



http://www.meds-sdmm.dfo.mpo.gc.ca/zmp/main_zmp_e.html

December 2002 / décembre 2002

Edited by / Édité par

Jean-Claude Therriault & Laure Devine

Direction des sciences océaniques, Institut Maurice-Lamontagne, Ministère des Pêches et des Océans,
 850 route de la Mer, Mont-Joli, QC, G5H 3Z4
 therriaultjcsci@dfo-mpo.gc.ca

The AZMP Bulletin

Le Bulletin du PMZA

The AZMP annual Bulletin publishes English, French, and bilingual articles to provide oceanographers and fisheries scientists, habitat and environment managers as well as the general public with the latest monitoring information from the Atlantic Zone Monitoring Program (AZMP). The Bulletin presents an annual review of the general oceanographic conditions in the Northwest Atlantic region, including the Gulf of St. Lawrence, as well as AZMP-related information concerning particular events, studies, or activities that took place during the previous year.

Le Bulletin annuel du PMZA publie des articles en anglais, français ou bilingues afin de fournir aux océanographes et aux chercheurs des pêches, aux gestionnaires de l'habitat et de l'environnement, ainsi qu'au public en général la plus récente information concernant le Programme de Monitoring de la Zone Atlantique (PMZA). Le bulletin présente une revue annuelle des conditions océanographiques générales pour la région nord-ouest de l'Atlantique, incluant le golfe du Saint-Laurent, ainsi que de l'information reliée au PMZA concernant des événements particuliers, des études ou des activités qui ont eu lieu au cours de l'année précédente.

The Atlantic Zone Monitoring Program

Le Programme de Monitoring de la Zone Atlantique

The AZMP was implemented in 1998 with the aim of collecting and analyzing the biological, chemical, and physical field data that are necessary to (1) characterize and understand the causes of oceanic variability at the seasonal, interannual, and decadal scales, (2) provide multidisciplinary data sets that can be used to establish relationships among the biological, chemical, and physical variables, and (3) provide adequate data to support the sound development of ocean activities. AZMP involves the Gulf, Québec, Maritimes, and Newfoundland regions of DFO. Its

Le PMZA a été mis en œuvre en 1998 et vise à collecter et analyser l'information biologique, chimique et physique recueillie sur le terrain afin de (1) caractériser et comprendre les causes de la variabilité océanique aux échelles saisonnières, inter-annuelles et décadales, (2) fournir les ensembles de données pluridisciplinaires qui sont nécessaires pour établir des relations entre les variables biologiques, chimiques et physiques et (3) fournir les données pour le développement durable des activités océaniques. Le PMZA implique les régions du Golfe, du Québec, des Maritimes et de

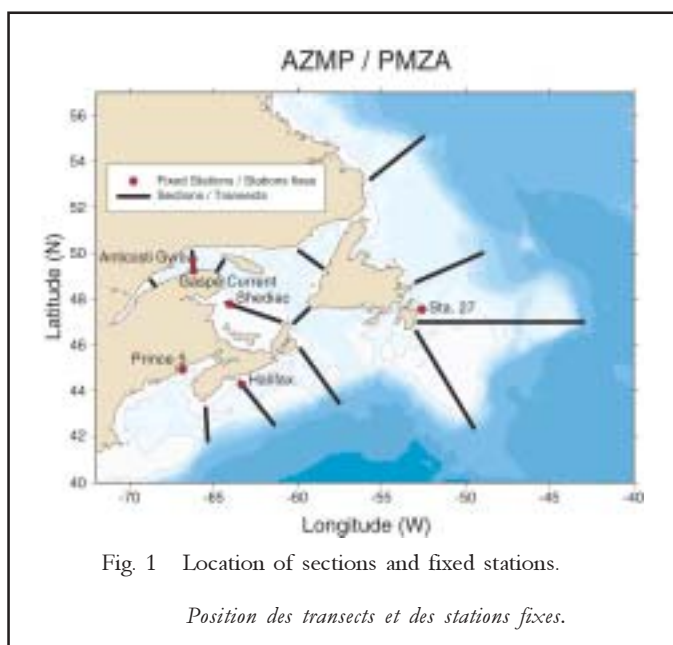


Fig. 1 Location of sections and fixed stations.

Position des transects et des stations fixes.

sampling strategy is based on (1) seasonal and opportunistic sampling along “sections” to quantify the oceanographic variability in the Canadian NW Atlantic shelf region, (2) higher-frequency temporal sampling at more accessible “fixed sites” to monitor the shorter time scale dynamics in representative areas, (3) fish survey and remote sensing data to provide broader spatial coverage and a context to interpret other data, and (4) data from other existing monitoring programs such as CPR (Continuous Plankton Recorder) lines, Sea Level Network, nearshore Long Term Temperature Monitoring, Toxic Algae monitoring, etc., or from other external organizations (winds, runoff, etc.) to complement AZMP data.

The key element of this AZMP sampling strategy is the oceanographic sampling at fixed stations and along sections. The fixed stations are occupied about every two weeks, conditions permitting, and the sections are run from one to three times during the year. The location of the regular sections and the fixed stations are shown in Figure 1. Temperature, salinity, fluorescence, oxygen, nitrates, silicates, and phosphates are measured, and phytoplankton and zooplankton samples are collected. These measurements are carried out following well-established common protocols.

Terre-Neuve du MPO. Sa stratégie d'échantillonnage est fondée sur (1) l'échantillonnage saisonnier et opportuniste le long de «transects» afin de quantifier la variabilité biologique, chimique et physique de l'environnement, (2) l'échantillonnage à plus haute fréquence à des «stations fixes» plus accessibles pour monitorer la dynamique à plus fine échelle de temps dans des régions représentatives, (3) l'utilisation des données provenant des missions d'évaluation de stocks et de la télédétection pour fournir une couverture spatiale plus vaste et le contexte pour l'interprétation des autres données, et (4) l'utilisation de données provenant d'autres programmes de monitoring comme les transects CPR («Continuous Plankton Recorder»), les réseaux côtiers de niveau d'eau et de température, le monitoring des algues toxiques, etc., ou provenant d'autres organismes externes (vents, débits d'eau douce, etc.) pour compléter les données du PMZA.

L'élément clé de cette stratégie est l'échantillonnage océanographique des stations fixes et des transects. Les stations fixes sont occupées à toutes les deux semaines, dépendant des conditions, et les sections sont échantillonnées de 1 à 3 fois durant l'année. La localisation des transects et des stations fixes est illustrée à la Figure 1. L'échantillonnage régulier comprend des mesures de température, salinité, fluorescence, oxygène, nitrates, silicates, et phosphates, ainsi que la collecte d'échantillons de phytoplancton et de zooplancton. Ces mesures sont effectuées suivant des protocoles communs bien établis.

AZMP Personnel

A large number of scientists and technicians carry out the AZMP, either collecting, editing, processing, analyzing, or presenting the data. The following people have each played a significant role in the activities of the program, but the list does not include all of the personnel who have contributed. For those not mentioned in the list, but who have helped during the past years, the AZMP is truly appreciative.

Maritimes Region / Région des maritimes

Ken Drinkwater¹, Doug Gregory³, Glen Harrison², Alex Herman¹, Mary Kennedy³, Heidi Maass⁴, Michel Mitchell¹, Kevin Pauley², Brian Petrie¹, Liam Petrie⁸, Roger Pettipas⁸, Doug Sameoto², Jeff Spry²

Newfoundland Region

Wade Bailey¹, Charlie Brombey³, Eugene Colbourne¹, Joe Craig¹, Charles Fitzpatrick¹, Sandy Fraser², Daniel Lane¹, Gary Maillet², Pierre Pepin², Dave Senciall³, Paul Stead¹

Personnel du PMZA

Un grand nombre de scientifiques et de techniciens participent au PMZA soit à la collecte, l'édition, la réalisation, l'analyse ou la présentation des données. Les personnes suivantes ont joué un rôle significatif dans les activités du programme, mais la liste n'inclue pas tout le personnel qui a contribué. Pour ceux qui ne sont pas mentionnés dans la liste, nous aimerions leur exprimer notre gratitude pour l'aide précieuse qu'ils ont fournie au PMZA au cours des dernières années.

Québec Region / Région du Québec

Laure Devine³, Marie-Lyne Dubé⁵, Alain Gagné⁵, Denis Gilbert¹, Michel Harvey², Caroline Lafleur³, Pierre Larouche⁴, Bernard Pelchat³, Michel Starr², Jean-Claude Therriault²

Gulf Region / Région du Golfe

Joël Chassé¹, Doug Swain⁶

Marine Environmental Data Service

Estelle Couture⁷, Savi Narayanan³

¹ Physical Oceanography / Océanographie physique; ² Biological Oceanography / Océanographie biologique; ³ Data Management / Gestion des données; ⁴ Remote Sensing / Remote Sensing; ⁵ Sampling & laboratory analyses / Échantillonnage & analyses en laboratoire; ⁶ Fish Surveys / Missions d'évaluation de poissons; ⁷ Webmaster / Webmestre; ⁸ Graphic & data technician / Graphiste et technicien de données.

Overview of environmental conditions during 2001 in eastern Canadian waters

Revue des conditions environnementales dans les eaux de l'est du Canada en 2001

¹Ken Drinkwater & ²Pierre Pepin

¹Bedford Institute of Oceanography, Box 1006, Dartmouth, NS, B2Y 4A2

²Northwest Atlantic Fisheries Centre, Box 5667, St. John's, NF, A1C 5X1

drinkwaterk@dfo-mpo.gc.ca

Abstract

This brief overview of physical and biological environmental conditions in eastern Canada indicates that the relatively warm air temperatures experienced during 2001 throughout the Northwest Atlantic region resulted in a significant reduction of ice coverage in winter. Throughout most of the Newfoundland and Southern Labrador regions, and in the Labrador Sea, ocean temperatures tended to be warmer-than-average accompanied by lower-than-average salinities. However, off Southern Newfoundland, in the Gulf of St. Lawrence, and on the Scotian Shelf, subsurface temperatures cooled significantly compared to 2000 and fell slightly below their long-term average. The year 2001 continued the trend of earlier spring blooms of phytoplankton in the Gulf of St. Lawrence and on the Scotian Shelf, in contrast to later blooms in Newfoundland waters. Phytoplankton concentrations off Newfoundland, on the Scotian Shelf, and in the Gulf of St. Lawrence were generally comparable in 2001 and 2000. However, the phytoplankton biomass at the monitoring site located just off Rimouski in the Lower St. Lawrence Estuary was higher in 2001 than in 2000, the year when the lowest phytoplankton biomass values were observed over the available 10-year record. Of particular interest in 2001 was the first recorded appearance of an important bloom of the diatom *Neodenticula seminae* in late April in the Gulf of St. Lawrence. This species is normally found in the North Pacific, not in the Atlantic. As for the phytoplankton, the three regions exhibited different spatial patterns of variation in zooplankton abundance and species composition in 2001. On the Newfoundland Shelf, the numerical abundance of the zooplankton was similar to the previous two years. The production cycle of the zooplankton was, however, delayed by about 30 days as was the case for the phytoplankton cycle. On the Scotian Shelf, feeding and reproducing zooplankton were more abundant in 2001 than in 2000, but over-wintering populations were generally lower. The zooplankton community composition on the Scotian Shelf was generally comparable between 2001 and 2000. In the Lower St. Lawrence Estuary, the mean integrated zooplankton biomass was similar to 1999 and 2000, but generally lower in 2001 than in 2000 for all other regions in the Gulf of St. Lawrence except for the the Magdalen Shallows in the autumn. The significant increase in numbers of the Arctic amphipod *Themisto libulella* in the cold intermediate layer in the Gulf supports the hypothesis of an important intrusion

Résumé

Un bref résumé des conditions environnementales physiques et biologiques dans l'est du Canada indique que les températures de l'air relativement chaudes observées en 2001 à travers tout le nord-ouest Atlantique ont résulté en une réduction significative du couvert de glace en hiver. Dans la plus grande partie des régions de Terre-Neuve et du sud du Labrador, et dans la mer du Labrador, les températures océaniques sont plus chaudes et les salinités plus basses que leur moyenne normale. Cependant, les températures des eaux profondes au large de Terre-Neuve, dans le golfe du Saint-Laurent et sur le plateau Néo-Écossais sont beaucoup plus froides en 2001 qu'en 2000, et sont tombées légèrement sous leur moyenne à long terme. L'année 2001 s'inscrit dans la continuité d'une tendance à des pics printaniers de phytoplancton qui surviennent de plus en plus tôt dans le golfe du Saint-Laurent et sur le plateau Néo-Écossais, contrastant avec les eaux de Terre-Neuve où le pic de phytoplancton est plus tardif. Les concentrations de phytoplancton au large de Terre-Neuve, sur le plateau Néo-Écossais et dans le golfe du Saint-Laurent sont généralement comparables en 2001 et en 2000. Cependant, la biomasse du phytoplancton à la station de monitoring juste au large de Rimouski dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent est plus élevée en 2001 qu'en 2000, année où l'on a observé les plus faibles biomasses de phytoplancton au cours des dix dernières années. D'un intérêt particulier est la première apparition de la diatomée *Neodenticula seminae* qui a été observée en grande abondance dans le golfe du Saint-Laurent vers la fin avril en 2001. Cette espèce est normalement rencontrée dans le Pacifique nord et non dans l'Atlantique. Comme pour le phytoplancton, les trois régions montrent des patrons de variation différents dans l'abondance du zooplancton et dans sa composition spécifique en 2001. Sur le plateau de Terre-Neuve, l'abondance numérique du zooplancton est semblable aux deux années précédentes. Cependant, le cycle de production du zooplancton est retardé d'environ 30 jours comme c'est le cas pour celui du phytoplancton. Le zooplancton qui se nourrit et se reproduit sur le plateau Néo-Écossais est plus abondant en 2001 qu'en 2000, mais les populations hivernantes sont généralement plus faibles. La composition de la communauté zooplanctonique sur le plateau Néo-Écossais était généralement comparable entre 2001 et 2000. Dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent, la moyenne intégrée de la biomasse du zooplancton en 2001 est similaire à celle de 1999 et 2000. Elle est cependant plus faible en 2001 qu'en 2000 pour toutes les autres régions du golfe du Saint-Laurent, excepté pour le plateau des Îles-de-la-Madeleine à l'automne. L'augmentation significative de l'abondance numérique du copépode arctique *Themisto libulella* dans

into the Gulf of cold waters originating from the Labrador Shelf *via* the Strait of Belle Isle. Finally, the CPR records between Iceland and North America indicated large and persistent changes in the abundance and timing of the plankton production cycle in the Northwest Atlantic during the 1990s.

Physical conditions

Meteorological conditions within the various DFO regions often exhibit similar patterns indicative of large-scale forcing and, in this regard, 2001 was no exception. In general, conditions in 2001 were typically warmer-than-usual over the whole Northwestern Atlantic region. This was true of the annual mean air temperatures throughout much of eastern Canada, which continued the warm trend that was observed over the previous three years. While the 2001 temperatures were higher than those observed in 2000, they were below the record-setting values of 1999. The warm air temperatures contributed to less sea-ice on the southern Labrador and Newfoundland shelves (Fig. 1), in the Gulf of St. Lawrence, and on the Scotian Shelf during 2001. Ice generally appeared late and left early, resulting in a shorter duration and less areal coverage than usual. The only exceptions were in the Gulf of St. Lawrence, on the inner Magdalen Shallows, and in the Strait of Belle Isle, where the ice arrived earlier in the year than usual and departed later than usual. The warm air and generally reduced amounts of sea-ice coincided with a reduction in the strength of the large-scale atmospheric circulation pattern. This was due to the dominant pressure systems over the North Atlantic, the “Icelandic Low” and the “Azores High”, being weaker than usual. This in turn resulted in a lower-than-average North Atlantic Oscillation (NAO) index (see Colbourne and Drinkwater in this Bulletin for more discussion on the relationship between the NAO index and ocean variability and its impact on the marine ecosystem).

In 2001, sea-surface temperatures throughout eastern Canadian waters were typically above their long-term aver-

la couche intermédiaire froide du Golfe supporte l’hypothèse d’une intrusion importante d’eaux froides et salées provenant des côtes du Labrador *via* le détroit de Belle-Isle. Finalement, les mesures CPR entre l’Islande et l’Amérique du Nord indiquent des changements importants et persistants dans l’abondance et le début de l’initiation du cycle de production du plancton dans le nord-ouest Atlantique au cours des années 1990.

Conditions physiques

Les conditions météorologiques à l’intérieur des diverses régions du MPO montrent souvent des grands patrons de variation similaires, ce qui indique l’influence de phénomènes à grande échelle. Dans ce contexte, 2001 ne fait pas exception puisque les conditions sont typiquement plus chaudes que d’habitude dans tout le nord-ouest Atlantique. Ceci est vrai pour les températures moyennes annuelles de l’air à travers la plus grande partie de l’est du Canada, continuant ainsi la tendance au réchauffement qui est observée depuis 3 ans. Quoique les températures de l’air en 2001 soient plus chaudes que celles observées en 2000, elles sont toutefois sous les températures record de 1999. Ces températures plus chaudes ont contribué à une diminution de la couverture de glace dans le golfe du Saint-Laurent et sur les plateaux continentaux Néo-Écossais, de Terre-Neuve et du sud du Labrador en 2001 (Fig. 1). Ainsi, le couvert de glace apparaît plus tard et quitte plus tôt, ce qui résulte en une durée plus courte et une couverture spatiale moindre que d’habitude. Les seules exceptions sont le plateau des Îles-de-la-Madeleine et le détroit de Belle-Isle dans le golfe du Saint-Laurent, où la glace est arrivée plus tôt dans l’année et est repartie plus tard que la normale. Cet air chaud et l’aire réduite de la couverture de glace coïncident avec une réduction importante de la circulation atmosphérique à grande échelle. Cette diminution de la circulation atmosphérique est liée à la différence entre les systèmes dominants de pression

atmosphérique au dessus de l’Atlantique nord, c’est-à-dire une «basse pression en Islande» et une «haute pression sur les Azores». Cette différence est plus faible en 2001 que d’habitude. Ceci est supporté par un index de l’oscillation nord Atlantique (ONA) qui est plus bas que la moyenne (voir Colbourne et Drinkwater dans ce Bulletin pour plus d’information sur la

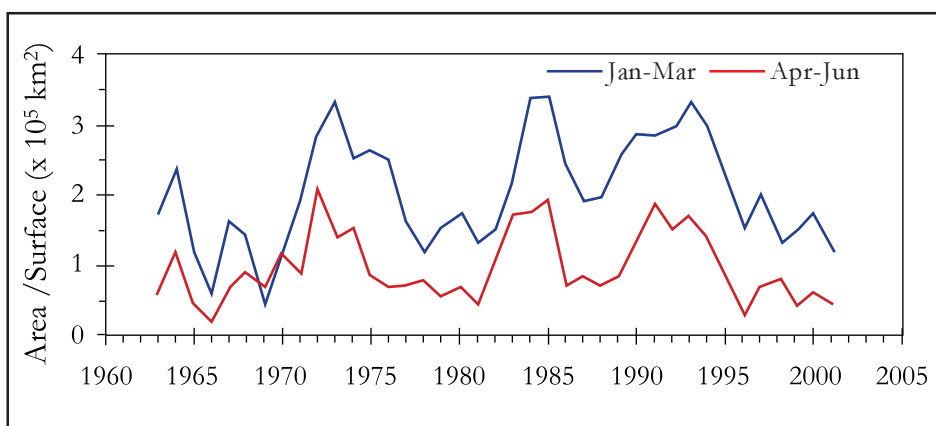


Fig. 1 Average area of the sea-ice coverage on the southern Labrador and northern Newfoundland shelves (between 45°N-55°N) during the typical period of ice advance (January-March) and ice retreat (April-June).

