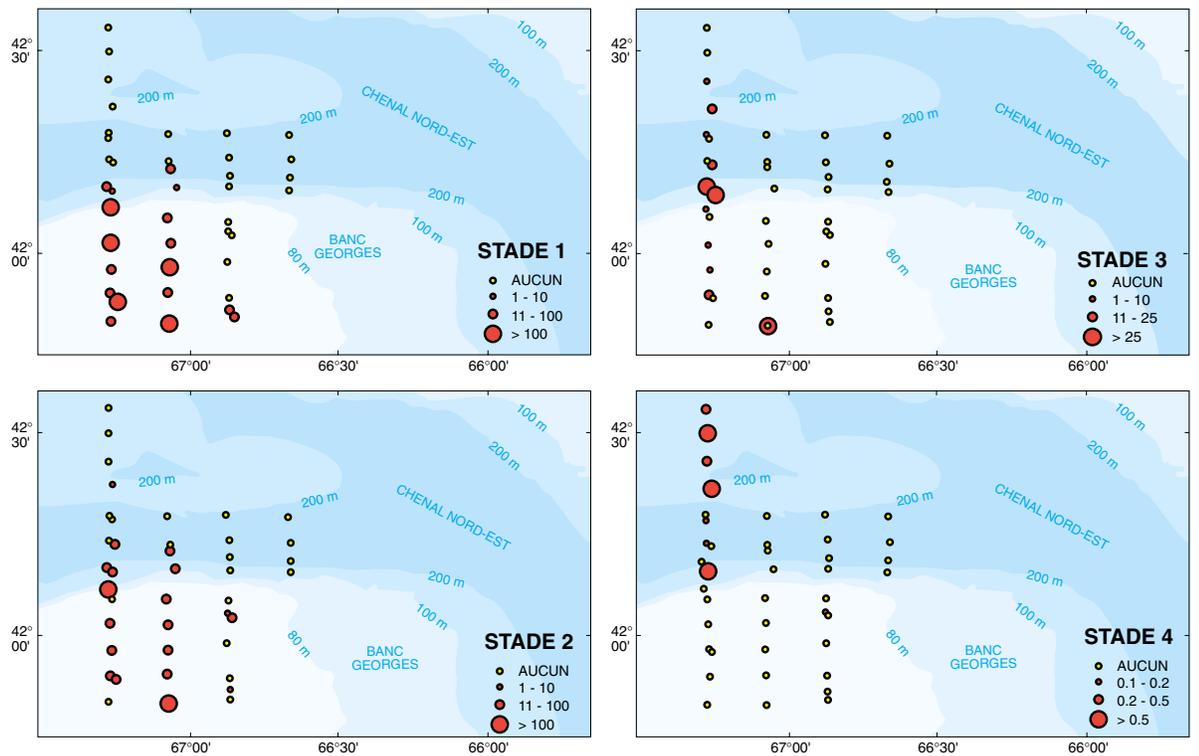


Figure 5 : Distribution de l'abondance des larves de homard par stade de développement (nombre/1000m²) dans une étude menée du 14 au 30 juillet 1989 dans la zone frontale, avec traits obliques échelonnés du chalut Vass-Tucker de 50 m ou du fond jusqu'à la surface.

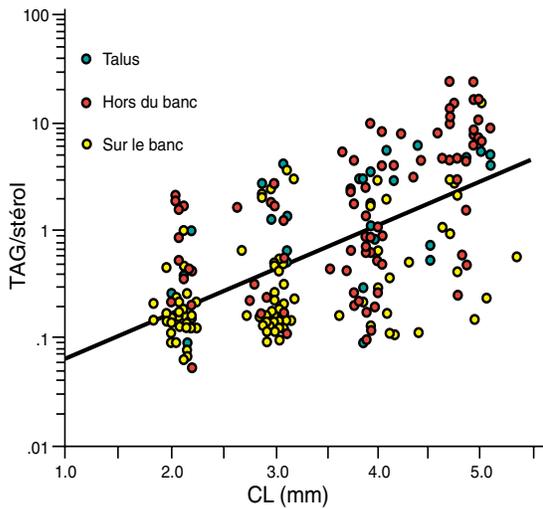


Figure 6 : Indice de condition lipidique (ratio du poids de triacylglycérol [TAG] au stérol) de larves de homard recueillies sur le banc Georges, le long de la bordure du banc et dans les eaux du golfe du Maine à proximité du banc Georges, en juillet 1989.

couche supérieure de 0,15 m pour descendre entre 0,3 et 1,3 m, cela dans les eaux du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse. Retenant cette hypothèse d'une distribution peu profonde des larves, nous avons mis au point le chalut Vass-Tucker pour échantillonner de façon discontinue les larves de homard dans la couche subsuperficielle (fig. 2).

L'année suivante, nos travaux ont porté sur la description des distributions verticales des larves de homard sur le banc Browns. Nous avons trouvé que les larves du stade I migraient entre une profondeur de 15 à 30 mètres le jour et la couche supérieure de 10 mètres la nuit, mais qu'une faible proportion de cette population était présente en tout temps dans la couche supérieure d'un mètre pendant la journée (fig. 3). Nous avons trop rarement capturé des larves des stades II et III pour établir leurs régimes de migration verticale, mais les résultats permettent de penser qu'il y a moins de déplacement vertical qu'au stade I. Les premiers travaux expérimentaux semblent indiquer qu'immédiatement après la mue, les larves du stade I sont attirées par la lumière, mais ce phénomène s'inverse le deuxième jour, ce qui expliquerait pourquoi il y a toujours quelques larves du premier stade près de la surface pendant la journée. De plus, la restriction verticale des larves de homard à la partie supérieure de la couche de mélange a été confirmée par des études de laboratoire portant sur des gradients verticaux de température (Boudreau et al., 1992). Les larves du stade IV ont été capturées presque uniquement dans la couche superficielle d'un mètre au-dessus du banc Browns, sans différence notable dans l'abondance entre le jour et la nuit. La prédominance des homards du stade IV dans des

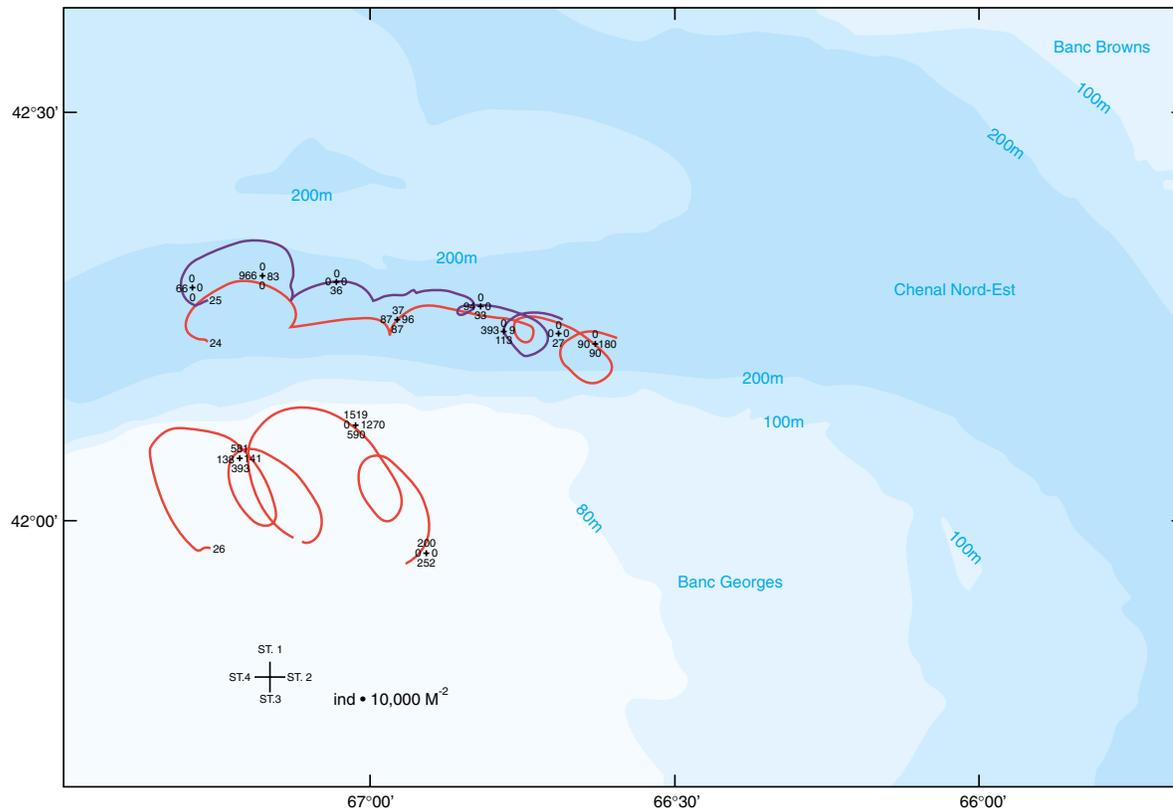


Figure 7 : Déplacement de flotteurs Loran-C maintenus à une profondeur de 10 m par des drogues et abondance moyenne des larves de homard par stade de développement à partir de trois traits de chaluts répétés à divers endroits le long de la trajectoire des flotteurs, du 27 au 29 juillet 1989.

