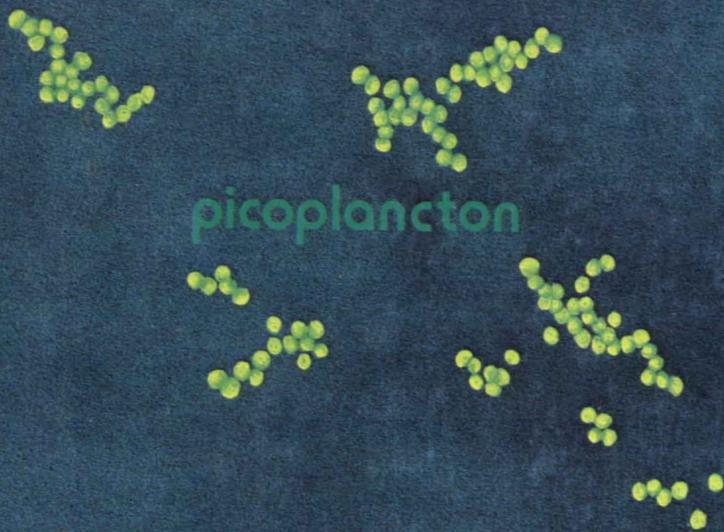
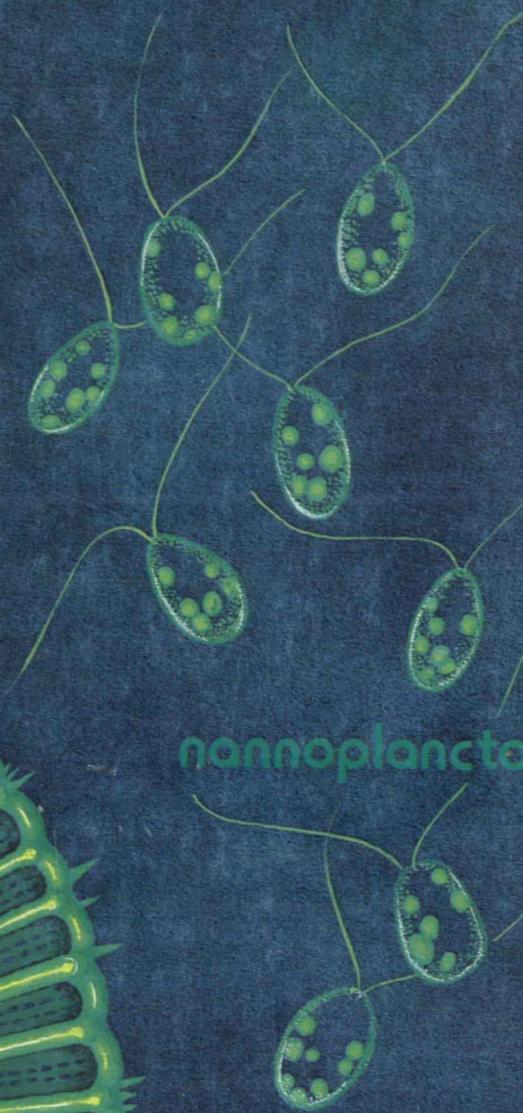


Institut
Océanographique
de Bedford

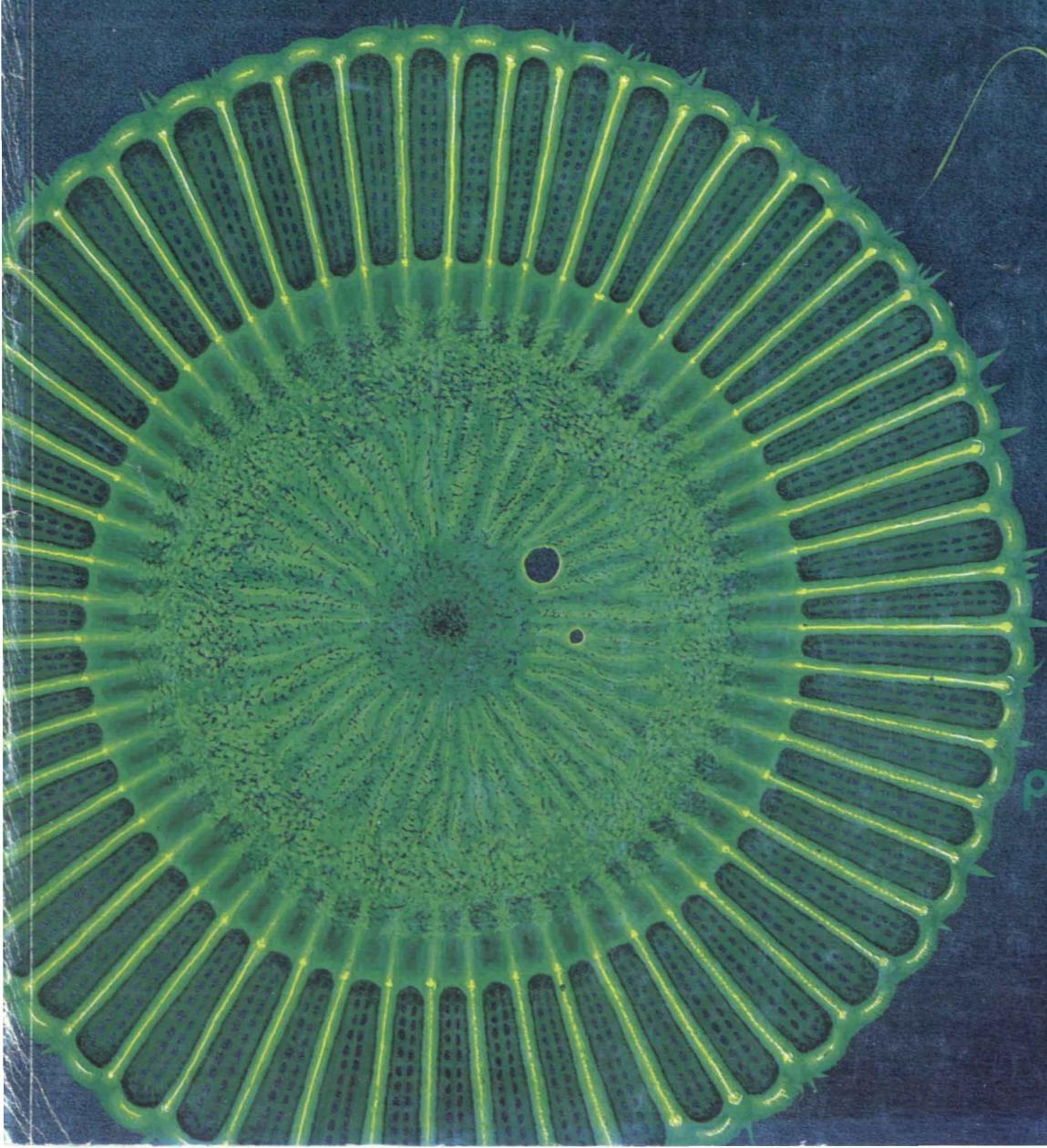
REVUE 1982 de l'IOB



picoplankton



nannoplankton



phytoplankton

Canada

Introduction

L'océanographie est une science très jeune. Les vingt années écoulées depuis la création de l'Institut ont bouleversé notre connaissance des océans. Au début des années 1960, on commençait à peine à formuler la première hypothèse moderne de l'étalement des fonds marins, sous la forme d'une interprétation des anomalies magnétiques linéaires dans les bassins océaniques, et la tectonique des plaques ne faisait pas encore l'objet d'une théorie globale; on commençait à peine à décrire les schémas de la circulation profonde des océans, et même ceux de quelques importants courants, et le transfert d'énergie entre l'océan et l'atmosphère n'avait guère été étudié; les appareils océanographiques et les capteurs n'étaient pas encore transistorisés, et la chimie océanique ne faisait appel qu'à des techniques ordinaires de laboratoire; les premières descriptions intégrées des écosystèmes marins venaient d'être publiées, mais on ne disposait pas encore des moyens informatiques nécessaires pour simuler leurs interactions sans une forte demande en main-d'oeuvre. A l'heure actuelle, seuls peut-être les chercheurs en océanographie comprennent pleinement l'ampleur de la tâche qui reste à accomplir, et nous nous proposons ici d'illustrer la nature des problèmes que nous devons encore résoudre pour démêler les processus extraordinairement complexes à l'oeuvre dans l'océan.

L'océanographie n'est pas seulement une discipline scientifique qui évolue rapidement et pose de grandes difficultés, elle constitue aussi une contribution essentielle à bon nombre de nos activités économiques dans l'océan. Malgré les lacunes de nos connaissances, nous devons donner des renseignements sur le climat des vagues pour les plates-formes offshore, analyser l'histoire géologique des marges continentales pour y détecter l'éventuelle formation d'hydrocarbures

dans les sédiments, modéliser l'échange thermique entre l'océan et l'atmosphère pour prédire l'évolution du climat, et prévoir les conséquences de la contamination et du stress sur les écosystèmes marins. Dans notre premier numéro de la *Revue de l'IOB*, nous avons décrit la façon dont notre travail s'applique à ce qui apparaît aujourd'hui comme les grands besoins nationaux du Canada en matière d'information sur l'océan. Dans la présente édition, nous exposons nos recherches à plus long terme.

Il est bien difficile de définir un équilibre parfait entre l'application de nos connaissances aux questions actuelles et la poursuite de travaux de recherche sur des problèmes non encore résolus — entre la science pure et la science appliquée. L'un des dangers de la situation, danger que nous voulons souligner dans cette deuxième *Revue de l'IOB*, résiderait dans le fait de procéder comme si nous connaissions parfaitement un processus complexe simplement parce que nous pouvons en dire quelque chose d'utile en fonction de ce que nous savons déjà. Nous sommes en mesure de résoudre certains problèmes océanographiques d'ordre pratique, et certains pensent qu'il nous manque seulement la volonté d'orienter toutes nos ressources vers les problèmes concrets qui se posent aujourd'hui, en utilisant les techniques dont nous disposons, au lieu de continuer à consacrer une partie de nos ressources à l'étude des problèmes fondamentaux.

Depuis dix ans, l'intérêt s'est nettement orienté vers l'océanographie pratique et la résolution des problèmes urgents, et l'Institut a pleinement joué son rôle dans ce mouvement. En même temps, nous avons essayé de maintenir un équilibre réaliste entre ce type de travail et la poursuite des recherches sur les problèmes réellement difficiles de l'océanologie, tout en étant extrêmement

conscients du caractère limité de nos connaissances actuelles même en ce qui concerne les processus les plus fondamentaux de l'océan. Comme tout bel esprit scientifique a pu le dire avec plus d'élégance, le fait de reconnaître qu'il reste encore de graves lacunes constitue le premier pas dans la bonne direction, et il est bon, pour pouvoir avancer, de faire l'inventaire des sujets qui ne sont pas parfaitement maîtrisés. C'est là l'objet de la présente *Revue de l'IOB*; nous avons choisi des échantillons de nos recherches fondamentales de manière à nous rappeler qu'il est dangereux de penser que tout problème pratique qui surgit peut facilement trouver une solution. Les solutions d'aujourd'hui ne résoudront que quelques-uns des problèmes de demain, et sont même impuissantes à régler tous ceux qui se posent actuellement.

Au Canada, les institutions fédérales de recherche sont responsables d'une bonne partie de la recherche fondamentale en océanographie, notamment lorsqu'il est nécessaire de réaliser de grands programmes en mer. Nous aimons penser que l'Institut a joué son rôle dans les progrès extraordinairement rapides réalisés depuis vingt ans en océanographie globale, et nous espérons qu'il continuera à oeuvrer dans ce sens: nul ne doute de l'ampleur de la tâche qui reste à accomplir.

La *Revue de l'IOB* doit non seulement vous informer de l'évolution de nos programmes de recherche et de levés, mais aussi servir de guide utile et à jour sur l'Institut lui-même. La dernière partie de la présente édition est destinée à mettre à jour certaines sections (bibliographie et production de cartes) et à compléter l'information fournie par la *Revue 1981 de l'IOB* en y ajoutant des listes et des guides divers. Les sections seront mises à jour en temps utile dans les éditions suivantes.

A.R. Longhurst

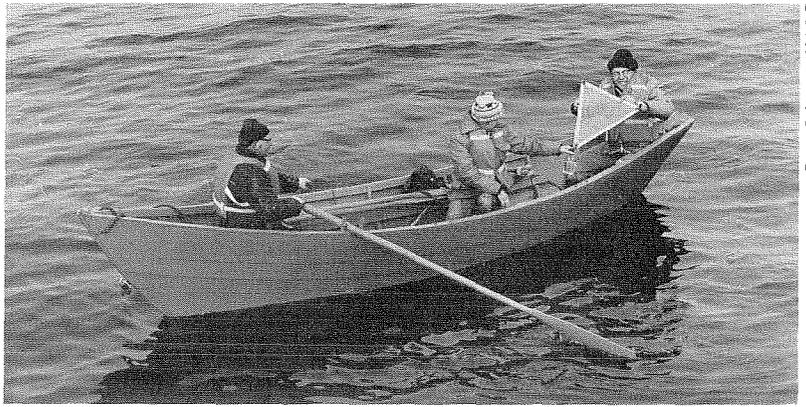
Directeur général

Sciences et levés océaniques (Région de l'Atlantique)

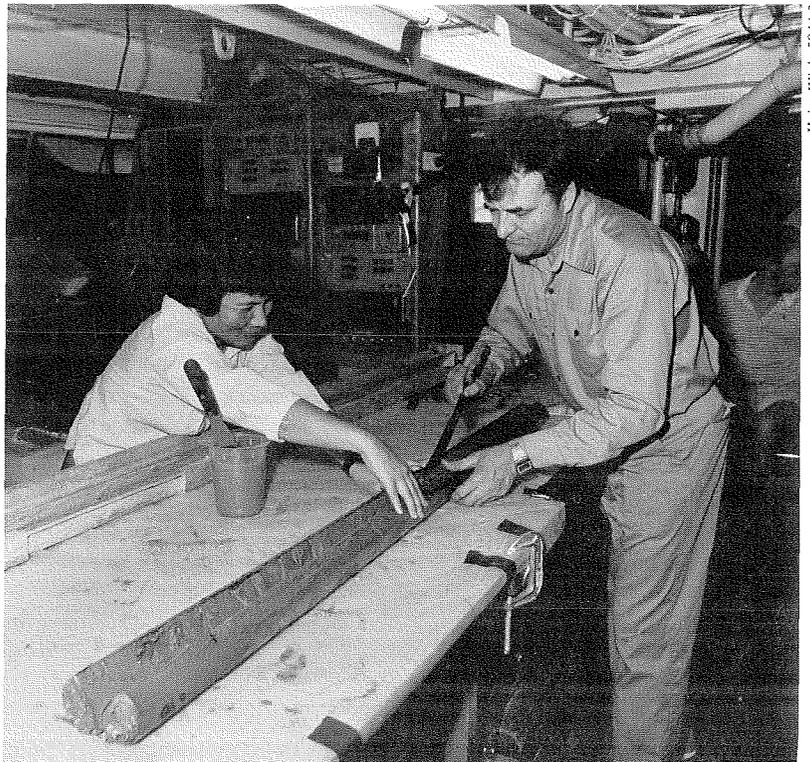
Ministère des Pêches et des Océans



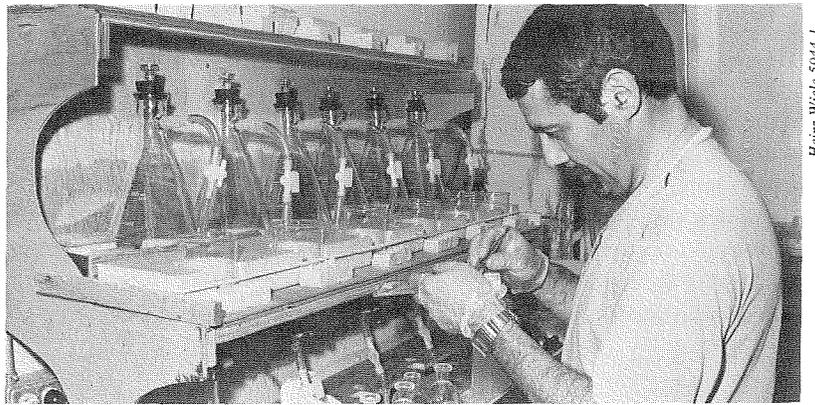
Montage d'antennes VHF à gain élevé sur le mât du n.s.c. *Hudson*. Ces antennes reçoivent les signaux émis par des bouées acoustiques employées pour les études de géophysique.



A bord d'un doris du *Hudson*, John Dodge, Frank Zemlyak et Eric Levy, qui tient un échantillonneur tétraédrique servant à prélever la pellicule à la surface de l'eau.



Wang Ying et Gus Vilks fendent une carotte de sédiments à bord du n.s.c. *Hudson*; une moitié de la carotte sera fractionnée et analysée, l'autre sera versée aux archives.



John C. Smith prépare des échantillons en pratiquant un fractionnement par taille pour étudier l'activité de carboxylation enzymatique du phytoplancton.

Table des Matières

INTRODUCTION (A.R. Longhurst)	1
1. OCÉANOGRAPHIE PHYSIQUE ET CHIMIQUE	4
Convection en profondeur et renouvellement des eaux profondes (R.A. Clarke)	5
L'expérience du cap de Sable (P.C. Smith)	9
Mélange tidal à l'extrémité du plateau (ou la chasse au soliton) (H. Sandstrom et J.A. Elliott)	13
Transmission en temps réel des données via satellite (G. Fowler, J.G. Dessureault, et J.A. Elliott)	16
Facteurs biologiques influant sur la distribution océanique des métaux-traces (M. Stoffyn et P.A. Yeats)	18
2. OCÉANOGRAPHIE BIOLOGIQUE	22
Micro-organismes photosynthétiques et productivité primaire (W.K.W. Li)	23
L'azote et la nutrition du phytoplancton marin: quelques questions (W.G. Harrison)	25
Regroupement du zooplancton et maximum de chlorophylle (A.R. Longhurst et A.W. Herman)	28
Morphométrie des poissons (J.M. McGlade)	32
Hareng et hydrographie: la question des stocks (T.D. Iles et M. Sinclair)	34
La recherche écologique dans la Baie de Fundy (D.C. Gordon Jr.)	36
3. SCIENCES DE LA TERRE AU LARGE	39
L'Atlantique nord primitif (L.F. Jansa)	39
Au large de la côte est du Canada: de la tectonique des plaques aux hydrocarbures (C.E. Keen)	43
Modélisation stratigraphique (F.M. Gradstein)	48
Fluorescence et recherche d'hydrocarbures (J.P. Bujak et E.H. Davies)	55
Le cône Laurentien (D.J.W. Piper)	59
4. CARTES ET PUBLICATIONS	63
5. EXPÉDITIONS RÉALISÉES EN 1981	72
6. ORGANISATION ET PERSONNEL	80
7. LISTE DES TRAVAUX DE RECHERCHE	84
8. EXTRAITS DU JOURNAL DE BORD DE L'INSTITUT	90
Réfection de demi-vie du n.s.c. Baffin (R.L.G. Gilbert)	92
LE BUREAU BIOMAIL	95

La *Revue de l'IOB* est publiée chaque année par l'Institut océanographique de Bedford. Pour tout changement d'adresse et demande de renseignements, s'adresser au

Service des publications
Institut océanographique de Bedford
Boîte postale 1006
Dartmouth (Nouvelle-Écosse)
Canada B2Y 4A2

ISSN 0820-0254

An English version is also available.

© 1981 Ministre des
Approvisionnements
et des Services Canada

En couverture:

Illustration de Pat Lindley du Laboratoire d'écologie marine montrant à quel point est petit le picoplancton qui s'avère maintenant si abondant et si important dans l'économie des océans. L'image montre à la même échelle des cyanobactéries du picoplancton (environ 0,8 micron de diamètre), des algues unicellulaires flagellées du nannoplancton (environ 10 microns de diamètre) et une espèce typique de diatomées dont on pensait autrefois que c'était l'espèce dominante du phytoplancton (environ 80 à 100 microns de diamètre). Le rôle de ces micro-organismes dans la productivité primaire est examiné dans l'article qui commence à la page 23.

Revue 1982 de l'IOB:

Rédacteur en chef –
Michel P. Latrémouille

Dessin –
Harvey Slade, Ken Hale, Art Cosgrove

Composition –
Maritime Photoengravers Ltd.

Impression –
Earl Whynot & Assoc. Graphics Ltd.

Traduction –
Denise Campillo-Cerf, avec la
collaboration de Lynne Dwyer et Michel
Laliberté

Océanographie Physique et Chimique

La plus grande partie de la chaleur que notre planète reçoit du soleil sert à réchauffer l'eau des grands bassins océaniques, et une plus petite proportion à réchauffer l'atmosphère et les terres; il y a ensuite échange entre l'air, la mer et la glace, soit entre l'atmosphère, l'hydrosphère et la cryosphère, en réponse à l'émission de chaleur solaire toujours changeante selon les saisons et la latitude; ces échanges de chaleur fournissent l'énergie aux courants océaniques, aux vents, ainsi qu'à la croissance et à la décroissance de la couverture de neige et de glace des pôles. Cette machine thermique est si puissante dans les conditions actuelles qui règnent sur la terre – nous sommes en ce moment entre deux périodes glaciaires dans une époque générale d'âges glaciaires – que l'écoulement de la chaleur entre les tropiques et les pôles est très actif, et que de l'eau juste au-dessus du point de congélation est attirée jusqu'au fond des océans équatoriaux dont les couches supérieures chaudes sont chauffées par le soleil tropical.

Les variations du fonctionnement de cette machine thermique sont quotidiennes (prévisions météorologiques), mensuelles (été et hiver), puis annuelles (bonnes et mauvaises années), et elles s'étalent aussi sur des cycles décennaux, séculaires et millénaires, comme le montrent les changements de climat. On ne fait que commencer à comprendre le fonctionnement de cette machine thermique à l'état d'équilibre, ainsi que ses variations sur des périodes d'échelles très diverses; il serait vain de prétendre que l'étude de la physique et de la chimie des océans au cours des 100 dernières années a fait autre chose que cerner la nature de ces problèmes, permettant ainsi de tracer des grandes lignes d'une science descriptive et analytique.

Toutefois, nous connaissons également la valeur de l'océanographie comme science de prévision, et nous avons une certaine idée de l'approche nécessaire. Si nous étions en position de prévoir le bilan ther-

mique et le profil de circulation de l'océan pour des échelles raisonnables d'espace et de temps, nous détiendrions l'une des principales clés qui manquent toujours pour la prévision du climat sur des périodes de plusieurs mois et peut-être même de plusieurs années. Il est facile de comprendre la valeur de ces prévisions pour le Canada, pays situé sur la frontière de la zone climatique dans laquelle la vie industrielle et agricole est possible. Il faut un peu plus d'imagination pour en comprendre les conséquences possibles pour certains secteurs de notre vie économique: dans la gestion des pêches, il est urgent de comprendre pourquoi la reproduction, et donc le recrutement subséquent des stocks de poissons, varient tellement d'une année à l'autre; d'après ce que nous savons du processus qui en est responsable, nous pouvons dire au moins que le succès variable de la reproduction est la plus souvent dû à la variabilité de conditions océaniques. On pourrait trouver des applications semblables pour la prévision de la couverture glacielle de l'Arctique, pour la durée des saisons agricoles, pour les charges saisonnières de neige des zones urbaines, pour déterminer la route des bateaux dans les passages océaniques, etc.

Dans ce chapitre, nous présentons une demi-douzaine d'exemples d'études effectuées par le Laboratoire océanographique de l'Atlantique, qui sont conçues pour contribuer à faire de l'océanographie une science prévisionnelle; à cette fin, il faut non seulement comprendre beaucoup mieux les processus et les mécanismes d'interaction des constituants de l'océan et de la circulation atmosphérique, mais aussi obtenir une description en temps réel de la circulation océanique comparable à la surveillance quotidienne qui est maintenant générale et globale en météorologie, et sur laquelle toutes les prévisions météorologiques reposent. La surveillance des conditions océaniques d'un mois à l'autre laisse beaucoup à désirer, et les

océanographes canadiens doivent se fier presque entièrement à des produits étrangers pour obtenir leurs données de surveillance.

Dans les trois premières sections de ce chapitre, nous décrivons des études menées dans le nord-ouest de l'océan Atlantique. Clarke commente le travail effectué par la Division de la circulation océanique, entrepris principalement vers le milieu de l'hiver dans la mer du Labrador, dans des conditions très difficiles, pour étudier la formation à cet endroit de masses d'eau froide qui s'étendent vers le bas et vers le sud à partir de leur point d'origine, et qui peuvent être détectées à grande profondeur sur une bonne partie de l'Atlantique nord; ces masses d'eau jouent un rôle critique dans la circulation en profondeur des océans, équilibrant le transport de chaleur vers les pôles. Dans ce cas, il a fallu pour mener à bien ces études affronter les pires conditions possibles en mer, car une importante convection en profondeur ne survient que dans des conditions d'hiver très rigoureuses, surtout quand il y a des vents froids persistants: cette mission a exigé l'emploi du *Hudson*, navire de gros tonnage très efficace qui a entrepris en 1982 le même type d'étude entre le Groenland et les îles Spitzberg, montant presque jusqu'à 80°N au début de mars. Smith, de la Division de l'océanographie côtière, et Sandstrom et Elliott, de la Division de la circulation océanique, décrivent des études de la remontée en surface saisonnière qui survient dans la région sud-ouest de la Nouvelle-Écosse, et de la dynamique du front de rencontre entre l'eau du plateau et l'eau de l'océan au rebord du plateau continental. Ces deux processus sont très variables et jouent un certain rôle dans la fourniture des nutriments qui alimentent le cycle biologique sur le plateau continental, et donc dans la production des pêcheries. Au cours des études du mélange tidal au niveau du rebord du plateau, un résultat très inattendu fut l'ob-

servation non équivoque de vagues internes solitaires, ou solitons, qui se produisent à l'avant de lames tidales.

Fowler, Dessureault, et Elliott analysent les problèmes de la transmission des données océaniques par satellite, technique qui deviendra bientôt un outil standard de la science océanique, et à laquelle l'IOB consacre de plus en plus d'énergie dans la plupart de ses divisions; finalement, Stoffyn et Yeats analysent les études de la Division de l'océanographie chimique portant sur la façon dont la distribution des métaux-traces dans les océans profonds est

affectée par les processus biologiques: nous ne pouvons déterminer la circulation des masses d'eau en suivant des traceurs chimiques que si nous savons dans quelle mesure les valeurs obtenues sont vraiment fiables, c'est-à-dire dans quelle mesure les traceurs réagissent avec leur milieu environnant et sont éliminés par des processus comme la sédimentation des particules ou la migration biologique. Encore une fois, il s'agit d'un domaine très mal défini, et une compréhension incomplète de la chimie des particules pourrait nous donner des résultats très erronés.

renouvellement à la surface était très faible (taux de renouvellement annuel d'environ 0,1 % du volume total).

Les océanographes pensaient que ces types d'eaux étaient formés au cours de l'hiver par convection en profondeur sur d'importantes surfaces de mers bordières de l'océan Atlantique. Des phénomènes de convection en profondeur surviennent quand la surface de la mer est fortement refroidie par des vents froids. L'eau de la surface se refroidit et devient plus saline à cause de la perte de chaleur et de l'évaporation, et elle devient ainsi plus dense que l'eau sous-jacente. Il y a alors convection et cette eau descend à une profondeur correspondant à sa nouvelle densité. A mesure que l'hiver avance, les eaux de surface deviennent plus denses et il y a convection à de plus grandes profondeurs. Une zone de convection en profondeur est caractérisée par des couches profondes et homogènes dont les valeurs de température, de salinité et de densité sont voisines des valeurs approximatives correspondant aux types d'eaux qui devraient être formées dans cette région. Toutefois, le fait que les quelques observations d'hiver effectuées dans ces régions jusqu'au cours des années 1970 n'aient pas mis en évidence de telles couches mélangées profondes de densité appropriée a conduit les chercheurs à proposer d'autres mécanismes par lesquels des

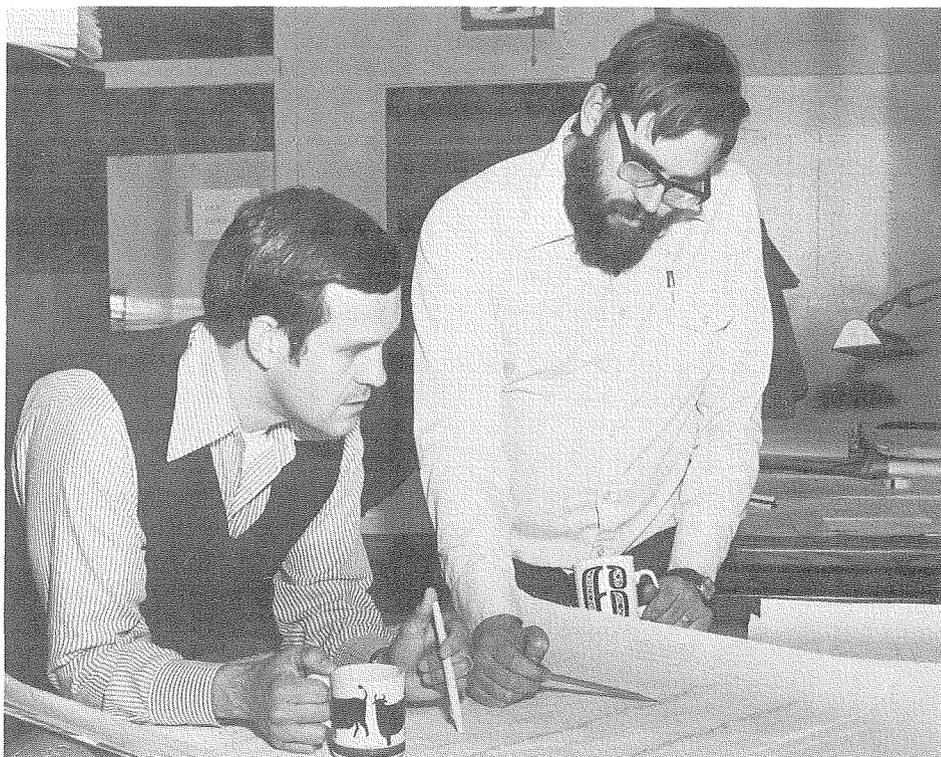
Convection en profondeur et renouvellement des eaux profondes

R. A. Clarke

Sur la plupart des océans du monde, la couche supérieure de quelques centaines de mètres de profondeur fonctionne comme une machine thermique globale. Cette eau est réchauffée aux tropiques avant d'être entraînée vers les pôles par des courants limitrophes dirigés vers l'ouest comme le Gulf Stream dans l'Atlantique nord. Aux latitudes plus élevées, elle transfère sa chaleur à l'atmosphère, puis commence à redescendre vers l'équateur dans les parties centrales et orientales des bassins océaniques. Cette circulation générale et le rôle qu'elle joue pour tempérer le climat, tout particulièrement le long des rives orientales des divers océans, sont expliqués dans les classes de géographie depuis des dizaines d'années.

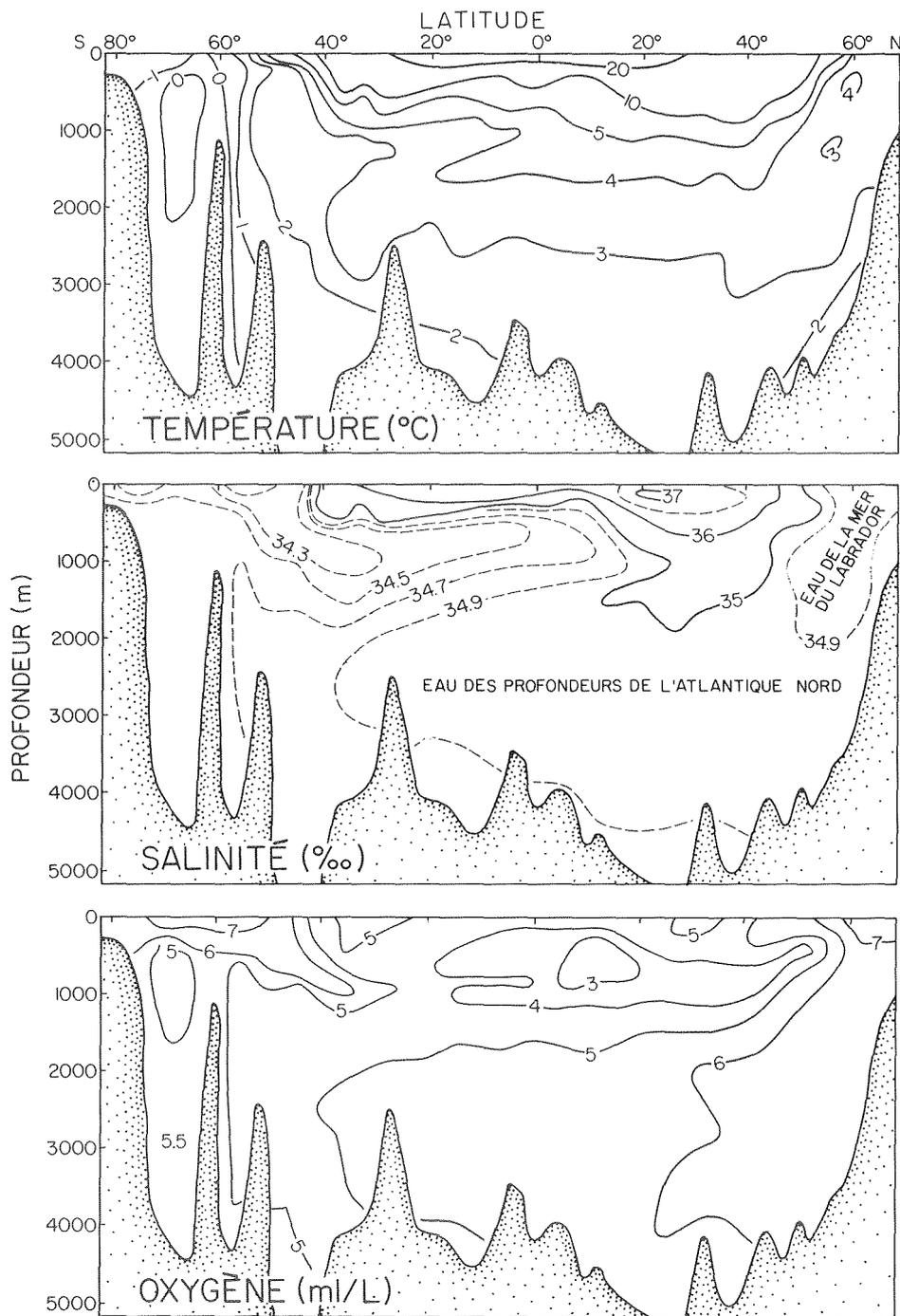
Toutefois, les océans ont une profondeur moyenne de 4 000 m. Quel est donc le rôle de l'eau située au-dessous de la couche de quelques centaines de mètres de profondeur dans la distribution globale de la chaleur? Les courants supérieurs océaniques, au moins ceux de l'Atlantique nord, sont connus depuis le XVII^e siècle grâce aux observations des marins. Par contre, on a cru jusqu'à la fin du XIX^e siècle que les eaux profondes étaient froides, immobiles et sans vie. La mise au point et l'utilisation des thermomètres à renversement pour les eaux profondes au cours des principales expéditions océanographiques de la fin du XIX^e siècle et du début du XX^e siècle ont mis en évidence une structure d'eaux profondes constituées d'une série de noyaux définis par la température locale, la salinité ou les

valeurs extrêmes de l'oxygène à la verticale. Wüst (1937) a établi de longues sections longitudinales suivant l'axe de l'Atlantique. Il a tracé un certain nombre de noyaux dans ces sections et a suggéré que ces types d'eaux étaient formés en surface dans les régions polaires, avant de descendre sous la surface et de s'étendre vers l'équateur à diverses profondeurs. On croyait alors que le mouvement de ces masses d'eaux profondes était très lent. On croyait également que leur vitesse de



Peter Smith et Allyn Clarke.

Roger Bélanger 6467-3



Sections longitudinales sud-nord des caractéristiques de l'eau le long de la dépression occidentale de l'océan Atlantique (d'après Wust, 1936).

masses d'eaux profondes pourraient être formées sous la surface.

Une série de programmes d'observation d'hiver menée dans l'ouest de la Méditerranée en 1969 a mis en évidence certaines caractéristiques complexes de la convection océanique en profondeur (Groupe Medoc, 1970). Ces observations ont montré que ce processus survenait dans une zone géographique très limitée et consistait en un certain nombre d'événements à une échelle horizontale peu importante (quelques kilomètres).

D'après ces observations, les océanographes croient maintenant que les aires de formation des eaux profondes sont toutes très limitées géographiquement. Les couches mélangées profondes n'ont duré que quelques jours en Méditerranée avant que l'eau de surface de plus faible densité ne les recouvre. A cause de l'étendue géographique limitée et de la courte durée de la formation d'eaux profondes, on croit maintenant que la convection en profondeur est un mécanisme réel mais qui n'a pas été observé lors des relevés d'hiv-

er dans des zones comme la mer de Norvège.

Les processus de convection en profondeur et de renouvellement des eaux profondes sont étudiés pour plusieurs raisons. D'abord, en mesurant à quelle profondeur l'eau est formée chaque année, il est possible d'élaborer les modèles nécessaires pour que les effets du renouvellement des eaux profondes puissent être décrits par des paramètres dans les modèles climatiques, atmosphériques et océaniques à grande échelle. Deuxièmement, il se peut que du dioxyde de carbone soit éliminé de l'atmosphère par le renouvellement des eaux profondes. La quantité de dioxyde qui sera absorbée par la couche nouvellement formée d'eau profonde dépendra a) du point de saturation atteint, par rapport à l'équilibre avec le dioxyde de carbone atmosphérique, par les couches d'eaux profondes nouvellement formées à mesure que celles-ci sont refroidies en surface et b) de la quantité d'eau subsurface qui est entraînée en profondeur alors que les eaux de surface plus denses nouvellement formées descendent jusqu'à la profondeur d'équilibre. Pour obtenir ces informations, il faut faire des mesures directes dans les régions où se produit la convection en profondeur.

Des études menées dans l'ouest de la Méditerranée vers la fin des années 1960 et au début des années 1970, ainsi que notre travail dans la mer du Labrador de 1976 à 1978, ont permis d'établir une image très semblable des phénomènes de convection océanique en profondeur. Dans les deux cas, on trouve des environnements océanographiques et météorologiques semblables. A partir de la quantité limitée d'informations portant sur les autres régions de formation des eaux profondes, il semblerait que l'environnement y soit du même type.

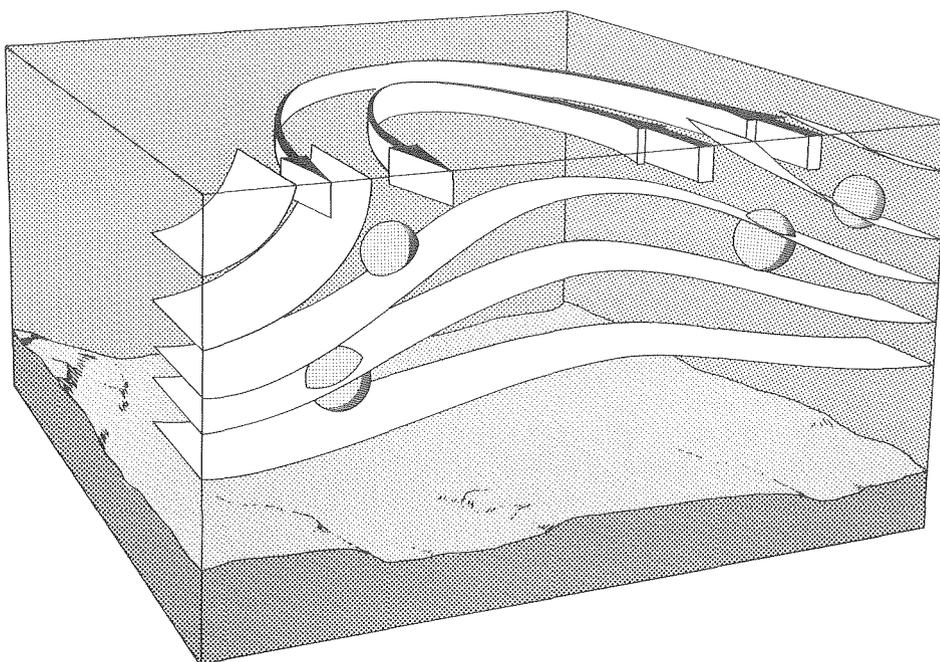
L'une des caractéristiques des régions de convection profonde est qu'elles sont observées près du centre d'une région de circulation cyclonique. A l'intérieur d'une telle circulation, les surfaces isopycnes forment un dôme au centre. Cela signifie que la surface à forte densité à laquelle l'eau nouvellement formée descendra est plus près de la surface et donc qu'à ces endroits la quantité d'eau qui doit être refroidie et mélangée jusqu'à la densité requise pour la convection est moindre qu'ailleurs. Ces circulations cycloniques existent toute l'année; toutefois, les

Points des océans du monde où semble se produire une convection en profondeur. ➤

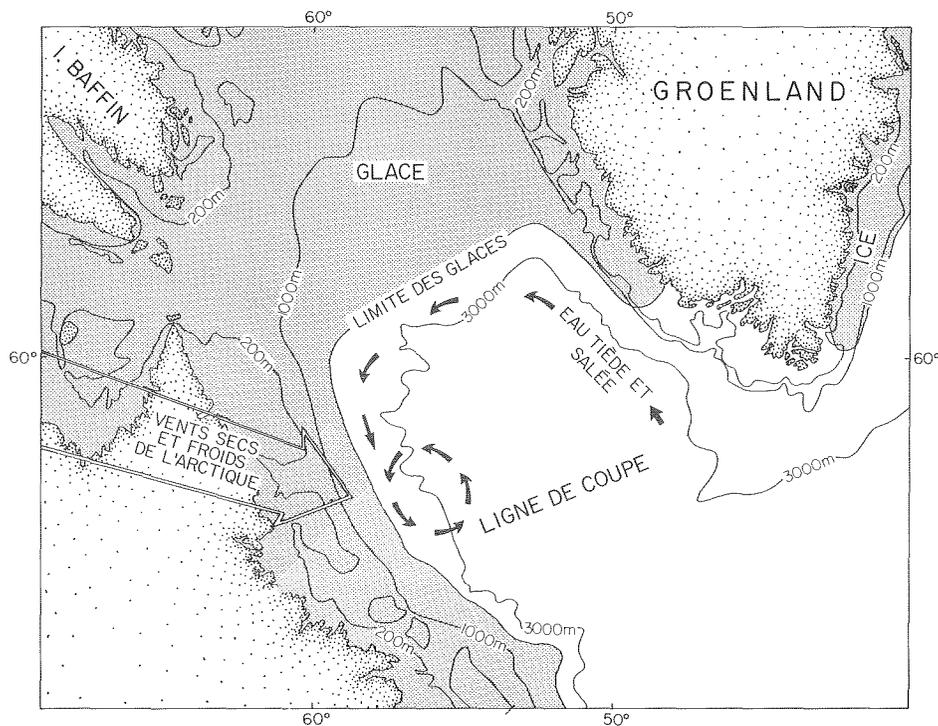
étapes initiales du processus de convection en profondeur intensifient la circulation en créant des colonnes d'eau encore plus denses dans leurs régions centrales. Dans le cas de la mer du Labrador, une petite circulation cyclonique se forme autour de la région de renouvellement au début de l'hiver. Cette circulation, appelée tourbillon d'hiver de l'ouest de la mer du Labrador, fait partie du système circulatoire cyclonique de l'ensemble de cette mer, et l'hypothèse de son existence a été proposée après des observations effectuées par le n.s.c. *Hudson* au cours des hivers de 1976 et 1978.

Une deuxième caractéristique de la région de convection profonde est qu'elle contient des noyaux d'eau chaude salée et subsuperficielle autour des extrémités de la circulation cyclonique. Ces noyaux sont importants parce qu'ils peuvent être mélangés aux colonnes d'eau qui se refroidissent pour former de nouvelles eaux profondes à mesure que ces colonnes se refroidissent pour atteindre la densité de ces noyaux. L'incorporation de ces noyaux rend les colonnes plus chaudes et plus salées, mais ne modifie pas leur densité. La chaleur ajoutée est rapidement perdue dans l'atmosphère, ce qui produit une colonne plus dense que son milieu environnant parce qu'elle est plus salée, mais pas tellement plus froide. Le fait que le renouvellement des eaux en profondeur ne survienne que dans l'océan Atlantique est dû au fait que la mer Méditerranée fournit à l'océan Atlantique des noyaux chauds et salés subsuperficiels qui sont transportés dans les régions subpolaires où ils jouent ce rôle dans le renouvellement des eaux en profondeur. Dans la convection de la mer du Labrador, ces noyaux chauds et salés (à des profondeurs de 500 à 1 000 m) sont liés au refroidissement et à la descente dans la mer d'Irmingier d'eau salée encore plus chaude.

La caractéristique déterminante d'une zone de convection en profondeur est qu'elle est le théâtre d'importants échanges air-mer en hiver. Dans ces



Description schématique de la circulation cyclonique dans la mer du Labrador. Les flèches représentent les courants, les rubans la formation d'un dôme par les surfaces isopycnes et les boules les noyaux d'eau chaude et salée transportés à la périphérie de la circulation.

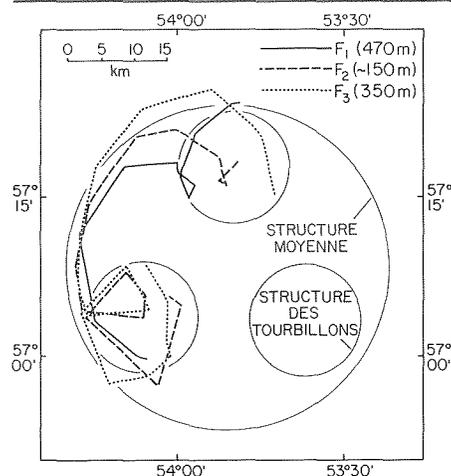


Description schématique de la formation d'un tourbillon cyclonique dans la partie occidentale de la mer du Labrador, due aux effets combinés de la couverture glacielle d'hiver et des vents du nord-ouest soufflant de l'Arctique.

zones, des vents secs très froids provenant habituellement du continent soufflent sur l'eau adjacente. Dans l'ouest de la Méditerranée, il existe une région de ce genre, le golfe du Lion, où des vents froids provenant des Alpes et des Pyrénées sont canalisés par les vallées des fleuves jusqu'à une zone déterminée. Dans l'ouest de la mer du Labrador, il y a au nord de la trajectoire principale des tempêtes traversant la mer du Labrador une région où des vents fréquents et forts en provenance du nord-ouest soufflent à travers le plateau du Labrador et la banquise avant d'arriver aux eaux libres. Avec des différences de température entre l'air et la mer atteignant jusqu'à 25°C et une vitesse des vents de 25 m/s ou plus, une grande quantité de chaleur peut être rapidement perdue par la surface de la mer par conduction et évaporation.

La configuration de la circulation dans une zone de renouvellement des eaux profondes est très complexe. A très grande échelle, il s'agit des tourbillons océaniques cycloniques dont il a été question ci-dessus. A l'ouest de la mer du Labrador, ce tourbillon océanique atteint environ 200 km de diamètre. A l'intérieur de ce tourbillon, il semble y avoir une organisation des vitesses des courants et des masses d'eau à une échelle de 40 - 50 km. Cette organisation à l'échelle moyenne semble être un tourbillon anti-

cyclonique. L'eau y est généralement plus dense, plus homogène et plus froide que celle de l'extérieur. Plus particulièrement, la profondeur de la couche mélangée est beaucoup plus grande à l'intérieur du tourbillon moyen qu'à l'extérieur de celui-ci. Autour de la périphérie de ce tourbillon, on trouve les noyaux tièdes et salés subsuperficiels. En fait, le rôle principal de ces tourbillons moyens dans le processus d'ensemble est vraisemblablement de mélanger ces



Le déplacement de trois bouées à flottabilité neutre (F_1 , F_2 , F_3) dans la mer du Labrador sur une période de huit jours en mars 1976 est superposée à une description schématique des limites de la structure moyenne et de la structure à l'échelle des tourbillons observées pendant la même période.

noyaux tièdes et salés à partir des extrémités du tourbillon cyclonique pour les faire entrer à l'intérieur de celui-ci.

La configuration de la structure moyenne n'a pas encore été adéquatement décrite par un modèle jusqu'à présent. Nous savons que des modifications de vitesse à l'échelle 40-50 km se propagent à travers cette zone sous forme d'ondes planétaires ou locales. Il se peut qu'à mesure que ces ondes approchent de l'intérieur du tourbillon océanique, elles préconditionnent l'eau qu'elles contiennent pour le mélange avec l'eau plus salée, se refroidissent et forment des masses plus homogènes d'eau tournant anticycloniquement même après le passage de l'onde planétaire elle-même.

On peut montrer que ces masses moyennes d'eau sont barocliniquement instables. A l'intérieur de ces tourbillons de 40-50 km, on trouve des éléments de 10-15 km appelés petits tourbillons, dont le sens de rotation est également anticyclonique. Tout comme les tourbillons moyens, les petits tourbillons comportent des couches plus profondes, plus denses et plus homogènes que l'eau qui les entoure. Leur rayon est le rayon interne de déformation de Rossby. Dans un fluide en rotation, si on a une masse d'eau de plus grande densité que l'eau de même niveau qui l'entoure, cette masse commencera à s'étendre latéralement dans le fluide environnant. Cependant, à mesure qu'elle s'étend, la force de Coriolis commence à faire tourner le fluide dans le sens anticyclonique. Quand le fluide s'est étendu sur la longueur d'un rayon de Rossby, son écoulement est tout à fait tangentiel par rapport à sa position initiale et il ne s'étendra pas davantage. Il reste une masse à rotation anticyclonique en équilibre géostrophique avec le milieu environnant, et seuls de lents processus de viscosité et de diffusion sont à l'oeuvre pour la ralentir et permettre qu'elle s'étende davantage.

C'est ce qui se passe en fait dans le cas des petits tourbillons. Étant donné qu'ils sont très stables, ils fournissent un mécanisme grâce auquel les couches denses mélangées aux grandes profondeurs peuvent rester en contact avec l'atmosphère pendant des périodes très longues. Ainsi, ils peuvent continuer à se refroidir et deviennent plus denses. Dans la mer Méditerranée, ces petits tourbillons descendent finalement jusqu'au fond de l'océan. A ce point, les couches limit-

rophes du fond sont formées, et la viscosité devient beaucoup plus grande. L'eau à l'intérieur des tourbillons peut être prise par ces couches limitrophes du fond, et les couches de surface à plus faible densité sont reconstituées.

A l'intérieur d'une zone de convection en profondeur, un certain nombre d'autres processus contribuent au transfert vertical des masses d'eau. Ces processus sont particulièrement importants pour déplacer les noyaux tièdes et salés de leur intervalle normal de profondeur de 500-1 000 m jusqu'à une zone voisine de la surface où ils peuvent participer à l'échange air-mer. Certains de ces processus sont associés avec les champs d'écoulement autour des tourbillons petits et moyens, de façon analogue aux mouvements verticaux causés dans l'atmosphère par l'écoulement autour des zones de basse pression. Certains de ces processus ont été associés aux vagues internes dans un fluide dont les gradients verticaux de densité sont si faibles que toute la bande d'ondes inertio-gravitationnelles a été fusionnée pour ne donner pratiquement qu'une seule fréquence. D'autres processus sont associés directement à la poussée par l'atmosphère, et expliquent que de denses panaches d'eau descendent de la surface jusqu'à leur profondeur d'équilibre. Des courantomètres verticaux ont mesuré tous ces processus dans la Méditerranée et la mer du Labrador. Ces processus semblent survenir dans de petites zones (moins de 1 km) et pendant de courtes périodes (6 - 36 h), de sorte qu'il est difficile de voir comment la technique actuelle peut recueillir assez d'information sur leur structure pour permettre une modélisation adéquate. Ainsi, alors que nous pouvons mesurer jusqu'à quelle profondeur l'eau est renouvelée dans une région donnée pendant un intervalle de plusieurs semaines au plus fort de la saison de refroidissement, nous ne pouvons obtenir des mesures fiables de la vitesse de descente de l'eau superficielle au plus fort d'un phénomène isolé de refroidissement. Cette dernière information est importante lorsqu'on veut déterminer combien de temps une masse d'eau peut vraisemblablement rester à la surface pendant un important événement de refroidissement, afin d'évaluer ainsi si la nouvelle masse d'eau profonde formée est réellement en équilibre avec les gaz atmosphériques avant la descente.

Ces modèles théoriques de convection

en profondeur ont été élaborés quand les données recueillies en 1976 par le n.s.c. *Hudson* dans la mer du Labrador ont montré des ressemblances frappantes avec celles des travaux français, américains et britanniques menés antérieurement dans la Méditerranée. En février-mars 1982, le n.s.c. *Hudson* tentera de mesurer les processus de convection en profondeur dans la mer de Norvège et du Groenland. Il semble y avoir dans ce bassin formation des masses d'eau qui, après leur écoulement dans l'Atlantique nord, constituent les eaux profondes et les eaux du fond de l'Atlantique nord. La première de ces masses d'eau constitue environ la

moitié du volume de tout l'océan Atlantique. Il sera important de confirmer que nos simples modèles théoriques de convection en profondeur s'appliquent également à la mer de Norvège et du Groenland.

Références

- MEDOC GROUP. 1970. Observation of formation of deep water in the Mediterranean Sea 1969. *Nature (London)* 227: 1037-1040.
- WUST, G. 1936. Schichtung und Zirkulation des Atlantischen Ozeans. Die Stratosphäre des Atlantischen Ozeans. In *Deutsches Atlantische Expedition auf dem Forschung- und Vermessungsschiff Meteor, 1925-1927, Wissenschaftliche Ergebnisse, Bd. 6:* 109-288.

L'expérience du cap de Sable

P.C. Smith

Les eaux du plateau continental au large du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse comptent parmi les plus productives de la côte est de l'Amérique du Nord. On y trouve les principales frayères de divers poissons démersaux et pélagiques (Colton et Temple, 1961), les plus grandes pêcheries commerciales de homards de la Nouvelle-Écosse et les plus grandes concentrations non reproductrices d'oiseaux de mer du nord-ouest de l'Atlantique (Sutcliffe et coll., 1976). Pour les océanographes physiiciens, cette région est également riche en phénomènes intéressants mais complexes associés à la circulation côtière et au régime tidal local. Par exemple, Bigelow (1927) a été l'un des premiers à signaler que:

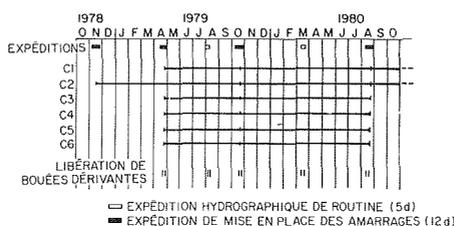
Les courants froids de la Nouvelle-Écosse apportent un grand volume d'eau de faible salinité dans le golfe (du Maine) en provenance de l'est, au large du cap de Sable,...

et que cet écoulement est:

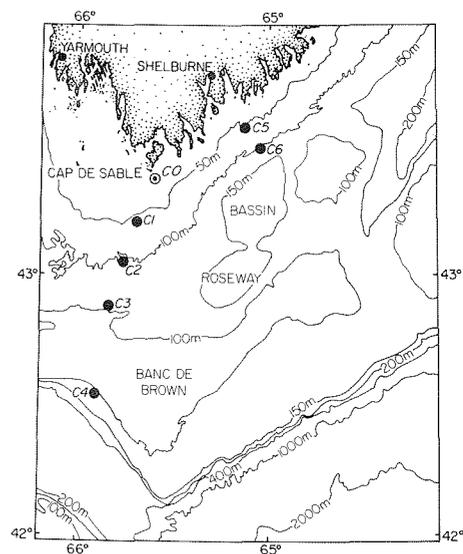
... certainement la principale source d'eau froide provenant du nord dans le golfe du Maine – et presque certainement la seule source présentant un volume suffisant et une température assez basse pour exercer un effet appréciable sur la température du golfe.

L'idée d'une "trajectoire océanographique" s'étendant de l'estuaire du Saint-Laurent à travers le golfe du Maine a été étudiée de plus près par Sutcliffe et coll. (1976, 1977) qui ont démontré qu'au moins 50 % des fluctuations des prises commerciales de poissons sont liées à de tels facteurs environnementaux.

A plus petite échelle, Lauzier (1967) a été le premier à observer sur les côtes des



Emplacement des amarrages et calendrier initial de l'expérience du cap de Sable. Les amarrages C1 et C2 n'ont pas été retirés en août 1980 et sont encore en place, et l'amarrage C0 a été mis en place pour l'hiver 1981-1982.



remontées persistantes d'eaux profondes dans lesquelles il ne pouvait détecter de variations saisonnières. Étudiant les divers équilibres dynamiques possibles, Garrett et Loucks (1976) concluent que la force motrice la plus probable est le gradient de pression associé à l'écoulement tidal le long du littoral recourbé de la Nouvelle-Écosse et ils ont par conséquent appelé cette circulation "remontée centrifuge d'eaux profondes". Une autre manifestation des forts courants de marée est l'existence, plus particulièrement en été, d'une importante zone d'eau bien mélangée près du cap de Sable, et on croit que ce phénomène s'explique par une prédominance locale de la dissipation tidale sur les facteurs favorisant la stratification. Iles et Sinclair (manuscrit non publié) ont noté que les principales frayères du hareng de l'Atlantique dans le golfe du Maine se trouvent dans des zones d'eaux bien mélangées et ils ont émis l'hypothèse que la circulation tidale résiduelle qu'on y trouve (y compris la remontée centrifuge d'eaux profondes) constitue un mécanisme physique favorisant la rétention des larves.

Si l'on considère la complexité des facteurs influant sur la circulation au large du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse, la multiplicité des hypothèses formulées et l'importance biologique de ce phénomène, on comprend que l'océanographie physique soit nécessaire pour comprendre ce système. Tout d'abord, il faut une description précise des champs de vitesse et de densité, y compris une définition de toutes les échelles temporelles et spatiales importantes, à partir des observations et des mesures appropriées. Plus particulièrement, il est nécessaire de séparer les fluctuations moyennes et persistantes des événements sporadiques transitoires. Les mesures doivent être utilisées pour quantifier certains aspects de la circulation comme la force, la persistance et la structure verticale des remontées d'eaux profondes, ainsi que l'importance des transports côtiers de masse, de chaleur, de sel (ou d'eau douce) et d'éléments nutritifs. Finalement, il est essentiel de développer et de valider des modèles dynamiques de circulation afin de disposer de bases théoriques pour surveiller et interpréter les changements de régime.

Pour faire face à ces besoins, l'expérience du cap de Sable a débuté en novembre 1978. Le réseau d'amarrages est constitué par une ligne de quatre emplace-

ments (C1-C4) situés en travers du plateau continental près du cap de Sable, ainsi que de deux emplacements (C5, C6) au large de Shelburne (N.-É.) pour surveiller les conditions "en amont". La plus grande partie de l'ensemble de données a été recueillie entre avril 1979 et août 1980; toutefois, deux des amarrages proches du rivage (C1, C2) ont été maintenus jusqu'à présent pour des études à long terme. Chaque amarrage est constitué d'au moins trois courantomètres Aanderaa placés près de la surface (15 m), à mi-hauteur et près du fond (10 m au-dessus). Pour effectuer des études détaillées de la couche limite tidale pour des périodes choisies, six instruments supplémentaires ont été placés à deux amarrages près du rivage (C1, C2) au large du cap de Sable, et un troisième (C0) a été ajouté récemment. En plus des mesures aux points d'amarrage, des études hydrographiques ont été effectuées dans le cadre des expéditions de mise en place des amarrages; le Service de l'environnement atmosphérique a fourni des observations sur la météorologie et la température de la surface de la mer.

Jusqu'à ce jour, l'analyse des données recueillies près du cap de Sable portait principalement sur la définition de la moyenne et des composantes saisonnières de la circulation. La comparaison des champs de vitesse moyens de trois saisons différentes révèlent plusieurs caractéristiques distinctives de la circulation moyenne d'ensemble:

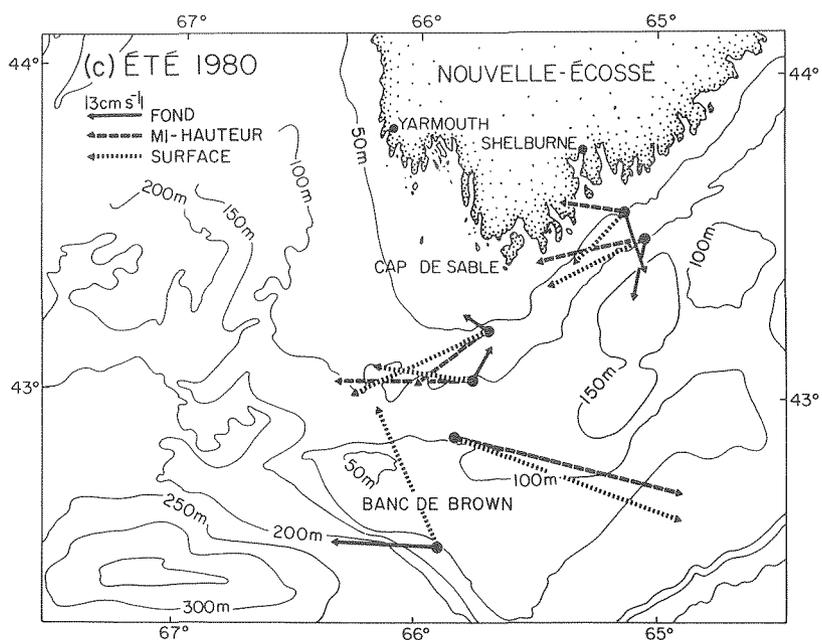
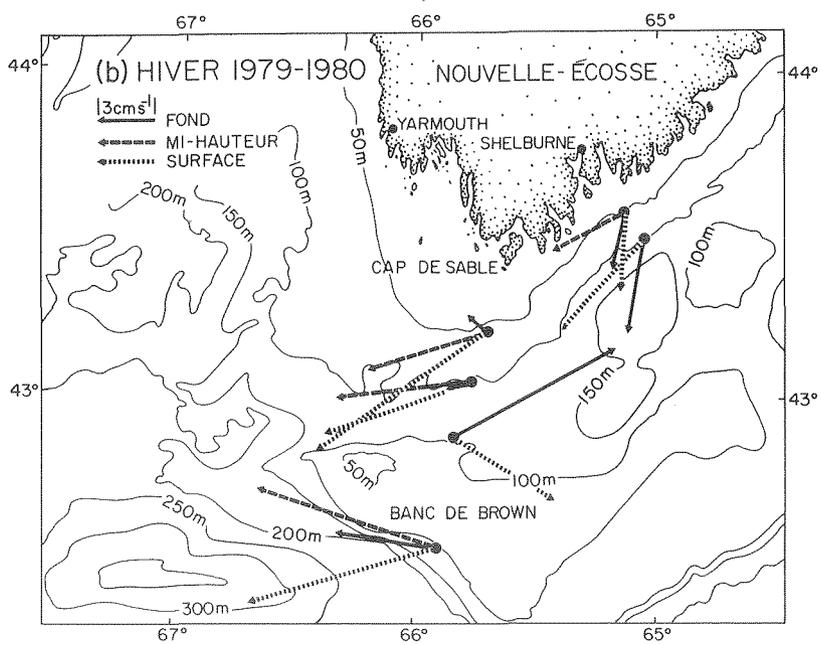
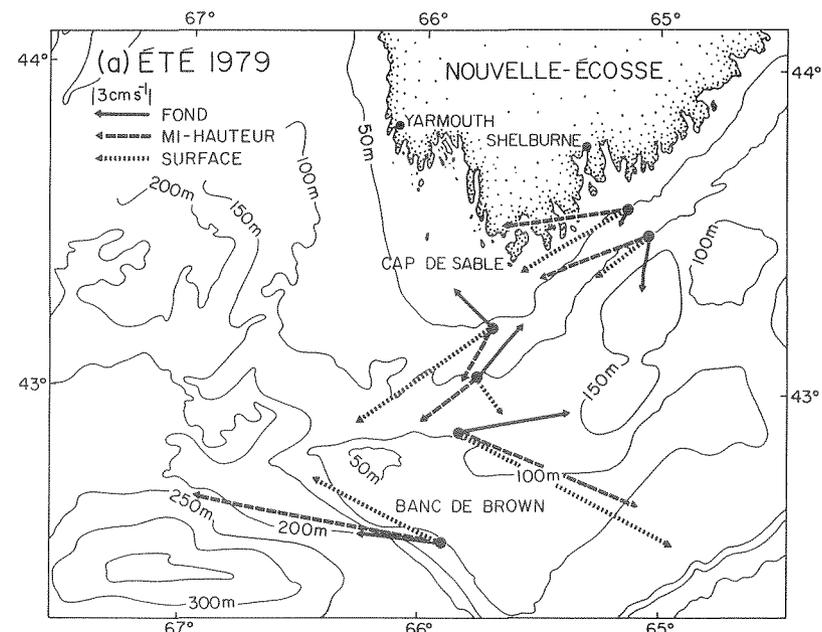
- (1) un courant longeant le rivage (sud-ouest) est observé dans la zone proche du rivage (c.-à-d. en deçà de l'isobathe de 110 m),
- (2) les courants opposés à C3 et C4 suggèrent un tourbillon océanique permanent tournant dans le sens horaire autour du banc de Brown, ce qui est également confirmé par certaines des mesures lagrangiennes, et
- (3) il existe des structures verticales persistantes, mais radicalement différentes, de la composante de vitesse en travers des isobathes au large du cap de Sable et au large de Shelburne.

Cette dernière observation démontre clairement la remontée "centrifuge" d'eau au large du cap de Sable associée avec des courants de fond dirigés vers la côte avec des composantes dirigées vers le large en surface et à profondeur moyenne, par opposition à des courants de fond dirigés vers le large et des courants à pro-

fondeur moyenne dirigés vers le rivage au large de Shelburne. Par contre, le tourbillon océanique du banc de Brown est un résultat entièrement inattendu qui suggère une importante influence topographique sur la circulation.

Certaines des caractéristiques saisonnières de la circulation peuvent être détectées par la comparaison des deux profils d'été au régime d'hiver. Par exemple, en hiver, l'afflux dirigé vers le golfe du Maine, aux deux amarrages au large du cap de Sable, est plus fort (6 à 20 cm/s) qu'en été et il s'étend jusqu'au fond de l'isobathe de 110 m, où il empêche apparemment la remontée d'eau profonde. Cet afflux, comme le montrent après traitement les données obtenues à l'amarrage C2 près de la surface pendant l'hiver 1979-80, n'est pas caractérisé par une variation régulière, mais plutôt par une succession de pulsations dont certaines sont clairement en rapport avec l'arrivée de fronts définis dans la masse d'eau de surface. L'importance de ces discontinuités thermiques (3 à 4°C) devrait permettre des observations synoptiques de ces événements à l'aide d'imagerie satellitaire infrarouge convenablement traitée, à condition que l'on dispose d'une couverture exempte de nuages.

Une grande partie des irrégularités de ces données peut être éliminée par l'étude de séries chronologiques des moyennes mensuelles, qui peuvent ensuite être utilisées pour quantifier les importantes variations saisonnières. Les courants de rivage mensuels moyens, par exemple, peuvent être utilisés pour estimer les variations du transport dans la section du cap de Sable, en supposant que chaque vitesse normale représente grossièrement la même fraction de la section transversale totale (sauf dans le cas de l'amarrage C1 à faible profondeur). En dépit d'importantes erreurs d'estimation (et d'une mauvaise définition), le cycle saisonnier est clairement défini dans les données de la première année, avec un minimum vers la fin de l'été et un maximum en hiver. Sur une base annuelle, le transport moyen mesuré correspond assez bien aux exigences du bilan (Hopkins et Garfield, 1979) de l'eau de la plate-forme Scotian, d'après l'analyse saisonnière de la masse d'eau dans le golfe du Maine, et aussi d'après des calculs géostrophiques sur deux ans (Vermersch et coll., 1979). En outre, la comparaison préliminaire du

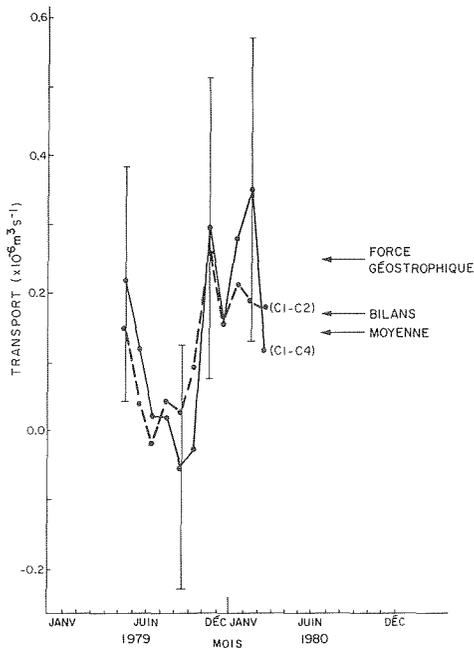


transport annuel moyen au cap de Sable avec des mesures contemporaines effectuées par des chercheurs des É.-U. indique que la somme des apports provenant de la plate-forme Scotian et des portions profondes du chenal Northeast est à peu près en équilibre avec l'écoulement sur le plateau continental de la Nouvelle-Angleterre. Ceci suggère que les pertes nettes d'eau du plateau emportée vers le large par des processus comme l'entraînement par les anneaux du Gulf Stream peuvent ne pas être aussi importantes qu'on le croyait jusque-là par rapport au bilan massique global du golfe du Maine.

Un autre aspect intéressant des calculs mensuels de transports est que des valeurs estimées pour les deux seuls amarrages côtiers sont presque égales au transport total net passant par la section. Ce résultat implique que le tourbillon océanique du banc de Brown est surtout un mouvement en circuit fermé qui ne contribue pas de façon importante au bilan massique du golfe. C'est pourquoi la portion principale de l'influx saisonnier peut être efficacement mesurée à l'aide d'instruments placés dans la zone proche du rivage au large du cap de Sable.

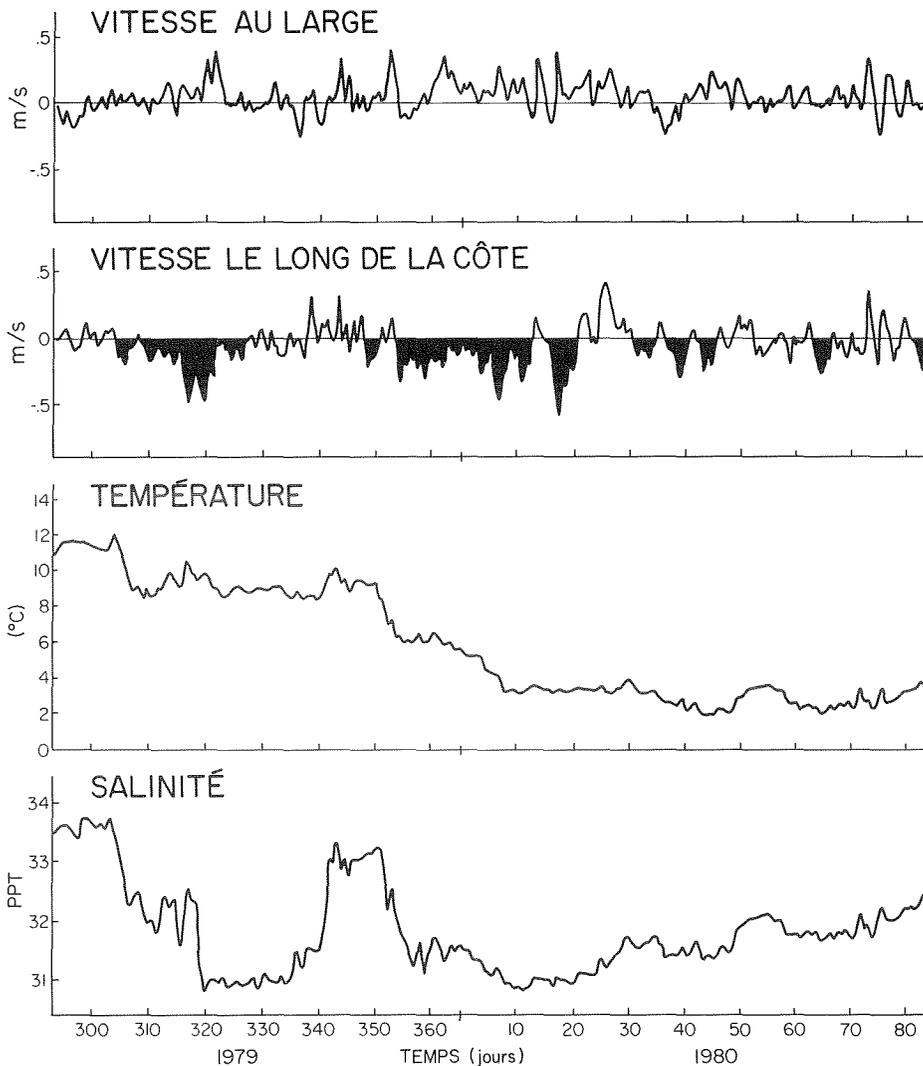
D'un point de vue dynamique, il est important de remarquer que l'analyse par la méthode des moindres carrés des données moyennes mensuelles du cap de Sable met en évidence de très importants cycles saisonniers de température (6-10°C, échelle totale) et de salinité (0,8-1,4 ‰), avec des intervalles réguliers de 7 à 9 mois à tous les points de collecte de données du cap de Sable. Les variations de température sont principalement régies par l'apport solaire et le refroidissement hivernal, mais pour ce qui est de la salinité, qui agit sur la densité, les effets de l'advection, par exemple l'arrivée d'eau douce du golfe St-Laurent, sont beaucoup plus importants. En outre, quand l'advection côtière est combinée avec les variations régionales de mélange tidal et (ou) de circulation résiduelle, il est possible d'établir des gradients horizontaux de densité qui sont eux-mêmes en équilibre avec les diverses configurations moyennes et saisonnières de circulation. Csáady (1976) a élaboré un modèle linéaire

◀ Schémas de la vitesse moyenne saisonnière:
 (a) été 1979 (avril-octobre),
 (b) hiver 1979-1980 (octobre-mars),
 (c) été 1980 (mars-août)



simple de diagnostic pour évaluer la circulation moyenne dans les mers peu profondes en tenant compte de la friction du fond, de la poussée des vents en surface, des gradients de densité au large et du

Étude volumétrique du transport dans la section du cap de Sable en 1979-1980. Les valeurs positives représentent l'écoulement vers le golfe du Maine, la courbe continue représente les amarres C1 à C4, celle en traits interrompus C1 et C2 seulement. La figure indique les moyennes annuelles des mesures ($0,14 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$), les bilans établis en fonction de l'analyse de la masse d'eau saisonnière ($0,17 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$) et la force géostrophique calculée à partir de données hydrographiques antérieures ($0,25 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$). Les barres d'erreur ont été établies d'après les erreurs-types relevées dans les mesures mensuelles moyennes de la vitesse.