Surface moyenne de la couverture de glace de mer sur les plateaux sud du Labrador et nord de Terre-Neuve (entre 45°N-55°N) durant une période typique d’avance (janvier-mars) et de retrait (avril-juin) des glaces.

ages. However, subsurface conditions varied spatially. Relatively warm waters were observed near the bottom on the shelves off southern Labrador and northern Newfoundland as well as over the Grand Banks and at all depths throughout most of the year at Station 27, the long-term fixed station just outside of St. John's Harbour. Also, on the Newfoundland and Labrador shelves during the summer and fall, there was generally less water with temperatures below 0°C (termed the cold intermediate layer or CIL) than normal and also less than in 2000. On the AZMP transect off Bonavista Bay, the area of CIL water in 2001 was the lowest since 1978. The smaller amount of CIL waters on the shelves continued the general trend of below-normal values observed since the mid-1990s. In addition, the minimum temperature observed in the CIL along all the standard sections during the summer of 2001 was higher than normal and increased over 2000, except off White Bay. Offshore, the upper layers of the Labrador Sea were warmer, saltier, and less dense in the summer of 2001 than in 2000. This is believed to be due largely to advection. The convective overturning in the Labrador Sea was limited to shallow depths (<500 m) during the winter of 2000-2001.

In contrast to the warm conditions off southern Labrador to the Grand Banks, subsurface water temperatures off southern Newfoundland, in the Gulf of St. Lawrence,

relation entre l'index ONA et la variabilité océanique et son impact sur l'écosystème marin).

En 2001, les températures de surface dans toutes les eaux de l'est Canadien sont nettement au dessus de leur moyenne à long terme. Cependant, les températures des eaux plus profondes montrent des variations spatiales significatives. Des eaux relativement chaudes sont observées près du fond sur le plateau continental dans les régions au sud du Labrador et au nord de Terre-Neuve, ainsi qu'au dessus des Grands Bancs, et à toutes les profondeurs au cours de presque toute l'année à la station 27 qui est la station fixe située juste au large du port de St. John's, Terre-Neuve. Durant l'été et l'automne sur les plateaux continentaux de Terre-Neuve et du Labrador, il y a également moins d'eau avec des températures sous 0°C (la couche intermédiaire froide ou la CIF) qu'à la normale et aussi moins qu'en 2000. Le long de la section hydrographique au large de la baie de Bonavista, la surface couverte par la CIF en 2001 est la plus faible depuis 1978. Ce volume moindre de la CIF continue la tendance à l'observation de valeurs sous la normale depuis le milieu des années 1990. De plus, le minimum de température observé dans les eaux de la CIF le long de toutes les sections standards durant l'été 2001 est plus élevé qu'à la normale et également plus élevé qu'en 2000, excepté au large de White Bay. Plus au large, la couche de surface de la mer du Labrador est plus chaude, plus salée, et moins dense durant l'été 2001 qu'en 2000, ce qui est probablement attribuable en grande partie à un phénomène d'advection. Le mélange convectif dans la mer du Labrador s'est effectué sur des profondeurs plus faibles (<500 m) durant l'hiver de 2000-2001.

En contraste avec les conditions chaudes au large de la région sud du Labrador jusqu'aux Grands Bancs, les eaux intermédiaires au large de la région sud de Terre-Neuve, dans le golfe du Saint-Laurent et dans la région nord-est du plateau Néo-Écossais se sont refroidies en 2001 par comparaison avec l'année 2000, pour atteindre des températures légèrement au-dessous de leur moyenne à long terme. Toutes ces régions expérimentent des températures plus froides que la moyenne depuis le milieu des années 1980, avec des minima atteints au début des années 1990, suivis d'un réchauffement graduel jusqu'en 2000. En 2001, les températures des eaux plus profondes se sont refroidies significativement par rapport aux deux années précédentes jusqu'à des températures qui étaient typiquement observées durant le milieu des années 1990. Ceci est observé pour les eaux près du fond sur le Banc Saint-Pierre et dans la région nord-est du plateau Néo-Écossais, et pour les eaux du cœur de la couche intermédiaire froide (CIF) dans le golfe du Saint-Laurent (Fig. 2). Par exemple, sur le Banc Saint-Pierre, les températures de < 0°C au fond sont complètement disparues en 1999 et 2000, mais occupent près de 30 % de la surface du Banc en 2001. Dans la Golfe, non seulement les températures de la CIF se sont refroidies en 2001, mais l'épaisseur de la CIF s'est également accrue de 30 m par rapport à l'année 2000. Ces conditions peuvent vraisemblablement être

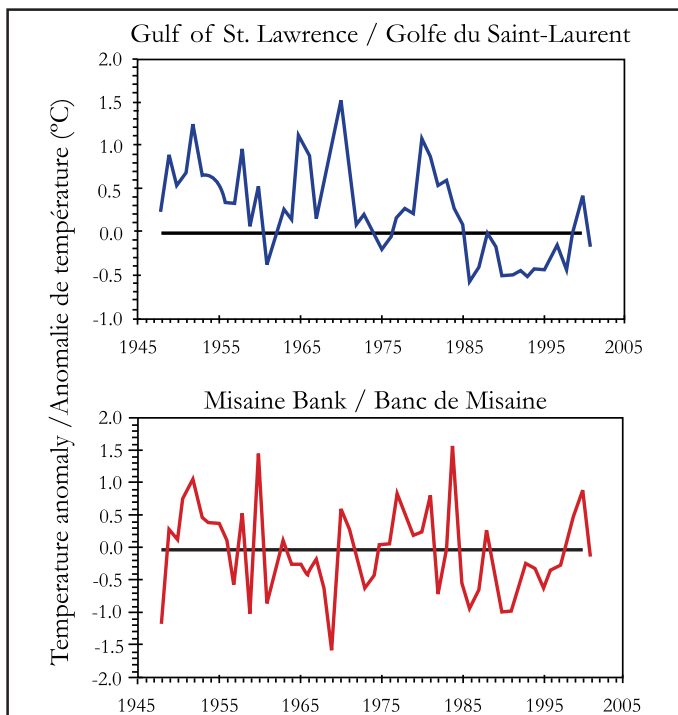


Fig. 2 Annual anomalies (relative to the period 1971-2000) of the CIL core temperature in the Gulf of St. Lawrence and of the temperature at 100 m on the Misaine Bank in the northeastern Scotian Shelf.

Anomalies annuelles (par rapport la période 1971-2000) de la température du coeur de la CIF dans le golfe du Saint-Laurent et de la température à 100 m sur le Banc de Misaine au nord-est du plateau Néo-Écossais.

and on the northeastern Scotian Shelf declined relative to 2000 and fell slightly below their long-term means. All of these areas experienced colder-than-average subsurface temperatures from the mid-1980s to minimum temperatures in the early 1990s, and then gradual warming until 2000. During 2001, subsurface temperatures cooled significantly compared to the previous two years to reach values typically observed during the mid-1990s. This was observed in the near-bottom temperatures from surveys of St. Pierre Bank and on the northeastern Scotian Shelf and in the core temperatures of the CIL waters in the Gulf of St. Lawrence (Fig. 2). For example, near the bottom on St. Pierre Bank, $<0^{\circ}\text{C}$ water completely disappeared during 1999-2000 but increased to near 30% of the area of the Bank during 2001. In the Gulf, not only did the temperatures in the CIL cool in 2001, but the CIL thickness also increased by 30 m compared to 2000. This is thought to be related to a large influx of cold water from the Labrador Shelf through the Strait of Belle Isle (see Therriault et al., this Bulletin). The relationship between such an event in the Gulf and the cool conditions on St. Pierre Bank and the Scotian Shelf is unclear at this time. In contrast to the cooler temperatures over much of the remaining Scotian Shelf, the warm conditions that were reestablished in 1999 (after the cold water event of 1998) prevailed in the deep waters of Emerald Basin. The warm water during 2001 in this Basin is from the upper slope and is due to the persistence of warm slope water at the shelf edge.

Salinities off Newfoundland and Labrador continued to remain below their long-term averages. These conditions persisted through most of the 1990s and their influence has been tracked onto the Scotian Shelf and as far south as the Gulf of Maine. While the low salinities in the early 1990s were attributed to ice-melt during heavy ice years, the continued low salinities cannot be accounted for by this mechanism because ice coverage has been relatively light since the mid-1990s. One hypothesis suggests that this may reflect increased advection from the Arctic Ocean through the Canadian Archipelago since the Arctic waters originating from the Pacific have undergone a significant decrease in salinity. This has yet to be proven. However, the appearance of a new Pacific phytoplankton species in the Northwest Atlantic waters (see Therriault et al., this Bulletin) tends to support this hypothesis. One of the consequences of the low surface salinities off Newfoundland and over the Scotian Shelf has been a general increase in the vertical stratification in the upper water column as measured by the density difference between the surface and 50 m.

Biological conditions

As with the physical environment, interannual fluctuations in the chemical and biological conditions of the

attribuées à une augmentation du flux d'eaux froides provenant des côtes du Labrador en passant par le détroit de Belle-Isle (voir Therriault et al., dans ce Bulletin). La relation qui existe entre cet événement dans le Golfe et les conditions très froides observées sur le Banc Saint-Pierre et sur le plateau Néo-Écossais reste cependant à éclaircir. En contraste avec les températures plus froides observées au-dessus de la plus grande partie du reste du plateau Néo-Écossais, les eaux profondes dans le bassin Emerald montrent une tendance continue au réchauffement qui a été initié en 1999, après le refroidissement de 1998. Ces eaux plus chaudes proviennent du large et sont reliées à une masse d'eau chaude qui persiste au niveau de la rupture de pente à la limite du plateau continental.

Les salinités au large de Terre-Neuve sont demeurées sous leur moyenne à long terme. Ces conditions de plus basses salinités persistent depuis les années 1990 et leur influence peut être retracée sur le plateau Néo-Écossais et jusqu'au golfe du Maine. Quoique les basses salinités du début des années 1990 furent attribuées à la fonte des glaces durant les années de grande abondance de glace, leur persistance en 2001 ne peut pas être expliquée de cette façon puisque la couverture de glace depuis le milieu des années 1990 a été relativement faible. Puisqu'il a été observé que les eaux Arctiques provenant du Pacifique montraient une diminution significative de leur salinité, une hypothèse a été avancée à l'effet que ces basses salinités pourraient refléter une augmentation de l'advection d'eaux provenant de l'océan Arctique à travers l'Archipel Canadien.

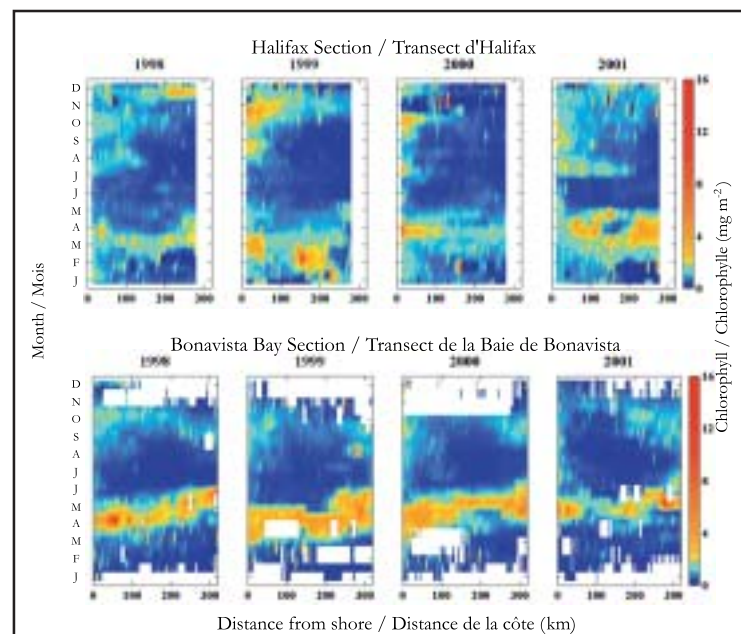


Fig. 3 Surface chlorophyll concentrations (SeaWiFS sensor) between 1998 and 2001 for the Halifax and Bonavista Bay sections.

Concentrations de chlorophylle en surface (senseur SeaWiFS) entre 1998 et 2001 pour les sections de Halifax et de la Baie de Bonavista.

Northwest Atlantic and the Gulf of St. Lawrence showed a certain degree of similarity within the Atlantic Zone. More striking, however, was the degree to which local food chain dynamics exhibited regional differences.

The seasonal phytoplankton cycle represents a good starting point for the comparison because of its dependence on the physical environment to determine the onset of the spring bloom. This in turn affects the patterns of nutrient availability and zooplankton production. In the Gulf of St. Lawrence, the spring bloom of phytoplankton has been taking place progressively earlier over the four years since the inception of the AZMP, a trend that may have begun in the mid-1990s, at least in the Lower St. Lawrence Estuary. In contrast, the spring bloom has been occurring progressively later on the Newfoundland Shelf in areas north of the Southeast Shoal (Fig. 3).

Seasonal nutrient depletion in surface waters, which results from the uptake by phytoplankton, follows a similar pattern among all regions. Nutrient concentrations decrease in surface waters in spring, reach minimum values in late summer, and increase again in the fall as vertical mixing intensifies. The extent of the depletion, which reflects a balance between the removal by phytoplankton and the injection of nutrient-rich water from below the mixed layer due to mixing processes, was not as extensive in 2001 as in 2000 for the Newfoundland Shelf region. Nutrient levels in the upper 50 m of the water column in the Gulf of St. Lawrence and on the Scotian Shelf were comparable to previous years. In general, the deep nutrient pool in all regions was at a comparable level to that observed previously. However, the seasonal time series of deep nutrients from Station 27 showed a significant

Cette hypothèse reste encore à vérifier. Cependant, l'apparition d'une nouvelle espèce de phytoplancton du Pacifique dans les eaux nord-ouest Atlantique (voir Therriault et al., dans ce Bulletin) tendrait à supporter cette hypothèse. Une des conséquences de la présence d'eaux de salinité plus basses au large de Terre-Neuve et au dessus du plateau Néo-Écossais est une augmentation générale de la stratification verticale dans la partie supérieure de la colonne d'eau tel que mesurée par la différence de densité entre la surface et 50 m.

Conditions biologiques

Comme pour l'environnement physique, les fluctuations interannuelles des conditions chimiques et biologiques dans la région nord-ouest Atlantique et dans le golfe du Saint-Laurent montrent un certain degré de similitude dans la zone Atlantique. Par contre, on remarque des différences régionales importantes dans la dynamique locale de la chaîne trophique.

Le cycle saisonnier du phytoplancton représente un bon point de départ pour la comparaison des régions en raison de sa dépendance sur l'environnement physique pour la détermination du début de la floraison printanière qui a des conséquences notables sur le patron de disponibilité des sels nutritifs et sur la production du zooplancton. Dans le golfe du Saint-Laurent, la floraison printanière du phytoplancton a lieu de plus en plus tôt au début de l'année depuis l'implantation du PMZA, il y a quelques années. Cette tendance a vraisemblablement débuté vers le milieu des années 1990, du moins dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent. Par contre, la floraison printanière du phytoplancton a eu lieu progressivement de plus en plus tard sur le plateau de Terre-Neuve dans la région au nord de Southeast Shoal (Fig. 3).

La disparition des sels nutritifs dans les eaux de surface suite à leur utilisation par le phytoplancton suit un patron de variation qui est similaire pour toutes les régions. Les concentrations en sels nutritifs diminuent dans les eaux de surface au printemps, atteignent des valeurs minimales à la fin de l'été et augmentent de nouveau à l'automne quand le mélange vertical s'intensifie. L'ampleur de la diminution des concentrations de sels nutritifs dans les eaux de surface reflète une balance entre l'assimilation par le phytoplancton et l'enrichissement par différents processus de mélange de la couche de surface avec des eaux plus riches situées sous la couche de mélange. La disparition des sels nutritifs en surface n'est cependant pas aussi importante en 2001 qu'en 2000, autant dans le golfe du Saint-Laurent que sur les côtes de Terre-Neuve. Les niveaux de sels nutritifs dans les 50 m supérieurs de la colonne d'eau sur le plateau Néo-Écossais ainsi que dans le golfe du Saint-Laurent sont comparables aux années précédentes. En général, les concentrations en sels nutritifs des eaux profondes dans toutes les régions sont comparables à celles observées au cours des années précédentes. Cependant, la série saisonnière de sels nutritifs profonds à la station 27 montre une diminution significative de l'ordre de 25 à 40 % en 2001 comparé à 2000.

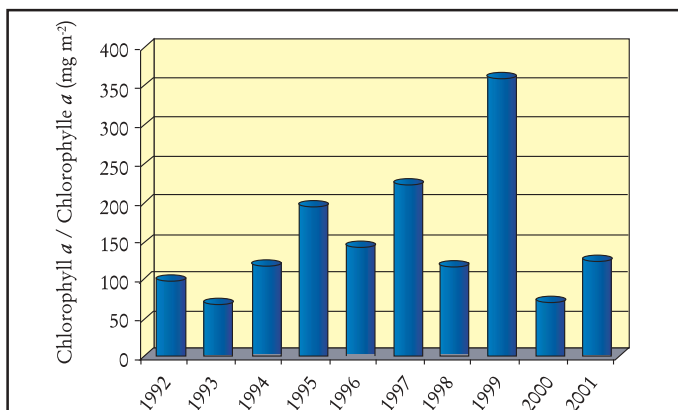


Fig.4 Interannual variation of the mean integrated chlorophyll a levels (upper 50 m of the water column between May and August) at the fixed site off Rimouski in the Lower St. Lawrence Estuary.

Variations interannuelles des niveaux intégrés de chlorophylle a (50 m supérieurs de la colonne d'eau entre mai et août) à la station fixe située au large de Rimouski dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent.

decrease (25-40%) in 2001 compared to 2000. This decline appeared to be localized, since similar changes were not observed on the remainder of the Newfoundland Shelf during the three oceanographic surveys in 2001.

In 2001, phytoplankton concentrations in all regions were relatively similar to levels observed in 2000. However, phytoplankton biomass levels at the monitoring site located just off Rimouski in the Lower Estuary were higher in 2001 than in 2000, the year when the lowest biomass values were observed in the available ten-year time series (Fig. 4). Although the relative abundance and succession of diatoms and dinoflagellates on the Scotian Shelf were similar to 2000, the overall numerical abundance of dinoflagellates on the Newfoundland Shelf in 2001 was about half of that observed in 2000. The most notable change occurred in the Gulf of St. Lawrence, where the spring bloom was completely dominated by *Neodenticula seminae*, a diatom species normally found in the North Pacific and not in the Atlantic. Except for Quaternary sediment cores, this is the first time that this species has been observed in the Gulf of St. Lawrence. Its presence is attributed to an advection process implying that Pacific waters crossed the Arctic Ocean and entered the Labrador Current before penetrating into the Gulf of St. Lawrence via the Strait of Belle Isle. Some hydrological observations support this hypothesis of a major intrusion of cold Labrador Shelf waters into the Gulf in 2001 (for more details, see Therriault et al., this Bulletin).

As with phytoplankton, AZMP sampling reveals that the regions exhibited different patterns of variation in zooplankton abundance and species composition. On the Newfoundland Shelf, the numerical abundance of zooplankton in 2001 was similar to levels observed in the previous two years. In 2001, the onset of the seasonal production cycle of *Calanus finmarchicus*, an important component of the food web throughout the North Atlantic, was delayed by about 30 days as compared to previous years. This delay was similar for

Cette diminution semble être localisée parce que des changements semblables ne sont pas observés sur le reste des côtes de Terre-Neuve durant les trois missions d'observations océanographiques en 2001.