relevés antérieurs des eaux de surface au large, au sud-ouest de la Nouvelle-Écosse, pourrait maintenant s'expliquer par leur présence constante, jour et nuit, dans la couche superficielle d'un mètre, bien qu'à l'occasion quelques individus se retrouvent pendant la journée dans toute la partie supérieure de la couche de mélange. Cette distribution superficielle vient contredire nos observations antérieures réalisées dans les eaux claires du golfe du Maine, où les larves du stade IV descendaient au-dessous de la couche superficielle d'un mètre pendant la journée. Ce phénomène n'a pas été observé à la station du banc Georges, où les larves des stades III et IV étaient également abondantes dans les échantillons de surface prélevés de jour et de nuit.

En 1987, le relevé des larves de homard entre les bancs Browns et Georges ne présente pas les limitations des études menées antérieurement au large, qui peuvent avoir manqué des portions importantes de la population au-dessous de la couche superficielle d'un mètre. Des homards des stades I et II ont été observés sur le banc Browns ou à proximité (moins de 200 m de profondeur) et sur le banc Georges (moins de 100 m de profondeur) du milieu à la fin de juillet (fig. 4). Les stades II étaient très rares, et les stades III et IV complètement absents sur le banc Browns, ce qui concordait avec des observations antérieures sur le calendrier du cycle saisonnier sur ce banc. Par contre, les homards des stades III et IV étaient présents près du banc Georges en plus grande abondance, comme prévu, étant donné que le moment de l'éclosion est plus hâtif dans le sud. La distribution des homards du stade IV était toutefois centrée le long du talus nord du banc Georges, et quelques individus étaient présents dans le golfe du Maine lui-même. L'étude du front menée en 1989 sur le banc Georges confirme ces résultats, car les homards des stades I et II ont été capturés presque entièrement au-dessus du banc, tandis que ceux du stade III se trouvaient plutôt à la périphérie du banc, et ceux du stade IV complètement à l'extérieur du banc (fig. 5). C'est chez les larves du stade IV qu'apparaît la nage dirigée. Les homards du stade IV peuvent donc soit nager activement pour traverser le front de marée du nord, soit être emportés au large du banc par un tourbillon ou par l'action des vents sur les eaux de surface, ou encore être emportés en aval de la région du cap Cod, où les conditions thermiques favorisent un développement rapide. Les forces des marées près du banc Georges et la circulation superficielle saisonnière du golfe du Maine contribuent à créer un courant longitudinal ou "jet", orienté vers l'est, dont la vitesse peut atteindre 50 cm par seconde pendant les mois d'été (Loder et al., 1993).

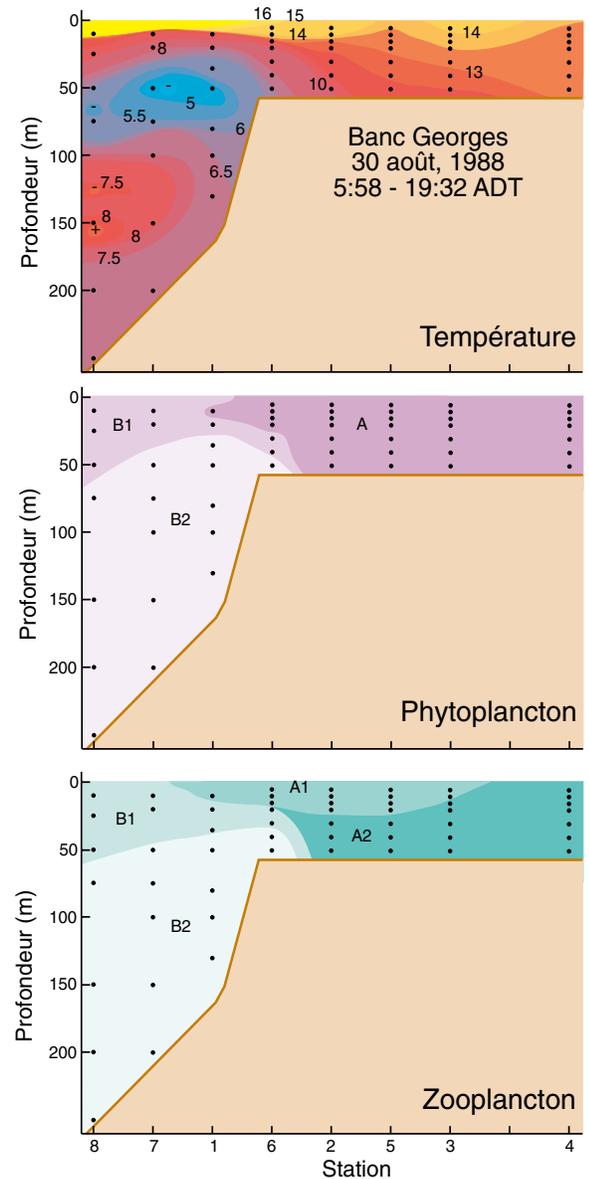


Figure 8 : Distribution de la température et des communautés de phytoplancton et de zooplancton en travers de la bordure nord du banc Georges, 30 août 1988.

Certains indices semblent montrer nettement qu'au moins au stade IV, dernier stade planctonique, les homards peuvent dans une certaine mesure déterminer où ils s'établissent. On a montré que les larves de homard s'orientent selon le courant en laboratoire (Ennis, 1986), et des données recueillies sur le terrain autour des îles de la Madeleine indiquent que les homards des stades I-III se distribuent selon des centres différents des larves nageuses du stade IV, ce qui concorde avec les résultats que nous avons obtenus près du banc Georges (Hudon et al., 1986). Cobb et al. (1989) ont observé des larves du stade IV qui nageaient en direction du nord (NW à NE; moyenne de 37 degrés) à une vitesse moyenne de 18 cm par seconde (7-24 cm par

seconde) dans les eaux côtières du passage de l'île Block, au large du Rhode Island. Sasaki (1984) estime que les réserves énergétiques de homards sauvages du stade IV permettraient aux larves de nager de façon continue pendant 5 jours. Toutefois, les homards du stade IV ne nagent pas en continu dans les bassins expérimentaux, et des observations de terrain indiquent la présence de nourriture dans leur intestin tant le jour que la nuit (Juinio et Cobb, 1992). On a observé que les homards du stade IV s'arrêtent pour se nourrir d'insectes flottants en mer (Cobb et al., 1989). Katz et al. (1994) ont intégré le déplacement natatoire des homards du stade IV dans un modèle de dispersion du large vers les côtes dans les eaux du Rhode Island.