Enregistrements filtrés des composantes de la vitesse au large et le long de la côte, de la température et de la salinité pour l'instrument amarré près de la surface au point C2 pendant l'hiver 1979-1980. Les vecteurs vitesse ont été calculés de façon que le courant positif longeant la côte soit orienté à 104° (nord vrai) de sorte que les parties ombrées représentent des épisodes d'écoulement dans le golfe du Maine.

gradient de pression le long du rivage dû à l'action de l'océan profond sur le plateau continental. Ce modèle a été modifié de façon à inclure des gradients de densité côtiers et il sert actuellement à étudier l'ensemble des données recueillies au cap de Sable. Les résultats préliminaires suggèrent que les gradients de pression et de densité de la zone littorale sont très importants du point de vue dynamique, du moins en été. Le gradient de pression est responsable des courants côtiers orientés vers le sud-ouest près de la côte et circulant dans le sens contraire de la force exercée par le vent, alors que le gradient de densité, s'exerçant sur le plateau de la Nouvelle-Écosse, produit un renversement de l'écoulement au large semblable à celui qui est associé au courant profond à l'amarrage C2 et qui apparaît dans la colonne d'eau à C3. Cependant la structure du champ de vitesse au large de Shelburne peut être expliquée par le seul gradient côtier de pression, ce qui corrobore son déplacement par rapport au fort régime de mélange tidal. Parmi les projets, on prévoit le développement de modèles de diagnostic plus perfectionnés, dont le principal avantage sera de fournir une interprétation des bilans dynamiques qui sous-tendent une circulation observée sans qu'il soit nécessaire de considérer les détails de leur évolution. Ces calculs seront ensuite comparés aux résultats des modèles d'écoulements résiduels tidaux non linéaires en vue de mettre en évidence les principaux mécanismes influant sur la circulation.

Références

- BIGELOW, H.B. 1927. Physical oceanography of the Gulf of Maine. U.S. Department of Commerce. *Bureau of Fisheries Bulletin* 40: 511-1027.
- COLTON, J.B., JR., and TEMPLE, R.F. 1961. The enigma of Georges Bank spawning. *Limnology and Oceanography* 6: 280-291.
- CSANADY, G.T. 1976. Mean circulation in shallow seas. *Journal of Geophysical Research* 81: 5389-5399.
- DENMAN, K.L. and HERMAN, A.W. 1978. Space-time structure of a continental shelf ecosystem measured by a towed porpoising vehicle. *Journal of Marine Research* 36 (4): 693-714.
- GARRETT, C.J.R. and LOUCKS, R.H. 1976. Upwelling along the Yarmouth shore of Nova Scotia. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 33: 116-117.
- HOPKINS, T.S. and GARFIELD, N. 1979. Gulf of Maine intermediate water. *Journal of Marine Research* 37: 103-139.
- LAUZIER, L.M. 1967. Bottom residual drift on the continental shelf area of the Canadian Atlantic Coast. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*

SUTCLIFFE, W.H., JR., LOUCKS, R.H., and DRINKWATER, K.F. 1976. Coastal circulation and physical oceanography of the Scotian Shelf and Gulf of Maine. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 33 (1): 98-115.

SUTCLIFFE, W.H., JR., DRINKWATER, K.F., and MUIR, B.S. 1977. Correlations of fish catch and

environmental factors in the Gulf of Maine. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 34 (1): 19-30.

VERMERSCH, J.A., BEARDSLEY, R.C., and BROWN, W.S. 1979. Winter circulation in the western Gulf of Maine. Part 2. Current and pressure observations. *Journal of Physical Oceanography* 9: 768-784.

Mélange tidal à l'extrémité du plateau (ou la chasse au soliton)

H. Sandstrom et J.A. Elliott

L'un des problèmes fondamentaux de la biologie du plateau continental est le mécanisme de l'approvisionnement en nutriments nécessaires pour soutenir la production primaire observée. Sur la plateforme Scotian, l'approvisionnement primaire provient probablement des eaux profondes au large du plateau, de sorte que, pour soutenir la forte production de phytoplancton et de zooplancton que connaît le plateau, les eaux profondes au-delà du rebord doivent se mélanger avec les eaux de surface au-dessus du plateau.

L'écoulement en profondeur de nutriments dans la direction du rivage peut être expliqué en termes de transports subtidaux, notamment de courants de vent et d'effets de déplacement qui ont lieu au large (Smith, 1978), mais le mélange vertical est nécessaire sur le plateau pour expliquer les concentrations de nutriments observées dans la zone euphotique. Certains indices (Fournier et coll., 1977) laissent croire qu'une augmentation de l'apport de nutriments et donc du mélange vertical se produit dans la zone du talus continental. Ils donnent également à penser que ce mélange peut survenir au niveau du front du talus continental, mais Smith (1978) estime que les processus de mélange frontal sont au moins six fois moins efficaces que les événements à grande échelle et à faible fréquence.

Nous avons mené un programme expérimental en mer pour examiner le rapport entre la turbulence et les courants tidaux au rebord du plateau afin de déterminer si le mélange tidal peut constituer un mécanisme de transfert vertical des nutriments, et de le comparer avec d'autres mécanismes comme l'enfoncement de la couche de mélange à cause de la pression exercée par le vent en surface (cf. Smith et coll., 1978).

La relation exacte entre les ondes in-

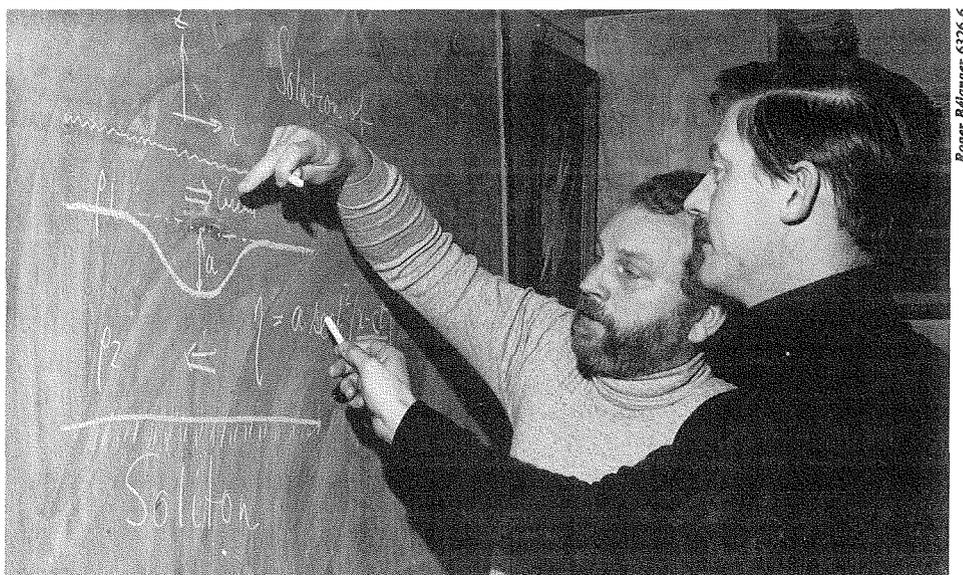
ternes et la turbulence n'est pas connue, mais l'énergie des ondes internes peut être convertie en turbulence par des instabilités de cisaillement et de convection (retournement). L'énergie de la marée interne est élevée dans la portion supérieure du talus et près du rebord du plateau, et les conditions favorisent l'instabilité de cisaillement barocline. Petrie (1974) a montré que l'énergie tidale barocline était pratiquement absente à environ 15 km au sud du rebord du plateau, ce qui suggère que la dissipation près du rebord du plateau est élevée.

Nous avons prévu comme première expérience sur le terrain un essai du modèle linéaire (c.à-d. à petite amplitude) de la marée M2. Nous espérons trouver dans nos observations une corrélation entre les phénomènes tidaux et les événements à plus petite échelle pour voir si une petite structure comme celle-ci, qui comporte de la turbulence, était modulée sur les périodes de marée.

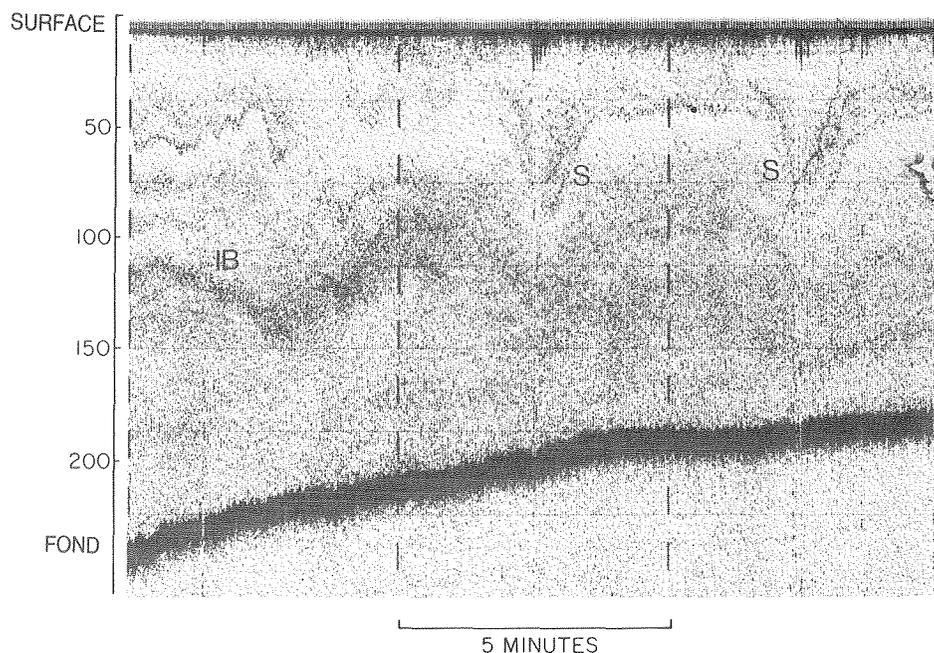
Notre première expérience couvrait une

zone rectangulaire d'environ 50 km en travers du talus et de l'extrémité du plateau et de 25 km le long du rebord du plateau. Notre travail consistait en un relevé CTP de toute la zone suivi d'une étude détaillée de la structure de l'eau près du centre du rectangle à deux amarages de courantomètres et de chaînes de thermistors situés à 4 et 10 km du rebord du plateau, en direction du rivage. Pendant l'étude, nous avons monté et descendu la sonde CTP d'emplacement en emplacement pendant au moins un cycle tidal par emplacement. A certains emplacements, nous avons utilisé la séquence sonde CTP, OCTUPROBE et courantomètre à profil, bien que de grands vents aient rendu difficile une partie de ce travail; nous avons recueilli des données sur les couches diffusantes au moyen de deux systèmes d'échosondage fonctionnant à 12 et à 120 kHz.

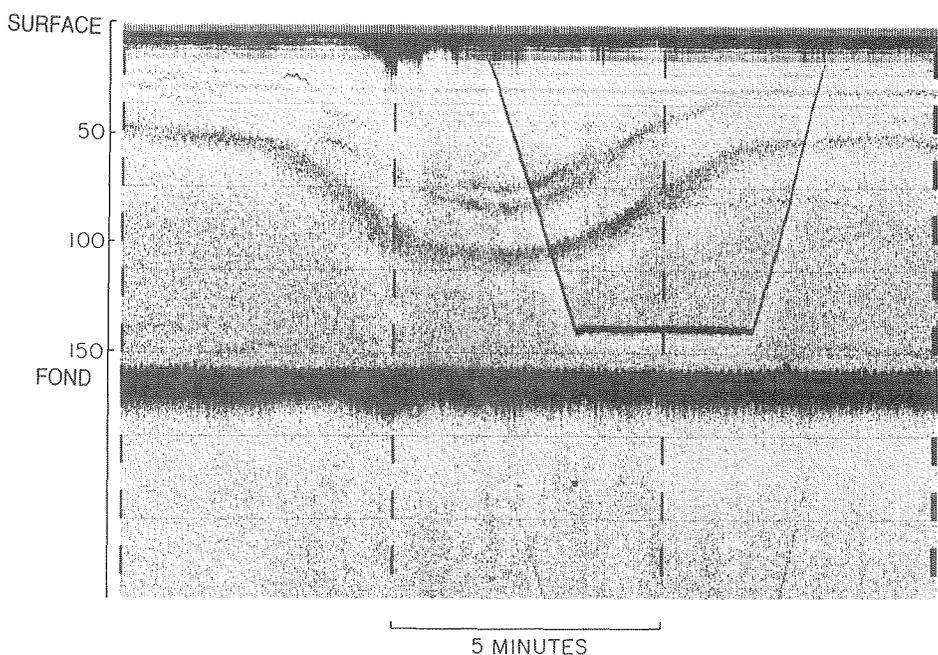
Pendant l'expédition, une première étude des données CTP a révélé l'inexactitude flagrante de l'idée que nous avions de la dynamique du rebord du plateau. Nous n'avons pas repéré de faisceaux d'énergie barocline, mais nous avons vu que la base de la couche mixte de surface était de loin la zone la plus active. Cela a été confirmé par une étude approfondie de l'ensemble des données. Bien qu'une brève tempête au milieu de l'expédition ait entraîné le passage d'un régime principalement inertiel, on s'est rendu compte que le principal cisaillement de courant apparaissait en travers de la base de la couche mixte avec d'importants déplacements verticaux et des activités sporadiques au



Hal Sandstrom (à gauche) et Jim Elliott.



Lame interne à la limite de la plate-forme continentale avec apparition de deux solitons.



Un soliton sur la plate-forme continentale; profondeur = 160 m. La trace en forme de seu est due à la sonde CTD.

niveau de la microstructure. La nature non linéaire de la marée barocline nous est devenue évidente, mais il apparaissait également que nous ne pouvions pas suivre l'évolution de sa non-linéarité avec les méthodes que nous avons utilisées.

Pendant la deuxième expédition dans la même zone, nous avons utilisé un Batfish (qui donne un profil vertical en dents de scie en mesurant la pression, la température et la salinité) comme principal instrument. Les propriétés hydrographiques relevées pendant les deux expéditions, à près d'un an d'intervalle, étaient sembl-

ables, la couche de mélange étant bien développée jusqu'à une profondeur d'environ 40 m. Aucun signe d'activité frontale du talus continental n'a pu être observé, et le champ de densité était horizontalement uniforme.

Nous avons parcouru avec le Batfish et les échosondeurs trois sections de 15 km chacune, d'une durée d'au moins 12 h 30, depuis la portion supérieure du talus en passant par le rebord du plateau jusqu'à environ 40 km à l'intérieur du plateau, pour décrire l'inclinaison de la marée barocline près du rebord du plateau

et son évolution à mesure qu'elle se propage au-dessus du plateau.

L'étude des données acoustiques nous a permis de distinguer dans les couches diffusantes des caractéristiques indiquant la présence d'un grand nombre d'instabilités internes. Le champ d'ondes internes était sporadique, avec des ondes courtes d'une amplitude généralement inférieure à 10 m. A d'autres occasions, toutefois, nous avons observé d'importants déplacements verticaux que nous avons identifiés comme des lames internes ou des ressauts hydrauliques, avec ce qui semble être des solitons, des ondes solitaires d'un type n'ayant été observé avec certitude que dans les bassins à ondes expérimentaux. A deux occasions au moins, nous avons observé une lame interne, et un soliton qui semblait émerger du front de celle-ci et s'en éloigner. Nous pensons avoir assisté à la naissance d'un soliton, ce qui constitue peut-être une première.

A la fin de notre étude systématique, nous sommes partis à la chasse aux lames et aux solitons avec le Batfish et le système acoustique; nous les avons suivis pour déterminer leur vitesse de propagation et leur durée en naviguant en va-et-vient sur la même trajectoire le long des sections.

Nous avons mis sur graphique toutes les observations de lames internes et de solitons en fonction de leurs coordonnées sur le plateau et des heures de marée haute à Halifax. Pendant 19 cycles tidaux semi-diurnes, nous avons noté 41 observations différentes, dont environ la moitié étaient certainement ou probablement des solitons. Ils semblent avoir une vitesse de propagation d'environ 2 noeuds. Les lames et les solitons apparaissent près du rebord du plateau au début de la marée montante, se propagent vers le nord au-dessus du plateau sur moins de 30 km puis disparaissent. Un seul soliton, à caractère douteux, a été observé à plus de 30 km du bord du plateau, et on n'en a vu aucun au-dessus du talus. Quand on a repéré et suivi des solitons, ils semblaient se dissiper et se perdre après environ 10 km.

A partir de ces observations, nous présentons une explication provisoire de la marée interne près du rebord du plateau: pendant la marée montante, l'interface entre la couche mixte et l'eau dense sous-jacente est déprimée au-dessus du sommet du talus et du rebord du plateau à cause de l'ajustement barocline que subit

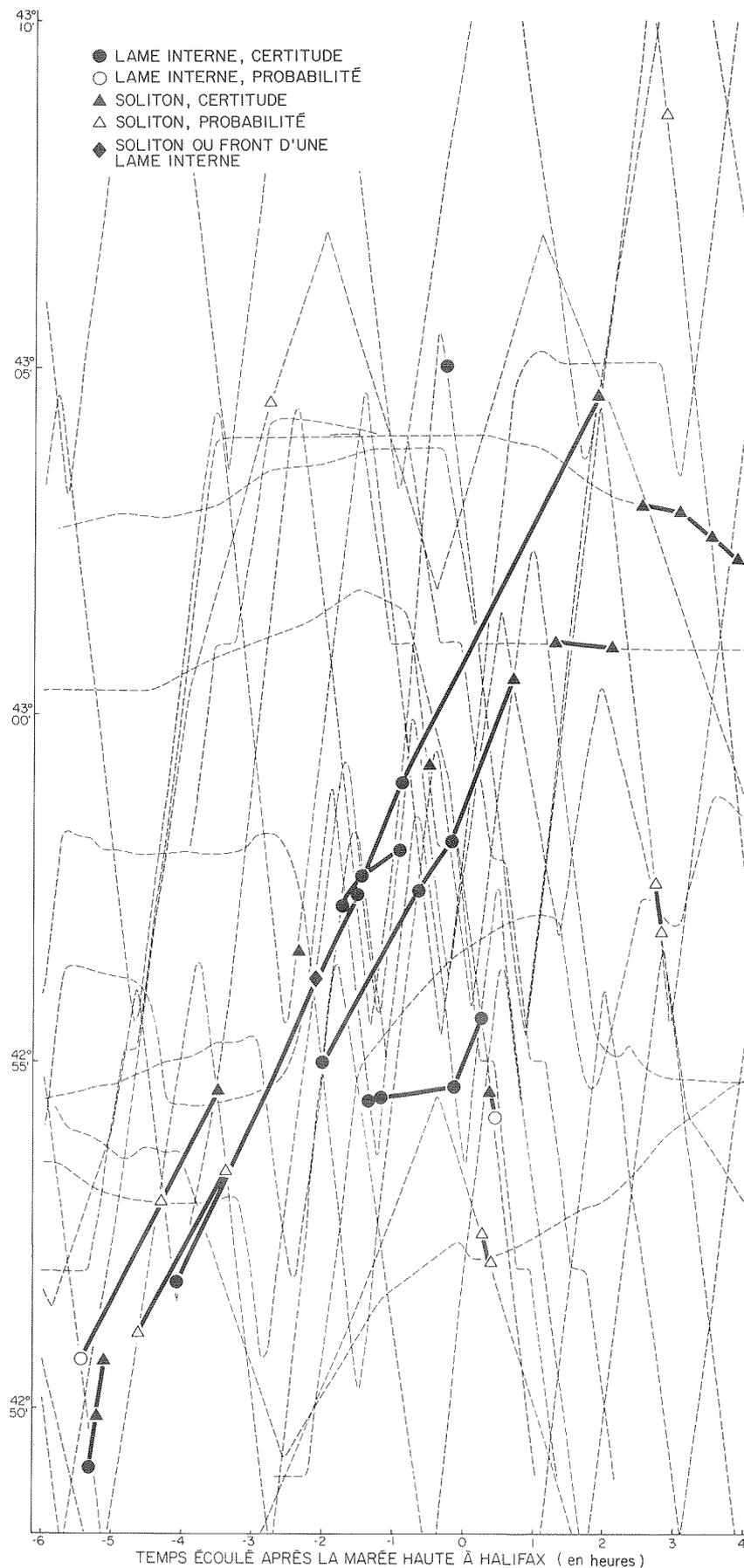


Schéma spatio-temporel des observations de lames internes et de solitons sur fond de déplacement du navire.

l'écoulement à mesure qu'il traverse le talus. Sur le plateau, le front de la dépression s'incline, et des ondulations se forment dans sa portion arrière à cause d'effets dispersifs. Cela peut former une lame interne, qui peut elle-même fournir à l'occasion un milieu propre à la propagation d'un ou de plusieurs solitons.

Le soliton avance un peu plus rapidement que la lame, qui se déplace à une vitesse à peu près semblable à celle des ondes internes de petite amplitude. A mesure que les solitons se séparent d'une lame, ils lui enlèvent une grande partie de son énergie. L'énergie du soliton se dissipe ensuite graduellement à mesure qu'il se propage au-dessus du plateau. Quel que soit le détail de ce processus de dissipation, ses effets nets sont que la marée interne agit comme source d'énergie pour mélanger, l'eau. En outre, nous pouvons évaluer l'énergie d'un soliton, et, à partir de la vitesse de disparition des solitons, nous pouvons évaluer la vitesse à laquelle cette énergie se libère pour le mélange.

Les solitons observés avaient des amplitudes d'environ 25 à 60 m, et, en général, leur longueur était de 500 à 1000 m. Ils semblaient se dissiper en 10^4 s environ, soit sur une distance d'environ 10^4 m à une vitesse de propagation d'environ 1 m/s. Si nous basons nos évaluations sur un soliton d'une amplitude de 50 m et d'une longueur de 100 m, en utilisant la différence de densité observée dans un système à deux couches de $\Delta\rho = \text{kg/m}^3$, nous obtenons comme énergie totale du soliton environ 10^8 J/m et une dissipation d'environ 1 W/m . Une valeur de $0,1 \text{ W/m}^2$ serait peut-être plus prudente, si l'on répartit la dissipation sur un cycle tidal.

Une partie de cette énergie sert au mélange *in situ* de la colonne d'eau, ce qui lui donne une énergie potentielle accrue, et une autre partie sert à la production de turbulences sous forme d'énergie cinétique. On estime que le rapport des deux dans l'océan va d'un faible pourcentage à peut-être un tiers. Si nous adoptons l'évaluation de 0,1 (par ex. Osborn, 1980), nous avons une énergie d'environ 10^{-2} W/m^2 pour l'érosion de la base de la couche de mélange. Par comparaison, le modèle de Denman (1973) de l'érosion d'une couche mixte avec un vent de 10 m/s soufflant à la surface de la mer fournit environ $2 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2$ à la base de la couche mixte.

La tempête qui a marqué notre pre-

mière expédition a été à l'origine d'importants mouvements inertiels dans la couche de mélange. Nous avons enregistré des courants inertiels d'environ 0,3 m/s après une période de vents de 50 noeuds. Si nous supposons que les courants sont uniformes sur une épaisseur de 100 m et que l'énergie est fournie pendant une période inertielle, le flux d'énergie à travers la surface de la mer est d'environ $0,1 \text{ W/m}^2$, soit une valeur égale à la dissipation du soliton. Ainsi, si nos observations sont typiques de cette région du plateau continental, l'action des mélanges dus à la marée barocline serait égale ou supérieure à l'énergie fournie par les tempêtes.

Petrie (1974) a évalué le flux net d'énergie dans les marées internes à $8 \times 10^2 \text{ W/m}$ pour le système du talus et du plateau continental Scotian, bien que les évaluations pour les autres emplacements soient quelque peu inférieures. Les résultats de nos calculs sur la dissipation de l'énergie du soliton dépassent toutes les évaluations publiées sur le flux d'énergie dans les marées internes et, puisque cette énergie se libère sur le plateau continental, elle a un rôle particulièrement important.

Nous concluons que les instabilités, y compris les lames internes et les solitons associés à la marée barocline, ont suffisamment d'énergie pour constituer le mécanisme primaire de mélange près du rebord du plateau. Ces phénomènes s'étendent jusqu'à peut-être 20 - 30 km du rebord du plateau en direction du rivage, et aussi le long de la périphérie des bancs de pêche du plateau continental.

Références

- DENMAN, K.L. 1973. A time-dependent model of the upper ocean. *Journal of Physical Oceanography* 3(2): 173-184.
- FOURNIER, R.O., MARRA, J., BOHRER, R., and VAN DET, M. 1977. Plankton dynamics and nutrient enrichment of the Scotian Shelf. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 34: 1004-1018.
- OSBORN, T.R. 1980. Estimates of the local rate of vertical diffusion from dissipation measurements. *Journal of Physical Oceanography* 10(1): 83-89.
- PETRIE, B.D. 1974. Surface and internal tides on the Scotian Shelf and Slope. Unpubl. Ph.D. Thesis, Dalhousie University, Halifax, N.S.: 152 pp.
- SMITH, P.C. 1978. Low frequency fluxes of momentum, heat, salt, and nutrients at the edge of the Scotian Shelf. *Journal of Geophysical Research* 83 (c8): 4079-4096.
- SMITH, P.C., PETRIE, B., and MANN, C.R. 1978. Circulation, variability, and dynamics of the Scotian Shelf and Slope. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 35: 1067-1083.

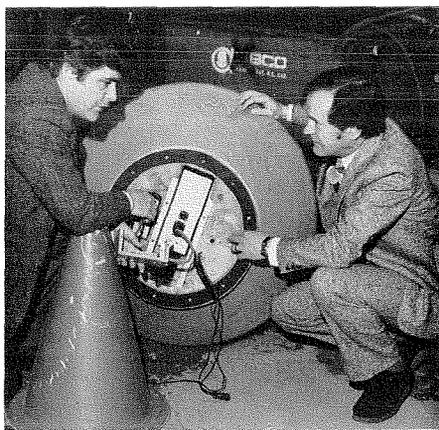
Transmission en temps réel des données via satellite

G. Fowler, J.-G. Dessureault
et J.A. Elliott

Jusqu'à ces derniers temps, les informations océanologiques étaient recueillies soit en temps réel par des navires effectuant des mesures soit en laissant sur place des instruments automatiques amarrés destinés à collecter des données sur une

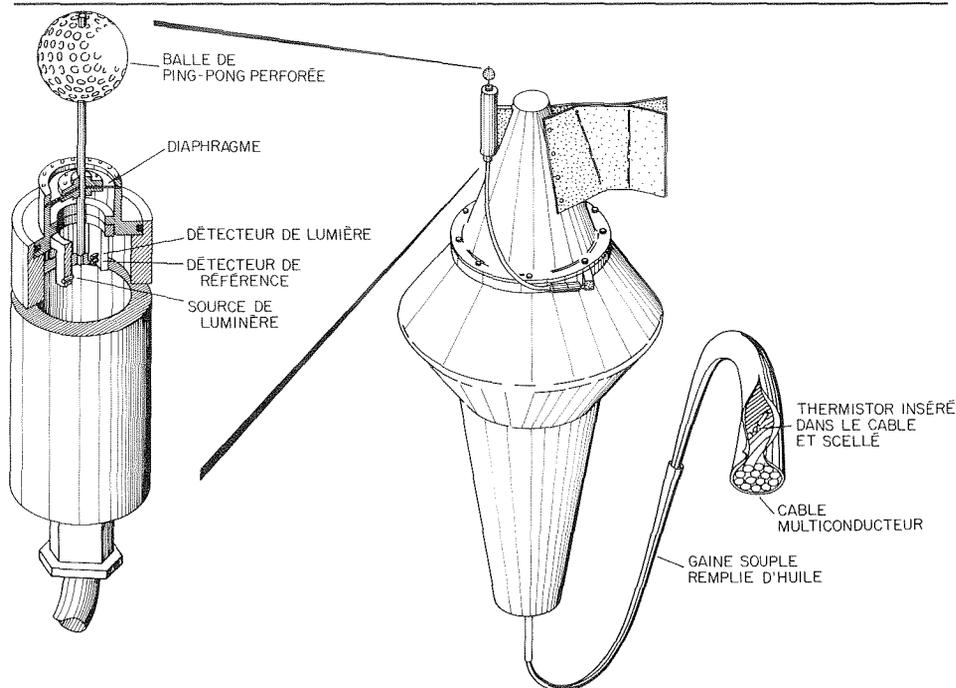
chronologiques continues de données pour une gamme plus limitée de paramètres à un emplacement fixe, est plus risquée parce que les données peuvent être perdues en totalité ou en partie en cas de panne ou de destruction du matériel.

Des progrès récents dans les techniques de communication par satellite, qui permettent la collecte des données transmises par de petites bouées en surface, apportent une plus grande qualité de données sur les océans en combinant les avantages du temps réel avec les caractéristiques à long terme des systèmes amarrés. Mieux encore, comme le système assure une transmission presque immédiate, il est possible de réaliser des études ou des activités jusqu'ici irréalisables. Plus particulièrement, il est maintenant possible de surveiller des processus océaniques pratiquement au moment où ils surviennent; cela améliore la capacité de prévision ou permet une réponse aux changements observés. Un autre avantage intéressant de la disponibilité immédiate des données recueillies est évident quand il est nécessaire d'opérer dans une région où le risque de perte de matériel est grand à cause, par exemple, du trafic maritime ou des glaces.



George Fowler et Jean-Guy Dessureault.

période prolongée. La première méthode, bien qu'elle permette une plus grande souplesse pour ce qui est du type, de la qualité est du lieu des mesures, est très coûteuse, et sa durée est normalement limitée à quelques semaines. La dernière, bien qu'elle présente la possibilité d'obtenir des séries



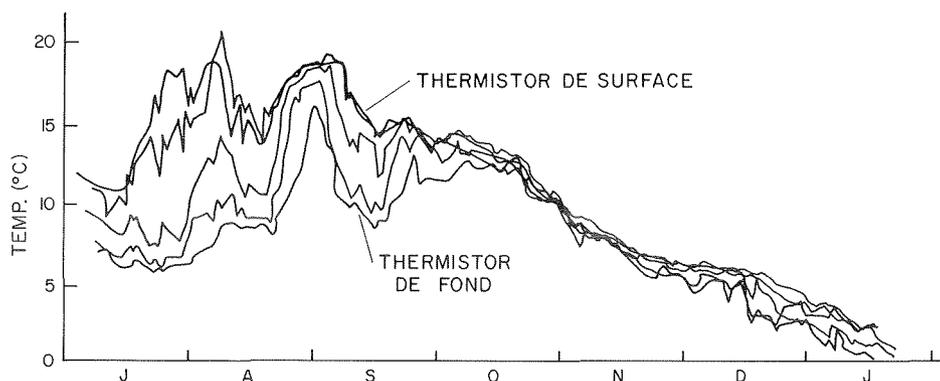
Bouée de transmission des données par satellite avec un schéma détaillé de l'anémomètre et de la chaîne à thermistors.

Bien qu'il n'y ait aucune différence du point de vue physique entre la perte d'une bouée interrogée par satellite et celle d'un système à enregistrement automatique, au moins le chercheur dispose-t-il des données transmises par satellite jusqu'au moment de l'accident, alors que la récupération des données enregistrées automatiquement est très improbable. Étant donné que l'infrastructure de transmission des données est en place en permanence, il est possible de l'utiliser avantageusement pour mettre en service rapidement une bouée émettrice destinée à un cas d'urgence comme un déversement d'hydrocarbures.

Un océanographe physicien peut tirer avantage d'un tel système selon la disponibilité et le type des capteurs qui ont été intégrés avec succès à ces bouées. Au Canada et dans d'autres pays, on a beaucoup travaillé à l'application de cette technologie, principalement, mais non exclusivement, pour les études atmosphériques. Les programmes de nature globale comme le FGGE (Première expérience globale du GARP) ou le STREX (Storm Response Experiment) (Kerut, 1981) dans le nord du Pacifique ont fait appel à ces systèmes relativement peu

où l'emplacement de la bouée (pour les bouées dérivantes) peut être calculé et retransmis à l'utilisateur avec les données mesurées. Plusieurs bouées de ce type ont été mises au point par des firmes privées dans le monde entier, et notamment la société Hermes Electronics Ltd. de Dartmouth (N.-É.), dans le cadre du programme SCDO, Système canadien des données océaniques; elles se sont révélées très fiables et utiles. Afin d'augmenter leur utilité pour l'océanographie, on travaille au développement de nouveaux capteurs et à l'étude des caractéristiques de dérive des bouées.

Pour aider l'océanographe physicien dans ses études de la couche supérieure de l'océan, on cherche à obtenir de l'information thermique à l'aide de chaînes de thermistors attachées à des bouées interrogées par satellite (Beacht, 1981; Albrecht, 1981). Il y a eu plusieurs tentatives visant à mettre au point un appendice de type chaîne attaché à une bouée de surface (y compris un modèle mis au point dans le cadre du programme SCDO) mais les dispositifs ont malheureusement connu des pannes prématurées. Dans la conception d'un système fiable, le point d'attache entre la bouée et la chaîne pose souvent un

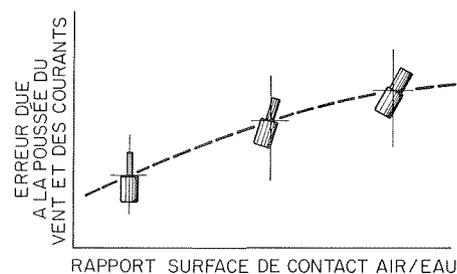


Données fournies par une chaîne à thermistors placée dans le bassin de Bedford (de juillet 1980 à janvier 1981) obtenues à l'aide d'une chaîne amarrée de 25 m rattachée à une bouée interrogée par satellite.

coûteux. Les bouées interrogées par satellite portent habituellement des capteurs pour mesurer la température de l'air, la pression atmosphérique, la température de l'eau en surface et la température subsurface. En pratique, des bouées amarrées ou des bouées dérivant librement sont mises en place dans la zone d'intérêt pour mesurer et transmettre en continu des données à jour suivant un programme fixe. Leurs signaux sont recueillis par des satellites capables de trier les données et de les retransmettre jusqu'à une station terrestre

problème. Le mouvement continu de la bouée en réponse aux vagues de surface exerce une contrainte de flexion désordonnée sur tout raccordement électrique placé sous la bouée. Après analyse des pannes des bouées initiales (SCDO) à chaîne de thermistors, l'IOB a mis au point une autre méthode d'attache, qui a été évaluée en fonction de son utilisation en haute mer.

Le modèle choisi pour réduire les problèmes d'attache est basé sur la séparation des câbles à thermistors et du raccord mécanique entre la bouée et l'ancre flot-



Représentation qualitative des erreurs relevées avec des bouées cylindriques présentant différents rapports de surface de contact air/eau. L'absence de linéarité observée est liée en partie à la variation de la forme et de la surface de contact due à l'orientation de la bouée.

tante, s'il y a lieu, ou le câble d'amarrage. Pour réduire le coût du système, ce modèle comporte des constituants normalisés facilement disponibles. L'appareil est constitué d'un câble électrique à fils multiples isolé à l'aide de plastique, dans lequel des thermistors miniatures de type perle sont insérés par incision en certains points. Le câble est ensuite enfilé dans un tube de nylon-pollyuréthane pourvu de pièces métalliques à ses extrémités, et l'espace interstitiel est rempli d'huile par succion. Une fois le dispositif en place, la seule contrainte exercée sur le câble conducteur est celle qui est due à son propre poids dans l'huile. Le mouvement de flexion causant les dommages près du raccord de la bouée est réduit par des dispositifs limitant le fléchissement, placés à l'extérieur du tube.

Pour les essais sur le terrain, on a utilisé deux dispositifs expérimentaux de 25 m amarrés pour des périodes de six et cinq mois dans le bassin de Bedford (N.-É.). Dans les deux cas, les bouées ont dû être enlevées parce que la couverture glacielle menaçait de les endommager sérieusement. Les deux unités ont transmis des données sur 8 canaux à des intervalles de 55 s à l'aide d'émetteurs normalisés pour liaisons satellitaires en liaison radio directe avec l'Institut, ce qui permettait de surveiller de près la survie du système. La première unité, qui ne portait que des capteurs de température, a fonctionné de juillet 1980 à janvier 1981. La deuxième a fonctionné d'août 1981 à janvier 1982 avec une chaîne prolongée de capteurs (y compris ceux de pression) à l'extrémité inférieure de la chaîne.

Au printemps de 1981, on a réalisé un essai opérationnel d'une chaîne de 10 thermistors, mesurant 75 m, avec un amarrage permettant une certaine dérive, sur le Bon-

net Flamand, au large de Terre-Neuve, par 200 m de fond; l'essai a duré 67 jours. Bien que les études conceptuelles aient indiqué que la rupture de la chaîne surviendrait probablement près du point de raccord de la bouée, le thermistor de cette zone a survécu alors que ceux situés à 30 et à 20 m sont tombés en panne après 10 et 47 jours, respectivement. Malheureusement, la chaîne a été sectionnée à une faible distance de la bouée pendant la récupération, de sorte qu'on ne dispose pas d'informations sur la cause de la panne des capteurs de température ou de leurs fils conducteurs. On a mis en évidence un problème de compatibilité de l'huile utilisée avec l'isolation électrique dans les chaînes, et des mesures ont été prises pour pallier cette difficulté. Néanmoins, d'autres essais d'évaluation sont nécessaires.

La deuxième bouée ancrée dans le bassin de Bedford comportait également un anémomètre monoaxial de poussée de vent, d'un type nouveau, pouvant aussi enregistrer la direction du vent associé. La force du vent sur une cible constituée par une balle de ping-pong est transmise via un axe vertical à monture élastique jusqu'à un dispositif couplé optiquement qui mesure la flexion de l'extrémité opposée de l'axe. Le type de montage élastique de l'axe est tel que sa force de rappel est comparable à la relation force/vitesse du vent. Ce dispositif améliore considérablement la gamme des mesures possibles du vent. Une girouette maintient la bouée alignée dans le vent, dont on connaît la direction grâce à une boussole interne. Le capteur de direction du vent a fonctionné adéquatement pendant la période d'essai, mais le capteur de poussée de vent est tombé en panne après quelques jours de fonctionnement à cause de la détérioration du circuit électrique provoquée par l'humidité et la condensation. Il est possible de résoudre ce problème, et un système amélioré doit être testé sur le terrain en 1982.

Les chercheurs s'intéressent aussi à l'importance et la direction des courants à la surface, à leurs effets, par exemple, sur le déplacement des hydrocarbures, et aux possibilités de suivre en temps réel les nappes d'hydrocarbures. Les bouées dérivantes conçues actuellement sont destinées à suivre les courants subsuperficiels à l'aide d'ancres flottantes mises en place en profondeur. La transformation de l'ancre flottante d'une bouée dérivante ordinaire en dispositif permettant de suivre les

hydrocarbures, qui sont parfois sous forme de grumeaux ou de boules de goudron, est d'une utilité douteuse à cause de l'effet des forces exercées par le vent sur la bouée au-dessus de la ligne de flottaison. Pour cette raison, la mise au point de bouées destinées à cette application a donné lieu à d'importants travaux, et des modèles existent maintenant sur le marché. Toutefois, pour tenter de comprendre les processus de poussée et leurs effets sur les caractéristiques de dérive des bouées, les chercheurs ont construit et testé une série de bouées à profil variable au-dessus de l'eau mais constant sous l'eau. Un système de relevé photographique par hélicoptère a permis de cartographier le déplacement de ces diverses bouées dans le bassin de Bedford, et des essais seront effectués en haute mer dans un proche avenir. Les chercheurs doivent aussi tester des bouées présentant diverses formes au-dessous de la ligne de flottaison, et les données obtenues serviront à évaluer l'erreur due à la dérive causée par le vent, erreur prévisible quand on utilise des bouées dérivantes dont une partie émerge. La réussite de cette étude et l'évaluation en cours des diverses formes de bouées permettront de surveiller plus précisément les courants de surface ou de

concevoir des modèles de bouées plus efficaces.

On commence seulement à se rendre compte du potentiel de la collecte en temps réel des données à l'aide de capteurs à distance. Les chercheurs peuvent maintenant espérer obtenir une plus grande gamme de données qui leur permettront de mieux comprendre l'océan et ses mécanismes. Toutefois, ce potentiel ne sera exploité convenablement que si l'on accorde suffisamment d'attention à la mise au point des capteurs, des bouées destinées à les porter et des systèmes de traitement des données, ainsi qu'aux spécifications des coques nécessaires pour des applications particulières.

Références

- ALBRECHT, J.A. 1981. Subsurface temperature data from the Great Lakes. National Oceanic and Atmospheric Administration, Data Buoy Office, *Ocean Engineering* 7 (3).
- BEACHT, W. 1981. Subsurface ocean temperature development. National Oceanic and Atmospheric Administration, Data Buoy Office, *Ocean Engineering* 7(2).
- KERUT, E.G. 1981. Drifting buoys used in the Northeast Pacific Ocean Experiment. National Oceanic and Atmospheric Administration, Data Buoy Office, *Ocean Engineering* 7 (1).

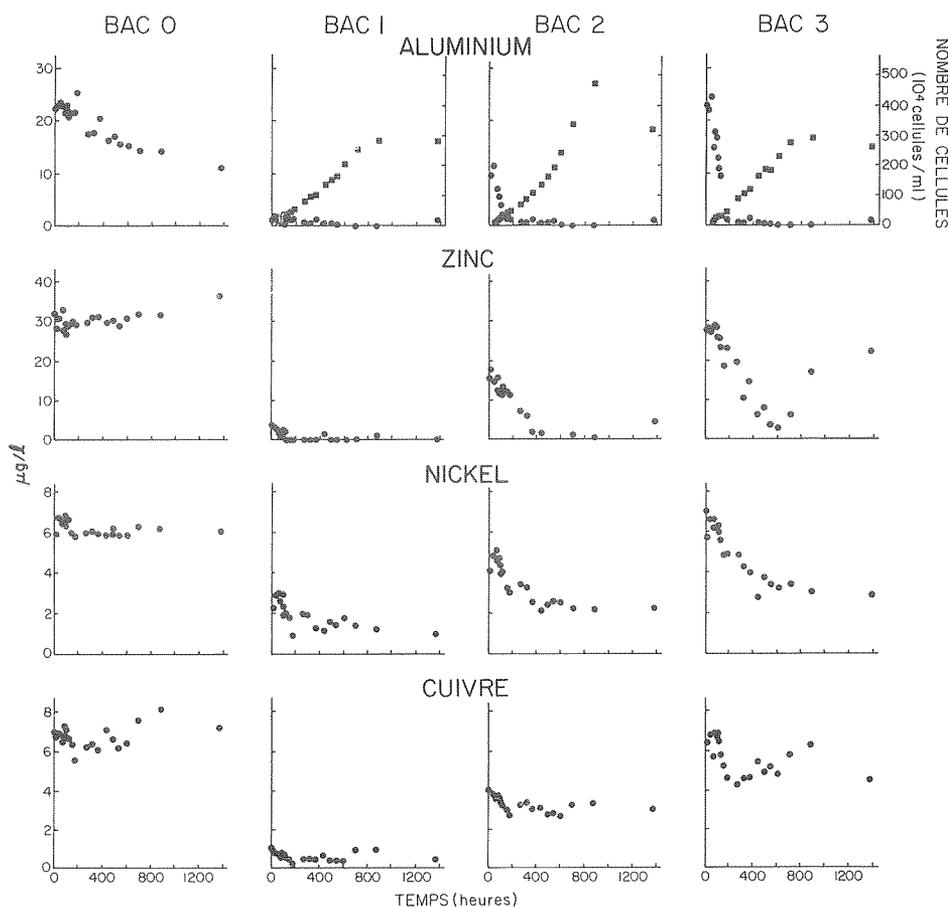
Facteurs biologiques influant sur la distribution océanique des métaux-traces

M. Stoffyn et P.A. Yeats

Nous avons étudié l'influence des processus biologiques sur la distribution océanique des métaux en notant la distribution ambiante des métaux dans l'océan et en étudiant leur absorption par des cultures en laboratoire. On ne dispose de distributions verticales précises des métaux que depuis quelques années, c'est-à-dire depuis que les océanographes chimistes ont fait de nets progrès dans la mesure des concentrations de métaux-traces dans l'eau de mer. Cette amélioration constitue une percée qui nous amène à mieux comprendre le comportement des métaux dans l'océan. La plupart des profils océaniques recueillis jusqu'à présent viennent de l'océan Pacifique, mais plusieurs profils provenant de l'Atlantique s'y sont ajoutés, et le nombre des métaux décrits par ces profils s'est accru.

La distribution du cadmium, du chrome, du nickel et du zinc dans l'océan

Pacifique est semblable à celle des nutriments comme le nitrate, le phosphate et le silicate: à la surface, leur concentration est faible, mais elle augmente jusqu'à un maximum à une profondeur intermédiaire (Bruland, 1980; Cranston et Murray, 1978). La distribution verticale des nutriments dans l'océan reflète principalement leur absorption par des micro-organismes marins dans la zone euphotique et leur régénération ou dissolution pendant la dégradation des débris organiques qui tombent vers le fond. Ainsi, la ressemblance entre les profils de certains métaux-traces et ceux des nutriments suggère que l'activité biologique primaire est le principal processus qui agit sur la distribution de ces métaux dans l'océan. Evidemment, les gradients de concentration les plus prononcés, tant pour les métaux que pour les nutriments, plus particulièrement pour le nitrate et le phosphate, apparaissent dans les



Représentation graphique de la concentration des éléments-traces en fonction du temps dans chaque bac. Les courbes définies par des carrés dans les graphes correspondant à l'aluminium représentent la concentration des cellules en fonction du temps dans chaque bac ensemencé.

couches supérieures de l'océan, où le recyclage biologique prédomine. Dans les eaux profondes, les distributions verticales sont plus fortement influencées par l'advection horizontale que par l'activité biologique. Ainsi, les covariances régulièrement fortes du zinc et du silicate, ainsi que du cadmium et du phosphate, observées dans le Pacifique dans toute la colonne d'eau, sont une indication de l'uniformité des rapports Zn-Si et Cd-P dans l'ensemble de ce bassin océanique.

Les profils du manganèse et du plomb sont très différents de ceux des éléments qui sont en rapport avec les nutriments (Klinkhammer et Bender, 1980; Schaudé et Patterson, 1981). La concentration de ces deux éléments est élevée dans les eaux de surface et diminue avec la profondeur pour atteindre une concentration relativement uniforme dans la plus grande partie des couches profondes. La concentration élevée observée en surface est due à de fortes injections de ces éléments dans les eaux de surface par les précipitations atmosphériques et le ruissellement d'eau douce des terres. Dans la colonne d'eau,

les métaux sont éliminés par adsorption sur des particules biogéniques et inorganiques (par ex. l'argile) et, dans le cas du manganèse, par authigenèse. D'autres métaux, comme le cuivre, présentent des profils intermédiaires entre ces deux types extrêmes. La concentration du cuivre est plus faible dans les eaux de surface que dans les eaux profondes, mais cette distribution verticale ne ressemble vraiment à celle d'aucun nutriment et elle est probablement liée à des interactions avec des particules inorganiques dans la colonne d'eau (Bruland, 1980). Les sédiments marins peuvent également être une source de métaux dissous, comme le montre la concentration élevée de certains métaux (manganèse et cuivre) près de l'interface sédiment-eau dans diverses zones.

La principale région qui intéresse les chercheurs de l'IOB est l'océan Atlantique. Les profils des métaux-traces que nous avons obtenus pour cet océan sont généralement semblables à ceux qu'on obtient pour le Pacifique, mais les gradients de concentration obtenus, tant pour les métaux que pour les nutriments, y sont

moins prononcés. Ce phénomène est en rapport avec l'océanographie physique de l'Atlantique. Comme dans le Pacifique, le zinc et le cadmium y sont présents à de très faibles concentrations dans les eaux de surface, mais celles-ci augmentent avec la profondeur jusqu'à des maximums qui coïncident avec les maximums des substances nutritives. Le nickel et le chrome présentent également des profils similaires à ceux des nutriments, mais leur concentration ne devient pas presque nulle à la surface. Toutefois, alors que la distribution verticale générale du zinc ressemble à celle de la silice, les relations entre le zinc et la silice sont très différentes de celles qu'on trouve dans le Pacifique. Le rapport Zn-Si observé à la station de la mer des Sargasses, et à diverses autres stations situées plus au nord dans l'Atlantique nord, est de 2 à 4 fois plus grand que le rapport correspondant dans le Pacifique. Ce phénomène peut refléter une préférence pour des rapports Zn-Si plus élevés dans le phytoplancton de l'Atlantique ou être dû à un apport en zinc plus important dans l'Atlantique que dans le Pacifique. Il est peut-être bon de noter que de fortes concentrations de zinc ont été mesurées dans des échantillons d'eau de surface à plusieurs stations de l'Atlantique nord, mais nous ne savons pas encore avec certitude si ces observations s'expliquent un fort taux de précipitation du zinc en provenance de l'atmosphère ou par une contamination locale provenant de navires. Les profils de l'aluminium, du manganèse, du fer et du cuivre ne présentent pas de rapport avec les substances nutritives. Ils reflètent la prédominance des mécanismes d'apport et d'élimination de composés inorganiques auxquels on a fait appel pour décrire le comportement de Mn, Cu et Pb dans l'océan Pacifique et de Al dans d'autres parties de l'Atlantique (Hydes, 1979). Les profils de ces métaux sont dominés par l'apport de métaux provenant de l'atmosphère et du ruissellement continental, ainsi que par l'élimination par adsorption sur des particules dans la colonne d'eau. A certains emplacements, il y a aussi des signes de libération d'aluminium dans les eaux du fond par les sédiments sous-jacents.

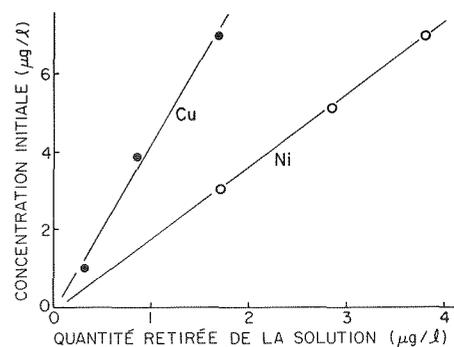
La forte corrélation entre des métaux comme le cadmium et le zinc et les nutriments fournit une mesure de la relation métal-nutriments dans les matériaux dissous régénérés à partir d'organismes en décomposition. Toutefois, elle fournit peu d'in-

formations sur l'absorption biologique des métaux, sinon pour montrer qu'il y a une élimination nette de ces éléments dans les eaux de surface. Des informations plus détaillées sur l'absorption des métaux par la production primaire peuvent être obtenues à partir d'expériences de culture en laboratoire et d'études détaillées des profils des métaux des eaux de surface dans des échantillons prélevés à des intervalles rapprochés de profondeur.

Dans le but de quantifier le taux relatif d'absorption des métaux-traces et des nutriments, nous avons effectué une série d'essais de culture en lots; des diatomées (*Skeletonema costatum*) ont été cultivées dans de l'eau de mer artificielle contenant diverses concentrations de zinc, d'aluminium, de nickel et de cuivre à l'état de traces. Nous avons choisi les diatomées parce qu'il s'agit d'organismes siliceux qui absorbent la silice, ainsi que le nitrate et le phosphate de l'eau de mer. Dans des cultures en lots comme celles de nos études expérimentales, la croissance des organismes continue jusqu'à ce que les ressources en nutriments soient épuisées. Les concentrations initiales des métaux dans le milieu de croissance étaient comparables à celles qu'on observe dans les rivières, et supérieures d'environ un ordre de grandeur aux concentrations océaniques typiques. Des expériences antérieures de ce type, utilisant des enceintes contrôlées dans un milieu côtier (enceintes CEPEX), ont permis de commencer l'étude de l'absorption et de la

régénération du cadmium et du cuivre (Kremling et coll. 1978; Topping et Windom, 1977). Bien que ces expériences soient en principe plus réalistes que les études en lots effectuées en laboratoire sur un seul organisme (dans des enceintes placées dans des écosystèmes, des groupements de plancton naturel peuvent être utilisés), leurs résultats ont été obscurcis par des problèmes d'échange d'eau par-dessus les parois des enceintes et d'adsorption des métaux sur les parois. Les expériences décrites ci-dessous sont beaucoup plus simples mais leurs résultats permettent néanmoins d'évaluer dans une certaine mesure l'importance de l'absorption des métaux par les diatomées.

Les diatomées ont été cultivées dans des bacs de 17 L, chacun contenant un milieu de croissance comportant une concentration différente de métaux-traces; pour le reste, les milieux de culture étaient identiques. Les concentrations initiales de métaux étaient d'environ 10, 20 et 30 fois celles de l'eau de mer naturelle dans les bacs 1, 2 et 3, respectivement. Un bac témoin, contenant les mêmes concentrations de métal que celles du bac 3, n'a pas étéensemencé en diatomées et a servi à surveiller les changements non biogéniques des concentrations de métaux. Ces changements pourraient résulter de l'adsorption sur les parois du bac ou de la précipitation interne. Les quatre bacs ont été échantillonnés périodiquement, même longtemps après que les cultures aient épuisées les substances nutritives et se soient

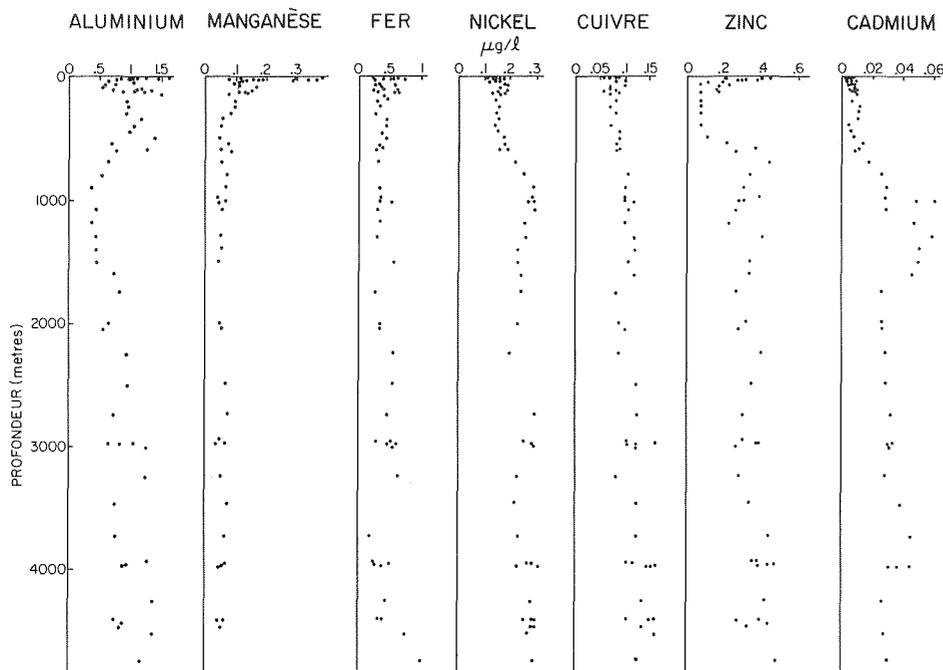


Représentation graphique de la concentration initiale de cuivre (Cu) et de nickel (Ni) dans chaque bacensemencé par rapport à la quantité retirée de la solution 600 heures après l'ensemencement.

mises à décroître. On a procédé ainsi pour mesurer l'absorption des métaux et toute quantité remise en solution après que les cultures aient cessé de croître, le cas échéant. Le pH et les concentrations de diatomées ont également été mesurés au moment de l'échantillonnage.

Durant les 600 premières heures, la croissance des diatomées dans les trois bacsensemencés était semblable, comme l'indique l'absorption de silice, les concentrations en poids sec des diatomées dans les échantillons recueillis et le nombre de diatomées dans chaque bac. Après 600 h, les cultures ont commencé à décroître, les concentrations d'aluminium et de zinc étant réduites à des valeurs approximativement semblables à celles qu'on trouve dans les eaux de surface des océans, alors que les concentrations initiales étaient jusqu'à 30 fois plus élevées que celles de l'eau de mer. Les concentrations de nickel et de cuivre ont également diminué, mais dans une moindre mesure. Ainsi, il semble que l'association avec l'activité biologique soit plus prononcée pour l'aluminium et le zinc que pour le nickel et le cuivre.

Jusqu'à l'épuisement de l'aluminium et du zinc, leur élimination de la solution était proportionnelle à celle du silicate. En outre, le rapport métal-silicate calculé dans le plancton est semblable dans toutes les cultures en dépit de rapports métal-silicate initiaux très différents dans les bacs au départ. Ces rapports, 0,007 g Al/g SiO₂ et 0,002 g Zn/g SiO₂, sont semblables à ceux qui ont été mesurés dans les diatomées marines et sont considérablement plus grands que les rapports correspondants dans le milieu de culture. Il semble ainsi probable que les diatomées concentrent sélectivement ces éléments pour



Profils verticaux des métaux-traces dissous (filtrés) dans la mer des Sargasses.

maintenir certains rapports dans leur organisme. Cependant, après l'épuisement de l'aluminium et du zinc dans le milieu de culture, les diatomées ont continué à croître sans effet néfaste apparent. Par conséquent, il semble que l'aluminium et le zinc ne limitent pas la croissance des diatomées aux faibles concentrations atteintes dans le milieu de croissance. Par contre le nickel et le cuivre ont été éliminés de la solution en quantités proportionnelles à leurs concentrations initiales dans les bacs. Cela indique un mode plus passif d'incorporation du métal dans l'organisme. Après la fin de l'étape de croissance des cultures (après 600 h), les concentrations de zinc en solution ont commencé à croître, tout particulièrement dans le bac 3. Il ne semblait pas y avoir de libération associée à d'autres métaux ni de reminéralisation pour ce qui est du principal nutriment, le silicate.

Ces observations concordent avec des déductions faites à partir de mesures de la distribution des métaux et des nutriments dans les eaux de surface de l'océan. Par exemple, nous avons échantillonné l'eau de surface de la plate-forme Scotian à des intervalles de profondeur de 5 m pour mesurer les nutriments et les éléments-traces. Les profils montrent que le zinc est épuisé dans la zone euphotique (0-20 m), probablement à cause de l'absorption biologique, mais que sa concentration augmente au-dessous de la zone euphotique à une profondeur plus faible que celle à laquelle la régénération des substances nutritives devient évidente. Cette distribution suggère qu'une partie au moins du zinc absorbé par le plancton est faiblement liée et peut être rapidement remise en solution dans la couche superficielle. Les résultats des cultures expérimentales et les distributions verticales des métaux et des éléments nutritifs sur la plate-forme Scotian indiquent donc une remobilisation plus rapide pour le zinc que pour le silicate. Le nickel et le cuivre semblent être plus fortement liés aux particules biogéniques, étant donné qu'on n'a pas observé de remise en solution de ces métaux ni dans les profils verticaux ni dans les cultures expérimentales en lots au cours d'une période d'un mois après la fin de la croissance. L'importante élimination de l'aluminium mise en évidence par les expériences de culture en lots n'a toutefois pas été observée dans les profils océaniques. Cela suggère que, bien que l'aluminium soit éliminé de la solution par l'activité

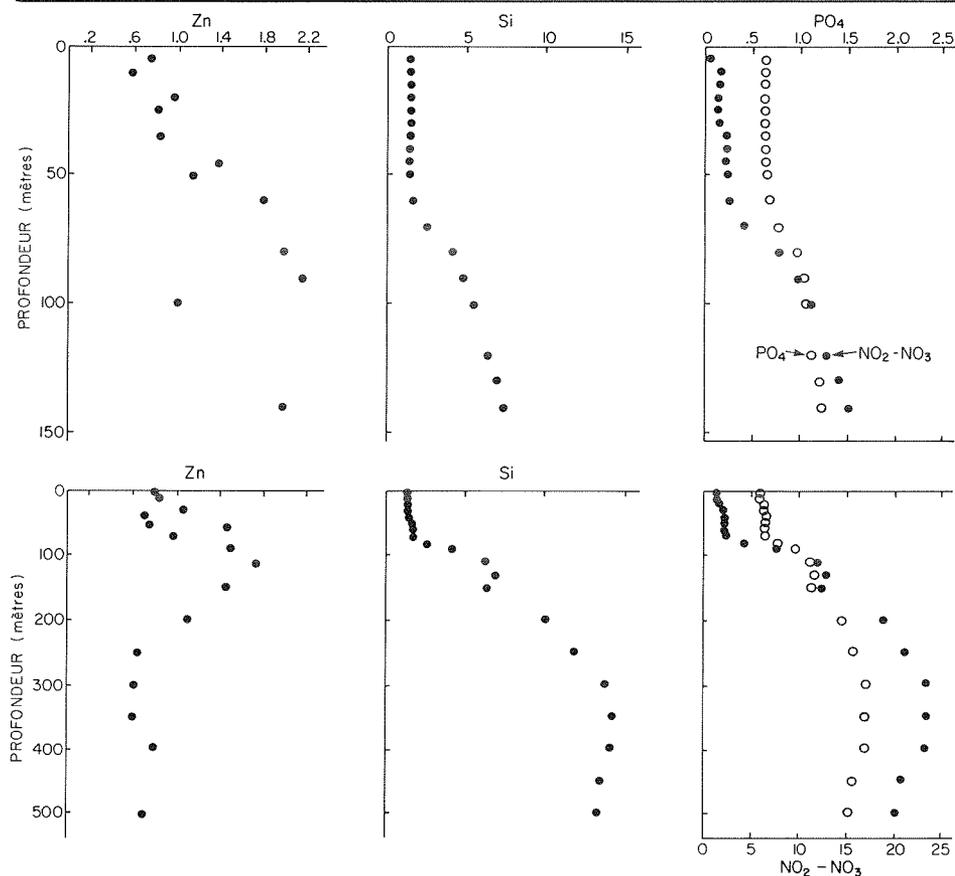
biologique, sa distribution est surtout influencée par l'apport atmosphérique et par l'élimination due à la précipitation inorganique et aux réactions d'adsorption-échange avec des particules non biogéniques dans l'océan.

Dans une certaine mesure, tous les métaux sont impliqués dans le cycle biologique marin. Leur distribution dans l'océan ressemble plus ou moins à celle des principaux nutriments en fonction de l'activité de divers mécanismes d'apport et d'élimination des différents composés inorganiques et biologiques. L'amélioration marquée de l'exactitude et de la précision avec lesquelles on peut doser les éléments-traces de l'océan nous a permis de commencer à étudier de plus près les mécanismes selon lesquels les métaux-traces, introduits dans l'océan par des processus naturels et anthropiques, sont recyclés et finalement incorporés dans les sédiments. L'activité biologique n'est que l'un des processus qui ont une influence sur le comportement et la distribution des métaux dans l'océan. Toutefois, ce facteur permet d'établir certaines caractéristiques nettes de distribution qui simplifient l'étude approfondie des autres processus, qui sont souvent plus complexes, et dont l'influ-

ence est masquée par des mécanismes en compétition. A mesure que notre capacité technologique s'améliore, nous devrions pouvoir mieux connaître ces processus et mieux évaluer les conséquences des perturbations anthropiques dans le milieu marin.

Références

- BRULAND, K.W. 1980. Oceanographic distributions of cadmium, zinc, nickel and copper in the north Pacific. *Earth and Planetary Science Letters* 47: 176-198.
- CRANSTON, R.E. and MURRAY, J.W. 1978. The determination of chromium species in natural waters. *Analytica Chimica Acta* 99: 275-282.
- HYDES, D.J. 1979. Aluminum in seawater: control by inorganic processes. *Science* 205: 1260-1262.
- KLINKHAMMER, G.P. and BENDER, M.L. 1980. The distribution of manganese in the Pacific Ocean. *Earth and Planetary Science Letters* 46: 361-384.
- KREMLING, K., PINZE, J., VON BROCKEL, K., and WONG, C.S. 1978. Studies on the pathways and effects of cadmium in controlled ecosystem enclosures. *Marine Biology* 48: 1-10.
- SCHAULE, B.K. and PATTERSON, C.C. 1981. Lead concentrations in the northeast Pacific: evidence for global anthropogenic perturbations. *Earth and Planetary Science Letters* 54: 97-116.
- TOPPING, G. and WINDOM, H.L. 1977. Biological transport of copper at Loch Ewe and Saanich Inlet: Controlled ecosystem pollution experiment. *Bulletin of Marine Science* 27: 135-141.



Profils verticaux de Zn, Si, NO₂-NO₃ et PO₄ observés en avril 1979 sur la plate-forme Scotian. Les deux profils ont été établis au même endroit (42°40', 61°32'W) à deux jours d'intervalle.

Océanographie biologique

Même si, en océanographie physique, nous nous savons près de la mise au point d'une science prévisionnelle, nous en sommes bien loin en ce qui concerne l'océanographie biologique. Malgré l'élaboration récente de modèles numériques de simulation en écologie, et la contribution de ces modèles à l'élargissement de nos connaissances, nous savons très bien que le nombre de voies énergétiques qui existent de façon permanente ou temporaire dans un écosystème marin est suffisant pour noyer tout effort de compréhension, et donc notre aptitude à prédire correctement la réaction écologique à une modification de l'environnement. C'est pourtant cette prédiction des incidences écologiques des modifications volontaires et accidentelles de l'environnement qui constitue l'une des plus importantes activités sollicitées des biologistes par la société et le gouvernement.

Il est toujours possible de faire des prédictions en fonction de l'état actuel des connaissances, à condition de prendre les précautions nécessaires, mais cela peut conduire à surestimer les résultats et à établir des procédures qui auront l'apparence de la certitude. Dans le présent chapitre, nous présentons certaines des études en cours à l'Institut qui sont destinées à lever nos incertitudes quant aux processus écologiques à l'oeuvre dans l'océan. Si nous nous souvenons que le concept, exposé en 1914, de l'existence d'une "période critique" dans les premiers jours de la vie des larves de poissons n'a pu se vérifier de façon générale qu'en 1975 (et même alors, la démonstration n'en était pas entièrement convaincante), il est facile de comprendre que d'autres hypothèses moins simples n'ont pas pu encore être vérifiées.

Dans le champ de l'océanographie, c'est souvent le domaine de la biologie marine qui apporte les découvertes les plus surprenantes. Non seulement nous ne connaissons pas parfaitement les organismes eux-mêmes – souvenons-nous du coelacanthe (*Neopilina*) et de la faune des sources chaudes des grands fonds – mais

certains processus imprévus apparaissent soudain très importants. Il y a à peine plus de dix ans, on exploitait les populations d'espèces commerciales comme des entités indépendantes, sans lien les unes avec les autres et sans rapport avec les modifications de l'environnement. On pensait alors qu'il suffisait de trouver une solution mathématique à la dynamique des populations. Nous savons maintenant que la modification par la pêche d'une population de poissons a des conséquences qui se répercutent dans l'ensemble de l'écosystème marin, de sorte que d'autres populations de poissons réagissent en écho à mesure que la pression de la prédation et l'approvisionnement en nourriture se modifient; nous savons maintenant qu'une forte pression de pêche peut appauvrir les sources d'alimentation des oiseaux de mer au point de mettre en danger l'existence de leurs principales populations.

Les diverses sections du chapitre veulent illustrer la grave incertitude qui existe encore en océanographie biologique, et le fait qu'elle ne pourra être levée que par la poursuite du type de recherche fondamentale décrit ici. La lecture de ces textes doit révéler le caractère simpliste de nos tentatives actuelles dans le domaine de l'évaluation des risques environnementaux, et notre manque de réalisme quant à la définition des zones écologiquement fragiles.

Les deux premières sections, préparées par Li et Harrison, présentent les études en cours sur le processus de la production primaire et révèlent à la fois les surprises et les incertitudes de ce secteur: les études classiques sur la chaîne trophique, fondées sur la séquence diatomées-copépodes-poissons, prenaient pour hypothèse que les organismes phytoplanctoniques de l'ordre de 100 μm de diamètre constituaient la base de la chaîne trophique; depuis une dizaine d'années, les spécialistes de l'écologie du phytoplancton se sont intéressés au rôle de petits flagellés nus d'environ 10 μm de diamètre, et ils ont conclu à la très grande importance de ces organismes. Depuis deux ou trois ans, il est apparu qu'il

existe aussi dans la plupart des eaux superficielles des océans des bactéries photosynthétiques extrêmement petites, d'environ 1 μm de diamètre. La découverte en 1981, au cours de notre expédition BIOSTAT au large de l'Amérique centrale, du fait que ces bactéries composaient près de la moitié de la matière photosynthétique et étaient à l'origine de près de la moitié de la production quotidienne de carbone organique a constitué pour le moins une surprise. Comme le montre Li, ce phénomène semble ne pas être local, ce qui demandera peut-être une révision très importante du rôle actuel de la production végétale dans l'ensemble de l'océan. De même, à partir d'expériences réalisées dans des parties très diverses de l'océan, Harrison a pu proposer un nouveau modèle pour l'approvisionnement en nutriments inorganiques du phytoplancton qui peut suffire à expliquer comment les cellules végétales de haute mer peuvent soutenir un taux de croissance élevé en l'absence apparente de matières nutritives.

Longhurst et Herman présentent ensuite de façon détaillée les relations spatiales dans l'océan entre les plantes et les herbivores, sujet qui n'a pu être étudié de près que depuis peu grâce à la mise au point d'instruments d'échantillonnage à haute précision: les résultats sont logiques, mais non conformes aux prévisions, et essentiels pour la simulation même la plus élémentaire. McGlade au sujet de la morphométrie des poissons, et Iles et Sinclair sur l'océanographie et la reproduction du hareng, illustrent la gamme de sujets qui s'imposent aux biologistes halieutistes, et démontrent aussi dans quelle mesure la réalisation d'objectifs concrets dépend maintenant de moyens intellectuels très diversifiés. McGlade remonte loin dans la biologie classique pour mener ses études sur l'évolution de la forme en tant que moyen d'identification des stocks de gadidés sur la plate-forme Scotian, et Iles et Sinclair combinent l'océanographie et la recherche halieutique pour expliquer par l'intermédiaire des mécanismes de rétention des larves la structure des stocks de

harengs.

Enfin, la production biologique d'un milieu totalement différent est présentée par Gordon, qui a coordonné les études menées par l'IOB dans la baie de Fundy à la suite des projets de construction d'une centrale marémotrice. Dans une situation de ce type, on travaille sur les processus biologiques fondamentaux, mais d'autre part, étant donné la difficulté et le danger

des travaux dans la baie de Fundy, où la hauteur de la marée est d'environ 16 m, il faut étudier la matrice environnementale de ces processus biologiques, qui n'était pratiquement pas décrite au début de l'étude. Comme le montre Gordon, nos idées sur le fonctionnement de cet écosystème se sont radicalement modifiées au cours de l'étude. N'est-ce pas là ce qu'aurait prédit tout écologiste réaliste?

tout en laissant passer la plupart des bactéries.

Dans le monde entier, les chercheurs ont relevé depuis longtemps une activité photosynthétique dans des échantillons présumés exempts de phytoplancton à la suite d'une filtration expérimentale. Il y a près d'un quart de siècle, on émettait l'hypothèse qu'il existe dans les océans un type de micro-organisme photosynthétique ayant la même taille que les bactéries (Holmes, 1958; Holmes et Anderson, 1963).

Au Laboratoire d'écologie marine, nous avons adopté la méthode de la filtration différentielle pour étudier la place de ces petits micro-organismes photosynthétiques dans les écosystèmes marins. Nous nous sommes intéressés à trois aspects du problème: premièrement, quelle est l'importance de la population de petites cellules photosynthétiques par rapport à la population totale d'organismes photosynthétiques? Deuxièmement, pouvons-nous mesurer la photosynthèse pratiquée par ces petites cellules dans des groupements naturels de plancton? Troisièmement, quelle est l'ampleur de la contribution de ces petites cellules à l'ensemble de la productivité primaire?