Les biomasses de phytoplancton dans toutes les régions sont relativement similaires en 2001 aux niveaux observés en 2000. Cependant, la biomasse du phytoplancton à la station de monitoring de Rimouski dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent est plus élevée en 2001 qu'en 2000, année où l'on observe la plus faible biomasse dans la série de dix ans de données disponibles (Fig. 4). L'abondance relative et la succession des diatomées et des dinoflagellés en 2001 sont similaires à 2000 sur le plateau Néo-Écossais, mais l'abondance numérique totale des dinoflagellés sur le plateau de Terre-Neuve atteint à peine la moitié des valeurs observées en 2000. Le changement le plus remarquable s'est cependant produit dans le golfe du Saint-Laurent où la floraison printanière fut dominée par la diatomée *Neodenticula seminae*, une diatomée normalement retrouvée dans les eaux du Pacifique nord et non

dans l'Atlantique. Excepté pour des carottes de sédiment de l'ère Quaternaire, c'est la première fois qu'on observe cette espèce dans le golfe du Saint-Laurent. On attribue sa présence à un processus d'advection selon lequel des eaux du Pacifique nord ont traversé l'océan Arctique et emprunté le courant du Labrador pour ensuite pénétrer dans le golfe du Saint-Laurent par le détroit de Belle-Isle. Certaines observations hydrographiques supportent d'ailleurs cette intrusion majeure d'eaux froides de la pente continentale du Labrador dans le golfe du Saint-Laurent en 2001 (pour plus de détails, voir Therriault et al., dans ce Bulletin).

Comme pour le phytoplancton, l'échantillonnage du PMZA révèle que les patrons de variation d'abondance et de composition spécifique du zooplancton sont différents entre les régions. Sur le plateau de Terre-Neuve, l'abondance numérique du zooplancton en 2001 est similaire aux niveaux observés durant les deux années précédentes. En 2001, le début

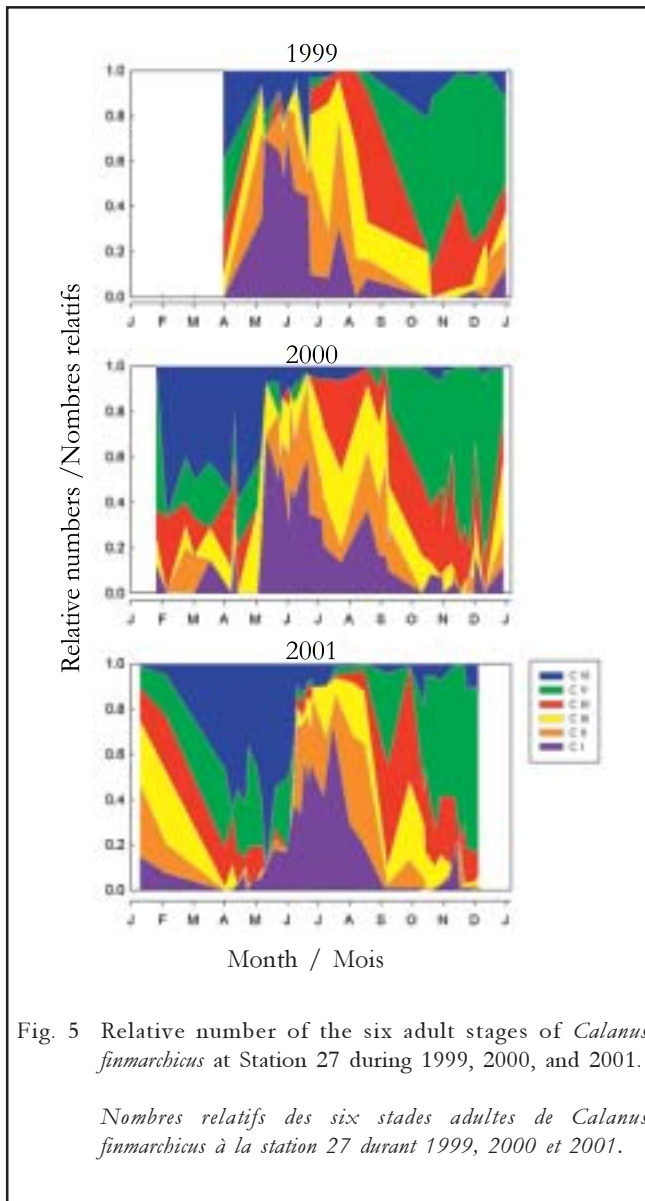


Fig. 5 Relative number of the six adult stages of *Calanus finmarchicus* at Station 27 during 1999, 2000, and 2001.

Nombres relatifs des six stades adultes de *Calanus finmarchicus* à la station 27 durant 1999, 2000 et 2001.

the phytoplankton production cycle in this region. On the Scotian Shelf, feeding and reproducing zooplankton were more abundant in 2001 than in 2000, but over-wintering populations were generally less abundant. In addition, the decade-long record of over-wintering zooplankton in Emerald Basin indicates that their numerical abundances in 2001 were significantly lower than their long-term mean. The zooplankton community composition at the fixed stations on the Scotian Shelf (Station 2, off Halifax) and in the Bay of Fundy (Prince 5) were generally comparable between 2001 and 2000 although *Calanus finmarchicus* contributed considerably more to the zooplankton abundance at Prince 5 in 2001 than seen previously. At the Anticosti Gyre and the Gaspé Current fixed stations in the Lower St. Lawrence Estuary, the mean integrated zooplankton biomass observed in 2001 was similar to 1999 and 2000. However, the overall numerical abundances of zooplankton were generally lower in 2001 than in 2000 for all regions of the Gulf of St. Lawrence in May and November except for the region of the Magdalen Shallows in November. The lower numerical abundances in the Lower Estuary and the Gulf can be explained by lower abundances of both copepod and invertebrate eggs. On the other hand, there was a significant increase in the number of macrozooplankton organisms (krill) associated with the cold intermediate layer in the Gulf, which can probably be attributed to the large intrusion of cold waters originating from the Labrador Shelf (for more details, see Therriault et al., this Bulletin). In that context, it has even been suggested that the relative numbers of the Arctic amphipod *Themisto libulella* could probably serve as an indicator of the intrusions of cold waters from the Labrador Shelf into the Gulf of St. Lawrence via the Strait of Belle Isle.

The 1990s appear to be a unique period in the CPR (Continuous Plankton Recorder) time series in the Western North Atlantic between Iceland and North America, since at no other time in the data series were there such large and persistent changes in the abundance and timing of the zooplankton production cycle and phytoplankton blooms (as indicated by the CPR greenness index). The higher colour index values in the 1990s indicated a significant increase in the phytoplankton biomass between October and March in the region west of longitude 45° W but not east of longitude 45° W. The bloom periods for diatoms and dinoflagellates and the peak production of zooplankton occurred progressively earlier in the 1990s than in the years prior to the 1990s in the regions west of 45° W. This shift in the timing of the phytoplankton and zooplankton production cycle was not observed in the eastern Atlantic region in the 1990s. On the other hand, peak numbers of *Calanus finmarchicus* stages 1 to 4 occurred approximately a month earlier in the 1990s than in the earlier years on the Scotian Shelf.

du cycle de production du copépode *Calanus finmarchicus*, une composante importante de la chaîne trophique dans tout l'Atlantique nord, accuse un retard d'environ 30 jours par rapport aux années précédentes, comme d'ailleurs le cycle de production du phytoplankton dans cette région. Le zooplankton qui se nourrit et se reproduit sur le plateau Néo-Écossais est un peu plus abondant en 2001 qu'en 2000, mais les populations hivernantes elles, sont généralement moins abondantes que leur moyenne à long terme tel qu'indiqué, par exemple, par la série de donnée de dix ans du bassin Emerald. La composition spécifique de la communauté zooplanctonique aux stations fixes du plateau Néo-Écossais (Station 2 au large de Halifax) et dans la baie de Fundy (Prince 5) en 2001 est généralement comparable à celle de 2000, quoique *Calanus finmarchicus* soit proportionnellement plus abondant à Prince 5 en 2001 que durant les années précédentes. Aux stations fixes de la gyre d'Anticosti et du courant de Gaspé, dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent, la biomasse moyenne intégrée de zooplankton en 2001 est similaire à 1999 et 2000. Par contre, pour l'ensemble du golfe du Saint-Laurent les abondances numériques totales du zooplankton en mai et novembre sont généralement plus faibles en 2001 qu'en 2000. Ce n'est cependant pas le cas pour le sud du Golfe (plateau Madelinien) en novembre. Cette différence entre les deux années est attribuable à la plus faible abondance de copépodes et d'oeufs d'invertébrés en 2001. Par ailleurs, on observe une augmentation significative de l'abondance du macrozooplankton (krill) dans la couche intermédiaire froide dans le Golfe qui est vraisemblablement reliée à une importante intrusion d'eaux froides du Labrador dans le golfe du Saint-Laurent via le détroit de Belle-Isle (pour plus de détails, voir Therriault et al. dans ce Bulletin). Dans ce contexte, il a même été suggéré que l'abondance relative de l'amphipode artique *Themisto libulella* pourrait servir d'indicateur pour les intrusions d'eaux froides du courant du Labrador dans le golfe du Saint-Laurent via le détroit de Belle-Isle.

Les années 1990 semblent avoir été une période unique pour la série CPR («Continuous Plankton Recorder») dans le nord-ouest de l'Atlantique entre l'Islande et l'Amérique du Nord. En effet, à aucun autre moment dans la série de données, n'a-t-on noté des changements aussi importants et persistants dans l'abondance et le temps du début des cycles de production du zooplankton et du phytoplankton (tel qu'indiqué par l'indice de verdure). Les changements les plus remarquables se sont produits pour le phytoplankton dont l'indice de couleur a augmenté remarquablement durant les années 1990, indiquant une augmentation significative de la biomasse phytoplanktonique entre octobre et mars dans la région située à l'ouest de la longitude 45° O. Ce n'est cependant pas le cas à l'est de la longitude 45° O. Les périodes de floraison de diatomées et de dinoflagellés se sont produites progressivement de plus en plus tôt durant les années 1990 que durant les années précédentes dans la région à l'ouest du 45° O. Ce changement graduel dans l'initiation des cycles de reproduction du

Peak zooplankton biomass occurred about a month later in the regions of the Grand Banks and western Atlantic. Total euphausiid abundance decreased after 1991 in regions west of longitude 45° W, but there was no evidence that any significant change occurred in total euphausiid numbers east of longitude 45° W.

phytoplankton et du zooplancton n'a pas été observé au cours des années 1990 dans la région est de l'Atlantique. Les stades 1 à 4 de *Calanus finmarchicus* sur le plateau Néo-Écossais apparaissent approximativement un mois plus tôt durant les années 1990 que durant les années précédentes, mais le maximum de biomasse du zooplancton se produit environ un mois plus tard dans la région des Grands Bancs et dans l'Atlantique ouest. L'abondance totale des euphausides diminue après 1991 dans les régions à l'ouest de la longitude 45° O, mais il n'y a pas d'évidence d'un changement significatif du nombre total d'euphausides à l'est de la longitude 45° O.

Publications

Technical Publications / Publications techniques

NAFO Research Document Series

Colbourne, E. B. (2002). Decadal Changes in the ocean climate in Newfoundland waters from the 1950s to the 1990s. NAFO SCR Doc. 2002/33, Serial No. N4644, 23 p.

Colbourne, E. B. (2001). Oceanographic conditions on the Flemish Cap during the spring 2001. NAFO SCR Doc. 2001/182, Serial No. N4571, 16 p.

Colbourne, E. B., E. G. Dawe, D. G. Parsons, E. F. Murphy, W. R. Bowering, E. L. Dalley, J. T. Anderson, J. B. Dempson, D. Orr, D. E. Stansbury and G. P. Ennis (2002). A preliminary review of environmental-stock relationships for some species of marine organisms in NAFO waters of the Northwest Atlantic. NAFO SCR Doc. 2002/34, Serial No. N4645, 21 p.

Colbourne, E. B. and C. Fitzpatrick (2002). Physical oceanographic conditions in NAFO Subareas 2 and 3 on the Newfoundland and Labrador Shelf during 2001. NAFO SCR Doc. 2002/41, Serial No. N4652, 27 p.

Drinkwater, K. F. (2002). A review of the atmospheric and sea-ice conditions in the Northwest Atlantic during the decade, 1991-2000. NAFO SCR Doc. 02/63, Serial No. N4675, 18 p.

Drinkwater, K. F. and B. Petrie (2002). An overview of meteorological, sea ice and sea-surface temperature conditions off eastern Canada during 2001. NAFO SCR Doc. 02/49, Serial No. N4661, 30 p.

Drinkwater, K. F. and B. Petrie (2002). Physical oceanographic conditions on the Scotian Shelf and in the Gulf of Maine during 2001. NAFO SCR Doc. 02/69, Serial No. N4682, 40 p.

Drinkwater, K. F., B. Petrie and P. C. Smith (2002). Hydrographic variability on the Scotian Shelf during the 1990s. NAFO SCR Doc. 02/42, Serial No. N4653, 16 p.

Drinkwater, K. F., E. Colbourne and D. Gilbert (2001). Overview of environmental conditions in the Northwest Atlantic in 2000. NAFO SCR Doc. 01/36, Serial No. N4414, 84 p.

ICES Documents

Colbourne, E. B., E. G. Dawe and D. G. Parsons. (2002). The current status of operational oceanography and its integration in fisheries resource stock assessments in the Newfoundland Region of Atlantic Canada. ICES CM 2002/W:10.

Harrison, G., B. Petrie and K. Frank (2002). Ecosystem monitoring in the Northwest Atlantic: Canada's Atlantic Zonal Monitoring Program (AZMP). ICES CM 2002/W:11.

Starr M., M. Harvey, P. S. Galbraith, D. Gilbert, D. Chabot and J.-C. Therriault (2002). Recent intrusion of Labrador Shelf waters into the Gulf of St. Lawrence and its influence on the plankton community and higher trophic levels. ICES CM 2002/N:16.

CSAS Research Document Series

Biron, M., L. Savoie, K. Drinkwater and M. Moriyasu (2002). Assessment of the 1999/2000 and 2000/2001 snow crab (*Chionoecetes opilio*) fishery off southwestern Nova Scotia (NAFO Division 4X; CFA 27). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc., 2002/012, 47 p.

Colbourne, E. B. (2002). Physical Oceanographic Conditions on the Newfoundland and Labrador Shelves during 2001. DFO Can. Sci. Advisory Sec. Res. Doc. 2002/23, 56 p.

Colbourne, E. B. (2002). Oceanographic Conditions in NAFO Subdivisions 3Pn and 3Ps during 2001 with comparisons to the previous year and the long-term (1971-2000) average. DFO Can. Sci. Advisory Sec. Res. Doc. 2002/24, 18 p.

Colbourne, E. B., C. Fitzpatrick and J. Craig (2002). A comparison of the 1961-1990 and the 1971-2000 means for selected oceanographic data sets in the Newfoundland Region. DFO Can. Sci. Advisory Sec. Res. Doc. 2002/77, 27 p.

- Colbourne, E. B. and E. F. Murphy** (2002). Recent trends in bottom temperatures and distribution and abundance of cod (*Gadus morhua*) in NAFO Subdivisions 3Pn and 3Ps from the winter/spring multi-species surveys. DFO Can. Sci. Advisory Sec. Res. Doc. 2002/001, 18 p.
- Craig, J. D. C., and E. B. Colbourne** (2002). Trends in stratification on the inner Newfoundland Shelf. DFO Can. Sci. Advisory Sec. Res. Doc. 2002/071, 14 p.
- Drinkwater, K., B. Petrie, R. Pettipas and L. Petrie** (2002). Overview of meteorological, sea ice and sea-surface temperature conditions off eastern Canada during 2001. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc., 2002/048, 30 p.
- Drinkwater, K. F., B. Petrie, R. G. Pettipas, L. Petrie and V. Soukhovtsev** (2002). Physical oceanographic conditions on the Scotian Shelf and in the Gulf of Maine during 2000. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2001/055, 40 p.
- Drinkwater, K. F., R. Pettipas, and L. Petrie** (2002). Temperature conditions on the Scotian Shelf and in the southern Gulf of St. Lawrence during 2001 relevant to snow crab. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2002/043, 37 p.
- Drinkwater, K. F., R. Pettipas, and L. Petrie** (2002). Physical environmental conditions in the southern Gulf of St. Lawrence during 2001. DFO Can. Stock Assess. Sec. Res. Doc. 2002/047, 39 p.
- Harrison, G., D. Sameoto, J. Spry, K. Pauley, H. Maass and V. Soukhovtsev** (2002). Optical, chemical and biological oceanographic conditions on the Scotian Shelf, in the Gulf of Maine and the Southern Gulf of St. Lawrence in 2001. DFO Can. Sci. Advisory Sec. Res. Doc. 2002/056. 54 p.
- Harvey, M., J.-F. St-Pierre, P. Joly and G. Morrier** (2002). Oceanographic conditions in the Estuary and the Gulf of St. Lawrence during 2001: zooplankton. DFO Can. Sci. Advisory Sec. Res. Doc. 2002/046, 29 p.
- Pepin, P., and Maillet, G.L.** (2002). Biological and chemical oceanographic conditions on the Newfoundland Shelf during 2001 with comparisons with earlier observations. Can. Sci. Advisory Sec., Res. Doc. 2002/052, 60 p.
- Starr M., L. St-Amand and L. Bérard-Therriault** (2002). State of phytoplankton in the Estuary and Gulf of St. Lawrence during 2001. DFO Can. Sci. Advisory Sec. Res. Doc. 2002/067, 23 p.

DFO Technical Reports / Rapports Techniques du MPO

- Mitchell, M. R., G. Harrison, K. Pauley, A. Gagné, G. Maillet, and P. Strain** (2002). Atlantic Zonal Monitoring Program Sampling Protocol. Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 223: iv + 23 pp.
- Senciall, D. R., P. Stead and E. B. Colbourne** (2002). Long-Term Temperature Monitoring Program 2000-2001, Newfoundland Region. Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 219: ix + 277 p.

FOC working papers / Articles de travail pour le comité d'océanographie des pêches

- Colbourne E. B., K. F. Drinkwater and D. Gilbert** (2002). Editors. Environmental data and climate indices for the Northwest Atlantic. A Fisheries Oceanography Committee (FOC) Working Group Report. DFO RES DOC. 2002/86.

Stock Status Reports / Rapports d'évaluation de stocks

- DFO** (2002). State of the Ocean: Physical oceanographic conditions in the Newfoundland Region during 2001. DFO Science Stock Status Report G2-01.
- DFO** (2002). 2001 State of the Ocean: Chemical and biological oceanographic conditions in the Estuary and Gulf of St. Lawrence. DFO Science Stock Status report G4-03.
- DFO** (2002). Chemical and biological oceanographic conditions 2000–Newfoundland Region. DFO Science Stock Status Report G2-02.
- DFO** (2002). Chemical and Biological Oceanographic Conditions in 2001 - Gulf of Maine, Bay of Fundy, Scotian Shelf and the Southern Gulf of St. Lawrence. DFO Science Stock Status Report G3-03.

Others / Autres

- Bérard-Therriault L., M. Starr, M. Poulin and S. Roy** (2002). A very unusual spring bloom in the Gulf of St. Lawrence, eastern Canada: The rebirth of the diatom *Neodenticula seminae*. 17th International Diatom Symposium, Book of Abstracts, p. 9.
- Gilbert, D.** (2002). Temperature and salinity data from the 2001 summer shrimp and groundfish survey in the Gulf of St. Lawrence. [On line: 21 January 2002] <<http://www.osl.gc.ca/en/info/rapports/oceano-physiques.htm>>.
- Hill, B. T., A. Ruffman and K. Drinkwater** (2002). Historical record of the incidence of sea ice on the Scotian Shelf and the Gulf of St. Lawrence. Ice in the Environment: Proceedings of the 16th IAHR International Symposium on Ice, Dunedin, New Zealand, 2-6 December 2002, International Association of Hydraulic Engineering and Research, pp.16-23.
- Starr M. et M. Harvey** (2002). L'état du plancton dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent en 2001. Nouvelles des sciences de l'IML 8: 3-7.