Nous avons identifié et quantifié les lipides chez nos larves de homard pour évaluer la santé et la viabilité présumées des spécimens capturés en 1988 et 1989 sur le banc Georges et à proximité. Les triacylglycérols constituent le principal lipide de réserve chez les embryons et les larves de homard, et leur présence reflète ultérieurement l'histoire alimentaire de l'organisme, car ils sont utilisés dans des conditions d'inanition (Sasaki, 1984). Les stérols, par contre, sont essentiellement des composantes structurales des membranes cellulaires, et demeurent pratiquement inchangés après 5 à 6 jours d'inanition. Le rapport des triacylglycérols (réserve) sur les stérols (structure) donne de bons résultats comme indice de condition des larves de homard, ce qui permet d'éviter la dépendance de la teneur en triacylglycérols à l'égard de la taille de la larve. Nous avons comparé les ratios triacylglycérols/stérols des larves résidant sur le banc Georges à ceux de larves prélevées soit à la périphérie du banc soit dans le golfe du Maine (fig. 6). Les larves de homard des stades III et IV résidant à l'extérieur du banc présentaient des rapports triacylglycérols/stérols nettement plus élevés que leurs homologues capturés au-dessus du banc Georges, tant en 1988 qu'en 1989. Nous n'avons pas trouvé de larves des stades I et II à l'extérieur du banc en 1988, mais les quelques larves recueillies à la périphérie du banc en 1989 présentaient des rapports triacylglycérols/stérols nettement plus élevés que la grande majorité de la population capturée sur le banc. Cela permet de penser soit que les conditions trophiques des larves étaient meilleures à l'extérieur du banc, soit que l'évitement des prédateurs forçait les larves à utiliser plus d'énergie sur le banc. Cette dernière hypothèse semble plus plausible à ce moment de l'année parce que le banc fourmille alors de gammarus (*Gammarus annulatus*), de sagittas (*Sagitta elegans*), etc., et de poissons

planctophages comme l'orphie (*Scomberesox saurus*), le lançon (*Ammodytes americanus*), etc., tandis que la production biologique a considérablement ralenti dans le centre du golfe du Maine aux niveaux trophiques inférieurs après l'établissement dans les eaux de surface d'une forte stratification estivale (Sissenwine et al., 1984).

Les courants peuvent aussi contribuer à éloigner les larves du banc Georges. L'imagerie satellitaire, par exemple, montre parfois des panaches d'eau qui s'échappent par le rebord septentrional du banc Georges jusque dans le golfe du Maine. Les vents forts peuvent pousser l'eau et les larves à l'extérieur du banc, comme le montre le pistage des bouées dérivantes. Par exemple, le 23 août 1988, quatre bouées mises à l'eau à la bordure nord du banc ont été pistées pendant 3 jours, pendant lesquels des vents d'est soufflaient à des vitesses allant jusqu'à 12 m par seconde. Trois des quatre bouées se sont déplacées vers le nord en s'éloignant du banc et en remontant le vent dans la direction du courant dominant. Si les tourbillons et les vents peuvent transporter les larves de homard vers le nord, il faut se souvenir que ces processus ne sont pas continus, mais ne se produisent qu'occasionnellement. Par exemple, en juillet et août 1988, pendant cinq autres déploiements de 2 à 4 bouées dérivantes chacun, les bouées, qui ont été pistées pendant plusieurs jours, n'ont pas quitté le banc. Entre le 14 et le 29 juillet 1989, 28 flotteurs Loran-C maintenus à 10 m par des drogues, et 14 flotteurs de surface ARGOS, ont maintenu leur position soit sur le banc soit à l'extérieur, ou à l'occasion se sont déplacés de la bordure nord jusque sur le banc. Pendant deux des déploiements, on a analysé l'abondance des larves de homard à proximité immédiate de six flotteurs Loran-C pour déterminer s'il y avait des changements pendant les trois à quatre intervalles d'échantillonnage (fig. 7). Une altération considérable de la population de larves de homard a été notée pendant la période de dérive des trois flotteurs présents sur le banc, tandis qu'aucune différence n'a été observée à proximité immédiate des trois flotteurs lâchés dans le golfe du Maine. Cette dernière population était dominée par les stades plus avancés, tandis que la population se trouvant sur le banc consistait principalement en homards des stades I et II. Une des raisons qui pourraient expliquer pourquoi les flotteurs lâchés à l'extérieur du banc ont mieux permis de suivre la population de larves est le fait que les larves des derniers stades ne connaissent pas une migration verticale quotidienne aussi marquée, et que c'est donc la drogue installée à 10 m qui rendait le mieux compte de leur dérive. Par ailleurs, on sait que les homards du stade I se tiennent principalement

entre 15 et 30 m pendant le jour, et au-dessus de la limite de 10 m pendant la nuit sur le banc Browns, qui est tout proche. Il est donc moins probable que leurs déplacements correspondent à celui des flotteurs drogués à 10 m.

Nous avons aussi tiré de l'information des assemblages de plancton présents le long de la zone frontale sur le banc Georges, comme le montre un transect effectué en août 1988 (fig. 8). Dans le cadre du haut, la forte stratification estivale du golfe du Maine, représentée par le gradient thermique abrupt de la couche supérieure de 30 à 50 m, se dissipe graduellement au-dessus du banc à cause de la turbulence causée par les marées dans la zone frontale du banc Georges. Le front se trouvait près de la station 4 pendant ce transect. La répartition du phytoplancton et celle du zooplancton étaient semblables, ce qui montre que la plus grande mobilité verticale des gros organismes ne modifiait pas de façon substantielle la répartition des espèces. Une association existait sur le banc (désignée par le patron A), qui peut se subdiviser en une composante proche de la surface (A1) et une composante plus profonde (A2) dans le cas du zooplancton, et qui s'étend de la zone bien brassée par les marées jusqu'à proximité de la bordure du banc le long du fond, mais par-dessus la bordure dans les eaux plus superficielles. L'association du golfe du Maine peut de la même façon se subdiviser en une composante peu profonde (B1) et une composante profonde (B2). Ce régime du plancton sur le banc (A) correspond à nos observations de la distribution des homards des stades I et II, mais ne rend pas compte de la plus grande abondance des stades III et IV dans la zone B1 au large du banc.

Plus récemment, de 1996 à aujourd'hui, nous avons orienté nos efforts vers des expériences sur la dérive des larves à l'aide de drogues pistées par satellite et par échantillonnage des larves à différents endroits entre les bancs Georges, Browns et Germain et les eaux côtières du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse. Cette phase va culminer avec la modélisation de la dérive des larves à l'aide d'un modèle de la circulation du golfe du Maine qui rendra compte des courants induits par la densité et par les marées et du champ de vent moyen d'été (vitesse et direction). Ces résultats, combinés à l'information sur la libération, le développement, la dérive et la nage des larves serviront à prédire où se trouvent les zones d'établissement des homards dans le golfe du Maine. Les prédictions sur l'établissement fourni par le modèle seront évaluées par 1) la comparaison avec les trajectoires observées des flotteurs, 2) la distribution connue des homards

du stade IV, fin de la phase planctonique; 3) la concordance avec les principales zones de pêche du homard.

Références

- Boudreau, B., Y. Simard, & E. Bourget. (1992). Behavioural responses of the planktonic stages of the American lobster *Homarus americanus* to thermal gradients and ecological implications. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 76: 13-23.
- Campbell, A. & D. S. Pezzack. (1986). Relative egg production and abundance of berried lobsters, *Homarus americanus*, in the Bay of Fundy and off southwestern Nova Scotia. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43: 2190-2196.
- Cobb J.S., Wang D., Campbell D.B., Rooney, P. (1989). Speed and direction of swimming by postlarvae of the American lobster. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 118:82-86.
- Ennis G. (1986). Swimming ability of larval American lobsters, *Homarus americanus*, in flowing water. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43:2177-2183.
- Harding, G.C., K.F. Drinkwater & W.P. Vass. (1983). Factors influencing the size of American lobster (*Homarus americanus*) stocks along the Atlantic coast of Nova Scotia, Gulf of St. Lawrence, and Gulf of Maine: a new synthesis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40: 168-184.
- Harding, G.C. & R.W. Trites. (1988). Dispersal of *Homarus americanus* larvae in the Gulf of Maine from Browns Bank. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45: 416-425.
- Hudon, C., P. Fradette & P. Legendre. (1986). La répartition horizontale et verticale des larves de homard (*Homarus americanus*) autour des îles de la Madeleine, golfe du Saint-Laurent. *J. can. sci. aquat. hal.* 43: 2164-2176.
- Junio, M.A.R. & J.S. Cobb. (1992). Natural diet and feeding habits of the postlarval lobster *Homarus americanus*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 85: 83-91.
- Katz, C.H., Cobb J.S., Spaulding M. (1994). Larval behavior, hydrodynamic transport, and potential offshore-to-inshore recruitment in the American lobster *Homarus americanus*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 103:265-273.
- Lawrence, D.J. & R.W. Trites. (1983). Surface oil trajectory modelling for Georges and Browns Banks. *Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci.* 29: 30p.
- Loder, J.W., K.F. Drinkwater, N.S. Oakey & E.P.W. Horne. (1993). Circulation, hydrographic structure and mixing at tidal fronts: the view from Georges Bank. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A* 343: 447-460.
- Rogers, B.A., J.S. Cobb & N. Marshall. (1968). Size comparisons of inshore and offshore larvae of the lobster, *Homarus americanus*, off southern New England. *Proc. Nat. Shellfish Assoc.* 58: 78-81.