Il existe une méthode rapide et spécifique pour évaluer la biomasse des cellules photosynthétiques dans un groupement contenant une foule d'autres organismes; cette méthode consiste à mesurer la chlorophylle *a*, principal pigment qui absorbe la lumière et que l'on trouve dans tous les organismes qui pratiquent la photosynthèse. Au cours d'une expédition réalisée en 1981 dans l'est du Pacifique tropical, J. Cullen, membre de notre laboratoire, a mesuré la quantité de ce pigment présente dans le plancton retenu par des filtres de $1\mu\text{m}$ et dans le plancton mesurant moins de $1\mu\text{m}$ mais retenu par les filtres de $0,2\mu\text{m}$. Il a estimé que 20 à 70 % de la chlorophylle *a* présente dans les échantillons était liée au plancton de petite taille. La proportion moyenne, pour des échantillons pris à diverses profondeurs et à divers moments, était de 33 % en un point et 54 % en un autre point.

D. V. Subba Rao, de notre laboratoire, a observé directement en microscopie de fluorescence de petites cellules sphériques rouges et oranges dans ces échantillons. Avec la technique utilisée, seules les cellules contenant des phycobiliprotéines présentaient une fluorescence rouge ou orange. Ces pigments photosynthétiques

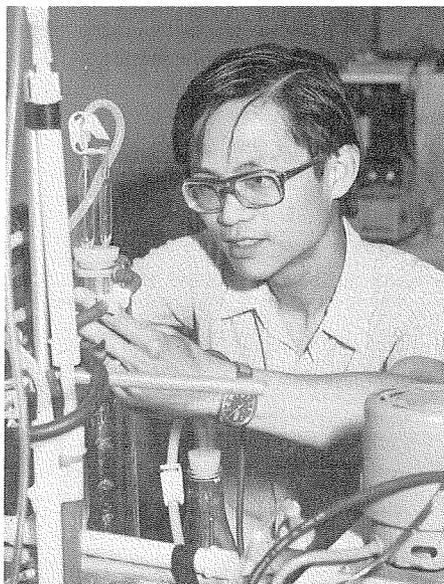
Micro-organismes photosynthétiques et productivité primaire

W.K.W. Li

Les algues phytoplanctoniques et les bactéries sont les principaux organismes unicellulaires qui vivent dans les milieux planctoniques marins. Ces organismes diffèrent tant par leur structure cellulaire et leurs fonctions que par de nombreuses caractéristiques moléculaires fondamentales, et leurs différences sont si frappantes que le phytoplancton et les bactéries sont classés dans deux règnes différents du monde vivant. Ce n'est que tout récemment qu'on a relevé dans de nombreux écosystèmes marins oxygénés la présence en grand nombre d'un type de micro-organisme possédant des caractéristiques écologiquement importantes que l'on retrouve chez le phytoplancton et les bactéries. En un point de la partie tropicale de l'est de l'océan Pacifique, on a estimé que, dans une couche superficielle mesurant 70 m, 48 % de la productivité primaire était attribuable à ces micro-organismes qui n'avaient jamais encore été étudiés. Devant une telle découverte, il faut réévaluer les théories actuelles concernant les relations écologiques des niveaux trophiques inférieurs des écosystèmes planctoniques.

Pour le spécialiste d'écologie marine qui s'intéresse aux transferts de matière et d'énergie entre les diverses composantes des écosystèmes, la différence la plus importante entre le phytoplancton et les bactéries réside dans leur mode d'obtention de l'énergie dont ils ont besoin pour vivre. Le phytoplancton pratique la photosynthèse: les organismes qui le composent tirent directement leur énergie des radiations solaires qu'ils utilisent pour synthétiser des matières organiques nouvelles à partir du gaz carbonique, de l'eau et de quelques nutriments essentiels. Par ailleurs, la plupart

des bactéries qui vivent dans les eaux oxygénées des océans doivent tirer de l'énergie de la matière organique; elles dépendent donc en fin de compte du phytoplancton pour se nourrir. En utilisant à leurs propres fins la matière organique, les bactéries reconstituent le gaz carbonique

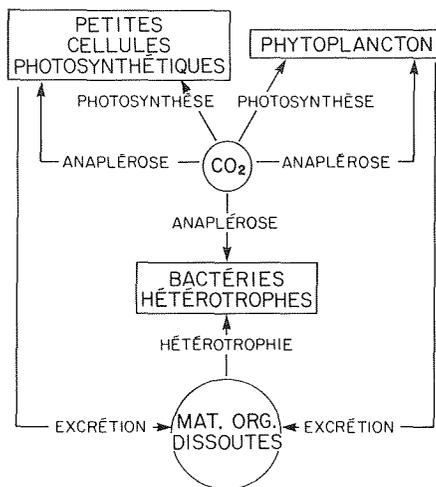


William Li.

et les nutriments qui sont indispensables à la photosynthèse du phytoplancton.

C'est sur la taille que se fonde une deuxième distinction importante sur le plan écologique entre le phytoplancton et les bactéries. Les organismes phytoplanctoniques sont plus gros que les bactéries. Ce caractère est important car il permet aux chercheurs de séparer par un moyen physique les deux types de micro-organismes à l'aide de filtres à pores uniformes. En choisissant avec soin le diamètre des pores, il est possible de retenir la plus grande partie du phytoplancton sur le filtre

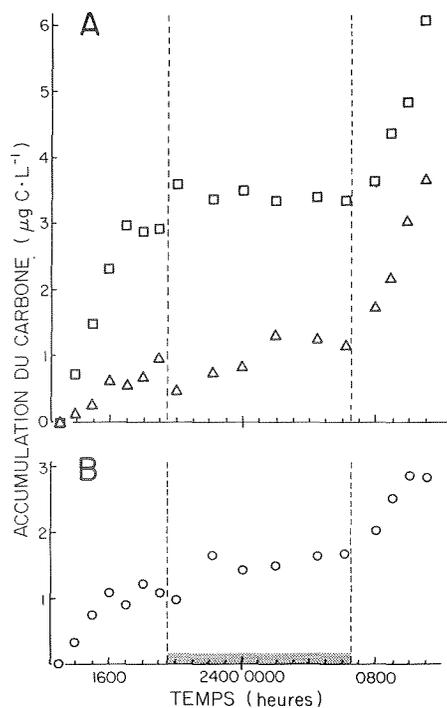
accessoires de nature protéique existent seulement chez les cyanobactéries et chez les algues appartenant aux classes des Rhodophycées et des Cryptophycées. Il est particulièrement intéressant de souligner que d'autres chercheurs ont récemment signalé la présence répandue dans les eaux marines de cyanobactéries sphériques (Johnson et Sieburth, 1979, Waterbury et coll., 1979). Subba Rao considère donc provisoirement que les petites cellules fluorescentes sont des cyanobactéries. Des travaux en cours au microscope électronique permettront de définir précisément la taxinomie de ces cellules. Le nombre de cellules fluorescentes trouvées dans ces échantillons d'eaux



Voies de transmission du CO₂ au phytoplancton, aux petites cellules photosynthétiques et aux bactéries non photosynthétiques (hétérotrophes).

tropicales variait de 2 millions à 1 milliard au litre. Pour des échantillons prélevés à diverses profondeurs et à divers moments, on a relevé des moyennes de 8 millions en un point et de 770 millions en un autre point.

Dans un deuxième temps, nous avons essayé de mesurer l'absorption photosynthétique de carbone par ces petites cellules dans des groupements naturels de plancton. En général, on évalue la photosynthèse planctonique en mesurant l'absorption par les cellules, dans un milieu éclairé, de carbone radioactif provenant de gaz carbonique marqué radioactivement (¹⁴CO₂). Dans un groupement complexe de micro-organismes, il existe diverses voies par lesquelles le ¹⁴C peut être incorporé aux composants cellulaires. Le phytoplancton et les petites cellules photosynthétiques absorbent directement le ¹⁴CO₂. Cette utilisation de carbone

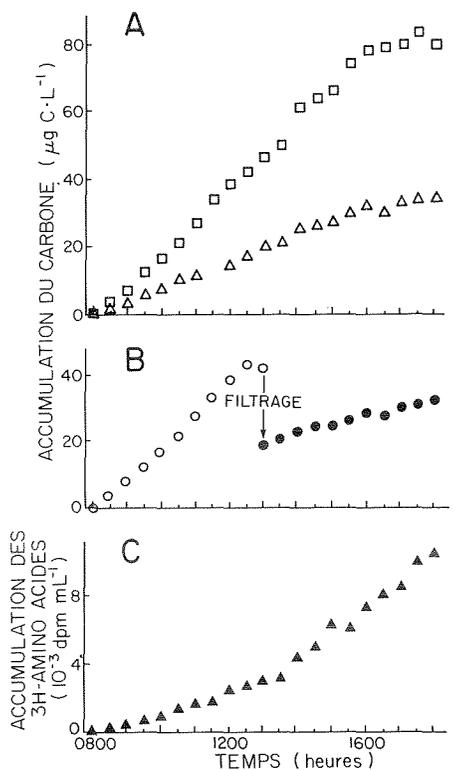


Temps d'accumulation du ¹⁴C par le plancton. A) le ¹⁴C est introduit dans l'échantillon intact à 13 h. Aux heures indiquées, on a recueilli du plancton sur des filtres Nuclepore de 1 μm (□); les filtrats qui traversaient ces filtres étaient passés sur des filtres Nuclepore de 0,2 μm (Δ). B) Le ¹⁴C a été introduit à 13 h dans la partie de l'échantillon qui avait traversé un filtre Nuclepore de 1 μm . Aux heures indiquées, on a recueilli le plancton sur des filtres Nuclepore de 0,2 μm (o).

inorganique répond à deux besoins: 1) la carboxylation du ribulose 1-5 diphosphate au cours de la réduction photosynthétique constituée par le cycle des pentoses phosphates; et 2) la β -carboxylation de divers composés à trois carbones. Cette dernière suite de réactions préside à la formation des acides dicarboxyliques à quatre carbones. Ces réactions jouent le rôle essentiel de la reconstitution anaplérotique des intermédiaires métaboliques qui sont retirés du cycle de l'acide tricarboxylique pour servir à la synthèse des macromolécules. Les bactéries hétérotrophes (non photosynthétiques) incorporent aussi du ¹⁴C. Alors que le prélèvement direct de ¹⁴CO₂ est associé aux réactions anaplérotiques, l'absorption indirecte de ¹⁴C passe par l'ensemble des composés organiques dissous que le phytoplancton les petites cellules photosynthétiques concourent à former par excretion. Pour évaluer la productivité des petites cellules photosynthétiques par rapport à celle du phytoplancton, il est nécessaire d'examiner l'importance relative des diverses voies

empruntées par le radio-carbone. Pour cela, nous avons contrôlé en fonction du temps l'accumulation du ¹⁴C dans le plancton de diverses catégories de taille.

Nous supposons d'abord que tous les micro-organismes plus petits que le phytoplancton ne pratiquent pas la photosynthèse. Nous essayons ensuite de vérifier cette hypothèse par l'expérimentation. Si elle est valide, l'apparition de ¹⁴C dans les micro-organismes de petite taille serait due soit à l'absorption de ¹⁴C₂ destinée à l'anaplérose, soit au prélèvement hétérotrophe d'exsudats contenant du ¹⁴C et produits par le phytoplancton. L'utilisation anaplérotique, indépendante de la lumière, ne devrait pas marquer de différence d'une période éclairée à une période obscure. Une expérience au cours de laquelle on a surveillé pendant 22 heures un



A) Temps d'accumulation du ¹⁴C par le plancton. On a pratiqué des incubations parallèles avec un échantillon non filtré (□) et un échantillon filtré sur filtre Nuclepore de 1 μm avant le marquage radioactif (Δ). B) On a pratiqué une troisième incubation parallèle avec un échantillon non filtré au départ (o); à 13 h, on a passé l'échantillon dans un filtre Nuclepore de 1 μm puis l'incubation s'est poursuivie (●). C) Temps d'accumulation des ³H-aminoacides par le plancton. On a pratiqué une quatrième incubation parallèle avec un échantillon passé dans un filtre Nuclepore de 1 μm avant le marquage radioactif (▲). Tous les échantillons ont été recueillis sur des filtres Nuclepore de 0,2 μm .

groupement de plancton en présence de $^{14}\text{CO}_2$ a montré que l'accumulation de ^{14}C dans les petites cellules était moindre pendant la période obscure que pendant les périodes éclairées qui la précédaient et la suivaient. Cela semble montrer que l'utilisation anaplérotique qui est évidente pendant la période obscure n'est pas la seule voie d'accumulation du ^{14}C dans les petits micro-organismes en période éclairée. Ces résultats ne permettent toutefois pas de rejeter l'hypothèse de l'existence de micro-organismes non photosynthétiques. Il est possible que le lien entre l'éclairage et l'accumulation du ^{14}C dans ces cellules se manifeste par un couplage étroit dans le cheminement du traceur, du CO_2 au phytoplancton, puis aux matières organiques dissoutes provenant de l'excrétion, puis enfin aux petits micro-organismes. Bien que le caractère à peu près parallèle des courbes d'accumulation pour le phytoplancton et pour le plancton de moins de $1\ \mu\text{m}$ soit compatible avec cette hypothèse du couplage, nous ne l'avons pas retenue pour la raison qui suit. Au cours d'une incubation parallèle du même échantillon d'eau dont on avait au préalable retiré le phytoplancton par filtration, on a observé la même dépendance à l'égard de la lumière dans le taux de marquage radioactif du plancton de moins de $1\ \mu\text{m}$. Nous en concluons donc que les petits micro-organismes pratiquent bien la photosynthèse.

Si les petits micro-organismes comptent certains membres photosynthétiques, nous devons admettre la possibilité que ces membres excrètent des produits marqués, qui sont alors absorbés par les membres hétérotrophes de la même classe de taille. L'expérience qui suit a donné une confirmation indirecte de la faible importance relative de cette contribution au marquage total des petits micro-organismes.

On a marqué au radio-carbone un échantillon d'eau qu'on a éclairé pendant 5 heures puis passé sur un filtre de $1\ \mu\text{m}$ pour en retirer le phytoplancton. Les petits micro-organismes qui n'ont pas été retenus par le filtre ont alors été incubés pendant 5 heures de plus. Étant donné que le carbone passe de façon linéaire du CO_2 aux cellules photosynthétiques puis au carbone organique soluble et enfin aux bactéries hétérotrophes, on pouvait prévoir un certain délai dans l'apparition du traceur dans les séquences les plus éloignées de la source initiale, le gaz carbonique. Pendant les 5 premières heures d'incubation, nous sup-

posons que l'ensemble des produits solubles de la photosynthèse, qu'ils proviennent du phytoplancton ou des petites cellules photosynthétiques, est uniformément à la disposition des bactéries hétérotrophes.

Lorsqu'on retire rapidement le phytoplancton au bout de 5 heures, on pourrait s'attendre à ce qu'il se passe un certain temps avant que les bactéries hétérotrophes fassent diminuer la masse des produits de la photosynthèse du phytoplancton puis passent à un taux d'accumulation du ^{14}C qui soit en rapport avec son excrétion par les petites cellules photosynthétiques seulement. Si c'était le cas, on noterait une diminution graduelle du taux observé d'accumulation du ^{14}C par le plancton de moins $1\ \mu\text{m}$ après l'enlèvement du phytoplancton. Nous avons toutefois observé que ce n'est pas le cas. Le taux d'accumulation du ^{14}C dans les petits micro-organismes reste constant. De plus, ce taux est le même pour un échantillon parallèle de plancton qui a été marqué en l'absence du phytoplancton dès le début de l'expérience. Cela signifie que le taux d'accumulation du ^{14}C est indépendant du taux de son excrétion par les cellules photosynthétiques. Cette confirmation indirecte de la faible importance relative des exsudats dans l'accumulation de ^{14}C par les petits micro-organismes est corroborée par un schéma cinétique nettement différent pour l'accumulation d'un mélange d'acides aminés tritiés formulé de façon à ressembler à un hydrolysate typique de protéines d'algues.

L'hypothèse la plus simple qui nous paraît compatible avec toutes ces observations est la suivante: une bonne partie du

^{14}C qui apparaît dans les petits micro-organismes pendant la période éclairée est due à l'assimilation photosynthétique.

Après avoir établi ce point, nous nous sommes demandé quelle était l'importance de la contribution de ces petites cellules photosynthétiques à l'ensemble de la productivité primaire. Pour les deux endroits étudiés dans l'est du Pacifique tropical, W.G. Harrison a déterminé que, selon la profondeur, de 20 à 80 % du total de la photosynthèse planctonique était attribuable aux petites cellules. Dans l'est de l'Arctique canadien, nous avons relevé un apport moindre des petites cellules photosynthétiques (5 à 15 %).

Pour conclure, nous avons pu mesurer sans équivoque les taux d'absorption du carbone par photosynthèse chez des cellules de la taille des bactéries, et nous avons noté que ces cellules apportent une contribution importante quoique variable à l'ensemble de la productivité primaire.

Références

- HOLMES, R.W. 1958. Size fractionation of photosynthesizing phytoplankton. United States Fish and Wildlife Service, *Special Scientific Report, Fisheries*, 279: 69-71.
- HOLMES, R.W. and ANDERSON, G.C. 1963. Size fractionation of C^{14} labelled natural phytoplankton communities. In *Marine Microbiology*, Ed. C.H. Oppenheimer. C.C. Thomas Publ., Springfield, Il: 241-250.
- JOHNSON, P.W. and SEIBURTH, J. M. 1979. Chroococcoid cyanobacteria in the sea: a ubiquitous and diverse phototrophic biomass. *Limnology and Oceanography* 24: 928-935.
- WATERBURY, J.B., WATSON, S.W., BUIL-LARD, R.R.L., and BRAND, L.E. 1979. Widespread occurrence of a unicellular, marine, planktonic cyanobacterium. *Nature* 277: 293-294.

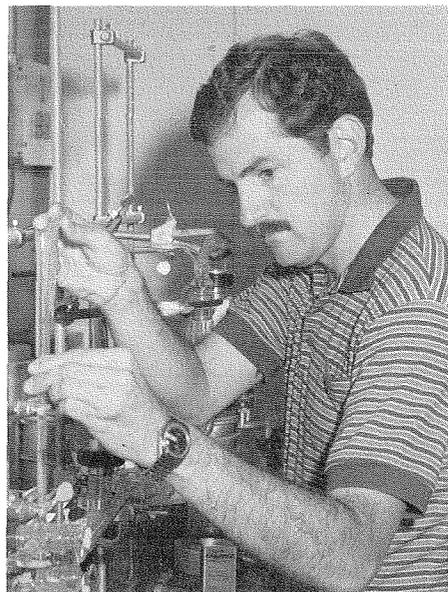
L'azote et la nutrition du phytoplancton marin: quelques questions

W.G. Harrison

En général, la recherche sur le phytoplancton s'est intéressée à l'identification et la compréhension des principaux processus responsables de la régulation de la croissance et de la productivité des algues. Les travaux ont surtout porté sur les limitations liées aux nutriments, et particulièrement sur l'azote dans la nutrition du phytoplancton. Bien qu'on ait relevé il y a 50 ans déjà un lien entre les nutriments dissous et le cycle de la produc-

tion biologique, c'est tout récemment qu'on a pu établir des relations quantitatives à ce sujet. Les remarquables études théoriques et expérimentales de Dugdale (1967) et Dugdale et Goering (1967) ont servi de modèle à la plupart des recherches ultérieures, qui sont à la base de notre connaissance actuelle de la régulation par l'azote de la production primaire dans les océans. Des recherches récentes ont toutefois remis en question la validité

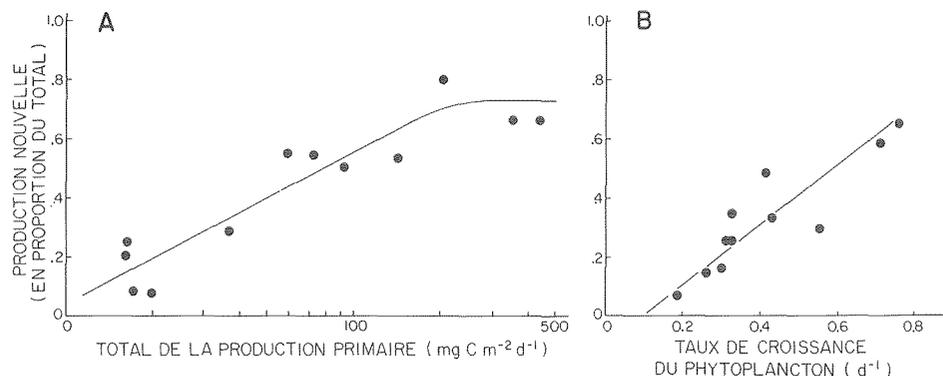
des concepts sur lesquels se fondaient les études passées et amené une sérieuse réévaluation et même une nouvelle interprétation des travaux antérieurs. Le Laboratoire d'écologie marine s'intéresse depuis plusieurs années au rôle de l'azote dans la nutrition du phytoplancton et s'est donc engagé dans l'étude de cette question controversée.



Glen Harrison.

Les conceptions de départ

Les premières tentatives sérieuses visant à élaborer un cadre théorique pour les études du rôle limitant de l'azote dans la productivité primaire (Dugdale, 1967) décrivaient le domaine océanique du phytoplancton comme un système à deux couches en équilibre: une couche supérieure où les nutriments constituent le facteur limitant (la couche supérieure mixte) et une couche inférieure où l'éclaircissement constitue le facteur limitant. Dugdale a relevé deux éléments distinctifs de la production primaire dans la zone supérieure en fonction de la provenance de l'azote.



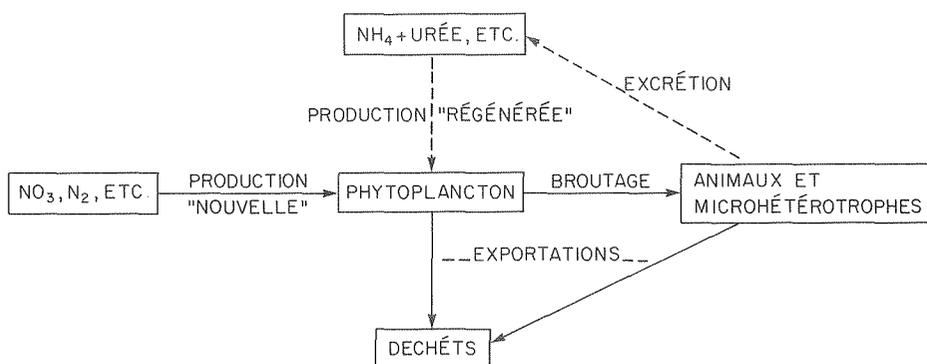
Relations entre la production "nouvelle" et "régénérée" et la production et la croissance du phytoplancton (version modifiée de la méthode de Harrison (1980) et Eppley (1981).)

La production primaire entretenue par de l'azote d'origine *externe* (c'est-à-dire, par advection ou diffusion du NO_3 provenant d'en-dessous de la couche mixte) était appelée production *nouvelle*, alors que la production provenant d'azote d'origine *interne* (par exemple, NH_4^+ provenant des déchets métaboliques des animaux planctoniques) était appelée production *régénérée*. Dans un état d'équilibre, la production nouvelle et les pertes par migration (dans la colonne d'eau) doivent se contrebalancer, de même que la production régénérée et les pertes métaboliques (par exemple, le broutage). La disponibilité de l'azote isotopique ($^{15}\text{NO}_3^-$, $^{15}\text{NH}_4^+$) a amené Dugdale à suggérer que l'importance relative de la production nouvelle et de la production régénérée pouvait être mesurée expérimentalement dans l'eau de mer et mise en rapport direct avec la productivité du phytoplancton.

Travaux sur le terrain

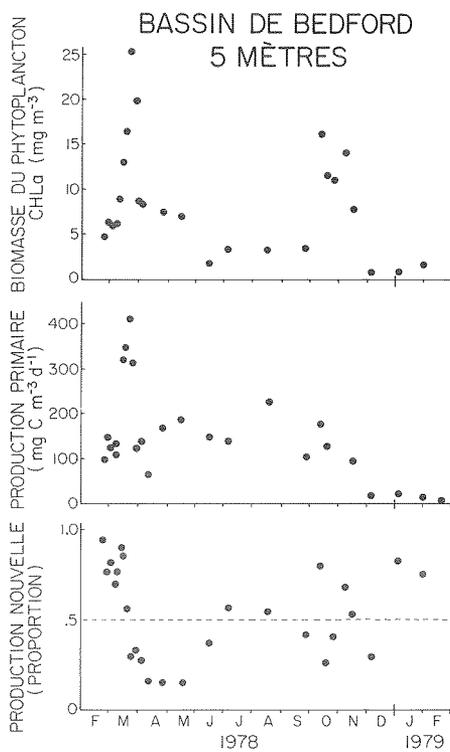
Une bonne partie des travaux réalisés par la suite sur le terrain, et de leur interprétation, se fondait sur le concept de production nouvelle et régénérée. La quantité de données accumulées permet en fait de

formuler un certain nombre de généralisations sur le rôle de l'azote, et notamment de ses mécanismes de disponibilité dans la régulation de la croissance du phytoplancton à l'échelle globale (Dugdale 1976; Eppley et Peterson, 1979; Harrison, 1980; Eppley, 1981). Il faut relever l'importance remarquable de l'établissement d'une relation quantitative nette entre la source de l'azote (production nouvelle ou régénérée) et l'ampleur de la production primaire océanique et du taux de croissance du phytoplancton. Cette analyse a permis, par exemple, de conclure que la plus grande partie (80 % environ) de la production primaire des océans du monde connaît un taux de renouvellement relativement lent et est entretenue par des nutriments recyclés sur place. Au Laboratoire d'écologie marine, nous avons démontré l'utilité du concept de production nouvelle et régénérée dans nos études générales sur l'aspect environnemental de la production primaire dans des eaux marines données. Par exemple, des travaux utilisant l'azote comme traceur ont permis d'étudier en détail le cycle saisonnier de la production phytoplanctonique dans des baies. Nos résultats, en plus de confirmer le schéma classique – poussées de production au printemps et à l'automne, entretenues par des sources externes de nutriments (production nouvelle) et production d'été entretenue par des nutriments recyclés de façon interne (production régénérée) – montrent que le rapport entre la production nouvelle et la production régénérée peut servir à expliquer une certaine variabilité à court terme dans la production primaire que l'on observe communément dans ces eaux côtières.



Système productif des eaux proches de la surface de l'océan, montrant le mécanisme de la production "nouvelle" et "régénérée" (version modifiée des travaux de Eppley et Peterson (1970)).

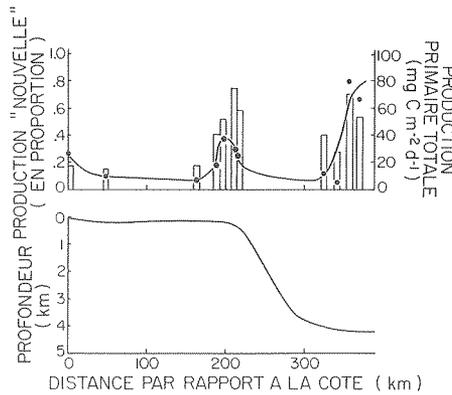
riants pour la production primaire dans d'autres milieux côtiers. Les études que nous avons menées sur la plate-forme Scotian ont montré une corrélation notable entre les estimations de la production nouvelle et celles de la productivité du phytoplancton. Des taux élevés de production primaire apparaissent surtout au rebord du plateau continental, qui est souvent un lieu de brassage tidal, et, au large, dans la région du front de rencontre entre l'eau du plateau continental et celle du talus. La coïncidence de ces pics avec des estimations élevées de la production nouvelle semble bien montrer que l'injection de nutriments (NO_3^-) dans les eaux proches de la surface est une cause importante de ce phénomène. En outre, les estimations de la production nouvelle



Cycle saisonnier de la production du phytoplancton et de l'utilisation de l'azote dans le bassin de Bedford, 1978-1979.

peuvent permettre de mesurer quelle proportion de la production photosynthétique totale est entretenue par ces processus physiques.

Les études sur l'azote que nous avons récemment menées dans l'Arctique oriental ont aussi donné quelques indications sur le rôle du milieu dans la production phytoplanctonique à de hautes latitudes. Nos résultats sont intéressants à deux égards. Tout d'abord, la production régénérée était beaucoup plus importante que prévu, ce qui semble montrer l'exis-



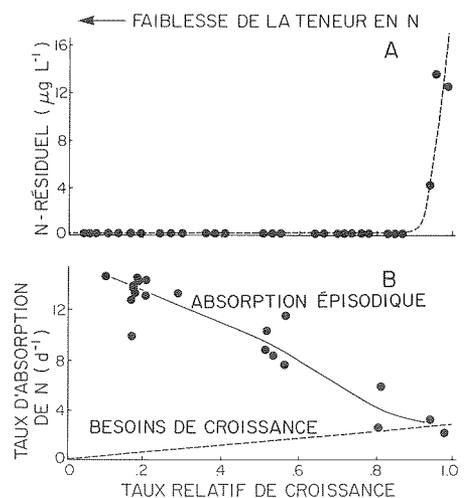
Relation entre la productivité primaire totale et la production "nouvelle" au large de la plate-forme Scotian, avril 1979.

ence d'une communauté planctonique à fort métabolisme malgré des températures extrêmement basses et, deuxièmement, les taux mesurés de production primaire étaient beaucoup trop bas si on les compare au rapport production nouvelle/production régénérée attribuable à la limitation par les nutriments. Nous en avons donc conclu que l'éclairement et la température sont probablement des facteurs plus importants que la disponibilité des nutriments dans la régulation de la croissance et de la production du phytoplancton dans cette région.

Etudes en laboratoire

C'est en cultivant du phytoplancton que nous avons réalisé les progrès les plus importants dans la modélisation de la relation entre les nutriments limitants et la croissance des algues et dans la compréhension des mécanismes biochimiques qui les sous-tendent. Des dispositifs de culture en continu ont constitué le moyen idéal pour étudier les interactions nutriments-phytoplancton dans un état d'équilibre et, dans bien des cas, ont servi de complément aux travaux extérieurs en apportant de nouvelles idées pour l'interprétation des mesures océanographiques. Les travaux en laboratoire ont permis d'approfondir la notion de croissance équilibrée (couplage entre l'assimilation des nutriments et la croissance), qui dépend de la concentration du nutriment limitant. Ce modèle a été appliqué avec un certain succès tant sur le terrain qu'à l'extérieur dans des travaux destinés à expliquer les différences régionales dans la croissance du phytoplancton et la variété des espèces. Il est par exemple généralement admis que le phytoplancton des eaux du large se caractérise par une forte affinité pour le nutriment limitant tout en se

trouvant restreint à un faible taux de croissance à cause de la carence de cet élément dans le milieu. La validité de l'hypothèse d'un tel équilibre dans la nature a toutefois été remise en question (Jannasch, 1974), et des travaux récents dévoilent les inexactitudes de ce modèle. Dans des cultures en continu avec faible présence d'azote, par exemple, on peut maintenir des taux de croissance proches du maximum correspondant à une espèce d'algue donnée sans qu'il existe dans le milieu une quantité mesurable du nutriment limitant. De plus, du phytoplancton en carence d'azote s'est montré capable d'absorber le substrat limitant (par exemple, NH_4^+) à un taux qui dépasse de loin l'exigence d'une croissance équilibrée lorsque le nutriment est apporté de manière ponctuelle; l'assimilation du nutriment et la croissance ne sont alors plus couplées.



Relation entre le taux relatif de croissance (faiblesse de la teneur en N) et: A) la concentration résiduelle du nutriment limitant; B) l'augmentation de la capacité d'absorption du nutriment pour le phytoplancton élevé en culture continue (version modifiée de la méthode de: A) Goldman et McCarthy (1978); B) McCarthy et Goldman (1979)).

Nouveaux concepts

A la suite de ces découvertes et d'autres études récentes montrant l'absence de couplage entre l'assimilation des nutriments et la croissance, nous en sommes venus à une nouvelle interprétation de l'interaction des nutriments limitants et de la nutrition du phytoplancton. On admet que, dans la nature, les nutriments limitants ne sont généralement pas fournis de manière continue, comme on le pensait précédemment, mais plutôt de manière épisodique étant donné la nature variable, dans le temps et selon les espèces, de

l'approvisionnement en nutriments, comme par exemple les déchets d'excrétion des organismes zooplanctoniques (McCarthy et Goldman, 1979). De plus, du phytoplancton en carence de nutriments qui serait capable d'assimiler rapidement ses nutriments (sans couplage avec la croissance) pourrait satisfaire ses besoins nutritionnels de croissance par une exposition peu fréquente et intermittente au nutriment limitant. Cette hypothèse impliquerait, par exemple, que les populations phytoplanctoniques du large puissent atteindre des taux de croissance proches de leur maximum physiologique en dépit de l'absence apparente de nutriments.

La controverse

Les incidences de ce nouveau concept sont particulièrement intéressantes pour l'interprétation des études sur l'azote réalisées depuis 15 ans sur le terrain, y compris les nôtres. Au départ, le problème touche à la méthodologie (Harrison, 1982). Si l'échelle temporelle à considérer pour étudier la physiologie de la nutrition du phytoplancton est de l'ordre des minutes ou même moins, alors que les protocoles expérimentaux sont conçus, comme par le passé, pour étudier des processus à l'échelle de l'heure ou de la dizaine d'heures, dans quelle mesure pouvons-nous nous fier aux résultats des travaux expérimentaux antérieurs pour définir précisément la dynamique de la relation entre l'assimilation de l'azote et la croissance du phytoplancton? Comment cette nouvelle perspective modifie-t-elle le concept de la production nouvelle et de la production régénérée, qui découlait principalement des résultats expérimentaux passés?

Ces nouvelles idées sur les interactions nutriments/phytoplancton ne sont toutefois pas sans causer de problèmes. On a par exemple prétendu récemment que la nature probablement éphémère de ces "poussées" de nutriments dans un milieu physiquement turbulent ne donnerait pas assez de temps au phytoplancton pour les exploiter efficacement même si sa capacité d'assimilation était supérieure aux prévisions (Jackson, 1980).

Pour appliquer de façon générale ces nouvelles théories, il faudra certainement procéder à des travaux plus approfondis, notamment sur les populations de phytoplancton dans leur milieu naturel. Les recherches préliminaires réalisées par d'autres groupes ont déjà montré qu'il ex-

iste dans les populations phytoplanctoniques naturelles des eaux côtières une capacité élevée d'assimilation des nutriments. Nous nous intéressons depuis peu à ce problème, et les résultats des études menées sur le terrain dans des milieux allant des eaux tropicales aux eaux arctiques doivent permettre d'élargir considérablement la gamme des milieux naturels dans lesquels ces nouvelles théories ont été testées. Par la suite, en comparant les résultats des protocoles expérimentaux anciens et nouveaux, nous évaluerons les interprétations antérieures de la production et de la croissance du phytoplancton en fonction des nutriments limitants. Il restera alors la tâche redoutable d'étudier la distribution irrégulière à petite échelle des nutriments dans l'océan et d'établir un rapport quantitatif entre ces résultats et le taux de croissance du phytoplancton.

Références

- DUGDALE, R.C. 1967. Nutrient limitation in the sea: dynamics, identification and significance. *Limnology and Oceanography* 12: 685-695.
- DUGDALE, R.C. 1976. Nutrient cycles. In *The Ecology of the Seas*, Eds. D. Cushing and J. Walsh. Blackwell, London: 141-172.

DUGDALE, R.C. and GOERING, J.J. 1967. Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary productivity. *Limnology and Oceanography* 12: 196-206.

EPPLEY, R.W. 1981. Autotrophic production of particulate matter. In *Analysis of Marine Ecosystems*, Ed. A.R. Longhurst. Academic Press, London: 343-361.

EPPLEY, R.W. and PETERSON, B.J. 1979. Particulate organic matter flux and planktonic new production in the deep ocean. *Nature* 282: 677-680.

GOLDMAN, J.C. and MCCARTHY, J.J. 1978. Steady state growth and ammonium uptake of a fast-growing marine diatom. *Limnology and Oceanography* 23: 695-703.

HARRISON, W.G. 1980. Nutrient regeneration and primary production in the sea. In *Primary Productivity in the Sea*, Ed. P. Falkowski. Plenum Press, New York: 433-460.

HARRISON, W.G. In press. Use of isotopes. In *Nitrogen in the Marine Environment*, Eds. D. Capone and E. Carpenter. Academic Press, New York.

JACKSON, G.A. 1980. Phytoplankton growth and zooplankton grazing in oligotrophic oceans. *Nature* 284: 439-441.

JANNASCH, H.W. 1974. Steady state and the chemostat in ecology. *Limnology and Oceanography* 19: 716-720.

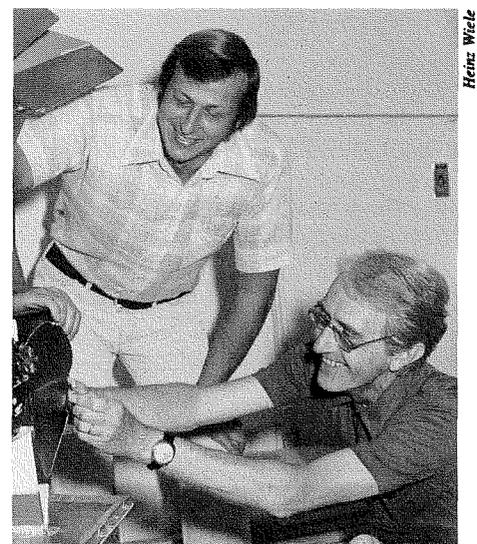
MCCARTHY, J.J. and GOLDMAN, J.C. 1979. Nitrogenous nutrition of marine phytoplankton in nutrient depleted waters. *Science* 203: 670-672.

Regroupement du zooplancton et maximum de chlorophylle

A.R. Longhurst et A.W. Herman

Pour établir des modèles des écosystèmes planctoniques, il faut comprendre les relations spatiales qui existent entre les groupes d'organismes en interaction pour le transfert de l'énergie; nous devons par exemple admettre que les herbivores vivent aux mêmes endroits que les plantes dont ils se nourrissent. On a découvert très tôt dans l'histoire des recherches sur le plancton que la distribution du biote n'était ni uniforme ni aléatoire, et on a investi beaucoup d'efforts dans la compréhension du phénomène de distribution en nuage: au départ, les travaux sur les relations spatiales dans le plancton portaient sur la dispersion horizontale, en fonction des processus physiques, dans des systèmes à une ou deux couches, et de grands progrès ont été accomplis, particulièrement après l'application au phénomène de l'analyse spectrale (Platt et Denman, 1975; Platt, 1978). Plus récemment, on en est venu à

comprendre que les profils verticaux présentent un degré de variabilité lié à des phénomènes biologiques et beaucoup plus



Alex Herman et Alan Longhurst.

ordonné que la dispersion horizontale, aussi les travaux se sont-ils orientés vers les relations verticales entre les animaux, les végétaux, les nutriments et le profil physique; on a rapidement découvert que la production, la consommation et la reminéralisation apparaissaient en séries logiques à des profondeurs qui avaient un rapport étroit avec la thermocline. Il ne reste qu'à obtenir de façon simultanée des profils à haute précision et à haute résolution de toutes les variables pertinentes pour faire avancer très rapidement ces études.

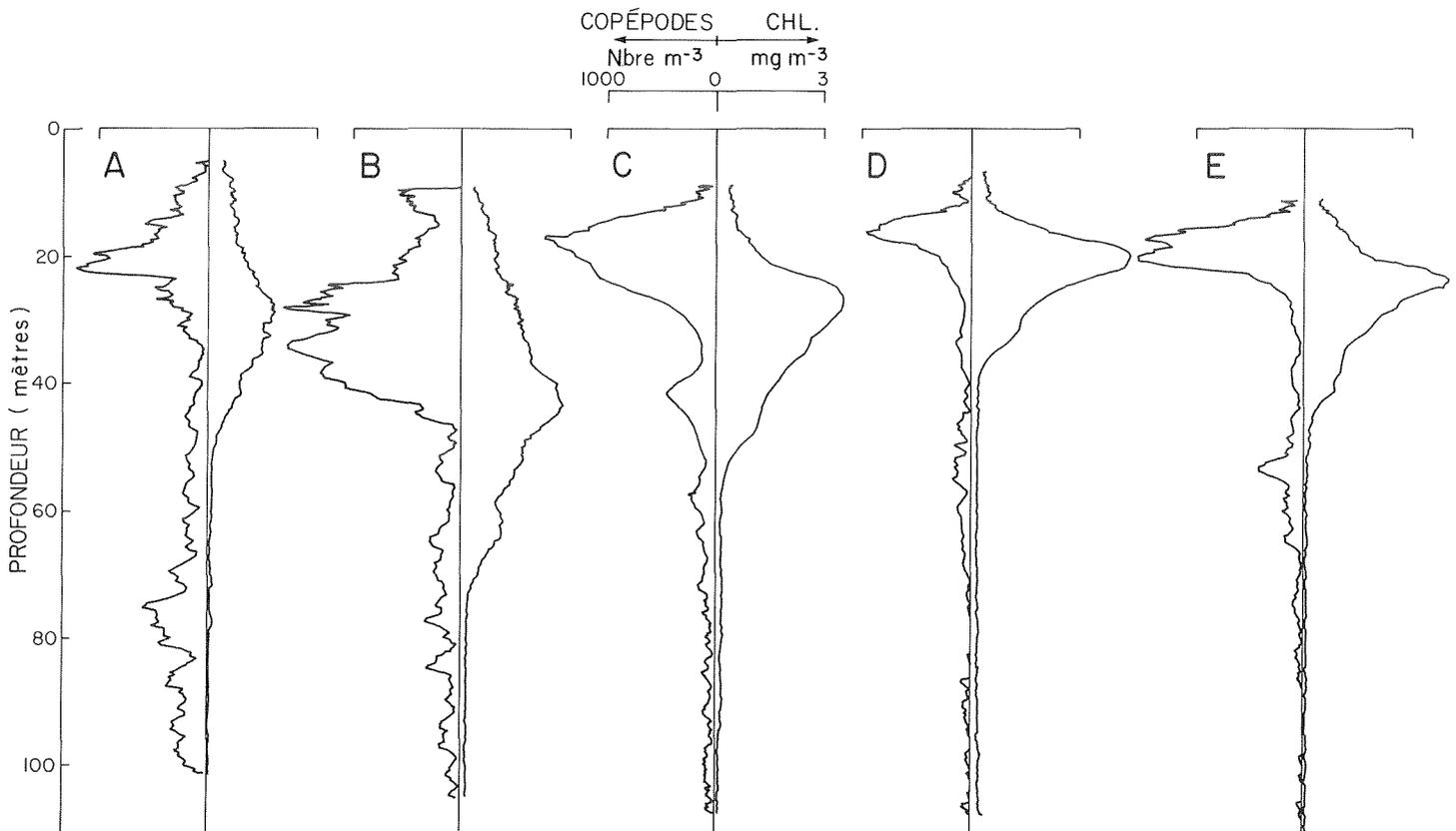
En utilisant des échantillonneurs en séries pour prélever le plancton à 80 stations dans le Pacifique oriental, Longhurst (1976) a pu confirmer pour cette région l'hypothèse de Venrick et coll. (1973) selon laquelle le zooplancton herbivore se rassemble généralement non pas à la profondeur du maximum de chlorophylle, mais légèrement au-dessus et plus près de la zone de production maximale de matière végétale.

Ce résultat semblait contredire les très nombreuses études, fondées sur les données obtenues à l'aide d'instruments de profilage à moindre résolution verticale, qui décrivaient la coïncidence apparente entre les maximums des herbivores et des végétaux dans les profils verticaux.

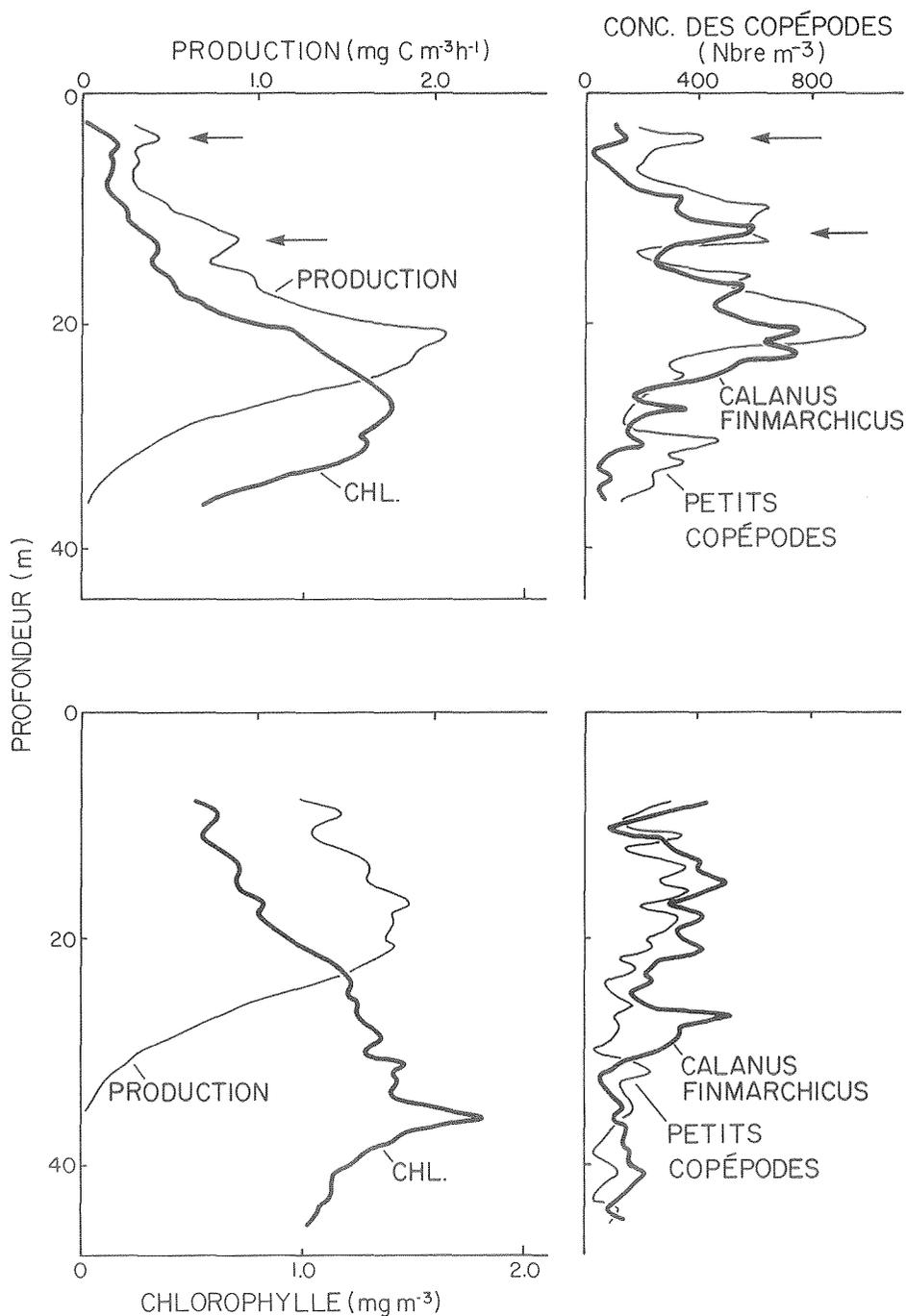
Cependant, grâce à l'emploi plus courant du Batfish (dispositif remorqué à mouvement de marsouinage, portant des capteurs de chlorophylle et de copépodes, et qui assure une résolution verticale de un mètre environ), il apparaît de plus en plus que les copépodes se rassemblent souvent à des profondeurs moindres que celle du maximum de chlorophylle. A partir d'études réalisées sur la plate-forme Scotian (Herman et coll., 1981), on a pu déterminer que les copépodes dominants (*C. finmarchicus* IV et V, *M. lucens* V, *P. minutes* et *C. arcuicornis*) se trouvaient à environ 8 à 10 mètres au-dessus du maximum de chlorophylle, et donc probablement près de la profondeur de production maximale de carbone. A l'aide d'une formule récemment mise au point (Jassby et Platt, 1976) pour définir la production phytoplanctonique en fonction de la lumière, on a pu simuler des profils de production par unité de volume pour chaque profil de chlorophylle fourni par le Batfish. D'après des profils de production, il apparaît que le maximum de la production de carbone suit étroitement le maximum des copépodes; cette observation est confirmée par une comparaison statistique des maximums évalués pour environ 90 profils fournis par le Batfish.

On a retrouvé les mêmes relations, en utilisant un Batfish, sur le plateau continental du Pérou et dans les eaux de l'Arctique; toutefois, dans ce dernier cas, dans le nord-est de la baie de Baffin, les copépodes ne se trouvaient au-dessus du maximum de chlorophylle que dans environ deux tiers des profils analysés. En outre, seuls *C. finmarchicus* et *C. glacialis* se trouvaient au-dessus du maximum de chlorophylle, alors que *C. hyperboreus* était concentré à cette profondeur ou légèrement en-dessous.

Tout récemment, Herman et Platt ont formulé un modèle numérique décrivant le bilan vertical du carbone sur 24 heures pour la plate-forme Scotian (rapport en préparation). Le modèle définissait l'équation d'état pour trois facteurs: i) production, ii) broutage et iii) biomasse, représentés respectivement par trois profils mesurés de la production, des copépodes et de la chlorophylle. Malgré la simplicité de sa structure, ce modèle a fourni deux conclusions fondamentales: i) la production journalière de carbone au-dessus du maximum de chlorophylle est suffisante pour entretenir les copépodes et assure une ration quotidienne maximale d'environ 50 % (poids des organismes par jour) et ii) l'ammoniac est régénéré au-



(A-E) Profils verticaux réalisés au Batfish sur la plate-forme Scotian représentant la chlorophylle sur l'échelle de droite et le total des copépodes à gauche.



Profils réalisés au Batfish sur la plate-forme Scotian, séparés en deux éléments: 1) à gauche, estimation de la production et chlorophylle, et 2) à droite, copépodes se composant de *C. finmarchicus* IV et V et des petite copépodes *Pseudocalanus minutus* et *Clausocalanus arcuicornis*.

dessus du maximum de chlorophylle, de sorte que les apports et les besoins sont bien équilibrés sur l'ensemble de la colonne d'eau. Ces travaux ont résolu le problème que posaient des modèles antérieurs, comme celui de Jamart *et coll.* (1979), pour que la régénération de l'ammoniac se passait au niveau du maximum de chlorophylle, de sorte que l'apport d'ammoniac dépassait les besoins correspondant à la croissance du phytoplancton.

Nous poursuivons l'étude des profils biologiques à l'aide du Batfish et d'autres

instruments, et nous analysons les données recueillies à des points très divers de l'Arctique et au cours de deux stations de cinq jours établies pendant l'expédition BIOS-TAT sur le dôme du Cost-Rica et au nord de cette entité. A mesure que les études progressent, il est de plus en plus clair que la partie supérieure de la colonne d'eau constitue un écosystème hautement structuré dans l'espace. Tous les profils apportent de l'information sur la distribution différentielle ordonnée des organismes, ce qui indique que le rôle du comportement

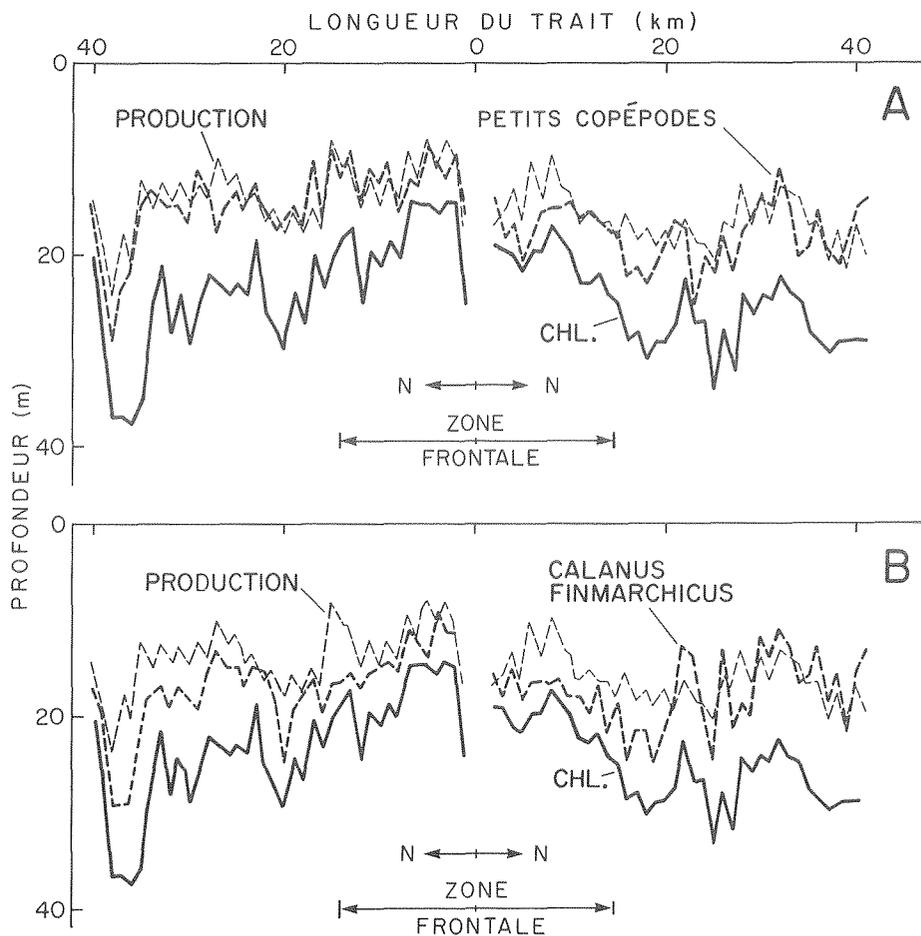
animal, de l'éclaircissement et des nutriments est plus important que les processus physiques eux-mêmes.

Il devient aussi évident que non seulement les espèces animales elles-mêmes sont étroitement spécialisées pour certaines profondeurs dans les profils examinés, mais que les stades de croissance d'une même espèce révèlent habituellement un déroulement ordonné le long du profil; les séries et la localisation en profondeur changent du jour à la nuit et selon les saisons, ainsi qu'au fil de la croissance des animaux. Il semble donc que nous approchions de la résolution du "paradoxe du plancton" (Hutchinson, 1961): comment une faune aussi taxinomiquement diverse que le zooplancton peut-elle occuper un habitat uniforme qui semble manquer de niches spécifiques? Pour résoudre ce problème, il suffisait apparemment d'étudier de plus près l'habitat du phytoplancton.

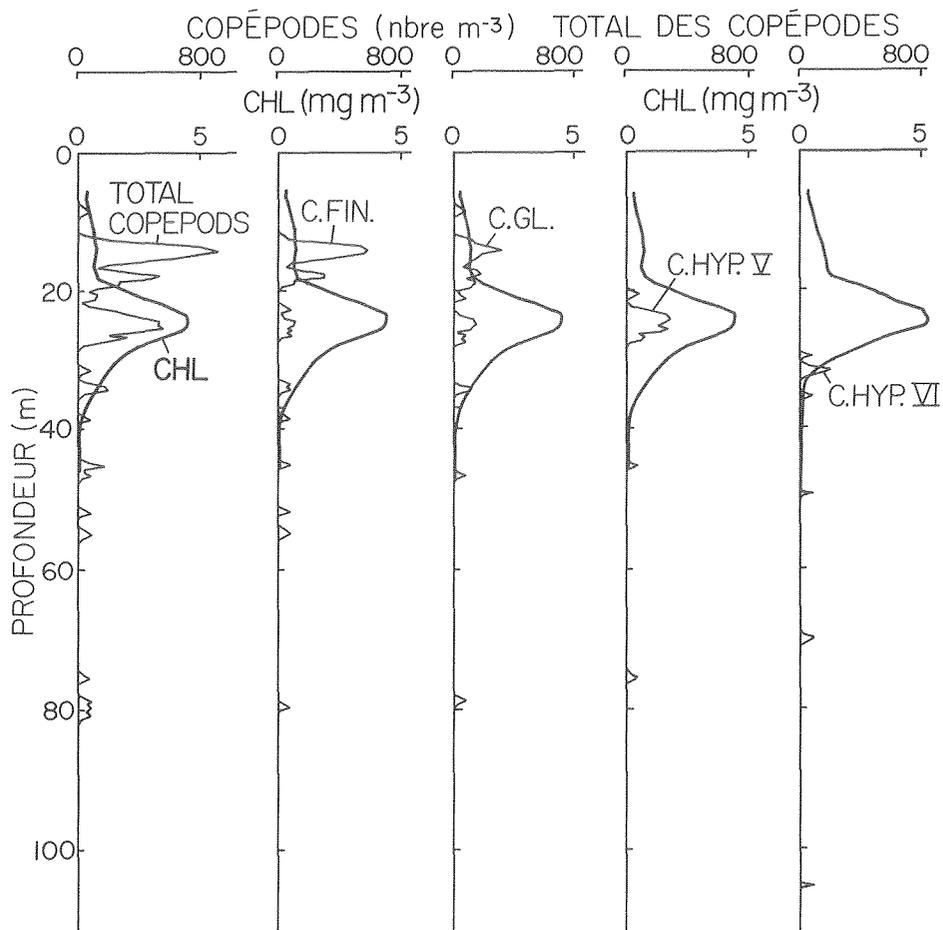
Références

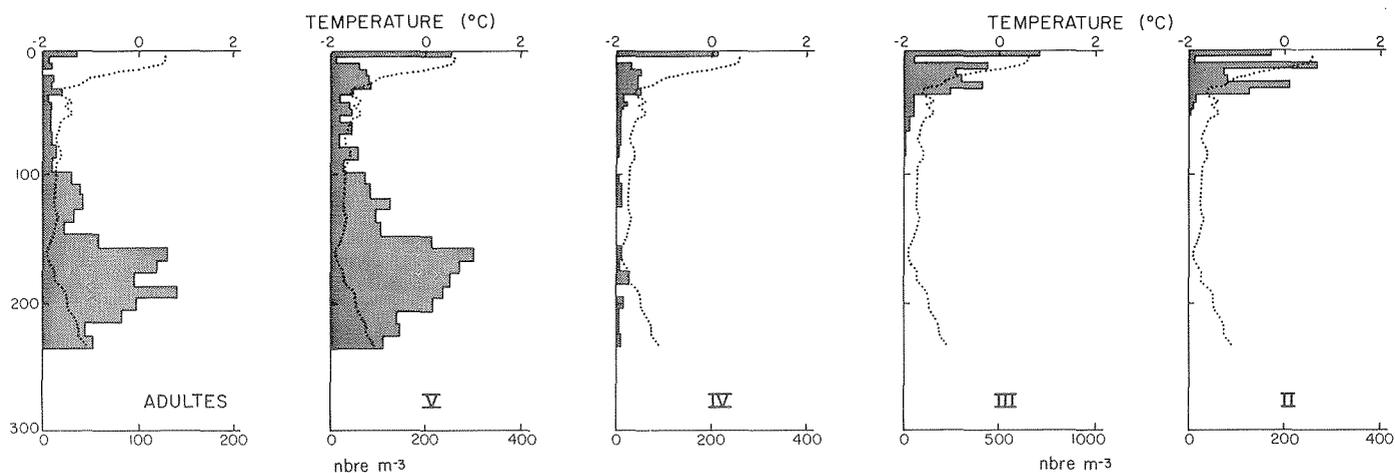
- HERMAN, A.W., SAMEOTO, D.D., and LONGHURST, A.R. 1981. Vertical and horizontal distribution patterns of copepods near the shelf break of Nova Scotia. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 38: 1065-1076.
- HUTCHINSON, G.E. 1961. The paradox of the plankton. *The American Naturalist* 95: 98-103.
- JAMART, B.M., WINTER, D.F., BANSE, K., ANDERSON, G.C., and LAM, K. 1977. A theoretical study of phytoplankton growth and nutrient distribution in the Pacific Ocean off the NW US coast. *Deep-Sea Research* 24: 753-773.
- JASSBY, A.D. and PLATT, T. 1976. Mathematical formulation of the relationship between photosynthesis and light for phytoplankton. *Limnology and Oceanography* 21: 540-547.
- LONGHURST, A.R. 1976. Interactions between zooplankton and phytoplankton profiles in the eastern tropical Pacific Ocean. *Deep-Sea Research* 33: 729-754.
- PLATT, T. 1978. Spectral analysis of spatial structures in phytoplankton populations. In *Spatial Patterns in Plankton Communities*, Ed. J.H. Steele. Plenum Press, London: 73-84.
- PLATT, T. and DENMAN, K. 1975. Spectral analyses in ecology. *Annual Review of Ecology and Systematics* 6: 189-210.
- VENRICK, E.L., MCGOWAN, J.A., and MANTYLA, A.W. 1973. Deep maximum of the photosynthetic chlorophyll in the Pacific Ocean. *United States Fishery Bulletin* 71: 41-52.

(A-B) Comparaison des mesures verticales des ► maximums de la chlorophylle, des copépodes et de l'estimation de la production. Dans les cas des petits copépodes et de *Calanus finmarchicus*, on a trouvé que la concentration maximum correspondait de plus près à celle de la production qu'à celle de la chlorophylle.



Profils des copépodes et de la chlorophylle re- ► levés par le Batfish dans le nord-est de la baie Baffin. Les copépodes ont été répartis selon les espèces, *C. finmarchicus* et *C. glacialis* se situant au-dessus du maximum de chlorophylle alors que *C. hyperboreus* se trouve au même endroit que le maximum de chlorophylle.





Distributions verticales des adultes et de quatre stades larvaires de *Calanus hyperboreus* relevées dans l'est du détroit de Lancaster en août 1980. Les profils ont été obtenus par l'enregistreur Lonhurst-Hardy à bord du Hudson. La ligne en pointillé représente le profil de la température.

Morphométrie des poissons

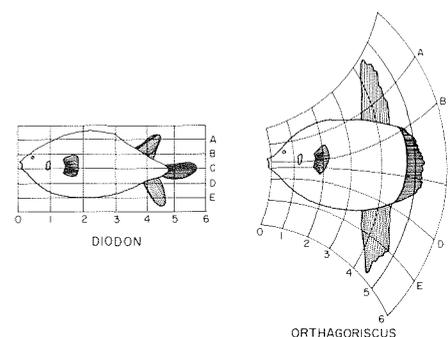
J.M. McGlade

La structure d'un stock de poisson définit non seulement sa réaction à l'exploitation halieutique et aux changements environnementaux, mais aussi son aptitude à surmonter la surexploitation. Le repérage spatio-temporel d'un stock de poisson reste toutefois un problème fondamental de la gestion des pêches (Ihssen et coll., 1981). Depuis une vingtaine d'années, les halieutistes s'inquiètent de plus

En 1981, la Division des poissons de mer lançait un projet concernant la morphométrie des poissons, dans le cadre d'une grande étude destinée à définir la structure des stocks de gadidés de la plateforme Scotian. Cet aspect de l'identification des stocks, qui avait été négligé dans le passé, représente une caractéristique importante au niveau de différenciation infraspécifique (Ihssen et coll., 1981). Si cet élément de la morphologie a été négligé, c'est en partie à cause de la complexité des procédures nécessaires pour quantifier les changements morphologiques. Les biologistes ont donc généralement limité leurs études à des comparaisons de mesures linéaires sur un ou deux axes.

Pourtant, certains travaux importants faisaient exception: ceux de D'Arcy Thompson (1917). Ce chercheur a employé une méthode de transformation fondée sur la distorsion de grilles cartésiennes, ce qui avait un effet comparable à l'utilisation d'une feuille de caoutchouc pour transformer une forme entière. L'une des applications célèbres de cette méthode est la superposition de grilles connexes sur les figures de *Diodon* et *Orthogoriscus* (= *Mola*). Ces travaux posent cependant certains problèmes, notamment à cause d'incohérences dans les grilles et d'une explication insuffisante des procédures, ce qui interdit d'en extraire un résultat quantitatif.

L'expansion de ce domaine d'étude est aussi conditionnée par la nécessité de dé-



Passage de *Diodon* à *Orthogoriscus* (= *Mola*) sur grille cartésienne (tiré de D'Arcy Thompson, 1917).

finir les principes de la similarité biologique (Economos, 1982) plutôt que de travailler à préciser la variabilité. Des morphologistes comme Galilée, Rashevsky (1960), Huxley (1924), et Tessier (1924) se sont intéressés aux relations entre la longueur du corps, le diamètre du tronc et le poids sur l'ensemble d'un phylum. Ce n'est pas avant la deuxième moitié de notre siècle que l'on a commencé à s'intéresser aux variations à l'échelle des populations. Les morphologistes se sont alors tournés vers les méthodes traditionnelles, comme la relation d'allométrie de Huxley, par un renversement surprenant de son application. Gould (1966) a cependant conclu que l'allométrie positive et négative des différentes parties du corps pouvait servir à induire les changements de forme, ce qui signifiait qu'il était possible de quantifier les différences ontogéniques et démographiques.

Toutefois, il fallait définir à l'avance la direction des axes de croissance pour faire une analyse allométrique selon l'équation de Huxley. Invariablement, on obtenait un seul axe, dérivé selon le gradient de crois-



Roger Bélanger 6396-3

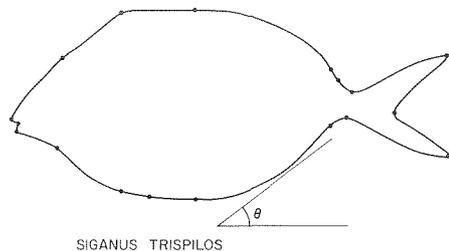
Jacqueline McGlade.

en plus de ce que les incidences génétiques de nombreuses stratégies de gestion ne sont pas considérées à leur juste valeur (Thorpe et coll., 1981). Il est donc indispensable de définir les stocks existants tant par leur phénotype que par leur génotype.

ance le plus important, sur lequel s'inscrivaient toutes les variables morphologiques. Cela contribuait à fausser la perception des modifications subtiles de la forme.

Avery (1933) a tenté de surmonter ces problèmes en combinant des gradients de croissance avec des grilles cartésiennes afin d'étudier l'aspect géométrique du développement d'une feuille de tabac. Il a donc imprimé une grille à l'encre sur une feuille qu'il a photographiée à mesure qu'elle grandissait, puis il a calculé la superficie des quadrilatères de la grille. Par la suite, Richards et Kavanagh (1943) ont analysé de nouveau les données d'Avery, en utilisant des dérivées pour définir les directions de croissance maximale et minimale sur l'ensemble de la feuille. Leur méthode constituait nettement un pas important vers la mesure des différences et des transformations de la forme, malgré les travaux de Tobler (1978) qui ont révélé dans leur analyse des erreurs non systématiques.

L'un des écueils principaux de l'analyse de la forme est le fait qu'elle est inextricablement liée à la taille. Par exemple, nous pouvons dire qu'un rat est environ deux fois plus gros qu'une souris, mais possède à peu près la même forme. Donc, pour comparer les différences de forme entre divers organismes, il est nécessaire de faire abstraction du facteur taille. Un certain nombre de méthodes ont été proposées, notamment celle de Penrose (1954), qui exprime les caractères en

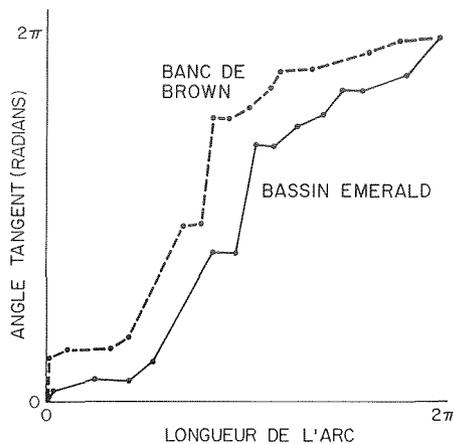


Mesure de l'angle tangent à un repère, servant à définir la forme du poisson tropical (*Siganus trispilos*).

fonction d'une mesure standard de la taille (par exemple, le poids ou le volume). D'autres chercheurs ont adopté une approche à plusieurs variables (Jolicoeur, 1963; Albrecht, 1980), selon laquelle la première composante d'une analyse des composantes principales est assignée à la taille, et les autres à la forme (Pimental, 1979). On peut cependant relever que l'indépendance de la première composante

principale, s'il s'agit de la taille, est fonction de son orthogonalité par rapport à la seconde, et non d'une différenciation intrinsèque de la taille et de la forme (McGlade, 1981).

En ichtyologie, le problème se complique du fait que les caractères traditionnellement utilisés en morphologie se situent le long de l'axe vertébral du poisson. Ils sont donc fortement conditionnés

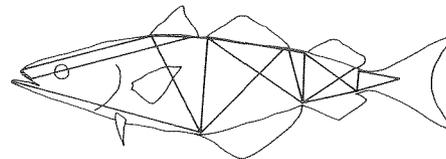


Comparison angle tangent/longueur de l'arc pour deux échantillons de goberge (*Pollachius virens* L), provenant du banc de Brown et de la limite du bassin Emerald, sur le plateau continental Scotian.

par l'allométrie. Bookstein (1978) a fourni aux ichtyologistes une méthode géométrique de mesure qui résoud ce problème de linéarité. On définit au départ des repères (points homologues d'un spécimen à l'autre) répartis sur la surface d'un poisson. L'angle tangent (azimut d'une ligne droite tracée le long de la surface au repère) et la position de ce repère sur la longueur de l'arc sont alors calculés et standardisés à une échelle de 0 à 2π . Lors d'une étude de la goberge (*Pollachius virens*), on a comparé par cette méthode des échantillons de population du rebord du banc de Brown et du bassin Emerald. Comme le montre la figure ci-jointe, il existe des différences dans la longueur de l'arc que l'on peut tracer en passant par les divers repères, et on peut les soumettre à une analyse à plusieurs variables après avoir défini un critère de fermeture (cette étape assure que les données possèdent un sens implicite de l'ordre, sans quoi les points n'auraient aucune signification).

Si cette méthode est très utile pour déterminer les différences entre les échantillons, elle ne donne aucune information sur les changements de forme sur la surface d'un poisson. Une solution intéressante nous est offerte par Bookstein (manuscrit

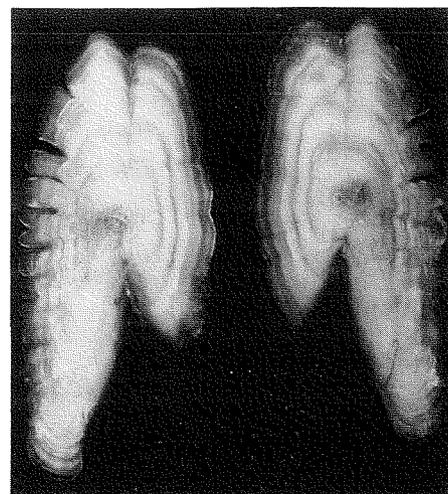
inédit, Université du Michigan, Ann Arbor), qui a étudié la possibilité de pratiquer une analyse sur grille biorthogonale. La famille la plus simple de courbes est dérivée de sections de cône. Ces courbes peuvent s'imbriquer de façon que chaque courbe corresponde bien aux données de



Configuration en treillis proposée pour le poisson (Strauss, manuscrit inédit). Les points où le treillis rejoint la ligne extérieure représentent les repères.

son sous-arc; on passe ensuite sans discontinuité au sous-arc voisin. Strauss (manuscrit inédit, Université de Michigan, Ann Arbor) a proposé comme cadre de base pour ce type d'analyse une configuration en treillis. On définit les repères, puis on mesure les distorsions qui existent entre eux en unités de taux de changement de longueur. Les dilations sont calculées à partir d'un système de coordonnées orthogonales dérivées de transformations affines dans lesquelles les angles restent constants. Les changements entre les formes correspondent donc à un espacement relatif des courbes. On ajuste au moins deux courbes à chaque repère de façon à minimiser l'erreur d'ajustement.

Les premières études menées dans ce domaine ont montré que les gadidés de diverses régions de la plateforme Scotian présentent des caractéristiques que l'on



Paire d'otolithes de hareng (*Clupea harengus*). Les anneaux opaques et translucides se déposent pendant les périodes de croissance de l'hiver et de l'été: ils servent à déterminer l'âge du poisson.

peut différencier. Cette recherche a toutefois dévoilé un nouveau champ peut-être plus prometteur: l'utilisation de la technique pour différencier des otolithes prélevés sur des spécimens de la même espèce mais provenant de régions différentes. Les otolithes sont prélevés de façon régulière par la Division des poissons de mer et servent à mesurer l'âge des poissons (on compte les anneaux des otolithes pour déterminer le nombre de périodes d'été et d'hiver qu'a connues un poisson). Des chercheurs expérimentés peuvent aussi déterminer la provenance de certains otolithes en fonction non seulement de leur taille, mais de leur forme. La Division des poissons de mer a donc entrepris une étude préliminaire destinée à examiner la variation ontogénique dans les otolithes de poissons provenant de régions diverses. Si elles donnent de bons résultats, ces études constitueront une source remarquable d'information pour les études des populations de gadidés de la plateforme Scotian et des régions avoisinantes, et notamment pour la détermination des stocks à des fins de gestion.

Références

ALBRECHT, G.H. 1980. Multivariate analysis and the study of form with special reference to canonical variate analysis. *American Zoologist* 20: 679-693.