Contributions

Intrusions of Labrador Shelf waters into the Gulf of St. Lawrence and their potential influence on the plankton community and higher trophic levels

Jean-Claude Therriault, Peter S. Galbraith, Michel Starr and Michel Harvey

Ocean Sciences, Maurice Lamontagne Institute, Department of Fisheries and Oceans, Canada,
850 route de la Mer, Mont-Joli, QC, G5H 3Z4
therriaultjcsci@dfo-mpo.gc.ca

Résumé

Des données hydrographiques obtenues dans le golfe du Saint-Laurent (GSL) depuis 1996 suggèrent que les années 2001 et 2002 sont caractérisées par des intrusions particulièrement importantes d'eaux denses et froides provenant des côtes du Labrador. Ces intrusions ont significativement contribué aux températures estivales particulièrement basses de la couche intermédiaire froide (CIF) dans le GSL, en dépit de conditions hivernales relativement chaudes. Plusieurs changements dans la communauté planctonique peuvent être associés à ces intrusions d'eaux froides dans le Golfe. Le plus remarquable en 2001 est sans doute la première apparition en grande abondance de la diatomée *Neodenticula seminiae* dans presque toutes les régions du Golfe. Ceci est très inhabituel parce que cette diatomée est normalement retrouvée dans le Pacifique Nord, et non pas dans le nord Atlantique. En raison de sa présence simultanée sur la côte du Labrador et dans le Golfe, il est fort probable que cette espèce du Pacifique ait été introduite dans le Golfe *via* le détroit de Belle-Isle par des processus d'advection à travers l'Arctique, en empruntant le courant du Labrador. Une autre observation qui supporte l'hypothèse d'une importante intrusion d'eaux froides dans le Golfe en 2001 est l'augmentation significative de l'abondance de l'amphipode arctique *Themisto libellula*. En effet, leur nombre qui passe de 0.17 ind. m⁻² en septembre 2000 à 10 ind. m⁻² en septembre 2001, ne peut être facilement expliqué que par cette intrusion. Ces introductions régulières d'espèces planctoniques arctiques dans le GSL ont probablement un impact significatif sur les niveaux supérieurs de la chaîne trophique tel que suggéré par la relation significative observée entre l'abondance annuelle moyenne de *T. libellula* et sa présence relative dans la diète de la morue entre 1996 et 2001.

Introduction

A number of recent publications have indicated that global warming has already induced significant changes in ocean circulation, particularly at northern latitudes (Dickson, 1999). In this paper we present results suggesting episodic intrusions of dense and cold surface waters from the Labrador Shelf into the Gulf of St. Lawrence (GSL). These intrusions have introduced Arctic phytoplankton and zooplankton species that potentially have a significant influence on higher trophic level interactions.

Winter hydrographic data

Oceanic water intrusions into the Gulf of St. Lawrence occur through Cabot Strait in the south and the Strait of Belle Isle in the northeast. The latter is a more direct route for the entry for cold Arctic waters coming from the Labrador Shelf. The few current meter measurements made in the Strait of Belle Isle indicate that Arctic water inflow is more pronounced during the winter months. An annual March survey was initiated in 1996 to study the characteristics of the water masses in the GSL during winter. Results of these surveys indicate large interannual differences in the salinity and temperature characteristics of the water masses in the Gulf. These differences are caused by local convection and the inflow of Labrador Shelf waters through the Strait of Belle Isle.

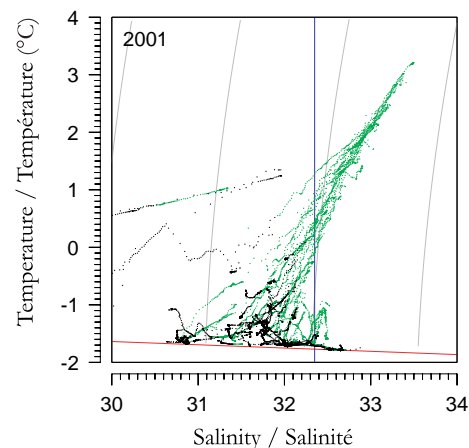


Fig. 1 Temperature-salinity diagram for the March 2001 data. The slanted red line near the bottom is the freezing point as a function of salinity. Waters with salinity greater than 32.35 (blue line) come from the Labrador Shelf. Data in black come from depths shallower than 50 m while those in green are from greater depths.

Diagramme température-salinité pour les données récoltées en mars 2001. La ligne rouge inclinée dans le bas du graphique représente le point de congélation en fonction de la salinité. Les eaux avec une salinité plus grande que 32.35 (ligne bleue) proviennent des côtes du Labrador. Les données en noir proviennent de profondeurs plus faibles que 50 m et celles en vert de profondeurs plus grandes que 50 m.

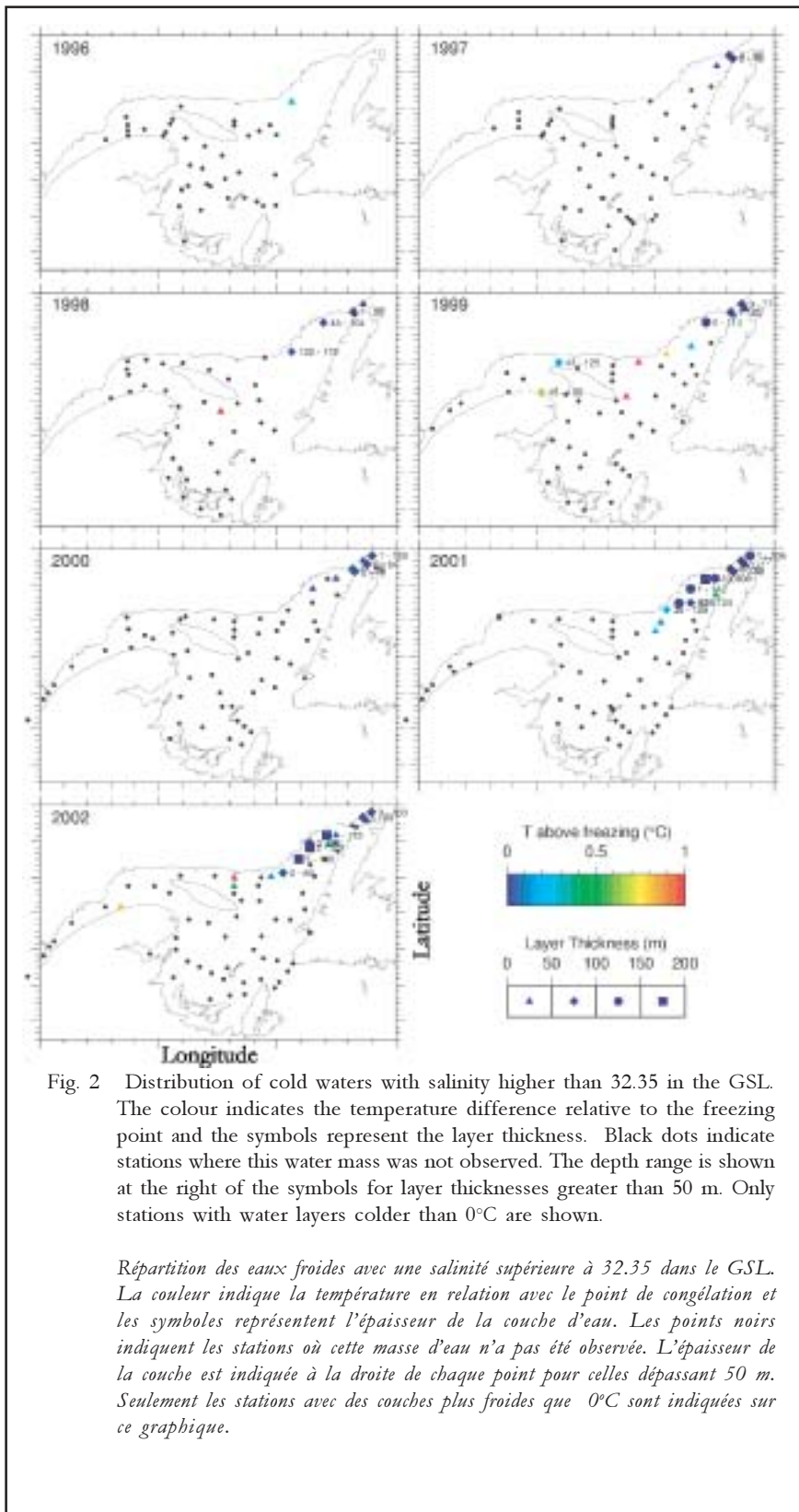


Fig. 2 Distribution of cold waters with salinity higher than 32.35 in the GSL. The colour indicates the temperature difference relative to the freezing point and the symbols represent the layer thickness. Black dots indicate stations where this water mass was not observed. The depth range is shown at the right of the symbols for layer thicknesses greater than 50 m. Only stations with water layers colder than 0°C are shown.

Répartition des eaux froides avec une salinité supérieure à 32.35 dans le GSL. La couleur indique la température en relation avec le point de congélation et les symboles représentent l'épaisseur de la couche d'eau. Les points noirs indiquent les stations où cette masse d'eau n'a pas été observée. L'épaisseur de la couche est indiquée à la droite de chaque point pour celles dépassant 50 m. Seulement les stations avec des couches plus froides que 0°C sont indiquées sur ce graphique.

Figure 1 shows the temperature-salinity diagram for data from March 2001. Data in black are from depths shallower than 50 m while those in green are from depths greater than 50 m. Most of the Gulf waters in the upper 50 meters are colder than -1°C, are concentrated close to the freezing point (red line in Fig. 1), and have salinities varying between 30.5 and 32.8. It is difficult to distinguish cold

waters that have been formed locally in the Gulf from cold waters that have originated from oceanic inflows. However, some of the cold waters in this figure are too saline to have been formed locally and must therefore have originated from outside the Gulf. The vertical blue line in Figure 1 represents the salinity limit of 32.35 beyond which cold waters cannot have been formed locally. Most of the waters with salinity higher than 32.35 are warmer than 0 to 1°C and are typically found at depths greater than 50-100 m. Because of their higher salinities, it would have been impossible to bring these deep waters into contact with the atmosphere in the GSL in order to cool them to near-freezing temperatures. These deep waters must, therefore, come from the intrusion into the Gulf of subsurface Labrador Shelf waters. Some waters with salinity higher than 32.35 are also found near the freezing point (right of the blue line) in Figure 1. Brine rejection from local sea-ice formation cannot account for the creation of these near-freezing waters from a less saline GSL surface source. These more saline freezing waters must then also come from the intrusion of Labrador Shelf surface waters *via* the Strait of Belle Isle.

Figure 2 shows the geographic extent of the sub-zero and more saline waters (> 32.35) originating from the Labrador Shelf. The colour scheme indicates the temperature difference relative to the freezing point and the symbols represent the layer thickness. Black dots indicate stations where this water mass was not observed. The depth range is shown at the right of the symbols for layer thicknesses greater than 50 m. Only water layers colder than 0°C are shown. This figure suggests large interannual variability of the intrusion of near-freezing waters from the Labrador Shelf into the Gulf. For an as yet unknown reason, it seems that the winter exchange dynamics increased significantly in 2001 and 2002 as compared to prior years. When the Gulf waters re-stratify in the spring due to sea-ice melting and freshwater runoff, these cold and more saline waters are denser than the locally formed cold waters, remain deeper, and,

consequently, are better isolated from summer warming processes occurring above the pycnocline. They can then represent a significant contribution to the formation of the cold intermediate layer (CIL) that is always present through the summer in the GSL. In 2001 and 2002, the CIL kept its integrity (low temperature and volume) in spite of locally warm winter conditions. The increased cold water intrusion from

the Labrador Shelf during these two years may have played a significant role in this process.

Phytoplankton data

Neodenticula seminae (Fig. 3) is an important member of the modern diatom assemblage in the Bering Sea and at middle and high latitudes in the North Pacific. In the Atlantic Ocean, this species has only been recorded in Quaternary sediment cores from middle to high latitudes. The occurrence of *N. seminae* in the North Atlantic has principally been attributed to the presence of low salinity surface waters in the Atlantic during the early Quaternary. Figure 4 shows the presence of a spring bloom of *N. seminae* in all regions of the GSL in 2001. With concentrations up to 1.9×10^6 cells l^{-1} , this represents the first bloom occurrence of this phytoplankton species on the Atlantic coast since its complete disappearance in the Quaternary. Because this unusual spring bloom was so widespread and coincided with a massive intrusion of Labrador Shelf waters into the Gulf of St. Lawrence, it is believed that this Pacific species was introduced *via* advection processes across the Arctic Ocean and southward in the Labrador Current rather than by ballast waters. The simultaneous observations of the occurrence of *N. seminae* in water samples from the Labrador Shelf and from the GSL during spring-summer 2001 supports this view. This reappearance of *N. seminae* on the Atlantic coast coincides with recent changes in the circulation and oceanographic conditions (e.g., increased sea-ice melting) in the Arctic Ocean, including a greater influx of Pacific waters into the North Atlantic and the freshening of the Arctic and sub-polar North Atlantic waters (Dickson, 1999).

Zooplankton data

An annual zooplankton survey was initiated in 1994 to track the variability of the zooplankton abundance and biomass. This survey is conducted in September at 44 stations along eight transects covering the Lower Estuary and the Northwest Gulf of St. Lawrence from Les Escoumins to Sept-Îles.

Figure 5A shows the mean abundance of the Arctic hyperiid amphipod *Themisto libellula* in the Lower St. Lawrence Estuary and the Northwest Gulf of St. Lawrence from 1994 to 2001. The most significant observation is the variability in the mean annual abundance of *T. libellula* and, in particular, its significant increase from 0.17 ind. per m^2 in September 2000 to 10 ind. per m^2 in September 2001. This means that over 10 billion ind. per km^2 were present in 2001 compared to 170 000 ind. per km^2 in 2000. This recent increase can probably be attributed to the intrusion of cold waters originating from the Labrador Shelf into the GSL. This

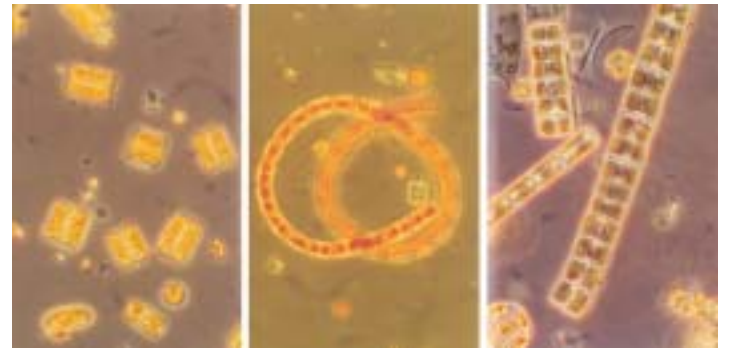


Fig. 3 Light photomicrographs of the diatom *Neodenticula seminae* confirming its presence in the Gulf of St. Lawrence and Labrador Slope waters, NW Atlantic. This species is a small pennate diatom that belongs to the family Bacillariaceae. It can occur singly or in chains that are sometimes quite long and curved.

Microphotographies de la diatomée Neodenticula seminae confirmant sa présence dans le golfe du Saint-Laurent et le long des côtes du Labrador, dans le nord-ouest Atlantique. Cette espèce est une petite diatomée pennale qui appartient à la famille des Bacillariophyceae. Elle peut être présente sous forme de cellule unique ou de chaînes, parfois très longues et recourbées.

is strongly supported by two facts. The first is that greater abundances of *T. libellula* are usually associated with the cold intermediate layer in the Lower Estuary and Northwest Gulf, as indicated by the significant negative relationships ($R^2=0.72$)

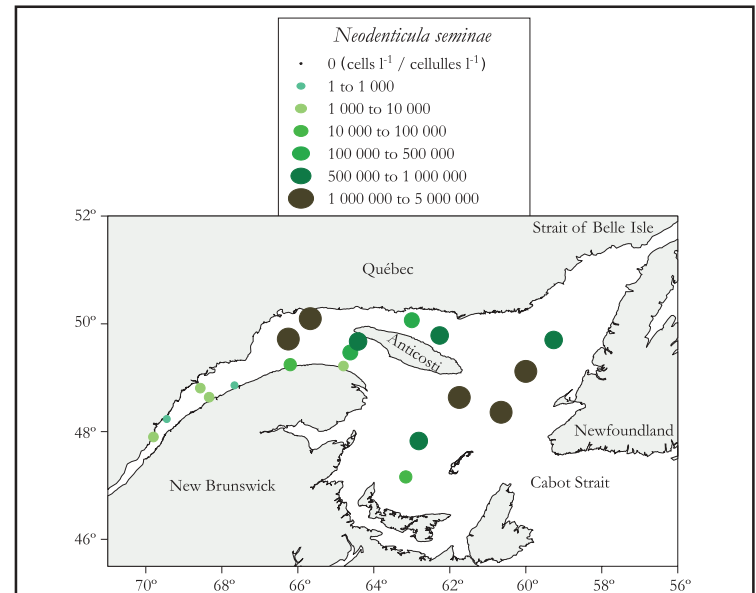


Fig. 4 Relative abundance of the diatom *Neodenticula seminae* in late April 2001 in the surface waters of the Estuary and Gulf of St. Lawrence. The highest abundances were recorded at stations over the Laurentian and Esquiman channels and represented between 64 and 91% of the total diatom numbers.

Abondance relative de la diatomée Neodenticula seminae vers la fin avril 2001 dans les eaux de surface de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent. Les plus fortes abondances sont observées aux stations situées au dessus des chenaux Laurentien et Esquiman et représentent entre 64 et 91 % du nombre total de diatomées.

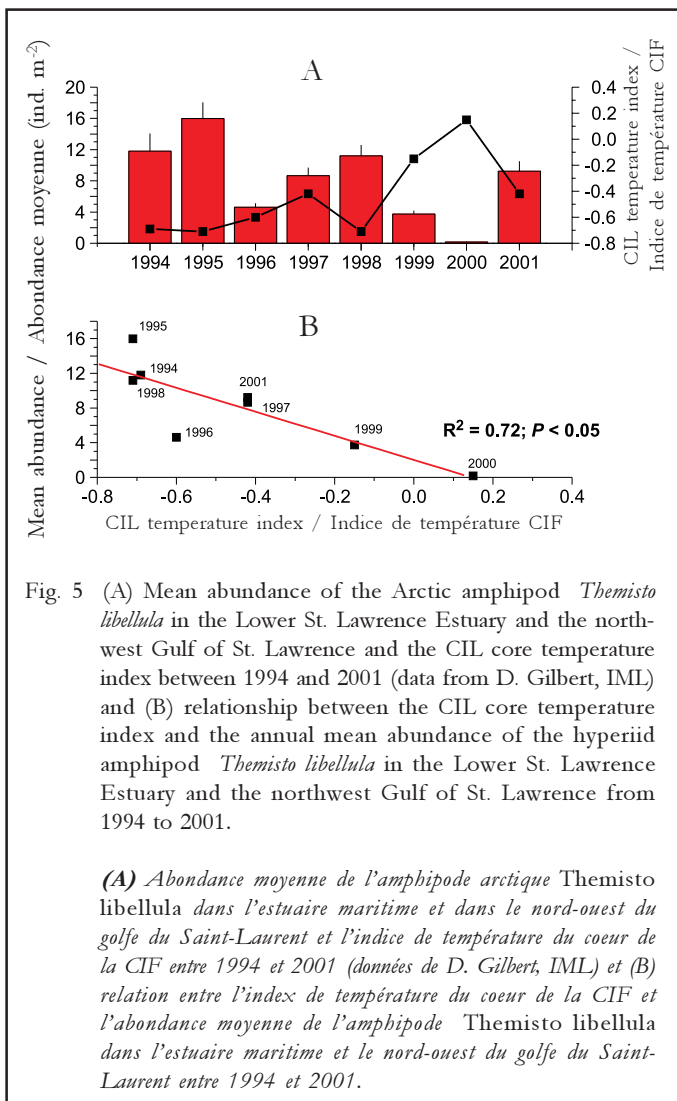


Fig. 5 (A) Mean abundance of the Arctic amphipod *Themisto libellula* in the Lower St. Lawrence Estuary and the northwest Gulf of St. Lawrence and the CIL core temperature index between 1994 and 2001 (data from D. Gilbert, IML) and (B) relationship between the CIL core temperature index and the annual mean abundance of the hyperiid amphipod *Themisto libellula* in the Lower St. Lawrence Estuary and the northwest Gulf of St. Lawrence from 1994 to 2001.