Sasaki, G.C. (1984). Biochemical changes associated with embryonic and larval development in the American lobster *Homarus americanus* Milne Edwards. PhD. thesis, MIT/WHOI, WHOI-84-8: 457p.

Sissenwine, M.P., E.B. Cohen & M.D. Grosslein. (1984). Structure of the Georges Bank ecosystem. Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer 183: 243-254.

Stasko, A.B. (1977). Lobster larvae on the Scotian shelf. Can. Atl. Fish. Sci. Adv. Comm. Res. Doc. 77/31: 9p.

Stasko, A.B. (1978). Inshore-offshore SW Nova Scotia lobster stock interaction: a hypothesis. Can. Atl. Fish. Sci. Adv. Comm. Res. Doc. 78/37: 10p.

Stasko, A.B. & Gordon D.J. (1983). Distribution and relative abundance of lobster larvae off southwestern Nova Scotia 1977-1978. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1175:23p.

Watson, F. & R.J. Miller. (1991). Distribution of lobster larvae on the Scotian shelf: 1978-1981. Can. Tech.Rep.Fish. Aquat. Sci. 1801: 21p.

Organisation et personnel

L'Institut océanographique de Bedford (IOB), le Centre des pêches du Golfe (CPG) et la Station de biologie de St. Andrews (SBSA) sont les établissements de recherche du gouvernement du Canada administrés par le ministère des Pêches et des Océans (MPO) pour son propre compte et, dans le cas de l'IOB, pour les deux autres ministères fédéraux qui ont des laboratoires et des groupes de recherche à l'Institut : Ressources naturelles Canada (RNCan) et Environnement Canada, dont le premier est représenté à l'IOB par une grande unité de recherche, la Commission géologique du Canada - Atlantique. L'IOB loue aussi des locaux à plusieurs sociétés et agences privées qui mènent des travaux en rapport avec les sciences de la mer.

Vous trouverez ci-dessous les noms des gestionnaires des divisions scientifiques du MPO/ Région des Maritimes, des groupes de recherche de RNCan et d'EC à l'IOB, et d'autres unités du MPO qui avaient du personnel à l'IOB au moment de la compilation (septembre 1998). L'adresse du gestionnaire est indiquée entre parenthèses après le numéro de téléphone (MC - Maritime Centre à Halifax; QS - Queen Square à Dartmouth). Une liste du personnel suit, dans laquelle le groupe pour lequel la personne travaille est inscrit sous forme abrégée après son nom : les abréviations utilisées sont définies dans la liste des groupes ci-dessous.

Pêches et Océans Canada **Région des Maritimes**

Directeur général régional

N.A. Bellefontaine
(902) 426-2581 (MC)

SCI- Direction générale des sciences

J.S. Loch, directeur régional
(902) 426-3492 (IOB)

R.E. Lavoie, directeur adjoint
(902) 426-2147 (IOB)

SCI.1 - Division de l'aquaculture
T.W. Sephton, gestionnaire (et directeur, station de biologie de St. Andrews)
(506) 529-5860 (SABS)

SCI.2 - Service hydrographique du Canada (Atlantique)
C. Stirling, directeur adjoint
(902) 426-3497 (IOB)

SCI.3 - Division des poissons diadromes
J.A. Ritter, gestionnaire
(506) 851-2945 (GFC)
(902) 426-3136 (MC)

SCI.4 - Division de la gestion de l'habitat
B.D. Thompson, gestionnaire
(902) 426-1510 (MC)

SCI.5 - Division des pêches des invertébrés
E.M.P. Chadwick, gestionnaire (et coordonnateur du site des sciences, GFC)
(506) 851-6206 (GFC)

SCI.6 - Direction des sciences du milieu marin
P.D. Keizer, gestionnaire
(902) 426-6138 (IOB)

SCI.7 - Division des poissons marins
M. Sinclair, gestionnaire
(902) 426-4890 (IOB)

SCI.8 - Division de l'océanographie
R.A. Clarke, directeur adjoint
(902) 426-4872 (IOB)

SCI.9 - Bureau de coordination de la Loi sur les océans
F.G. Scattolon, directeur
(902) 426-2065 (IOB)

SCI.10 - Planification et coordination des programmes
R.A. Eisner, gestionnaire
(902) 426-7564 (IOB)

SCI.11 - Bureau du processus consultatif régional
R.N. OBoyle, coordonnateur
(902) 426-3526 (IOB)

FIN - Direction générale des finances et de l'administration

Line M. Thibeau, directrice régionale
(902) 426-2177 (MC)

FIN.1 - Division de la gestion des actifs
Mark Chin-Yee, chef adjoint
(902) 426-4385 (IOB)

FIN.2 - Division des services de bibliothèque
A.R. Fiander, chef
(902) 426-3675 (IOB)

COM - Direction générale des communications

A.-M. Lanteigne, Direction régionale
(506) 851-7757 (GFC)

INF - Direction générale de l'informatique

J.E. Doucet, directeur régional
(902) 426-2452 (MC)

INF.1 - Division des services d'application
T.H. Wagg, chef
(902) 426-9315 (MC)

INF.2 - Division des services technologiques
D.M. Porteous, chef
(902) 426-2452 (IOB)

GCC - Garde côtière du Canada

L.J. Wilson, directeur régional adjoint
(902) 426-3907 (Base GCC, Dartmouth)

GCC.1 - Programmes maritimes
J. Calvesbert, directeur adjoint
(902) 426-9022 (Base GCC, Dartmouth)

GCC.2 - Services opérationnels
M. Cusack, directeur
(902) 426-6146 (QS)

GCC3 - Services de soutien technique
D. Parkes, directeur
(902) 426-3939 (Base GCC, Dartmouth)

Ressources naturelles Canada

CGC - Commission géologique du Canada - Atlantique

J. Verhoef, directeur
(902) 426-3448 (IOB)

CGC.1 - Géosciences - Ressources marines
K.D. McAlphine, chef
(902) 426-2730 (IOB)

CGC.2 - Géosciences - Milieu marin
D. Pickrill, chef
(902) 426-5387 (IOB)

CGC.3 - Géosciences - Région des Maritimes
M. Williamson, chef
(902) 426-3126 (IOB)

CGC.4 - Administration
G. McCormack, chef
(902)-2111 (IOB)