AVERY, G.S., JR. 1933. Structure and development in the tobacco leaf. *American Journal of Botany* 20: 565-592.

BOOKSTEIN, F.L. 1978. The Measurement of Biological Shape and Shape Change. Springer-Verlag, New York, *Lecture Notes in Biomathematics* 24: 191 pp.

ECONOMOS, A.C. 1982. On the origin of biological similarity. *Journal of Theoretical Biology* 94: 25-60.

GOULD, S.J. 1966. Allometry and size in ontogeny and phylogeny. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society (London/New York)* 41: 587-640.

HUXLEY, J.S. 1924. Constant differential growth ratios and their significance. *Nature (London)* 11: 895-896.

IHSSEN, P.E., BOOKE, H.E., CASSELMAN, H.M. McGLADE, J.M., PAYNE, N.R., and UTTER, F.M. 1981. Stock identification: materials and methods. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 38: 1838-1855.

JOLICOEUR, P. 1963. The multivariate generalization of the allometry equation. *Biometrics* 19: 497-499.

McGLADE, J.M. 1981. Genotypic and phenotypic variation in the brook trout *Salvelinus fontinalis* (Mitchill). Unpublished Ph.D. Thesis, University of Guelph, Guelph, Ontario: 297 pp.

PENROSE, L.W. 1964. Distance, size and shape. *Annals of Eugenics* 18: 337-343.

PIMENTAL, R.A. 1979. Morphometrics; The Multivariate Analysis of Biological Data. Kendall/Hunt Publishing Co., Dubuque, Iowa: 276 pp.

RASCHEVSKY, N. 1960. Mathematical Biophysics. Dover Press Inc., New York.

RICHARDS, O.W. and KAVANAGH, A.H. 1943. The analysis of the relative growth-gradients and changing form of growing organisms; illustrated by the tobacco leaf. *American Naturalist* 77: 385-399.

TESSIER, G. 1936. Les lois quantitatives de la croissance. *Annales de Physiologie et de Physiologie Biologique* 12: 527-579.

THOMPSON, D.W. 1917. On Growth and Form. Cambridge University Press, Cambridge, UK: 1116 pp.

THORPE, J.E. and KOONCE, J.F. (with D. Borgeon, B. Henderson, A. Lamsa, P.S. Maitland, M.A. Ross, R.C. Simon, and C. Walters). 1981. Assessing and managing man's impact on fish genetic resources. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 38: 1899-1907.

TOBLER, W.R. 1978. The comparison of plane forms. *Geographical Analysis* 10: 154-162.

Hareng et hydrographie: la question des stocks

T.D. Iles et M. Sinclair

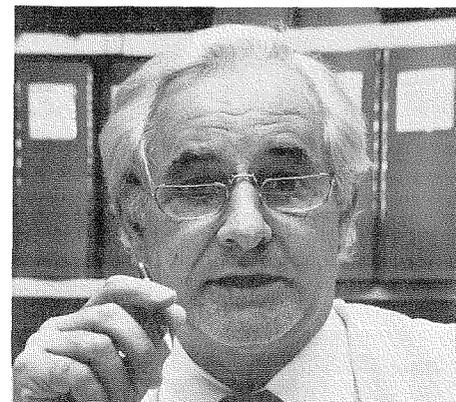
Dans le domaine halieutique, on emploie souvent le terme "stock" pour désigner un groupe infrasécifique présentant une distribution spatiale caractéristique et, dans de nombreux cas, des paramètres biologiques particuliers. La distribution des stocks est importante pour les gestionnaires, qui aiment rendre compte des prises de poisson en fonction d'un découpage administratif précis; les différences biologiques entre les stocks soulèvent des questions qui mènent étonnamment loin dans la théorie écologique et évolutionnaire.

Dans l'Atlantique nord, dans les eaux européennes comme dans les eaux nord-américaines, on a repéré des douzaines de stocks de hareng (*Clupea harengus*), mais la distribution des différents stocks se recouvre, souvent à un degré important, et dans certaines régions il est presque impossible d'adopter une gestion fondée sur une base biologique rationnelle. Dans l'Atlantique oriental, on tend même à ignorer les questions biologiques à cause des problèmes que pose l'application des résultats de la recherche.

Fort heureusement, dans les eaux canadiennes, la gestion du hareng est organisée efficacement sur les plans administratif et politique, de sorte qu'il est possible d'étudier les aspects purement scientifiques de cette ressource. On a récemment avancé une hypothèse (Iles et Sinclair, 1982) qui rend compte d'un bon nombre des caractéristiques biologiques des stocks de hareng et qui relance le débat sur l'ensemble de la question des stocks.

Le problème biologique fondamental qui se pose est la définition et l'explication de l'existence au sein des espèces de

groupes génétiquement isolés, et le mode de résolution de ce problème apparaît, rétrospectivement, simple et évident. Chaque "stock" de hareng se reproduit sur le fond de la mer dans une zone bien définie et à une période bien définie (Zylastra, 1964). S'il y a isolement, on peut facilement le repérer au moment de la reproduction. Si l'on part de ce stade, on peut



Derrick Iles.

suivre le cycle biologique du poisson jusqu'au moment où cet isolement est rompu (c'est-à-dire où les jeunes de plusieurs groupes de reproducteurs se mélangent) puis se demander si l'isolement jusqu'à ce stade peut être maintenu pendant un nombre indéfini de générations.

Le facteur central qui a mené à la formulation de cette nouvelle hypothèse a été le fait que certains systèmes hydrographiques particuliers, bien délimités par un "paramètre de stratification", et qui représentent des zones de brassage vertical marqué (Simpson et Hunter, 1974), correspondent à des zones connues pour la présence des larves de hareng.

Le stade larvaire et post-larvaire est aussi celui où la densité est très importante; à ce stade, la concurrence interne à une population cause une diminution du nombre d'oeufs fécondés (des dizaines de milliers par femelle) (Cushing, 1973) jusqu'au niveau de la population préadulte et adulte. Il est raisonnable de penser que l'isolement peut se maintenir jusqu'à ce stade (Hempel et Blaxter, 1967).

Aux stades suivants, alors que la puissance de nage est beaucoup plus grande, les stocks peuvent se mélanger, mais on sait que les adultes retournent frayer à leur point d'origine, et que les groupes initiaux de reproducteurs se reconstituent. Dans une région où le brassage est intense, les larves sont dispersées dans toute la zone, mais l'existence de limites physiques retient les jeunes dans cette région. On peut même définir un stock comme l'ensemble des spécimens qui contribuent à la population larvaire d'une "zone de rétention" donnée. Le fait que les zones de rétention sont déterminées par des caractères hydrographiques assure leur stabilité relative d'une année à l'autre ainsi que la similarité de leur variabilité saisonnière.

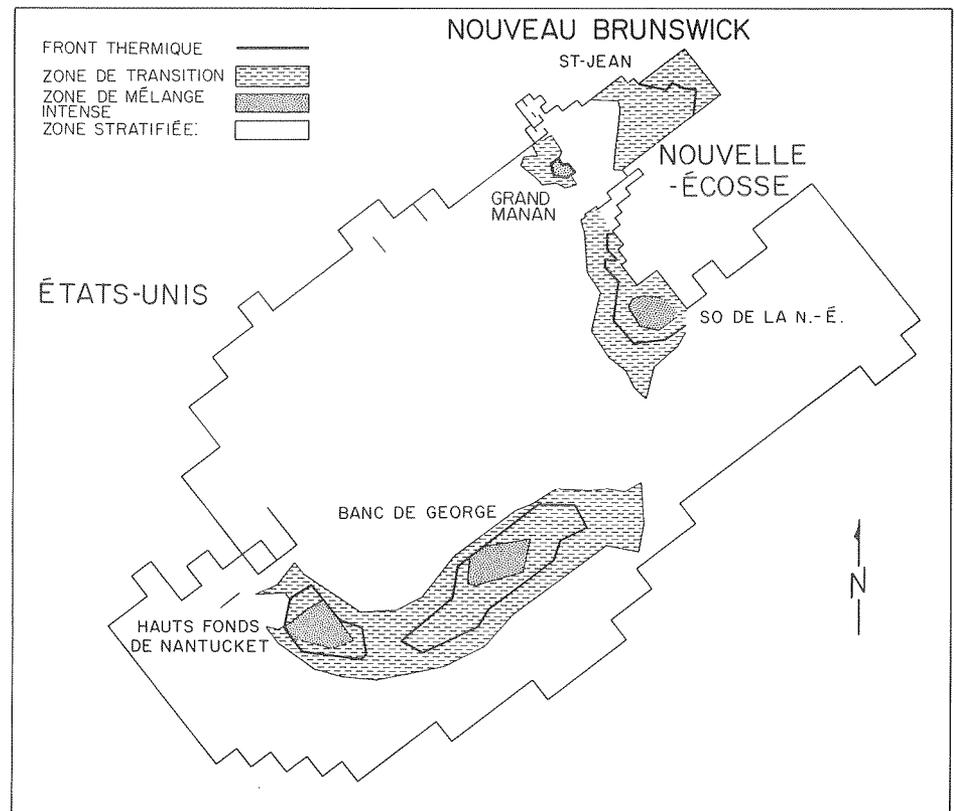
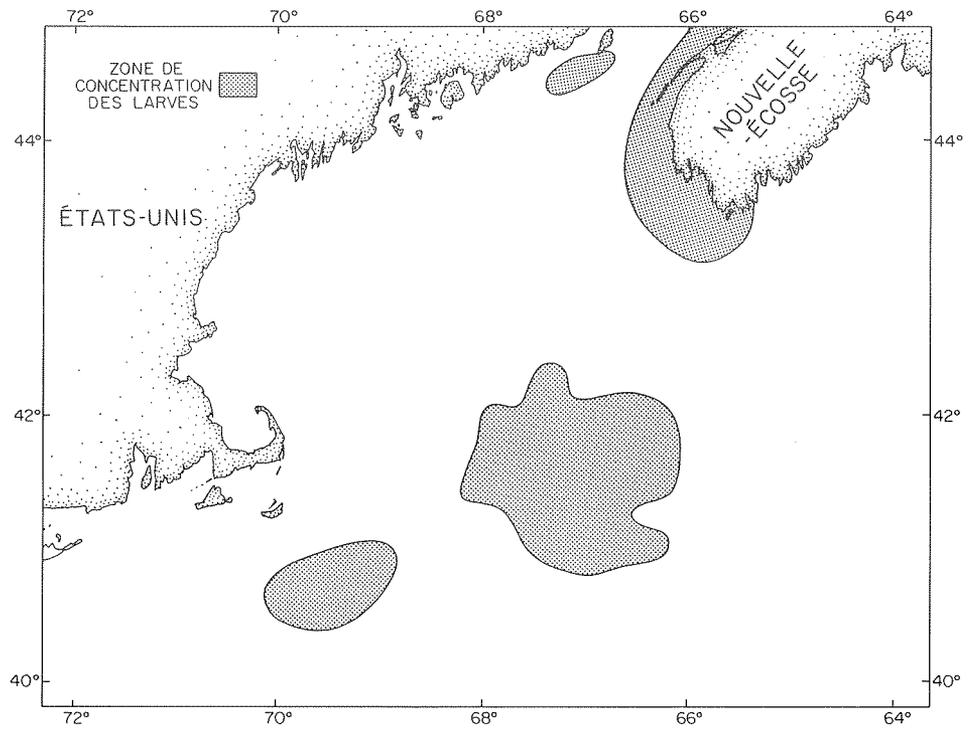
L'hypothèse offre alors un prolongement très important. Les stocks de hareng varient en abondance (comme le montre leur productivité halieutique) dans des ordres de grandeur très différents (Iles et Sinclair, 1982), alors qu'il n'existe pas dans leurs paramètres biologiques de différences assez marquées pour expliquer cette variation. La superficie des zones de rétention varie aussi d'un degré à peu près semblable, et on en conclut que l'abondance absolue s'explique pour l'essentiel par des facteurs physiques plutôt que biologiques.

Il semble aussi que l'autre grande différence biologique entre les stocks de hareng – la période de reproduction qui, dans l'ensemble, s'étale sur toute l'année (Parrish et Saville, 1964) – puisse s'expliquer davantage par les caractéristiques physiques des zones de rétention que par des caractéristiques de production particulières, mais cet aspect de l'hypothèse n'est pas encore totalement au point.

Notre hypothèse, ou ses incidences, contredit un certain nombre de concepts et d'idées généralement admises, et il est peu probable qu'elle sera totalement acceptée sans débat ni modification. Nous remettons nettement en question, par exemple, le concept de mouvement passif des larves. Il est certain que les larves se dis-

persent, mais l'interaction des conditions hydrographiques à la limite de la zone de rétention avec le comportement vertical structuré des larves établit des limites nettes à leur distribution. Ce n'est pas le déplacement passif des larves qui définit leur distribution.

Si les conditions aux limites ne sont pas assez "échanches", le stock ne peut se maintenir. Une certaine variabilité dans l'étanchéité de ces limites, d'une année à l'autre – si l'on considère que dans des conditions normales de non-exploitation, un stock de hareng se compose d'un cer-



Haut: distribution des larves de hareng peu de temps après la fraye; bas: le paramètre de stratification Simpson-Hunter dans la région du golfe du Maine.

tain nombre de classes d'âge – permet d'expliquer dans une certaine mesure, et même en grande partie, la variabilité des classes d'âge.

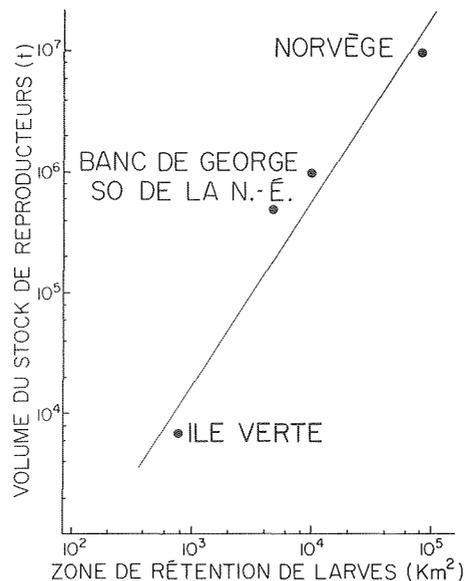
Certains chercheurs ont eu du mal à admettre que les processus de la production primaire et secondaire ne sont peut-être pas les facteurs déterminants de la taille d'une population. Par bien des côtés, l'aspect le plus important de notre hypothèse concerne les facteurs déterminant la taille absolue d'une population, question générale intéressant la théorie fondamentale de l'écologie et de l'évolution. Il vient s'y greffer la situation des stocks en tant qu'unités taxinomiques au niveau intraspécifique. Cette classification n'est pas conforme aux critères habituellement utilisés dans la théorie couramment admise de l'évolution pour différencier les sous-populations d'une espèce. Par exemple, selon l'approche "gradualiste", des sous-espèces seraient en voie de constitution. Il semble très peu probable que cette théorie puisse s'appliquer à un grand nombre de stocks de hareng (Gould, 1980). Ces groupes doivent posséder suffisamment de souplesse et de plasticité non sélectives pour s'adapter aux variations environnementales que connaissent la plupart des stocks.

On demandera aussi: pourquoi le hareng? Il semble que la même hypothèse générale puisse s'appliquer à n'importe quel organisme planctonique marin ou même à tout organisme marin qui possède un stade planctonique dans une région qui comporte des zones de rétention, c'est-à-dire aux téléostéens de la plate-forme continentale et à la plupart des invertébrés exploités commercialement, ainsi qu'au zooplancton.

Cela ne signifie pas que toutes les espèces montrent le même type de structuration que le hareng, mais simplement que nous disposons maintenant d'un type différent d'analyse du cycle biologique et de l'écologie, qui s'applique particulièrement bien aux écosystèmes marins. Étant donné que la plus grande partie de la théorie écologique actuelle est tirée de l'étude des systèmes terrestres, aériens ou dulçaquicoles, cette approche va certainement faire apparaître bien des problèmes sous un jour nouveau et différent.

Dans le cas du hareng se posent d'importants problèmes de gestion; si les stocks existent bien en tant qu'unités biologiques, et si un stock "sain" est incapable de recoloniser une zone laissée vacante par un

stock surexploité, un système idéal de gestion se fonderait sur la phase antérieure au



Relation entre le volume du stock de reproducteurs en tonnes métriques (t) et les zones respectives de rétention des larves. Les chiffres concernant les stocks de reproducteurs ont été relevés pendant les périodes où l'activité de pêche est modérée, et où les populations se trouvent à un niveau relativement proche de leur état naturel.

mélange des stocks.

Il n'est pas encore possible de prévoir dans quelle mesure cette hypothèse pourra être étayée et élargie, mais elle a reçu une attention considérable car elle offre une base intéressante d'étude et de débat et suscite des travaux sur le terrain destinés à explorer et à tester ses divers aspects dans une gamme étonnamment large de disciplines.

Références

- CUSHING, D.H. 1973. The Detection of Fish. Pergamon Press, Oxford, U.K.
- GOULD, S.J. 1980. Is a new and general theory of evolution emerging? *Paleobiology* 6(1): 119-130.
- HEMPEL, G. and BLAXTER, J.H.S. 1967. Egg weight in Atlantic herring. *Journal du Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer* 31: 170.
- ILES, T.D. and SINCLAIR, M. 1982. Atlantic herring: stock discreteness and abundance. *Science* 215 (Feb. 5): 627-633.
- PARRISH, B.B. and SAVILLE, A. 1964. The biology of the northeast Atlantic herring populations. *Oceanography and Marine Biology* 3: 323.
- SIMPSON, J.H. and HUNTER, J.R. 1974. Fronts in the Irish Sea. *Nature* 250: 404.
- ZYLASTRA, J.J. 1964. On the recruitment mechanism of North Sea autumn spawning herring. *Rapports et Procès-Verbaux des Réunions, Conseil International pour l'Exploration de la Mer* 154: 198.

La recherche écologique dans la baie de Fundy

D.C. Gordon Jr.

En 1977, le Laboratoire d'écologie marine (LEM) entamait une étude écologique du bassin supérieur de la baie de Fundy. Cette région, célèbre pour l'ampleur de ses marées, présente de grandes vasières et des battures sablonneuses, de forts courants de marée et des concentrations élevées de sédiments en suspension. Bien que nos activités sur le terrain se soient étendues à l'ensemble de la baie, nous nous sommes intéressés plus particulièrement au bassin de Cumberland, situé au fond de la baie Chignectou, site recommandé en 1977 pour la construction d'une usine marémotrice (Gordon et Longhurst, 1979).

Au lancement du projet, aucune étude écologique n'avait encore eu lieu dans le bassin de Cumberland. Étant donné l'ampleur du stress physique subi par cette zone et l'absence d'organismes facilement visibles, on la considérait généralement com-

me un désert biologique. Les travaux de départ ont été considérables, et d'autres laboratoires y participaient; ils portaient sur des relevés écologiques des organismes présents et sur leur distribution spatio-temporelle. Au fil des travaux, les aspects dynamiques comme les taux de production des divers éléments de l'écosystème et l'influence des facteurs environnementaux ont capté davantage d'attention.

Dans tout écosystème, le mécanisme de base est constitué par la production primaire de matières organiques par photosynthèse, phénomène étudié de près par le LEM dans le bassin de Cumberland où existent quatre types différents de végétaux marins, étudiés séparément: les algues unicellulaires des vasières, le phytoplancton, les algues pluricellulaires et les plantes des marais salés.

Étant donné que 40 % de la superficie

du bassin de Cumberland qui se trouve au-dessous de la laisse de haute mer est constituée par des vasières intertidales découvertes deux fois par jour, nous avons d'abord étudié la productivité des algues des vasières. Parmi les méthodes de mesure mises au point, celle qui a été retenue se fonde sur l'étude de l'évolution de l'oxygène dissous dans des carottes scellées (certaines exposées aux radiations solaires et d'autres maintenues à l'abri de la lumière) implantées dans la vasière découverte. Les expériences ont eu lieu à la vasière de l'anse Pecks, à intervalles hebdomadaires ou mensuels, pendant près de deux ans. Les mesures de la chlorophylle et les observations au microscope ont révélé la présence d'algues qui sont particulièrement abondantes pendant les mois chauds de l'année, période où l'on remarque facilement à la surface des sédiments une pellicule brune formée d'algues. On a relevé une productivité primaire appréciable qui variait avec les saisons, le maximum se situant entre la fin du printemps et le début de l'automne, alors que les radiations solaires et la température sont à leur maximum (Hargrave et coll., 1982). La productivité est très faible en hiver, car la banquise jetée à la côte par les vagues couvre habituellement les vasières.

A l'aide d'un hélicoptère, nous avons aussi prélevé régulièrement des échantillons de sédiments dans d'autres vasières du bassin Cumberland, et nous avons mesuré la chlorophylle et la teneur en matières organiques afin d'estimer la productivité relative de diverses zones intertidales. Le cycle saisonnier est le même dans toutes ces zones, mais certaines vasières semblent plus productives que d'autres à cause d'une différence dans leur exposition aux vagues et aux courants. Les algues des vasières ne pratiquent pas la photosynthèse lorsque l'eau recouvre les sédiments parce que la lumière pénètre très peu les eaux troubles, même en été, lorsque les radiations solaires atteignent un maximum et la quantité de sédiments en suspension un minimum.

Malgré la turbidité de l'eau, et contrairement à toute attente, il existe dans le bassin supérieur de la baie de Fundy un groupement phytoplanctonique diversifié et notable. Nous avons réalisé des expériences sur la productivité du phytoplancton à l'aide du carbone-14 d'une part en eaux profondes, en allant jusqu'à l'embouchure du bassin de Cumberland à bord du n.s.c. *Dawson*, d'autre part dans les eaux peu

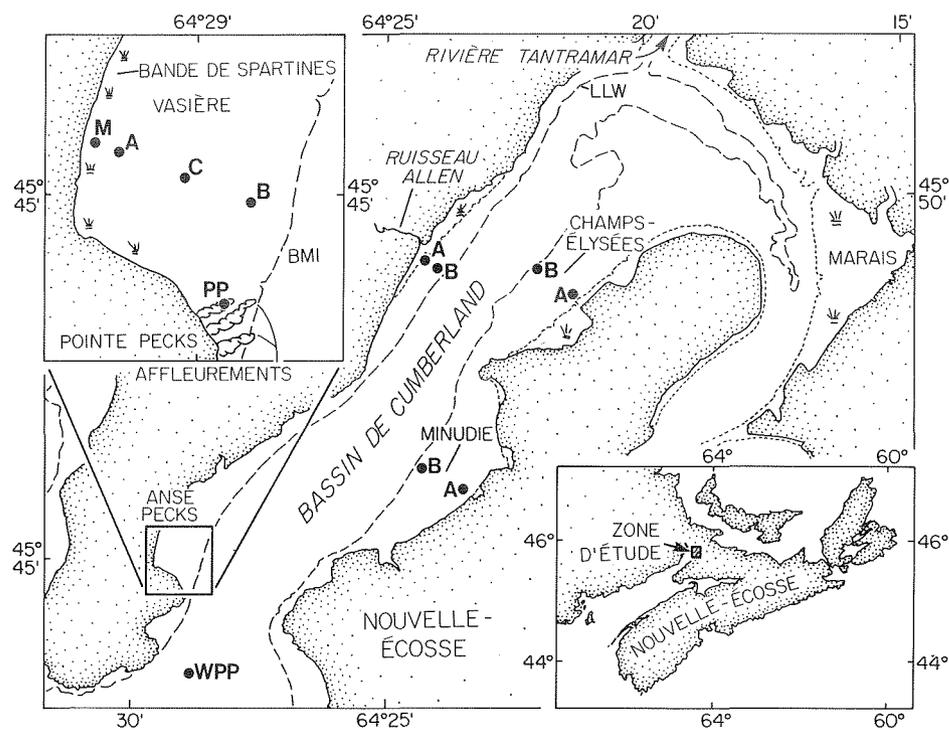
profondes qui recouvrent à marée haute la vasière de l'anse Pecks. En général, la productivité est limitée au mètre supérieur de la colonne d'eau à cause de la faible pénétration de la lumière mais, à l'échelle de l'année, elle correspond à 10 % environ de la productivité des algues benthiques pour une zone donnée de la vasière de l'anse Pecks (Hargrave et coll., 1982). L'importance relative de la productivité du phytoplancton augmente en eau plus profonde à mesure que l'on s'éloigne des vasières, que la turbidité diminue et que la pénétration de la lumière augmente. Les nutriments inorganiques abondent en toute saison dans les eaux du bassin de Cumberland, et l'éclairement et la température constituent donc les principaux facteurs limitants de la productivité des algues unicellulaires.

Nous n'avons pas étudié la productivité des algues pluricellulaires. Malgré la superficie de la zone intertidale, les substrats rocheux y sont peu abondants, et les grandes algues qui y sont présentes semblent ne contribuer que de façon très marginale à la production de matières organiques dans l'écosystème du bassin de Cumberland.

Lorsque le projet a été lancé, on ne considérait pas les grands marais du bassin de Cumberland comme une source importante de nourriture pour les animaux vivant sur les vasières et dans la colonne d'eau parce que des recherches récentes menées

ailleurs tendaient à montrer que les marais salés exportent très peu de leur production. Il devint toutefois vite apparent que les débris provenant des marais salés abondaient dans le bassin et que certaines zones marécageuses avaient perdu la plus grande partie de leur production annuelle à la fin de l'automne. Le Laboratoire a donc entrepris une étude de la production et de son exportation dans huit marais salés situés sur le pourtour du bassin de Cumberland. Les sites étudiés ont été visités chaque mois pendant plus d'un an, et on a noté les modifications de la quantité de matière vivante et morte, ainsi que l'altitude et les espèces végétales dominantes.

Il existe dans la région deux types généraux de marais salés. Le marais élevé, qui se trouve au-dessus de la laisse moyenne de haute mer, est inondé seulement quelques jours par mois au moment des marées de vive eau. L'espèce dominante y est la spartine étalée (*Spartina patens*). Le marais bas, qui se trouve au-dessous de la laisse moyenne de haute mer, est pratiquement recouvert à chaque marée haute. Il se compose exclusivement de spartine alterniflore (*Spartina alterniflora*). Une bonne partie des marais élevés qui existaient à l'arrivée des premiers colons acadiens, au XVII^e siècle, a été endiguée, et la superficie actuelle des marais élevés et des marais bas d'origine naturelle est à peu près égale. Tout comme les algues unicellulaires des vasières, la plupart des plantes



Principales caractéristiques du bassin de Cumberland et des sites étudiés sur les vasières.

de marais croissent pendant la période de six mois qui s'étend d'avril à septembre et où les radiations solaires et la température atteignent un maximum. Pour une région donnée, les marais bas sont plus productifs que les marais élevés, mais tous deux sont plus productifs que les algues des vasières. La productivité des marais bas est en relation étroite avec l'altitude et la fréquence de leur inondation; leur productivité est maximale au point le plus élevé, c'est-à-dire juste au-dessous de la laisse moyenne de haute mer. Par contre, la productivité est au minimum dans les zones les plus basses. L'exportation de la production est aussi fonction de l'altitude et de la fréquence de l'inondation, mais de manière inverse. La plus grande partie de la production annuelle des marais bas disparaît dans l'année à cause de l'action de l'eau et de la glace, alors que la plus grande partie de la production des marais élevés semble se décomposer sur place.

Si l'on considère l'ensemble du bassin de Cumberland, les estimations montrent que la productivité totale des marais est légèrement inférieure à celle des algues des vasières. Étant donné que la plus grande partie de la production des marais bas est exportée, il est évident que les marais salés jouent un rôle important dans la nutrition de organismes marins de la région. A la différence des algues des vasières et du phytoplancton, qui sont consommés directement par les animaux brouteurs, l'herbe des marais (spartines) se décompose en éléments solubles et solides avant d'être utilisée, et les micro-organismes jouent un rôle important car ils augmentent sa sapidité.

Nous avons tenté de déterminer l'importance relative de la matière organique produite par les algues unicellulaires des vasières et l'herbe des marais salés de l'écosystème de la vasière de l'anse Pecks en fonction des rapports d'isotopes stables du carbone (Schwinghamer et coll., 1982). Nous n'avons malheureusement pas pu différencier les deux matériaux étudiés en fonction de ces rapports, et il a été impossible de déterminer l'apport respectif de carbone de chacun. Les organismes dominants de la vasière présentaient tous des rapports très semblables à ceux des algues et des spartines à l'état frais, ce qui signale ces deux groupes comme des sources importantes de nourriture. On a observé dans les spartines mortes qu'il se produit au cours du processus de décomposition une altération isotopique dont le

mécanisme n'a pas encore été complètement élucidé. Les bactéries et l'herbe des marais dans un état de décomposition avancée semblent constituer des sources de nourriture relativement mineures dans l'écosystème de la vasière.

D'autres projets réalisés en collaboration pendant la même période dans la région du bassin de Cumberland, souvent par d'autres laboratoires du gouvernement et par des universités, ont porté sur les animaux qui vivent sur et dans les vasières et les marais salés (Hicklin et coll., 1980), le zooplancton (Daborn et coll., 1982), les poissons (Dadswell et coll., 1982) ainsi que les oiseaux de rivage migrants. Tous les résultats montrent que la région n'est pas le désert biologique que l'on croyait mais au contraire qu'elle fait vivre un écosystème diversifié et modérément productif. La base de cet écosystème est constituée par la matière organique produite principalement par les algues unicellulaires des vasières et par les marais salés les plus bas. La productivité de ces deux types végétaux est intimement liée au mouvement biquotidien de la marée, processus naturel qui serait entravé par la construction d'une usine marémotrice. Si un tel projet est mis en oeuvre, les données écologiques recueillies par le LEM joueront un rôle essentiel dans la prévision de ses incidences sur l'environnement (Gordon et Longhurst, 1979).

Références

- DABORN, G.R., BRYLINSKY, M., GILMURRAY, C.M. STRONG, K.W., BROWN, G.S., and PENNACHETTI, C. 1982. Occurrence, movements and role of zooplankton in the upper reaches of the Bay of Fundy. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*.
- DADSWELL, M.J., MELVIN, G.D., and WILLIAMS, P.J. 1982. Effects of turbidity on the temporal and spatial utilization of the inner Bay of Fundy by American shad (*Alosa sapidissima*, Pisces: Clupeidae) and its relationship to local fisheries. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*.
- GORDON, D.C., JR., and LONGHURST, A.R. 1979. The environmental aspects of a tidal power project in the upper reaches of the Bay of Fundy. *Marine Pollution Bulletin* 10: 38-45.
- HARGRAVE, B.T., PROUSE, N.J., PHILLIPS, G.A., and NEAME, P.A. 1982. Primary production and respiration in pelagic and benthic communities at two intertidal sites in the upper Bay of Fundy. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*.
- HICKLIN, P.W., LINKLETTER, L.E., and PEER, D.L. 1980. Distribution and abundance of *Corophium volutator* (Pallas), *Macoma balthica* (L) and *Heteromastus filiformis* (Clarapede) in the intertidal zone of Cumberland Basin and Shepody Bay, Bay of Fundy. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 965.

SCHWINGHAMER, P., TAN, F.C., and GORDON, D.C., JR. 1982. Stable carbon isotope studies of the Pecks Cove mudflat ecosystem in the Cumberland Basin, Bay of Fundy. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*.

Sciences de la Terre Au Large

Il y a 200 millions d'années, l'est du Canada, constituant en un sens le centre du monde connu, était localisé de façon stratégique au coeur du supercontinent de la Pangée. La phase la plus récente des grandes migrations des continents commença environ à cette époque, et l'un des effets de cette réorganisation fut la formation de l'océan Atlantique. Les continents qui entourent aujourd'hui l'Atlantique furent séparés par les processus d'écartement et de dérive, ainsi que par la formation de fonds marins nouveaux aux crêtes médio-océaniques. Nous habitons sur l'une des nouvelles marges des anciens continents; des marges de ce type sont appelées "passives" parce que, pratiquement depuis leur naissance, elles n'ont pas été fortement impliquées dans les processus très actifs de collision, d'orogénèse et de volcanisme qui ont touché des marges continentales comme celles de l'ouest des Amériques du Nord et du Sud. Étant donné que les marges de l'Atlantique ont été relativement passives pendant une grande partie de leur histoire, par rapport aux marges actives, l'histoire de l'océan Atlantique et des océans avec lesquels il communique s'est relativement bien conservée dans le "coin" des sédiments accumulés aux marges et dans les sédiments formés sur la nouvelle croûte du bassin de l'océan Atlantique. De plus, les mouvements verticaux se sont inscrits dans le coin de sédiments; ces mouvements dépendent à la fois des charges différentes imposées à la surface de la terre et des propriétés physiques variables de la partie externe de la terre. L'information fournie par le coin de sédiments établit donc des contraintes pour les modèles physiques du processus d'écartement et de la subsidence qui a suivi sur les marges continentales. Évidemment, bien que la distinction entre marges "actives" et "passives" soit claire en théorie, on ne doit pas en déduire que rien ne se passe sur les marges passives.

L'empreinte géologique d'une marge étalée telle que la nôtre témoigne des interactions complexes de la paléogé-

graphie, des paléoclimats, de la fertilité et du développement du biote, de la sédimentation, de la circulation océanique et de la tectonique, de même que de plusieurs autres domaines intéressants qui restent à étudier; par exemple, la relation entre le changement du niveau de la mer, la circulation, le développement de crêtes médio-océaniques et des lacunes dans les empreintes sédimentaires. Toutes les recherches de ce genre doivent se fonder sur la meilleure échelle géologique possible. Les sections qui suivent illustrent ces différents points.

Les divers aspects de l'histoire du développement de l'océan Atlantique et de ses marges sont décrits dans cinq sections. Jansa fait le point sur l'histoire primitive de ce nouvel océan et sur des travaux récents touchant non seulement à la nature océanographique de l'océan mais également à la localisation de la limite entre la croûte continentale et la nouvelle croûte océanique sur les marges. C.E. Keen décrit des tentatives récentes de modélisation du développement des marges, puis elle prédit des propriétés confirmées par l'observation, par exemple la forme des bassins sédimentaires du large et l'histoire thermique des marges, à partir d'observations élémentaires sur la croûte. Cette étude, comme celle de Jansa, dépend de la valeur des travaux stratigraphiques, de l'échelle de temps fournie par le coin sédimentaire et de bonnes corrélations d'un puits de pétrole à l'autre. Gradstein et

son collègue Agterberg ont élaboré une méthode statistique de corrélation et de détermination des événements en fonction du temps qui fait passer la biostratigraphie du domaine qualitatif au domaine quantitatif.

Jansa fait mention des premières sources de matière organique et C.E. Keen essaie de prédire leur maturation, c'est-à-dire le champ, dans un diagramme temps-température, où les roches-mères seront productrices de pétrole ou de gaz. Bujak décrit une nouvelle méthode d'observation de cette maturation dans les palynomorphes qui se fonde sur l'observation d'une fluorescence secondaire pouvant être causée par un réchauffement prolongé. Il est le premier à dire que cette méthode n'est pas encore fondée sur des bases solides.

Dans les prochaines années, les hydrocarbures seront exploités au large de la côte est du Canada; tout d'abord sur la plate-forme, et peut-être plus tard sur le talus. Parmi les problèmes géologiques de l'exploitation pétrolière, citons les séismes, tel celui qui a eu lieu en 1929 au sud des Grands Bancs. Il se produisit sur la pente au-dessus du cône Laurentien, formé dans les derniers stades du développement de l'océan Atlantique, véritable dépotoir pour les débris venant des continents. Piper décrit les récentes études de ce cône, qui est l'une des formations morphologiques les plus importantes de notre marge.

L'Atlantique nord primitif

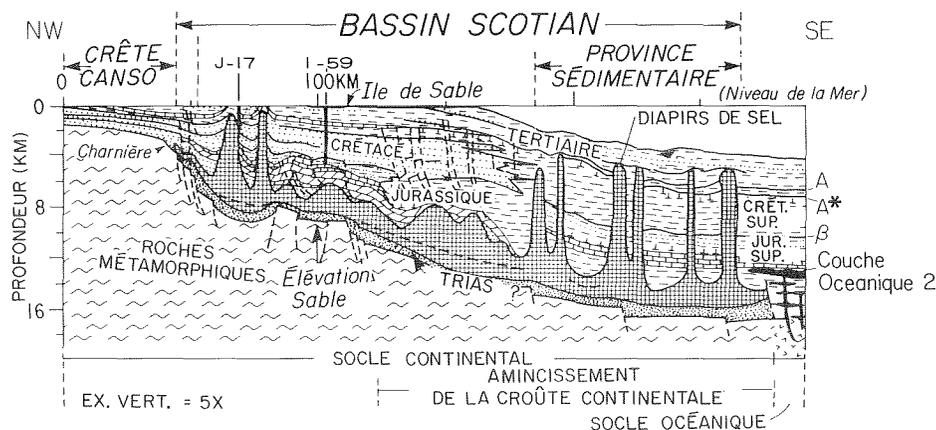
L.F. Jansa

Bien que l'exploration de l'océan Atlantique ait progressé sensiblement depuis quinze ans, surtout grâce au programme de forage en eau profonde, de nombreuses questions d'océanographie et de géologie demeurent sans réponse, l'histoire de l'océan a été interprétée de diverses façons.

On ne connaît pas encore très bien le

moment où les continents entourant l'Atlantique nord commencèrent à dériver, car on n'a pas encore foré la croûte océanique primitive; les évaluations varient de 160 à 195 millions d'années (Hallam, 1971, 1977; Pitman et Talwani, 1972; Jansa et Wade, 1975; Klitgord et Behrendt, 1979; Schlee et coll., 1979). La

position exacte de la limite entre l'océan et le continent a fait l'objet de discussions. Certains croient que la remarquable anomalie magnétique qui se manifeste au large de la côte est de l'Amérique du Nord marque cette limite, mais d'autres affirment que la zone à faible gradient magnétique, située à l'est de cette anomalie, correspond à une région de croûte continentale (Schlee et coll., 1979; Klitgord et Grow, 1980; Hallam, 1977). Des théories incompatibles sur l'origine des sédiments les plus anciens de l'Atlantique nord ont été avancées. On a repéré des évaporites dans des profils sismiques ou dans des puits d'exploration sur le glacis et la pente continentale au large de la Nouvelle-Écosse et dans des bassins sédimentaires au large du Maroc (Beck et Lehner, 1974; Jansa et Wade, 1975; Lancelot et Winterer, 1980). Jansa et Wade suggèrent que ces évaporites se sont accumulés à l'origine dans les eaux peu profondes de bassins tectoniques datant du Trias supérieur ou du Jurassique inférieur. Lancelot et Winterer croient cependant que celles qui se trouvent au large du Maroc furent déposées pendant une période de dessiccation de la croûte océanique du Jurassique moyen. A première vue tout au moins, des hypothèses aussi contradictoires ne permettent pas de tirer de conclusions sur le développement ancien de l'Atlantique nord.



Coupe schématique du bassin Scotian (ligne A de la figure suivante) représentant les principales caractéristiques stratigraphiques et tectoniques ainsi que la limite présumée de la croûte océanique et de la croûte continentale (Jansa et Wiedmann, 1982).

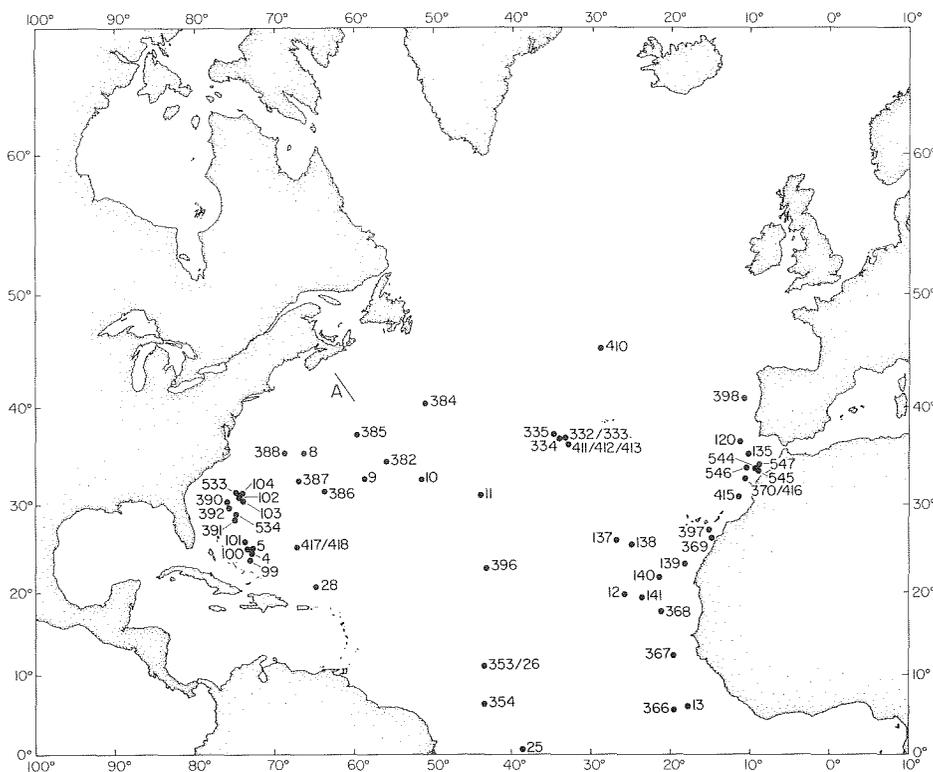
Deux sections (76 et 79) du programme de forage en eau profonde dans l'Atlantique nord viennent de s'achever, et nous avons utilisé les données ainsi recueillies (en particulier sur le site 534), pour apporter de nouveaux éléments aux questions qui nous intéressent.

Expansion des fonds océaniques et limites crustales

La limite côté terre de la croûte océanique a été délimitée de façon plus précise lors de la section 79 du programme de forage en eau profonde au large du Maroc (Hinz et coll., 1982b). Les trous de forage

ont été localisés, de façon planifiée, sur une série de structures qui semblaient être des diapirs de sel ou de schistes argileux, ou des blocs faillés de roches ignées ou métamorphiques. L'un des trous (site 544) pénétrait un gneiss, situé sous des formations rouges du Trias; un second trou, foré au large du premier (site 546), rencontrait des évaporites également recouvertes de formations rouges d'origine continentale. Ces résultats montrent que la limite entre la croûte océanique et la croûte continentale pourrait être située au-delà de la région dans laquelle le forage a révélé la présence de diapirs de sel; une localisation possible est la limite côté mer de la "province" de diapirs. On peut vérifier cette hypothèse en corrélant les limites entre les provinces de diapirs situées au large de la Nouvelle-Écosse et celles du large du Maroc; en effet, ces limites correspondent très bien (Hinz et coll., 1982b). L'interprétation suivante s'ensuit donc: les évaporites qui forment des champs de diapirs au large de ces deux régions furent déposées en un seul bassin, dans un environnement continental (présence des formations rouges, intercalées avec de la halite), et ce bassin se scinda au Jurassique ancien. La limite entre la croûte océanique et la croûte continentale doit donc être la bordure océanique de chaque champ de diapirs, mais il ne faut pas ignorer la possibilité d'un écoulement subséquent de sel qui masquerait évidemment cette limite.

La zone à faible gradient magnétique s'étend au large de la province de diapirs; elle doit donc couvrir une région de croûte océanique. C'est ce qu'ont révélé les carottes de la section 76 du programme de forage en eau profonde au large de la Floride (Sheridan et coll., sous presse). Un



Sites des travaux du programme de forage en eau profonde dans l'Atlantique nord. Les sites 533 et 534 ont été forés pendant la section 76; les sites 544 à 547 pendant la section 79.

trou a été foré au site 534 dans cette zone au-dessus de l'anomalie magnétique M-28 (Bryan et coll., 1980), anomalie dont l'âge n'est pas bien défini. Le trou a atteint des basaltes massifs caractéristiques de la croûte océanique, situés sous les sédiments les plus anciens trouvés à ce jour dans l'Atlantique nord et qui datent du Callovien moyen (soit environ 160 millions d'années) (Sheridan et coll., sous presse). Si cette date est raisonnable pour définir l'âge minimum de l'anomalie M-



Félix Gradstein, Lubomir Jansa et Jon Bujak.

28, il semblerait que l'expansion des fonds océaniques ait été deux fois plus rapide qu'on ne le pensait, et qu'elle ait commencé quelque 20 millions d'années plus tard qu'on ne l'avait cru.

Séries sédimentaires et régimes océanographiques de l'Atlantique primitif

Jusqu'à tout récemment, l'information sur les conditions océanographiques de l'Atlantique ne remontait qu'à environ 140 millions d'années. Un vide existait, dans le temps et dans l'espace, entre cette in-

Reconstitution des provinces diapiriques datant de la fin du Trias et du début du Jurassique qui se trouvent au large du nord-ouest de l'Afrique (Maroc) et de l'est de l'Amérique du Nord (Nouvelle-Écosse, Maine). La superficie de la province diapirique de la N-É. est représentée par des lignes verticales et celle du Maroc par des lignes horizontales. La limite des provinces a été déterminée à partir de levés géophysiques réalisés par *Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe* (d'après Hinz et coll., 1982).

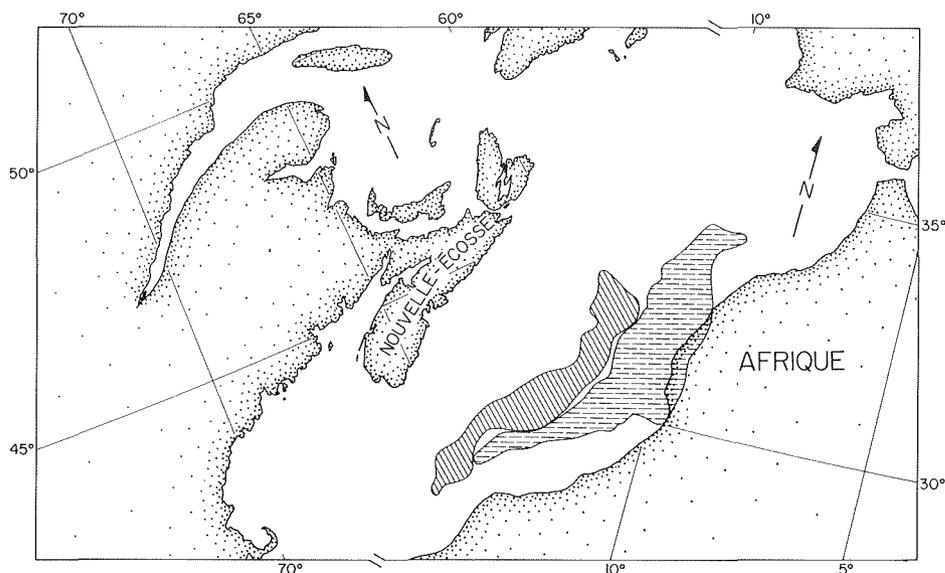
formation et les connaissances acquises grâce au forage d'exploration pétrolière sur les plates-formes, qui avait révélé la présence d'évaporites et de formations rouges datant de la fin du Trias ou du début du Jurassique (195 millions d'années).

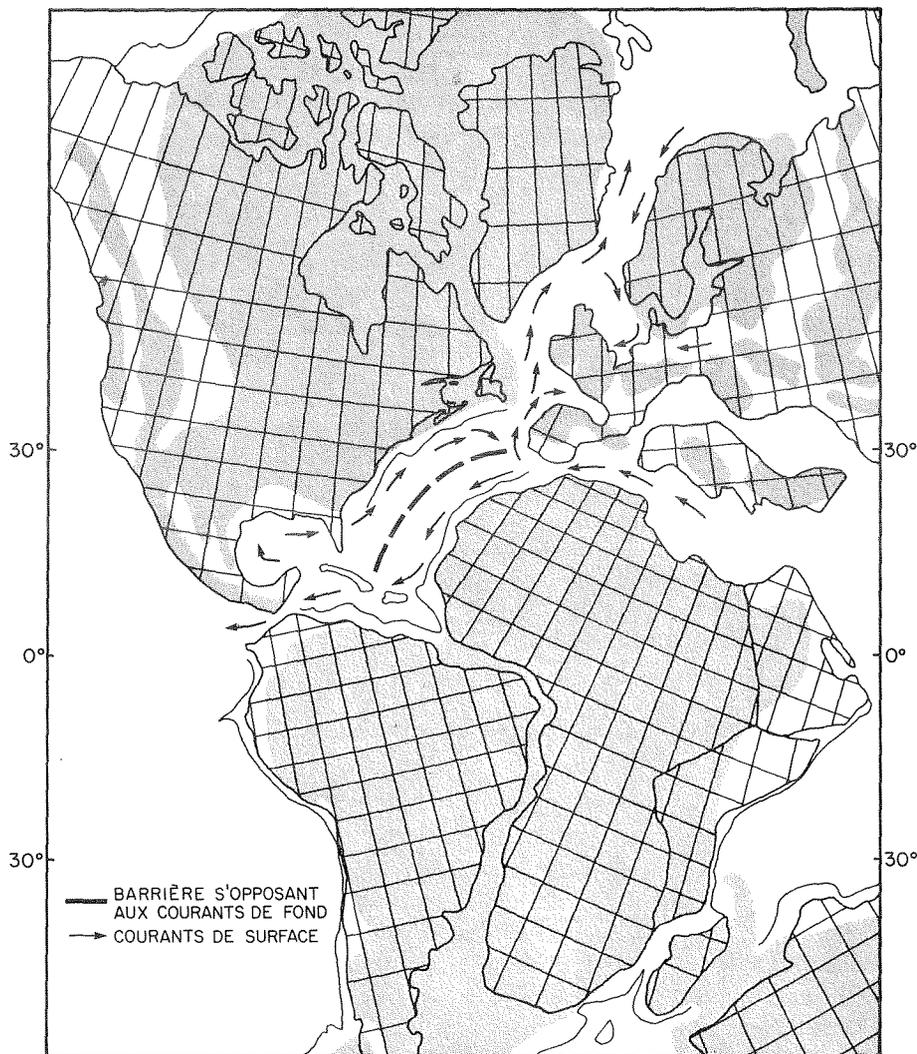
Pendant le Jurassique supérieur, il y a 140 millions d'années, l'Atlantique était encore relativement étroit et bien oxygéné, mais la circulation de fond y était faible. Le climat était chaud, plutôt sec et favorable à l'accumulation de carbonates sur les plates-formes et dans les bassins océaniques profonds. L'Atlantique communiquait avec la Téthys, cette mer ancienne à laquelle a succédé la Méditerranée, et le même type de sédiment s'accumulait dans l'Atlantique nord et dans l'ouest de la Téthys; c'est ce qu'on appelle les faciès "Rosso e Aptici" et Ammonitico Rosso (à cause de leur couleur et de la présence d'aptychus d'ammonites) et Maiolica. On les retrouve sur le continent en Grèce, en Italie et en Espagne (Bernoulli, 1972; Jansa et coll., 1978; Jansa et coll., 1979).

Les sections 76 et 79 du programme ont permis d'approfondir notablement nos connaissances. Les dépôts du Callovien (163 millions d'années) découverts au cours de la section 76 au-dessus de basaltes océaniques sont des argiles indurées brunes et vert-noir riches en radiolaires et des calcaires accumulés (Sheridan et coll., sous presse). Les couleurs reflètent probablement les environnements originaux; s'il en est ainsi, elles révèlent des conditions d'oxydation et de réduction en alternance, pendant le Jurassique moyen, puis des conditions de plus en plus oxydantes au Jurassique su-

périeur. L'alternance de sédiments oxydés et réduits est la conséquence d'un équilibre fragile, dans l'océan jurassique, entre l'apport de sédiments organiques terrigènes, (présence peut-être périodique d'un climat humide), et un appauvrissement en oxygène, reflet d'une faible circulation de fond. La seule autre indication des conditions océanographiques qui régnaient dans le bassin Atlantique ancien provient de la section 79, réalisée au large du Maroc. Au site 547, on a trouvé une série presque complète de sédiments du Jurassique, reposant sur des formations rouges du Trias (Hinz et coll., 1982b). Ces sédiments, qui datent du Jurassique inférieur et peut-être du Jurassique moyen, sont essentiellement des pélites sableuses gris foncé. Selon une interprétation, ces sédiments pourraient également refléter la présence d'eaux de fond moins oxygénées, comme on l'a déterminé pour le Callovien dans le bassin Blake-Bahama.

Cependant, il se peut que les eaux de surface, à ce moment-là, aient présenté une salinité normale, une forte teneur en nutriments et une circulation due au vent. La preuve en est que les calcaires du Jurassique inférieur provenant du site 547 contiennent une faune riche en radiolaires et un nannoplancton moins bien conservé. Cela est également caractéristique des sédiments déposés en eaux profondes dans la Téthys, et indique qu'il pourrait y avoir eu, contrairement aux suggestions d'Ager, 1974; Lancelot et Winterer, 1980; et Seibold, 1982, un écoulement sans restriction entre la Téthys et l'Atlantique nord ancien, commençant il y a 185 millions d'années.





Conclusion

L'expansion des fonds océaniques commença il y a 160 à 175 millions d'années, et la limite entre la croûte océanique et la croûte continentale semble se trouver à la bordure extérieure, côté mer, des provinces de diapirs de sel situées sur les marges. La zone à faible gradient magnétique se trouve, au moins en partie, sur de la croûte océanique.

Nous pouvons formuler une hypothèse de travail sur les conditions océanographiques de l'Atlantique nord primitif. Pendant la fin du Trias et le début du Jurassique (pré-Sinemurien), l'Atlantique nord central était un site d'accumulation d'évaporites. Les sels précipitaient dans un bassin que remplissait la Téthys pour former un fossé tectonique central; l'eau y était probablement peu profonde. Pendant le Sinémurien, il y a 185 millions d'années, à la suite d'une transgression étendue (Vail et coll., 1977), des conditions marines normales s'établirent rapidement. Pendant le Jurassique inférieur et moyen,

la circulation était lente à cause des faibles contrastes de température en latitude, et les eaux de fond de l'Atlantique nord se trouvaient de ce fait pauvrement oxygénées. A cette époque, le bassin était relativement étroit, et mesurait 350 km de largeur.

Pendant cette période, l'existence au fond de l'océan de conditions réductrices a favorisé la conservation de matières organiques dans les lits de schistes argileux. La teneur en carbone organique de certains de ces lits atteignait 7 % au large du Maroc (Hinz et coll., 1982b). Les sédiments du Jurassique inférieur, sous-jacents aux portions extérieures des marges continentales, pourraient donc être des sources futures de production d'hydrocarbures.

Références

AGER, D.V. 1974. The western High Atlas of Morocco and its significance in the history of the North Atlantic. *Proceedings of the Geological Association* 85: 23-41.
BARRON, E.J., HARRISON, C.A., SLOAN, J.L.,

II, and HAY, W.W. 1981. Paleogeography, 180 million years ago to present. *Eclogae geol. Helv.* 74/2: 443-470.
BECK, R.H., and LEHNER, P. 1974. Oceans; new frontier in exploration. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 58: 376-395.
BERNOULLI, D. 1972. North Atlantic and Mediterranean Mesozoic facies: a comparison. *In Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, eds. C.D. Hollister, J.I. Ewing, et al. United States Government Printing Office 11: 801-872.
BRYAN, G.M., MARKL, R.G., and SHERIDAN, R.E. 1980. IPOD surveys in the Blake-Bahama Basin. *Marine Geology* 35: 43-63.
HALLAM, A. 1971. Mesozoic geology and the opening of the North Atlantic. *Journal of Geology* 79: 129-157.
HALLAM, A. 1977. Biogeographic evidence bearing on the opening of the Atlantic seaway in the Jurassic. *In Proceedings of a Symposium: Paleontology and Plate Tectonics*, Ed. R.M. West. Milwaukee Public Museum, *Special Publications in Biology and Geology* 2: 23-24.
HINZ, K., DOSTMANN, H., and FRITSCH, J. 1982a. The continental margin of Morocco: seismic sequences, structural elements and geologic development. *In Geology of the Northwest African Continental Margin*, eds. U. von Rad, K. Hinz, M. Sarnthein, and E. Seibold. Springer Verlag Publishers, Berlin: 34-60.
HINZ, K., WINTERER, E.L., BAUMGARTNER, P.O., BRADSHAW, M.J., CHANNEL, J.E.T., JEFFREZO, M., JANSÁ, L.F., LECKIE, R.M., MOORE, J.N., RULLKÖTTER, J., SCHAFFENAR, C., STEIGER, T.H., VUCHEV, V., AND WIEGAND, G.E. 1982b. Preliminary results from DSDP Leg 79 seaward of the Magazan Plateau off central Morocco. *In Geology of the Northwest African Continental Margin*, eds. U. von Rad, K. Hinz, M. Sarnthein, and E. Seibold. Springer-Verlag Publishers, Berlin: 23-33.
JANSÁ, L.F., GARDNER, J.V., and DEAN, W.E. 1978. Mesozoic sequences of the central North Atlantic. *In Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, eds. Y. Lancelot, E. Seibold, et al. United States Government Printing Office 41: 991-1031.
JANSÁ, L.F. and WADE, J.A. 1975. Paleogeography and sedimentation in the Mesozoic and Cenozoic, southeastern Canada. *In Canada's continental margins and offshore petroleum exploration*, eds. C.J. Yorath, E.R. Parker and D.J. Glass. *Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir* 4: 79-102.
JANSÁ, L.F. and WIEDMANN, J. 1982. Mesozoic-Cenozoic development of the eastern North American and Northwest African continental margins: A comparison. *In Geology of the Northwest African Continental Margin*, Eds. U. Von Rad et al. Berlin; Springer-Verlag: 215-269.
KILTGORD, K.D. and BEHRENDT, J.C. 1979. Basin structure of the U.S. Atlantic margin. *In*

Geological and Geophysical Investigations of Continental Margins, eds. J.S. Watkins, L. Montadert, and P.W. Dickerson. *American Association of Petroleum Geologists Memoir 29*: 85-112.

KILTGOR, K.D. and GROW, J.A. 1980. The Jurassic seismic stratigraphy and basement structure of the western Atlantic magnetic quiet zone. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin 64*: 1658-1680.

LANCELOT, Y. and WINTERER, E.L. 1980. Evolution of the Moroccan oceanic basin and adjacent continental margin - A synthesis. In Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, eds. E.L. Winterer, et al. United States Government Printing Office 50 801-821.

PITMAN, W.C., III, and TALWANI, M. 1972. Sea-floor spreading in the North Atlantic. *Geological Society of America Bulletin 83*: 619-646.

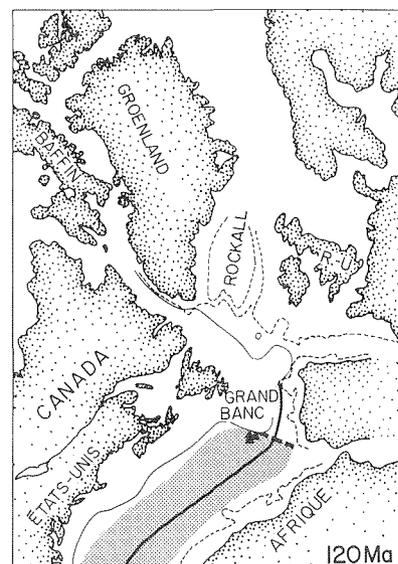
SCHLEE, J.S., DILLON, W.P., and GROW, J.A. 1979. Structure of the continental slope off the eastern United States. In *Geology of Continental Slopes*, eds. L.J. Doyle and O.H. Pilkey. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication 27*: 95-118.

lication 27: 95-118.

SEIBOLD, E. 1982. The Northwest African continental margin - An introduction. In *Geology of the Northwest African continental margin*, eds. U. von Rad, K. Hinz, M. Sarnthein, and E. Seibold. Springer-Verlag Publishers, Berlin: 3-22.

SHERIDAN, R.E., GRADSTEIN, F., BARNARD, L.A., BLIEFNICK, D.M., HABIB, D., JENDEN, P.D., KAGAMI, H., KEENAN, E.M., KOSTECKI, J.A., KVENVOLDEN, K.A., MOULLADE, M., OGG, J., ROBERTSON, A.H.F., ROTH, P.H., SHIPLEY, T.H., and WELLS, L. In press. Early history of the Atlantic ocean and gas hydrates in the Blake Outer Ridge - results of the Deep Sea Drilling Project. *Geontinental margin*, eds. U. von Rad, K. Hinz, M. Sarnthein, and E. Seibold. Springer-Verlag Publishers, Berlin: 3-22.

SHERIDAN, R.E., GRADSTEIN, F., BARNARD, L.A., BLIEFNICK, D.M., HABIB, D., JENDEN, L. In *Seismic Stratigraphy - Application to Hydrocarbon Exploration*, ed. C.E. Payton. *American Association of Petroleum Geologists Memoir 26*: 83-97.



Au large de la côte est du Canada: de la tectoniques des plaques aux hydrocarbures

C.E. Keen

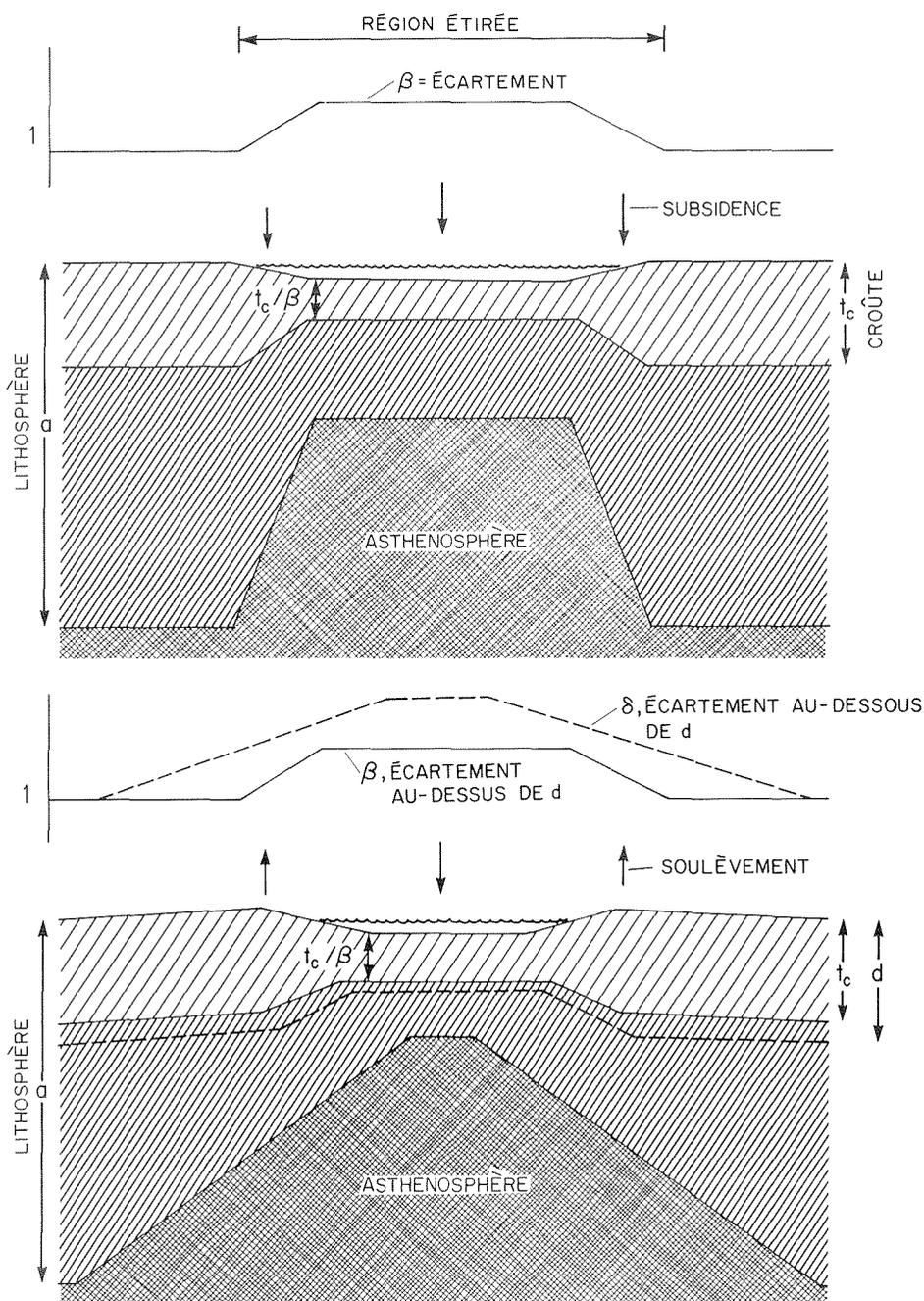
Les marges continentales dites passives qui se trouvent au large de l'est du Canada ont en fait une histoire géologique active. Cette histoire commence il y a environ 200 millions d'années, lorsque le supercontinent de la Pangée se fragmente pour former le bassin de l'océan Atlantique et ses ramifications vers l'Arctique. Le morcellement de la Pangée comprend diverses phases de séparation de plaques tectoniques qui produisent les marges de l'est du Canada (Keen et Hyndman, 1979). Il y a environ 200 millions d'années, les mouvements de la plaque Afrique-Amérique du Nord commencent à créer une marge continentale au large de la Nouvelle-Écosse et au sud des Grands Bancs. Il y a environ 120 millions d'années, l'Ibérie (Espagne et Portugal) se sépare de la partie est des Grands Bancs. Finalement, il y a 80 millions d'années, la région située à l'ouest de la Grande-Bretagne s'éloigne du nord-est de la plate-forme de Terre-Neuve, et le Groenland se sépare du Labrador et de l'île Baffin. La formation des marges de l'est du Canada est donc le produit de dérives complexes qui s'échelonnent sur environ 120 millions d'années. Ces épisodes de dérive produisirent des marges de plus en plus jeunes à mesure que l'on va vers le nord et ils créèrent des types de structures

assez différents pour chaque segment. Certaines de ces différences semblent être liées au sens du déplacement relatif entre les continents qui se séparent, à la nature de la croûte des plaques qui s'écartent et à la période nécessaire avant que la séparation continentale ne soit complète. Par exemple, les différences dues à la direction sont évidentes dans le cas de la marge de la Nouvelle-Écosse, formée par écartement; elles sont le résultat de mouvements de plaques à peu près perpendiculaires à la marge, alors que la marge cisailée du sud des Grands Bancs a été produite par le glissement des continents l'un par rapport à l'autre.

Pour comprendre l'évolution des marges, il faut connaître les mouvements tectoniques des plaques qui les produisent. Cependant, la tectonique des plaques n'explique qu'une partie de l'histoire; la connaissance des mouvements qui ont créé les marges n'explique pas la nature des processus physiques qui étaient actifs pendant leur création. Afin de comprendre l'évolution géologique des marges, nous devons trouver d'autres indices.

Les données concernant les marges de l'est du Canada sont parmi les meilleures du monde, ce qui les rend particulièrement appropriées à de telles investiga-

Mouvements des plaques qui ont causé la formation des marges continentales de l'Est du Canada. Les lignes continues épaisses représentent les dorsales médio-océaniques, la zone ombrée la nouvelle croûte océanique. Les trois volets représentent les trois phases tectoniques décrites dans le texte.



◀ Illustration du processus d'écartement. Dans le schéma du haut, l'ensemble de la lithosphère se distend et s'amincit d'une quantité β . L'épaisseur initiale de la croûte (t_c) diminue et devient t_c/β . L'asthénosphère chaude s'élève dans la région où la croûte s'amincit, ce qui provoque un échauffement de la lithosphère. Selon le modèle, l'écartement provoquerait une subsidence indiquée par les flèches.

Le schéma du bas illustre le cas où l'écartement n'est pas constant dans l'ensemble de la lithosphère. La partie supérieure de la lithosphère subit un écartement β et sa partie inférieure un écartement δ . Il se produit un soulèvement, indiqué par des flèches.

Le processus de distension entraîne l'amincissement et le réchauffement de la lithosphère, tandis que du matériel chaud venant de l'asthénosphère s'élève sous les régions plus minces. Des changements de l'altitude du socle se manifesteront pendant l'écartement à cause des effets combinés de l'expansion thermique de la lithosphère, qui entraîne un soulèvement, et du remplacement de matériel crustal léger et aminci par du matériel plus dense provenant du manteau, ce qui entraîne la subsidence. Le résultat net peut être le soulèvement ou la subsidence, selon les particularités du processus d'étirement. Lorsque la séparation continentale est achevée, la distension cesse et la lithosphère se refroidit et s'épaissit pour atteindre son état d'équilibre thermique. Sous l'effet de la contraction thermique, la marge s'affaisse et une dépression est créée dans laquelle les sédiments peuvent s'accumuler. Le poids des sédiments entraîne à nouveau une subsidence, en fonction de la force mécanique ou la rigidité de la lithosphère. La rigidité augmente à mesure que la marge se refroidit; une marge jeune et chaude est moins rigide qu'une marge vieille et froide.

Tous les facteurs décrits dans le paragraphe précédent sont incorporés dans un modèle mathématique qui permet de calculer l'évolution de la marge (Keen et coll., 1981). Deux types de données sont nécessaires à la modélisation: le degré de distension pendant l'écartement et l'apport de sédiments avec le temps. Le degré de distension est déterminé à partir de l'épaisseur des roches crustales cristallines, sous-jacentes aux sédiments, qui se sont amincies lors de la distension. L'épaisseur de la croûte se mesure par des études de réfraction sismique crustale. En général, la distension varie d'un point à

tions. Il s'agit d'échantillons relevés dans des puits d'exploration profonds pour déterminer les propriétés stratigraphiques et géochimiques des sédiments; de données de sismique réflexion permettant de délimiter l'épaisseur et les caractéristiques structurales des strates sédimentaires à une échelle régionale; de mesures sismiques de la structure crustale profonde de la marge; de mesures des anomalies gravimétriques; enfin, d'observations sur les anomalies magnétiques. Il importe de bien utiliser ces données exceptionnelles pour déterminer ce qui s'est produit pendant l'écartement des continents et l'évolution des marges qui l'a suivi.

Une façon d'entamer cette tâche est de

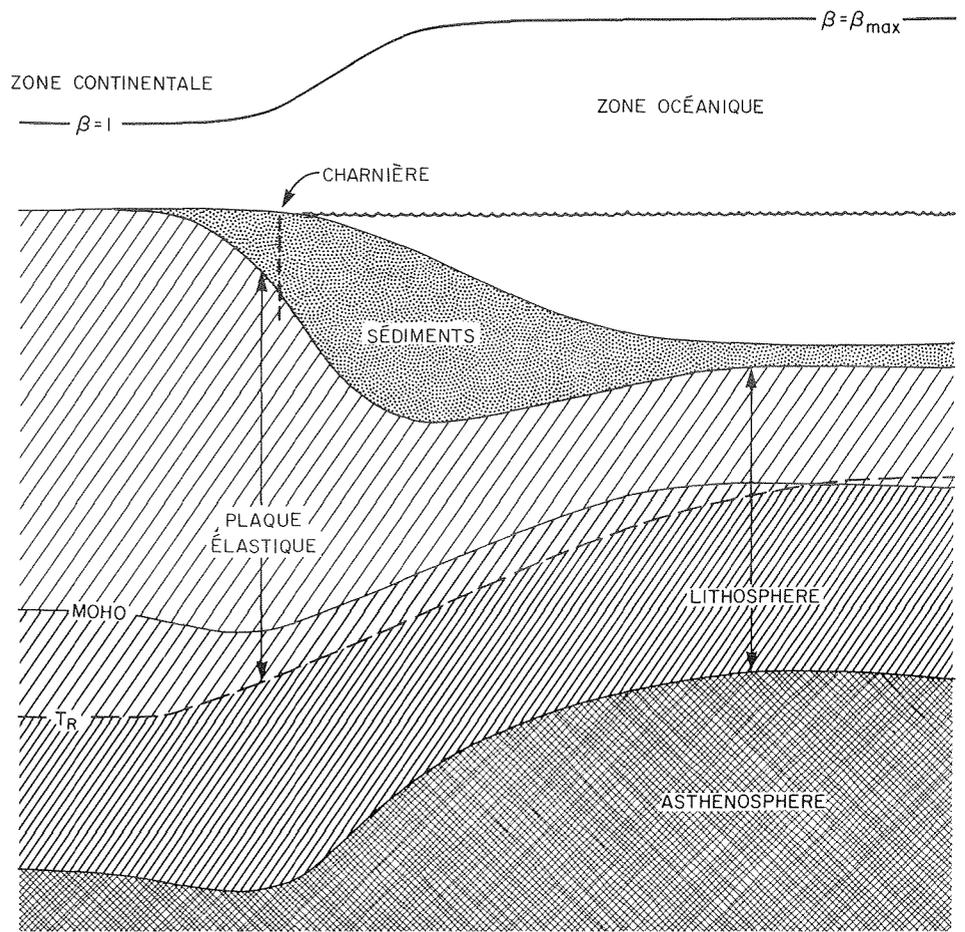
construire des modèles théoriques qui prédisent un certain nombre de paramètres qu'on peut ensuite comparer directement avec les observations. Si les prévisions et les observations ne concordent pas bien, le modèle doit être modifié ou rejeté. C'est ce type de modèle que Chris Beaumont, de l'Université Dalhousie, et moi-même avons mis au point. D'autres chercheurs se consacrent à des travaux semblables en Grande-Bretagne, en France et aux États-Unis. Les modèles qui concordent le mieux avec les observations sont simples sur le plan conceptuel. Ils mettent en jeu la distension de la lithosphère pendant l'écartement des continents (McKenzie, 1978).