(A) Abondance moyenne de l'amphipode arctique *Themisto libellula* dans l'estuaire maritime et dans le nord-ouest du golfe du Saint-Laurent et l'indice de température du coeur de la CIF entre 1994 et 2001 (données de D. Gilbert, IML) et (B) relation entre l'indice de température du coeur de la CIF et l'abondance moyenne de l'amphipode *Themisto libellula* dans l'estuaire maritime et le nord-ouest du golfe du Saint-Laurent entre 1994 et 2001.

between the annual CIL core temperature index and the mean annual abundance of *T. libellula* sampled since 1994 (Fig. 5B). The second is that the *T. libellula* distributed over the whole sampling area were all adult, implying that these individuals could not have hatched in the Estuary and the Gulf during the previous summer because they were all more than one year old (Percy, 1993) and also because they were not particularly abundant in September 2000 as compared to 2001. The results shown in Figure 5B suggest that it could be possible to use the relative abundance of *T. libellula* as an index of the relative importance of the intrusion of Labrador Shelf waters into the Gulf.

Trophic interactions

Based on the hydrographic and biological data presented above, it seems evident that variable intrusions of cold Labrador Shelf waters occur into the GSL every year, via the Strait of Belle Isle, and that particularly important intrusions occurred in 2001 and 2002. This Arctic water mass must have contained significant numbers of Arctic plankton species that have surely influenced the trophic interactions in the Gulf. For example, an early

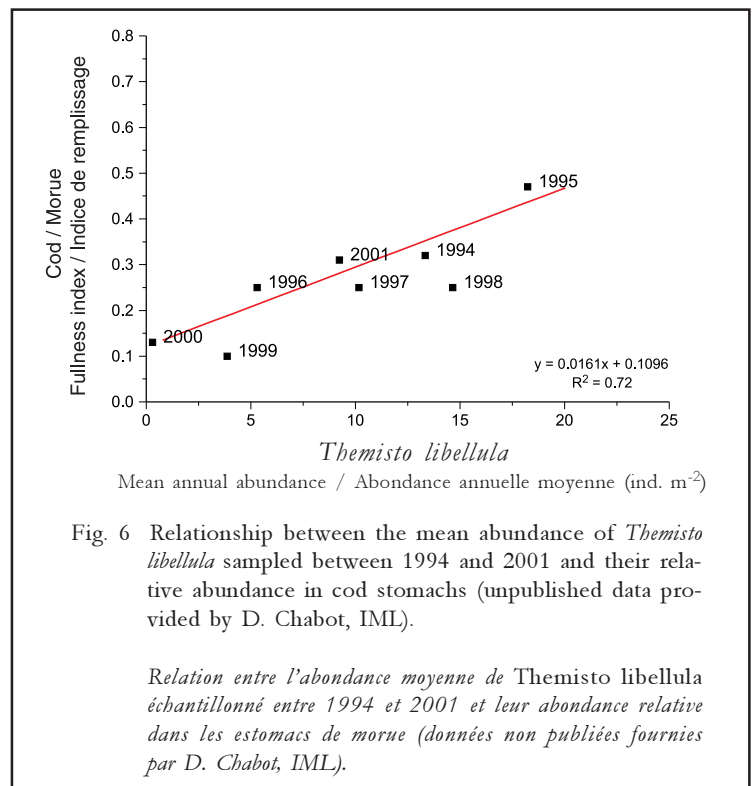


Fig. 6 Relationship between the mean abundance of *Themisto libellula* sampled between 1994 and 2001 and their relative abundance in cod stomachs (unpublished data provided by D. Chabot, IML).

Relation entre l'abondance moyenne de *Themisto libellula* échantillonné entre 1994 et 2001 et leur abondance relative dans les estomacs de morue (données non publiées fournies par D. Chabot, IML).

phytoplankton bloom of the magnitude and extent shown in Figure 4 certainly had a significant influence on the carbon and nutrient cycle/budget in the GSL. On the other hand, the hyperiid amphipod *T. libellula* is a very efficient predator species and, consequently, the episodic invasions of this species in the GSL system probably has a significant impact on the zooplankton standing stock through direct predation or via the survival and recruitment of fish larvae or else through direct competition with fish larvae for copepod prey. These intrusions of Arctic plankton species into the GSL probably have a significant impact on higher trophic level interactions as well, as suggested by the significant relationship observed between the mean annual abundance of *T. libellula* and their relative occurrence in the cod diet between 1996 and 2001 (Fig. 6).

References

- Dickson, B. (1999). All changes in the Arctic. *Nature* 397: 389-390.
 Percy, J. A. (1993). Reproduction and growth of the Arctic hyperiid amphipod *Themisto libellula* Mandt., *Polar Biol.* 13: 131-139.

Acknowledgements

We thank Denis Gilbert and Denis Chabot for giving us access to some of their data. We are also grateful to L. Bérard-Therriault, J.-F. St-Pierre, and P. Joly as well as to the students and scientific personnel of the Atlantic Zone Monitoring Program who supported the collection and analyses of samples for this study. The officers and crew of the CCGS *Martha L. Black*, *George R. Pearkes*, *Tracy*, *Pierre Radisson*, and *Desgroseillers* as well as helicopter pilots and technicians provided excellent support for carrying out work at sea.

Interannual variations in plankton dynamics at AZMP Station 2: first results from physical-biological modelling

A. F. Vézina and B. Casault

Bedford Institute of Oceanography, 1 Challenger Drive, Dartmouth, NS, B2Y 4A2
vezinaa@dfo-mpo.gc.ca

Résumé

Les variations interannuelles dans la dynamique du plancton sont une caractéristique importante des écosystèmes marins et elles ont été liées aux variations dans le recrutement des espèces exploitables. Nous présentons ici les premiers essais d'utilisation d'un modèle physique-biologique pour simuler la dynamique observée à la station 2 du PMZA pendant 3 années (1999-2001). Ces résultats préliminaires indiquent que le modèle est capable de reproduire le cycle saisonnier moyen dans la dynamique du plancton et aussi certains aspects des différences interannuelles dans les conditions physiques et biologiques. Cependant, les variations interannuelles dans les observations de terrain sont plus fortes que dans les simulations du modèle, et il y a certaines différences notables entre les différences interannuelles observées et prédites. Les données du PMZA constituent une ressource irremplaçable pour le développement et l'amélioration des modèles physique-biologique et pour augmenter notre capacité à prédire les impacts des changements climatiques et des variations climatiques sur les écosystèmes marins.

The spring bloom is one of the most important recurring biological events in the North Atlantic. On the Scotian Shelf, the timing and intensity of this spring flowering of phytoplankton has been related to interannual variations in haddock recruitment (Platt et al., 2002). Sustained monitoring of physical and plankton dynamics as part of the AZMP is required to detect and interpret these interannual changes. Coupled with modelling, these observations help us understand the causes of these year-to-year changes and eventually to provide predictive ability. With these goals in mind, we have developed a physical-biological model for the Scotian Shelf. The model was tuned to climatologies of chlorophyll and nutrients for the Central Scotian Shelf and found to give a reasonable description of the mean annual plankton cycle (i.e., averaged over 25 years). We present here our first

attempt to use this model to simulate the physical and plankton dynamics at AZMP Station 2 from 1999 to 2001.

The most critical physical process for plankton dynamics is the variation in the surface mixed layer as it controls the light and nutrient environment for the phytoplankton. We start with the common 1-dimensional assumption that the mixed layer depth is controlled by local physical processes, such as

	Observed mixed-layer depths (m)			Simulated mixed-layer depths (m)		
	1999	2000	2001	1999	2000	2001
Mean	31	19	28	55	49	50
Variance	208	150	534	20	12.5	48

Table 1. Mean and variance of the mixed-layer depth for the period 1 to 15 April in 1999, 2000, and 2001. Data come from temperature-salinity profiles taken at AZMP Station 2 (observed) and from a simulation by a 1-dimensional physical model forced by weather re-analyses (simulated).

Moyenne et variance de la profondeur de la couche de mélange pour la période du 1^{er} au 15 avril en 1999, 2000 et 2001. Les données proviennent de profils de température-salinité mesurés à la station 2 du PMZA («observed») et d'une simulation par un modèle physique unidimensionnel forcé par des réanalyses météorologiques («simulated»).

	Observed bloom dynamics			Simulated bloom dynamics		
	1999	2000	2001	1999	2000	2001
Max Chl (mg m ⁻³)	1.9	5.6	3.5	2.4	2.2	2.3
Onset	41	77	89	46	76	73
Time max	108	97	100	108	123	89
End	125	114	136	125	129	150

Table 2. Observed and simulated maximum chlorophyll concentration and times (in days since January 1st of each year) of the onset of the peak maximum and of the end of the spring bloom for AZMP Station 2. The onset and end of the spring bloom are estimated from the rate of change of chlorophyll concentration. The bloom is assumed to start when the rate of change is greater than 0.05 mg m⁻³ d⁻¹ and end when the rate returns below this value.

Valeur observées et simulées du maximum de concentration de chlorophylle et des temps (en jours depuis le 1^{er} janvier de chaque année) de début du maximum et de la fin de la floraison printanière à la Station 2 du PMZA. Le début et la fin de la floraison printanière sont estimés à partir des taux de changement des concentrations en chlorophylle. On assume que la floraison débute quand le taux de changement dépasse 0.05 mg m⁻³ j⁻¹ et se termine quand le taux retourne sous cette valeur.

cooling and warming of the water column and stirring by winds and tides. Using these assumptions, we can simulate a reasonable seasonal cycle for the mixed-layer depth (Fig. 1A), with a deeper mixed layer occurring during winter, rapid shallowing during spring, and a gradual return to a deep mixed layer during fall and early winter. We can also see some correspondence between intra-seasonal (high frequency) deepening and shallowing events between the observed and simulated mixed-layer depths. However, the model tends to overestimate the depth of the mixed layer throughout the annual cycle and to underestimate the high frequency changes in its depth. The most striking difference between years in both the observations and the simulations is the relatively shallow winter mixed layers during 2000 with relatively low variance (Table 1). That is, the winter of 2000 was characterized by shallower winter mixing and by fewer and less intense mixing events than either 1999 or 2001.

The biological model, driven by mixing and temperature information provided by the physical model, does a reasonable job of simulating the annual nitrate and chlorophyll cycles (Fig. 1B-C). It reproduces the annual

spring peaks and the smaller fall blooms and the annual drawdown of nitrates during spring and recharge during fall and winter. The model gets the timing of seasonal events, such as the onset, maximum, and end of the spring bloom, within two weeks compared to observations (Table 2). The only exception is the timing of the spring bloom peak in 2000, which is more than 3 weeks later in the model than in the field observations. However, the model does underestimate the winter nutrients by a factor of two and it produces a seasonal biomass cycle that is less pronounced (i.e., lower highs and higher lows) than in the observations (Fig. 1B).

The field observations suggest that the 2000 spring bloom of chlorophyll (Fig. 1B) was much stronger and shorter (more intense) than during either 1999 or 2001. Also, these field data indicate that the seasonal biomass cycle during 1999 was relatively flat, with early onset of production during the winter period and no clear spring peak. Although the model does indicate an early start of the spring bloom in 1999 (Table 2), it does not reproduce the lack of a seasonal chlorophyll cycle during that same year. The model also points to 2000 as the year with the weakest bloom, although the simulated year-to-year differences are small. The model implies that 2000 should

have been the year with the flattest seasonal cycle whereas the AZMP data indicate the opposite.

A first look at these results suggests that the priority for improvement resides with the physics. The physical model based on the local 1-dimensional assumption consistently underestimates the variability of the mixed layer by a large margin. It also shallows too slowly during springtime, leading to a longer bloom than actually observed. We have done experiments with Central Scotian Shelf data with the same biological model but with the mixed-layer depths and their variance prescribed from observations instead of diagnosed from the physical model. Forcing the mixed layers from observations leads to a better simulation of the annual cycle, with a sharper spring bloom and lower chlorophyll levels during the summer period. This suggests that a better physical

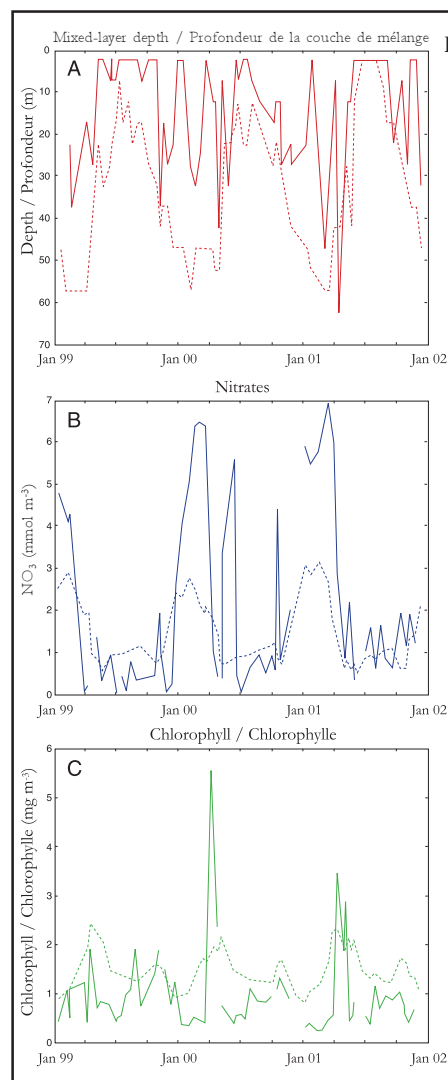


Fig. 1 Observed (solid line) and simulated (dashed line) mixed-layer depths (A), nitrate levels (B), and chlorophyll concentrations (C) for AZMP Station 2 from Jan 1, 1999, to Dec 31, 2001. The nitrate and chlorophyll levels are averages for the euphotic zone over which 99% of the incident light is absorbed. Observed mixed-layer depths were calculated from ca. bi-weekly CTD (temperature-salinity) profiles taken at Station 2. The simulated mixed-layer depths were diagnosed from the temperature-salinity profiles by a 1-dimensional physical model forced by National Center for Environmental Prediction (NCEP) weather re-analyses (<http://www.cdc.noaa.gov>). Nitrate and chlorophyll values were simulated by a simple biological model forced by vertical diffusivity and water temperature (provided by the physical model) and NCEP re-analyses of surface short-wave radiation.

Observations (ligne pleine) et simulations (ligne brisée) de la profondeur de la couche de mélange (A), des concentrations en nitrates (B) et de la concentration en chlorophylle (C) pour la station 2 du PMZA entre le 1er janvier 1999 et le 31 décembre 2001. Les valeurs de nitrate et chlorophylle sont des moyennes pour la zone euphotique qui absorbe 99 % de la lumière incidente. Les profondeurs de la couche de mélange observées sont calculées à partir de profils température-salinité pris à toutes les deux semaines à la station 2. Les profondeurs de la couche de mélange simulées sont extraites des profils température-salinité simulés par un modèle physique unidimensionnel forcé par des ré-analyses météorologiques du «National Center for Environmental Prediction» (NCEP) (<http://www.cdc.noaa.gov>). Les concentrations de nitrate et de chlorophylle ont été simulées par un modèle biologique simple forcé par les coefficients de diffusion verticale et les températures de l'eau provenant du modèle physique et par les ré-analyses NCEP de la radiation de surface à courte longueur d'onde.

representation of the variability of the mixed layer would help the simulation of the mean seasonal nitrate and chlorophyll cycles and possibly of the interannual variations as well. We are currently working on ways to improve the 1-dimensional physical simulations. Recent observations from the SeaHorse system indicate that much of the high frequency physical and biological dynamics at Station 2 may be tied to upwelling (Greenan et al., 2002). Therefore, at least a 2-dimensional representation of the physics may be required to improve the simulations of the mixed-layer depths.

This is just the start of our modelling effort with AZMP data, and the fact that there are discrepancies should not be viewed as disheartening. In fact, this is where the AZMP data become crucial to our efforts to model the

interactions between plankton and climate. Data collected from occasional research cruises are useful and allow us to build climatologies to evaluate the mean behaviour of the model. However, only sustained time series such as AZMP Station 2 can tell us whether the model can capture the natural variability or not, and provide us with the data needed to improve our simulations. Our confidence in model-predicted impacts of climate change will increase if we can show that the models can reproduce at least some critical aspects of natural variability.

References

- Greenan, B.J.W., B. Petrie, G. Harrison, and N.S. Oakey** (2002). Short-term physical, chemical and biological variability on the Scotian Shelf. Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 218: xi+106 pp.
- Platt, T., C. Fuentes, and K.T. Frank** (2002). Ecosystem variability and fisheries. 2002 ICES Annual Science Conference and Centenary, 1-5 October, Copenhagen, Denmark.

The North Atlantic Oscillation (NAO)

Eugene B. Colbourne¹ and Ken F. Drinkwater²

¹Northwest Atlantic Fisheries Centre, Box 5667, St. John's, NF, A1C 5X1

²Bedford Institute of Oceanography, Box 1006, Dartmouth, NS, B2Y 4A2
Colbourn@dfp-mpo.gc.ca, Drinkwaterk@mar.dfp-mpo.gc.ca

Résumé

L'oscillation nord atlantique (ONA) fait référence aux fluctuations à grande échelle en dent-de-scie des champs de pression atmosphérique au niveau de la mer au dessus de la majeure partie de l'Atlantique nord durant les mois d'hiver. La répartition normale des champs de pression au dessus de l'Atlantique nord en hiver consiste en un système sub-tropical de haute pression centré au dessus des Açores et un système de basse pression centré dans la région sub-polaire située entre l'Islande et le sud du Groenland. La différence entre ces deux systèmes de pression constitue «l'indice ONA» qui caractérise l'intensité relative de la circulation atmosphérique induite par cette différence. L'intensité de ce patron de circulation détermine en grande partie les variations du climat océanique à travers son influence sur la couverture et l'étendue des glaces de mer, les températures océaniques, la convection des eaux profondes dans la mer du Labrador et la stratification de la colonne d'eau au dessus des plateaux continentaux du Labrador et de Terre-Neuve. Durant une phase positive de l'indice ONA, la plus grande partie de l'Atlantique nord-ouest est sous l'influence d'un fort champ de vents du nord-ouest, causant une augmentation de la convection, une plus grande étendue de la couverture de glace de mer et des conditions océaniques générales plus froides et moins salées. Durant les années avec un indice ONA plus bas ou durant la phase négative, la réponse est généralement opposée avec des vents du nord-ouest plus faibles, des températures de l'air plus chaudes, une couverture de glace plus réduite et, généralement, des conditions océaniques plus chaudes et plus salées. La surface influencée par ce phénomène comprend la plus grande partie de la région couverte par le PMZA, de l'ouest du Groenland jusqu'au golfe du Saint-Laurent. Cependant, son influence sur les régions plus au sud comme celle du plateau Néo-Écossais se fait probablement sentir indirectement *via* l'advection de masses d'eaux du nord par le courant du Labrador. La tendance récente à l'augmentation de l'indice ONA durant les trois dernières décades coïncide avec la diminution de l'abondance de plusieurs espèces commerciales dans la région comprise entre l'ouest du Groenland et le plateau Néo-Écossais. Quoique la surpêche soit généralement considérée comme la cause majeure du déclin de plusieurs espèces exploitées dans cette région, plusieurs personnes pensent que le climat peut avoir joué un rôle important. Le recrutement et la croissance des stocks de morue de Terre-Neuve, par exemple, sont fortement corrélés aux variations de l'indice ONA durant cette période caractérisée par un recrutement et une croissance faibles, généralement associés avec un environnement froid (forte anomalie positive de l'indice ONA). Plusieurs études ont d'ailleurs conclu à une relation significative entre la variabilité de l'indice ONA et les changements dans l'écosystème marin de l'Atlantique nord tels que la croissance, la répartition spatiale, la capturabilité et le recrutement de plusieurs organismes marins.