Environnement Canada Région de l'Atlantique

Direction générale de la protection de
l'environnement

EC - Section des mollusques et crustacés

A. Menon, chef
(902) 426-9003 (QS)

Liste du personnel

Nom de famille	Prénom	Initiales	Affiliation
Abriel	James	H	(SCI.6)
Aiken	David	E	(SCI.1)
Aitken	Doug	J	(SCI.3)
Akagi	Hugh	M	(SCI.6)
Alexander	Ross	D	(SCI.6)
Allen	Mary	A	(SCI.3)
Amirault	Byron	P	(SCI.6)
Amiro	Peter	G	(SCI.3)
Amos	Carl	L	(CGC.2)
Anderson	Bruce		(SCI.2)
Anderson	Debbie	L	(SCI.6)
Anderson	Judy	CR	(SCI.3)
Anderson	Leroy	A	(SCI.3)
Anstey	Carol	M	(SCI.6)
Archibald	Chris	A	(INF.2)
Armsworthy	Shelley	L	(SCI.6)
Arsenault	Jacqueline	T	(SCI.6)
Ascoli	Piero		(CGC.1)
Asprey	Ken	A	(CGC.2)
Atkinson	Anthony	S	(CGC.2)
Atkinson	Gary		(SCI.3)
Avery	Jane		(SCI.9)
Avery	Mike	P	(CGC.1)
Bacon	Greg		(SCI.1)
Bajona	Lenore		(INF.1)
Baker	Lloyd		(CCG.3)
Bastien-Daigle	Sophie		(SCI.9)
Bates	Jennifer	LE	(CGC.1)
Bates	Stephen	S	(SCI.6)
Beals	Carol	A	(SCI.2)
Beanlands	Dianne	I	(SCI.7)
Beaver	Darrel	E	(CGC.1)
Beckershoff	Ralph	A	(SCI.2)
Bentham	Kelly		(GCC.3)
Bernier	Manon	M	(GCC.2)
Best	Brenda	J	(SCI.1)
Bewers	J	Mike	(SCI.6)
Biron	Michel		(SCI.5)
Black	Gerry	AP	(SCI.5)
Black	Jerry	AP	(SCI.7)
Blair	Tammy	J	(SCI.1)
Blaney	Dave		(SCI.2)
Blasco	Steve	M	(CGC.2)
Blondeau	Denis		(INF.2)

Nom de famille	Prénom	Initiales	Affiliation
Boston	Linda	D	(SCI.1)
Bourbonnais	Cynthia	M	(SCI.6)
Bourque	Clarence	J	(SCI.7)
Bourque	Micheline		(INF.2)
Boutiler	Ross	R	(CGC.3)
Bowen	Don	WD	(SCI.7)
Boyce	Austin	W	(CGC.2)
Boyd	Cheryl	J	(CGC.4)
Bradford	Brenda	C	(SCI.1)
Bradford	Jim		(SCI.2)
Branton	Bob	M	(SCI.7)
Brine	Doug	P	(INF.2)
Brinson	C	Dan	(GCC.2)
Brown	Carolyn	G	(CGC.4)
Buckley	Dale	E	(CGC.2)
Burgess	Frank	H	(SCI.2)
Burke	Bob	G	(SCI.2)
Burke	Garry	P	(GCC.2)
Burke	Robert		(SCI.2)
Burrige	Les	E	(SCI.6)
Butler	Maureen	AE	(SCI.5)
Buzeta	Marie	Ines	(SCI.7)
Cairns	David	K	(SCI.3)
Caissie	Daniel		(SCI.3)
Caissie	Dorice	M	(SCI.6)
Cameron	Paul	M	(SCI.3)
Campana	Steve	E	(SCI.7)
Campbell	Malcolm	I	(SCI.1)
Campbell	Robert	E	(SCI.5)
Caracristi	Henry	B	(SCI.3)
Carmichael	Fred	H	(SCI.2)
Carney	Carla	S	(SCI.1)
Castell	John	D	(SCI.1)
Chénier	Marcel	JN	(SCI.2)
Chadwick	Michael	E	(SCI.5)
Chang	Blythe	D	(SCI.1)
Chapman	Borden	C.	(CGC.2)
Chaput	Gerald	J	(SCI.3)
Chestnut	Harold (Bert)	A	(GCC.2)
Chou	Chiu	L	(SCI.6)
Chouinard	Ghislain	A	(SCI.7)
Christian	Harold	A.	(CGC.2)
Clark	Kirsten	J	(SCI.7)
Clarke	Don	S	(SCI.7)
Clarke	R	Allyn	(SCI.8)
Clattenburg	Donald	A.	(CGC.2)
Clayton	Victoria	C	(SCI.5)

Nom de famille	Prénom	Initiales	Affiliation
Claytor	Ross	R	(SCI.7)
Clement	Pierre	M	(SCI.6)
Cochrane	Norman	A	(SCI.8)
Coffin	Seve		(FIN.1)
Coflin	Kevin	C	(CGC.1)
Cole	Fiona	E	(CGC.2)
Colford	Brian		(FIN.1)
Colford	Brian		(FIN.1)
Coll	Rhonda		(FIN.2)
Coll	Rhonda		(FIN.2)
Collette	Phyllis		(SCI.4)
Collier	Katherine	J	(SCI.8)
Collins	Gary	X	(INF.2)
Collins	Lori		(FIN.2)
Collins	Lori		(FIN.2)
Collins	Mike	B	(SCI.2)
Comeau	Michel		(SCI.5)
Comeau	Peter	A	(SCI.7)
Conlon	Jim	H	(SCI.3)
Conrod	John	M	(SCI.8)
Cooke	David	R	(GCC.3)
Coolen	Christopher		(SCI.2)
Cormier-Murphy	Paryse		(SCI.1)
Cosgrove	Art	D	(GCC.3)
Costello	Gerard	J	(SCI.2)
Courtenay	Simon	C	(SCI.6)
Courtney	Robert	C	(CGC.3)
Covey	Michele	D	(SCI.5)
Craft	Andrew		(SCI.2)
Craig	Chris		(EC)
Cranford	Peter	J	(SCI.6)
Cranston	Ray	E	(CGC.2)
Crilley	Bernie	J	(CGC.1)
Crowell	Victor	E	(SCI.3)
Crux	Elizabeth	A	(SCI.2)
Cunningham	John		(SCI.2)
Currie	Claudia	G	(CGC.3)
Currie	David	A	(SCI.3)
Currie	Linda	G	(SCI.7)
Currie	Randy	J	(CGC.3)
Currie	Ted		(SCI.4)
Cuthbert	Jim	G	(INF.2)
d'Entremont	Paul		(SCI.8)
Daigle	Doris		(SCI.7)
Daigle	Marie	M	(SCI.3)
Dale	Carla	E	(SCI.9)
Dalziel	John	A	(SCI.6)

Nom de famille	Prénom	Initiales	Affiliation
Davidson	Kevin	G	(SCI.3)
Davidson	Leslie-Ann	J	(SCI.1)
Decker	Terry	K	(SCI.7)
Degrâce	Pierre		(SCI.5)
Dehler	Sonya	A	(CGC.3)
Dennis	Pat	E	(CGC.4)
Despres	Yves		(SCI.10)
DeTracey	Brendan	M	(SCI.8)
DeWolfe	Joan		(FIN.1)
Dickie	Lloyd	M	(SCI.6)
Dickie	Paul	M	(SCI.8)
Dines	Elizabeth (Casey)		(SCI.1)
Dobson	Fred	W	(SCI.8)
Doiron	Adele		(SCI.8)
Donaldson	Gilbert	W	(SCI.7)
Doyle	Tammy		(SCI.2)
Drinkwater	Ken	F	(SCI.8)
Dugas	Teresa	C	(SCI.2)
Duggan	Dave	R	(SCI.5)
Duggan	Ron	E	(SCI.5)
Dunphy	Paul	M	(INF.2)
Dupuis	Hélène	MC	(SCI.4)
Eagles	Michael	D	(SCI.5)
Earle	Michael		(SCI.2)
Edwardson	Kimberley	A.	(CGC.2)
Eisner	Richard	A	(SCI.10)
Elliott	Jim	A	(SCI.8)
Ellis	Kathy	M	(SCI.6)
Fader	Gordon	BJ	(CGC.2)
Fairchild	Wayne	L	(SCI.6)
Fanning	Paul	L	(SCI.7)
Farrell	Wanda	M	(SCI.7)
Faulkner	Russell		(FIN.1)
Fennell	Janice	M	(SCI.7)
Fennell	Jim		(SCI.7)
Fensome	Rob	A	(CGC.1)
Ferguson	Ernest		(SCI.4)
Fiander	Anna	R	(FIN.2)
Fiander	Anna	R	(FIN.2)
Fife	Jack	F	(SCI.7)
Fisher-Adams	Carmelita		(CGC.3)
Fitzgerald	Robert	A.	(CGC.2)
Fitzgibbons	Daniel	J	(INF.2)
Folwarczna	Grazyna		(SCI.6)
Forbes	Donald	L	(CGC.2)
Forbes	Stephen	R	(SCI.2)
Forest-Gallant	Isabelle		(SCI.7)