Représentation schématique de la marge continentale à un moment de son évolution après l'écartement des continents. La courbe du haut montre la variation du degré de distension en travers de la marge. La lithosphère (et la croûte) se sont amincies pendant l'écartement, mais la lithosphère a suffisamment refroidi depuis pour permettre l'accumulation des sédiments. La charge de sédiments provoque aussi une subsidence, qui dépend de la rigidité de la lithosphère. On fait entrer dans le modèle ces propriétés mécaniques de la lithosphère en admettant que la couche de sédiments est soutenue par une plaque élastique dont l'épaisseur et la rigidité varient avec la température.

l'autre de la marge et s'accroît du côté du bassin océanique. L'apport de sédiments est déterminé par des études biostratigraphiques (Barss et coll., 1979) et par des mesures de sismique réflexion. On définit ensuite l'évolution de la marge du moment de l'écartement jusqu'à aujourd'hui en calculant le refroidissement de la lithosphère, la subsidence causée par le refroidissement et le poids des sédiments accumulés.

Les modèles permettent de calculer la subsidence totale de la marge, y compris la profondeur de l'eau, les taux de subsidence à divers moments, la forme du bassin sédimentaire de la marge, les anomalies gravimétriques en divers points de la marge et les paléotempératures des sédiments et des roches du socle. Tous ces facteurs, sauf le dernier, peuvent être comparés directement à des données d'observation, ce qui permet de vérifier la validité du modèle. Les paléotempératures sont significatives parce que la température et le temps déterminent la maturation thermique de la matière organique. Elles peuvent servir à apprécier le potentiel en hydrocarbures des sédiments; une section suivante, rédigée par Bujak et Davies, revient sur cette question.

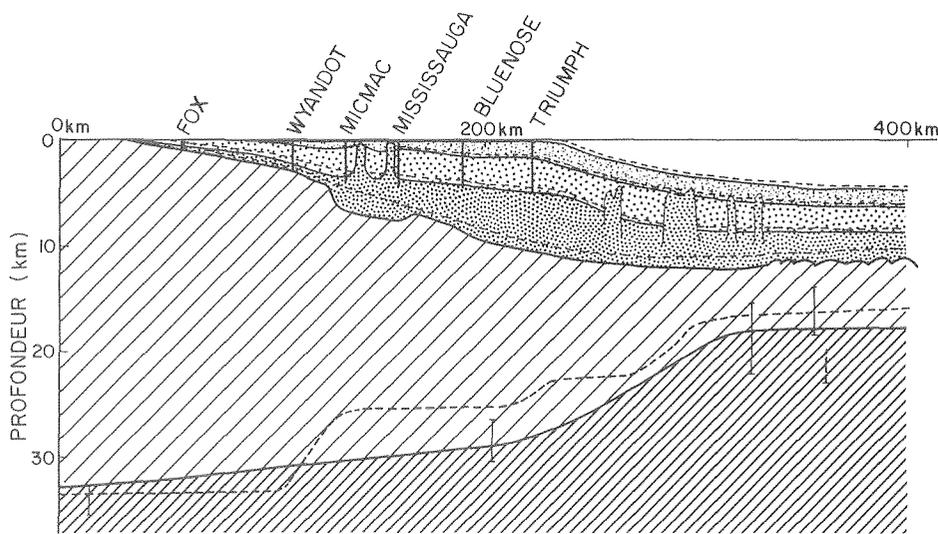
Pour quoi ce type de modèle est-il particulièrement utile dans l'étude de l'évolution des marges? Il nous permet, tout d'abord, d'intégrer divers types de données en un modèle, au lieu d'étudier un ou deux paramètres isolément. Deuxièmement, les modèles permettent la prédiction de certaines facettes de l'histoire de la marge pour lesquelles il était difficile d'extrapoler. C'est le cas, par exemple, de la prédiction des paléotempératures. Troisièmement, les modèles sont quantitatifs: ils permettent d'atteindre un degré de précision dans la description de l'évolution des marges qui serait impossi-



ble à obtenir sans cadre mathématique. Ces caractéristiques sont très utiles lorsqu'il s'agit de confronter des hypothèses sur le comportement des marges aux données de l'observation.

Il existe de fortes preuves géologiques qui corroborent les modèles de distension. Sur les marges, là où les roches du socle ne sont pas profondément enfouies sous des sédiments, on a pu cartographier des failles normales sur des surfaces listriques. Leur géométrie indique que la distension y a atteint un facteur de 1,5 à 3 (Montadert et coll., 1979). Sur le plateau continental du Labrador, les données de sismique réflexion révèlent la surface supérieure de failles normales. Sur les Grands Bancs, la présence de grabens de direction nord-est, tel le sous-bassin Jeanne-d'Arc, résulte probablement des forces de distension associées à l'écartement (Grant, 1975). De plus, la croûte qui se trouve sous les sédiments s'amincit du côté du bassin océanique; d'une épaisseur de 35 km, typique du continent, elle passe à environ 15 km sous l'axe des bassins sédimentaires de la marge. Cet amincissement, par un facteur de 2 à 3, est difficile à expliquer, sauf par la distension. Finalement, les modèles sont compatibles

avec le développement de bassins sédimentaires épais sur les marges et avec la stratigraphie de ces bassins (Umpleby, 1979). Par exemple, les sédiments marins les plus anciens de la marge du Labrador datent du Crétacé supérieur, ce qui est conforme aux prédictions du modèle: la marge aurait commencé à se refroidir, à s'affaisser et à permettre ainsi aux sédiments marins de s'y accumuler immédiatement après la fin de l'écartement. L'historique de la tectonique des plaques semble montrer que l'écartement s'est manifesté au Crétacé supérieur, il y a environ 80 millions d'années. L'âge des sédiments marins les plus anciens coïncide donc avec le moment où le refroidissement aurait commencé, selon le modèle. De même, sur la marge de la Nouvelle-Écosse, les sédiments marins les plus anciens sont datés du Jurassique inférieur (180 millions d'années), ce qui est conforme au moment de séparation continentale et au début du refroidissement de cette marge (Jansa et Wade, 1975). Les modèles prédisent également que le taux de subsidence décroît avec le temps après l'écartement. La subsidence et la dépression où les sédiments peuvent s'accumuler connaîtraient donc un max-



◀ Coupe simplifiée de la marge de Nouvelle-Écosse avec comparaison des observations (traits continus) et des prédictions du modèle (traits interrompus). Les trois zones pointillées représentent les sédiments; la zone supérieure correspond à des sédiments tertiaires et postérieurs (0-60 Ma); la zone moyenne à des sédiments du Crétacé (60-135 Ma); la zone inférieure à des sédiments du Jurassique (135-180 Ma). La région hachurée située en dessous des sédiments correspond à une croûte cristalline posée sur le manteau. Six puits ont été projetés sur la coupe et ont servi à déterminer la stratigraphie. On remarquera que dans la partie externe du plateau et plus loin vers le large il n'y a pas d'échantillonnage direct des sédiments sismiques plus profonds. Leur épaisseur et leur âge ont été déterminés à partir des données sismiques. Le schéma montre l'amincissement de la croûte cristalline, d'après des expériences sismiques profondes, ainsi que les mesures de la profondeur jusqu'au manteau, avec des carres d'erreurs. Les diapirs de sel abondent dans la région, mais n'ont pas été inclus dans le modèle parce que leur période de constitution est inconnue. La comparaison des traits continus et des traits interrompus montre la concordance entre les résultats du modèle et les observations.

imum au début de l'histoire de la marge, ce que confirment les observations. Par exemple, sur la marge de la Nouvelle-Écosse, une épaisseur importante de sédiments du Jurassique (180 à 135 millions d'années) occupe le bassin, alors que des couches moins épaisses de sédiments plus jeunes s'y sont accumulées par la suite.

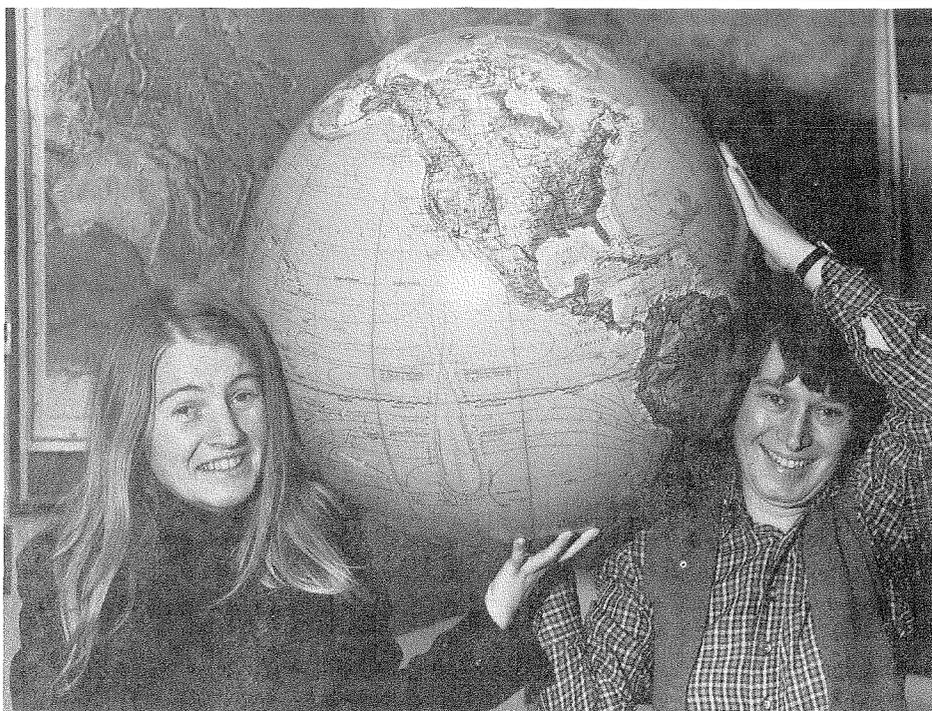
Le modèle a été appliqué avec succès aux marges de l'est du Canada, de même que dans d'autres régions. Certains des résultats obtenus pour la marge de la Nouvelle-Écosse sont illustrés à la figure de la page 46, et les observations et les résultats du modèle sont comparés (Beaumont et coll., 1982). Le modèle prédit la présence d'un bassin sédimentaire très semblable en forme et

en stratigraphie à celui que l'on a observé. Il est important de se rappeler que cela n'a pas été "arrangé" d'avance. L'ampleur de la subsidence est déterminée à partir du degré de distension, estimé d'après des mesures de l'épaisseur de la croûte. Si le modèle n'est pas approprié, la dépression créée par subsidence peut être trop grande ou trop petite pour correspondre aux observations sur l'épaisseur de sédiments et la profondeur de l'eau. Que les prédictions et les observations concordent, en particulier pour les anomalies gravimétriques, prouve nettement la pertinence du modèle. Cela démontre également qu'une relation fondamentale existe entre le bassin sédimentaire et la structure crustale pro-

fonde; il s'agit d'une percée importante dans la compréhension de la géologie en trois dimensions.

Les modèles de prédiction de la paléotempérature dans les sédiments ont un intérêt pratique (Keen, 1979). Etant donné que les calculs retracent l'histoire du refroidissement de la lithosphère depuis le temps de l'écartement, il est possible de déterminer les températures pour un moment et une profondeur donnés. Nous utilisons ici les données obtenues au puits Triumph près du rebord de la plateforme Scotian, dans la région de l'île de Sable, afin d'illustrer la signification potentielle de cet aspect des résultats d'un modèle. La région de l'île de Sable repose sur la formation du canyon Verrill, qui date du début du Crétacé et de la fin du Jurassique ancien (125 millions d'années et plus) et qui pourrait être la roche mère du gaz découvert dans cette région (Purcell et coll., 1979). La figure de la page 47 montre l'évolution de la subsidence pour des strates d'âges divers. Les isothermes, dont les profondeurs sont calculées lors de la modélisation, sont superposées aux courbes de subsidence. Ces deux séries de courbes montrent toute l'histoire profondeur-temps-température du puits.

La maturation thermique des sédiments

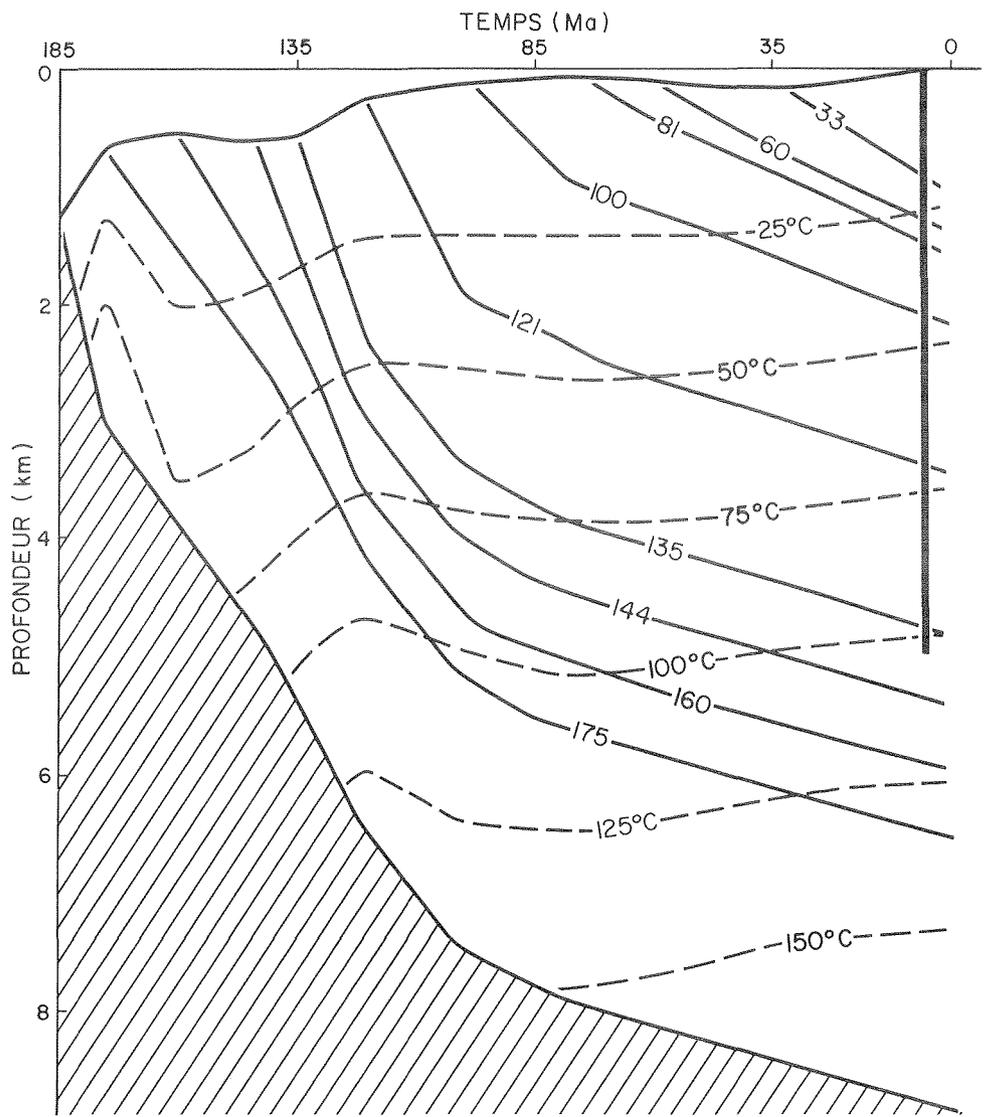


Ruth Jackson et Charlotte Keen.

Diagramme de la température en fonction du temps et de la profondeur. Les lignes continues représentent les courbes de subsidence pour des strates d'âges divers, exprimés en millions d'années (Ma). Les traits interrompus représentent les isothermes espacés de 25°C il y a environ 104 Ma, et 50°C il y a environ 50 Ma. Leur température actuelle est d'environ 70°C. La zone hachurée représente le socle cristallin.

est fonction de l'histoire cumulative température-temps et peu être calculée à partir de ces modèles de prédiction de la paléotempérature. La maturité thermique des sédiments indique si ceux-ci ont connu une histoire thermique favorable à la formation d'hydrocarbures. L'indice temps-température de Lopatin est une mesure de la maturité thermique facilement calculable à partir des températures prédites. Cet indice se calcule à partir de la période pendant laquelle les sédiments ont occupé chaque fourchette de 10°C (Waples, 1980). Pour le puits Triumph, les résultats suggèrent que les sédiments jurassiques (135 millions d'années et plus) auront la maturité thermique alors que les sédiments du Crétacé inférieur et des périodes postérieures seront immatures. Les courbes de la figure de la page 48 sont également utiles pour la détermination du temps de formation des hydrocarbures; elles permettent donc de déterminer le temps minimum nécessaire à la migration du pétrole de la roche-mère au réservoir. Par exemple, les sédiments âgés de 160 millions d'années ont atteint leur maturité thermique il y a 75 millions d'années, et la migration du pétrole ne peut pas avoir commencé avant ce moment-là.

Les modèles apparaissent donc comme un instrument de prospection des hydrocarbures qui est très intéressant mais qui n'a pas encore été exploité au maximum. De nombreuses lacunes demeurent. Par exemple, des mesures de la conductivité thermique et de la production de chaleur radiogénique sont nécessaires pour calculer de façon précise les paléotempératures. Les températures de fond de puits doivent être enregistrées avec soin pour être ensuite rajustées en fonction des valeurs d'équilibre. Ces températures sont importantes pour l'évaluation du flux de chaleur de la période actuelle et pour la vérification des résultats du modèle. Il faut mieux définir la relation entre les modèles géochimiques de la production d'hydrocarbures et la maturité thermique



pour améliorer la capacité de prédiction de ces deux facteurs. Bon nombre de ces problèmes sont actuellement à l'étude, et l'exploration future verra fort probablement l'intégration de la géochimie, de la géologie et de la géophysique dans les modèles destinés à déterminer la présence d'hydrocarbures.

Références

- BARSS, M.S., BUJAK, J.P., and WILLIAMS, G.L. 1979. Palynological zonation and correlation of sixty-seven wells, eastern Canada. *Geological Survey of Canada, Paper 78-24*: 118 p.
- BEAUMONT, C., KEEN, C.E., and BOUTILIER, R. In press. On the evolution of rifted continental margins: comparison of models and observations for the Nova Scotian margin. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*.
- GRANT, A.C. 1955. Structural modes of the western margin of the Labrador Sea. In *Offshore Geology of Eastern Canada. Volume 2 - Regional Geology*, Eds. W.J.M. van der Linden and J.A. Wade. *Geological Survey of Canada, Paper 74-30*: 217-231.
- JANSA, L.F. and WADE, J.A. 1975. Geology of the continental margin off Nova Scotia and New-

foundland. In *Offshore Geology of Eastern Canada. Volume 2 - Regional Geology*, Eds. W.J.M. van der Linden and J.A. Wade. *Geological Survey of Canada, Paper 74-30*: 51-105.

KEEN, C.E. 1979. Thermal history and subsidence of rifted continental margins - evidence from wells on the Nova Scotian and Labrador shelves. *Canadian Journal of Earth Sciences* 16: 505-522.

KEEN, C.E., BEAUMONT, C., and BOUTILIER, R. 1981. Preliminary results from a thermo-mechanical model for the evolution of Atlantic-type continental margins. In *Géologie des Marges Continentales. Oceanologica Acta, Supplément au v. 4*: 123-128.

KEEN, C.E. and HYNDMAN, R.D. 1979. Geophysical review of the continental margins of eastern and western Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences* 16: 712-747.

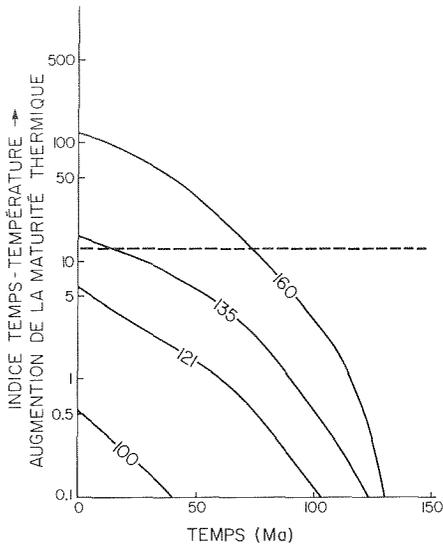
MCKENZIE, D.P. 1978. Some remarks on the development of sedimentary basins. *Earth and Planetary Science Letters* 40: 25-32.

MONTADERT, L., deCHARPOL, D., and ROBERTS, D.G. 1979. Northeast Atlantic passive continental margins: rifting and subsidence history. In *Deep Drilling Results in the Atlantic Ocean: Continental Margins and Paleoenvironments*. American Geophysical Union, *Maurice Ewing Series* 3: 154-186.

PURCELL, L.P., RASHID, M.A., and HARDY, I.A. 1979. Geochemical characteristics of sedimentary rocks in the Scotian Basin. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 63 (1): 87-105.

UMPLEBY, D.C. 1979. Geology of the Labrador Shelf. *Geological Survey of Canada, Paper 79-14*: 34 p.

WADLES, D.W. 1980. Time and temperature in petroleum formation: application of Lopatin's method to petroleum exploration. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 64: 916-926.



L'indice temps-température de Lopatin (ITT) qui mesure la maturité thermique en fonction du temps. Les courbes indiquent la maturité thermique pour des sédiments âgés de 160, 135, 121 et 100 Ma. La maturité augmente avec le temps à partir du dépôt des sédiments, dont la température monte à mesure de la transformation. La valeur approximative de l'indice qui correspond à l'apparition du pétrole apparaît sous la forme de traits interrompus horizontaux. Si des sédiments atteignent la valeur correspondante au-dessus de cette ligne, leur histoire thermique a été favorable à la formation de pétrole. Il faut souligner que la relation entre les modèles géochimiques de la formation de pétrole et la maturité thermique n'a pas été clairement établie; d'autres travaux pourraient modifier la relation présentée ici.

Modélisation stratigraphique

F.M. Gradstein

Les stratigraphes essaient d'élaborer des modèles qui, avec un minimum de données, auront une "puissance de prédiction" maximale (Agterberg, 1978). Les propriétés d'une formation rocheuse, comme par exemple son âge ou la présence de minéraux et de fossiles, sont les paramètres, et les résultats obtenus peuvent être une corrélation des sections stratigraphiques, une reconstruction des mouvements verticaux de la croûte, une reconstruction des environnements successifs d'accumulation, ou une définition de la position et de l'étendue d'une ressource minérale.

La nature qualitative des modèles stratigraphiques conventionnels fait à la fois leur intérêt et leur faiblesse. Ces modèles sont très flexibles mais n'offrent pas, par exemple, une corrélation stratigraphique rigoureuse.

La quantité croissante de l'information en sciences géologiques, une échelle temporelle linéaire améliorée pour les derniers millions d'années, des progrès en technologie informatique et une coopération fructueuse entre statisticiens et géologues ont mené à la mise au point de méthodes quantitatives assez productives pour résoudre des problèmes de stratigraphie.

Nous évoquerons ici deux de ces méthodes. (1) L'organisation de données biostratigraphiques enregistrées dans différentes sections stratigraphiques en séquence la plus probable (RANKING: classement) ou en groupage le plus probable (SCALING: cadrage) en utilisant le programme machine RASC (RANKING and SCALING) (Agterberg et Nel, sous presse). (2) L'organisation d'interprétations chronostratigraphiques et paléocologiques d'une manière linéaire et numérique dans la direction de "la flèche du temps" et étalonnée à l'échelle géochronologique (van Hinte, 1978).

Nous appliquons ces méthodes à un nouveau mode de la construction des zonation, en utilisant les microfossiles de la marge atlantique pour tenter de comprendre l'histoire sédimentaire de la région après la formation du rift. Le programme RASC a été expressément élaboré afin d'optimiser la résolution (bio) stratigraphique de cette région (Gradstein et Agterberg, sous presse).

Classement et cadrage

Les solutions mathématiques à des problèmes de type corrélation considèrent les séquences biostratigraphiques comme des écarts aléatoires par rapport à une solution réelle et font face aux incertitudes suivantes: 1) la séquence optimale la plus probable d'événements de fossilisation a été établie (problème de classement ou de norme composite de Shaw, 1964); 2) la distance entre les événements de fossilisation le long d'une échelle de temps relative est connue (problème de cadrage utilisé dans les cénozones ou dans l'étalonnage géochronologique pour les diagrammes géohistoriques); et 3) la distribution géographique d'un événement est connue (problème de repérage).

Les événements paléontologiques sont l'apparition, la période de densité maximale, ou la disparition de taxons fossiles, et ils diffèrent des événements physiques par leur caractère unique, non récurrent et leur ordre irréversible (théorie Darwinienne).

La partie classement du programme RASC est basée sur les travaux de Hay (1972), Worsley et Jorgens (1977), parmi d'autres. Cette opération tabule le nombre de fois que chaque événement se manifeste au-dessus, en même temps, ou au-dessous de tous les autres événements et ordonne les événements en une séquence optimale selon leur rang. Des événements simultanés, qui reçoivent une cote de 0,5, étaient laissés de côté par les auteurs précédents, ce qui entraînait une perte d'information, en particulier pour une série de données ponctuelles comme celles que fournissent les puits d'exploration forés dans la marge du Labrador.

Supposons que l'ordre des événements A, B et C ait été observé dans quatre sections de la manière suivante:

.C	.B		
.B	.C	.B	.A
.A	.A	.C	.B

Une simple tabulation indique que l'ordre probable de bas en haut est A, C, B. Une situation compliquée se présentera si, par exemple, 200 événements sont distribués dans 20 sections stratigraphiques. Pour que l'on puisse mettre en évidence des événements très étendus et uniformes, et définir un niveau de confiance minimum, les événements doivent se produire dans

au moins k_c sections tandis que chaque paire d'événements se présente dans au moins m_c sections ($k_c \geq m_c$). Il existe cependant l'option de l'événement unique: un fossile indice ou une couche de cendres, s'ils sont rares, peuvent contribuer à la séquence optimale finale si l'on utilise sa position observée par rapport à deux autres taxons participants; sa position réelle demeure cependant non identifiée.

Lorsque les événements sont fortement regroupés le long de l'échelle de temps relative (plusieurs cotes de 0,5) et lorsque le nombre total de paires d'événements est petit, la situation suivante se présente:

A se présente plus souvent avant B, que B avant A

B se présente plus souvent avant C, que C avant B

C se présente plus souvent avant A, que A avant C

et l'ordre A, B, C serait indéterminé. Les autres auteurs omettent tous les événements qui se regroupent fortement ou qui semblent le faire, mais il s'agit là d'un procédé qui n'est ni nécessaire ni souhaitable. Dans les algorithmes RASC (Agterberg et Nel, sous presse), chaque cycle de la matrice à order cumulatif est localisé et la(les) paire(s) d'événements participants présentant les plus petites différences dans l'ordre relatif est (sont) remplacée(s) par zéro, etc., jusqu'à ce que les événements soient classés.

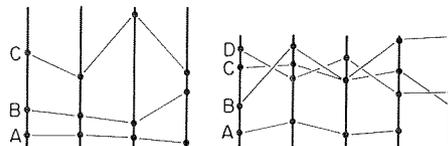
Dans la partie cadrage (SC) du RASC, la fréquence de croisement d'événements (P) est tabulée; par exemple, si dans 10 sections A se présente cinq fois au-dessus et cinq fois au-dessous de B, $P_{AB} = 0,5$; si A se manifeste huit fois au-dessus et deux fois au-dessous de B, $P_{AB} = 0,8$. Dans le premier cas, A et B sont probablement plus rapprochés dans le temps que dans le second cas, et la fréquence de croisement avec P_{AB} serait une approximation de la distance entre les positions moyennes de A et de B. Afin d'accroître le nombre d'observations, la distance d_{AB} entre les événements A et B est également mesurée à partir de leur fréquence de croisement avec l'événement C, de sorte que $d_{AB} = d_{AC} - d_{BC}$ et, dans l'analyse finale, la distance est pondérée selon le nombre d'observations.

La position de chaque événement le long de l'échelle de temps relative est donnée par une distribution normale (de Gauss) à variance égale (σ^2). La fréquence de croisement (P) des événements A et B présente également une distribution sup-

posée normale à variance unitaire et peut être transformée en une mesure de distance pondérée exprimée par la représentation conventionnelle en dendrogramme employée pour les classifications objectives. Un exemple nous permettra de rendre le modèle plus compréhensible.

Imaginons, cas extrême, que les événements de fossilisation se manifestent dans le même ordre dans toutes les sections examinées. Il n'y a pas de croisement d'événements, donc aucun regroupement en dendrogramme.

Dans la réalité, particulièrement lorsqu'il y a beaucoup de bruit de fond, certains événements montrent un ordre plus régulier et cohérent que d'autres dans les sections étudiées. Plus les événements adjacents se croisent, mieux ils se regroupent dans le diagramme de regroupement optimal; par contre, plus les événements se regroupent de façon serrée dans ce di-



(gauche) Les événements de fossilisation A, B et C se présentent dans le même ordre dans les quatre coupes stratigraphiques étudiées.

(droite) Les événements B, C et D présentent une forte fréquence de croisement, ce qui signifie qu'ils détiennent des positions stratigraphiques indistinctes (proches) et se regrouperont bien au cadrage.

agramme, moins leur ordre exact est déterminé. Des écarts importants dans la séquence de regroupement montrent que les assemblages d'événements sont séparés par des horizons stratigraphiques, ce qui correspond exactement à une zonation subjective. Puisque la zonation dont la base est le regroupement optimum n'utilise que les événements assez communs pour se présenter dans la séquence la plus probable, la zonation objective est d'une grande valeur pratique.

Tableau de la gamme d'occurrences des nannofossiles du Crétacé supérieur

Doeven et coll. (1982) ont utilisé la méthode de séquence optimale du RASC pour construire un tableau de la gamme probable des occurrences à partir de 119 événements concernant des nannofossiles du Crétacé supérieur; les données couvraient 64 taxons répartis dans 10 puits

situés au large de la côte est du Canada. Les chercheurs ont construits des séquences optimales ($k_c \geq 3$, $m_c \geq 3$) de quatre types d'événements: occurrences les plus faibles, occurrences répétées les plus faibles, occurrences répétées les plus fortes et occurrences les plus fortes. La position relative des événements dans ces séquences est une moyenne de toutes les positions relatives observées; le tableau de la gamme des occurrences qui relie les sommets moyens et les fonds moyens, ainsi que les sous-sommets moyens et les sous-fonds moyens pour chaque taxon est de nature "probabiliste". Ce tableau de la zonation qui en est tiré, avec une résolution moyenne de 2,5 millions d'années, est comparable en qualité aux zonations subjectives les plus détaillées de la littérature. Le concept sous-sommet/sous-fond accroît la résolution biostratigraphique.

Zonation cénozoïque de la plate-forme du Labrador

Gradstein et Agterberg (sous presse) ont appliqué le programme RASC aux occurrences les plus élevées de 200 Foraminifères réparties dans 22 puits au large de la côte est du Canada. Ces données souffrent d'un important remaniement, d'inégalité dans la distribution et du petit nombre d'échantillons; elles montrent de plus des traits endémiques et contiennent vers le nord de moins en moins de taxons indices (organismes planctoniques). L'interprétation en est rendue plus difficile encore par de nombreuses incohérences mineures et quelques incohérences majeures dans les niveaux d'extinction relatifs de nombreux taxons benthiques. Ces caractéristiques empêchent l'élaboration d'une zonation subjective détaillée, en particulier au nord

X 4		X 4
		X
		X
	○ 3,4	X
X 3		X
X	○	X
X	○	X X 3
X 2	○	X X
	○ 1,2	X X
		X X
X 1		X X 1,2

Propriétés des domaines stratigraphiques de trois taxons (nanno) fossiles; x - rare, xx - commun, 0 - abondant, 1 - occurrence la plus basse, 2 - occurrence répétée la plus basse, 3 - occurrence répétée la plus haute, 4 - occurrence la plus haute.

ALB.	CÉNOMANIEN				TURONIEN		CONIACIEN		CONIACIEN - SANTONIEN INF.		SANTONIEN SUP.		CAMPANIEN			MAESTRICHTIEN				AGE ZONE
	W. brit.	E. turrisseiffeli	C. chiastia	L. acutum	Q. gartneri	E. eximius	M. furcatus				R. hayii	B. parca	C. aculeus	Q. gothicum	Q. trifidum	A. cymbiformis	L. quadratus	N. frequens		
																			Sequence optimale - exp 1 (10 puits)	
																			Sequence optimale - exp. 2 (13 puits)	
																			Arkhangelskiella cymbiformis 3, 103, 203	
																			Nephrolithus frequens 58, 158	
																			Ceratolithoides kemptneri 12, 112	
																			Lithraphidites quadratus 141	
																			Lithraphidites praequadratus 40, 140	
																			Lucianorhabdus cayeuxii 43, 143, 209	
																			Eiffellithus eximius 28, 128, 205, 206	
																			Cyclagelosphaera spp. 122	
																			Cylindralithus spp. 26, 126	
																			Reinhardtites levis 73, 173	
																			Broinsonia matalosa 9	
																			Broinsonia parca 10, 110, 210,	
																			Corollithion exiguum 15, 115	
																			Quadrum trifidum 70, 170	
																			Lucianorhabdus maleformis 44, 144	
																			Quadrum gothicum 69, 169	
																			Acuturris scotus 45, 145	
																			Tranolithus phacelosus 80	
																			Reinhardtites anthophorus 71, 171, 220	
																			Tetralithus copulatus 79, 179	
																			Microrhabdulus belgicus 49, 149	
																			Broinsonia lacunosa 8, 108, 208, 223	
																			Broinsonia furtiva 7, 107, 207	
																			Broinsonia spp 90, 190, 222	
																			Ceratolithoides aculeus 111	
																			Rucinolithus hayii 75, 175, 202, 221	
																			Podorhabdus coronadventis 64	
																			Corollithion signum 16	
																			Marthasterites furcatus 48, 148, 211	
																			Lucianorhabdus arcuatus 42, 142	
																			Zygodiscus biperforatus 86, 186	
																			Lithastrinus grilli 37, 137, 201	
																			Lithastrinus floralis 36	
																			Microrhabdulus stradneri 152, 212	
																			Arkhangelskiella specillata 104, 204	
																			Micula concava 153, 213	
																			Microrhabdulus helicoides 151	
																			Vekshinella bohotniciae 182	
																			Gartnerago striatum 33	
																			Phanulithus obscurus 160, 216	
																			Phanulithus ovalis 161, 217	
																			Phanulithus spp. 62, 162, 218	
																			Lucianorhabdus sp. 2 46, 146	
																			Nannoconus spp. 57	
																			Nannoconus truitii 56	
																			Corollithion achylosium 13	
																			Ahmuellerella octoradiata 101	
																			Kamptnerius 135	
																			Rhagodiscus asper 74	
																			Micula decussata 154, 215	
																			Ahmuellerella regularis 102	
																			Corollithion completum 14, 114, 214	
																			Parhabdolithus achylostaurion 59	
																			Quadrum gartneri 168, 219	
																			Podorhabdus albianus 63	
																			Gartnerago obliquum 132	
																			Braarudosphaera africana 5	
																			Lithraphidites acutum 38, 138	
																			Cruciellipsis chiasta 20	
																			Lithraphidites alatus 39	
																			Prediscosphaera columnata 66	
																			Microrhabdulus decoratus 150	
																			Eiffellithus turrisseiffeli 130	
																			Watznaueria britannica 84	
																			SISSINGH 77	

de la plate-forme du Labrador.

Après bon nombre d'essais du programme RASC, on a choisi la solution de classement et de cadrage (regroupement) $k_c \geq 3$, $m_c \geq 3$ et ($k_c \geq 5$, $m_c \geq 3$ pour deux groupes de puits nettement éloignés les uns des autres (16 au nord et 6 au sud); la solution retenue fait ressortir la présence de provinces. Le groupement optimal du nord (plate-forme du Labrador) retient 68 événements, assemblés en groupements distincts et progressivement plus jeunes, semblables à des cénozones. On a déterminé le rajeunissement à partir de certaines formes indices présentes dans le groupement. Il existe également une assez bonne correspondance des espèces entre une zonation conventionnelle de la plate-forme du Labrador fondée sur 4 et 9 puits et la zonation probable, établie à partir de fréquences de croisement dans 16 puits. La vérification du modèle montre que les statistiques sur lesquelles se fonde le programme RASC produisent des résultats biostratigraphiques intéressants et fournissent des lignes directrices objectives pour établir des corrélations stratigraphiques détaillées.

Histoire géologique de la plate-forme du Labrador

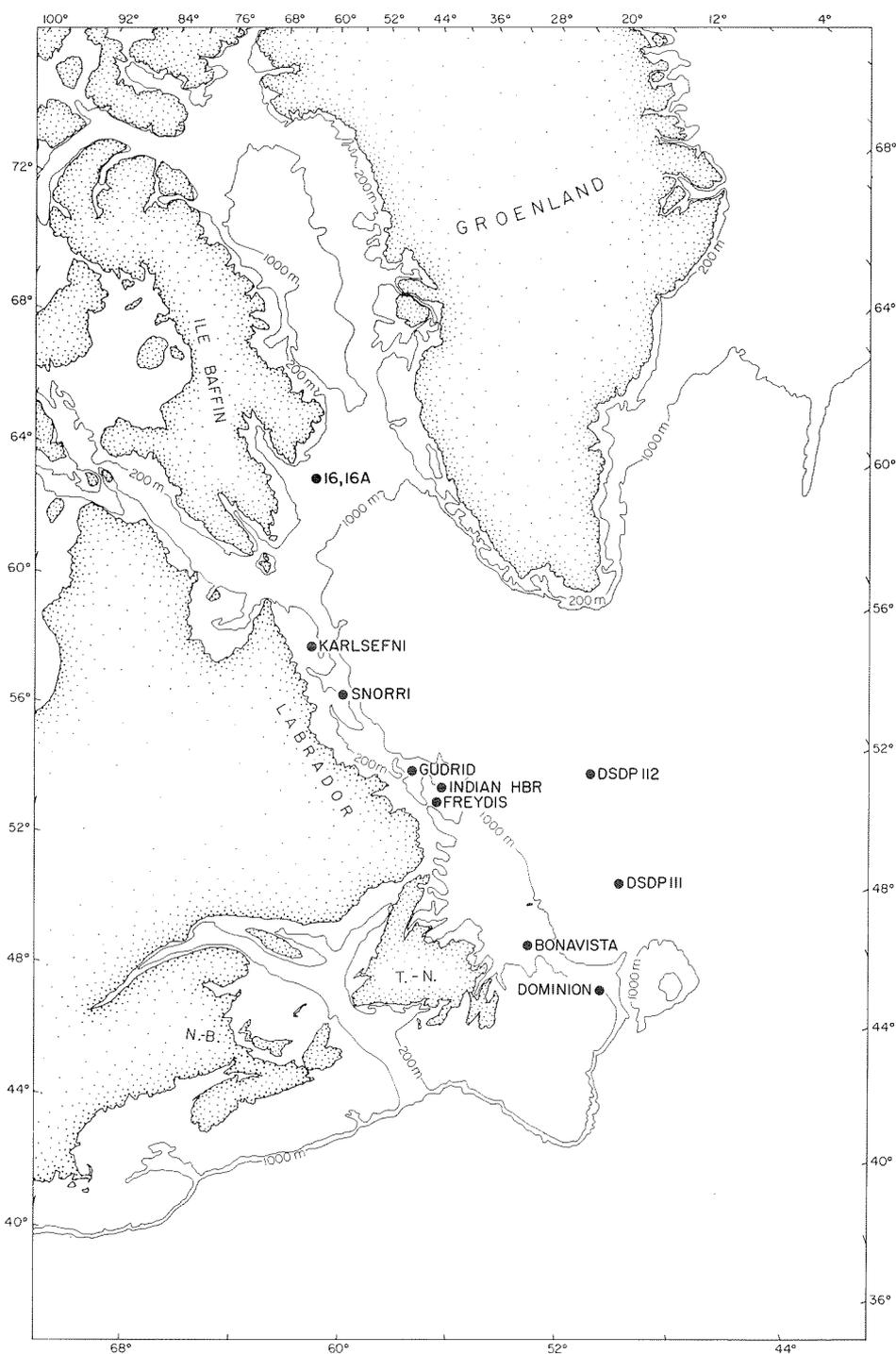
La zonation RASC pour la plate-forme du Labrador, alliée à certaines déterminations de l'âge palynologique et à l'étude des Foraminifères planctoniques ainsi qu'à des estimations paléobathymétriques, a servi à reconstruire la nature et les événements marquants de l'histoire sédimentaire de cette région pour les der-

niers millions d'années (Gradstein et Srivastava, 1980).

Premièrement, on a étalonné la zonation à l'échelle de temps linéaire, en supposant que les zones locales du Labrador et les zones standard dans l'échelle de temps géologique généralement utilisée montrent une corrélation raisonnablement bonne. Etant donné que nous nous intéressons plutôt aux tendances qu'à une description précise des événements, les erreurs éventuelles sont acceptables. D'autre part, cer-

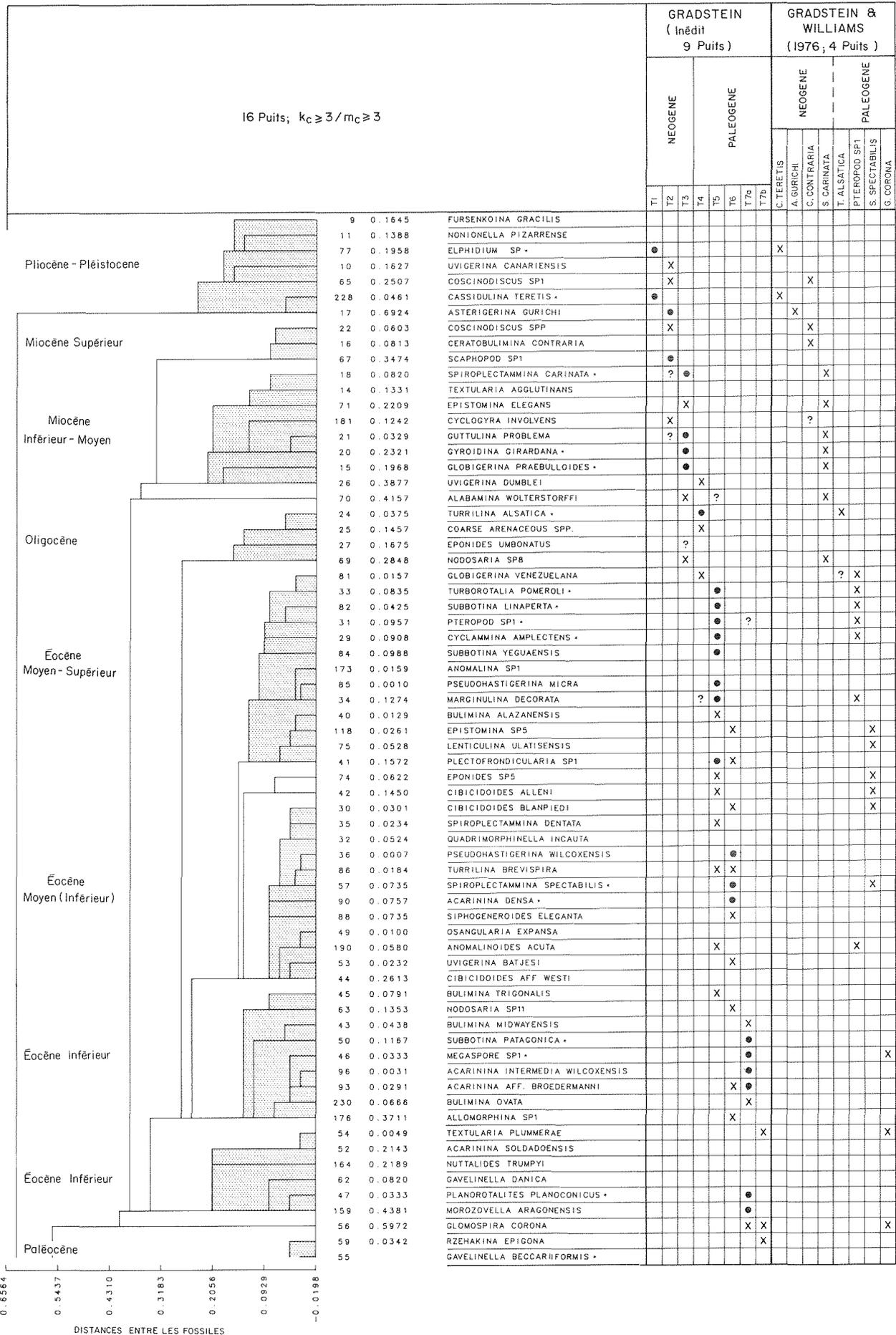
tains événements zonaux standard du Maestrichtien à l'Eocène se manifestent dans la région. Le diagramme de la page 53 montre la distribution stratigraphique des sédiments sur la plate-forme du Labrador et les régions avoisinantes, classée en cinq faciès paléobathymétriques: non-marin, néritique peu profond, néritique profond, bathyal supérieur et bathyal moyen à inférieur.

Les sédiments marins les plus anciens de la mer du Labrador, datés du Cénoma-



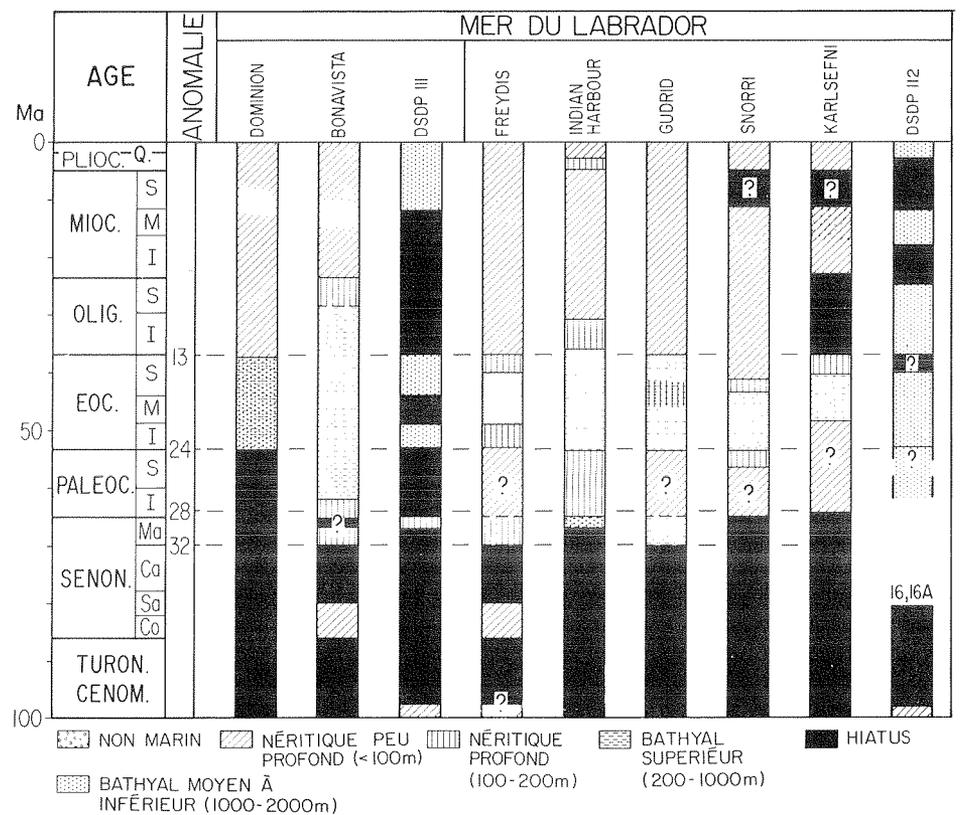
Emplacement des puits de la mer du Labrador.

Tableau "probabiliste" des occurrences établi par classement de 119 événements concernant des nannofossiles du Crétacé supérieur, représentant 64 taxons. Les résultats de la première analyse, portant sur dix puits du large de l'Est du Canada, sont indiqués par les traits forts; ceux de la deuxième, qui pondèrent les résultats en répétant les données de trois des meilleurs puits, par les traits fins. Le domaine moyen d'une espèce est l'intervalle entre sa position d'occurrence la plus basse et sa position d'occurrence la plus haute, déterminées par la séquence optimale. Les traits interrompus représentent les intervalles entre l'occurrence la plus basse et le sous-mur, et entre l'occurrence la plus haute et le sous-toit d'une espèce. On trouve à gauche la zonation et à droite la séquence des événements comparables relevés dans les publications. On remarquera la concordance excellente (Doeven et coll., 1982) dans l'ordre relatif.



Histoire sédimentaire de la mer du Labrador à la fin du Mésozoïque et au Cénozoïque. Les anomalies magnétiques marines 32, 28, 24 et 13 sont représentées telles qu'elles apparaissent dans la région. La principale transgression du plateau du Labrador coïncide avec l'intervalle stratigraphique des anomalies 32-13 [c.-à-d. la période d'étalement des fonds marins (Gradstein et Srivastava, 1980)].

nien (± 100 millions d'années), sont situés sur la plate-forme de l'île Baffin (station 16). Il existe également des dépôts néritiques du Crétacé moyen dans certains puits de la plate-forme du Labrador. Le niveau le plus élevé de la mer du Crétacé moyen laissa, de toute évidence, sa marque dans le bassin fermé de la mer du Labrador. Comme l'indique la figure de la page 53, la transgression de la mer principale du Labrador débuta pendant le Maestrichtien; cette conclusion est conforme à l'hypothèse qui place le commencement de l'expansion des fonds océaniques du sud de la mer du Labrador à l'époque de l'anomalie 32 (il y a 70 millions d'années). La sédimentation marine de nature néritique et néritique-bathyale se poursuit pendant le Paléocène et l'Eocène, sur ce qui est aujourd'hui la région de la plate-forme, jusqu'aux parages du nord de la mer du Labrador, lorsque cette mer s'ouvrit encore plus. L'ouverture du bassin s'acheva juste avant l'époque de l'anomalie 13 (il y a environ 40 millions d'années), soit à la limite entre l'Eocène et l'Oligocène, et ce qui coïncide avec le changement général des conditions marines, qui de profondes sont devenues peu profondes dans la région de la plate-forme du Labrador. De telles conditions persistent sur la plate-forme actuelle, bien que la rareté des sédiments au niveau du bouclier Précambrien puisse expliquer que la limite plate-forme/talus se situe à une profondeur su-



périeure à la moyenne (environ 500 mètres).

Si la subsidence de la marge peut être interprétée par un simple modèle de refroidissement tel que le modèle empirique établi pour les bassins de la croûte océanique, la transgression régionale de la marge continentale (passive), la formation de rift dans les fonds océaniques et l'expansion subséquente des fonds dans les bassins adjacents pourraient être en corrélation causale et temporelle. Des éclaircissements sur l'évolution de la marge continentale et la nature du tectonisme nous viennent de l'étude de graphes comparatifs temps/profondeur (van Hinte 1978; Hardenbol et coll., 1981).

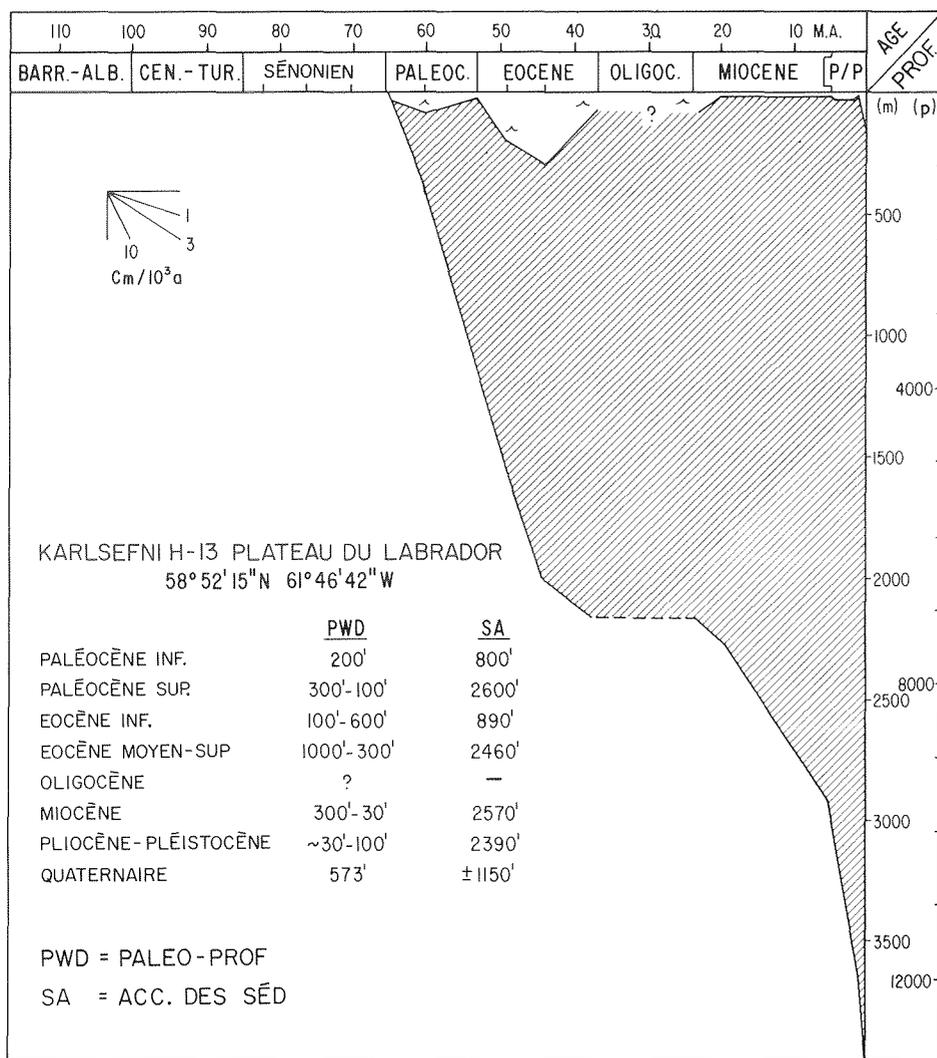
Le principe en est simple. Les tendances paléobathymétriques réperées dans les puits en fonction du temps, exprimé en millions d'années l'axe horizontal, et la profondeur d'eau, exprimée en pieds ou en mètres, le long de l'axe vertical. On peut ajouter à ce graphe des estimations de l'erreur paléobathymétrique en utilisant des barres d'erreurs (voir Wood, 1981). Le fond marin primitif sert de niveau de référence à partir duquel sont indiquées les épaisseurs cumulatives des sédiments, déterminées pour chaque zone stratigraphique successive reconnue. La courbe qui en résulte est une première

approximation des mouvements relatifs de ce site.

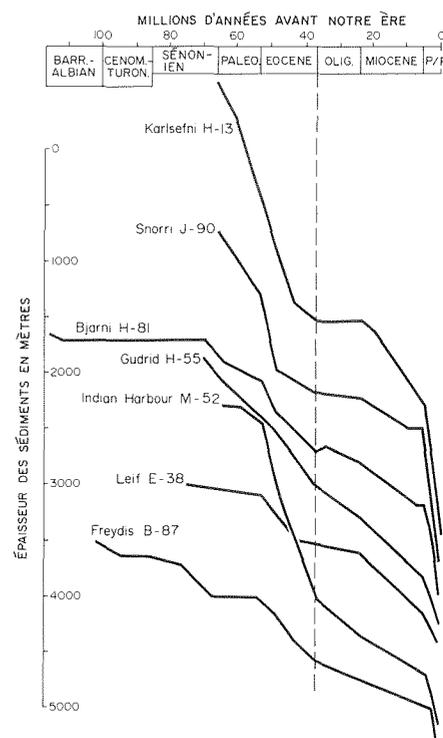
Après une sédimentation lente et généralement très faible au Crétacé ancien ($0-3 \text{ cm}/10^3$ années) une subsidence et une sédimentation rapides (souvent supérieures à $10 \text{ cm}/10^3$ années) débutèrent à la fin du Crétacé, peu de temps après l'apparition d'une expansion active des fonds océaniques dans le sud de la mer du Labrador. Le taux de sédimentation pendant l'Eocène n'était pas aussi rapide que la subsidence, ce qui permit à la région de la marge océanique de s'approfondir. Sur la partie nord de la plate-forme du Labrador, une décroissance rapide de la sédimentation coïncide avec la fin de l'ouverture de la mer du Labrador comme si la subsidence était du type refroidissement crustal (exponentiel) (voir Keen, 1979). Dans de nombreux puits, la section oligocène est très mince ou absente, et nous avançons que la baisse eustatique importante du niveau de la mer au Tertiaire moyen (Vail et coll., 1977) pourrait avoir accentué la tendance, souvent marquée dans cette région, à la faible profondeur et/ou à l'absence d'accumulation, ou peut-être même à l'érosion.

Par la suite, il se peut que de jeunes mouvements tectoniques, probablement combinés au chargement, aient entraîné le taux élevé de sédimentation qui réapparaît

Regroupement optimal, par cadrage, des occurrences les plus hautes de 68 Foraminifères (et quelques autres microfossiles) dans 16 puits du plateau du Labrador ($k_c \geq 3/m_c \geq 3$). Les groupes ressemblent à des cénozones, et la partie la plus utile pour la stratigraphie a été ombrée. On note une assez bonne concordance des espèces correspondantes entre une zonation classique du plateau du Labrador à partir de 4 et 9 puits (droite) et la zonation probable (gauche). Les colonnes T1 à T7 représentent une zonation arbitraire Paléogène-Néogène établie à partir de neuf puits (Gradstein, manuscrit inédit).



Les tendances paléobathymétriques repérées dans les puits sont représentées avec le temps en Ma et en mètres sur l'axe horizontal et la profondeur de l'eau en pieds et en mètres sur l'axe vertical. Le fond marin primitif sert de niveau de référence à partir duquel sont indiquées les épaisseurs cumulatives des sédiments, déterminées pour chaque zone stratigraphique successive reconnue. La courbe qui en résulte (courbe du bas) est une première approximation des mouvements relatifs de ce site.



Première approximation du mouvement relatif depuis le Crétacé moyen à sept puits du plateau du Labrador (voir figure précédente). La principale phase de subsidence se situe à la période Maestrichtien-Éocène et coïncide avec l'ouverture de la mer du Labrador.

tivité tectonique renouvelée depuis le début du Quaternaire.

Références

- AGTERBERG, F.P. 1978. Analysis of spatial patterns in the Earth Sciences. *In* Geomathematics: Past, Present and Prospects, Ed. D.F. Merriam. Syracuse University, *Geology Contribution* 5: 7-19.
- AGTERBERG, F.P. and NEL, L.D. In press. Algorithms for the ranking of stratigraphic events. *Computer and Geosciences*.
- AGTERBERG, F.P. and NEL, L.D. Algorithms for the scaling of stratigraphic events. *Computer and Geosciences*.
- BROWER, J.C. In press. Quantitative biostratigraphy, 1830-1980. *In* Computer Applications in the Earth Sciences, an Update for the 70's, Ed. D.F. Merriam. Plenum Press, New York.
- COOKE, H.C. 1929. Studies of the physiography of

au Cénozoïque supérieur dans les puits Karlsefni (et le puits avoisinant Snorri), tendance qui, d'après des études sismostratigraphiques (Grant, 1980) semble aller en augmentant en direction du nord le long de la plate-forme du Labrador. Grant (1980) utilise cet argument d'un tectonisme postérieur à l'expansion du fond océanique pour réfuter l'existence d'un lien simple entre une expansion "horizontale" et les mouvements verticaux de la marge. Néanmoins, il est intéressant de constater que Cooke (1929) parle de l'activité tectonique jeune sur la terre ferme, dans ses études classiques sur la physiographie du bouclier canadien au Labrador. Toujours selon Cooke, l'ensemble du bouclier canadien se serait soulevé au-dessus de son altitude d'aujourd'hui pour s'incliner vers le nord-ouest au Pliocène, puis se serait affaissé pendant la période glaciaire puis soulevé de nouveau légèrement après les glaciations [voir également l'étude de McMillan (1973) sur le drainage fluvial à travers les âges.] Ces observations sur des jeunes événements tectoni-

ques sont conséquentes avec celles de Filion et coll. (1978), qui ont repéré le long de la marge plusieurs terrasses successives du Pléistocène situées en profondeur dans le talus et la plate-forme du Labrador. Ces terrasses sont abaissées vers le nord parallèlement à des réflecteurs situés sous la surface et orientés vers le nord en direction d'un bassin sédimentaire au large du détroit d'Hudson.

En résumé, la section stratigraphique composite du Cénozoïque de la marge de la mer du Labrador est uniformément d'origine marine, les éléments les plus profonds (zone bathyale) datant de l'Éocène. La transgression considérable qui apparaît au Crétacé supérieur-Éocène coïncide avec la phase d'ouverture de la mer du Labrador (anomalie 32-13). Les taux de sédimentation sont généralement élevés, et dépassent $10 \text{ cm}/10^3$ depuis le Maestrichtien, sauf à quelques endroits, pendant le Tertiaire moyen, période où la sédimentation est à peu près nulle. La région de la plate-forme du Labrador et la terre ferme adjacente connaissent une acti-

the Canadian Shield. *Transactions of the Royal Society of Canada* 3(25)IV: 91-120.

DOEVEN, P.H., GRADSTEIN, F.M., JACKSON, A., AGTERBERG, F.P., and NEL, L.D. In press. A quantitative nannofossil range chart. *Micro-paleontology*.

FILLON, R.H., FOLINSBEE, R.A., and PALMER, R. 1978. Deep shelf and slope terraces off northern Labrador. *Nature*, 273 (5665): 743-746.

GRADSTEIN, F.M. and SRIVASTAVA, S.P. 1980. Aspects of Cenozoic stratigraphy and paleoceanography of the Labrador Sea and Baffin Bay. *Paleogeography, Paleoclimatology, and Paleoecology* 30: 261-295.

GRADSTEIN, F.M. and AGTERBERG, F.P. In press. Models of Cenozoic foraminiferal stratigraphy, northwestern Atlantic margin. In *Quantitative Stratigraphic Correlation*, Eds. J.M. Cubitt and R.A. Reymont. John Wiley and Sons, London.

GRANT, A.C. 1980. Problems with plate tectonics: The Labrador Sea. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology* (2): 252-273.

HARDENBOL, J., VAIL, P.R., and FERRER, J. 1981. Interpreting paleoenvironments; subsidence history and sea-level changes of passive margins from seismics and biostratigraphy. *Oceanologica Acta* 1981, no SP: 33-44.

HAY, W.W. 1972. Probabilistic stratigraphy. *Eclogae Geol. Helv.* 65(2): 255-266.

HAY, W.W. and SOUTHAM, J.R. 1978. Quantify-

ing biostratigraphic correlation. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 6: 353-375.

KEEN, C.E. 1979. Thermal history and subsidence of rifted continental margins, evidence from wells on the Nova Scotian and Labrador shelves. *Canadian Journal of Earth Sciences* 16: 505-522.

McMILLAN, N.I. 1973. Shelves of Labrador Sea and Baffin Bay, Canada. In *Future Petroleum Provinces of Canada*, Ed. R.G. McCrossan. *Canadian Society of Petroleum Geology, Memoir* 1: 473-517.

SHAW, A.B. 1964. *Time in Stratigraphy*. McGraw-Hill Book Co., New York: 365 pp.

VAIL, P.R., MITCHUM, R.M., and THOMPSON, S. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 4: Global cyclical change of sea level. In *Seismic stratigraphy - Application to Hydrocarbon exploration*, Ed. C.E. Payton. *American Association of Petroleum Geologists, Memoir* 26: 83-97.

VAN HINTE, J.F. 1978. Geohistory analysis, application of micropaleontology in exploration geology. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 62: 201-227.

WOOD, R.I. 1981. The subsidence history of the Conoco well 15/30-1, central North Sea. *Earth and Planetary Science Letters* 54: 306-312.

WORSLEY, T.R. and JORGENSEN, M.L. 1977. Automated biostratigraphy. In *Oceanic Micropaleontology*, Ed. A.T.S. Ramsay. Academic Press, London 2: 1201-1229.

qu'on a appelés fluorescence biochimique et fluorescence thermochimique.

Fluorescence biochimique

La fluorescence biochimique est émise par les molécules organiques initiales. Les matériaux récents manifestent leur fluorescence dans l'ensemble de la partie visible du spectre, mais lorsqu'ils sont plus vieux, les longueurs d'ondes plus courtes sont progressivement éliminées. Des matériaux du Pleistocène ou de l'Holocène, jeunes à l'échelle géologique, émettent par fluorescence des couleurs intenses dans toute la partie visible du spectre. Dans des matériaux plus vieux du Pliocène, la fluorescence à faible longueur d'ondes est éliminée; la fluorescence bleue est donc généralement absente. A mesure que les matériaux deviennent plus anciens, si l'on remonte au Cénozoïque, l'émission fluorescente est décalée vers les parties jaune et rouge du spectre, et son intensité décroît. La fluorescence biochimique des matériaux du Cénozoïque inférieur et du Crétacé supérieur est très réduite et apparaît au mieux d'un rouge terne.

La fluorescence biochimique connaît diverses applications en biostratigraphie, science qui utilise les fossiles afin de déterminer l'âge des roches, et dont certains aspects ont été décrits par Gradstein dans une autre section. Ces applications sont surtout utiles dans les séries plus jeunes du Cénozoïque, où la matière organique montre les plus importantes variations dans la fluorescence biochimique.

La palynologie est la branche de la biostratigraphie qui s'occupe des résidus microscopiques de fossiles à parois organiques, notamment les kystes de dinoflagellés marins et les spores et le pollen de plantes terrestres. Les sédiments d'un certain âge sont généralement caractérisés par la présence d'espèces particulières, qui constituent un assemblage indice de cet âge. Le palynologue est donc capable de dater des sédiments en identifiant les fossiles qu'ils contiennent. Cependant, cette situation est souvent compliquée par le phénomène du remaniement. Considérons l'accumulation présente de sédiments. Non seulement les organismes vivant aujourd'hui sont-ils préservés dans les sédiments nouvellement accumulés, mais du matériel de roches plus anciennes est souvent également incorporé à ces sédiments par l'érosion des roches sur la terre et le glissement ou l'affouillement

Fluorescence et recherche d'hydrocarbures

J.P. Bujak et E.H. Davies

Lorsque certaines substances sont soumises à une radiation à faible longueur d'ondes, elles émettent une autre radiation d'une longueur d'onde plus grande. Les radiations excitantes peuvent être des rayons X, des rayons gamma, des électrons, des rayons ultraviolets ou certaines longueurs d'ondes dans le visible. On appelle fluorescence ce phénomène d'émission de lumière induite.

La fluorescence connaît de nombreuses applications, l'une des plus utilisées étant la détection du cancer. D'autres applications sont l'identification de documents falsifiés et d'empreintes digitales par des policiers et le dépistage préventif de failles ou de défauts de petite taille dans des métaux.

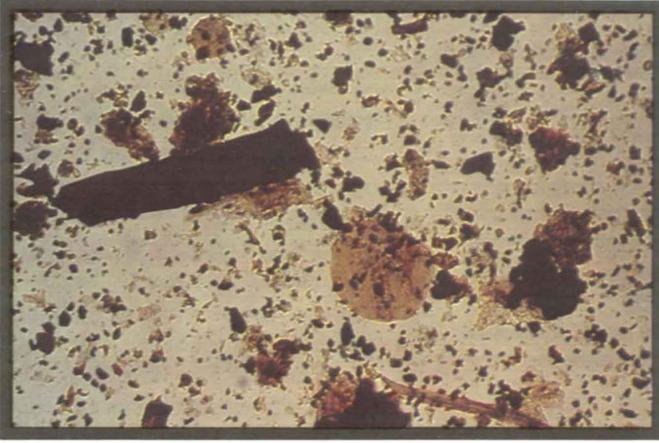
Contrairement aux sciences médicales et biologiques, la géologie a en général négligé la fluorescence jusqu'à il y a environ 20 ans. Depuis lors, on l'a utilisée pour examiner des matériaux inorganiques et des résidus organiques, en particulier dans les études minéralogiques.

Des travaux récents montrent également que la fluorescence est un outil précieux dans la recherche d'hydrocarbures; des géologues du Centre géoscientifique de l'Atlantique utilisent maintenant cette technique pour aider à localiser les zones pétrolifères potentielles au large de la côte est du Canada.

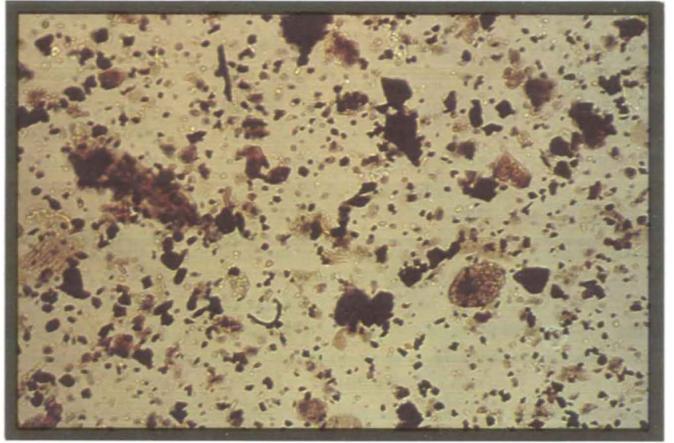
Les chercheurs examinent des microfossiles à parois organiques, notamment les kystes de dinoflagellés marins et les spores et le pollen de plantes terrestres. Ces microfossiles sont excités par de la lumière ultraviolette puis examinés au microscope. En utilisant divers filtres, il est possible d'observer la fluorescence pour des parties sélectionnées du spectre; les plus utiles sont un filtre à bande étroite pour observer la fluorescence bleu-vert et un filtre à bande large pour la fluorescence dans la partie du spectre allant du jaune au rouge.

Ces observations ont montré que les matériaux organiques fossiles émettent deux types distincts de fluorescence,

1



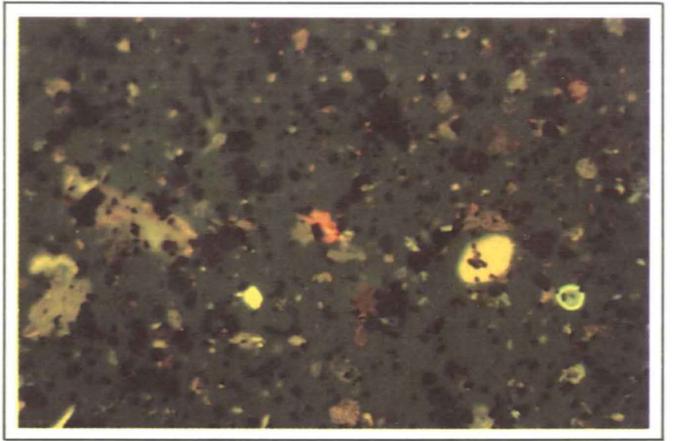
2



3



4



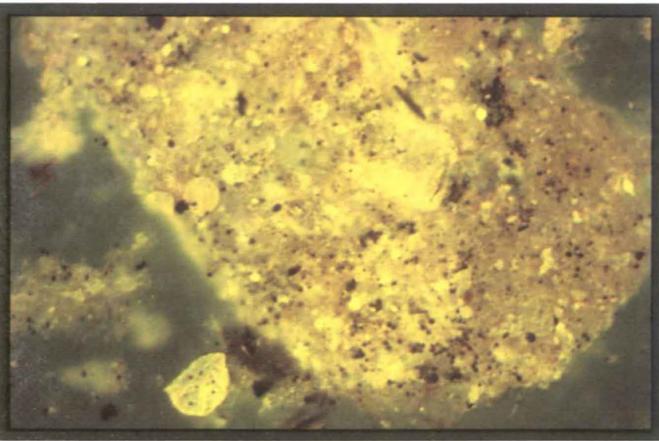
5



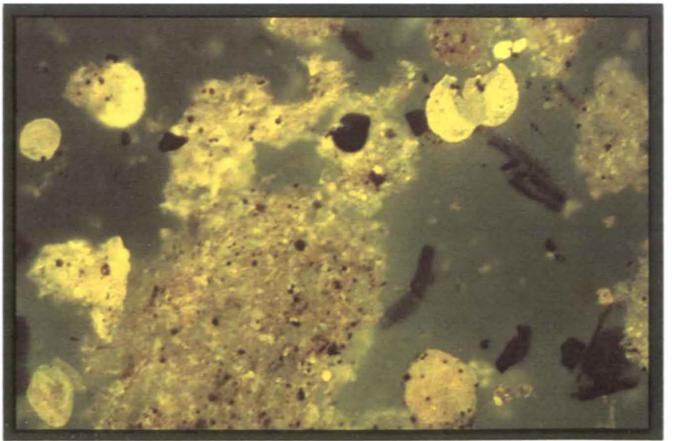
6



7



8

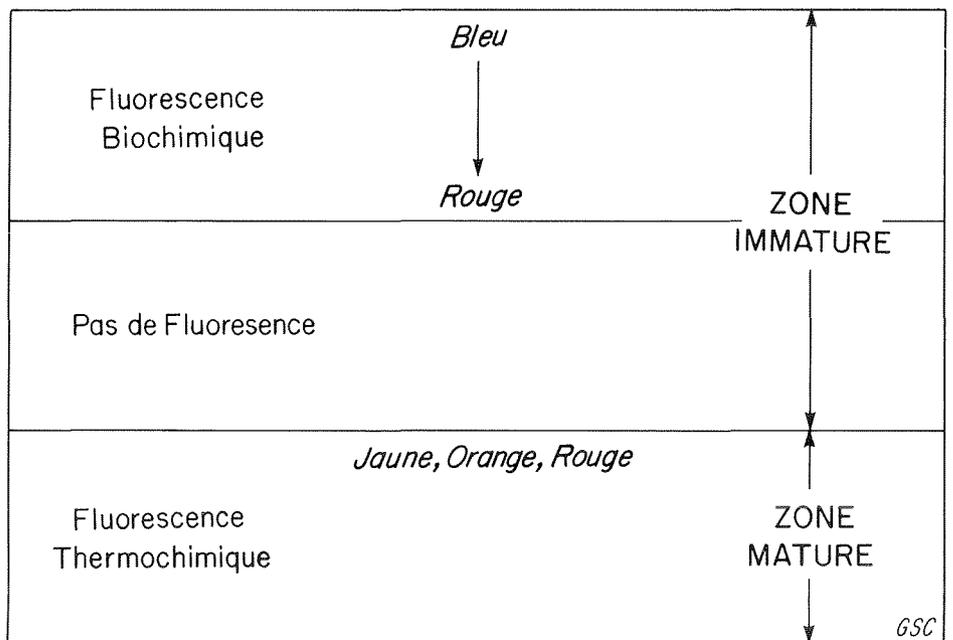


par des courants de dépôts sous-marins plus anciens. Ce matériel remanié, plus ancien, comprend évidemment des microfossiles déposés à l'origine dans les sédiments plus anciens. De cette façon, un sédiment peut inclure des microfossiles d'âges divers et, dans certains cas, l'assemblage peut être dominé par des espèces remaniées.