Background

A well-known meteorological phenomenon in the North Atlantic, particularly evident during the winter months, is the large-scale seesaw behaviour in the sea-level atmospheric pressure fields. The normal winter atmospheric pressure pattern over much of the North Atlantic consists of a subtropical high-pressure system centred over the Azores and a sub-polar area of low pressure centred between Iceland and southern Greenland (Fig. 1A). An index representing the strength of the atmospheric circulation induced by these pressure features has been termed the North Atlantic Oscillation (NAO) index. It is defined as the difference in the winter sea-level air pressure between the quasi-stationary high and low pressure cells, using sites in the Azores (or at Lisbon, Portugal) and in Iceland. The NAO index is most often used by scientists examining climate variability and its influence on marine production in the Northwest Atlantic sector. When the NAO index enters a positive phase, the sea-level pressure within the Icelandic Low is lower-than-normal while the pressure within the subtropical high becomes higher-than-normal (Fig. 1B). During the negative phase of the NAO, the situation is reversed, with both a weaker-than-normal Icelandic Low and higher-than-normal Azores High (Fig. 1C). This phenomenon has been compared to El Niño events in the southern Pacific because both have major impacts on the world's climate and marine resources. The time series of the NAO index anomalies referenced to its 1971-2000 mean is generally characterized by large amplitude variations ranging from annual fluctuations to near-decadal oscillations. Superimposed on these changes are long-term trends, such as the general decline in the index from the early 1950s to the late 1960s and the subsequent increasing trend from the early 1970s to the 1990s (Fig. 2A).

Influences on ocean climate

The atmospheric forcing over the Northwest Atlantic varies with changes in the NAO. A high NAO index is accompanied by strong northwesterly winds over the Labrador Sea that transport cold Arctic air masses farther south over the region during the winter months. The strength of this circulation largely determines ocean climate and sea-ice variability. Periods of high positive NAO anomalies generally correspond to stronger cyclonic circulation over northern areas during the winter months, resulting in stronger and more frequent northwesterly winds, increased convection, extended areas of sea-ice, and colder-fresher ocean climate conditions (Fig. 2B). During years with a low NAO index, the response is generally opposite, with weaker northwesterly winds, reduced convection, warmer air temperatures, reduced sea-ice, and generally warmer-saltier ocean conditions. These influences extend from

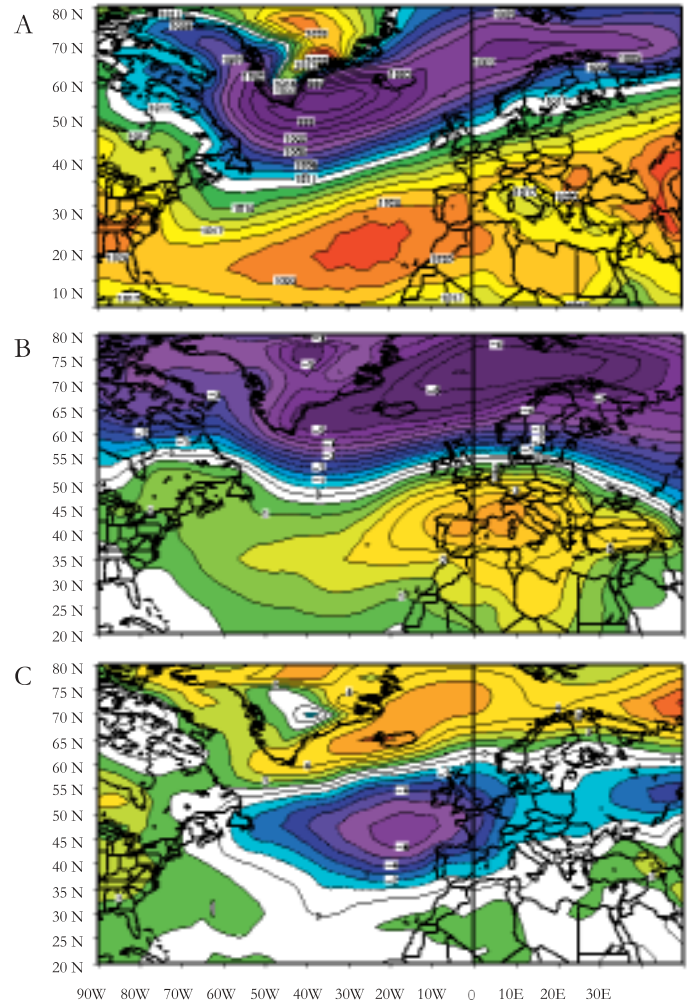


Fig. 1 Map of the North Atlantic showing (A) the winter (Dec-Feb) average sea-level atmospheric pressure fields for the years 1988-1996, (B) the winter sea-level pressure anomalies during 1990-1995, and (C) the winter sea-level pressure anomalies during 2001. (Obtained from NOAA-CIRES/Climate Diagnostics Center).

Cartes de l'Atlantique nord montrant (A) les champs moyens de pression atmosphérique au niveau de la mer pour la période 1988-1996 en hiver (déc.-fév.), (B) les anomalies de pression atmosphérique au niveau de la mer en hiver pour la période 1990-1995 et (C) les anomalies de pression atmosphérique au niveau de la mer durant l'hiver 2001 (données obtenues de NOAA-CIRES/«Climate Diagnostics Center»).

West Greenland to the Labrador Sea and the Newfoundland Shelf, as well as to the Gulf of St. Lawrence and regions farther south on the Scotian Shelf. However, the influence in the more southern regions is mainly thought to occur through advection from the north by the Labrador Current. While high NAO index years are associated with cooling in the Labrador Sea region, the reverse is generally true in the Northeast Atlantic, such as the Barents Sea. Thus, trends in the Barents Sea temperatures show an inverse relation to those on the Newfoundland Shelf (Fig. 2A): winters in most of Europe are generally mild and wet compared to the cold conditions experienced over much of eastern Canada and West Greenland.

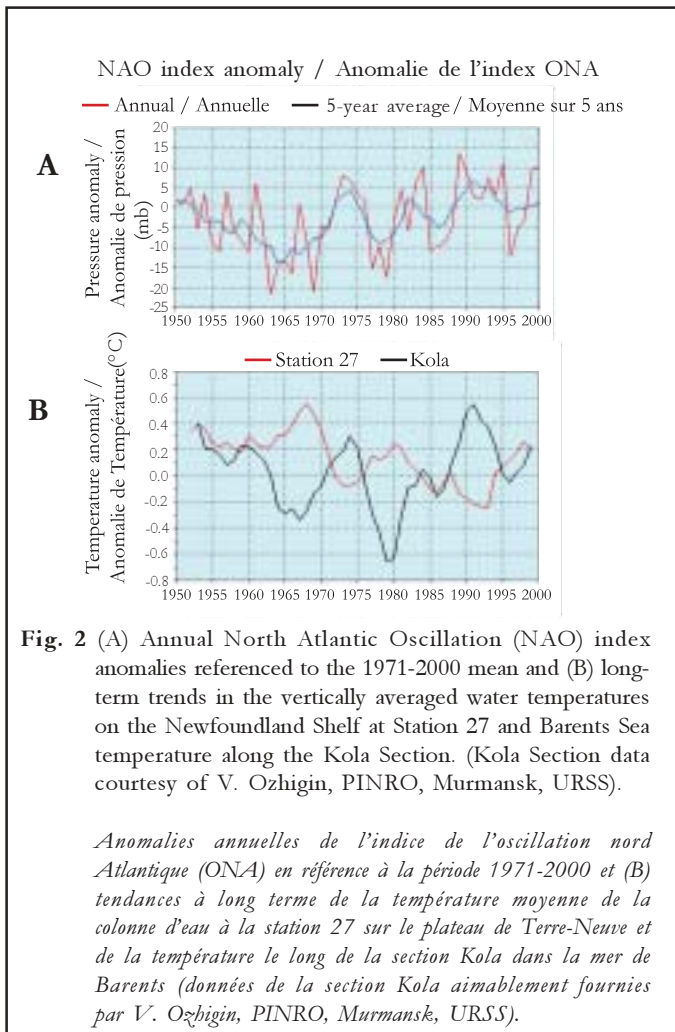


Fig. 2 (A) Annual North Atlantic Oscillation (NAO) index anomalies referenced to the 1971-2000 mean and (B) long-term trends in the vertically averaged water temperatures on the Newfoundland Shelf at Station 27 and Barents Sea temperature along the Kola Section. (Kola Section data courtesy of V. Ozhigin, PINRO, Murmansk, URSS).

Anomalies annuelles de l'indice de l'oscillation nord Atlantique (ONA) en référence à la période 1971-2000 et (B) tendances à long terme de la température moyenne de la colonne d'eau à la station 27 sur le plateau de Terre-Neuve et de la température le long de la section Kola dans la mer de Barents (données de la section Kola aimablement fournies par V. Ozhigin, PINRO, Murmansk, URSS).

As shown in Figure 2A, the long-term trends in the NAO indicate that the 1960s were generally low index years while most of the early 1990s were high index years, but there are large annual variations about the long-term average. For example, from the winter of 1994-1995 to the winter of 1995-1996, the index underwent its largest change in over a century, decreasing from one of its highest values to one of its lowest. Spatial variations in the position and extent of the pressure cells sometimes result in significant interannual variations in the strength of the winter wind patterns in any one location. In particular, even though the NAO index was highly positive during both 1999 and 2000, the positions of the atmospheric pressure fields over the North Atlantic were displaced from their normal positions to lie farther to the east. This change had the largest impact in the Northwest Atlantic, where instead of a strong northwesterly air flow during the winter months as usually occurs under positive NAO, these winds were mainly confined to regions east of Greenland while the Labrador Sea experienced lighter-than-usual northwesterly winds. In fact, 1999 was a record-setting year for both warmer-than-normal air and ocean temperatures. While the NAO index accounts for only one third to one half of the total observed variance in the

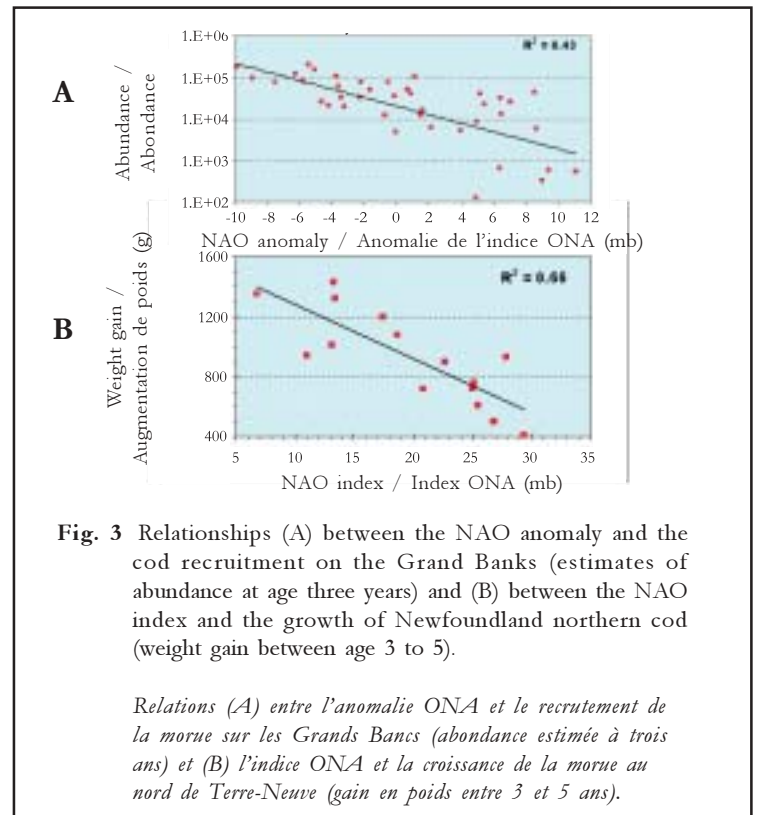


Fig. 3 Relationships (A) between the NAO anomaly and the cod recruitment on the Grand Banks (estimates of abundance at age three years) and (B) between the NAO index and the growth of Newfoundland northern cod (weight gain between age 3 to 5).

Relations (A) entre l'anomalie ONA et le recrutement de la morue sur les Grands Bancs (abondance estimée à trois ans) et (B) l'indice ONA et la croissance de la morue au nord de Terre-Neuve (gain en poids entre 3 et 5 ans).

different environmental variables, it nevertheless represents the most dominant signal of environmental variability for the North Atlantic.

Effects on marine resources

The long-term decline in the NAO index from the early 1950s to the late 1960s corresponded to a period of generally warm-saline ocean conditions on the Newfoundland Shelf (Fig. 2). This was also a period of increased landings of Atlantic cod, which peaked in 1968, shortly after the NAO minimum. Since the early 1970s, the NAO has shifted towards predominantly positive values and began to oscillate at approximately decadal time scales, superimposed on the generally increasing trend. Also during this time, the ocean environment in the Northwest Atlantic experienced more frequent periods of cold-fresh conditions, with a general downward trend in ocean temperatures that extended into the mid-1990s. These changes coincided with a decrease in the abundance of many species of finfish from West Greenland to the Scotian Shelf. While over-fishing is generally considered to be the major cause of the decline of several of the commercial species, climate is thought by many to have played a role as well.

Many studies have drawn parallels between NAO variability and changes in the marine ecosystems around the North Atlantic, including influences on the growth, distribution, catchability, and recruitment of many species of marine resources. The recruitment of Newfoundland cod stocks, for example, was strongly associated with the long-term trends in the NAO during this period, with low recruitment generally associated with a cold environment (high positive NAO

anomaly; Fig. 2A). In addition, the growth of northern cod was associated with changes in the NAO, with smaller growth increments occurring during higher NAO indices, corresponding to a colder ocean habitat (Fig. 2B). The distribution of Arctic cod during the early 1990s, when the NAO was in a predominantly positive phase, shifted its range further south on the eastern Newfoundland Shelf compared to periods of low or negative NAO anomalies. In addition, both the survival of young Atlantic salmon and run timing or migration of adult salmon in Atlantic Canada appear to be influenced in part by broad-scale variations in atmospheric and oceanic conditions dictated by the NAO.

Finally, while the causes of the annual variability in the NAO are not yet known, several hypotheses have been put forward, some linking it to broad-scale interactions between the ocean and atmosphere while others considering it to be due solely to atmospheric dynamics. It has also been speculated that the upward trend in the NAO index during the past three decades may be due to anthropogenic factors causing global warming. At present, however, there is no consensus among researchers on the processes causing the observed annual variations, decadal oscillations, and the general upward trend of the NAO over the past three decades. In any event, the NAO dictates much of the climate variability in the North Atlantic, influencing human activities, energy consumption, and marine production from the eastern seaboard of the United States to Siberia and from the sub-tropical Atlantic to the Arctic.

Interannual variations in hydrography, plankton and haddock year-class strength on the Scotian Shelf (1998-2001)

Erica Head

Bedford Institute of Oceanography, Box 1006, Dartmouth, NS, B2Y 4A2

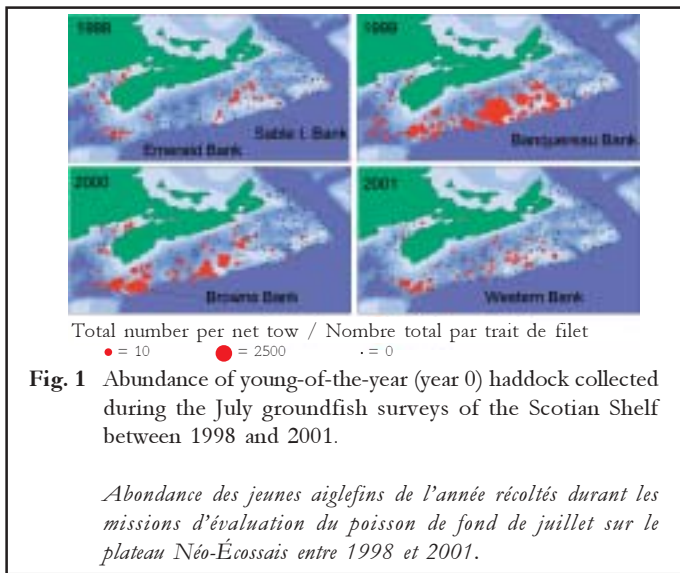
HeadE@mar.dfo-mpo.gc.ca

Résumé

Le succès d'une cohorte chez plusieurs espèces de poissons commerciaux est très variable et probablement déterminé en tout début du cycle de vie. On attribue d'ailleurs la survie d'une cohorte à l'existence de conditions hydrographiques/hydrodynamiques favorables et à la présence de nourriture au moment approprié. Chaque printemps, les missions d'échantillonnage du PMZA sur le plateau Néo-Écossais permettent l'estimation des conditions biologiques et hydrographiques, et chaque mission d'évaluation du poisson de fond de juillet permet de récolter de l'information sur la survie des poissons juvéniles qui sont nés le printemps précédent. Les résultats obtenus indiquent qu'entre 1998 et 2001, les températures printanières au-dessus du Banc Ouest du plateau Néo-Écossais - une importante zone de reproduction pour l'aiglefin - étaient froides (1998 et 2001) ou chaudes (1999 et 2000). Durant les années chaudes, une forte proportion de jeunes aiglefin de l'année s'établissent sur le fond avant juillet et sont capturés comme poissons d'âge 0. Durant les années froides, la proportion d'aiglefin qui s'établissent sur le fond avant juillet est plus faible. La survie de l'aiglefin jusqu'à l'âge de 1 ou 2 ans indique que le succès de la cohorte a été bon en 1998 et 2000, exceptionnel en 1999 et mauvais en 2001. En 1999, le pic maximal de production du copépode *Calanus finmarchicus*, une nourriture importante pour les larves et juvéniles d'aiglefin, coïncide avec une floraison importante de phytoplancton, et ces deux pics apparaissent plus tôt qu'au cours des trois autres années. Le pic de production de *C. finmarchicus* a lieu à peu près au même moment au cours des trois autres années, mais l'intensité et le début de la floraison du phytoplancton étaient variables d'une année à l'autre. La série de données recueillie par le PMZA dans les années futures sera donc essentielle pour nous permettre de comprendre la dynamique interannuelle déterminant le succès d'une cohorte chez plusieurs espèces de poissons commerciaux.

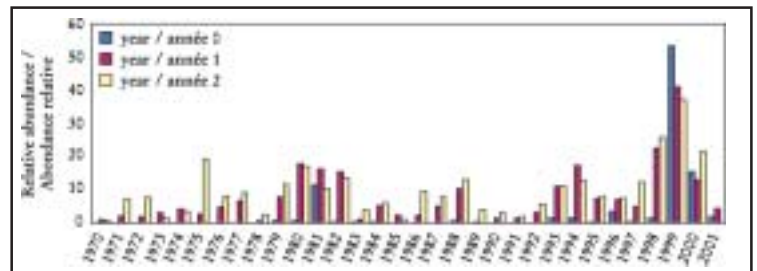
Haddock spawn on the offshore banks of the Scotian Shelf some time between March and June (Brander and Hurley, 1992). In recent years (1998-2001), we have seen marked differences in the numbers of young-of-the-year haddock caught during the DFO July groundfish surveys on the Scotian Shelf (Fig. 1). In 1998, catches were generally low and limited in spatial extent. In 1999, catches were very high and very widespread throughout central and western regions. In 2000, catches were good but less extensive than in 1999. Finally, in 2001, catches were low in most areas except for Browns Bank, where some year 0 fish were found every year. The historical record shows that the abundance of young-of-the-year (year 0) fish in 1999 was

exceptional and that abundances of the same year class as year 1 and year 2 fish were also the highest ever seen (Fig. 2). However, the pattern of abundance of year 0 fish over the 1998-2001 period was not always reflected in that of the year 1 and/or year 2 fish. Both the low abundance of year 0 fish in 1998 and the high abundance in 2000 were followed by relatively high abundances at years 1 and 2, whereas the low abundance of year 0 fish in 2001 was followed by a slightly higher, but still low, abundance at year 1. Part of the difference in estimates of abundance between year 0 and year 1 fish may result from the timing of the groundfish surveys. By July, it is likely that not all of the year 0 haddock have settled and only fish that have settled are caught. The results shown here,



however, suggest that a larger proportion of the year 0 class had settled by July in 1999 and 2000 than in 1998 and 2001, i.e., more of the year 0s settled earlier. Haddock are thought to spawn at more-or-less the same time every year and the year 0s to settle when they reach a certain size. Thus, we can deduce that the rate of growth of the early stages through to settled fish was faster in 1999 and 2000 than in the other two years. There are two factors that are important in determining growth rates of larval and juvenile fish: temperature and food availability. Information on temperature conditions on the Scotian Shelf can be obtained from satellite measurements of sea-surface temperature that are compiled as part of the AZMP monitoring program. Prior to settlement, larval and juvenile haddock feed on zooplankton. Information on the zooplankton distribution on the Scotian Shelf is collected at stations along three sections across the Scotian Shelf during spring AZMP cruises. One of these, the Halifax Line, runs southeast from the mouth of Halifax Harbour along a line more-or-less perpendicular to the coast. This line includes stations on Emerald Bank and the southwest tip of Western Bank: both are areas that showed large interannual differences in abundance of year 0 fish (Fig. 1). Thus, this is an area where we can compare differences in temperature, food conditions, and year-class strength in haddock.