Nom de famille	Prénom	Initiales	Affiliation
Forgeron-Smith	Rod		(INF.2)
Fowler	George	A	(SCI.8)
Fowler	Mark	G	(SCI.7)
Frank	Ken	T	(SCI.7)
Fraser	Claudine		(SCI.2)
Fredericks	Judy	A	(INF.2)
Freeman	Ken	R	(SCI.1)
Frenette	Bruno		(SCI.1)
Frizzle	Doug		(SCI.2)
Frobel	David	H	(CGC.2)
Fry	Glen		(GCC.3)
Gale	Jim		(INF.1)
Gallagher	Sandra	J	(INF.2)
Gallant	Roger		(GCC.3)
Gammon	Gary	W	(FIN.1)
Gautreau	Rita		(SCI.5)
Gavaris	Stratis		(SCI.7)
Geddes	Dianne	E	(SCI.11)
Geshelin	Yuri		(SCI.8)
Giles	Peter	S	(CGC.3)
Gillam-Locke	Sharon	L	(SCI.8)
Gilles	Olivier		(SCI.1)
Girouard	Paul	R	(CGC.3)
Godin	Carole		(SCI.9)
Goff	Trevor	R	(SCI.3)
Gordon	Donald	C	(SCI.6)
Gorveatt	Mike	E	(CGC.2)
Graham	Deborah	A	(GCC.2)
Grant	Alan	C	(CGC.1)
Grant	Gary	M	(CGC.1)
Greenan	Blair		(SCI.8)
Greenberg	David	A	(SCI.8)
Gregory	Doug	N	(SCI.8)
Griffin	Jonathan		(SCI.2)
Guitar	Randy	M	(SCI.3)
Guyomard	Leslie	A	(SCI.2)
Hébert	Louise		(SCI.9)
Hébert	Marcel		(SCI.5)
Haché	Denis		(SCI.4)
Hackett	Jennifer		(SCI.9)
Hacquebard	Peter	A	(GSC.1)
Haines	Brian	K	(SCI.6)
Hale	Ken	G	(CGC.1)
Hall	Tim		(SCI.9)
Halliday	Ralph	G	(SCI.7)
Hamilton	Anita	E	(SCI.4)
Hamilton	Jim	M	(SCI.8)

Nom de famille	Prénom	Initiales	Affiliation
Hammond	Judy		(SCI.2)
Han	Guoqi		(SCI.8)
Hannah	Charles		(SCI.8)
Hanson	Mark	J	(SCI.5)
Hanway	James		(SCI.2)
Hardie	Peter	M	(SCI.3)
Harding	Gareth	C	(SCI.6)
Hardy	Iris	A.	(v.1)
Hargrave	Barry	T	(SCI.6)
Harmes	Robert	A	(CGC.2)
Harmon	Paul	R	(SCI.1)
Harris	Darrell	L	(SCI.1)
Harris	Leslie		(SCI.8)
Harrison	Glen	W	(SCI.8)
Hartling	Bert	AJ	(SCI.8)
Harvie	Carolyn	J	(SCI.3)
Hatt	Bette	H	(SCI.1)
Haya	Kats		(SCI.6)
Hayden	Helen	B	(SCI.8)
Hayes	Terry	A	(v.4)
Head	Erica	J	(SCI.8)
Hebert-Sellars	Joan	S	(FIN.1)
Heffler	David	E	(CGC.2)
Hellou	Jocelyne		(SCI.6)
Hemphill	Marc	J	(INF.2)
Henderson	Joni	M	(SCI)
Henderson	Terry	H	(CGC.4)
Hendry	Chris		(SCI.1)
Hendry	Ross	M	(SCI.8)
Hendsbee	David	L	(SCI.8)
Hepworth	Debbie	L	(SCI.2)
Herman	Alex	W	(SCI.8)
Hopkins	Jon		(CGC.2)
Horne	Edward	PW	(SCI.8)
Howes	Ken	G	(SCI.1)
Hublely	Phil	D	(SCI.3)
Hughes	Mike	D	(CGC.2)
Hunt	Joe	J	(SCI.7)
Hurlbut	Tom	R	(SCI.7)
Hurley	Peter	CF	(SCI.7)
Irwin	Brian	D	(SCI.8)
Isenor	Anthony	W	(SCI.8)
Jackson	Arthur	E	(CGC.1)
Jackson	Jeff	W	(SCI.8)
Jackson	Ruth	H	(CGC.3)
Jamieson	John	E	(GCC.2)
Jansa	Lubomir	F	(CGC.1)

Nom de famille	Prénom	Initiales	Affiliation
Jansen	Hans		(SCI.3)
Jay	Malcolm	L	(SCI.2)
Jefferson	Eric	M	(SCI.3)
Jessop	Brian	M	(SCI.3)
Jodrey	Fred	D	(CGC.2)
Johnson	Daisy	M	(SCI.3)
Johnston	Larry	B	(CGC.2)
Jollymore	Brian	H	(SCI.4)
Jones	E	Peter	(SCI.8)
Jones	Roger	N	(SCI.2)
Jones	Ross		(SCI.3)
Josenhans	Heiner	W	(CGC.2)
Joyce	Heather	M	(SCI.2)
Kearns	Timothy		(SCI.2)
Keating	Brian	CJ	(SCI.4)
Keen	Charlotte	E	(CGC.3)
Keizer	Paul	D	(SCI.6)
Kellow	David	FS	(SCI.8)
Kelly	Francis	G	(GCC.3)
Kenchington	Ellen	L	(SCI.5)
Kennedy	Eddy		(SCI.1)
Kennedy	Mary	K	(SCI.8)
Kepkay	Paul	E	(SCI.8)
Kew	Andrea		(SCI.1)
King	Graham		(SCI.2)
King	Thomas	L	(SCI.6)
Knox	Derek	J	(SCI.6)
Koeller	Peter	A	(SCI.5)
Koziel	Nelly		(CGC.1)
Léger	Claude	E	(SCI.6)
Lévesque	Maurice	R	(SCI.4)
LaCroix	Gilles	L	(SCI.6)
Lake	Paul	B	(GSC.1)
Lambert	Tim	C	(SCI.7)
Lamplugh	Mike	J	(SCI.2)
Landry	Marilyn	A	(SCI.8)
Landry	Thomas		(SCI.1)
Landsburg	Wade		(SCI.4)
Landsburg	Wade	A	(SCI.5)
Lanteigne	Marc		(SCI.5)
Lapierre	Richard		(GCC.3)
LaViolette	Glenda	E	(FIN.1)
Lavoie	René	E	(SCI)
Lawrence	Don	J	(SCI.8)
Lawrence	Kerry	B	(GCC.2)
Lawton	Peter		(SCI.5)
Lazier	John	RN	(SCI.8)