Cette situation, typique des séries cénozoïques du delta du Mackenzie et de la mer de Beaufort, rend la datation des sédiments extrêmement difficile. Ces sédiments se sont accumulés tout au long de l'histoire, longue de 30 millions d'années, du delta du Mackenzie. Pendant cette période, d'énormes quantités de sédiments, ainsi que les microfossiles qu'ils contiennent, ont été érodées par la rivière et remaniées dans les dépôts deltaïques plus jeunes. Le remaniement est si extrême que dans certains sédiments les espèces remaniées forment plus de 98 % de l'assemblage. Dans de telles circonstances, il est presque impossible de dater les sédiments en utilisant les techniques conventionnelles d'observation au microscope, parce que les rares fossiles qui n'ont pas été remaniés peuvent facilement passer inaperçus. Dans des cas comme celui-ci, l'application de la fluorescence biochimique a permis des progrès décisifs.

AGE		FLUORESCENCE BIOCHIMIQUE					
CÉNOZOÏQUE	Matériau moderne	Bleu	Vert	Jaune Vertâtre	Jaune	Orange	Rouge
	Pléistocène						
	Pliocène						
	Miocène						
	Oligocène						
	Éocène						
	Paléocène						
Crétacé et antérieur		Rouge très terne ou pas de fluorescence					

Modification des couleurs de la fluorescence biochimique avec le vieillissement des matériaux.



Relation existant entre luminosité et production du pétrole.

1 & 2

Restes organiques provenant du puits Kopanoar M-13 vus en lumière normale. La matière organique se compose de spores, de pollen, de fragments de bois et de feuilles de plantes terrestres, et a été recueillie à environ 1500 m au-dessous du niveau de la mer.

3 & 4

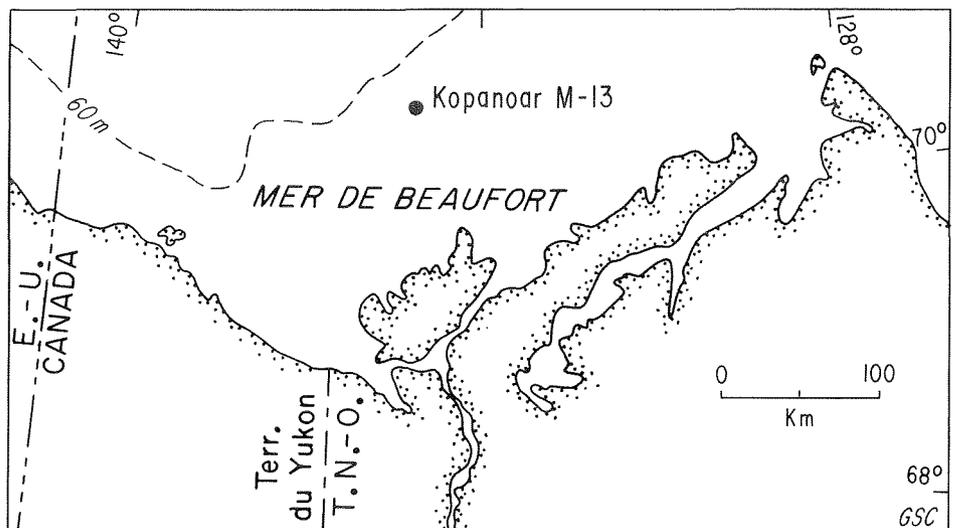
Fluorescence biochimique jaune à verte émise par le matériel présenté en 1 et 2.

5 & 6

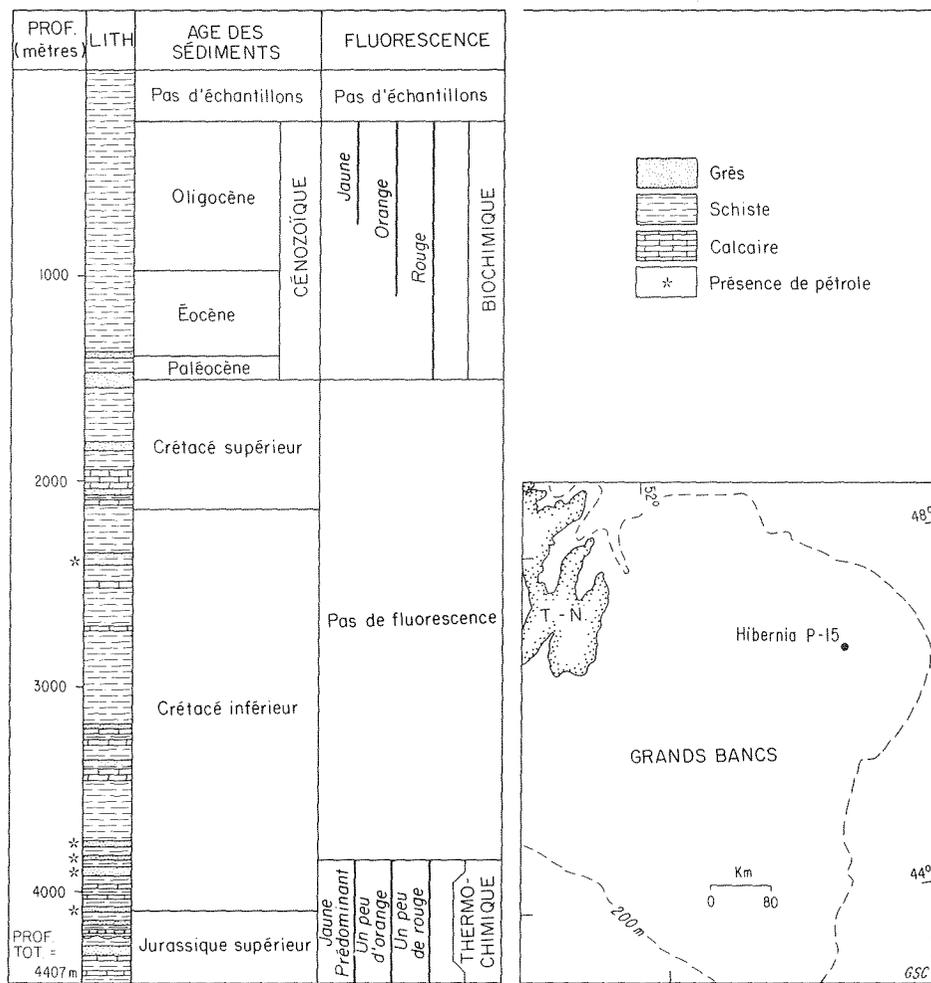
Fluorescence biochimique bleue émise par le matériel des figures 1 à 4. Tout le matériel qui n'émet pas une fluorescence bleue est considéré comme remanié.

7 & 8

Fluorescence thermochimique jaune et orange émise par les spores, le pollen et le matériel amorphe présents dans la zone pétrolifère mure du puits Hibernia P-15 à environ 4200 m au-dessous du niveau de la mer. Le matériel amorphe représente probablement pour l'essentiel les restes du phytoplancton marin.



Carte indiquant l'emplacement du puits Kopanoar M-13, dans la mer de Beaufort.



Stratigraphie et emplacement du puits Hibernia P-15, dans le bassin de l'est de Terre-Neuve, montrant la présence de pétrole et la fluorescence des matériaux organiques.

d'eau dans certaines régions, ce qui donne à l'eau une consistance épaisse; ces concentrations extrêmement denses de phytoplancton ont des conséquences fatales pour de nombreux poissons et autres organismes marins. Dans des conditions favorables, la matière organique est incorporée à la série sédimentaire mais n'est pas encore transformée en hydrocarbures. La conversion de matière organique en hydrocarbures est un processus de réchauffement lent qui prend des dizaines ou des centaines de millions d'années. Lorsque le processus est achevé, on dit que le matériel est mature, par opposition au matériel immature qui n'a pas été réchauffé assez longtemps pour produire des hydrocarbures. Dans les régions où les gradients géothermiques et la température sont faibles, le processus est plus long. L'âge ou la profondeur de la zone mature ne peuvent donc être généralisés à l'échelle mondiale. Cette zone doit être établie pour chaque région et, ce cadre une fois fixé, il faut tenir compte des situations normales causées par des variations locales du gradient géothermique pendant la vie du bassin sédimentaire. C.E. Keen évoque certains aspects de la question dans une autre section.

Depuis cinq ans, il devient de plus en plus évident que l'immaturité des sédiments forés explique en grande partie l'absence d'hydrocarbures dans maintes régions explorées de la plate-forme Scotian et des Grands Bancs. Il est donc important de déterminer la profondeur et l'âge de la zone mature et, pour trouver des hydrocarbures, comprendre comment et pourquoi cette zone varie d'une région à l'autre. L'utilisation de la fluorescence offre un potentiel intéressant parce que les recherches en cours montrent que l'apparition de fluorescence thermo-chimique coïncide avec le début de l'apparition d'hydrocarbures dans les roches.

Les variations de la fluorescence observées dans le puits P-15 d'Hibernia illustrent l'application de cette technique. Ce puits, localisé dans la partie est des Grands Bancs, s'enfonce jusqu'à une profondeur de 4 407 m et se termine dans des sédiments du Jurassique supérieur. Des hydrocarbures ont été récupérés à divers horizons dans des grès du Crétacé inférieur, entre 2 422 et 2 443 m, puis entre 3 742 et 4 134 m. Les venues les plus importantes se sont situées entre 3 742 et 3 858 m.

Dans les sédiments les plus jeunes du

Les palynologues du Centre géoscientifique de l'Atlantique ont examiné les sédiments provenant d'un important puits de pétrole, Kopanoar M-13, dans la mer de Beaufort. La différenciation des fossiles remaniés est difficile à faire par les techniques optiques normales, mais si on utilise un filtre à bande large pour examiner les parties jaune et rouge du spectre, on peut repérer plusieurs populations d'espèces remaniées à cause de leurs caractéristiques de fluorescence différentes. En utilisant cette technique, le palynologue peut identifier des espèces provenant de ce puits et ainsi dater les sédiments dans lesquels elles se présentent. Cette identification est souvent impossible si l'on n'utilise pas la fluorescence, parce que les spécimens sont parfois trop pâles pour être identifiés en lumière ordinaire.

Fluorescence thermo-chimique

La matière organique qui émet une fluorescence thermo-chimique est généralement plus ancienne que celle qui émet

une fluorescence biochimique. Contrairement à la fluorescence biochimique, les couleurs bleues et vertes ne sont pas présentes; la fluorescence thermo-chimique se caractérise donc par les couleurs de l'extrémité jaune-rouge du spectre. La fluorescence thermo-chimique semble être liée à des changements, causés principalement par le réchauffement, de la structure moléculaire de la matière organique; les molécules nouvellement formées sont donc capables de fluorescence. Celle-ci est en général confinée à la partie de sédiments anciens qui a été réchauffée pendant une longue période géologique, ou à du matériel plus jeune qui a été soumis à un réchauffement plus intense pendant des périodes plus courtes, et le phénomène est étroitement associé à la formation de pétrole.

Les hydrocarbures se forment essentiellement à partir de résidus de phytoplancton unicellulaire tels les diatomées et les dinoflagellés. La concentration saisonnière de ces organismes peut atteindre plusieurs millions d'individus par litre

puits, qui datent du Cénozoïque inférieur et se trouvent entre environ 225 et 1 400 m, les parois organiques des kystes de dinoflagellés montrent une fluorescence biochimique jaune, orange et rouge. Etant donné que les sédiments les plus proches de la surface sont déjà trop vieux, on ne trouve pas dans le puits de matériaux capables de fluorescence bleue et verte à faible longueur d'ondes. Les matériaux de l'Oligocène présentent une fluorescence jaune, alors que les plus vieux, qui datent de l'Eocène et du Paléocène, ont une fluorescence orange et rouge. Passé 1 400 m environ, dans le Crétacé supérieur et la plus grande partie du Crétacé inférieur, certains matériaux montrent une fluorescence biochimique d'un rouge terne, mais la plupart des parois organiques ne semblent en montrer aucune.

Un changement net et abrupt se manifeste à environ 3 800 m dans le puits. Contrairement aux sédiments sus-jacents, situés entre 1 400 et 3 800 m, dans lesquels la plupart des matériaux ne montrent aucune fluorescence, les parois organiques trouvées à plus de 3 835 m montrent de façon soudaine une fluorescence jaune vif. Cette fluorescence est d'origine thermochimique et coïncide avec l'apparition d'hydrocarbures qui se trouvent dans une zone mature qui plafonne dans le puits à 3 800 m.

L'identification de cette zone mature dans le puits d'Hibernia est importante parce qu'il est ensuite possible de voir si le pétrole a migré et, s'il en est ainsi, d'où il provient. Le déplacement depuis la roche-mère dans laquelle il a été formé à l'origine, à travers des roches poreuses ou le long de failles ou de fissures dans la roche, vers une roche-réservoir, est ce qu'on appelle la migration du pétrole. Contrairement au pétrole, les microfossiles à parois organiques, dont on étudie la fluorescence, demeurent emprisonnés dans les sédiments dans lesquels ils ont été déposés à l'origine: leur fluorescence caractérise donc les roches dans lesquelles ils se présentent. Le géologue peut donc être certain que les roches qui contiennent les microfossiles à fluorescence thermochimique sont matures et que des roches plus jeunes sans microfossiles à fluorescence thermochimique sont immatures.

Dans le puits P-15 d'Hibernia, la fluorescence montre que les sédiments situés à moins de 3 800 m sont immatures

et que ceux qui se trouvent à plus de 3 800 m sont matures. Les hydrocarbures présents dans les roches-réservoirs au-dessus de cette profondeur doivent donc avoir migré de leurs roches-mères, situées dans la zone mature, et peuvent s'être déplacés sur une certaine distance latéralement et verticalement. Les hydrocarbures présents à plus de 3 800 m sont situés dans une zone mature et peuvent avoir migré sur une courte distance seulement.

Bien que l'utilisation de la fluorescence pour examiner la matière organique fossile soit une innovation relativement ré-

cente, cette technique s'est déjà montrée précieuse pour la datation de sédiments extrêmement remaniés, comme ceux de la mer de Beaufort, et pour la détermination de zones pétrolifères matures, comme c'est le cas pour le puits P-15 d'Hibernia. De cette façon, on peut sélectionner de façon beaucoup plus précise les sites et les cibles de puits d'exploration car les chercheurs connaissent mieux les mécanismes de formation des hydrocarbures et les changements correspondants de la fluorescence de la matière organique.

Le cône Laurentien

D.J.W. Piper

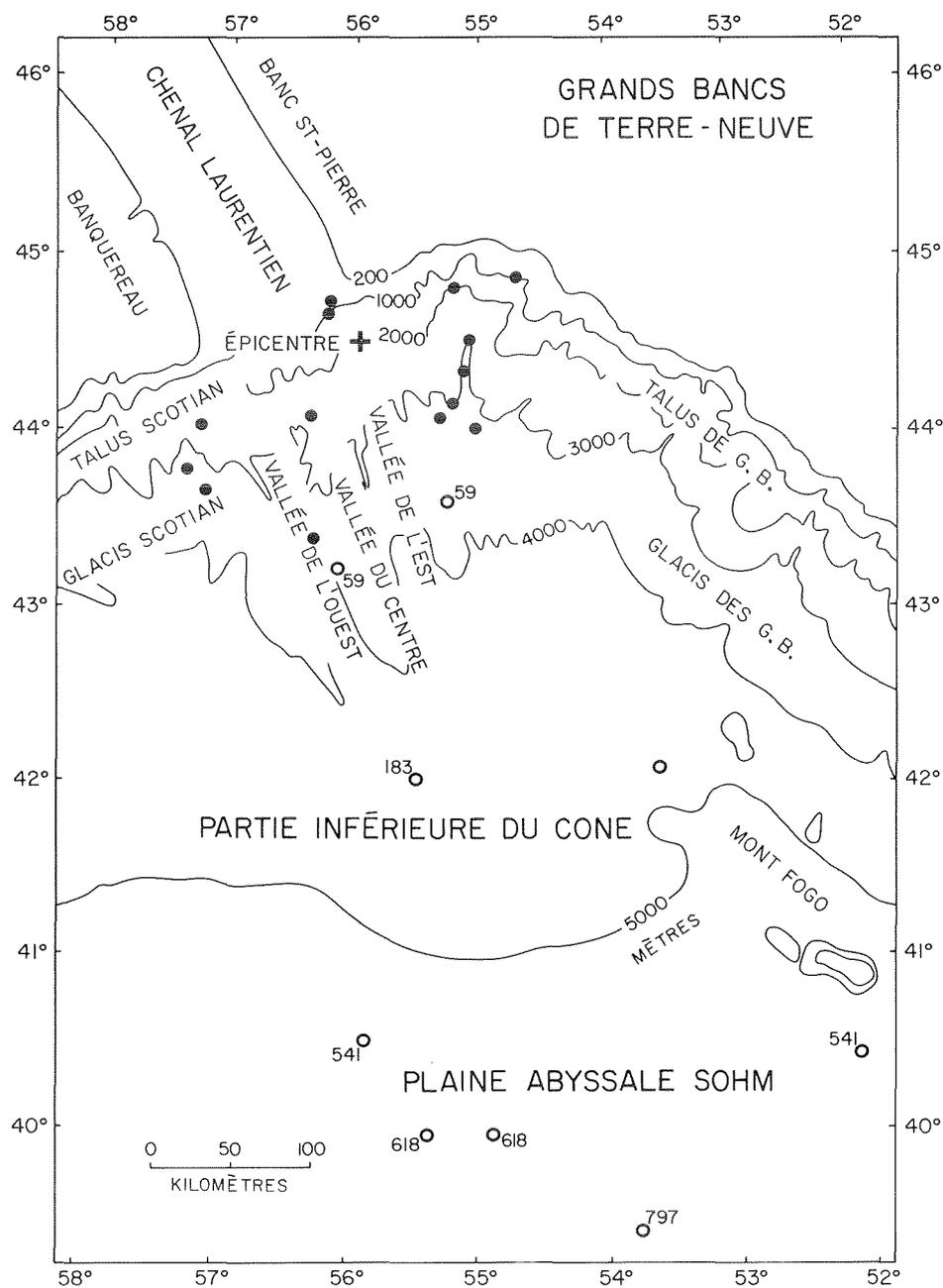
Le chenal Laurentien, dépression profonde qui s'étend du golfe Saint-Laurent à la bordure de la plate-forme continentale, et le cône Laurentien, importante accumulation de sédiments au pied de la pente continentale, sont les deux plus grandes formations morphologiques non liées à la configuration de la roche en place sur la marge continentale sud-est du Canada.

Les mesures effectuées par sismique réflexion permettent de cartographier les couches de sédiments sous le fond océanique du cône Laurentien, et leur configuration conduit à une interprétation de leur accumulation (Piper et Normak, 1982). On peut tenter de faire correspondre certaines couches à celles que l'on a relevées dans des puits exploratoires situés sur la plate-forme Scotian et sur les Grands Bancs, ainsi que dans des trous forés en eaux profondes à des fins scientifiques par le *Glomar Challenger*. La corrélation semble indiquer que pendant les deux ou trois derniers millions d'années, 0,5 à 1,5 km de sédiments se sont accumulés sur le cône Laurentien au-dessus de sédiments plus anciens à caractéristiques acoustiques différentes (Uchupi et Austin, 1979). Cette variation de la sédimentation serait probablement associée au début de l'importante glaciation qui a eu lieu au Canada il y a deux à trois millions d'années.

Pendant la glaciation, le niveau de la mer s'est périodiquement abaissé, ce qui a permis aux rivières de transporter des sédiments à travers la plate-forme continentale jusqu'au sommet du talus. Des conditions semblables d'accumulation

rapide de sédiments sur la pente continentale existent aujourd'hui en des points où la plate-forme continentale est étroite, comme au large du delta du Mississipi, du delta de la Magdalena, dans le nord de la Colombie, et dans la région de San Diego, en Californie. Dans de telles conditions, les canyons sous-marins des pentes continentales semblent canaliser les sédiments de la plate-forme vers les eaux plus profondes, où ils s'accumulent en cônes abyssaux. Généralement, un canyon alimente un cône abyssal, de la même façon que les canyons, dans les régions semi-désertiques, alimentent les cônes de déjection.

Les sédiments sont déposés sur les cônes abyssaux par des courants sous-marins occasionnels, importants, rapides et chargés de sédiments qu'on appelle courants de turbidité. Ces masses d'eau s'écoulent parce qu'elles sont beaucoup plus denses que l'eau de mer, alors que certaines de leurs caractéristiques les rapprochent des rivières en crue. Les courants de turbidité peuvent provenir de courants sagittaux qui transportent des sédiments côtiers vers le rebord de la pente continentale ou du brassage des sédiments et de l'eau lors de glissements de terrain sur des pentes sous-marines abruptes comme celles d'un delta. A cause de leur rareté et de leur force destructrice, les courants de turbidité puissants ne peuvent être observés directement en mer, et la plupart de l'information qui les concerne est simplement déduite de leurs effets et des sédiments qu'ils déposent. Il semblerait que les



Carte bathymétrique du cône Laurentien montrant la rupture des câbles quelques minutes après le tremblement de terre de 1929.

courants de turbidité dévalent les canyons sous-marins, remodelent les chenaux de la partie supérieure du delta sous-marin, puis s'étendent et déposent leur charge sur une grande portion du cône et, au-delà, sur la plaine abyssale.

Les profils obtenus par sismique réflexion suggèrent que, jusqu'à il y a 1 à 0,5 million d'années, le cône Laurentien était alimenté par un chenal unique et composé de sédiments provenant des courants de turbidité et s'accumulant en un cône abyssal typique. Depuis lors, deux ou trois chenaux se sont développés sur le cône; parfois les sédiments s'y accumulent, mais une érosion importante s'y fait sentir

depuis peu (Piper et Normark, 1982).

Aujourd'hui, le cône Laurentien, contrairement à la plupart des cônes abyssaux, possède deux chenaux principaux, qui mesurent environ 15 km de largeur et sont érodés jusqu'à une profondeur de 700 m par rapport à la surface du cône. Ces chenaux débutent en une série de petits affluents sur la pente continentale: il n'existe donc pas de canyon continu communiquant avec les eaux peu profondes. Des expéditions océanographiques menées récemment par l'IOB ont montré que des sédiments en couches ne se sont pas accumulés sur la pente à la tête du cône Laurentien, au large du chenal

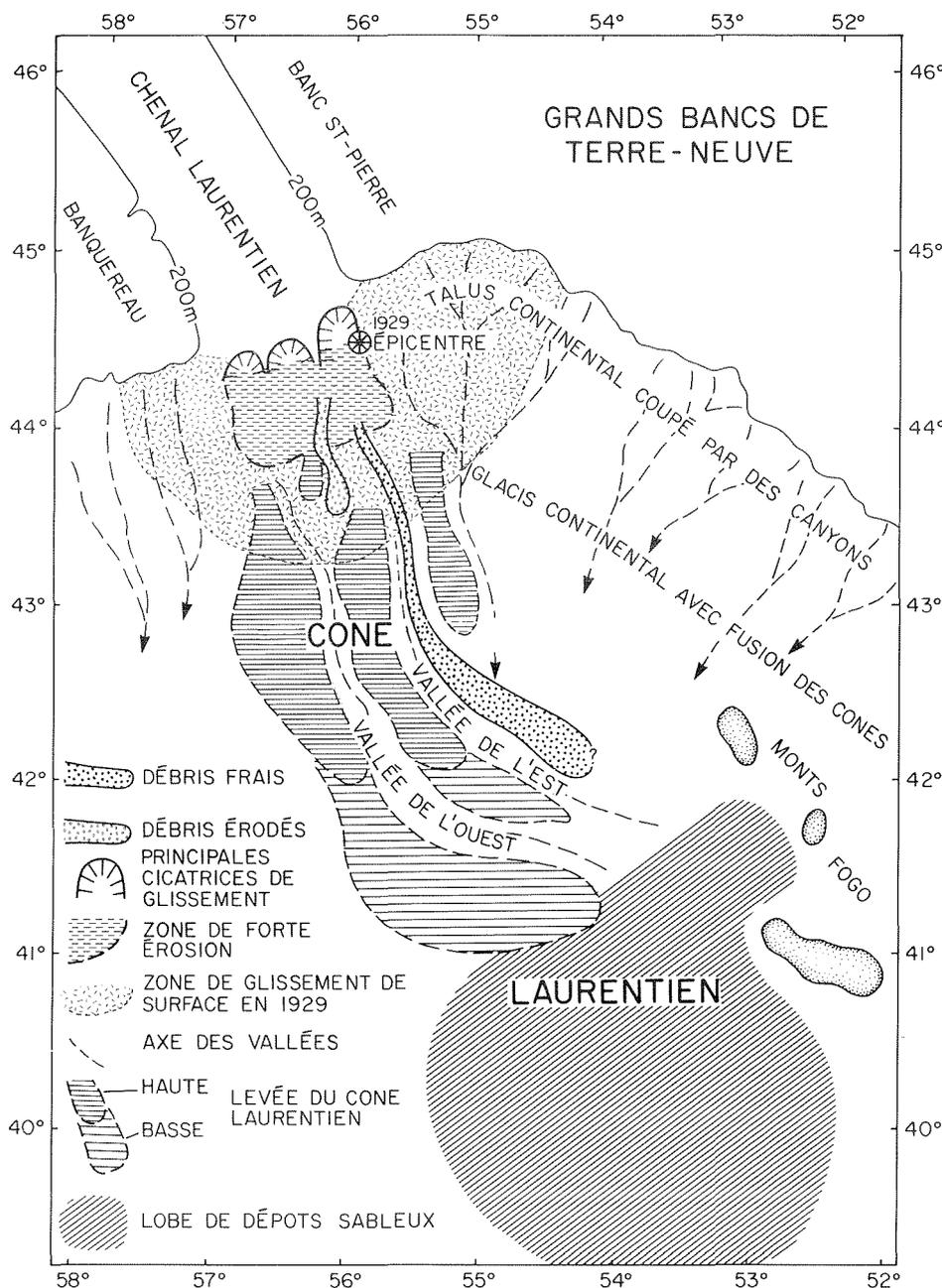
Laurentien. Des profils de sismique réflexion et des images obtenues au sonar à balayage latéral montrent des gros blocs de sédiments qui ont glissé, ainsi que des coulées boueuses de 200 m d'épaisseur et de plusieurs kilomètres de largeur. Le cône Laurentien se serait donc accru récemment à cause de l'éboulement et du glissement de sédiments sur la pente continentale.

L'existence d'un tel glissement est sérieusement confirmée par des études du déplacement des sédiments à la suite du tremblement de terre des Grands Bancs, en 1929, dont l'amplitude était de 7,2 et l'épicentre situé sur la pente continentale au-dessus du cône Laurentien. A cette époque, un grand nombre de câbles télégraphiques sous-marins traversaient la région près de l'épicentre et au sud du cône Laurentien. Ceux qui étaient situés à moins de 100 km de l'épicentre furent brisés instantanément; plus au sud, ils se rompirent successivement, d'une à 13 heures après le tremblement de terre, et les câbles les plus au sud se brisèrent les derniers (Doxsee, 1948). On a supposé que les câbles proches de l'épicentre se sont brisés sous l'action d'éboulements et de glissements de sédiments déclenchés par le tremblement de terre sur les pentes abruptes; les câbles situés plus loin, par une coulée boueuse ou un courant chargé de sédiments – courant de turbidité – créé par du matériel éboulé mélangé à de l'eau de mer et descendant la pente à des vitesses de 73 à 41 km/h. Cette théorie, qui au début des années 1950 a fermement étayé l'hypothèse des courants de turbidité pour expliquer le transport des sédiments (Heezen et Ewing, 1952), a été confirmée par des travaux ultérieurs. On a trouvé du sable nouvellement déposé à la surface de la plaine abyssale Sohm, au sud du cône Laurentien (Fruth, 1965). Une coulée boueuse non érodée a été cartographiée par D.G. Roberts, de l'Institut britannique d'océanographie, à l'aide d'un sonar à balayage latéral en eaux profondes; des carottes prélevées récemment montrent qu'aucun sédiment pélagique ne s'est accumulé au-dessus de la coulée boueuse, ce qui semble indiquer qu'elle est très jeune. Des profils à haute résolution, obtenus par sismique réflexion, montrent qu'il "manque" des segments de sédiments en couches pouvant mesurer jusqu'à 10 m d'épaisseur sur les pentes les plus abruptes, dans un rayon de 100 km autour de l'épicentre du séisme; ces seg-

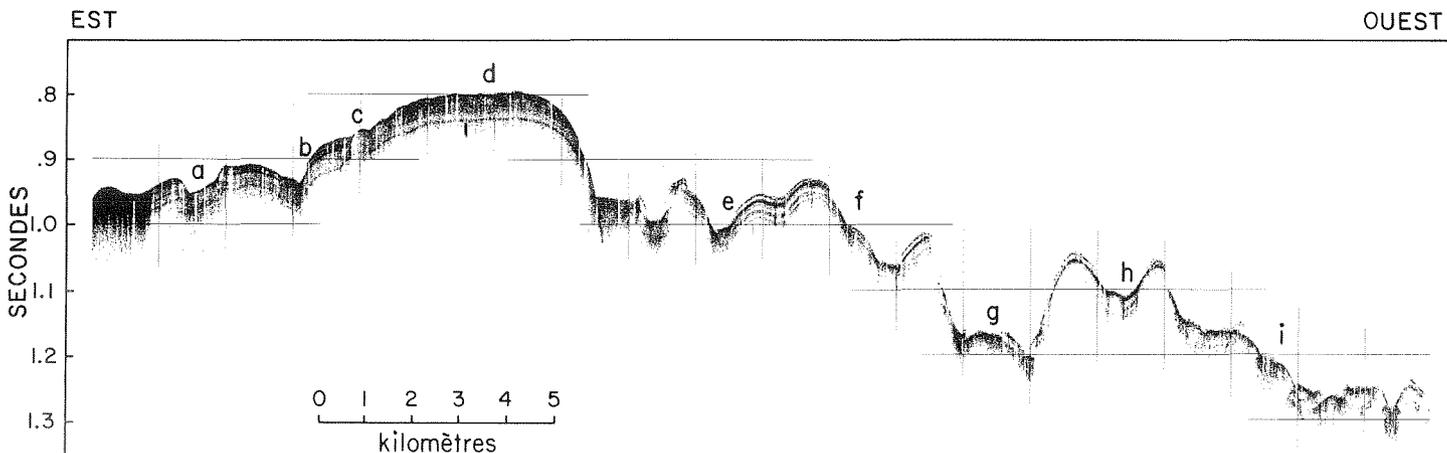
ments auraient probablement disparu lors d'éboulements sous-marins. Aucun sédiment n'apparaît dans les carottes au-dessus de ces cicatrices de glissement, ce qui confirme leur origine récente; par ailleurs, la distribution géographique des cicatrices se compare à celle de la rupture instantanée des câbles en 1929.

Des profils obtenus par sismique réflexion montrent des coulées boueuses plus anciennes, aujourd'hui partiellement érodées ou enfouies sous les sédiments, ainsi que des horizons plus profonds révélant de nombreuses petites cicatrices d'éboulements de terrain. Une coulée boueuse ancienne, âgée peut-être de quelques centaines de milliers d'années, a constitué un dépôt en forme de lobe qui bloquait l'extrémité de la vallée à quelque 250 m vers l'aval du cône. La vallée a formé un coude abrupt vers l'est à mesure que s'accumulaient d'autres sédiments provenant de courants de turbidité apparus par la suite. La fréquence de ces horizons de coulées boueuses et de glissements de terrains suggère que les séismes dont les effets sont aussi sérieux que ceux du tremblement de 1929 sont très rares.

Des carottes qui atteignent 10 m de long, prélevées à la surface du cône Laurentien, révèlent des lits de sable et de boue de composition semblable à celle du till glaciaire du chenal Laurentien; de plus, leur structure est caractéristique des sédiments déposés par des courants de turbidité (Stow, 1981). Ces lits se présentent jusqu'à une hauteur de 700 m par rapport au fond des vallées, qui sont pour la plupart recouvertes de gravier et de sable grossier; certains courants de turbidité ont donc dû avoir une dimension suffisante pour atteindre cette hauteur. La granulométrie du matériel déposé par ces



Dessin de la partie supérieure du cône Laurentien montrant la répartition des glissements et des coulées boueuses.



Profil acoustique (3, 5 kHz) montrant des lacunes dans la série sédimentaire sur le talus continental au-dessus du cône Laurentien à la suite du glissement de 1929.

courants, intégrée à des modèles physiques des courants de turbidité – modèles basés sur la théorie hydrodynamique et sur des expériences en laboratoire – suggère que les courants de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur étaient des masses d'eau trouble, animées d'un mouvement lent (0,5 km/h), et qu'ils pouvaient durer plusieurs jours (Stow et Bowen, 1980). Ces courants sont très différents de celui qui serait apparu après le séisme de 1929, courant rapide mais étroit, et transportant une grande quantité de sédiments grossiers. Les courants boueux sont apparemment liés aux périodes de glaciation, où ils sont beaucoup plus fréquents (peut-être tous les 100 ans) que les coulées boueuses et les courants de turbidité de même type que ceux de 1929. Leur présence pendant les périodes de glaciation suggère qu'ils sont liés à l'apport de sédiments et peut-être d'eau très froide. Pendant la glaciation, des langues de glace ou des icebergs du chenal Laurentien fondaient rapidement en atteignant l'eau plus chaude du large, et déposaient leur charge sur la pente continentale, où un petit séisme suffisait à mettre en mouvement les sédiments instables.

On ne sait pas encore précisément comment la croissance du cône Laurentien est liée à l'histoire de la glaciation sur la plate-forme continentale adjacente. Le passage abrupt d'un cône de déjection à chenal unique à un cône partiellement érodé à chenaux multiples se produisit il y a environ 1 à 0,5, million d'années, et pourrait être lié au creusement du chenal Laurentien par les glaciers. Avant d'être érodée, la partie externe de la plate-forme aurait été un banc peu profond exposé à l'air libre toutes les fois que le niveau de la mer s'abaissait pendant une glaciation. Après l'érosion du chenal Laurentien, cette zone devint une région plus profonde qui permettait le transport des sédiments glaciaires par des glaces flottantes. Des processus semblables pourraient s'être produits ailleurs sur la pente continentale de la côte est du Canada. Il est important de comprendre leur histoire afin de pouvoir évaluer la stabilité du fond aux endroits de la pente continentale où on prévoit d'exploiter les hydrocarbures.

Nous ne comprenons pas non plus en détail comment apparaissent les différents types de courants de turbidité présents sur le cône, ni leur importance relative dans

la constitution du cône Laurentien et de la plaine abyssale Sohm. A cause de la morphologie exceptionnelle du fond marin, des données sur la vitesse de déplacement relevées en 1929 et du très grand éventail granulométrique des sédiments présents, le cône Laurentien est un excellent laboratoire nature qui permet de répondre à des questions fondamentales sur la nature de l'écoulement des courants de turbidité et sur l'accumulation des sédiments.

Références

- DOXSEE, W.W. 1948. The Grand Banks earthquake of November 18, 1929. *Publications of the Dominion Observatory* 7 (7): 323-337.
- FRUTH, L.S. 1965. The 1929 Grand Banks turbidite and the sediments of the Sohm Abyssal Plain. Unpublished M.Sc. thesis, Columbia University, New York: 257 p.
- HEEZEN, B.C. and EWING, M. 1952. Turbidity currents and submarine slumps and the 1929 Grand Banks earthquake. *American Journal of Science* 250: 849-873.
- PIPER, D.J.W. and NORMARK, W.R.. In press. Quaternary sedimentation and erosion on the channelled upper Laurentian Fan. *Canadian Journal of Earth Sciences* 18.
- STOW, D.A.V. 1981. Laurentian Fan: morphology, sediments, processes and growth pattern. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 65: 375-393.
- STOW, D.A.V. and BOWEN, A.J. 1980. A physical model for the transport and sorting of fine-grained sediment by turbidity currents. *Sedimentology* 27: 31-46.
- UCHUPI, E. and AUSTIN, J. 1979. The stratigraphy and structure of the Laurentian cone region. *Canadian Journal of Earth Sciences* 16: 1726-1752.

Cartes et Publications de 1981

PRODUCTION DES CARTES NAUTIQUES

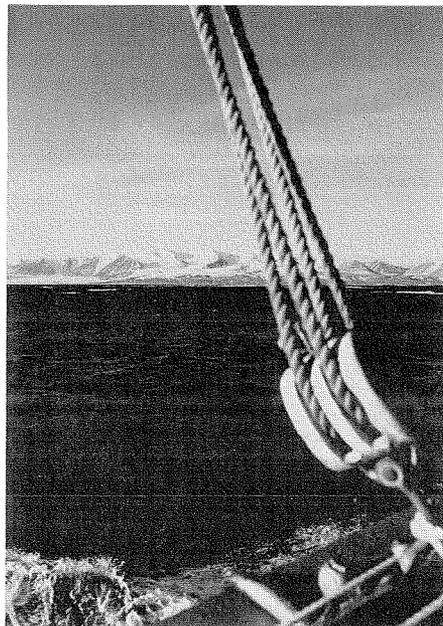
Le bureau de la région de l'Atlantique du Service hydrographique du Canada possède un effectif de 25 cartographes chargés d'établir 436 cartes de navigation qui couvrent la région allant de la baie de Fundy au détroit du Prince-de-Galles dans l'Arctique.

En 1981, la production de nouvelles cartes s'est poursuivie: dix-neuf étaient en cours de préparation, dont douze à l'étape finale: cinq des lacs Bras-d'Or, cinq de la rivière St-Jean (N.-B.), une de la baie Miramichi (N.-B) et une de la baie Ste-Marie (T.-N.). Cinq nouvelles éditions (4459, 4514, 5138, 7194 et 7831) sont terminées: deux de l'Arctique, une du Labrador, une de Terre-Neuve et une de l'Île-du-Prince-Édouard. En outre, nous avons produit dix-sept tracés du réseau Loran-C, dont seize ont fait l'objet d'un contrat. Le bureau de la région de l'Atlantique du SHC s'est occupé du contrôle des travaux et de toutes les corrections et reproductions. Outre les nouvelles éditions et les corrections indiquées ci-dessous, nous avons effectué en 1981 cent réimpressions pour répondre aux demandes de cartes pour la navigation et la pêche. Nous avons aussi publié au cours de l'année la première édition d'un Atlas des courants de marée de la baie de Fundy et du golfe du Maine.

Nouvelles éditions

- 4023 Northumberland Strait (Loran-C)
- 4317 Liscomb Island to Egg Island (Decca)
- 4317 Liscomb Island to Egg Island (Loran-C)
- 4320 Egg Island to West Ironbound Island (Decca)
- 4320 Egg Island to West Ironbound Island (Loran-C)
- 4321 Cape Canso to Liscomb Island (Decca)

- 4321 Cape Canso to Liscomb Island (Loran-C)
- 4363 Cape Smoky to St. Paul Island (Decca)
- 4363 Cape Smoky to St. Paul Island (Loran-C)
- 4367 Flint Island to Cape Smoky (Decca)
- 4367 Flint Island to Cape Smoky (Loran-C)
- 4374 Red Point to Guyon Island (Decca)
- 4374 Red Point to Guyon Island (Loran-C)
- 4375 Guyon Island to Flint Island (Decca)



Roger Bélanger 4926

L'île Bylot, dans l'Arctique oriental.

- 4375 Guyon Island to Flint Island (Loran-C)
- 4404 Cape George to Pictou (Decca)
- 4404 Cape George to Pictou (Loran-C)
- 4405 Pictou Island to Tryon Island (Decca)
- 4405 Pictou Island to Tryon Island (Loran-C)
- 4406 Tryon Shoals to Cape Egmont (Decca)
- 4406 Tryon Shoals to Cape Egmont (Loran-C)
- 4451 Iles de la Madeleine (Decca)
- 4451 Iles de la Madeleine (Loran-C)

- 4459 Summerside Harbour and Approaches/et les approches
- 4700 Belle Isle to Resolution Island (Loran-A and -C)
- 7194 Cape Hooper to Arguyartu Point including Ekalugad Fiord
- 7831 Viscount Melville Sound and/et McClure Strait
- 8012 Flemish Pass (Decca)
- 8012 Flemish Pass (Loran-A)
- 8012 Flemish Pass (Loran-C)
- 8013 Flemish Cap (Decca)
- 8013 Flemish Cap (Loran-A)
- 8013 Flemish Cap (Loran-C)
- 8014 Grand Banc Partie Nord-Est/Grand Bank Northeast Portion (Decca)
- 8014 Grand Banc Partie Nord-Est/Grand Bank Northeast Portion (Loran-A)
- 8014 Grand Banc Partie Nord-Est/Grand Bank Northeast Portion (Loran-C)
- 8049 St. Michael Bay to Gray Islands (Decca, Loran-A, and Loran-C)

Corrections importantes (annexes)

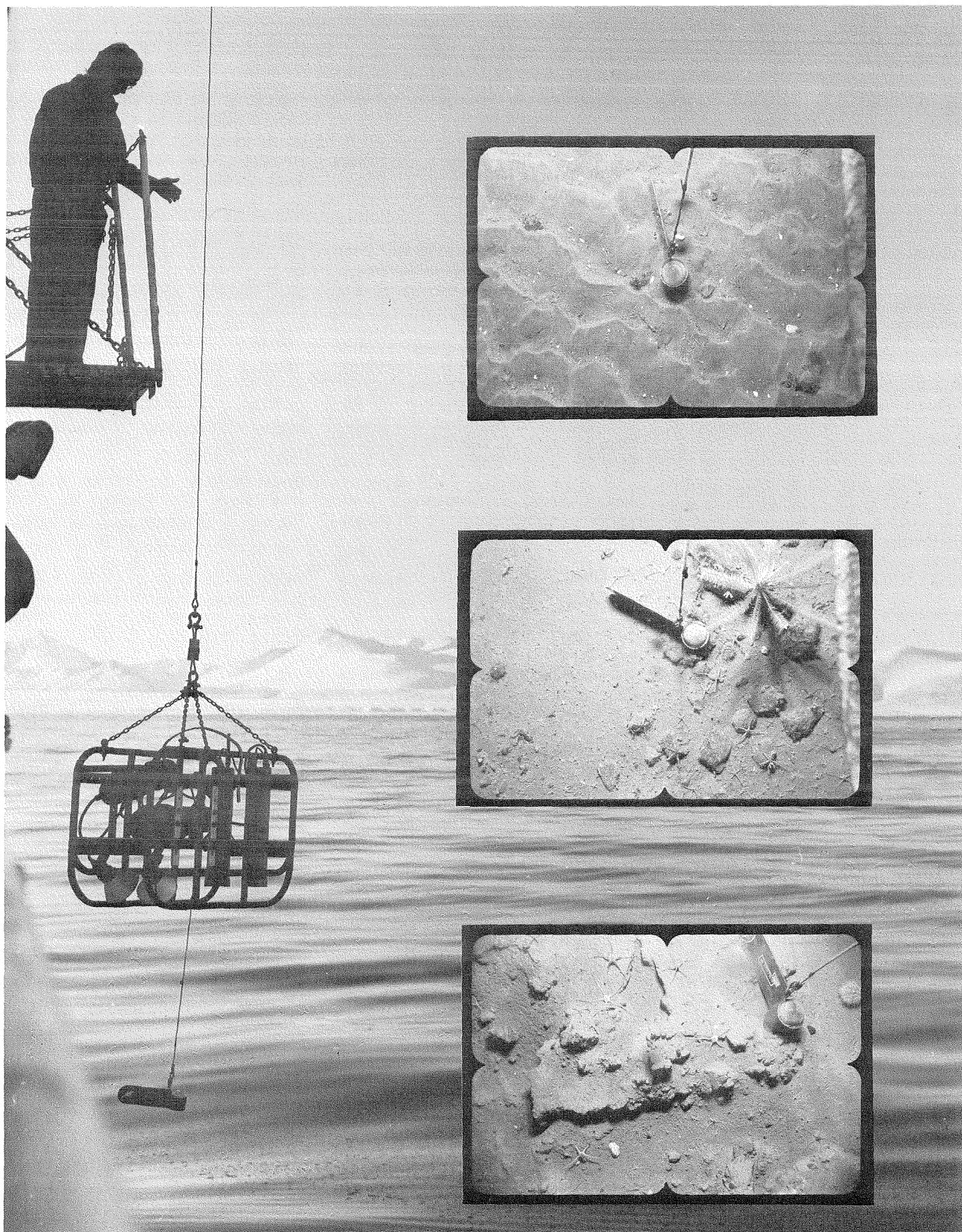
- 4281 Canso Harbour and Inner Approaches
- 4310 Bedford Basin
- 4316 Halifax Harbour
- 4426 Restigouche River
- 4483 Caribou Harbour
- 5300 Ungava Bay
- 4637 The Burgeo Islands
- 4771 Eclipse Harbour to Cape White Hankerchief
- 4776 Entrance to Saglek Bay to Button Islands
- 4647 Fort Harmon and Approaches
- 5340 Approach to Sorry Harbour
- 8046 Button Islands to Cod Island
- 4581 Long Pond
- 7220 Lancaster Sound, Eastern Approaches/Approches Est
- 7250 Pond Inlet

PUBLICATIONS

Voici une liste alphabétique par auteur des articles scientifiques rédigés par des membres de l'IOB qui ont été publiés en 1981 dans des revues scientifiques, des livres, des comptes-rendus de réunions et des rapports d'autres organismes. Des rapports techniques publiés par l'Institut et par d'autres organismes fédéraux canadiens sont ensuite présentés par séries.

- ADDISON, R.F., ZINCK, M.R., and ILLIS, D.E. 1981. Time- and dose dependence of hepatic mixed function oxidase activity in brook trout *Salvelinus fontinalis* on polychlorinated biphenyl residues: implications for 'biological effects monitoring'. *Environmental Pollution (Series A)* 25: 211-218.
- AGTERBERG, F.P. and GRADSTEIN, F.M. 1981. Workshop on quantitative stratigraphic correlation techniques: Ottawa, February 1980. *Journal of the International Association for Mathematical Geology* 13: 81-91.
- ALAM, M. and PIPER, D.J.W. 1981. Detrital mineralogy of the deep water continental margin off Newfoundland. *Canadian Journal of Earth Sciences* 18: 1336-1345.
- ANDERSON, R.J. and SMITH, S.D. 1981. Evaporation coefficient for the sea surface from eddy flux measurements. *Journal of Geophysical Research* 86 (C1): 449-456.
- ANDREWS, D. and BENNETT, A. 1981. Measurements of diffusivity near the sediment-water interface with a fine-scale resistivity probe. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 45: 2169-2175.
- BEACHAM, T.D. 1981. Variability in growth during the first 3 years of life of cod (*Gadus morhua*) in the southern Gulf of St. Lawrence. *Canadian Journal of Zoology* 59: 614-620.
- BEARDSLEY, R.C. and SMITH, P.C. 1981. The mean, seasonal and subtidal circulations in the Georges Bank and Gulf of Maine region. In Proceedings of the Informal Workshop on the Oceanography of the Gulf of Maine and adjacent areas. University of New Hampshire, Report UNH-173: 9-16.
- BERNSTEIN, B.B., WILLIAMS, B.E., and MANN, K.H. 1981. The role of behavioural responses to predators in modifying urchins' (*Strongylocentrotus droebachiensis*) destructive grazing and seasonal foraging patterns. *Marine Biology* 63: 39-49.
- BEWERS, J.M., DALZIELL, J., YEATS, P.A., and BARRON, J.L. 1981. An intercalibration for trace metals in seawater. *Marine Chemistry* 10: 173-193.
- BEWERS, J.M. and YEATS, P.A. 1981. Behaviour of trace metals during estuarine mixing. In River Inputs to Ocean Systems; Proceedings of a Review Workshop, FAO Headquarters, Rome, Italy Mar. 26-30, 1979. Paris; UNESCO Press: 103-115.
- BIRKHEAD, T.R. and NETTLESHIP, D.N. 1981. Reproductive biology of Thick-billed Murres *Uria lomvia* - an inter-colony comparison. *Auk* 98: 258-269.
- BRODIE, P.F. 1981. Energetic and behavioural considerations with respect to marine mammals and disturbance from underwater noise. In The Question of Sound from Icebreaker Operations, Ed. M. Peterson. Proceedings of a Workshop, Toronto Feb. 22-24, 1981. Arctic Pilot Project, Petro-Canada: 350 pp.
- BRODIE, P.F. 1981. A preliminary investigation of the energetics of the Bowhead Whale (*Balaena mysticetus* L.). International Whaling Commission, Report 31: 501-502.
- BRODIE, P.F. 1981. Marine mammals in the ecosystem of the Canadian east coast. In Proceedings of a Symposium on the Offshore Environment in the 80's, St. John's, Newfoundland, Dec. 2-4, 1980. Nova Scotia Department of the Environment.
- BRODIE, P.F., PARSONS, J.L., and SERGEANT, D.E. 1981. Present status of the White Whale (*Delphinapterus leucas*) in Cumberland Sound, Baffin Island. International Whaling Commission, Report 31: 579-582.
- BROWN, L.M., HARGRAVE, B.T., and MacKINNON, M.D. 1981. Analysis of chlorophyll *a* in sediments by high-pressure liquid chromatography. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 38: 205-214.
- BROWN, R.G.B. 1981. Observations of flying-fish (Exocoetidae) between northern Peru and Panama, October-December 1977. Boletín Instituto del Mar del Perú, Vol. Extraordinario: 43-45.
- BROWN, R.G.B. 1981. Seabirds in northern Peruvian waters, November-December 1977. Boletín Instituto del Mar del Perú, Vol. Extraordinario: 34-42.
- BROWN, R.G.B. 1981. Seabirds at sea. *Oceanus* 24: 31-38.
- BROWN, R.G.B. 1981. Was Coleridge's 'Albatross' a Giant Petrel? *Ibis* 123: 551.
- BROWN, R.G.B., BARKER, S.P., GASKIN, D.E., and SANDEMAN, M.R. 1981. The foods of Greater and Sooty Shearwaters *Puffinus gravis* and *P. griseus* in eastern Canadian waters. *Ibis* 123: 19-30.
- BROWN, R.G.B. and NETTLESHIP, D.N. 1981. The biological significance of polynyas to Arctic colonial seabirds. In Polynyas in the Canadian Arctic, Eds. I. Stirling and H. Cleator. Canadian Wildlife Service, Occasional Paper 45: 73 pp.
- BUCKLEY, D.E. 1981. Site selection task group: Canada. In Proceedings of the Sixth Annual Nuclear Energy Agency - Seabed Working Group Meeting, Ed. D.R. Anderson. Sandia National Laboratories (USA), Sandia Report, Sand 81-047: 93-111.
- BUCKLEY, D.E. 1981. Geological investigation of a selected area of the Sohm Abyssal Plain, western Atlantic: CSS Hudson cruise 80-016. Atomic Energy of Canada Limited, Report TR-168.
- BUGDEN, G.L. 1981. Salt and heat budgets for the Gulf of St. Lawrence. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 38: 1153-1167.
- BUJAK, J.P. 1981. Proposed phylogeny of the dinoflagellates Rhombodinium and Gochtodinium. *Micropaleontology* 25: 308-324.
- BUJAK, J.P. and DAVIES, E.H. 1981. Neogene dinoflagellate cysts from Hunt-Dome Kopanoar M-13 Well, Beaufort Sea, Canada. *Bulletin of Canadian Petroleum Geologists* 29: 420-425.
- BUJAK, J.P., DOWNIE, C., EATON, G.L., and WILLIAMS, G.L. 1981. Dinoflagellate cysts from the Eocene of southern England. *Special Paper in Palaeontology no. 24* (London: The Palaeontology Association 1980).
- BUJAK, J. and WILLIAMS, G.L. 1981. The evolution of dinoflagellates. *Canadian Journal of Botany* 59: 2077-2087.
- CAMPBELL, J.A. and YEATS, P.A. 1981. Dissolved chromium in the northwest Atlantic Ocean. *Earth and Planetary Science Letters* 53: 427-433.
- CONOVER, R.J. 1981. Nutritional strategies for feeding on small suspended particles. In Analysis of Marine Ecosystems, Ed. A.R. Longhurst. London and Toronto; Academic Press: 369-395.
- CRANSTON, R.E. 1981. Summary of sediment and pore water analyses of samples from the Sohm Abyssal Plain: CSS Hudson cruise 80-016. Atomic Energy of Canada Ltd., Technical Report TR-167.

- DEN HARTOG, G., SMITH, S.D., ANDERSON, R.J., PERKIN, R.G., and TOPHAM, D.R. 1981. Arctic Polynya III surface heat flux. *EOS* 62: 902.
- DESSUREAULT, J.-G., BROOKE, J., and ELLIOTT, J.A. 1981. The motion of a 9.1 m yacht hull buoy moored in open ocean. *Ocean Engineering* 9: 65-97.
- DESSUREAULT, J.-G. and HARVEY, D.R. 1981. The design of a thrust anemometer for a drifting buoy. *Oceans '81, Conference Record 1*: 411-414.
- DICKIE, L.M. 1981. Size compositions of net plankton taken off northern Peru. Boletín Instituto del Mar del Perú, Vol. Extraordinario: 62-66.
- DICKIE, L.M. and VALDIVIA G., J.E. 1981. Informe sumario = a summary report. Boletín Instituto del Mar del Perú, Vol. Extraordinario: XIII-XX11.
- DUNSINGER, A.D., CHARI, T.R., FADER, G.B., PETERS, G.R., SIMPKIN, P.G., and ZIELINSKI, A. 1981. Ocean sediments – A study relating geophysical, geotechnical and acoustic properties. *Canadian Geotechnical Journal* 18: 492-501.
- DUNSINGER, A.D. and COCHRANE, N.A. 1981. Sediment roughness characteristics measured by broadband spectral analysis of acoustic echoes. *Canadian Geotechnical Journal* 18: 475-481.
- DUNSINGER, A.D., COCHRANE, N.A., and VETTER, W.J. 1981. Seabed characterization from broadband acoustic echosounding with scattering models. *IEEE Journal of Oceanic Engineering* 6: 94-106.
- FOWLER, G.A. and REINIGER, R.F. 1981. Some field and laboratory results obtained with Kevlar mooring lines. *Oceans '81, Conference Record 1*: 151-155.
- GAGNE, J.A. and MANN, K.H. 1981. Comparison of growth strategy in *Laminaria* populations living under different seasonal patterns of nutrient availability. In Proceedings of the Xth International Seaweed Symposium, Ed. T. Lerring. Berlin; Walter de Gruyter: 297-302.
- GARRETT, C. and PETRIE, B.D. 1981. Dynamical aspects of the flow through the Strait of Belle Isle. *Journal of Physical Oceanography* 11: 376-393.
- GASTON, A.J. and NETTLESHIP, D.N. 1981. The Thick-billed Murres of Prince Leopold Island – a study of the breeding ecology of colonial high arctic seabirds. Canadian Wildlife Service, Monograph Series No. 6: 350 pp.
- GOULD, W.J., HENDRY, R.M., and HUPPERT, H.E. 1981. An abyssal topographic experiment. *Deep-Sea Research* 28A: 409-440.
- GRADSTEIN, F.M. and BERGGREN, W.A. 1981. Flysch-type agglutinated foraminifera and the Maastrichtian to Paleogene history of the Labrador and North seas. *Marine Micro-paleontology* 6: 211-268.
- GRIFFITHS, D.K., PINGREE, R.D., and SINCLAIR, M. 1981. Summer tidal fronts in near arctic regions of Foxe Basin and Hudson Bay. *Deep-Sea Research* 28A: 865-873.
- HACQUEBARD, P.A. and AVERY, M.P. 1981. Petrography of the Harbour Seam in the Donkin Reserve Area of the Sydney Coalfield, Nova Scotia. In Coal: Phoenix of the '80s; Proceedings of the 64th C.I.C. Coal Symposium, Ed. A.M. Al Taweel. C. S. Ch. E. Ottawa.
- HACQUEBARD, P.A., BUCKLEY, D.E., and VILKS, G. 1981. The importance of detrital particles of coal in tracing the provenance of sedimentary rocks. *Bulletin des Centres de Recherches Exploration-Production Elf Aquitaine* 5: 555-572.
- HALLIDAY, R.G. and KOELLER, P.A. 1981. A history of Canadian groundfish trawling surveys and data usage in ICNAF Divisions 4TVWX. In Bottom Trawl Surveys; Proceedings of a Workshop Held at Ottawa Nov. 12-14, 1980, Eds. W.G. Doubleday and D. Rivard. *Canadian Special Publication in Fisheries and Aquatic Sciences* 58: 27-41.
- HARDING, G.C., VASS, W.P., and DRINKWATER, K.F. 1981. Importance of feeding, direct uptake from seawater, and transfer from generation to generation in the accumulation of an organochlorine (*p*, *p'*-DDT) by a marine planktonic copepod, *Calanus finmarchicus*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 38: 101-119.
- HARGRAVE, B.T. 1981. Annual *in situ* carbon dioxide and oxygen flux across a subtidal marine sediment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 12: 725-737.
- HARRISON, W.G. and PLATT, T. 1981. Primary production and nutrient fluxes off the northern coast of Peru: a summary. Boletín Instituto del Mar del Perú, Vol. Extraordinario: 15-21.
- HARRISON, W.G., PLATT, T., CALIENES, R., and OCHOA, N. 1981. Photosynthetic parameters and primary production of phytoplankton populations off the northern coast of Peru. In Coastal Upwelling, Ed. Francis A. Richards. Washington; American Geophysical Union, *Coastal and Estuarine Sciences 1*: 303-311.
- HAWKINS, C.M. 1981. Efficiency of organic matter absorption by the tropical echinoid *Diadema antillarum* Philippi fed by non-marcophytic algae. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 49: 245-253.
- HAWORTH, R.T. 1981. Geophysical expression of Appalachian-Caledonide structures on the continental margins of the North Atlantic. In Geology of the North Atlantic Borderlands, Eds. J.W. Kerr and A.J. Fergusson. *Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir 7*: 429-446.
- HERMAN, A.W. 1981. Spatial and temporal variability of chlorophyll distributions and geostrophic estimates on the Peru Shelf at 9°S. Instituto del Mar del Perú, Vol. Extraordinario: 215-227.
- HERMAN, A.W. and MITCHELL, M.R. 1981. Counting and identifying copepod species with an *in situ* electronic zooplankton counter. *Deep-Sea Research* 28: 739-755.
- HERMAN, A.W. and SAMEOTO, D.D. 1981. Copepod distribution on the Peru Shelf at 9°S during November, 1977. Boletín Instituto del Mar del Perú, Vol. Extraordinario: 228-233.
- HERMAN, A.W., SAMEOTO, D.D., and LONGHURST, A.R. 1981. Vertical and horizontal distribution patterns of copepods near the shelf break south of Nova Scotia. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 38: 1065-1076.
- IHSSEN, P.E., BROOKE, J.E., CASSELMAN, J.M., McGLADE, J.M., PAYNE, N.R., and UTTER, F.M. 1981. Stock identification: Materials and methods. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 38: 1838-1855.
- JANSA, L.F. 1981. Mesozoic carbonate platforms and banks of the eastern North American margin. *Marine Geology* 44: 97-117.
- JANSA, L.F. 1981. Discussion: Storm-dominated shallow marine deposits: the Fernie-Kootenay (Jurassic) Transition, southern Rocky Mountains by A.P. Hamblin and R.G. Walker. *Canadian Journal of Earth Sciences* 18: 665-666.
- JONES, E.P. and COOTE, A.R. 1981. Oceanic CO₂ produced by the precipitation of CaCO₃ from the brines in sea ice. *Journal of Geophysical Research* 86: 11,041-11,043.



Mise à l'eau du système photographique de profondeur, utilisé à bord du n.s.c. *Hudson*. À droite, photographies prises sur le fond.

- JONES, E.P. and LEVY, E.M. 1981. Oceanic CO₂ increase in Baffin Bay. *Journal of Marine Research* 39: 405-416.
- KEEN, C.E. 1981. Lithoprobe: Geoscience studies of the third dimension – a coordinated national geoscience project for the 1980's. *Geoscience Canada* 8: 117-125.
- KEEN, C.E. 1981. The continental margins of eastern Canada: A review. In *Dynamics of Passive Margins*. Washington; American Geophysical Union, *Geodynamics Series* 6: 45-58.
- KEEN, C.E. and CORNSEN, A. 1981. Crustal structure, seismic stratigraphy, and rift processes of the continental margin off eastern Canada: ocean bottom seismic refraction results off Nova Scotia. *Canadian Journal of Earth Sciences* 18: 1523-1538.
- KERR, A.J. and EATON, R.M. 1981. Range errors in microwave systems. *Lighthouse* 23.
- KRANCK, K. 1981. Particulate matter, grain-size characteristics and flocculation in a partially mixed estuary. *Sedimentology* 28: 107-114.
- KRISTENSEN, L., PANOFKY, H.A., and SMITH, S.D. 1981. Lateral coherence of longitudinal wind components in strong winds. *Boundary-Layer Meteorology* 21: 199-205.
- LEVY, E.M. and EHRHARDT, M. 1981. Natural seepage at Buchan Gulf, Baffin Island. *Marine Chemistry* 10: 355-364.
- LEVY, E.M., EHRHARD, M., KOHNKE, D., SOBTCHENKO, E., SUZUOKI, T., and TOKUHIRO, A. 1981. Global Oil Pollution: Results of MAPMOPP, The IGOSS Pilot Project on Marine Pollution (Petroleum) Monitoring. Paris; UNESCO – Intergovernmental Oceanographic Commission: 35 pp.
- LEWIS, C.F.M. and BARRIE, J.V. 1981. Geological evidence of iceberg groundings and related seafloor processes in the Hibernia discovery area of Grand Banks, Newfoundland. In *Proceedings of the Symposium: Production and Transportation Systems for the Hibernia Discovery*, Eds. W.E. Russell and D.B. Muggidge. Newfoundland Provincial Government: Petroleum Directorate: 146-177.
- LI, W.K.W. and GOLDMAN, J.C. 1981. Problems in estimating growth rates of marine phytoplankton from short-term ¹⁴C assays. *Microbial Ecology* 7: 113-121.
- LONG, B.F.N., VANDERMEULEN, J.H., and AHERN, T.P. 1981. The evolution of stranded oil within sandy beaches. In *Proceedings of the 1981 Oil Spill Conference*, March 2-5, Atlanta, Georgia. EPA/API/USCG.
- LONGHURST, A.R. (editor). 1981. *Analysis of Marine Ecosystems*. London and Toronto; Academic Press: 741 pp.
- LONGHURST, A.R. 1981. Significance of spatial variability. In *Analysis of Marine Ecosystems*, Ed. A.R. Longhurst. London and Toronto; Academic Press: 415-440.
- LONGHURST, A.R. and HERMAN, A.W. 1981. Do zooplankton aggregate at, or near, the deep chlorophyll maximum? *Journal of Marine Research* 39: 353-356.
- LORD, G. and POCKLINGTON, R. 1981. Composition chimique de l'atmosphère en hydrocarbures terrigènes et transfert de ces composés à l'interface air-océan. *Journal de Recherche Atmosphérique* 15: 53-79.
- LORING, D.H. 1981. Potential bioavailability of metals in eastern Canadian estuarine and coastal sediments. In *Sediment and Pollution Interchange in Shallow Seas*, Ed. H. Postma. *Rapports et Procès-Verbaux des réunions, Conseil International pour l'Exploration de la Mer* 181: 93-101.
- MACLEAN, B., FALCONER, R.K.H., and LEVY, E.M. 1981. Geological, geophysical and chemical evidence for natural seepage of petroleum off the northeast coast of Baffin Island. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology* 29: 75-95.
- MAHON, R. and FERGUSON, M. 1981. Invasion of a new reservoir by fishes: species composition, growth and condition. *Canadian Field Naturalist* 95: 272-275.
- MANN, K.H. and KIRKMAN, H. 1981. Biomass method for measuring productivity of *Ecklonia radiata*, with the potential for adaptation to other large brown algae. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 32: 297-304.
- MANN, K.H. and MANN, S.G. 1981. Problems of converting linear growth increments in kelps to estimates of biomass production. In *Proceedings Xth International Seaweed Symposium*, Ed. T. Levring. Berlin: Walter de Gruyter: 699-704.
- McBEAN, G.A. and ELLIOTT, J.A. 1981. Pressure and humidity effects on optical refractive-index fluctuations. *Boundary-Layer Meteorology* 20: 101-109.
- NEEDLER, G.T. and TEMPLETON, W.L. 1981. Radioactive waste: The need to calculate an oceanic capacity. *Oceanus* 24: 60-67.
- NEMOTO, T. and HARRISON, G. 1981. High latitude ecosystems. In *Analysis of Marine Ecosystems*, Ed. A.R. Longhurst. London and Toronto; Academic Press: 95-126.
- OAKEY, N.S. 1981. Turbulent energy dissipation during JASIN Phase 2. *JASIN News* (June).
- PIATT, J. 1981. Seabirds of Newfoundland and Labrador. Canadian Wildlife Service/Memorial University of Newfoundland: 16 pp.
- PIPER, D.J.W. and PANAGOS, A.G. 1981. Growth patterns of the Acheloos and Evinos deltas, western Greece. *Sedimentary Geology* 28: 111-132.
- PLATT, T. and GALLEGOS, C.L. 1981. Modelling primary production. In *Primary Productivity in the Sea*, Ed. P. Falkowski. New York; Plenum Press: 531 pp.
- PLATT, T. and SILVERT, W. 1981. Ecology, physiology, allometry and dimensionality. *Journal of Theoretical Biology* 93: 355-360.
- POCKLINGTON, R. 1981. Organic matter in upwelling off northern Peru, November 1977. Boletín Instituto del Mar del Perú, Vol. Extraordinario: 7-14.
- QUON, C. 1981. In search of symmetric baroclinic instability in an enclosed rotating fluid. *Journal of Geophysical and Astrophysical Fluid Dynamics* 17: 171-197.
- ROBY, D.D., BRINK, K.L., and NETTLESHIP, D.N. 1981. Measurements, chick meals and breeding distribution of dovekies (*Alle alle*) in northwest Greenland. *Arctic* 34: 241-248.
- ROSS, C.K. 1981. Drift of satellite-tracked buoys on Flemish Cap, 1979-80. Northwest Atlantic Fisheries Organization, *Science Council Studies* 1: 47-50.
- RYALL, P.J.C., FOWLER, G.A., and MANCHESTER, K.S. 1981. An electric rock core drill for deep ocean use. In *Proceedings of the 13th Offshore Technology Conference*, OTC 4130, v. 4: 123-128.
- RYDER, R.A., KERR, S.R., TAYLOR, W.W., and LARKIN, P.A. 1981. Community consequences of fish stock diversity. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 38: 1856-1866.
- SAMEOTO, D.D. 1981. Horizontal and vertical distributions of zooplankton numbers and biomass off the coast of Peru. Boletín Instituto del Mar del Perú, Vol. Extraordinario: 164-170.
- SAMEOTO, D.D. 1981. Distribution and abundance of six species of fish larvae in Peruvian waters and their relationship with the

- physical and biological environment. *Boletín Instituto del Mar del Perú*, Vol. Extraordinario: 171-179.
- SCHAFFER, C.T., COLE, F.E., and CARTER, L. 1981. Bathyal zone benthic foraminiferal genera off northeast Newfoundland. *Journal of Foraminiferal Research* 11: 296-316.
- SCHLEE, J.S. and JANSÁ, L.F. 1981. The paleoenvironment and development of the eastern North American continental margin. *Oceanologica Acta, Supplément au Volume 4*: 71-80.
- SCHWINGHAMER, P. 1981. Extraction of living meiofauna from marine sediments by centrifugation in a silica sol-sorbitol mixture. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 38: 476-478.
- SCHWINGHAMER, P. 1981. Characteristic size distributions of integral benthic communities. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 38: 1255-1263.
- SHELDON, R.W. and DUNBRACK, J. 1981. A note on the standing stock and production of microplankton off the coast of Peru as determined by particle counting. *Boletín Instituto del Mar del Perú*, Vol. Extraordinario: 99-102.
- SHERIDAN, R.S., GRADSTEIN, F.M., et al. 1981. Early history of the Atlantic Ocean and gas hydrates in the Blake Outer Ridge. Results of the Deep Sea Drilling Project. *Episodes (International Union of Geological Sciences)* 2: 16-22.
- SILVERT, W. 1981. Comment on Optimum Swimming Speeds in Fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 38: 729.
- SILVERT, W. 1981. Minicomputer simulation of the aging process. *Canadian Mathematical Society, Applied Mathematics Notes/Notes de Mathématiques de la Société Mathématiques du Canada* 6: 77-79.
- SILVERT, W. 1981. The formulation and evaluation of predictions. *International Journal of General Systems* 7: 189-205.
- SILVERT, W. 1981. Principles of ecosystem modelling. In *Analysis of Marine Ecosystems*, Ed. A.R. Longhurst. London and Toronto: Academic Press: 651-676.
- SILVERT, W. 1981. Top-down modelling in marine ecology. In *Progress in Ecological Engineering and Management by Mathematical Modelling*. Liege; D.M. Dubois Editions Cebedoc: 259-270.
- SILVERT, W. and SMITH, W.R. 1981. The response of ecosystems to external perturbations. *Mathematical Biosciences* 55: 279-306.
- SINCLAIR, A., SINCLAIR, M., and ILES, T.D. 1981. An analysis of some biological characteristics of the 4X juvenile herring fishery. Proceedings of the Nova Scotia Institute of Science 31: 155-171.
- SINCLAIR, M., SINCLAIR, A., and ILES, T.D. 1981. Growth and maturation of south-west Nova Scotia herring. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 39: 288-295.
- SINCLAIR, M., SUBBA RAO, D.V., and COUTURE, R. 1981. Phytoplankton temporal distributions in estuaries. *Oceanologica Acta* 4: 239-246.
- SMITH, J.N. and LORING, D.H. 1981. Geochronology for mercury pollution in the sediments of the Saguenay fjord, Quebec. *Environmental Science and Technology* 15: 994-951.
- SMITH, S.D. 1981. Comment on a "New Evaluation of the Wind Stress Coefficient Over Water Surfaces". *Journal of Geophysical Research* 86(C5): 4307.
- SMITH, S.D., ANDERSON, R.J., DEN HARTOG, G., TOPHAM, D.R., and PERKIN, R.G. 1981. Arctic Polynya II. Structure of atmospheric turbulence. *EOS* 62: 902.
- SMITH, S.D. and BANKE, E.G. 1981. A numerical model of iceberg drift. Proceedings of POAC '81, the 6th International Conference on Port and Ocean Engineering Under Arctic Conditions. Université Laval, Québec: 1001-1011.
- SMITH, S.J. 1981. A comparison of estimators of location for skewed populations with applications to groundfish trawl surveys. In *Bottom Trawl Surveys; Proceedings of a Workshop Held at Ottawa Nov. 12-14, 1980. Canadian Special Publication in Fisheries and Aquatic Sciences* 58: 27-41.
- SMITH, S.J. 1981. Survey design: Chairman's remarks. In *Bottom Trawl Surveys; Proceedings of a Workshop Held at Ottawa Nov. 12-14, 1980. Canadian Special Publication in Fisheries and Aquatic Sciences* 58: 10-12.
- SNYDER, R.L., DOBSON, F.W., ELLIOTT, J.A., and LONG, R.B. 1981. Array measurements of atmospheric pressure fluctuations above surface gravity waves. *Journal of Fluid Mechanics* 102: 1-59.
- SPRAGUE, J.B., VANDERMEULEN, J.H., and WELLS, P.G. 1981. Oil and dispersants in Canadian seas - Recommendations from a research appraisal. *Marine Pollution Bulletin* 12: 45-46.
- SRIVASTAVA, S.P., FALCONER, R.K.H., and MacLEAN, B. 1981. Labrador Sea, Davis Strait, Baffin Bay: Geology and geophysics - A review. In *Geology of the North Atlantic Borderlands*, Eds. J.W. Kerr and A.J. Ferguson. *Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir* 7: 333-398.
- SUBBA RAO, D.V. 1981. Growth response of marine phytoplankters to selected concentrations of trace metals. *Botanica Marina* XXIV: 369-379.
- SUBBA RAO, D.V. 1981. Effect of boron on primary production of nanoplankton. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 38: 52-58.
- SUBBA RAO, D.V. 1981. Photosynthetic efficiency in Lawson's Bay on the east coast of India. *Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie* 66: 29-35.
- SYVITSKI, J.P.M. and MURRAY, J.W. 1981. Particle interaction in fjord suspended sediment. *Marine Geology* 39: 215-242.
- SYVITSKI, J.P.M. and VAN EVERDINGEN, D.A. 1981. A reevaluation of the geologic phenomenon of sand flotation: A field and experimental approach. *Journal of Sedimentary Petrology* 51: 1315-1322.
- TEE, K.-T. 1981. A three-dimensional model for tidal and residual currents in bays. In *Transport Models for Inland and Coastal Waters*, Ed. Hugo B. Fischer. New York; Academic Press: 284-309.
- TERRIAULT, J.-C. and PLATT, T. 1981. Environmental control of phytoplankton patchiness. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 38: 638-641.
- TOPHAM, D.R., PERKINS, R.G., SMITH, S.D., ANDERSON, R.J., and DEN HARTOG, G. 1981. Arctic Polynya I. Oceanography and the ice margin. *EOS* 62: 901-902.
- TRAXLER, R.W. and VANDERMEULEN, J.H. 1981. Hydrocarbon-utilizing microbial potential in marsh, mudflat and sandy sediments from North Brittany. In *Amoco Cadiz: Conséquences d'une Pollution Accidentelle par les Hydrocarbures: Fates and Effects of the Oil Spill*. Proceedings of an International Symposium, Centre Océanologique de Bretagne, Brest, France Nov. 19-22, 1979. Paris; Centre National pour l'Exploitation des Océans: 243-249.
- TRITES, R.W. 1981. Application of satellites and remote sensing to studies of surface cir-

culation off the Nova Scotian coast. In Oceanography from Space, Ed. J.F.R. Gover. New York: Plenum Press: 189-194.