In the early part of the year (January-April), sea-surface temperatures over Emerald Bank and the tip of Western Bank were warmer in 1999 and 2000 than they were in 1998 and 2001 (Fig. 3). Thus, in the years when pre-settled haddock growth rates were higher, water temperatures were also higher, which is the expected result. This area of the shelf is subject to intrusions of offshore waters from beyond the shelf-break, and these waters were substantially warmer in 1999 and 2000 than in 1998 and 2001 due to the fact that the path of the Gulf Stream was farther north in these two years. The position of the Gulf Stream is related to atmospheric conditions in the



Northwest Atlantic, which thus have a role in determining growth rates for early stage haddock on the Scotian Shelf.

Temperature conditions are not the only factor determining year-class strength, however, since at year 2, the year-class strength was similar in 1998, a cool year, and in 2000, a warm year. Food supply may also have an influence. In terms of biomass, the copepod *Calanus finmarchicus* is the dominant zooplankton species over the central and western Scotian Shelf in spring and early summer. Early in the season, females are most abundant and they are producing eggs that can be eaten by the youngest haddock larvae. As the season progresses, these eggs develop and grow through six naupliar and five copepodite stages that, as they grow larger, become suitable food items for increasingly large larval and juvenile haddock. The timing of haddock spawning and of the reproduction in *C. finmarchicus* are both more-or-less variable from year-to-year. Thus, in some years there will be good matches in time between the presence of the pre-settled haddock and their prey while in other years the overlap may be poor. A good match should lead to a stronger year class than a poor match. We can examine interannual differences in the timing of *C. finmarchicus* reproduction by combining data on stage structures of the populations and collection dates, obtained during AZMP cruises, with satellite-derived measurements of their temperature history. Then, using an experimentally determined relationship between development rate and temperature (Corkett et al., 1986), we can calculate the birth dates of each of the five copepodite stages each year (Fig. 4). In 1999, stage 3 was the most abundant stage and these animals were born on day of the year 55, i.e., in the last week of February. This therefore represents the peak spawning time. In 2001, stages 3 and 4 were the most abundant stages and the peak spawning date, mid-way between their birth dates, was day of the year 69, i.e., in the second week of March. Thus, the peak spawning period was two weeks later in 2001 than in 1999. In 1998 and 2001, stage 1 was the most abundant stage. In these years we sampled the populations too early to be able to identify the

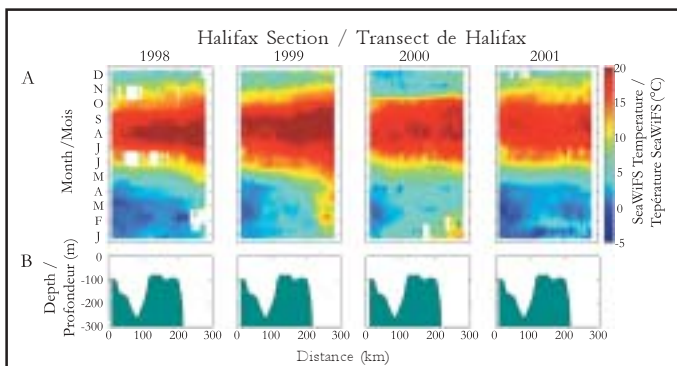


Fig. 3 (A) Annual cycles of sea-surface temperature along the Halifax Section between 1998 and 2001: measurements were over a 3 km-wide band. (B) Bathymetry along the Halifax Line: the section passes left-to-right from the coast over Emerald Basin (40-120 km), Emerald Bank (120-150 km), and the tip of Western Bank (180-200 km) to the Scotian shelf-break (210 km).

(A) Cycles annuels de la température de surface le long du transect de Halifax entre 1998 et 2001 : Les mesures couvrent des bandes de 3 km de large. (B) Bathymétrie le long du transect de Halifax : passe de gauche à droite au dessus du Bassin Emerald (40-120 km), du Banc Emerald (120-150 km), de la pointe du Banc Ouest (180-200 km) jusqu'à la rupture de pente du plateau Néo-Écossais.

peak spawning period, but we know that it could not have been before mid-March. Thus, in the year of the unusually high year-class strength for haddock (1999), *C. finmarchicus* reproduction occurred earlier than in other years.

The timing of reproduction in *C. finmarchicus* is in turn thought to be linked to the dynamics of the phytoplankton bloom, since females need to eat to sustain

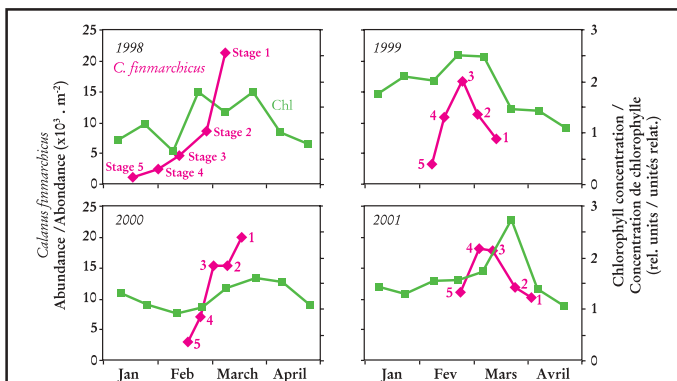


Fig. 4 Abundance of stages 1-5 of *Calanus finmarchicus* (y-axis) plotted versus their birth dates (x-axis) and the time series of SeaWiFS satellite-derived chlorophyll concentrations averaged over two-week intervals in an area covering the Western Bank of the Scotian Shelf for the period January-April between 1998 and 2001.

Abondance des stades 1-5 du copépode *Calanus finmarchicus* (axe des y) versus leur date de naissance (axe des x) et les concentrations de chlorophylle dérivées du satellite SeaWiFS intégrées sur des intervalles de deux semaines pour une région couvrant le Banc Ouest du plateau Néo-Écossais pour la période de janvier à avril entre 1998 et 2001.

YEAR	HADDOCK YEAR-CLASS STRENGTH	TEMPERATURE	PHYTOPLANKTON PEAK	CALANUS FINMARCHICUS REPRODUCTION
1998	Good	Cool	Early, intermediate intensity	Normal time
1999	Very good	Warm	Early, intense	Early
2000	Good	Warm	Late, intermediate intensity	Normal time
2001	Poor	Cool	Late, intense	Normal time

Table 1. Summary of haddock year-class strength, temperature, and biological conditions on the Scotian Shelf (Western Bank).

Sommaire des conditions biologiques et de température en fonction du succès de survie de la cohorte d'aiglefin sur le Banc Ouest du plateau Néo-Écossais.

their reproductive effort. The AZMP monitoring program produces maps of sea-surface chlorophyll concentration for the Scotian Shelf using data collected by the SeaWiFS satellite. Areal averages of chlorophyll concentrations over Western Bank show that it was high throughout the early part of the year in 1999 and that the peak concentration occurred in the second half of February, coincident with the peak spawning time of *C. finmarchicus* (Fig. 4). In the other years, blooms were earlier (1998) or later (2000, 2001) and were less intense (1998, 2000) or of similar intensity. In 1998 and 2000, peak spawning activity of *C. finmarchicus* occurred sometime during the bloom while it preceded the peak of the phytoplankton bloom in 2001.

Conditions on the Scotian Shelf in 1999, the exceptional haddock year, were certainly unique (Table 1), and interannual changes in temperature conditions and plankton dynamics may indeed contribute to variations in haddock year-class strength. A longer time series of data, such as will be generated by the AZMP in the future, will greatly assist in further elucidating their influence. Additional factors may also be involved, however. For example, juvenile haddock seem to settle only in certain areas where the substrate is suitable, and they will only do so if the hydrodynamic conditions are favourable, i.e., if the ocean currents take them there. Also, they will settle only if they have not been eaten by some predator. Currently, we know relatively little about interannual variations in hydrodynamics and predator fields on the Scotian Shelf. We can hope, however, that future modelling and sampling efforts will help fill in these gaps in our knowledge.

References

- Brander, K., and P.C.F. Hurley (1992). Distribution of early-stage Atlantic cod (*Gadus morhua*), haddock (*Melanogrammus aeglefinus*), and witch flounder (*Glyptocephalus cynoglossus*) eggs on the Scotian Shelf: a reappraisal of evidence on the coupling of cod spawning and plankton production. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49: 238-251.
- Corkett, C.J., I.A. McLaren and J.-M. Sevigny (1986). The rearing of the marine copepods *Calanus finmarchicus* (Gunnerus), *C. glacialis* Jashnov and *C. hyperboreus* Kroyer with comment on the equiproportional rule. *Proceedings of the Second International Conference on Copepods*. *Sylogues*, 58: 539-546.

Le programme de monitoring des algues toxiques de la région du Québec : un outil précieux pour le développement des connaissances

Esther Bonneau, Jean-Yves Couture et Maurice Levasseur

Institut Maurice-Lamontagne, Mont-Joli, QC, G5H 3Z4

bonneau@dfp-mpo.gc.ca

Abstract

The Toxic Algae Monitoring Program (TAMP) of the Quebec Region covers the entire maritime area of the Gulf of St. Lawrence, with a network of 11 coastal stations sampled between May and October over the last 13 years. The primary objective of this program is to provide complementary information for the biotoxin monitoring program on shellfish that is carried out each year by the Canadian Food Inspection Agency. TAMP provides identification and counts of toxic algae and also allows the acquisition of new knowledge on the dynamics of these algae and on the environmental conditions that favour their growth and development. In this context, the living material and/or the data that have been obtained *via* TAMP have been used for many other research projects that have already produced several scientific publications. This mutually beneficial relationship between monitoring and research activities has demonstrated a great scientific efficiency and we hope that this approach will be exploited to its full potential in the future. For the Atlantic Zone Monitoring Program of the Quebec Region, TAMP represents an essential association to allow the acquisition of environmental information in the near-shore zone.

Dans l'est du Canada, la croissance estivale de plusieurs espèces d'algues phytoplanctoniques produisant des biotoxines représente une menace sérieuse pour la santé publique ainsi que pour l'exploitation commerciale et récréative de plusieurs organismes marins comme les mollusques filtreurs. Afin de protéger le public, l'Agence Canadienne d'Inspection des Aliments (ACIA) réalise, depuis 1984, un programme de suivi permettant de s'assurer de l'absence de biotoxines dans les mollusques qui sont destinés à la consommation humaine. En 1989, le programme de monitoring des algues toxiques (PMAT) de la région du Québec a été implanté avec comme objectifs (1) de fournir de l'information complémentaire pour le programme de l'ACIA en assurant un suivi estival des algues toxiques ou potentiellement nuisibles dans les eaux de surface des principales régions du Saint-Laurent et (2) d'augmenter nos connaissances scientifiques sur la

dynamique de ces algues et sur les conditions environnementales qui favorisent leur apparition et leur croissance dans le milieu marin. Initialement, seuls les genres *Alexandrium*, *Dinophysis* et *Pseudo-nitzschia* faisaient l'objet d'une surveillance particulière, mais à partir de 1994, la liste des espèces s'est accrue considérablement de sorte qu'environ 80 espèces de microalgues potentiellement nuisibles ou toxiques sont aujourd'hui monitorées et répertoriées dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Afin d'atteindre les objectifs fixés, un réseau d'échantillonnage constitué de 11 stations côtières couvrant l'ensemble du Québec maritime a été mis en place (Fig. 1). Il s'étend de Tadoussac à Tête-à-la-Baleine sur la rive nord du Saint-Laurent et de Mont-Joli à Carleton sur la rive sud. Une station est également située à Havre-aux-Maisons aux Îles-de-la-Madeleine. Les stations des Îles-de-la-Madeleine et de la Baie

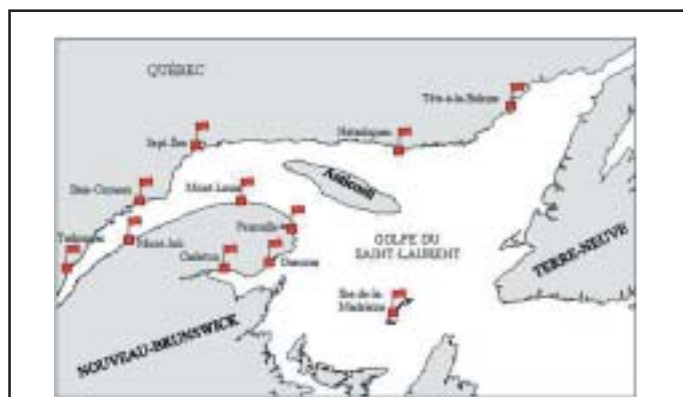


Fig. 1 Localisation des stations de monitoring des algues toxiques dans le Saint-Laurent.

Location of the toxic algae monitoring stations in the St. Lawrence.

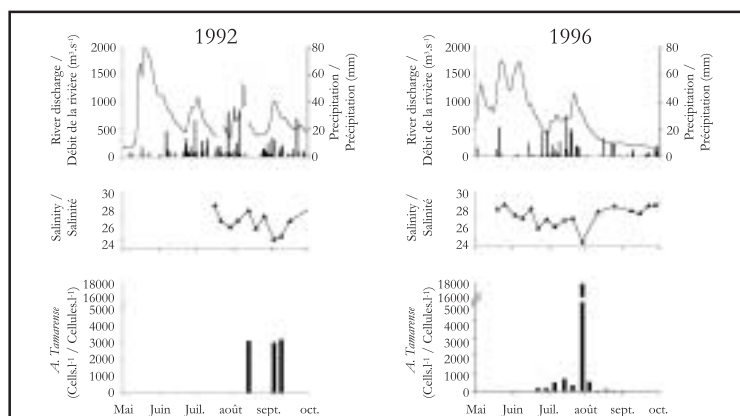


Fig. 2 Association entre les précipitations, le débit de la rivière Moisie, les changements de la salinité et les floraisons d'*Alexandrium tamarense* à Sept-Îles.

Relationship between precipitation, runoff of the Moisie River, salinity changes, and the blooms of *Alexandrium tamarense* at Sept-Îles.

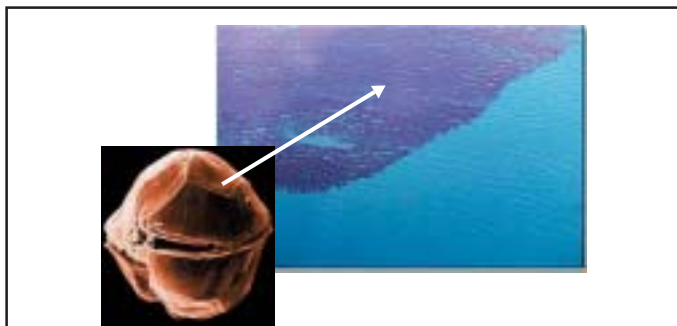


Fig 3 Marée rouge dans le Saint-Laurent en août 1998. Le médaillon montre une microphotographie électronique à balayage de l'algue *Alexandrium tamarense*.

Red tide in the St. Lawrence in August 1998. The insert shows a scanning electron microphotograph of the toxic algae Alexandrium tamarense.

de Gaspé sont échantillonnées par le Ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), un partenaire important du PMAT. L'échantillonnage est hebdomadaire et s'échelonne du début mai à la fin octobre. Il consiste en un prélèvement d'eau de mer de surface pour des mesures de phytoplancton, de sels nutritifs et de la salinité. D'autres mesures de variables physiques comme la température, la transparence de l'eau de mer, de même que la vitesse et la direction du vent sont également effectuées. Les échantillons d'eau pour le phytoplancton et les sels nutritifs (nitrates, nitrites et phosphates) sont ensuite analysés en laboratoire.

Le PMAT a donné lieu à plusieurs publications et initiatives diverses de recherche. De 1989 à 1994, les données recueillies ont été diffusées dans la communauté scientifique par le biais de rapports techniques (Larocque et Cembella, 1991; Huppertz et Levasseur, 1993; Blasco et al., 1998). Pour la période allant de 1995 à nos jours, l'accessibilité aux données du PMAT s'est élargie au grand public par l'entremise d'une page web intégrée au portail de l'Observatoire du Saint-Laurent (<http://www.osl.gc.ca/index.htm>). L'ensemble des données a également servi à la rédaction d'un guide d'identification du phytoplancton marin (Bérard-Therriault et al., 1999).

En raison de leur caractère historique, les données du PMAT servent maintenant à de multiples applications scientifiques. Par exemple, elles sont consultées dans les nombreux cas de demandes de transferts d'organismes marins pour fin d'aquaculture. En effet, les données du programme de monitoring se sont avérées essentielles pour la préparation des avis scientifiques requis puisque seules ces données permettent d'estimer sur une base scientifique les risques associés à l'introduction de nouvelles espèces toxiques ou nuisibles, lors de transferts d'organismes marins. Les données du PMAT fournissent également de

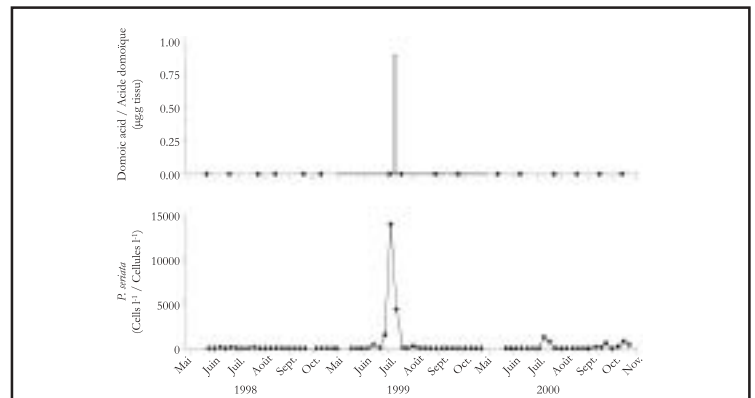


Fig 4 Relation entre *Pseudo-nitzschia seriata* et les concentrations d'acide domoïque dans les myes de la Côte-Nord du Saint-Laurent.

Relationship between Pseudo-nitzschia seriata and the concentrations of domoic acid in the soft-shelled clams of the North Shore of the St. Lawrence.

l'information de base en recherche appliquée à la compréhension des facteurs qui favorisent l'apparition et la croissance de certaines espèces toxiques. Par exemple, une étude portant sur les données d'abondance d'*Alexandrium tamarense* (responsable de l'intoxication paralysante par les mollusques), entre 1989 et 1998 a mis en évidence une relation étroite (Fig. 2) entre les précipitations, le débit d'une rivière et les floraisons de ce dinoflagellé (Weise et al., 2002). Ces mêmes données sont présentement mises à contribution pour le développement d'un modèle bio-physique destiné à approfondir la connaissance de l'influence des facteurs climatiques et hydrodynamiques sur les floraisons de l'algue *A. tamarense* qui forme parfois des marées rouges dans le Saint-Laurent (Fig. 3). Une relation temporelle a aussi été établie entre l'abondance d'*Alexandrium* spp., et la toxicité des moules (Blasco et al., 1998). Ainsi, il a été observé que le niveau de toxicité atteint la valeur critique de 80 µg STX eq/100 g tissu dès que l'abondance d'*Alexandrium* spp. atteint 1000 cellules l⁻¹. L'observation de concentrations d'*Alexandrium* spp. atteignant 1000 cellules l⁻¹ peut donc servir d'indicateur précoce de la présence imminente de toxicité IPM chez les moules, d'où l'intérêt de l'ACIA pour le PMAT.