Nom de famille	Prénom	Initiales	Affiliation
Leadbetter	Jim	C	(SCI.4)
LeBlanc	Andrée		(SCI.1)
LeBlanc	Christopher		(SCI.2)
LeBlanc	Claude	H	(SCI.7)
LeBlanc	JoAnne		(FIN.1)
LeBlanc	Neil		(SCI.1)
LeBlanc	Paul		(SCI.3)
LeBlanc	Paul	H	(SCI.3)
LeBlanc	Rita	M	(SCI.7)
LeBlanc	Tommie	D	(SCI.1)
LeBlanc	William	H	(CGC.2)
Lee	Ken		(SCI.6)
Legault	John	A	(SCI.9)
LeGresley	Murielle		(SCI.6)
LeJeune	Dianne		(GCC.3)
Leonard	B(Bernie)	M	(GCC.2)
Leonard	Jim	D	(SCI.6)
Levac	Carol	M	(INF.2)
Lewis	Mike	CF	(CGC.2)
Li	Michael		(CGC.2)
Li	William	K	(SCI.8)
Lively	Bob		(SCI.8)
Lively	Robert	R	(SCI.8)
Loch	John	S	(SCI)
Locke	Andrea		(SCI.3)
Loder	John	W	(SCI.8)
Loewen	Lois		(FIN.2)
Loewen	Lois		(FIN.2)
Longard	David	A	(SCI.3)
Longmire	Robbie		(SCI.1)
Loring	Doug	H	(SCI.6)
Losier	Randy	J	(SCI.8)
Lundy	Mark	J	(SCI.5)
Lutzac	Tim	G	(SCI.3)
Lux	Muriel		(SCI.8)
Macdonald	Alastair		(SCI.8)
MacDonald	Barry		(SCI.5)
Macdonald	Barry		(SCI.1)
MacDonald	Bill	M	(SCI.3)
MacDonald	Kirk	A	(SCI.2)
MacDonald	Maureen		(CGC.2)
MacDonald	Melissa	A	(SCI)
MacDonald	Theresa	M	(GCC.2)
MacDougall	Colin	J	(SCI.7)
MacDougall	William		(GCC.2)
MacEachern	Bill	J	(SCI.7)
MacGowan	Bruce	W	(SCI.2)

Nom de famille	Prénom	Initiales	Affiliation
MacHattie	George		(GCC.3)
MacInnis	Charles		(SCI.4)
MacIntosh	Troy		(SCI.2)
MacIsaac	Kevin	G	(SCI.6)
MacKeigan	Kenneth	G	(SCI.6)
MacKinnon	Ann-Margaret	F	(SCI.1)
MacKinnon	William	G	(CGC.2)
MacLean	Brian		(CGC.2)
MacLean	Melanie	A	(SCI.4)
MacLeod	Grant	NJ	(SCI.2)
MacMillan	William	C	(CGC.1)
Macnab	Ron	F	(CGC.3)
MacNeil	Nancy	E	(INF.2)
MacNeill	Allan		(GCC.3)
Maillet	Andre		(GCC.1)
Mallet	Pierre		(SCI.5)
Manchester	Keith	S.	(CGC.2)
Mann	Kenneth	H	(SCI.6)
Marks	Linda	J	(SCI.7)
Marshall	Larry	T	(SCI.3)
Martell	Jim	H	(INF)
Martell	John	D	(SCI.1)
Martin	Jennifer	L	(SCI.6)
Martin	Jim	D	(SCI.1)
Martin	Maureen	A	(FIN.2)
Martin	Maureen	A	(FIN.2)
Martin-Robichaud	Debbie	J	(SCI.1)
Mason	Clive	S	(SCI.8)
Maxwell	Grace		(SCI.6)
Mazerall	Anne		(FIN.2)
Mazerall	Anne		(FIN.2)
Mazerall	Anne		(CGC.1)
McAlpine	Donald	K.	(CGC.1)
McCarthy	Clare		(SCI.2)
McCarthy	Dave	P	(SCI.2)
McCarthy	Paul	L	(SCI.2)
McClelland	Gary		(SCI.1)
McGladdery	Sharon	E	(SCI.1)
McGormack	George	M	(CGC.4)
McGregor	Rita		(GCC.3)
McKeown	David	L	(SCI.8)
McMillan	Jim	I	(SCI.7)
McNeil	Lisa	A	(SCI.8)
McQuaid	Shayne	L	(SCI.4)
McRae	Tara		(INF.2)
McRuer	Jeff	K	(SCI.7)
Melvin	Gary	D	(SCI.7)

Nom de famille	Prénom	Initiales	Affiliation
Merchant	Susan		(CGC.1)
Michele	LeBlanc		(SCI.4)
Middleton	Cecilia		(CGC.4)
Miller	Anne		(GCC.2)
Miller	Robert	O.	CGC.4)
Miller	Robert	J	(SCI.5)
Milligan	Timothy	G	(SCI.6)
Mitchell	Michel	R	(SCI.8)
Moeller	Dag		(SCI.1)
Moffatt	John	D	(SCI.6)
Mohn	Bob	K	(SCI.7)
Moir	Phil	N	(CGC.1)
Moody	Scott		(SCI.2)
Moore	David	S	(SCI.3)
Moran	Kathryn		(CGC.2)
Morgan	Sharon	P	(SCI.10)
Morin	Roderick		(SCI.7)
Moriyasu	Mikio		(SCI.5)
Morris	Pat		(FIN.1)
Morris	Richard	J	(INF)
Morrison	Carol		(SCI.1)
Morse	David		(GCC.3)
Mowbray	Fran	K	(SCI.3)
Mudie	Peta	J	(CGC.2)
Murphy	Jim	P	(SCI.7)
Murphy	Leaming		(SCI.4)
Murphy	Robert	J	(CGC.2)
Murphy	Dena	E	(SCI.9)
Murray	Michael		(SCI.3)
Myers	Carl		(COM)
Myers	Darlene		(FIN.1)
Myra	Valerie	M	(SCI.11)
Myres	Stanley		(GCC.3)
Myres	Steven		(GCC.3)
Needler	George	T	(SCI.8)
Neil	Steven		(SCI.1)
Neilson	Brian	S	(GCC.2)
Neilson	John	D	(SCI.7)
Nelson	Cecil	W	(SCI.7)
Nelson	Rick	WP	(SCI.6)
Nicholson	Dale		(SCI.2)
Nickerson	Bruce	M	(SCI.8)
Nielsen	Jess	A.	(CGC.2)
Niven	Sherry	EH	(SCI.6)
Nolan	Steve	C	(SCI.5)
Norton	Larry	G	(SCI.2)
Nowlan	Robert	J	(SCI.7)

Nom de famille	Prénom	Initiales	Affiliation
Nunn	Steven	G	(SCI.2)
O'Boyle	Robert	N	(SCI.11)
O'Keefe	Cathy		(SCI.2)
O'Neil	Shane	F	(SCI.3)
O'Neill	John	T	(INF.1)
O'Reilly	Charles	T	(SCI.2)
O'Reilly-Shrum	Rose Anne		(v.1)
O'Rourke	Michael		(GCC.3)
Oakey	Gordon	N	(CGC.3)
Oakey	Neil	S	(SCI.8)
Ochieng-Mitula	John		(SCI.1)
Oickle	Lloyd		(CCG.3)
Ouellette	Marc		(SCI.1)
Page	Fred	H	(SCI.8)
Palmer	Nick	J	(SCI.2)
Palmer	Richard		(SCI.2)
Parks	Paul		(SCI.2)
Parrott	Russell	D	(CGC.2)
Parsons	Stephen		(SCI.2)
Paterson	Sue	P	(INF.2)
Paul	Kenneth	D	(SCI.2)
Payzant	Linda	A	(SCI.8)
Pelkey	Robert	W	(SCI.3)
Perley	Greg		(SCI.3)
Perley	Peter	D	(SCI.7)
Perrie	William	A	(SCI.8)
Perry	Stephen	W	(CGC.3)
Peterson	Ingrid	K	(SCI.8)
Peterson	Richard		(SCI.1)
Petrie	Brian	D	(SCI.8)
Petrie	Liam	M	(SCI.8)
Pettipas	Roger		(SCI.8)
Pezzack	Doug	S	(SCI.5)
Phillips	Georgina	A	(SCI.6)
Phillips	Ted	F	(SCI.8)
Pickard	Russell	P	(SCI.3)
Pickrill	Richard (Dick)	A	(CGC.2)
Pietrzak	Bob	C	(SCI.2)
Piper	David	JW	(CGC.2)
Platt	Trevor	C	(SCI.8)
Poirier	Gloria	A	(SCI.7)
Poirier	Martina		(SCI.7)
Porteous	David	M	(INF.2)
Porter	Catherine		(SCI.8)
Porter	Julie	M	(SCI.7)
Power	Mike	J	(SCI.7)
Preston	William		(GCC.3)