TRITES, R.W., VANDERMEULEN, J., and LAWRENCE, D.J. 1981. Modelling the movement of Bunker C oil spills in colder waters. In Proceedings of a Symposium on Mechanics of Oil Slicks. International Association for Hydraulic Research, Paris.

VANDERMEULEN, J.H. 1981. Contamination des organismes marins par les hydrocarbures/Contamination of marine populations by hydrocarbons. In Amoco Cadiz: Conséquences d'une Pollution Accidentelle par les Hydrocarbures: Fates and Effects of the Oil Spill. Proceedings of an International Symposium, Brest, France Nov. 18-22, 1979. Paris; Centre National pour l'Exploitation des Océans: 563-572.

VANDERMEULEN, J.H., LONG, B.F.N., and AHERN, T.P. 1981. Bioavailability of stranded Amoco Cadiz oil as a function of environmental self-cleaning: April 1978 - January 1979. In Amoco Cadiz: Conséquences d'une Pollution Accidentelle par les Hydrocarbures: Fates and Effects of the Oil Spill. Proceedings of an International Symposium, Brest, France Nov. 19-22, 1979. Paris; Centre National pour l'Exploitation des Océans: 585-597.

VANDERMEULEN, J.H., LONG, B.F.N., and D'OZOUVILLE, L. 1981. Geomorphological alteration of a heavily oiled saltmarsh (Ile Grand, France) as a result of massive clean up. In Proceedings of the 1981 Oil Spill Conference, March 2-5, 1981, Atlanta, GA. EPA/API/USCG: 519-524.

VILKS, G. 1981. Late glacial-postglacial foraminiferal boundary in sediments of eastern Canada, Denmark and Norway. *Geoscience Canada* 8: 48-55.

VILKS, G. 1981. Science and technology: Bridging the frontiers. *Geoscience Canada* 8: 126-128.

VILKS, G., BUCKLEY, D.E., and CRANSTON, R.E. 1981. Canadian Summary Report. In Proceedings of the Sixth Annual Nuclear Energy Agency Seabed Working Group Meeting, Paris Feb. 2-5, 1981; Ed. D.R. Anderson. Sandia National Laboratories, Sandia Report, SAND-0427: 12-13.

VILKS, G., RASHID, M.A., and DELGADO, C. 1981. Interpretation of paleoceanographic conditions on the Peru Shelf using paleoecology and geochemistry. Boletín Instituto del Mar del Perú, Vol. Extraordinario: 269-273.

WADE, J.A. 1981. Geology of the Canadian Atlantic margin from Georges Bank to the Grand Banks. In Geology of the North Atlantic Borderlands, Eds. J.W. Kerr and A.J. Ferguson. *Canadian Society of Petroleum Geologists, Memoir* 7: 447-460.

WARE, D.M., de MENDIOLA, B.R., and NEWHOUSE, D.S. 1981. Behaviour of first-feeding Peruvian anchoveta larvae *Engraulis ringens*. In The Early Life History of Fish: Recent Studies, Eds. R. Lasker and K. Sherman. *Rapports et Procès-Verbaux des Réunions, Conseil International pour l'Exploration des Océans* 178: 467-474.

WARE, D.M. and TSUKAYAMA, I. 1981. A possible recruitment model for the Peruvian anchovy. Boletín Instituto del Mar del Perú, Vol. Extraordinario: 62-66.

WHARTON, W.G. and MANN, K.H. 1981. Relationship between destructive grazing by the sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis* and the abundance of the American lobster *Homarus americanus* on the Atlantic coast of Nova Scotia. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 38: 1339-1349.

WONG, K., ADDISON, R.F., and LAW, F.C.P. 1981. Uptake, metabolism, and elimination of diphenyl ether by trout and stickleback. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 26: 243-247.

WRENCH, J.J. and ADDISON, R.F. 1981. Reduction, methylation and incorporation of arsenic into lipids by the marine phytoplankton *Dunaliella tertiolecta*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 38: 518-523.

RAPPORTS DE L'IOB

L'Institut océanographique de Bedford publie des rapports techniques (Report Series) et des rapports statistiques (Data Series) sous forme de microfiches.

AKENHEAD, S.A., PETRIE, B.D., ROSS, C.K., and WARE, D.M. 1981. Ocean climate and the marine fisheries of Atlantic Canada: An assessment. BIO, Report Series, BI-R-81-8.

AMOS, C.L. and ASPREY, K.W. 1981. An interpretation of oceanographic and sediment data from the upper Bay of Fundy. BIO, Report Series, BI-R-81-15.

AMOS, C.L., ASPREY, K.W., and RODGERS, N.A. 1981. The Bedford Institute Sedimentation Tube - B.I.S.T. BIO, Report Series, BI-R-81-14.

BARRON, J.L. 1981. The Chemical Oceanography data processing system. BIO, Report Series, BI-R-81-9.

BEZANSON, D. and DEVEAU, T. 1981. An ocean drifter clearing house. BIO, Report Series, BI-R-81-16.

BEZANSON, D. and MacLAREN PLAN-SEARCH LTD. 1981. Oil and grease in the bottom sediments near Scatarie Island. BIO, Data Series, BI-D-81-2.

COLE, F.E. 1981. Taxonomic notes on the bathyal zone benthonic foraminiferal species off northeast Newfoundland. BIO, Report Series, BI-R-81-7.

DOBSON, D., PETRIE, B., and BUTTERS, S. 1981. Long term temperature monitoring program 1980. BIO, Data Series, BI-D-81-3.

DOBSON, D., PETRIE, B., and BUTTERS, S. 1981. Long term temperature monitoring program 1979. BIO, Data Series, BI-D-81-4.

DOBSON, D., PETRIE, B., and BUTTERS, S. 1981. Temperature records from Newfoundland 1967-1978. BIO, Data Series, BI-D-81-5.

GORDON, D.C., KEIZER, P.D., OGDEN, J.G., III, UNDERWOOD, J., and WILTSHIRE, J.F. 1981. Synoptic water quality study of 50 lakes in the Halifax, Nova Scotia, Metro Area on 14 April 1980. BIO, Report Series, BI-R-81-5.

JORDAN, F. and NEU, H.J.A. 1981. Ice floe movement in Baffin Bay and Davis Strait from satellite pictures. BIO, Report Series, BI-R-81-4.

KEENAN, P.V. 1981. Aanderaa recording current meter compass errors caused by mooring system components. BIO, Report Series, BI-R-81-6.

LAZIER, J.R.N. 1981. Moored current meter data from Hamilton Bank (1978-1980). BIO, Report Series, BI-D-81-7.

LENTIN, J.K. and WILLIAMS, G.L. 1981. Fossil dinoflagellates: Index to genera and species, 1981 edition. BIO, Report Series, BI-R-81-12.

LIBRARY SERVICES. 1981. Publications from the Bedford Institute of Oceanography 1962-1980. BIO, Report Series, BI-R-81-18.

LONGHURST, A. 1981. BIostat: An experiment in ocean plankton ecology - Cruise report for Hudson 81 (Panama to Puntarenas). BIO, Report Series, BI-R-81-13.

McLAREN, P., BARRIE, W.B., SEMPELS, J.M., SIEFFERT, R.A., TAYLOR, R.B., and THOMSON, D. 1981. Coastal environmental data from eastern Lancaster Sound and north-eastern Baffin Island, NWT. BIO, Report Series, BI-D-81-1.

MITCHELL, M. 1981. Clogging characteris-

tics of a filter screen mounted on Batfish. BIO, Report Series, BI-R-81-1.

NEU, H.J.A. 1981. Sea state during breakup of the oil tanker Kurdistan. BIO, Report Series, BI-R-81-1.

SMITH, J.N., ELLIS, K., and BISHOP, F.J. 1981. Pre-operational environmental monitoring report for the Point Lepreau, N.B., nuclear generating station - 1980. BIO, Report Series, BI-R-81-10.

SMITH, S.D. 1981. Factors for adjustment of wind speed over water to a 10-metre height. BIO, Report Series, BI-R-81-3.

SMITH, S.D. 1981. Coefficients for sea-surface wind stress and heat exchange. BIO, Report Series, BI-R-81-19.

SMITH, S.D. and KATSAROS, K.B. 1981. HEXOS - Humidity exchange over the sea. BIO, Report Series, BI-R-81-17.

STEPANCZAK, M. and BENNETT, A.S. 1981. Transmission of satellite imagery to a research vessel at sea. BIO, Report Series, BI-R-81-2.

TANG, C.T. and BENNETT, A.S. 1981. Physical oceanographic observations in the northwestern Gulf of St. Lawrence. BIO, Data Series, BI-D-81-6.

RAPPORTS CANADIENS DES SCIENCES HALIEUTIQUES ET AQUATIQUES

La publication de cette série nationale de rapports est coordonnée par le ministère des Pêches et des Océans à Ottawa. Il existe quatre catégories de rapports: les rapports techniques canadiens des sciences halieutiques et aquatiques (CTRFAS), les rapports statistiques canadiens des sciences halieutiques et aquatiques (CDRFAS), les rapports manuscrits canadiens des sciences halieutiques et aquatiques (CMRFAS) et les rapports canadiens à l'industrie sur les sciences halieutiques et aquatiques (CIRFAS). Plus loin apparaissent les publications du Laboratoire d'écologie marine et de la Division des poissons de mer. Tous ces rapports sont produits par l'Institut océanographique de Bedford, et il est possible d'obtenir des renseignements et des exemplaires de ces rapports en écrivant à l'Institut.

HARGRAVE, B.T. and PROUSE, N.J. 1981. Observations of dissolved nutrients, phytoplankton biomass, sedimentation and sediment organic matter. CTRFAS 1001.

HILDEBRAND, L.P. 1981. Preliminary observations on the distribution, composition

and abundance of zooplankton in Chignecto Bay during June and August 1978, with emphasis on the relationship to tidal cycles. CTRFAS 1036.

KOELLER, P.A. and LeGRESLEY, M. 1981. Abundance and distribution of finfish and squid from E.E. *Prince* trawl surveys in the southern Gulf of St. Lawrence, 1970-79. CTRFAS 1028.

KULKA, D.W. and STOBO, W.T. 1981. Winter distribution and feeding of mackerel on the Scotian Shelf and outer Georges Bank with reference to the winter distribution of other finfish species. CTRFAS 1038.

MESSIEH, S.N., WILDISH, D.J., and PETERSON, R.H. 1981. Possible impact from dredging and spoil disposal on the Miramichi Bay herring fishery. CTRFAS 1008.

O'BOYLE, R.N. and CLEARY, L. 1981. The herring (*Clupea harengus harengus*) gillnet fishery in the southern Gulf of St. Lawrence, 1970-79. CTRFAS 1065.

POTTLE, R.A., MacPHERSON, P.A., MESSIEH, S.N., and MOORE, D.S. 1981. A scuba survey of a herring (*Clupea harengus* L.) spawning bed in Miramichi Bay, N.S. CTRFAS 984.

SMITH, S.J. and SOMERTON, G.D. 1981. STRAP: A user-oriented computer analysis system for groundfish research trawl survey data. CTRFAS 1030.

JOHNSON, B., SUTCLIFFE, W.H., JR., and COOKE, R.C. 1981. Particle production in natural seawater by bubble dissolution. CTRFAS 991.

VASS, W.P., HARDING, G.C.H., and PEARRE, S., JR. 1981. A bidirectional trap for quantifying the vertical migration of planktonic organisms. CTRFAS 983.

RAPPORTS TECHNIQUES DIVERS

Voici la liste des travaux de membres de l'Institut publiés par

- le Comité scientifique consultatif des pêches canadiennes dans l'Atlantique (CAFSAC/CSCPA)
- la Commission internationale pour la conservation des thonidés de l'Atlantique (ICCAT/CICTA)
- le Conseil international pour l'exploration de la mer (ICES/CIEM)
- l'Organisation des pêches de l'Atlantique nord-ouest (NAFO/OPANO)

HURLEY, P.C.F. and ILES, T.D. 1981. Changes in the Bluefin tuna stock in the Gulf of St. Lawrence in 1980 and their implications.

ICCAT, Standing Committee on Research Statistics 81/61.

HURLEY, P.C.F. and ILES, T.D. 1981. An unusual Bluefin tuna tag return. ICCAT, Standing Committee on Research Statistics 81/62.

HURLEY, P.C.F. and ILES, T.D. 1981. The Canadian Bluefin tuna fishery. CAFSAC, Research Document 81/35.

HURLEY, P.C.F. and ILES, T.D. 1981. Canadian national report 1980-81. ICCAT, Standing Committee on Research Statistics 81/60.

HURLEY, P.C.F. and ILES, T.D. 1981. Status and assessment of Northwest Atlantic swordfish stocks. CAFSAC, Research Document 81/15.

HURLEY, P.C.F. and ILES, T.D. 1981. An analysis of catch-per-unit-effort data for Bluefin tuna in the Gulf of St. Lawrence. ICES, Council Meeting 1981/H49.

KOELLER, P.A. 1981. Update of biomass estimates from Canadian research vessel surveys in NAFO Divisions 4 TVWX to 1980. CAFSAC, Research Document 81/46.

MAGUIRE, J.J. 1981. Northwest Atlantic mackerel stock assessment - 1981. CAFSAC, Research Document 81/18.

McGLADE, J.M., ZWANENBURG, K., and MAGUIRE, J.J. 1981. Assessment of the Division 4VWX and Subarea 5 pollock stock complex. CAFSAC, Research Document 81/31.

MESSIEH, S.N. 1981. Fishing effort and catch per unit effort in the inshore herring fisheries in the southern Gulf of St. Lawrence, 1973-1980. CAFSAC, Research Document 81/12.

MESSIEH, S.N. and MacPHERSON, P. 1981. Aerial survey of herring gillnets in the southern Gulf of St. Lawrence. CAFSAC, Research Document 81/13.

METUZALS, K.I. 1981. Assessment of American Plaice in NAFO 4T. CAFSAC, Research Document 81/34.

METUZALS, K.I. 1981. Flatfish stock trends of the Scotian Shelf. CAFSAC, Research Document 81/34.

METUZALS, K.I. and FULLERTON, A. 1981. Review of the white hake *Urophycis tenuis* fishery in NAFO 4T. CAFSAC, Research Document 81/49.

ROSS, C.K. 1981. Drift of satellite-tracked buoys on Flemish Cap, 1979-80. NAFO, *Scientific Council Studies 1*: 47-50.

SCOTT, J.S. 1981. Distribution of young-of-

the-year haddock on the Scotian Shelf. CAF-SAC, Research Document 81/56.

SINCLAIR, A.F. 1981. Juvenile argentine (*Argentina silus*) on the Scotian Shelf. NAFO, Scientific Council Research Document 81/VI/68.

SINCLAIR, A.F. 1981. Recent trends in argentine abundance on the Scotian Shelf. NAFO, Scientific Council Research Document 81/VI/71.

SINCLAIR, A.F., WALDRON, D., and WOOD, B. 1981. Comparative fishing for silver hake on the Scotian Shelf using 60 mm and 90 mm codends. NAFO, Scientific Council Research Document 81/VI/81.

SINCLAIR, M. and ILES, T.D. 1981. Oceanographic and Atlantic herring life history distributions of interest in relation to the herring stock problem in the Georges Bank, Gulf of Maine and Bay of Fundy area. NAFO, Scientific Council Research Document 81/IX/126.

SINCLAIR, M. and ILES, T.D. 1981. The stock structure of Atlantic herring in relation to tidally induced temperature fronts. ICES, Council Meeting 1981/H46.

SINCLAIR, M. and MAGUIRE, J.J. 1981. 4TVN (Jan.-Apr.) cod assessment. CAFSAC, Research Document 81/41.

SINCLAIR, M., O'BOYLE, R., and ILES, T.D. 1981. Consideration of the stable age distribution assumption in analytical yield models. CAFSAC, Research Document 81/11.

DOCUMENTS PUBLIÉS PAR LA COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA

Voici la liste des travaux de membres du Centre géoscientifique de l'Atlantique publiés en 1981 par la Commission géologique du Canada (en anglais GSC).

BARRIE, C.Q. and PIPER, D.J.W. 1981. Late Quaternary marine geology of Makkovic Bay, Labrador. GSC, Paper 81-17.

CRANSTON, R.E., BUCKLEY, D.E., FITZGERALD, R.A., and WINTERS, G.V. 1981. Geochemical investigation of sediment and pure water samples from the northeast Pacific Ocean, off the east coast of California. *In* Current Research, Part C. GSC, Paper 81-1C: 55-61.

FADER, G.B. and KING, L.H. 1981. A reconnaissance study of the surficial geology of the Grand Banks of Newfoundland. *In* Current Research, Part A. GSC, Paper 81-1A: 45-56.

FILLON, R.H., HARDY, I.A., WAGNER, F.J.E., ANDREWS, J.T., and JOSEPHANS, W.H. 1981. Labrador Shelf: Shell and total organic matter - ¹⁴C date discrepancies. *In* Current Research, Part B. GSC, Paper 81-1B: 105-111.

LEVY, E.M. and MacLEAN, B. 1981. Natural hydrocarbon seepage at Scott Inlet and Buchan Gulf, Baffin Island Shelf: 1980 update. *In* Current Research, Part A. GSC, Paper 81-1A: 401-403.

MacLEAN, B. and SRIVASTAVA, S.P. 1981. Petroliferous core from a diapir east of Cumberland Sound, Baffin Island. *In* Current Research, Part A. GSC, Paper 81-1A: 399-400.

OWENS, E.H., TAYLOR, R.B., MILES, M., and FORBES, D.L. 1981. Coastal geology mapping: An example from the Sverdrup Lowland, District of Franklin. *In* Current Research, Part B. GSC, Paper 81-1B: 39-48.

THOMAS, F.C. and GRADSTEIN, F.M. 1981. Tertiary subsurface correlations using pyritized diatoms, offshore eastern Canada. *In* Current Research, Part B. GSC, Paper 81-1B: 17-23.

VILKS, G. and WANG, Y. 1981. Surface texture of quartz grains and sedimentary processes on the southeastern Labrador Shelf. *In* Current Research, Part B. GSC, Paper 81-1B: 55-61.

WINTERS, G.V. 1981. Environmental geology of the Miramichi estuary: Suspended sediment transport. GSC, Paper 81-16.

DOSSIERS PUBLICS

Voici la liste des rapports des Dossiers publics publiés en 1981 par la Commission géologique du Canada et portant sur les travaux des membres du Centre géoscientifique de l'Atlantique.

ASCOLI, P. 1981. Foraminiferal - ostracod Late Jurassic biozonation of the Scotian Shelf. GSC, Open File 753; 32 pp., 6 figs., range charts.

d'APPOLONIA, S.J. and LEWIS, C.F.M. 1981. Iceberg scour data maps for the Grand Banks of Newfoundland between 46°N and 48°N. GSC, Open File 819; 12 pp., 8 maps at 1:250,000.

GRADSTEIN, F.M. and WILLIAMS, G.L. 1981. Stratigraphic charts of the Labrador and Newfoundland shelves. GSC, Open File 826: 5 pp., 4 figs., 1 table.

KING, L.H. and FADER, G.B. 1981. Seabed conditions east of the Avalon Peninsula to the

Virgin Rocks. GSC, Open File 723.

SHIH, K.G., MACNAB, R.F., and HALLIDAY, D. 1981. Multiparameter survey data from the Scotian margin. GSC, Open File 750.

Expéditions Réalisées en 1981*



Roger Bélanger 5924-20

NSC HUDSON

- Le nsc *Hudson* est un navire à propulsion diesel-électrique équipé et utilisé pour des projets pluridisciplinaires de recherche océanographique.
- Caractéristiques principales – Coque Lloyds Ice Class I ... construit en 1963 ... 90,4 m de longueur hors-tout ... 15,3 m de largeur hors-tout ... 6,3 m de tirant d'eau maximum ... 4 870 tonnes de déplacement ... 3 721 tonnes de jauge brute ... vitesse maximum de 17 noeuds ... vitesse de croisière de 13,5 noeuds sur une mer de force 3 ... autonomie de 50 jours et de 15 000 milles marins à vitesse de croisière ... équipe scientifique de 25 personnes ... superficie de 204 m² en quatre laboratoires ... deux ordinateurs HP1000 ... plateforme et hangar pour hélicoptère ... double hélice et propulseur d'étrave pour tenir la position ... une barge de débarquement, trois vedettes de levé.
- 245 jours en mer et 34 034 milles marins parcourus en 1981

ANNÉE ET N° DE L'EXPÉDITION	DATES	RESPONSABLE	ZONE COUVERTE	OBJECTIFS
81-001	27 fév. - 16 mars	R. Pocklington, LOA	IOB à Colon (Panama)	Recherches pluridisciplinaires
81-002	19 mars - 8 avril	T.C. Platt, LEM	Balboa (Panama) à Puntarenas (Costa Rica)	Projet BIOSTAT
81-003	9 avril - 10 mai	C.S. Wong, ISM	Puntarenas (Costa Rica) à Sydney, (C.-B.)	Recherches pluridisciplinaires
81-017	16 - 30 mai	R.L. Chase, UBC	Dorsale Juan de Fuca et mont Explorer au large de l'île Vancouver	Études géologiques et géochimiques et collecte de carottes de basalte
81-021	30 mai - 10 juin	C.J. Yorath, CGP	Détroits d'Hécate et de la Reine-Charlotte au large de la C.-B.	Collecte d'échantillons et de profils géologiques
81-022	10 - 21 juin	R.D. Hyndman, CGP	Détroit de la Reine-Charlotte	Étude géophysique du détroit et de la zone de failles Reine-Charlotte
81-027	6 juil. - 1 oct.	A.D. O'Connor, région du Pac., SHC	Mer de Beaufort, détroit de Lancaster	Levés hydrographiques et cartographie
81-045	1 oct. - 4 nov.	C.F.M. Lewis, CGA	Arctique oriental, région du Grand Banc	Études géologiques et géophysiques
81-046	6 - 14 nov.	R.F. Reiniger, LOA	Bassin de Terre-Neuve	Récupération des amarrages; évaluation du système de navigation NAVSTAR

*On utilise les abréviations suivantes ici: CGA – Centre géoscientifique de l'Atlantique; CGP – Centre géoscientifique du Pacifique; DGSR – Direction général des services relatifs aux ressources; DPM – Division des poissons de mer; INRS – Institut national pour la recherche scientifique; ISM – Institut des sciences de la mer; LEM – Laboratoire d'écologie marine; LOA – Laboratoire océanographique de l'Atlantique; NSRF – Nova Scotia Research Foundation; OPANO – Organisation des pêches de l'Atlantique nord-ouest; SHC – Service hydrographique du Canada; SLO – Sciences et levés océaniques; UBC – University of British Columbia; UQAR – Université de Québec à Rimouski.

NSC BAFFIN

- Le nsc *Baffin* est un navire à propulsion diesel équipé pour les levés hydrographiques mais servant aussi pour l'océanographie en général
- Caractéristiques principales – Coque Lloyds Ice Class I . . . construit en 1956 . . . 87 m de longueur hors-tout . . . 15 m de largeur hors-membre . . . 5,7 m de tirant d'eau maximum . . . 4 420 tonnes de déplacement . . . 3 460 tonnes de jauge brute . . . vitesse maximum de 15,5 noeuds . . . vitesse de croisière de 13 noeuds sur une mer de force 3 . . . autonomie de 45 jours et 14 000 milles marins à vitesse de croisière . . . équipe hydrographique de 29 personnes . . . locaux prévus pour la rédaction, le traçage et les laboratoires . . . deux ordinateurs HP1000 . . . plate-forme et hangar pour hélicoptère . . . double hélice et propulseur d'étrave pour tenir la position . . . cinq vedettes de levé
- 211 jours en mer et 22 281 milles marins parcourus en 1981



Roger Bélanger 0473-4

ANNÉE ET N° DE L'EXPÉDITION	DATES	RESPONSABLE	ZONE COUVERTE	OBJECTIFS
81-007	8 avril - 18 mai	A.R. Clarke, LOA	Bassin de Terre-Neuve, région d'Hibernia	Récupération et mise en place des amarrages; travail hydrographique sur station; essais de matériel
81-012	22 - 28 mai	C.F.M. Lewis, CGA	Grand Banc	Études géologiques et géophysiques
81-019	5 juin - 31 oct.	G.W. Henderson, région de l'Atlantique, SHC	Au large de la N.-E., de T.-N. et du Labrador et détroit de Fury et Hecla	Levés hydrographiques et cartographie
81-035	28 juil. - 1 nov.	G.W. Henderson, région de l'Atlantique, SCH	Ile de Sable, côte du Labrador, bassin de Foxe, banc Hamilton	Cartographie hydrographique (y compris la récupération et la mise en place des amarrages d'instruments océanographiques)

NSC MAXWELL

- Le nsc *Maxwell* est un navire à propulsion diesel équipé et utilisé pour les levés hydrographiques côtiers
- Caractéristiques principales – construit en 1962 . . . 35 m de longueur hors-tout . . . 7,6 m de largeur hors-membre . . . 2,4 m de tirant d'eau maximum . . . 280 tonnes de déplacement . . . 262 tonnes de jauge brute . . . vitesse maximale de 12,6 noeuds . . . vitesse de croisière de 10 noeuds sur une mer de force 2 . . . autonomie de 15 jours et de 2 700 milles marins à la vitesse de croisière . . . équipe scientifique de 7 personnes . . . installations de rédaction et de traçage . . . deux vedettes de levé
- 188 jours en mer et 8 530 milles marins parcourus en 1981



Roger Bélanger 0415-15

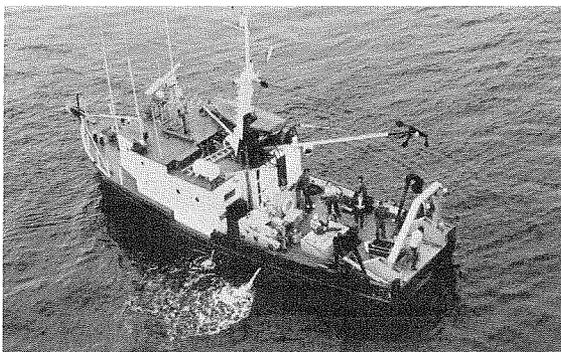
ANNÉE ET N° DE L'EXPÉDITION	DATES	RESPONSABLE	ZONE COURTE	OBJECTIFS
81-009	11 mai - 26 juin	F.M. Cameron, région de l'Atlantique, SHC	Côte sud-ouest de la N.-É., baie de Fundy	Cartographie hydrographique
81-028	6 juil. - 30 oct.	E.J. Comeau, région de l'Atlantique, SHC	Détroit de Belle-Isle, côte du Labrador, côte ouest de T.-N.	Cartographie hydrographique
81-048	5 - 30 nov.	E.J. Comeau, région de l'Atlantique, SHC	Côte sud-ouest de la N.-É., baie de Fundy	Cartographie hydrographique des zones de hauts fonds



Roger Bélanger 3394-11

NSC DAWSON

- Le nsc *Dawson* est un navire à propulsion diesel équipé pour la recherche océanographique pluridisciplinaire, les levés hydrographiques et l'utilisation d'amarrages en eaux profondes et peu profondes
- Caractéristiques principales – construit en 1967... 64,5 m de longueur hors-tout... 12 m de largeur hors-membre... 4,9 m de tirant d'eau maximum... 2 006 tonnes de déplacement... 1 311 tonnes de jauge brute... vitesse maximum de 15,5 noeuds... vitesse de croisière de 13 noeuds sur une mer de force 3... autonomie de 45 jours et 12 000 milles marins à vitesse de croisière... équipe scientifique de 13 personnes... superficie de 87,3 m² en quatre laboratoires... local pour ordinateur... double hélice et propulseur d'étrave pour tenir la position... une vedette de levé
- 228 jours en mer et 36 635 milles marins parcourus en 1981

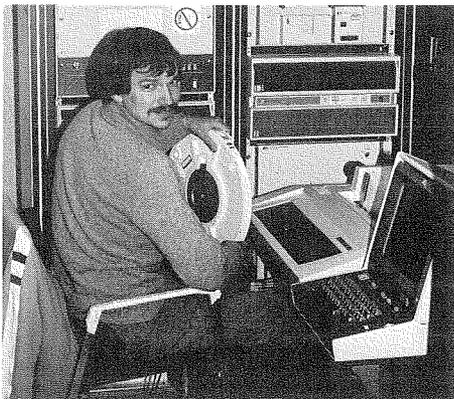


Roger Bélanger 6481

NAVICULA

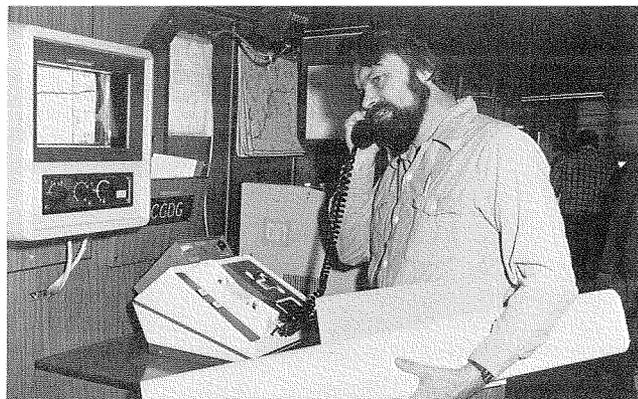
- Le *Navicula* est un bateau de pêche à coque de bois affrété par le ministère des Pêches et des Océans et utilisé pour des recherches en océanographie biologique
- Caractéristiques principales – construit en 1968... 19,8 m de longueur hors-tout... 5,5 m de largeur hors-membre... 110 tonnes de déplacement... 78 tonnes de jauge brute

ANNÉE ET N° DE L'EXPÉDITION	DATES	RESPONSABLE	ZONE COUVERTE	OBJECTIFS
81-030	27 avril - 7 mai	B.T. Hargrave, LEM	Baie St-Georges	Études biologiques
81-031	7 mai - 3 juin	R.G. Halliday, DPM	Estuaire de la Miramichi	Études biologiques
81-032	3 juin - 5 juil.	R.M. Eaton, région de l'Atlantique, SCH	Fleuve St-Laurent	Étalonnage du Loran-C; études biologiques
81-033	5 juil. - 21 août	R.W. Sheldon, LEM	Baies St-Georges et Chédabouctou	Études biologiques
81-034	28 août - 30 oct.	M.A. Hemphill, région de l'Atlantique, SHC	Côte sud-ouest de la Nouvelle-Écosse	Cartographie hydrographique



Steve Grant 6247-11

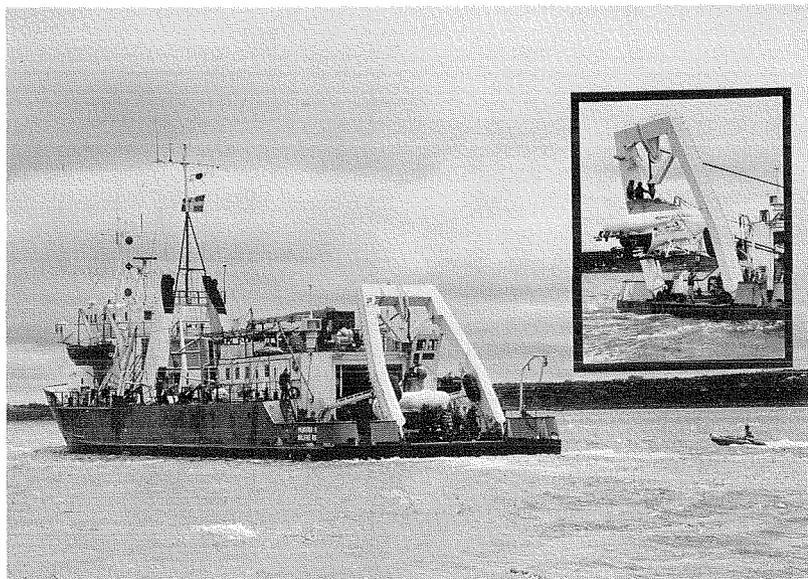
Hart Stoll à bord du N.S.C. *Dawson*.



Heinz Wiede 6229-28

Mike Lewis sur la passerelle du n.s.c. *Hudson*.

ANNÉE ET N° DE L'EXPÉDITION	DATES	RESPONSABLE	ZONE COUVERTE	OBJECTIFS
81-004	2 - 12 mars	T.R. Foote, LOA	Sud-est du cap de Sable (N.-E.) et région du banc Georges	Récupération et remise en place de courantomètres amarrés
81-005	13 - 19 mars	R.O. Fournier, Université Dalhousie	Section allant d'Halifax au Gulf Stream	Études biologiques
81-006	24 mars - 3 avril	D.E.T. Bigwood, NSRF	Côte de la Nouvelle-Écosse	Études géologiques
81-008	7 - 17 avril	E.M. Levy, LOA	Grand Banc (Hibernia et South Tempest)	Relevés préliminaires du taux actuel de résidus du pétrole, et autres études d'océanographie chimique
81-013	22 avril - 1 ^{er} mai	B.T. Hargrave, MEL	Les eaux du plateau continental et du talus au sud-est d'Halifax jusqu'à Canso et la baie St-Georges	Études biologiques
81-014	4 - 8 mai	P.C. Smith, LOA	Sud-ouest de la N.-E. (glacis du plateau Scotian)	Récupération et remise en place d'une partie de la batterie de courantomètres
81-016	12 - 19 mai	F.S. Medioli, Université Dalhousie	Plateforme Scotian et talus	Études géologiques
81-020	2 - 23 juin	C.E. Keen, CGA	Marge continentale au large de l'est des États-Unis près du New Jersey	Expédition réalisée avec trois autres instituts océanographiques (quatre navires). Mise au point et utilisation de techniques sismiques multivoies avec plusieurs bateaux pour étudier la structure profonde des marges continentales.
81-025	25 juin - 9 juil.	B. Sundby, UQAR	Eaux du large de la N.-É. et estuaire du St-Laurent	Études de la couche limite benthique
81-026	9 - 15 juil.	R.O. Fournier, Université Dalhousie	Côte sud-ouest de la N.-É.	Étude de la dynamique du phytoplancton
81-036	17 - 25 juil.	G. Harding, LEM	Sud-est du golfe St-Laurent, est du détroit de Northumberland, baie St-Georges	Études et relevés écologiques
81-037	31 juil. - 2 août	B.D. Loncarevic, CGA	Section d'Halifax	Essai initial du gravimètre KSS-30
81-038	6 août - 30 sept.	S.T. Grant, région de l'Atlantique, SHC	Détroit de Davis	Levés hydrographiques
81-039	8 - 19 oct.	D.D. Sameoto, LEM	Plateforme Scotian	Études de la distribution verticale du phytoplancton et du zooplancton
81-40	22 - 31 oct.	P.C. Smith, LOA	Sud-ouest de la plateforme Scotian et du glacis	Récupération des instruments et remise en place d'une batterie plus grande d'instruments (expérience du cap de Sable)
81-041	3 - 10 novembre	D.L. McKeown, LOA	Du bassin Jordan au bassin Cumberland, baie de Fundy	Relevé CTP, essais de matériel, autres expériences
81-042	13 - 24 novembre	J.A. Elliott, LOA	Rebord de la plateforme Scotian	Étude de la marée interne
81-043	27 nov. - 3 déc.	G.L. Bugden, LOA	Golfe St-Laurent	Prévision des glaces
81-044	3 - 15 décembre	D.J.W. Piper, CGA	Talus Scotian et sommet du cône Laurentien	Études géologiques



Heinz Wiele 6059

PANDORA II

- Le *Pandora II*, bâtiment privé possédant des installations de manutention des submersibles, est affrété par le ministère des Pêches et des Océans qui l'utilise pour la recherche océanographique pluridisciplinaire.
- Caractéristiques principales – construit en 1974... 58,2 m de longueur hors-tout... 4,6 m de largeur... 1 377 tonnes de jauge brute... vitesse maximum de 13 noeuds... vitesse de croisière de 10,5 noeuds... autonomie de 100 jours à la vitesse de croisière... portique en A pour la manutention des submersibles... installations de repérage des submersibles... ateliers complets pour la mécanique, l'électronique et les batteries des submersibles

Le *Pandora II*: à droite, le submersible *Pisces IV*.

ANNÉE ET N° DE L'EXPÉDITION	DATES	RESPONSABLE	ZONE COUVERTE	OBJECTIFS
81-010	14 - 22 avril	J.N.B. Smith, LOA	Baie de Fundy	Surveillance environnementale de Pointe-Lepreau
81-011	23 - 30 avril	G.L. Bugden, LOA	Golfe et estuaire du St-Laurent	Levés CTP; récupération des amarrages
81-015	2 - 16 mai	B. Long, INRS - Océanologie	Fleuve St-Laurent	Divers travaux
81-018	16 - 31 mai	S. Peck, SLO, Québec	Fleuve St-Laurent	Collecte de données de base en vue de la régulation de la rivière Romaine pour la production d'électricité
81-023	2 - 22 juin	W.W. Denner, Université Memorial	Canyon Carson, sur le Grand Banc	Étude des processus dynamiques près du canyon
81-024	4 - 8 janv.	C.K. Ross, LOA	Bonnet Flamand	Poursuite de l'expérience du Bonnet Flamand de l'OPANO
81-049	16 - 22 juillet	B.T. Hargrave, LEM	Plateforme Scotian et talus, et baie St. Margaret (N.-É.)	Études biologiques
81-050	25 juil. - 6 août	D.J.W. Piper, CGA	Talus Scotian et Goulet	Études géologiques
81-051	13 - 17 août	D. Bezanson, LOA	Plateforme Scotian, détroit de Northumberland, baie de Chaleurs	Études géologiques; étude d'un site de décharge
81-052	17 - 22 août	J. Syvitski, CGA	Chenal Laurentien, Iles-de-la-Madeleine	Études des particules en suspension
81-053	22 - 27 août	B. Long, INRS - Océanologie	Rivières St-Jean et Natashquan, Québec	Études géologiques
81-054	26 août - 8 sept.	G.B. Fader, CGA	Baie de Plaisance (T.-N.), Grand Banc, nord-est de la plateforme Scotian	Emploi du submersible <i>Pisces IV</i> dans des études géologiques du fond marin
81-055	9 - 26 sept.	B. MacLean, CGA	Détroit de Davis - baie Baffin	Études géologiques et géophysiques
81-056	26 sept. - 13 oct.	B. MacLean, CGA E.M. Levy, LOA	Sud-est de l'île Baffin	Poursuite de l'étude du suintement de pétrole de l'inlet Scott à l'aide du submersible <i>Pisces IV</i>
81-057	13 - 28 oct.	H.W. Josenhans, CGA	Plateforme du Labrador, détroit de Belle-Isle	Études géologiques du fond marin à l'aide du submersible <i>Pisces IV</i>
81-058	1 nov. - 10 déc.	P.J.C. Ryall, Université Dalhousie	Région des Bermudes	Études géologiques du piédestal des Bermudes

AUTRES EXPÉDITIONS

ANNÉE ET N° DE L'EXPÉDITION	DATES	RESPONSABLE	ZONE COUVERTE	OBJECTIFS
81-029 Divers navires	10 juil. - 8 oct.	M.G. Swim, région de l'Atlantique, SHC	Détroit de Fury et Hecla, bassin de Foxe, Territoires du Nord-ouest	Levés hydrographiques des routes proposées pour les transporteurs de GNL
81-059 <i>Polar Circle</i>	18 juil. - 13 oct.	R.M. Cameron, région de l'Atlantique, SHC	Ile Wolf-sud, Labrador; rivière Koksoak, Québec; bassin Foxe, Territoires du Nord-ouest	Cartographie hydrographique

LADY HAMMOND

- Le *Lady Hammond*, chalutier de pêche transformé, est affrété par le ministère des Pêches et des Océans qui l'emploie exclusivement pour la recherche halieutique. Il sert principalement à la Division des poissons de mer, qui possède des éléments à l'IOB et à St. Andrews (N.-B.). Sauf indication contraire, le responsable fait partie de la Division des poissons de mer.
- Caractéristiques principales – construit en 1972... 54 m de longueur hors-tout... 11 m de largeur hors-tout... 5,5 m de tirant d'eau maximum... 306 tonnes de jauge brute... vitesse maximum de 13,5 noeuds... vitesse de croisière de 12 noeuds



Roger Bélanger 6378-1

ANNÉE ET N° DE L'EXPÉDITION	DATES	RESPONSABLE	ZONE COUVERTE	OBJECTIFS
H046	5 - 16 janv.	P. Koeller	Plateforme Scotian	Distribution du merlu argenté
H047	19 janv. - 3 fév.	J. Reid	Plateforme Scotian	Relevé standard de l'ichtyoplancton
H048	23 fév. - 6 mars	K. Waiwood	Banc Occidental - baie de Fundy	Relevé standard du poisson de fond
H049	9 - 19 mars	A.C. Kohler	Banc Occidental - chenal Laurentien et anse Sydney	Relevé standard du poisson de fond
H050	13 mars - 2 avril	J. McGlade	Banquereau - banc de Brown	Relevé standard de l'ichtyoplancton
	7 - 14 avril	B. Wood	Plateforme Scotian	Relevé standard de l'ichtyoplancton
H051	21 - 24 avril	P. Koeller	Banc Emerald	Essais internationaux de chaluts pélagiques pour les jeunes gadidés
H052	27 avril - 5 mai	W. Smith	Subdivision 4VS de l'OPANO	Marquage du poisson de fond et étude de l'interaction des espèces
H054	11 - 14 mai	D. Waldron	Plateforme Scotian	Prélèvement de merlu argenté
H055	21 - 29 mai	J.S. Scott	Plateforme Scotian	Étude de la distribution des jeunes poissons de fond
H056	15 - 24 juin	R. O'Boyle	Plateforme Scotian	Relevé standard de l'ichtyoplancton
H057	29 - 30 juin	J. Cornick, DGSR	Banc Emerald	Collecte d'échantillons pour l'étude des maladies des poissons
H058	2 juillet	J. Cornick, DGSR	Pointe Chebucto	Collecte d'échantillons pour l'étude des maladies du poisson
H059	4 - 12 juil.	A.C. Kohler	Plateforme Scotian - baie de Fundy	Etude d'été du poisson de fond et essais comparatifs de pêche avec le <i>A.T. Cameron</i> ►

H060	16 - 25 juil.	K. Waiwood	Plateforme Scotian - baie de Fundy	Relevé été du poisson de fond et essais comparatifs de pêche avec le <i>A.T. Cameron</i>
H061	29 juil. - 10 août	K. Howes	Baie de Fundy	Relevé des larves de hareng; essais de matériel
H062	8 - 15 sept.	W. Smith	Banc Occidental	Marquage de la morue dans la division 4W de l'OPANO; collecte d'échantillons de poissons de fond
H063	18 - 25 sept.	D. Waldron	Plateforme Scotian	Relevé du merlu argenté
H064	20 sept. - 8 oct.	K. Waiwood	Plateforme Scotian	Relevé d'automne du poisson de fond
H065	13 - 22 oct.	J. Hunt	Plateforme Scotian	Relevé d'automne du poisson de fond
H066	26 oct. - 13 nov.	P. Koeller	Division 4WX de l'OPANO	Relevé de jeunes merlus argentés; pêche comparée avec le bateau soviétique <i>Ekliptika</i>
H067	17 - 28 nov.	B.D. Loncarevic, CGA	Plateforme Scotian	Essais en mer d'un gravimètre
H068	1 - 5 déc.	D. Beanlands	Plateforme Scotian	Collecte d'échantillons de goberge



Roger Belanger 1986-1

EE PRINCE

- Le *EE Prince* est un chalutier arrière à coque d'acier servant à la recherche halieutique et à la pêche expérimentale et exploratoire.
- Caractéristiques principales – construit en 1966... 39,9 m de longueur hors-tout... 8,2 m de largeur hors-membre... 3,6 m de tirant d'eau maximum... 421 tonnes de déplacement... 406 tonnes de jauge brute.

ANNÉE ET N° DE L'EXPÉDITION	DATES	RESPONSABLE	ZONE COUVERTE	OBJECTIFS
249	16 - 26 fév.	R. Shotton	Baie de Fundy	Distribution hivernale du hareng
250	2 - 13 mars	K. Howse	Baie de Fundy	Relevé de l'abondance des larves de hareng et du zooplancton
251	30 mars - 11 avril	B. Mohn, DGSR	Plateforme Scotian	Relevé de la crevette
252	21 - 24 avril	C. Morrison	Banc Chebucto, banc Emerald	Étude sur les maladies des poissons de mer
253	30 avril - 18 mai	B. Nakashima	Division 4RS de l'OPANO	Relevé du capelan
254	21 - 26 mai	S. Labonté	Gaspé	
255	15 - 16 juin	G. Young	Golfe St-Laurent	Production d'oeufs de maquereaux
256	11 - 24 juil.	M. Sinclair	Sud-ouest de la Nouvelle-Écosse	Relevé des harengs adultes
257	27 - 31 juil.	J. Robert	Banc Georges	Relevé des pétoncles
258	31 juil. - 7 août	J. Robert	Plateforme Scotian	Relevé des pétoncles
259	12 - 20 août	J. Robert	Banc Georges	Relevé des pétoncles
260	2 - 21 sept.	S. Smith, P. Koeller	Golfe St-Laurent	Inventaire des poissons de fond
261	24 sept. - 21 oct.	P. Koeller	Division 4WD de l'OPANO	Relevé de la crevette
262	24 - 30 oct.	S. Labonté	Nord-ouest du golfe St-Laurent	Étude du capelan
263	9 - 27 nov.	G. Black	Baie de Fundy	Relevé des larves de hareng

EXPÉDITIONS RÉALISÉES EN COOPÉRATION

La Division des poissons de mer a participé en 1981 à des expéditions réalisées en collaboration à bord du bateau de recherche sociétiqu *Ekliptika* (abrégi EK).

ANNÉE ET N° DE L'EXPÉDITION	DATES	RESPONSABLE	ZONE COUVERTE	OBJECTIFS
EK01	26 août - 1 ^{er} sept.	B. Wood	Plateforme Scotian	Relevé de l'ichthyoplancton (annuel)
EK02	1 ^{er} - 14 sept. 15 - 28 sept.	J. Reid J. Simon	Plateforme Scotian	Relevé de l'ichthyoplancton (annuel)
EK03	28 sept. - 13 oct. 14 oct. - 3 nov. 3 - 15 nov.	J. Reid B. Wood P. Perley	Plateforme Scotian	Relevé de l'ichthyoplancton (annuel)



Roger Belanger 5403-1

Une vedette de levé hydrographique au cap White Hankerchief, sur la côte du Labrador.

Organisation et Personnel

L'IOB est un institut de recherche du gouvernement du Canada placé sous la responsabilité du ministère des Pêches et des Océans (MPO), qui l'administre pour son propre compte et pour celui des autres ministères fédéraux qui y possèdent des laboratoires et des services. Les recherches, les installations et les services de l'Institut relèvent d'une série de comités spéciaux et généraux.

L'IOB abrite aussi les bureaux de l'Organisation des pêches de l'Atlantique nord-ouest (secrétaire exécutif – capitaine

J.C.E. Cardoso); les laboratoires d'analyse du Service de la protection de l'environnement (D^r H.S. Samant) du ministère de l'Environnement (MDE); enfin, le bureau de la région de l'Atlantique de l'Administration du pétrole et du gaz des terres du Canada (M. T. W. Dexter) du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources (EMR). Certains locaux sont loués à des sociétés privées oeuvrant dans le domaine des sciences de la mer: Hunttec Ltd., Wycove Systems Ltd. et Franklin Computers Ltd.

Nous présentons ci-dessous les principaux groupes qui travaillent à l'Institut, ainsi que le nom de leur chef et une liste du personnel de l'Institut en janvier 1982. Les numéros de téléphone apparaissent sur la première liste: noter que le code régional de la Nouvelle-Écosse est 902 et le préfixe de l'Institut 426. Le groupe ou la division où travaille chaque employé est indiqué en abrégé après son nom: les abréviations utilisées sont définies dans la liste des groupes principaux.

SCIENCES ET LEVÉS Océaniques, ATLANTIQUE (MPO)

A.R. Longhurst

DG – Directeur général 3492

C.E. Murray, Relations publiques 3251

H.B. Nicholls, Anal. coord. des programmes 3246

SG – Services de gestion

G.C. Bowdridge, responsable 6166

Services administratifs

M.C. Bond, chef 6166

Services financiers

N.T. LeBlanc, chef 7060

Services de la gestion du matériel

A.R. Mason, chef 3487

P – Services du personnel

J.G. Feetham, responsable 2366

LOA – Laboratoire océanographique de l'Atlantique

G.T. Needler, directeur 7456

LOA – 1. Océanographie chimique

J.M. Bewers, chef 2371

LOA – 2. Océanographie côtière

C.S. Mason, chef 3857

LOA – 3. Métrologie

D.L. McKeown, chef 3489

LOA – 4. Circulation océanique

J.A. Elliott, chef 2502

SHC – Service hydrographique du Canada (Région de l'Atlantique)

A.J. Kerr, directeur 3497

SHC – 1. Levés hydrographiques

T.B. Smith, chef 2432

SHC – 2. Production des cartes

B.E. McCorriston, chef suppléant 7286

SHC – 3. Développement hydrographique

R.G. Burke, chef 3657

SHC – 4. Navigation

R.M. Eaton, chef 2572

SHC – 5. Planification et dossiers

R.C. Lewis, chef 2477

SHC – 6. Marées

D.L. DeWolfe, chef 3846

LEM – Laboratoire d'écologie marine

K.H. Mann, directeur 3696

LEM – 1. Océanographie biologique

T.C. Platt, chef 3793

LEM – 2. Qualité de l'environnement

R.F. Addison, chef 3279

LEM – 3. Océanographie des pêches

R.W. Sheldon, chef 3270

RI – Ressources de l'Institut

R.L.G. Gilbert, responsable 3681

RI – 1. Navires

E.S. Smith, chef 7292

RI – 2. Services d'ingénierie

D.F. Dinn, chef 3700

RI – 3. Services informatiques

D.M. Porteous, chef 2452

RI – 4. Services de bibliothèque

J.E. Sutherland, chef 3675

RI – 5. Services de publication

M.P. Latrémouille, chef 5947

SERVICE DES PÊCHES DANS L'ATLANTIQUE, MARITIMES (MPO)

DPM – Division des poissons de mer

T.D. Iles, chef 8390

Comité consultatif scientifique des pêches

canadiennes dans l'Atlantique – Secrétariat

D. Geddes 8390

SERVICE CANADIEN DE LA FAUNE (MDE)

UROM – Unité de recherche sur les

oiseaux de mer 3274

COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA (EMR)

CGA – Centre géoscientifique de l'Atlantique

M.J. Keen, directeur 2367

CGA – 1. Administration

P.G. Stewart, chef 2111

CGA – 2. Géologie du pétrole – secteur de

l'Est

G.L. Williams, chef 2730

CGA – 3. Géologie du milieu marin

D.J.W. Piper, chef 7730

CGA – 4. Soutien des programmes

K.S. Manchester, chef 3411

CGA – 5. Reconnaissance régionale

R.T. Haworth, chef 3448

ABERNETHY, Scott *LEM-2*
 ABOU DEBS, Chantal *LEM-3*
 ABRIEL, James *LOA-1*
 ACKER, Queenie *SG*
 ADAMS, Al *RI-1*
 ADDISON, Richard *LEM-2*
 AHERN, Patrick *LEM-2*
 ALLEN, Lorraine *LEM-3*
 AMERO, Roy *SHC-1*
 AMIRALTY, Byron *LOA-1*
 AMOS, Carl *CGA-3*
 ANDERSON, Bob *LOA-4*
 ANDERSON, Carl *LOA-2*
 ANDERSON, Debbie *SG*
 ANDERSON, George *SG*
 ANGELIDIS, Steve *LEM-1*
 ANNAND, Christine *DPM*
 ARCHER, Barbara *DG*
 ARMITAGE, Fred *RI-2*
 ARMSTRONG, Nancy *DPM*
 ASCOLI, Piero *CGA-2*
 ASPREY, Ken *CGA-3*
 ATKINSON, Karen *LOA-2*
 ATKINSON, Tony *CGA-4*
 AVERY, Mike *CGA-2*
 AVEY, David *Baffin*
 AWALT, Garon *RI-2*

 BACHMAN, Earl *Dawson*
 BAILEY, Bill *LOA-2*
 BAKER, Lloyd *RI-1*
 BARRON, John *LOA-1*
 BARSS, Sedley *CGA-2*
 BASDEN, Kelly *RI-1*
 BASTIEN, Robert *RI-3*
 BEALS, Carol *SHC*
 BEANLANDS, Brian *LOA-3*
 BEANLANDS, Diane *DPM*
 BEAVER, Darrell *CGA-4*
 BECK, Brian *DPM*
 BECK, Vince *RI-3*
 BEHAN, Chris *DPM*
 BELANGER, Roger *RI-5*
 BELL, Bill *Dawson*
 BELLEFONTAINE, Larry *LOA-4*
 BELLEFONTAINE, Linda *SG*
 BELLEMARE, Paul *SHC-1*
 BENNETT, Andrew *LOA-3*
 BENNETT, Rick *Navicula*
 BERKELEY, Tom *SHC-3*
 BEST, Neville *Hudson*
 BETLEM, Jan *LOA-1*
 BEWERS, Michael *LOA-1*
 BEZANSON, Don *LOA-2*
 BISHOP, Jeffrey *LOA-1*
 BLAKENEY, Claudia *CGA-3*
 BLANCHARD, Elaine *SG*
 BLANEY, Dave *CGA-1*
 BLASCO, Steve *CGA-3*
 BONANG, Faye *SG*
 BONANG, Linda *SG*
 BOND, Murray *SG*
 BOUDREAU, Henri *CGA-1*
 BOUDREAU, Paul *LEM-3*
 BOUTILIER, Gary *DPM*
 BOWDRIDGE, Gordon *SG*
 BOWEN, Eileen *SG*
 BOWMAN, Garnet *SHC-1*
 BOWSER, Mike *RI-2*
 BOYCE, Rick *LOA-2*
 BOYCE, William *CGA-4*
 BRANTON, Bob *DPM*

 BRINE, Doug *RI-3*
 BRODIE, Paul *LEM-3*
 BROUSSARD, Joan *SG*
 BROWN, Dick *UROM*
 BUCKLEY, Dale *CGA-3*
 BUGDEN, Gary *LOA-2*
 BUIJAK, Jonathan *CGA-2*
 BURGESS, Frank *SHC-1*
 BURHOE, Meg *SG*
 BURKE, Robert *SHC-3*
 BURKE, Walter *SHC-1*

 CALDWELL, Glen *RI-2*
 CAMERON, Ralph *SHC-1*
 CAMERON, Rose *SG*
 CARR, Judy *DPM*
 CARSON, Bruce *LOA-4*
 CASEY, Deborah *RI-3*
 CASHIN, Elmo *RI-1*
 CASSIVI, Roger *LOA-3*
 CAVERHILL, Carla *LEM-1*
 CHAMBERLAIN, Duncan *RI-1*
 CHAPMAN, Borden *CGA-4*
 CHAREST, Janet *RI-4*
 CHARLETON, Beverley *DPM*
 CHENIER, Marcel *SHC-2*
 CHIN-YEE, Mark *RI-2*
 CLARKE, Allyn *LOA-4*
 CLARKE, Tom *RI-2*
 CLATTENBURG, Donald *SHC-3*
 CLIFF, John *Baffin*
 CLOTHIER, Rodney *Baffin*
 COCHRANE, Norman *LOA-3*
 COLE, Flona *CGA-3*
 COLFORD, Brian *SG*
 COLLIER, Kathie *LOA-3*
 COLLINS, Gary *RI-3*
 COMEAU, Ernest *SHC-1*
 CONNOLLY, Gerald *LOA-3*
 CONOVER, Bob *LEM-1*
 CONRAD, Bruce *Hudson*
 CONRAD, David *LOA-1*
 COOK, Gary *CGA-2*
 COOKE, Gary *RI-2*
 COOTE, Art *LOA-1*
 COSGROVE, Art *RI-5*
 COSTELLO, Gerard *SHC-1*
 COTE, Brenda *LEM-3*
 COURNOYER, Jean *RI-2*
 COX, Brian *Baffin*
 CRAIG, Dale *SG*
 CRANFORD, Peter *LEM-2*
 CRANSTON, Ray *CGA-3*
 CRAWFORD, Keith *SHC-2*
 CREWE, Norman *LOA-1*
 CRILLEY, Bernard *CGA-2*
 CROWE, Hubert *Hudson*
 CRUX-COOK, Elizabeth *SHC-2*
 CULLEN, John *LEM-1*
 CUNNINGHAM, Carl *LOA-1*
 CURRIE, Randy *RI-3*
 CUTHBERT, Jim *RI-3*

 DAGNALL, Joyce *UROM*
 DALE, Carla *DPM*
 DALE, Jackie *LEM*
 DALZIEL, John *LOA-1*
 DANIELS, Marilyn *RI-4*
 D'APOLLONIA, Steve *CGA-3*
 DAS, Paddy *Baffin*
 DAVIES, Ed *CGA-2*
 DAWE, Jane *CGA-5*

 DEASE, Ann *SG*
 DEASE, Gerry *RI-2*
 DeLONG, Bob *RI-2*
 DE MESTRAL, Jacqueline *DPM*
 DEMONT, Leaman *RI-2*
 DENMAN, Richard *LEM-3*
 DENMAN, Shirley *CGA-1*
 DENNIS, Pat *CGA-1*
 D'ENTREMONT, Paul *LOA-2*
 DEONARINE, Bhan *CGA-3*
 DESCHENES, Mary Jean *RI-3*
 DESSUREAULT, Jean-Guy *LOA-3*
 DEWOLFE, David *SHC-5*
 DICKIE, Lloyd *LEM-3*
 DICKIE, Paul *LEM-1*
 DICKINSON, Ross *Dawson*
 DICKSON, Mary Lynn *DPM*
 DINN, Donald *RI-2*
 DOBSON, Des *LOA-2*
 DOBSON, Fred *LOA-2*
 DOLLIMOUNT, Ray *Hudson*
 DOWD, Dick *LEM-3*
 DRINKWATER, Ken *LEM-3*
 DUFFY, Sean *SHC-1*
 DUGAS, Theresa *DPM*
 DUNBRACK, Stu *SHC-1*
 DURVASULA, Rao *LEM-1*

 EATON, Mike *SHC-4*
 EDMONDS, Roy *LEM-3*
 EDWARDS, Bob *P*
 EISENER, Don *RI-2*
 ELLIOTT, Jim *LOA-4*
 ELLIS, Kathy *LOA-1*
 ETTER, Jim *RI-2*

 FADER, Gordon *CGA-5*
 FAHIE, Ted *RI-2*
 FAULKNER, Pat *SG*
 FEETHAM, Jim *P*
 FENERTY, Norman *RI-5*
 FENN, Guy *CGA-4*
 FERGUSON, Carol *RI-1*
 FERGUSON, John *CGA-1*
 FINDLEY, Bill *RI-1*
 FITZGERALD, Bob *CGA-3*
 FLEMING, Dave *SHC-2*
 FODA, Azmeralda *LEM-2*
 FOOTE, Tom *LOA-2*
 FORBES, Donald *CGA-3*
 FORBES, Steve *SHC-3*
 FOWLER, George *LOA-2*
 FOWLER, Mark *DPM*
 FRASER, Brian *LEM-1*
 FRASER, Jack *Maxwell*
 FREEMAN, Ken *LEM-3*
 FRICKER, Aubrey *CGA-4*
 FRIIS, Mike *SG*
 FRIZZLE, Doug *SHC-2*
 FROBEL, David *CGA-3*
 FROST, Jim *LEM-1*
 FU, Tianbao *LOA-1*
 FULLERTON, Anne *LEM-3*

 GAGNE, Jacques *DPM*
 GALLANT, Celesta *SG*
 GALLANT, Roger *RI-2*
 GALLIOTT, Jim *LOA-2*
 GAMMON, Gary *SG*
 GAUDET, Cathy *SG*
 GAUDET, Victor *SHC-1*
 GAY, Tommy *RI-1*

 GEDDES, Dianne *DPM*
 GEIDER, Richard *LEM-1*
 GIDNEY, Betty *RI-5*
 GILBERT, Reg *RI*
 GILROY, Dave *RI-2*
 GIROUARD, Paul *CGA-5*
 GLAZEBROOK, Sherman *LOA-4*
 GOODWIN, Winston *RI-2*
 GOODYEAR, Julien *SHC-1*
 GORDON, Don *LEM-2*
 GORVEATT, Mike *CGA-4*
 GRADSTEIN, Felix *CGA-2*
 GRANT, Al *CGA-1*
 GRANT, Gary *CGA-2*
 GRANT, Steve *SHC-4*
 GREENBERG, David *LOA-2*
 GREGORY, Doug *LOA-2*
 GREIFENEDER, Bruno *LOA-4*
 GUILDERSON, Joan *DG*
 GUILBAULT, Jean-Pierre *CGC-3*

 HAASE, Bob *SHC-1*
 HACQUEBARD, Peter *CGA-2*
 HALE, Ken *RI-5*
 HALLIDAY, James *RI-1*
 HALLIDAY, Ralph *DPM*
 HALLIDAY, Steve *LOA-4*
 HALVERSON, George *RI-2*
 HAMILTON, Phyllis *SHC-6*
 HANTZIS, Alex *SHC-2*
 HARDING, Gareth *LEM-2*
 HARDY, Iris *CGA-5*
 HARGRAVE, Barry *LEM-2*
 HARKINSON, Doug *Baffin*
 HARMES, Bob *CGA-3*
 HARRIS, Cynthia *DPM*
 HARRIS, Jerry *Dawson*
 HARRIS, Leslie *LEM-1*
 HARRISON, Glen *LEM-1*
 HARRISON, Liz *CGA-1*
 HARTLING, Bert *LOA-2*
 HARVEY, David *LOA-3*
 HAWORTH, Richard *CGA-5*
 HAYES, Terry *CGA-1*
 HEAD, Erica *LEM-1*
 HEFFLER, Dave *CGA-4*
 HEMPHILL, Milt *SHC-1*
 HENDERSON, Gary *SHC-1*
 HENDERSON, Terry *CGA-1*
 HENDRY, Ross *LOA-4*
 HENDSBEE, Dave *LOA-4*
 HENNEBERRY, Andy *LEM-2*
 HEPWORTH, Deborah *SHC-2*
 HERMAN, Alex *LOA-3*
 HILDEBRANDT, Judy *P*
 HILL, Phil *CGC-3*
 HILTZ, Ray *LOA-1*
 HILTZ, Sharon *SG*
 HINDS, Jim *Hudson*
 HODGSON, Mark *LEM-1*
 HOFFER, Darrell *CGA-5*
 HOGANSON, Joan *SG*
 HOLLAND, Len *Dawson*
 HOLMES, Wayne *RI-2*
 HORNE, Ed *LEM-1*
 HORNE, Jack *RI-2*
 HOWIE, Bob *CGA-2*
 HUBLEY, Susan *CGA-4*
 HUGHES, David *SHC-1*
 HUGHES, Mike *CGA-4*
 HUH, Mia *LOA-1*
 HUNTER, Leamond *SHC-2*

ILES, Derrick *DPM*
 IRWIN, Brian *LEM-1*

 JACKSON, Art *CGA-2*
 JACKSON, Ruth *CGA-5*
 JAMIESON, Steve *P*
 JANS, Lubomir *CGA-2*
 JARVIS, Lawrence *Hudson*
 JAY, Malcolm *SHC-2*
 JENNEX, Rita *SG*
 JODREY, Fred *CGA-4*
 JOHN, Paulette *SG*
 JOHNSON, Sue *UROM*
 JOHNSTON, Larry *CGA-4*
 JOLLIMORE, Roy *SG*
 JOLLIMORE, Shirley *RI-4*
 JOLY, Giles *P*
 JONES, Peter *LOA-1*
 JONES, Roger *SHC-2*
 JORDAN, Francis *LOA-2*
 JOSENHANS, Heiner *CGC-5*
 JULIEN, Diane *SG*

 KARG, Marlene *RI-3*
 KAVANAUGH, Anita *RI-4*
 KEARNEY, Carl *Dawson*
 KEDDY, Lil *SG*
 KEEN, Charlotte *CGA-5*
 KEEN, Mike *CGA*
 KEENAN, Pat *LOA-2*
 KEIZER, Paul *LEM-2*
 KELLER, Jim *LOA-3*
 KELLY, Bruce *RI-2*
 KENCHINGTON, Trevor *DPM*
 KERR, Adam *SHC*
 KERR, Steve *LEM-3*
 KIERSTEAD, Linda *UROM*
 KING, Donna *DPM*
 KING, Graeme *SHC-5*
 KING, Lewis *CGA-5*
 KING, Rollie *RI-1*
 KINGSTON, Peter *LOA-3*
 KNOX, Don *LOA-3*
 KRANCK, Kate *LOA-2*

 LAKE, Diana *SG*
 LAKE, Paul *CGA-2*
 LAMBERT, Tim *LEM-3*
 LAMPLUGH, Mike *SHC-1*
 LANDRY, Gary *SHC-1*
 LANDRY, Marilyn *LEM-1*
 LANGILLE, Neil *Navicula*
 LAPIERRE, Mike *RI-2*
 LAPIERRE, Richard *RI-1*
 LAROSE, Jim *SHC-2*
 LARSEN, Einar *LEM-2*
 LATREMOUILLE, Michael *RI-5*
 LAWRENCE, Don *LOA-2*
 LAZIER, John *LOA-4*
 LeBLANC, Bill *CGA-3*
 LeBLANC, Cliff *Maxwell*
 LeBLANC, Neil *SG*
 LeBLANC, Paul *RI-2*
 LEFAIVRE, Denis *LOA-4*
 LEJEUNE, Hans *Dawson*
 LEONARD, Jim *LOA-1*
 LEVERMAN, Brian *DPM*
 LEVY, Eric *LOA-1*
 LEWIS, Marlon *LEM-1*
 LEWIS, Mary *LEM-1*
 LEWIS, Mike *CGA-3*
 LEWIS, Reg *SHC-5*

 LI, Bill *LEM-1*
 LINDLEY, Pat *LEM-1*
 LISCHENSKI, Ed *SHC-2*
 LITTLE, Betty *P*
 LIVELY, Bob *LOA-2*
 LOCK, Stan *Baffin*
 LOCK, Tony *UROM*
 LOCKE, Don *CGA-4*
 LOCKE, Evan *LOA-4*
 LOCKYER, Roy *Hudson*
 LODER, John *LOA-4*
 LONCAREVIC, Bosko *CGA-5*
 LONGHURST, Alan *DG*
 LORD, Gabriel *LOA-1*
 LORING, Douglas *LEM-2*
 LOVETT, Bill *SG*
 LUTLEY, Judy *SG*

 MacDONALD, Al *LEM-1*
 MacDONALD, Barry *SG*
 MacDONALD, Gerry *RI-2*
 MacDONALD, Kirk *SHC-5*
 MacDONALD, Rose *SHC-2*
 MacGOWAN, Bruce *SHC-1*
 MacHATTIE, George *RI-2*
 MacHATTIE, Sheila *P*
 MacISAAC, Mary *DPM*
 MacKAY, Bob *Hudson*
 MacLAREN, Florence *P*
 MacLAREN, Oswald *LOA-3*
 MacLAUGHLIN, John *RI-2*
 MacLEAN, Brian *CGA-5*
 MacLEAN, Carleton *Baffin*
 MacLEOD, Grant *SHC-2*
 MacMILLAN, Bill *CGA-2*
 MACNAB, Ron *CGA-5*
 MacPHERSON, Paul *LEM-2*
 MAGUIRE, J-Jacques *DPM*
 MAHON, Robin *DPM*
 MALLETT, André *LEM*
 MALONE, Kent *SHC-1*
 MANCHESTER, Keith *CGA-4*
 MANN, Ken *LEM*
 MARTELL, Jim *SG*
 MARTIN, Bud *SG*
 MARTIN, Harold *Dawson*
 MASON, Clive *LOA-2*
 MASON, Ralph *SG*
 MATTHEWS, Benny *Dawson*
 MATTHEWS, Gordon *Hudson*
 MAUGER, Fred *Hudson*
 MAZERALL, Anne *RI-4*
 McCARTHY, Cathy *CGA-2*
 McCARTHY, Paul *SHC-1*
 McCORRISTON, Bert *SHC-2*
 McGINN, Pete *SHC-6*
 McGLADE, Jackie *DPM*
 McKEOWN, Dave *LOA-3*
 McMILLAN, Jim *DPM*
 McNEIL, Beverley *SHC*
 McRUER, Jeff *LEM-3*
 MEHLMAN, Rick *SHC-1*
 MEIN, John *Baffin*
 MEISNER, Patsy *SHC-2*
 MELBOURNE, Ron *SHC-2*
 MESSIEH, Shoukry *DPM*
 METUZALS, Kaija *DPM*
 MIDDLETON, Cecilia *CGA-3*
 MILLER, Bob *CGA-5*
 MILLER, Frank *SHC-2*
 MILLETT, David *Baffin*
 MILLIGAN, Tim *LOA-2*

 MILNE, Mary *CGA-2*
 MILTON, Randy *UROM*
 MITCHELL, Carol *CGA-2*
 MITCHELL, Michel *LOA-3*
 MOFFATT, John *LOA-1*
 MOORE, Bill *RI-1*
 MORAN, Kate *CGA-3*
 MORTON, Pete *SHC-2*
 MUDIE, Peta *CGA-3*
 MUISE, Fred *RI-2*
 MUISE, Laura *SG*
 MURPHY, Bob *CGA-4*
 MURRAY, Ed *DG*
 MYRA, Valerie *DPM*
 MYERS, Steven *RI-1*

 NEEDLER, George *LOA*
 NETTLESHIP, David *UROM*
 NEU, Hans *LOA-2*
 NICHOLLS, Brian *DG*
 NICHOLS, Brian *CGA-5*
 NICKERSON, Bruce *LOA-3*
 NICKERSON, Carol *SG*
 NICOLL, Michael *RI-1*
 NIELSEN, Jes *CGA-4*
 NORTON, Neil *Baffin*

 OAKEY, Neil *LOA-4*
 O'BOYLE, Bob *DPM*
 O'REILLY, Charles *SHC-6*
 O'ROURKE, Mike *RI-2*
 ORR, Ann *LEM-3*

 PALMER, Nick *SHC-2*
 PALMER, Richard *SHC-1*
 PARANJAPPE, Madhu *LEM-1*
 PARSONS, Art *RI-2*
 PATON, Jim *SG*
 PEER, Don *LEM-2*
 PELLERINE, Danny *RI-1*
 PEMPKOWIAK, Janusz *LOA-1*
 PENNELL, Charles *Hudson*
 PETERSON, Carl *RI-2*
 PETRIE, Brian *LOA-2*
 PETRIE, Liam *LEM-3*
 PETTIPAS, Roger *LOA-4*
 PHILLIPS, Georgina *LEM-2*
 PHILLIPS, Ted *LOA-3*
 PIETRZAK, Robert *SHC-5*
 PIPER, David *CGA-3*
 PLATT, Trevor *LEM-1*
 POCKLINGTON, Roger *LOA-1*
 POLSON, Carl *RI-2*
 PORTEOUS, Dave *RI-3*
 PORTER, Cathy *LOA-4*
 POTTIE, Dennis *LOA-1*
 POTTIE, Ed *SG*
 POWROZ, William *Dawson*
 POZDNEKOFF, Peter *LOA-4*
 PRITCHARD, John *LOA-2*
 PROCTOR, Wally *LOA-3*
 PROUSE, Nick *LOA-2*
 PURDY, Phil *SG*

 QUINLAN, Garry *CGA-5*
 QUON, Charlie *LOA-4*

 RACINE, Carol *CGA-1*
 RADCLIFFE, Mark *LOA-4*
 RAFUSE, Phil *Baffin*
 RAIT, Sue *SG*
 RASHID, Mohammed *CGA-3*

 REED, Barry *Dawson*
 REID, Ian *CGA-5*
 REID, Jim *DPM*
 REIMER, Dwight *LEM-3*
 REINHARD, Harry *SG*
 REINIGER, Bob *LOA-4*
 REYNOLDS, Bill *Hudson*
 RICHARD, Wayne *RI-3*
 RIPPEY, Helen *LOA-2*
 RIPPEY, Jim *Hudson*
 RITCEY, Jack *Baffin*
 ROACH, Marilyn *SG*
 ROBERTSON, Kevin *CGA-3*
 ROCKWELL, Gary *SHC-1*
 RODGER, Glen *SHC-1*
 ROOP, David *SHC-1*
 ROSE, Charlie *RI-2*
 ROSS, Charles *LOA-4*
 ROSS, Jim *SHC-2*
 ROSSE, Ray *SG*
 ROZON, Chris *SHC-1*
 RUDDERHAM, Dave *LEM-1*
 RUMLEY, Betty *LOA-2*
 RUSHTON, Laurie *LEM-1*
 RUSHTON, Terry *LEM-3*
 RUXTON, Michael *SHC-1*

 SABOWITZ, Norman *RI-4*
 SADI, Jorge *Baffin*
 SAMEOTO, Doug *LEM-1*
 SANDSTROM, Hal *LOA-4*
 SAUNDERS, Jo-Anne *RI-4*
 SCHAFFER, Charles *CGA-3*
 SCHIPILOW, Catherine *SHC-2*
 SCHUTZENMEIER, Marion *LOA-2*
 SCHWARTZ, Bernie *RI-2*
 SCHWINGHAMER, Peter *LEM-2*
 SCOTNEY, Murray *LOA-2*
 SEIBERT, Gerald *LOA-2*
 SHATFORD, Lester *LOA-3*
 SHAY, Juanita *RI-2*
 SHELDON, Ray *LEM-3*
 SHERIN, Andy *CGA-4*
 SHIH, Stone *CGA-5*
 SHOTTON, Ross *LEM-3*
 SHUNAMON, Sherry *LOA-2*
 SILVERT, Bill *LEM-3*
 SIMMONS, Carol *LEM-2*
 SIMMS, Judy *LOA-1*
 SIMON, Jim *DPM*
 SIMPSON, Pat *DPM*
 SINCLAIR, Allan *DPM*
 SISK, Perry *DPM*
 SLADE, Harvey *RI-5*
 SMITH, Alan *SHC-2*
 SMITH, Bert *SHC-1*
 SMITH, Bill *DPM*
 SMITH, Fred *RI-1*
 SMITH, John *LOA-1*
 SMITH, John *LEM-1*
 SMITH, Peter *LOA-2*
 SMITH, Ralph *LEM-1*
 SMITH, Steve *DPM*
 SMITH, Stu *LOA-4*
 SMITH, Sylvia *LEM*
 SMITH, Ted *RI-1*
 SPARKES, Roy *CGA-4*
 SPENCER, Sid *RI-2*
 SPRY, Jeff *LEM-1*
 SRIVASTAVA, Shiri *CGA-5*
 STEAD, Gordon *SHC-2*

STEELE, Trudi *LOA-4*
STEEVES, George *RI-2*
STEPANCZAK, Mike *LOA-3*
STEWART, Pat *CGA-1*
STILO, Carlos *Baffin*
STIRLING, Charles *SHC-1*
STOBO, Wayne *DPM*
STODDART, Stan *Hudson*
STOFFYN, Mark *CGA-3*
STOFFYN, Patricia *CGA-3*
STOLL, Hartmut *RI-2*
STRAIN, Peter *LOA-1*
STRUM, Lorán *Hudson*
STUART, Al *RI-2*
STUIFBERGEN, Nick *SHC-4*
SUTHERLAND, Betty *RI-4*
SUTHERLAND, Harry *RI-2*
SVETLIK, Susan *RI-4*
SWIM, Minard *SHC-1*
SWYERS, Bert *LOA-2*
SYMES, Jane *P*
SYVITSKI, James *CGA-3*

TAN, Francis *LOA-1*

TANG, Charles *LOA-2*
TAYLOR, Bill *RI-3*
TAYLOR, Bob *CGA-3*
TAYLOR, George *LEM-3*
TEE, Kim Tai *LOA-4*
THOMAS, Frank *CGA-2*
TILLMAN, Betty *P*
TOLLIVER, Deloros *CGA-1*
TOPLISS, Brenda *LOA-2*
TOTTEN, Gary *RI-1*
TRITES, Ron *LEM-3*

UNDERWOOD, Bob *RI-2*

VALDRON, Linda *DPM*
VANDAL, Bob *RI-2*
VANDERMEULEN, John *LEM-2*
VARBEFF, Boris *RI-2*
VARMA, Herman *SHC-1*
VASS, Peter *LEM-2*
VAUGHAN, Betty *RI-2*
VERGE, Ed *LOA-2*
VETESE, Barb *CGA-1*
VEZINA, Guy *RI-2*

VILKS, Gus *CGA-3*
VINE, Dick *RI-2*

WADE, John *CGA-2*
WAGNER, Frances *CGA-3*
WALDRON, Don *DPM*
WALKER, Bob *LOA-2*
WANG, Rong *LEM-2*
WARD, Brian *RI-2*
WARDROPE, Dick *RI-2*
WARNELL, Margaret *RI-3*
WEBBER, Shirley *SG*
WELLS, Peter *LEM-2*
WESTHAVER, Don *RI-2*
WESTON, Sandra *SHC-2*
WHITE, George *DPM*
WHITE, Joe *SG*
WHITE, Keith *SHC-3*
WHITEWAY, Bill *LOA-3*
WIECHULA, Marek *RI-3*
WIELE, Heinz *RI-5*
WILLIAMS, Doug *SG*
WILLIAMS, Graham *CGA-2*
WILLIAMS, Pat *LOA*

WILLIS, Doug *LEM-2*
WILSON, George *RI-1*
WILSON, Jim *RI-2*
WINTER, Danny *RI-2*
WINTERS, Gary *CGA-3*
WOOD, Bryan *DPM*
WOODHAMS, Lofty *RI-2*
WOODSIDE, John *CGA-5*
WRIGHT, Dan *LOA-4*
WRIGHT, Morley *RI-2*
WTTEWAAL, Joan *RI-3*

YEATS, Phil *LOA-1*
YOUNG, Gerry *DPM*
YOUNG, Scott *LOA-3*

ZEMLYAK, Frank *LOA-1*
ZINCK, Maurice *LEM-2*
ZWANENBURG, Kees *DPM*

COMMISSIONS, GROUPES DE TRAVAIL ET COMITÉS NATIONAUX ET INTERNATIONAUX

Parce que cette publication se consacre à la recherche fondamentale en océanographie de l'IOB, et que les affiliations individuelles des scientifiques de l'IOB aux organismes internationaux ne changent pas si souvent qu'une mise à jour annuelle soit bien utile, nous allons concentrer notre attention, cette année, sur le rôle que l'IOB joue actuellement en temps qu'organisme unique de recherche internationale, soit en tant que Comité scientifique de recherche océanographique (communément reconnu sous le sigle de SCOR). Le SCOR est l'un des 14 comités scientifiques de l'ICSU (Conseil international des associations scientifiques), qui est un organisme international, mais non-gouvernemental, travaillant étroitement avec l'UNESCO et l'OMM. SCOR recrute ses membres par l'entremise d'un Comité national; il a recruté 35 membres qui ont acquitté leurs cotisations, ce qui est assez représentatif de ses activités en tant qu'organisme international d'océanographie.

Le Comité directeur de SCOR est composé de quatre membres canadiens; les autres membres proviennent en particulier de l'Afrique du sud, l'Union soviétique, le Royaume-Uni, les États-Unis, la République fédérale d'Allemagne, les Pays-Bas, le Danemark, la Suisse et l'Inde. Le

bureau de SCOR se trouve au Département d'océanographie, de l'Université Dalhousie, à Halifax, et est placé sous la direction de Ms. E. Tidmarsh, Secrétaire de direction; le président de SCOR est le D^r Simpson de l'Université de Cape Town, et son Secrétaire est le D^r A.R. Longhurst, du ministère des Pêches et des Océans à l'IOB.

La SCOR accomplit son travail surtout par l'entremise d'un bon nombre de Groupes de travail formés de scientifiques. Ces Groupes de travail sont "normalement créés afin de stimuler ou d'intensifier l'intérêt qu'on porte à un secteur particulier de recherche (surtout) lorsqu'un projet particulier est susceptible de profiter d'une façon significative d'une étude internationale, ou encore quand un projet découle de la planification d'une activité menée en collaboration" (le Manuel de SCOR). Les Groupes de travail de SCOR étudient à la fois les problèmes océanographiques en eux-mêmes (comment un processus océanographique particulier fonctionne-t-il réellement?) et aussi les méthodes et les normes requises pour leurs observations. Au cours de l'histoire de SCOR, quelque 70 Groupes de travail ont ainsi été établis et, à l'heure actuelle, 25 sont en opération, poursuivant plusieurs nouvelles propositions de travail.

La participation de l'IOB à ces Groupes de travail, comme aux autres organismes de SCOR, se présente comme suit: GT 34, Dynamique interne de l'océan (D^r G.T. Needler, AOL); GT 59, Modèles mathé-

matiques de l'océan (D^r K.H. Mann, MEL, président, et D^r T.C. Platt, MEL); GT 61, Processus de sédimentation et bordures continentales (D^r D.J.W. Piper, AGC); GT 68, Circulation de l'Atlantique nord (D^r A. Clarke, AOL); Comité sur le changement de climat dans l'océan (D^r A.R. Longhurst, SLO, Atlantique); Comité mixte sur les tables et les normes océanographiques (Mr. C.K. Ross, AOL).

Pour renseignements, s'adresser à la Secrétaire de direction de SCOR, Tél.: (902) 424-3558, Téléx: 01921863, Adresse télégraphique: OCÉANOGRAPHIE, DALHOUSIE, HALIFAX.

Liste des Travaux de Recherche

Voici la liste des grands domaines de recherche (A, B, C, etc.) et des sujets d'études (1, 2, 3, etc.) entreprise par les membres des trois grands laboratoires de recherche de l'Institut; cette liste était à jour en décembre 1981. Pour tout renseignement supplémentaire sur ces travaux et sur ceux des autres laboratoires de l'Institut, les lecteurs peuvent écrire aux directeurs des laboratoires.

LABORATOIRE OCÉANOGRAPHIQUE DE L'ATLANTIQUE

A. OCÉANOGRAPHIE DE LA COUCHE SUPERFICIEL ET DE LA COUCHE MIXTE

1. Pression du vent, flux thermique et évaporation à la surface de la mer (*S.D. Smith, F.W. Dobson*)
2. Flux thermique superficiel à la station Bravo (*S.D. Smith, J.R.N. Lazier*)
3. Étude sur le développement des vagues (*F.W. Dobson*)
4. Études sur le climat des vagues (*H.J.A. Neu*)
5. Analyse du cheminement du pétrole (*D.J. Lawrence, J.A. Elliott, D. Greenberg*)
6. Bouées dérivantes de surface (*D. Bezanson*)
7. Modélisation de la trajectoire de la dérive des icebergs (*S.D. Smith*)
8. Microstructure dans les couches superficielles (*N.S. Oakey, J.A. Elliott*)
9. Structure à petite échelle des zones frontales des anneaux à noyau chaud dans le Gulf Stream (*C.L. Tang, A.S. Bennett, D.J. Lawrence*)
11. Mesures de la vélocité près de la surface (*N.S. Oakey*)
12. Comparaison des flux moyens air/mer sur une longue période à partir des données des navires météorologiques et des navires océanographiques occasionnels (*F.W. Dobson, S.D. Smith*)
13. Dynamique des glaces au cours de l'expédition CESAR (*R.J. Anderson, S.D. Smith*)

B. OCÉANOGRAPHIE À GRANDE ÉCHELLE EN EAU PROFONDE

1. Formation de l'eau de la mer du Labrador (*R.A. Clarke et coll.*)
2. Dynamique de la mer du Labrador (*C. Quon*)
3. Détermination de l'âge dans l'eau de fond de la baie Baffin (*E.P. Jones*)
4. La queue des Grands bancs (*R.A. Clarke, R.F. Reiniger*)
5. Structure localisée du Gulf Stream (*R.M. Hendry, R.F. Reiniger*)
6. Études sur les ramifications du Gulf Stream (*R.M. Hendry, R.F. Reiniger*)
7. Expérience du bassin de Terre-Neuve (*R.A. Clarke et coll.*)
8. Dynamique non linéaire des ondes longues de l'océan (*H. Sandstrom*)
9. Problèmes de stabilité dans les écoulements DFG (*C. Quon*)
10. Atlas de l'Atlantique nord-ouest (*R.F. Reiniger et coll.*)
11. Expérience de la mer de Norvège et du Groenland (*R.A. Clarke et coll.*)
12. Écoulement d'eau par le détroit du Danemark (*C.K. Ross*)
13. Hydrographie de base de l'Atlantique nord – transect par 48°N (*R.M. Hendry*)
14. Expérience du front polaire (*J.R.N. Lazier*)

C. DYNAMIQUE DU PLATEAU CONTINENTAL

1. Expérience du cap de Sable (*P.C. Smith et coll.*)
2. Expérience du rebord du plateau (*P.C. Smith et coll.*)
3. Détroit de Belle-Isle (*B.D. Petrie, C. Garrett*)
4. Dynamique du plateau – Expérience du chenal Avalon (*B.D. Petrie, H. Sandstrom*)
5. Brassage dû aux marées (*J.A. Elliott, H. Sandstrom*)
6. Batfish – Ondes internes (*A.S. Bennett*)

D. PLATEAU CONTINENTAL ET PASSAGE – ÉTUDES DES MASSES D'EAU ET DU TRANSPORT

1. Études du plateau et du talus du Labrador (*J.R.N. Lazier*)

2. Expérience du Bonnet Flammand (*C.K. Ross*)
3. Effet de l'eau douce sur les masses d'eau du détroit de Davis et de la mer du Labrador (*H.J.A. Neu*)
4. Surveillance de longue durée du courant du Labrador sur le banc Hamilton (*J.R.N. Lazier*)
5. Surveillance de longue durée de la température (*B.D. Petrie, P.C. Smith*)
6. Études appliquées – Archivage des données EAMES (*G.H. Seibert*)
7. Schémas à long terme de la vitesse superficielle dans la baie Baffin et le détroit de Davis (*H.J.A. Neu*)
8. Océanographie du plateau continental de Terre-Neuve (*B.D. Petrie*)
9. Mise au point d'installations de télédétection au Laboratoire océanographique de l'Atlantique (*C.S. Mason, A.S. Bennett, B. Topliss*)

E. OCÉANOGRAPHIE DES ESTUAIRES ET DES BAIES

1. Étude du fjord Saguenay (*G.H. Seibert*)
2. Océanographie du nord-ouest du golfe St-Laurent (*C. Tang, A.S. Bennett*)
3. Études du courant de Gaspé (*C. Tang*)
4. Études du front du golfe St-Laurent (*C. Tang, A.S. Bennett*)
5. Variabilité saisonnière et annuelle dans le golfe St-Laurent (*G. Bugden, H.J.A. Neu*)
6. Mesures du courant dans le chenal Laurentien (*G. Bugden*)
7. Le golfe St-Laurent – Études de modélisation numérique (*K.T. Tee*)
8. Golfe St-Laurent – Études du mode normal (*G.H. Seibert*)
9. Courants tidaux et résiduels – Études de modélisation en trois dimensions (*K.T. Tee*)
10. Études de modélisation de la baie de Fundy et du golfe du Maine (*D. Greenberg*)
11. Écoulements forcés dans le détroit de Canso (*D.J. Lawrence, D. Greenberg*)
12. Comportement physique des particules et des sédiments dans le milieu naturel (*K. Kranck*)
13. Études en laboratoire des matériaux particulaires (*K. Kranck*)
14. Les matériaux particulaires dans la baie

- de Fundy et le port de St-Jean (*K. Kranck, D. Bezanson*)
15. Capteurs dérivant sur le fond (*D. Bezanson*)
 16. Circulation résiduelle barotrope dans la baie de Fundy et le golfe du Maine (*D.A. Greenberg*)
 17. Modélisation des sédiments en suspension (*D.A. Greenberg, C.L. Amos*)
 18. Études théoriques de la circulation moyenne dans la région du golfe du Maine (*D. Wright, J.W. Loder*)

F. MISE AU POINT DES CAPTEURS

1. Anémomètres pour bouées dérivantes (*J.-G. Dessureault*)
2. Profileurs CTP et capteurs connexes (*A.S. Bennett*)
3. Chaînes de thermistors sur les bouées dérivantes (*G.A. Fowler et coll.*)
4. Capteurs biologiques remorqués (*A.W. Herman et coll.*)
5. Forte productivité et dynamique frontale sur le rebord de la plate-forme Scotian (*A.W. Herman*)
6. Capteurs biologiques à profilage vertical (*A.W. Herman et coll.*)
7. Alimentation du zooplancton à la productivité maximum (*A.W. Herman, A.R. Longhurst*)
8. Mesure de la variabilité spatiale du zooplancton (*A.W. Herman, D.D. Sameoto*)
9. Acquisition de données en temps réel (*A.S. Bennett*)
10. Instruments optiques pour les mesures des solides en suspension (*A.S. Bennett*)
11. Mesures des constantes temporelles d'une sonde CTP (*A.S. Bennett*)
12. Fluoromètres amarrés (*A.W. Herman et coll.*)

G. MISE AU POINT DES SYSTÈMES DE LEVÉ ET DE POSITIONNEMENT

1. Profileur acoustique de courant (*D.L. McKeown, R.M. Hendry*)
2. Systèmes de repérage acoustique par rapport au fond (*D.L. McKeown*)
3. Systèmes de repérage acoustique par rapport aux navires (*D.L. McKeown, K.R. George*)
4. Balayage acoustique multifréquence de la colonne d'eau (*N.A. Cochrane*)
5. Échosondage numérique (*N.A. Cochrane*)
6. Profileur de courant Doppler (*N.A. Cochrane*)

H. MISE EN PLACE DES INSTRUMENTS OCÉANOGRAPHIQUES

1. Études techniques de la plate-forme fixe (*S.D. Smith et coll.*)
2. Mise au point des systèmes d'amarrage (*R.F. Reiniger et coll.*)
3. Manutention et utilisation des dispositifs instruments-câbles (*G.A. Fowler et coll.*)

4. Amélioration du matériel de forage (*G.A. Fowler et coll.*)
5. Échantillonnage sur place des particules en suspension (*P. Kingston*)
6. Mesure des propriétés géotechniques (*G.A. Fowler*)

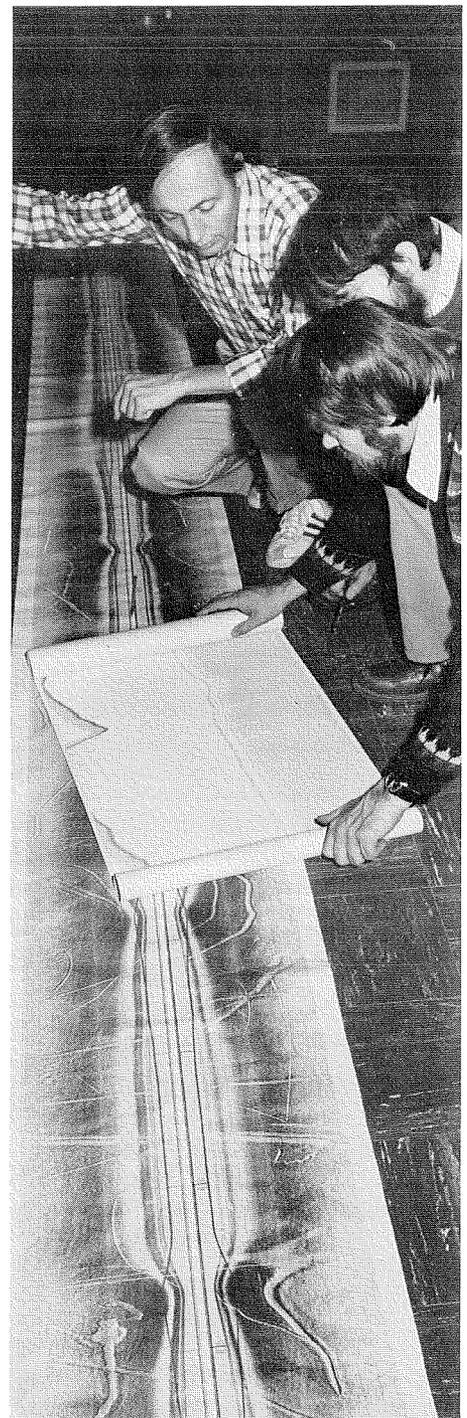
I. GÉOCHIMIE DES ZONES PRÉCÔTIÈRES ET ESTUARIENNES

1. Les substances nutritives sur les Grands bancs et la plate-forme Scotian (*A.R. Coote, E.P. Jones*)
2. Géochimie des métaux à l'état de traces dans les zones estuariennes et côtières (*P.A. Yeats, J.M. Bewers*)
3. Apports de l'atmosphère à l'océan (*E.P. Jones et coll.*)
4. Géochronologie et géochimie des sédiments dans le fjord Saguenay (*J.N.B. Smith et coll.*)
5. Études sur le transport et la perturbation des sédiments dans la baie de Fundy (*J.N.B. Smith et coll.*)
6. La matière organique dans les estuaires du St-Laurent (*F.C. Tan et coll.*)
7. Origines du carbone organique dans l'écosystème de l'anse Pecks (*F.C. Tan, D.C. Gordon*)
8. Composition de la matière organique dans les mers marginales (*R. Pocklington*)
9. Composition organique du fleuve St-Laurent (*R. Pocklington et coll.*)
10. Étude sur les isotopes du carbone dans les écosystèmes du plateau continental Scotian (*E.L. Mills, F.C. Tan*)
11. Facteurs géochimiques agissant sur l'accumulation et la dispersion des métaux lourds dans les sédiments de la baie de Fundy (*D.H. Loring*)
12. Métaux traces dans les particules en suspension dans la baie de Fundy (*D.H. Loring*)
13. Facteurs physico-chimiques agissant sur les métaux lourds particuliers dans un estuaire tidal à forte turbidité (*D.H. Loring, A. Morris*)

J. CHIMIE DES EAUX PROFONDES

1. Processus de régénération des substances nutritives (*A.R. Coote, E.P. Jones*)
2. Le CO₂ dans l'océan (*E.P. Jones et coll.*)
3. Distribution de l'eau de fonte de la glace de mer dans la baie Baffin (*F.C. Tan, P.M. Strain*)
4. Géochimie des métaux à l'état de traces dans l'Atlantique nord (*P.A. Yeats, J.M. Bewers*)
5. Études sur le transport, le dépôt et la perturbation des sédiments sur le talus de Terre-Neuve (*J.N.B. Smith et coll.*)
6. Les remontées d'eau et les ressources biologiques (*R. Pocklington*)
7. Les constituants naturels de la matière organique marine (*R. Pocklington, J.D. Leonard*)

8. La matière organique particulaire dans l'Atlantique nord (*F.C. Tan, P.M. Strain*)
9. Études paléoclimatiques (*F.C. Tan et coll.*)
10. Comparaison de la distribution verticale des métaux traces dans l'Atlantique nord et le Pacifique nord (*P.A. Yeats*)
11. Bilans et traceurs chimiques dans l'océan Arctique (*E.P. Jones, A.R. Coote*)



De haut en bas: Charles Schafer, Steve d'Apolonia et Mike Lewis, à bord du n.s.c. *Hudson*, examinent des enregistrements de sonar à balayage latéral pour repérer les traces d'icebergs.

- K. CHIMIE DE LA POLLUTION MARINE**
- Hydrocarbures dissous à faible poids moléculaire (*E.M. Levy, E.P. Jones*)
 - Composantes des hydrocarbures du pétrole (*E.M. Levy*)
 - Chimie de la glande uropygienne des oiseaux de mer (*E.M. Levy, P.M. Strain*)
 - Les résidus de pétrole dans l'Arctique oriental (*E.M. Levy*)
 - Programme de contrôle de la qualité des composés organiques, CIEM (*E.M. Levy*)
 - Programme concernant les normes analytiques canadiennes des sciences de la mer (*P.A. Yeats, J.M. Bewers*)
 - Projet de Belledune (*D. Loring et coll.*)
 - Concentrations ambiantes d'hydrocarbures à faible poids moléculaire et de résidus de pétrole sur les Grands Bancs (*E.M. Levy*)
 - Activités internationales (*J.M. Bewers et coll.*)
 - Expériences menées en collaboration par le Canada et la République fédérale d'Allemagne sur les échanges de métaux entre les phases aqueuse et sédimentaire à l'aide de caissons (*D.H. Loring, F. Prosi*)
 - Situations d'urgence en mer (*E.M. Levy*)

L. ÉCHANGE DE CONNAISSANCES TECHNIQUES

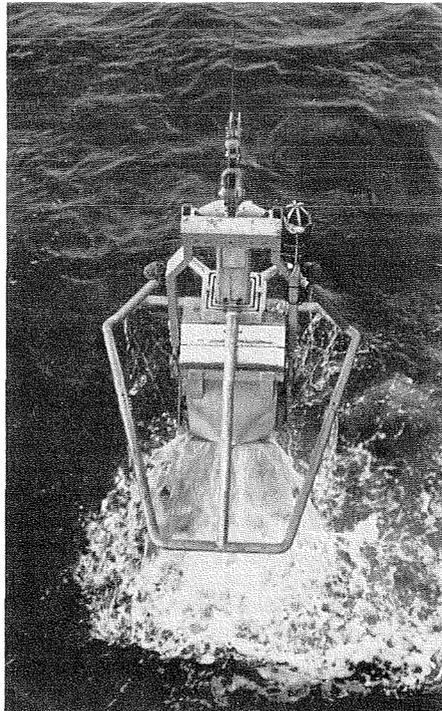
- Papa (*J.A. Elliott*)

LABORATOIRE D'ÉCOLOGIE MARINE

A. PROCESSUS DE LA PRODUCTION PRIMAIRE: PHYSIOLOGIE ET BIOÉNERGÉTIQUE DU PHYTOPLANCTON

- Présentation mathématique et mise en paramètres de la réaction photosynthétique au changement de l'éclairement (*T.C. Platt, W.G. Harrison*)
- Dépendance des paramètres photosynthèse – lumière par rapport à l'état du milieu (*T.C. Platt et coll.*)
- Signification et nature du regroupement et de la dispersion au cours des processus de production du phytoplancton (*T.C. Platt*)
- Enzymes photosynthétiques et respiratoires dans les groupements de phytoplanctons: leur dynamique et leur signification pour la compréhension et la prévision des variations du taux de la production primaire (*J.C. Smith, T.C. Platt*)
- Dynamique de l'adaptation et de l'acclimatement de la photosynthèse et de la respiration du phytoplancton en réaction à des modifications de l'éclairement et de la température (*J.C. Smith et coll.*)
- Taux de production primaire des espèces

- phytoplanctoniques (*W.G. Harrison*)
- Taux de croissance et synthèse des protéines par le phytoplancton en fonction de l'éclairement (*T.C. Platt et coll.*)
- Respiration, dynamique des substances nutritives et régénération dans les populations naturelles de plancton (*W.G. Harrison, J.C. Smith*)
- Océanographie physique de caractéristiques choisies en rapport avec les études



Échantillonneur de sédiments en forme de boîte.

- écologiques (*W.H. Horne, T.C. Platt*)
- Physiologie des microorganismes marins (*W.K.W. Li, T.C. Platt*)
- Évaluation des schémas de la photosynthèse phytoplanctonique par la distribution du radio-carbone parmi les polymères cellulaires et les métabolites (*W.K.W. Li, T.C. Platt*)
- Études du phytoplancton pendant l'expédition BIOSTAT (*D.V. Subba Rao*)

B. PROCESSUS DE LA PRODUCTION SECONDAIRE: TRANSFORMATION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

- Utilisation du carbone et de l'azote et facteurs agissant sur la production secondaire du zooplancton (*R.J. Conover*)
- Nutrition, métabolisme et stratégies de résistance à l'hiver chez le microzooplancton (*M.A. Paranjape*)
- Distribution verticale du microzooplancton (*M.A. Paranjape*)
- Mise au point d'instruments profileurs pour le plancton et le micronecton (*D.D. Sameoto*)

- Utilisation de méthodes acoustiques pour mesurer la distribution du plancton et de l'ichtyoplancton (*D.D. Sameoto*)
- Analyse de la microdistribution de l'ichtyoplancton et du zooplancton dans les écosystèmes de remontée des eaux (*D.D. Sameoto*)
- Nature et signification de la variabilité verticale des profils de zooplancton (*A.R. Longhurst*)
- Étude de la composition biochimique des particules organiques en rapport avec la digestion chez le zooplancton (*E. Head*)
- Enzymes digestives du zooplancton en fonction de la nourriture disponible (*E. Head*)
- BIOSTAT (*D.D. Sameoto*)
- Études sur l'alimentation de zooplancton élevé dans un milieu stable à base d'algues (*E. Head, R.J. Conover*)

C. ÉCOLOGIE DU PLATEAU CONTINENTAL DE L'ATLANTIQUE: ÉTUDES DE LA PLATE-FORME SCOTIAN ET DES RÉGIONS ADJACENTES

- Ressources de la plate-forme Scotian, partie écologique de l'analyse du CEP/SSIP: acquisition de données sur de grandes échelles spatiales et temporelles (*R.J. Conover et coll.*)
- Cycles saisonniers d'abondance et de distribution du microzooplancton (*M.A. Paranjape*)
- Méthode de calcul des estimations de la production secondaire à partir des données sur les populations de zooplancton (*R.J. Conover*)
- Signification de la production planctonique de la remontée des eaux de Yarmouth par rapport à la productivité générale des stocks de poissons de la plate-forme Scotian (*D.D. Sameoto*)
- Flux vertical des particules vivantes et non vivantes dans la colonne d'eau et échange nutriments-gaz à la limite eau-sédiment, sur la plate-forme Scotian (*B.T. Hargrave, G.C.H. Harding*)
- Études comparatives de la structure fonctionnelle des écosystèmes pélagiques (*A.R. Longhurst*)

D. ÉTUDES ÉCOLOGIQUES DANS L'ARTIQUE ORIENTAL

- Physiologie, production et distribution du phytoplancton marin (*T.C. Platt et coll.*)
- Distribution, croissance et production, et rôle de la diapause dans les communautés de zooplancton de l'Artique (*R.J. Conover et coll.*)
- Zooplancton et macronecton de l'Artique oriental (*D.D. Sameoto*)
- Zooplancton des eaux superficielles de

- l'Arctique (*D.D. Sameoto*)
5. Microzooplancton de l'Arctique (*D.D. Sameoto*)
 6. Distribution et abondance du microzooplancton dans l'Arctique oriental (*M.A. Paranjape*)
 7. Aspects éco-physiologiques de la vie des bactéries en mer (*W.K.W. Li, T.C. Platt*)

E. POPULATION ET TROPHODYNAMIQUE: THÉORIE ÉCOLOGIQUE ET STRUCTURE DES ÉCOSYSTÈMES

1. Analyses acoustiques des populations de poissons et mise au point des méthodes de relevés (*L.M. Dickie et coll.*)
2. Influence des facteurs génétiques et environnementaux sur les paramètres de la production (*L.M. Dickie, K.R. Freeman*)
3. Variation géographique des paramètres de la production (*L.M. Dickie, K.R. Freeman*)
4. Mise au point d'indicateurs biochimiques du métabolisme et de la croissance des poissons (*J.C. Smith, L.M. Dickie*)
5. Métabolisme et croissance des poissons (*S.R. Kerr*)
6. Analyse mathématique des interactions des populations de poissons (*S.R. Kerr, W.L. Silvert*)
7. Estimation des paramètres et théorie de la prédation (*W.L. Silvert*)
8. Spectre de la structure par taille de la production de poissons (*W.L. Silvert et coll.*)
9. Stratégies optimales d'alimentation et de reproduction (*D.M. Ware, W.L. Silvert*)
10. Taux de croissance en fonction de la taille et de la température (*R.W. Sheldon*)
11. Gestion bioénergétique des mammifères marins (*P. Brodie*)
12. Stratégie d'alimentation et liens écologiques des larves de bivalves (*C. Abou Debs*)
13. Analyse mathématique des interactions des populations de poissons (*S.R. Kerr, L.M. Dickie*)
14. Interaction des mammifères marins et des activités de pêche (*P. Brodie*)

F. EFFETS DE LA VARIABILITÉ ENVIRONNEMENTALE: INFLUENCE DU CLIMAT SUR L'ABONDANCE DES POPULATIONS DE POISSONS

1. Schémas des courants résiduels sur le plateau continental de l'Atlantique canadien révélés par des bouteilles dérivantes et des capteurs dérivant sur le fond (*R.W. Trites*)
2. Analyses des types d'eau des zones de l'OPANO (*R.W. Trites*)
3. Variabilité à échelle moyenne des schémas des courants dans le sud du golfe St-Laurent (*R.W. Trites*)
4. Effets de l'écoulement de la baie d'Hud-

son sur le plateau du Labrador (*W.H. Sutcliffe*)

5. Effets de l'écoulement du fleuve St-Laurent sur les populations de poissons et d'invertébrés du golfe St-Laurent et de la plate-forme Scotian (*W.H. Sutcliffe*)
6. Études sur le transport et la diffusion des larves de hareng (*R.W. Trites, D.M. Ware*)
7. Courants et transport dans la zone banc Georges – sud-ouest de la Nouvelle-Écosse en rapport avec le problème de la pêche côtière et hauturière du homard (*R.W. Trites*)
8. Dispersion du pétrole en fonction des vents et des courants après le naufrage du Kurdistan (*D.J. Lawrence et coll.*)
9. Données historiques de la section de Halifax (*K.F. Drinkwater*)
10. Variabilité environnementale – corrélations et échelles de réaction (*R.W. Trites*)

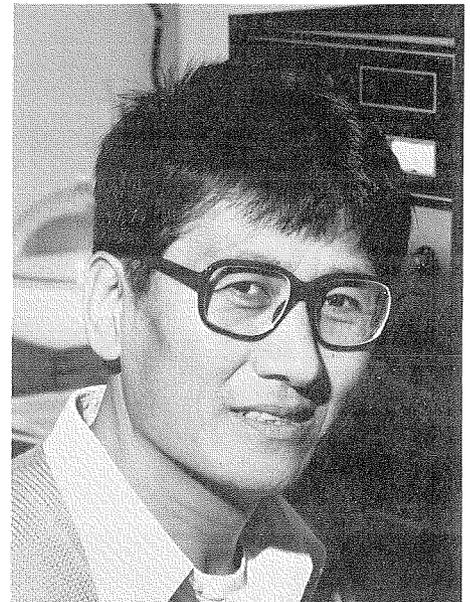
G. ÉCOLOGIE CÔTIÈRE: ÉTUDES ÉCOLOGIQUES DES PÊCHES CÔTIÈRES

1. Modèle stationnaire et caractéristiques temporaires de la circulation de la baie St-Georges (*K.F. Drinkwater*)
2. Mesures de la diffusion latérale (*R.W. Trites*)
3. Relation entre la chlorophylle-a et la structure de la température (*K.F. Drinkwater*)
4. Distribution des larves de homard en fonction du mouvement de l'eau (*G.C.H. Harding et coll.*)
5. Distribution, abondance et recrutement des larves de homard dans la baie St-Georges et effets possibles de la chaussée de Canso sur la pêche du homard dans la baie Chedabouctou (*G.C.H. Harding et coll.*)
6. Variabilité saisonnière du spectre de la taille des particules planctoniques (*G.C.H. Harding et coll.*)
7. Études sur la nutrition et la croissance du micro- et du macrozooplancton (*R.W. Sheldon et coll.*)
8. Déplacement vertical du plancton, des matières en suspension et des substances nutritives dissoutes dans la colonne d'eau des baies côtières (*G.C.H. Harding et coll.*)
9. Distribution et écologie de l'ichthyoplancton (*D.M. Ware*)
10. Relations spatiales entre les poissons démersaux et les paramètres sédimentaires (*R.W. Sheldon*)
11. Caractérisation des masses d'eau par les spectres des particules (*R.W. Sheldon, R.W. Trites*)
12. Circulation de Langmuir et distribution à petite échelle du plancton (*D.M. Ware et coll.*)
13. Dynamique de la production primaire (*K.F. Drinkwater et coll.*)

14. Distribution verticale et comportement alimentaire des larves de maquereaux de l'Atlantique (*B. Côté*)
15. Couplage des systèmes de production pélagique et benthique (*P. Schwinghamer et coll.*)
16. Mise au point d'instruments pour l'étude de la distribution par taille des particules (*R.W. Sheldon, J. deMestral*)
17. Relations trophiques dans les communautés de varech proches des côtes (*K.H. Mann*)

H. CONTAMINATION ET EFFETS SUBLÉTAUX: RÉACTION FAIBLE ET STRESS PHYSIOLOGIQUE

1. Induction des OFM par les PCB et leurs substituts (*R.F. Addison*)
2. Les organochlorés chez les phoques de l'Arctique (*R.F. Addison*)
3. Devenir, métabolisme et effets des hydrocarbures pétroliers dans les environnements marins (*J.H. Vandermeulen*)
4. Absorption et élimination des organochlorés par le zooplancton au cours de l'alimentation et par contact avec l'eau (*G.C.H. Harding et coll.*)
5. Dynamique des métalloïdes dans le plancton marin (*R.F. Addison, J. Wrench*)



Roger Bélanger 6403-13

Wang Rong, chercheur envoyé par l'Institut d'océanologie (Academia Sinica) de la République populaire de Chine.

I. ÉTUDES ÉCOLOGIQUES DE LA BAIE DE FUNDY: ÉCOLOGIE MACROTIDALE ET MODIFICATION DE L'ENVIRONNEMENT

1. Dynamique de la glace dans la baie Chignecto (*D.C. Gordon jr.*)
2. Chimie de la colonne d'eau et production primaire de plancton dans la baie de Fun-

dy (*D.C. Gordon jr et coll.*)

3. Concentration, distribution, variation saisonnière et flux des nutriments inorganiques et de la matière organique dans les eaux peu profondes et les sédiments intertidaux du bassin supérieur de la baie de Fundy (*D.C. Gordon jr et coll.*)
4. Production primaire et respiration dans la zone intertidale et disponibilité de la matière organique des sédiments (*B.T. Hargrave et coll.*)
5. Écologie microbienne de la baie de Fundy (*L. Cammen, P. Schwinghamer*)
6. Écologie benthique de la zone subtidale de la baie de Fundy (*D.L. Peer, P. Schwinghamer*)
7. Écologie benthique de la zone intertidale du bassin supérieur de la baie de Fundy (*D.J. Peer et coll.*)
8. Étude du zooplancton dans le bassin Cumberland (*N.J. Prouse*)
9. Production et exportation des marais salés du bassin Cumberland (*D.C. Gordon jr, P. Cranford*)
10. Étude des isotopes stables du carbone dans la chaîne trophique de la vasière de l'anse Pecks (*P. Schwinghamer et coll.*)
11. Modélisation des écosystèmes de la baie de Fundy (*Tout le groupe*)

CENTRE GÉOSCIENTIFIQUE DE L'ATLANTIQUE

A. TECHNOLOGIE

1. Mosaiques du fond de la mer (*D.E. Heffler, W.A. Boyce*)
2. Projet Seabed de la Huntec (*L.H. King*)
3. Surveillance de la dynamique des sédiments – RALPH (*D.E. Heffler, R.J. Murphy*)

4. Les sismomètres de fond du Centre géoscientifique de l'Atlantique (*D.E. Heffler*)
5. Mise au point d'un système de gestion des données géophysiques marines (GEOFFREY) (*G.B. Martin, A.G. Sherin, D.E. Beaver*)

B. ÉVALUATION DES RESSOURCES: HYDROCARBURES

1. Inventaire des hydrocarbures des bassins sédimentaires de l'est du Canada (*J.A. Wade*)
2. Interprétation géophysique des données et contribution à la synthèse du bassin et à l'inventaire des hydrocarbures (*A.C. Grant*)

C. ÉVALUATION DES RESSOURCES: CHARBON

1. Études de rang et études pétrographiques du charbon et de la matière organique dispersés dans les sédiments (*P.A. Hacquebard, M.P. Avery*)
2. Aide géologique au projet provincial de forage houiller en Nouvelle-Écosse (*P.A. Hacquebard*)
3. Conseil en géologie du charbon à Cape Breton Development Corporation pour l'exploitation du bassin houiller de Sydney (*P.A. Hacquebard*)

D. GÉOLOGIE RÉGIONALE

1. Compilation de données géoscientifiques dans les bassins paléozoïques de l'est du Canada (*R.D. Howie*)
2. Géologie régionale infraperficielle des roches mésozoïques et cénozoïques de la marge continentale atlantique (*J.A. Wade*)
3. Géologie régionale infraperficielle de la plate-forme et du talus continental, du

large du Labrador, de l'île Baffin et des zones adjacentes (*D.C. Umpleby*)

E. BIOSTRATIGRAPHIE

1. Identification et interprétation biostratigraphique de fossiles (*Personnel de la subdivision de la Géologie du pétrole du secteur de l'est*)
2. Zonation palynologique des roches carbonifères et permienues des provinces de l'Atlantique, du golfe St-Laurent et du nord du Canada (*M.S. Barss, W.C. MacMillan*)
3. Zonation biostratigraphique (palynologie) des roches mésozoïques et cénozoïques du plateau continental atlantique (*G.L. Williams, G.L. Cook*)
4. Zonation biostratigraphique (Foraminifera-Ostracoda) des roches mésozoïques et cénozoïques du plateau continental atlantique (*P. Ascoli*)
5. Classification des kystes dinoflagellés (*G.L. Williams*)
6. Histoire biostratigraphique des sédiments mésozoïques-cénozoïques des Grands bancs et des plates-formes du nord-est de Terre-Neuve et du Labrador à partir des Foraminifera-Ostracoda (*F.M. Gradstein, F.C. Thomas*)
7. Biostratigraphie et paléo-écologie (palynologie) des roches mésozoïques et cénozoïques, plateau continental atlantique (*J.P. Bujak*)
8. Représentant de la Commission géologique du Canada auprès du Comité directeur du projet Kremp de recherche informatisée en palynologie (*M.S. Barss, B.T. Crilley*)
9. Taxonomie, biostratigraphie, paléo-écologie et paléo-biogéographie des foraminifères agglutinés (*F.M. Gradstein*)
10. Les dinoflagellés – origine et évolution (*E.H. Davies*)
11. Réflectance dans la vitrinite de la matière organique dispersée (*E.H. Davies*)
12. Palynostratigraphie des roches mésozoïques et cénozoïques (*E.H. Davies*)

F. LITHOSTRATIGRAPHIE

1. Stratigraphie et sédimentologie des roches mésozoïques et tertiaires de la marge continentale atlantique (*L.F. Jansa, P. Lake*)

G. CARTOGRAPHIE GÉOLOGIQUE

1. Étude de la roche en place et géologie superficielle, Grands bancs (*L.H. King, R.O. Miller*)
2. Programme de cartographie de la roche en place et des formations superficielles de la plate-forme orientale de l'île Baffin (*B. MacLean, P. Girouard*)
3. Levés au large de la côte est (*R.F. Macnab, B. Chapman, A. Atkinson*)



Roger Bélanger 6404-2

Leslie Harris.

H. PROCESSUS CRUSTAUX

1. Étude géophysique de l'extension sous-marine de la zonation géologique de Terre-Neuve (*R.T. Haworth*)
2. Expérience de réfraction FRAM I (*H.R. Jackson*)
3. Processus de formation des fissures et développement des marges continentales passives (*C.E. Keen*)
4. Études sismiques des marges continentales et des bassins océaniques de l'Atlantique nord (*C.E. Keen*)
5. Études coopératives sur la croûte, 1980 (*B.D. Loncarevic*)
6. Atlas géologique des marges continentales de l'est du Canada (*S.P. Srivastava*)
7. Études comparatives des marges continentales de la mer du Labrador et de l'Atlantique nord (*S.P. Srivastava*)

I. PLÉISTOCÈNE

1. Sédimentation d'un bassin marin du Pléistocène-Holocène (*G. Vilks, B. Deonarine*)
2. Distribution régionale des mollusques marins (gastropodes et pélecypodes) dans l'est du Canada (*F.J.E. Wagner*)
3. Paléo-écologie quantitative du Quaternaire dans l'est du Canada (*P. Mudie*)

J. MODIFICATIONS CLIMATIQUES DE L'HOLOCÈNE

1. Enregistrements des événements paléoclimatiques et paléo-écologiques récents dans les sédiments des fjords (*C.T. Schafer*)

K. GÉOLOGIE ENVIRONNEMENTALE DE L'OCÉAN PROFOND

1. Géologie environnementale de l'océan profond (*G. Vilks, D.E. Buckley, P. Stoffyn*)

L. TALUS CONTINENTAL

1. Processus géologiques du Quaternaire sur les talus continentaux (*D.J.W. Piper, P. Hill*)
2. Le talus continental de Terre-Neuve de 49°N à 50°N – Nature et ampleur des processus géologiques contemporains (*C.T. Schafer, F.E. Cole*)

M. MER DE BEAUFORT

1. Géologie et géomorphologie de la zone superficielle – baie MacKenzie/plateau continental (*S.M. Blasco, F.D. Jodrey*)

N. GÉOCHIMIE ORGANIQUE

1. Transformations géochimiques et réactions des composés organiques dans les sédiments marins récents (*M.A. Rashid, W. LeBlanc*)

O. CONSULTATION

1. Consultation et étude sur l'immersion de

déchets en mer (*D.E. Buckley*)

2. Consultation sur la protection et le rétablissement des environnements côtiers (*R.B. Taylor*)

P. ARCTIQUE: RECONNAISSANCE DES CÔTES ET ÉTUDE DES PROCESSUS

1. Reconnaissance côtière du bassin Sverdrup (*R.B. Taylor*)
2. Reconnaissance côtière de l'île Bylot et du nord-est de l'île Baffin (*R.B. Taylor*)
3. Érosion et sédimentation côtières, nord de l'île Somerset (T.N.O.) (*R.B. Taylor, D. Frobel*)
4. Géologie superficielle de la crête de Lomonossov dans l'océan Arctique (*S.M. Blasco, P. Hill, R. Harmes*)
5. Développement de la reconnaissance côtière dans l'Arctique (*D.L. Forbes, A. Fricker*)
6. Dynamique des sédiments et processus de transgression sur la côte est de la Nouvelle-Écosse (*D.L. Forbes*)

Q. ÉTUDE ET CARTOGRAPHIE DES PROCESSUS CÔTIERS DE L'ATLANTIQUE

1. Morphologie côtière et dynamique des sédiments, sud-est et est de l'île du Cap-Breton (N.-É.) (*R.B. Taylor*)
2. Morphologie, sédimentologie et dynamique de la côte de Terre-Neuve (*D.L. Forbes*)
3. Dynamique des sédiments à l'entrée de la baie de Fundy (*C.L. Amos, K. Asprey*)
4. Étalonnage du système Landsat pour l'étude de la concentration des sédiments en suspension dans le milieu marin côtier (*C.L. Amos*)

R. SÉDIMENTOLOGIE DES FJORDS

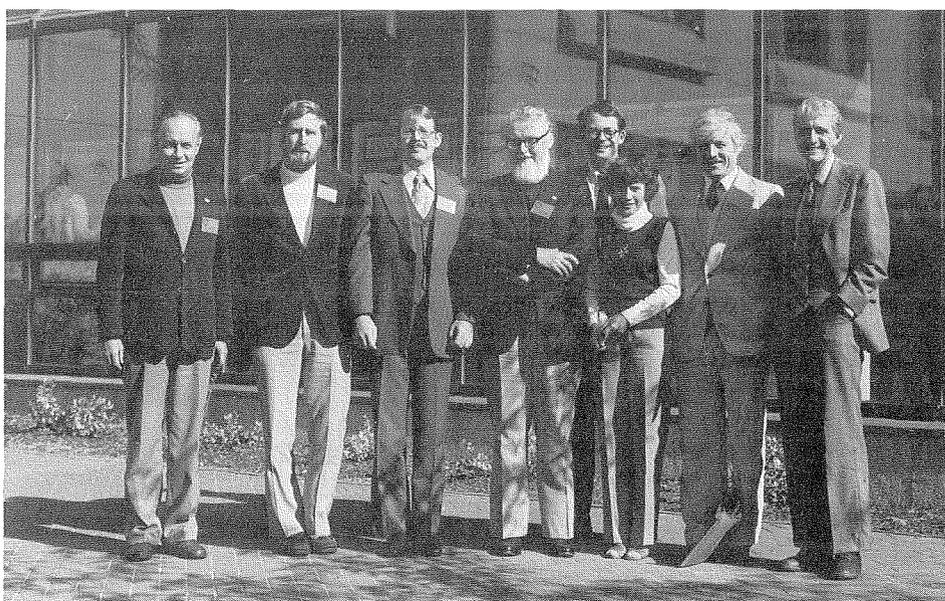
1. Sédimentologie des seuils des fjords (*J.P.M. Syvitski, D. Clattenburg*)
2. Comportement physique des matières en suspension dans les milieux naturels aqueux (*J.P.M. Syvitski*)

S. PLATEAUX CONTINENTAUX DU SUD

1. Stabilité et transport des sédiments sur les plateaux continentaux (*C.L. Amos*)
2. Affouillement dû aux icebergs (*C.F.M. Lewis*)
3. Sédimentologie des fjords de l'Arctique (*J.P.M. Syvitski, D. Clattenburg*)
4. Sédimentologie des fjords de la côte ouest (*J.P.M. Syvitski*)

Extraits du Journal de Bord de l'Institut

Dr. J. Tuzo Wilson, excellent géologue, auteur, enseignant, explorateur et administrateur, reçoit le prix A.G. Huntsman 1981, que l'IOB décerne chaque année pour souligner des travaux remarquables dans le domaine des sciences de la mer. Dr. Wilson, lors d'une conférence publique à l'Institut, évoque la révolution provoquée dans les sciences de la terre par la théorie de la tectonique des plaques. Il démontre ici, en pliant une enveloppe, l'effet des forces tectoniques sur la croûte terrestre.



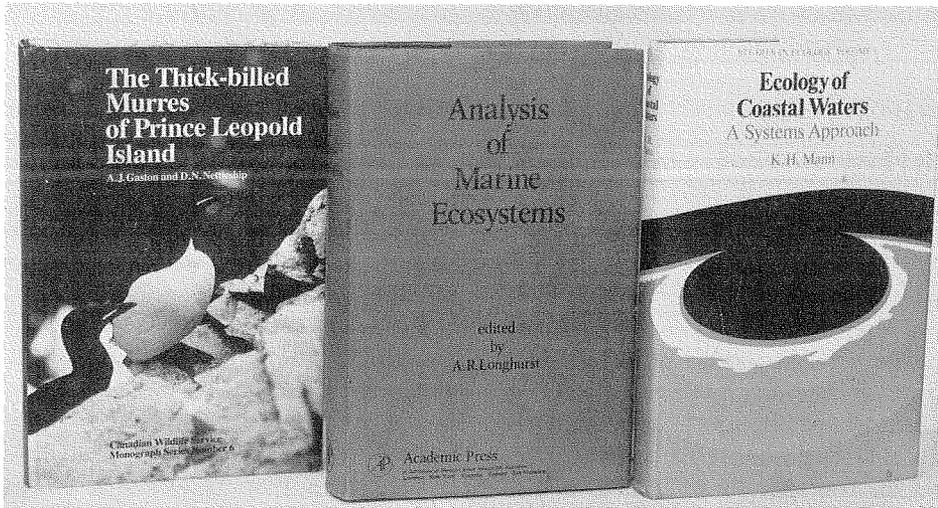
◀ L'Institut a organisé du 29 septembre au 2 octobre 1981 un symposium sur la dynamique des environnements turbides qui a rassemblé plus de 150 participants venus de pays très divers. La photographie présente les présidents des sessions et les organisateurs du symposium: de gauche à droite, H. Postma, A.J. Bowen, D.C. Rhoads, P.T. Wangersky, D.C. Gordon jr (président du symposium), J. Dale (président chargé de l'organisation sur place), G. Evans et A.R. Longhurst.



◀ John Vandermeulen de l'Institut (à droite), et Edmund Morris, qui était alors ministre des Pêches de la Nouvelle-Écosse, lors du dîner de remise du prix Huntsman. John Vandermeulen est le principal organisateur de la réception, et a contribué à la création du prix.



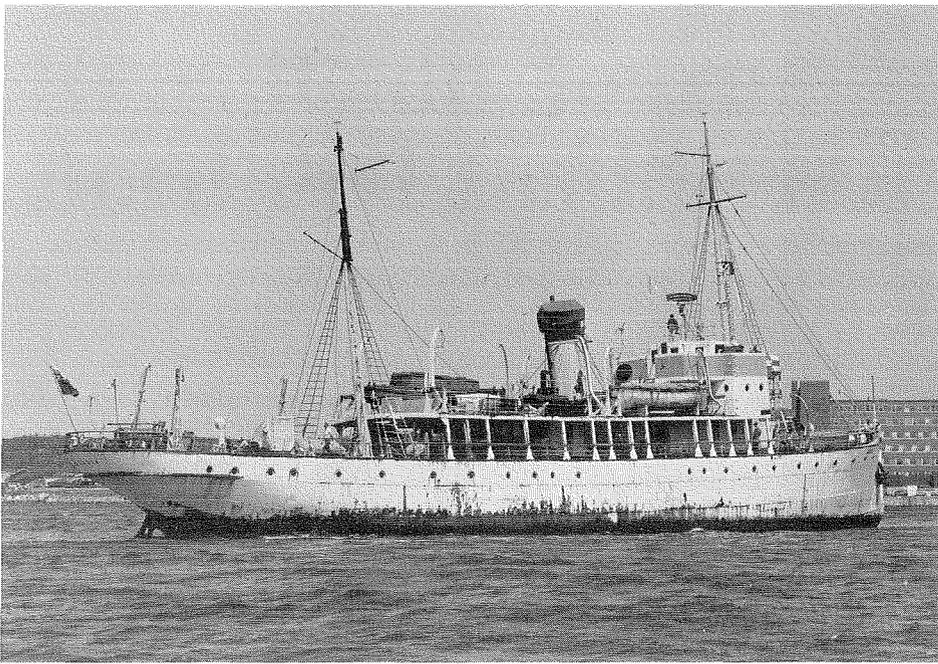
◀ Wang Ying fait ses adieux à l'IOB et à Halifax après y avoir passé trois ans, dont un an au département de géologie de l'Université Dalhousie et deux au Centre géoscientifique de l'Atlantique. Elle est rentrée en février 1982 en République populaire de Chine pour y reprendre son poste de professeur associé de géographie à l'Université de Nanking.



◀ Trois ouvrages récemment publiés par l'Institut.



Le *Whiting*, navire de la National Oceanic and Atmospheric Administration des États-Unis, basé à Norfolk (Virginie), a fait une visite à l'IOB en mai 1981.



Levez l'ancre! Le, n.s.c. *Acadia* quitte pour toujours son mouillage à la jetée de l'IOB. Après quelques travaux de restauration, il commencera sa nouvelle vie de monument historique national. Amarré près du Musée de l'Atlantique d'Halifax, il sera ouvert au public.

Lancé en 1913, l'*Acadia* a été désarmé en 1969. Au cours de sa longue carrière, il a été au premier rang de la recherche canadienne en hydrographie et en océanographie: premier navire destiné spécialement aux levés hydrographiques, deuxième navire à accomplir de façon régulière des travaux hydrographiques, pionnier dans la cartographie de régions comme la baie d'Hudson, la côte du Labrador et le golfe Saint-Laurent. Devenu musée flottant, l'*Acadia* séduira les visiteurs par la beauté de ses appareils et de ses structures de laiton, de teck et d'acajou, par l'intérêt de ses chaudières et de son moteur à charbon bien conservés et, bien sûr, par le charme des voyages et des histoires que raconte son grément.

Réfection de demi-vie du nsc Baffin

R.L.G. Gilbert

En 1956, alors que j'étais un employé de la Division de la gravité de l'Observatoire national du Canada, j'ai visité un bateau en construction dans les chantiers de la Vickers à Montréal. J'ai monté et descendu toutes les échelles, (dont une plutôt brutalement, parce qu'une courte section y manquait encore), et inspecté le bateau afin d'évaluer son utilisation potentielle pour les mesures de la gravité en mer. Tel fut mon premier contact avec le n.s.c. *Baffin*.

On s'accorde pour dire que l'espérance de vie d'un bateau est environ 20 ans. Toutefois, le *Baffin* semblait être en bonne condition, même après 20 ans de relevés dans des zones comprises entre la baie de Fundy et la baie Baffin, malgré des contacts malencontreux avec des rochers ou des bancs de vase. A la suite d'une inspection détaillée de ce navire, on a décidé d'en entreprendre une réfection de demi-vie.

Les quatre principaux objectifs de la réfection étaient les suivants: moderniser les installations générales et les logements du navire; faire en sorte que le navire puisse servir encore 20 ans et que ses machines puissent être utilisées pendant toute cette période; conserver au niveau actuel, et si possible améliorer de façon importante, la capacité du navire pour les levés hydro-

graphiques; enfin, équiper le navire de façon à pouvoir l'utiliser pour la recherche océanographique quand il ne sert pas pour les missions hydrographiques.

La réfection est maintenant presque terminée, et les travaux restants seront effectués au cours de l'hiver prochain. Les photographies montrent que le *Baffin* a subi des changements substantiels dans son aspect extérieur, et que l'intérieur a également été fortement modifié. Les logements de l'équipage ainsi que du personnel de recherche et de relevé ont été rénovés. Dans plusieurs cas, les cabines ont été complètement dépouillées et rebâties; elles sont maintenant équipées conformément aux normes modernes. Les installations récréatives du navire ont été améliorées en fonction des souhaits de ceux qui y travaillent. Les cuisines ont été rénovées et modernisées. Le matériel de la chambre des machines a été révisé, et des mesures ont été prises pour assurer à chaque unité une nouvelle vie utile de 20 ans; dans certains cas, on a acheté des pièces de rechange de façon à pouvoir entretenir les unités pendant le reste de la vie utile du navire; dans d'autres cas, il était plus économique ou plus pratique de remplacer l'ancienne unité par une nouvelle qui pourra fonctionner pendant les 20 prochaines

années.

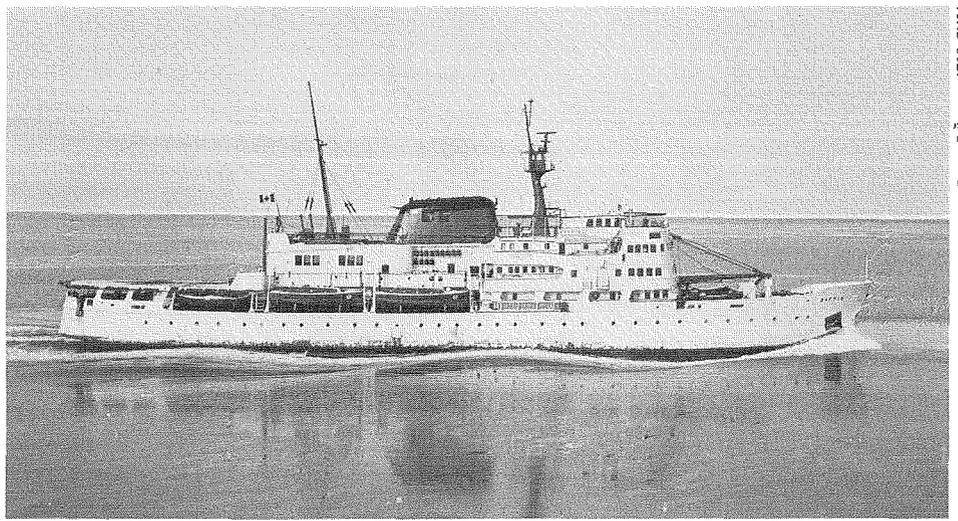
Le changement intérieur le plus important est peut-être celui des installations de travail, des laboratoires et des salles de dessin. La zone de travail a été presque complètement refaite. Le navire dispose maintenant d'une salle réservée à l'informatique, qui abrite l'ordinateur de bord pour les missions hydrographiques ou océanographiques. A côté de cette salle se trouve un laboratoire d'analyse par voie sèche; au cours des missions hydrographiques, cette pièce servira d'annexe pour la salle de l'ordinateur, alors que pour les missions océanographiques, elle abritera un laboratoire ordinaire d'analyse par voie sèche. A côté de cette pièce, il y a un laboratoire d'analyse par voie humide et la chambre du treuil (à bâbord). Cette disposition permettra d'effectuer des missions d'échantillonnage océanographique dans des conditions météorologiques extrêmes et de procéder au transfert et à l'analyse des échantillons dans un milieu propre et pratique. Le principal bureau de dessin hydrographique a été transféré sur le pont de l'ancienne passerelle haute, et on peut voir sur la photographie que la superstructure du navire a été considérablement agrandie à cette fin. En conséquence, le bureau de dessin et les instruments de précision pour la navigation sont rapprochés, ce qui devrait constituer une amélioration notable du point de vue pratique. Finalement, un laboratoire a été installé dans une pièce adjacente à l'arrière-pont du navire, ce qui devrait constituer un

avantage important pour les chercheurs qui utilisent du matériel remorqué.

Le navire a été pourvu du matériel nécessaire pour naviguer, manoeuvrer et fonctionner de manière pratique et précise. Un propulseur d'étrave caréné lui permet de garder la station dans des conditions difficiles d'opération; les couplages révisés des machines lui permettent de rester sur place sans user ses embrayages mécaniques; un bélier transducteur améliore ses capacités de sondage par mauvais temps; de nouveaux systèmes de positionnement lui permettent de naviguer avec une plus grande précision et une plus grande fiabilité qu'auparavant; enfin, le matériel de traitement de données est supérieur à tout ce qui avait été installé auparavant.

L'un des principaux changements concerne les vedettes. Comme on peut le voir, la disposition des vedettes et celle de leurs bossoirs ont été complètement modifiées. Le *Baffin* compte maintenant six vedettes, quatre de 9,45 m et deux de 12,2 m. Les vedettes de 9,45 m sont montées sur des bossoirs à gravité, alors que celles de 12,2 m sont sur des bossoirs motorisés. Ces grosses vedettes améliorent l'utilité du navire, étant donné qu'elles peuvent transporter un matériel supérieur en quantité et en qualité et fonctionner sur une mer plus mauvaise que les vedettes de 9,45 m; par ailleurs, le navire dispose maintenant d'un plus grand nombre de vedettes. On travaille actuellement à la conception et à la construction de nouvelles vedettes. Celles-ci devront être plus rapides que les vedettes actuelles, tout en conservant toutes leurs qualités de navigabilité. Parmi les autres changements extérieurs, on note l'installation d'un portique triangulaire à la poupe permettant de remorquer le matériel d'une façon pratique et efficace, le remplacement des anciens mâts de charge du pont avant par une grue hydraulique articulée, et des modifications relativement mineures comme l'élimination de l'ancre avant d'amarrage en haute mer et celle du mât arrière.

Maintenant que la réfection est presque terminée, qu'est-ce qu'il en résulte? Le changement le plus important touche à la capacité scientifique du navire. Son rôle principal est encore d'effectuer les levés hydrographiques, mais il est actuellement bien adapté à la recherche océanographique. Le travail de levé hydrographique d'une zone particulière nécessite souvent beaucoup plus l'emploi des vedettes que celui du navire; par le passé, le bateau



Le n.s.c. *Baffin* avant réfection.



Le n.s.c. *Baffin* après réfection.

servait tout simplement d'abri à ceux qui travaillaient sur les vedettes. Maintenant, le navire peut effectuer les opérations de recherche océanographique pendant la plus grande partie du jour et de la nuit; il doit simplement être sur place quand les vedettes sont mises à la mer ou remontées. En plus de ces utilisations combinées, lorsque les conditions météorologiques empêchent les levés hydrographiques (surtout pendant l'hiver), mais autorisent certains levés océanographiques, le navire sera utilisé à des fins océanographiques.

A bord du nouveau *Baffin*, les opérations hydrographiques seront grandement améliorées. Les nouveaux bossoirs permettront de mettre à la mer et de remonter les vedettes rapidement et sans danger, avec un minimum de main-d'oeuvre. On prévoit que six vedettes seront utilisées régulièrement, mais que chaque vedette portera seulement un hydrographe et un membre d'équipage, de sorte, qui pourra

accroître considérablement la quantité de travail sans augmenter l'effectif. Les nouvelles vedettes rapides augmenteront également la production. Les données seront recueillies automatiquement sous forme numérique, et le système de traitement des données du bord traitera immédiatement ces informations et les présentera aux hydrographes sous une forme appropriée, de façon qu'ils puissent vérifier le travail de la journée avant de commencer une nouvelle section.

Une dernière amélioration, mais non la moindre, est celle des quartiers du personnel et de l'équipage. Des cabines confortables et bien équipées, des salles à manger accueillantes avec des cuisines modernes et une gamme d'installations récréatives permettent de créer un cadre agréable où les hydrographes, les scientifiques et l'équipage peuvent se détendre après une bonne journée de travail.

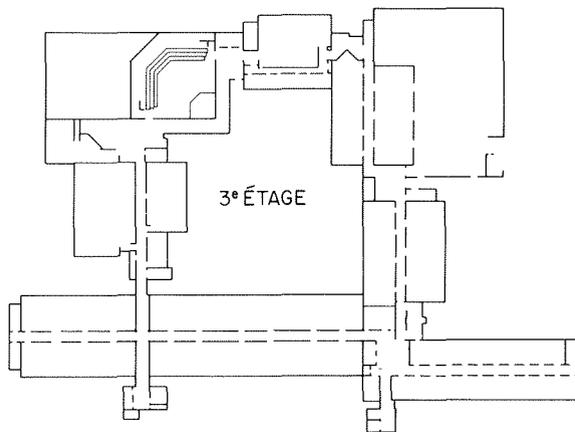
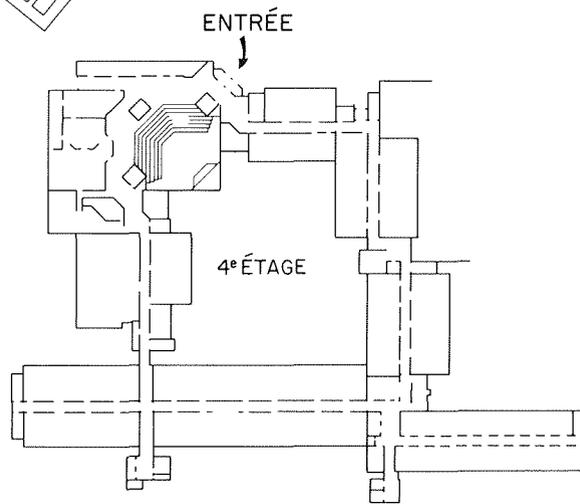
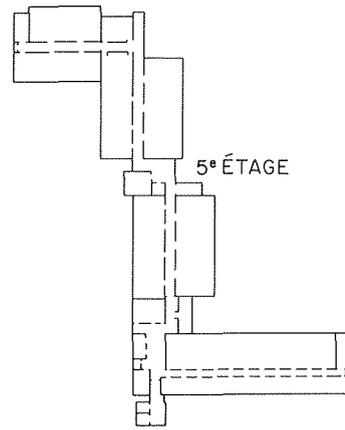
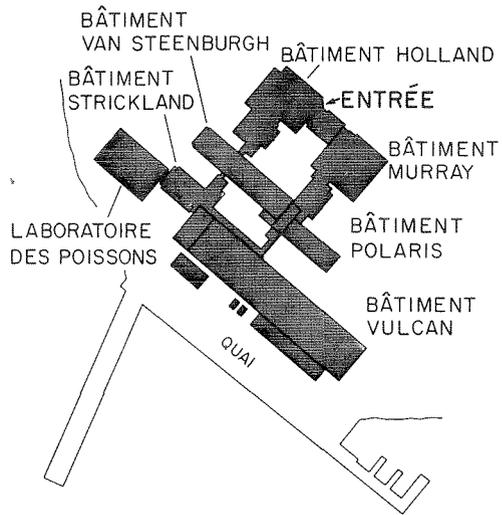
LE BUREAU BIOMAIL

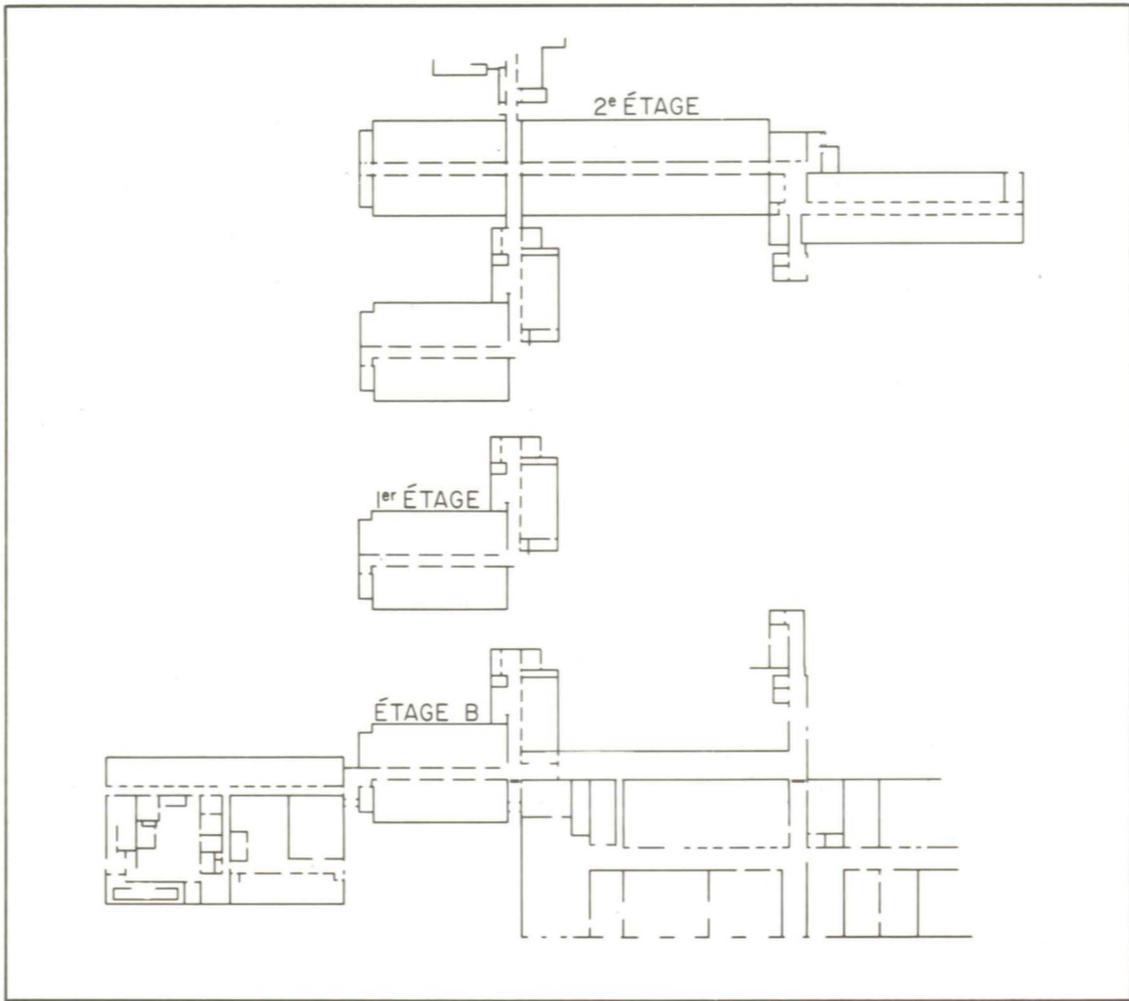
Le BIOMAIL est un service de conseil et de liaison avec l'industrie dans le domaine de la mer, nouvellement créé à l'Institut, et dont les fonctions sont les suivantes:

- vous aider à obtenir des informations en océanographie
- vous aider à résoudre vos problèmes dans n'importe quel domaine de l'océanographie
- permettre à votre société de profiter de nos connaissances
- faciliter la réalisation conjointe de projets par l'Institut et l'industrie
- permettre aux personnes compétentes de se rassembler pour développer l'industrie océanographique.

Le BIOMAIL ne se limite pas aux activités locales ou même canadiennes; nous avons accès à des informations globales et nous sommes en contact avec des experts du monde entier. Le bureau BIOMAIL veut répondre aux intérêts de l'industrie canadienne pour le plus grand profit de tous nos concitoyens.

ADRESSE: BIOMAIL
Institut océanographique de Bedford
C.P. 1006
Dartmouth (Nouvelle-Écosse)
B2Y 4A2 CANADA
Téléphone: (902) 426-3698
Télex: 019-31552







**Pêches
et Océans**

**Fisheries
and Oceans**



**Energie, Mines et
Ressources**

**Energy, Mines and
Resources**



Environnement

Environment

ISSN 0820-0254