Nom de famille	Prénom	Initiales	Affiliation
Price	Roderick	A	(SCI.3)
Prime	Wayne	A	(CGC.3)
Prinsenbergl	Simon	J	(SCI.8)
Prouse	Nick	J	(SCI.6)
Quick	Holly	A	(GCC.2)
Quon	Charlie		(SCI.8)
Randhawa	Vicki		(SCI.2)
Reid	Carmen		(GCC.3)
Reid	Jim	GG	(SCI.7)
Reid	Joan	P	(SCI.4)
Reid	John	C	(SCI.1)
Rhyno	Kevin	P	(GCC.2)
Richard	Gisèle	M	(SCI.5)
Richard	Bernard		(EC)
Ricketts	Troy		(SCI.2)
Ritchie	William	B	(SCI.4)
Ritter	John	A	(SCI.3)
Robert	Ginette		(SCI.5)
Robertson	Kevin	R	(CGC.2)
Robichaud	David	A	(SCI.5)
Robichaud	Guy		(SCI.5)
Robichaud	Louise	M	(SCI.5)
Robichaud /LeBlanc	Kim		(SCI.3)
Robinson	Shawn	MC	(SCI.1)
Rockett	Paula		(FIN.1)
Rockwell	Gary		(SCI.2)
Roddick	Dale	L	(SCI.5)
Rodger	Glenn	A	(SCI.2)
Rollin	Jeannine	M	(CGC.4)
Rommens	Melissa		(SCI.1)
Roop	Dave	M	(SCI.2)
Ross	Charlie	K	(SCI.8)
Ross	Jim	B	(SCI.4)
Rosse	Raymond	J	(FIN.1)
Rowell	Terrence	W	(SCI.6)
Rowsell	Tom	G	(SCI.2)
Roy	André		(SCI.2)
Rozon	Chris	F	(SCI.2)
Rumley	Betty	C	(SCI.2)
Rutherford	Karen		(SCI.3)
Rutherford	Robert	J	(SCI.9)
Ruxton	Mike	A	(SCI.2)
Ryan	Robert	F	(SCI.8)
Ryan	Stephen	R	(SCI.8)
Salisbury	Matt	H	(CGC.3)
Sameoto	Doug	D	(SCI.8)
Sampson	Carol	J	(SCI.4)

Nom de famille	Prénom	Initiales	Affiliation
Samson	Robert	G	(FIN.1)
Sandstrom	Halmuth		(SCI.8)
Saunders	Karen	S	(SCI.6)
Saunders	Richard		(SCI.1)
Savoie	Fernand		(SCI.5)
Scattolon	Faith	G	(SCI.9)
Schafer	Chales	T	(CGC.2)
Schell	Trecia	M	(SCI.6)
Schipilow	Cathy	M	(SCI.2)
Scotney	Murray	D	(SCI.8)
Semple	Robert	E	(SCI.5)
Senay	June		(SCI.2)
Sephton	Tom	W	(SCI.1)
Sharp	Glyn	J	(SCI.5)
Shaw	John		(CGC.2)
Shellnutt	Sheila	E	(SCI.6)
Shen	Yingshuo		(SCI.8)
Sherin	Andy	G	(CGC.2)
Shore	Jennifer		(SCI.8)
Showell	Mark	A	(SCI.7)
Silvert	William	L	(SCI.6)
Simmons	Carol Ann	R	(SCI.4)
Simms	Judy	B	(SCI.6)
Simon	Jim	E	(SCI.7)
Sinclair	Alan	F	(SCI.7)
Sinclair	Michael		(SCI.7)
Smith	Alan	S	(SCI.2)
Smith	Andrew		(SCI.2)
Smith	Don	C	(FIN.1)
Smith	John	N	(SCI.6)
Smith	Kathi	L	(CCG.2)
Smith	Marion	TE	(SCI.8)
Smith	Peter	C	(SCI.8)
Smith	Stephen	J	(SCI.5)
Smith	Stuart	D	(SCI.8)
Solomon	Frank		(SCI.3)
Solomon	Steve	M	(CGC.2)
Sonnichsen	Gary	V	(CGC.2)
Spears	Tobias		(INF.1)
Spry	Jacqueline		(SCI.8)
Spry	Jeff		(SCI.8)
Srivastava	Shiri	P	(CGC.3)
Steeves	George		(GCC.3)
Stepanczak	Mike		(INF.2)
Stepanczak	Mike		(SCI.8)
Stephenson	Mary	F	(SCI.1)
Stephenson	Robert	L	(SCI.7)

Nom de famille	Prénom	Initiales	Affiliation
Stewart	Debbie	A	(SCI.3)
Stewart	Diane		(FIN.2)
Stewart	James	E	(SCI.6)
Stewart	Diane		(FIN.2)
Stirrat	J	Bruce	(CCG.2)
Stobo	Nancy	J	(SCI.7)
Stobo	Wayne	T	(SCI.7)
Stone	Heath	H	(SCI.7)
Strain	Peter	M	(SCI.6)
Strong	Mike	B	(SCI.5)
Stuifbergen	Nick	HJ	(SCI.2)
Sutherland	Danielle		(SCI.3)
Swain	Doug	P	(SCI.7)
Swan	Perry	G	(SCI.1)
Sweeney	Reg	K	(SCI.4)
Swetnam	Dave		(INF.2)
Tang	Charles	CL	(SCI.8)
Taylor	Robert	B	(CGC.2)
Taylor	Tom		(SCI.1)
Terrien	Michel	C	(SCI.2)
Thomas	Frank	C	(CGC.1)
Thompson	Brian	D	(SCI.4)
Topliss	Brenda	J	(SCI.8)
Toulany	Bechara	J	(SCI.8)
Tremblay	John	M	(SCI.5)
Tremblay	Diane		(EC)
Trippel	Ed	A	(SCI.1)
Trudeau	Maureen		(FIN.1)
Trynor	John	D	(SCI.1)
Tvedt	Harald		(SCI.1)
Van Eeckhaute	Lou	AM	(SCI.7)
Varma	Herman	P	(SCI.2)
Vass	Peter	W	(SCI.6)
Vasseur	Jeff		(SCI.2)
Verhoef	Jacob		(CGC.4)
Vetese	Barbara	T	(CGC.4)
Vienneau	Réjean		(SCI.5)
Vromans	Albert	H	(SCI.8)
Vromans	Albert		(SCI.6)
Waddy	Susan	L	(SCI.1)
Wade	Elmer	J	(SCI.5)
Wade	John	A.	(CGC.1)
Waite	Linda	E	(SCI.8)
Waiwood	Brenda	A	(SCI.1)
Wallace	Valerie		(FIN.1)
Wang	Chou	K	(SCI.8)
Webb	Malcolm	A	(SCI.3)

Nom de famille	Prénom	Initiales	Affiliation
Wentzell	Cathy	A	(SCI.7)
Westhead	Maxine		(SCI.9)
White	George	N	(SCI.8)
White	Wesley	J	(SCI.4)
Wiele	Heinz	F	(GCC.3)
Wildish	David	J	(SCI.6)
Wile	Bruce	D	(CGC.2)
Williams	Charlene		(INF.2)
Williams	Graham	L.	CGC.1)
Williams	Patricia	M	(SCI.8)
Williamson	Marie-Claude		(CGC.3)
Williamson	Mark	A	(CGC.3)
Willis	Doug	E	(SCI.6)
Wilson	Scott	J	(SCI.7)
Winchester	Peter	J	(SCI.4)
Winters	Gary	V	(CGC.2)
Wong	Paddy	W	(INF.2)
Wright	Dan	G	(SCI.8)
Wright	Morley		(GCC.3)
Xu	Zhigang		(SCI.8)
Yao	Tom		(SCI.8)
Yashayaev	Igor		(SCI.8)
Yeats	Phillip	A	(SCI.6)
Youle	Gordon	D	(SCI.8)
Young	Gerry	A	(SCI.7)
Young	Scott	W	(SCI.8)
Young	Jamie		(EC)
Young-Lai	Wilfred	W	(SCI.1)
Zamora	Phil	J	(SCI.4)
Zemlyak	Frank		(SCI.8)
Zhang	Sheng		(SCI.8)
Zitko	Vlado	E	(SCI.6)
Zwanenburg	Kees	CT	(SCI.7)