Le programme d'échantillonnage procure également aux scientifiques de l'IML l'occasion d'isoler des souches vivantes de plusieurs espèces de microalgues toxiques ou nuisibles et parfois de procéder à l'identification d'espèces dont la présence était encore insoupçonnée, comme ce fut le cas avec *Alexandrium ostenfeldii* (Levasseur et al., 1998). Ces souches d'algues peuvent alors servir lors de différentes études physiologiques menées en laboratoire. C'est ainsi que la diatomée *Pseudo-nitzschia seriata* a pu être associée à l'intoxication amnésique par les mollusques (IAM). Lors d'un épisode de toxicité, cette souche avait été isolée à la station de monitoring du quai de l'IML, et avait par la suite montré sa capacité à produire de l'acide domoïque en laboratoire (Couture et al., 2001). De plus, le couplage des données de toxicité fournies par l'ACIA avec celles du PMAT qui a été réalisé lors

de cette étude a mis en évidence un lien entre la présence de *P. seriata* dans la colonne d'eau et celle de l'acide domoïque dans le Saint-Laurent (Fig. 4). Une autre étude non encore publiée a aussi mis en évidence un rôle stimulant des substances humiques provenant de la rivière Manicouagan sur la croissance d'*Alexandrium tamarense* à des concentrations similaires à celles retrouvées dans l'Estuaire.

Ces quelques exemples concrets de l'utilisation du matériel vivant ou encore des données recueillies grâce au PMAT démontrent hors de tout doute la grande efficacité scientifique d'une approche qui lie les activités de monitoring avec les activités de recherche. Dans un écosystème aussi vaste et dynamique que celui du Saint-Laurent, il est souvent difficile de mettre en évidence les liens entre les facteurs environnementaux et la croissance des algues toxiques et/ou nuisibles. Dans ce contexte, la disponibilité de séries temporelles de qualité devient un outil essentiel qui permet d'augmenter considérablement les chances de percer les nombreux secrets entourant les floraisons d'algues toxiques et nuisibles dans un environnement donné. De plus, une approche qui lie harmonieusement monitoring et recherche est de nature à stimuler le personnel des équipes de monitoring comme celle du PMAT. Pour le Programme de Monitoring de la Zone Atlantique, région du Québec, le PMAT représente un programme associé essentiel qui permet d'obtenir de l'information environnementale tout près des côtes.

Pour en savoir davantage : (<http://www.osl.gc.ca/index.htm>).

Références

- Bérard-Therriault, L., M. Poulin et L. Bossé** (1999). Guide d'identification du phytoplancton marin de l'estuaire et du golfe du St-Laurent incluant également certains protozoaires. Publ. spéc. can. sci. halieut. aquat. 128, 387p.
- Blasco, D., M. Levasseur, R. Gélinas, R. Larocque, A.D. Cembella, B. Huppertz et E. Bonneau** (1998). Monitoring du phytoplancton toxique et des toxines de type IPM dans les mollusques du Saint-Laurent : 1989 à 1994. Rapp. stat. can. hydrogr. sci. océan. 151 : x + 117p.
- Couture J.Y., M. Levasseur, E. Bonneau, C. Desjardins, G. Sauvé, S.S. Bates, C. Léger, R. Gagnon et S. Michaud** (2001). Variations spatiales et temporelles des concentrations d'acide domoïque dans les mollusques et des abondances de *Pseudo-nitzschia* spp. dans le Saint-Laurent de 1998 à 2000. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2375 : vii + 25p.
- Huppertz, B. et M. Levasseur** (1993). Monitoring du phytoplancton toxique dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent en 1990. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 1922 : vii + 51p.
- Larocque, R. et A.D. Cembella** (1991). Résultats du premier programme de suivi des populations de phytoplancton toxique dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent (Région de Québec). Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 1796 : vii + 42p.
- Levasseur, M., L. Bérard-Therriault, E. Bonneau et S. Roy** (1998). Distribution of the toxic dinoflagellate *Alexandrium ostenfeldii* in the Gulf of St. Lawrence, Canada. In : Harmful Algae. Éditeurs : B. Reguera, J. Blanco, M.L. Fernandez et T. Wyatt. Xunta de Galicia and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. pp. 54-57.
- Weise, A.M., M. Levasseur, F.J. Saucier, S. Senneville, E. Bonneau, S. Roy, G. Sauvé, S. Michaud et J. Fauchot** (2002). The link between precipitation, river runoff, and blooms of the toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarense* in the St. Lawrence. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 59 : 464-473.

Shipborne monitoring of near-surface temperature and salinity in the Estuary and Gulf of St. Lawrence

Peter S. Galbraith¹, François J. Saucier¹, Normand Michaud², Denis Lefaire¹, Réginald Corriveau³, François Roy¹, Roger Pigeon¹ and Sylvain Cantin¹

¹Ocean Sciences Branch, Maurice Lamontagne Institute, Department of Fisheries and Oceans, Mont-Joli, QC, G5H 3Z4

²Ice and Marine Service Branch, Meteorological Service of Canada, Environment Canada, Ottawa, ON, K1A 0H3

³Ice Breaking, Escort and Flood Control, Coast Guard, Quebec Region, Department of Fisheries and Oceans, Québec, QC, G1K 7Y7

GalbraithP@dfo-mpo.gc.ca

Résumé

Une collaboration entre le Service Météorologique du Canada, le Ministère des Pêches et des Océans et des armateurs a permis l'installation de thermosalinographes (TSG) à bord de trois navires commerciaux et d'un navire de la Garde Côtière naviguant sur le Saint-Laurent. Ces instruments permettent le suivi en temps réel de la température des eaux près de la surface *via* le Système Global de Télécommunication d'Environnement Canada et l'Observatoire du Saint-Laurent. Ces données sont ensuite assimilées dans des modèles de circulation océanique permettant de prévoir l'évolution de la couverture hivernale de la glace de mer et des conditions océanographiques dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. L'installation typique d'un appareil est illustrée de même que des exemples de diffusion des données. Après seulement quelques années de fonctionnement, les appareils déployés sur les navires commerciaux font déjà découvrir de nouveaux aspects de l'océanographie du Saint-Laurent.

The main characteristic of the temperature and salinity fields in the Estuary and Gulf of St. Lawrence is their significant

variability, both in time and space. This variability is due to large tides, strong topography, large continental runoff, intense

meteorological events, the influence of offshore conditions in the Atlantic Ocean, and a strong seasonal cycle characterized by a nearly complete sea-ice cover. One problem is that data are almost always lacking to quantify this variability. For instance, while satellites can provide a relatively adequate coverage of the sea-surface temperature, surface salinity remains difficult to sense remotely. Since several commercial ships sail the St. Lawrence year-round on a regular basis, it was thought that these could provide ideal platforms for the installation of monitoring systems. In this short paper, we present a new initiative for monitoring the Canadian coastal waters using this ship-of-opportunity approach. This initiative falls along the line of the successful utilization of ship-of-opportunity sampling by several European countries as well as by Japan, Korea, and other countries for monitoring their surface waters using onboard systems nicknamed “Ferry-Boxes”, (e.g., Knauth et al., 1997; Schroeder and Petersen at <http://w3k.gkss.de/>

projects/ferrybox/). One particular example is the Continuous Plankton Recorder that has already been in use for more than 70 years.

Three commercial ships sailing the St. Lawrence are now equipped with monitoring devices measuring temperature and salinity (thermosalinographs or TSG systems). Through a collaborative effort between Fisheries and Oceans Canada (DFO), the Meteorological Service of Canada, and Oceanex Inc., the first installation of a TSG system was completed onboard the ship *Cicero* in December 1999. The *Cicero* transits year-round on a weekly basis between Montréal (Québec) and St. John’s (Newfoundland). Twice a week the ship sails close to the Maurice Lamontagne Institute (MLI), a DFO laboratory located in Mont-Joli along the Gaspé peninsula. When the ship enters within a radius of about 35 km of MLI, a UHF radio link is automatically established between the data acquisition system and a ground station at MLI. The data that were acquired on the ship since the last communication link are then downloaded onto an MLI computer and displayed via the TSG web site on the St. Lawrence Observatory portal (OSL – www.osl.gc.ca). The water temperature data are also made available in real-time on the Global Telecommunication System (GTS) by the Meteorological Service of Canada (MSC) to produce daily charts of sea-surface temperature as a national guidance to marine weather forecasters. The water temperature data are included as part of the Volunteer Observing Ship program through hourly ship reports (WMO FM 13-X code) that are broadcasted on the GTS. Below is a typical ship report from the *Nordik Express*, indicating a sea-surface temperature of 10.13 °C (underlined data)

```
SMVD01 CWUL 290013
BBXX
VCYL 29004 99504 70596 43/98 83235 10100 49995 555 88873
20003 31013 42927=
```

The code VCYL is the ship identification, the code 29004 provides the date, time, and wind conditions (29th day of the month at 00 UTC, wind code 4), the code 99504 gives the latitude 50.4 N and 70596 gives the longitude 59.6 W.

In November 2000, installations similar to the one on the *Cicero* were made on the *Martha L. Black*, a Canadian Coast Guard ship, and on the *Nordik Express*, a commercial vessel of Relais Nordik Inc. The former is a multitask CCG vessel that sails in the Gulf of St. Lawrence according to an irregular schedule, sampling various regions outside the standard navigation routes. The latter transits weekly between Rimouski and Blanc-Sablon, visiting many communities along the Lower North Shore of the St. Lawrence. In this case, however, the monitoring is suspended during February and March because of sea ice impeding navigation in the Gulf. Another ship, the C.T.M.A. *Voyageur* of the Groupe C.T.M.A., joined the TSG fleet in November 2001 for a few months and resumed monitoring in

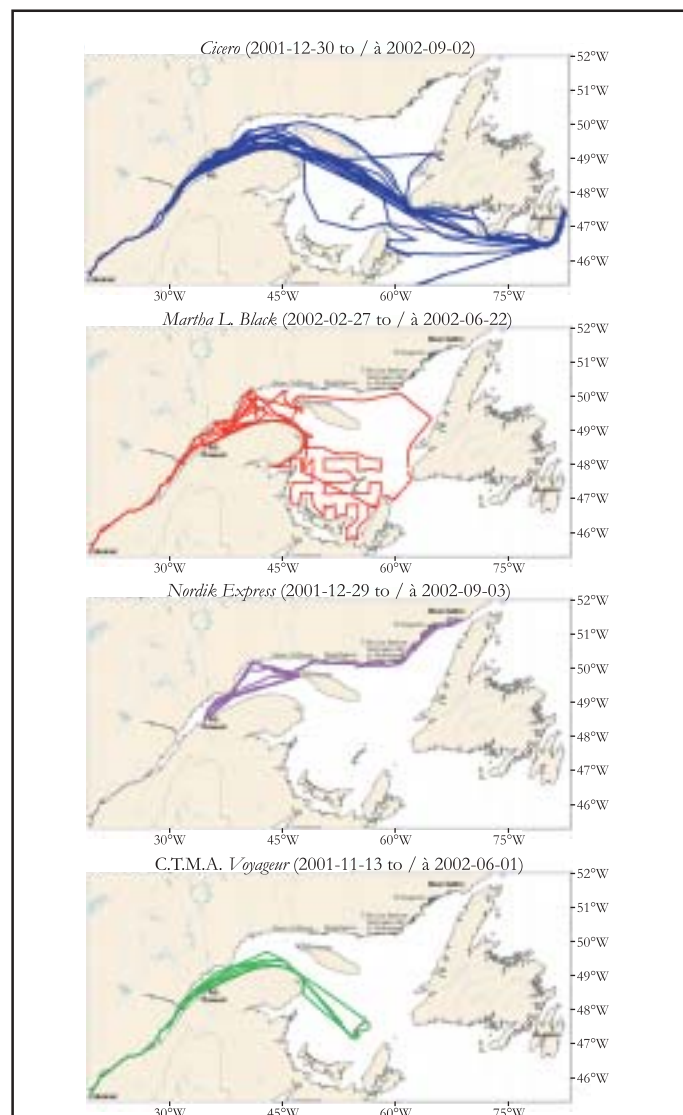


Fig. 1 TSG tracks since the beginning of 2002 for the four ships in the program.

Trajectoires des TSG depuis le début de 2002 avec les quatre navires du programme.

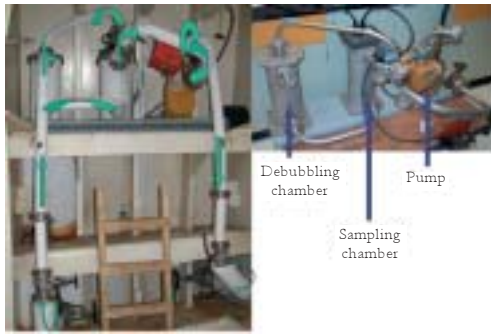


Fig. 2 Thermosalinograph installed on CCGS *Martha L. Black*. The green arrows on the left panel indicate the flow of water, from the intake at about 3 m depth (lower left), through the debubbling and sampling chambers, to the outflow (lower right). The right panel shows the system (without the plumbing that connects it to the ship hull) prior to its installation and the addition of insulating material.

Thermosalinographe installé sur le NGCC Martha L. Black. Les flèches vertes sur le panneau de gauche indiquent la circulation de l'eau, débutant par la prise d'eau à environ 3 mètres de profondeur (en bas, à gauche), en passant par le débulleur et le caisson d'échantillonnage et en se terminant par la sortie d'eau (en bas, à droite). Le panneau de droite montre le système (excluant la plomberie nécessaire à la connection sur coque du navire) avant son installation et l'ajout de matériaux isolants.

the fall of 2002. Its weekly journey between Montréal and the Îles-de-la-Madeleine increases the TSG spatial coverage of the Gulf. Figure 1 shows the available ship tracks for each ship in 2002, illustrating the spatial coverage obtained.

The thermosalinograph (TSG) is a precise instrument that measures and records water temperature and salinity. Figure 2 shows the TSG that is installed on the CCGS *Martha L. Black*. From a through-hull water intake at a depth of about 3 meters, water is first pumped to a debubbling chamber allowing the air bubbles to rise to the surface. Bubble-free water from the bottom of the debubbling chamber is then circulated into the sampling chamber where the TSG sensors (Sea-Bird SBE 21) are located before being pumped back to the sea. The TSG records measurements at a pre-selected interval of five minutes and is coupled to a Global Positioning System (GPS) receiver, simultaneously logging the position.

Figure 3 is a composite display of the data that were acquired by all ships over a time period of two weeks in August 2002. A similar display, updated with the most recent data, is posted on the OSL portal. This figure illustrates the variability of the temperature and salinity fields that can be observed along with the typical spatial coverage of the Gulf of St. Lawrence. The upper reach of salt water in the St. Lawrence Estuary is clearly visible in the bottom panel of Figure 3, where salinity increases

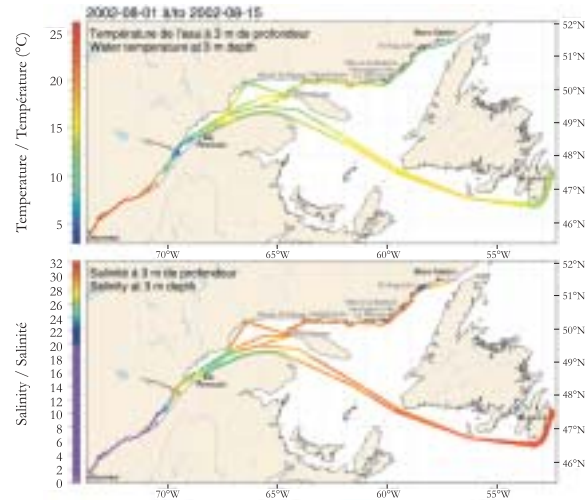


Fig. 3 Composite data from the *Cicero* and *Nordik Express* from 1-15 August 2002 as they appear on the TSG web page in the St. Lawrence Observatory web portal.

Données composites du 1 au 15 août 2002 provenant des navires Cicero et Nordik Express, telles qu'elles apparaissent sur le portail web de l'Observatoire du Saint-Laurent.

from 2 to 20 over a relatively short horizontal distance. During the same period, the upper panel shows that surface waters near the head of the Laurentian Channel (mouth of the Saguenay River) exhibit the coldest temperatures in the Gulf. Although not present at this particular time of the year in Figure 3, small pockets of matching cold surface coastal waters are often observed along the Lower North Shore of the St. Lawrence, corresponding to upwelling regions. The cold upwelled surface waters seen on Figure 3 originate from the cold intermediate layer (CIL) that is formed during the winter months in the Gulf of St. Lawrence, when the surface waters are cooled to near-freezing temperature down to 100 meters in places. The spring-summer warming of the surface waters isolates these cold waters at intermediate depths in the Gulf. During the summer months, the estuarine circulation combined with strong tidal activity in the upstream sloping region at the head of the Laurentian Channel induce strong tidal upwelling and surface mixing of the CIL waters, thus maintaining the persistent cold conditions of the surface water in this region and downstream.

The *Cicero* ship track is repeated frequently enough for its TSG data to provide a global picture of the yearly temperature and salinity fields over the Montréal to St. John's ship track. Figure 4 illustrates the results obtained, where water temperature (colour-coded) is indicated for different locations (horizontal axis) at different times of the year (vertical axis). Close to three years of temperature measurements starting in January 2000 are summarized on this single figure.

The most striking feature in Figure 4 is again the cold area at the head of the Laurentian Channel, which persists from early spring to late fall. It was known that mixing and upwelling

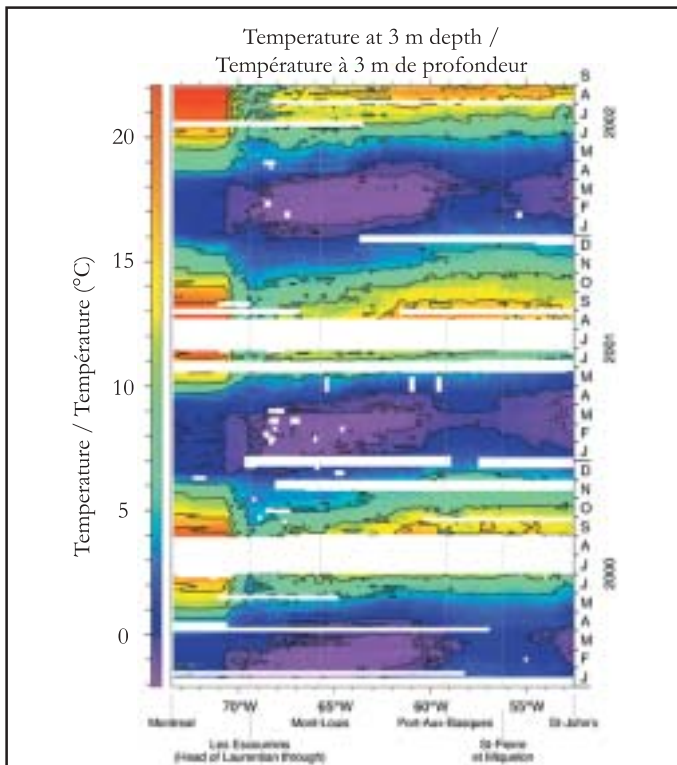


Fig. 4 Temperature field at 3-m depth (colour-coded) between Montréal and St. John's, Newfoundland (horizontal axis), obtained at different times of the year (vertical axis) from the *Cicero*. Close to three years of temperature measurements are summarized here, starting in January 2000.

Champs de température (code de couleur) à 3 m de profondeur entre Montréal et St. John's, Terre-Neuve (axe horizontal), obtenu à différents temps de l'année (axe vertical) par le navire Cicero. Près de trois ans de mesures sont illustrés ici, débutant en janvier 2000.

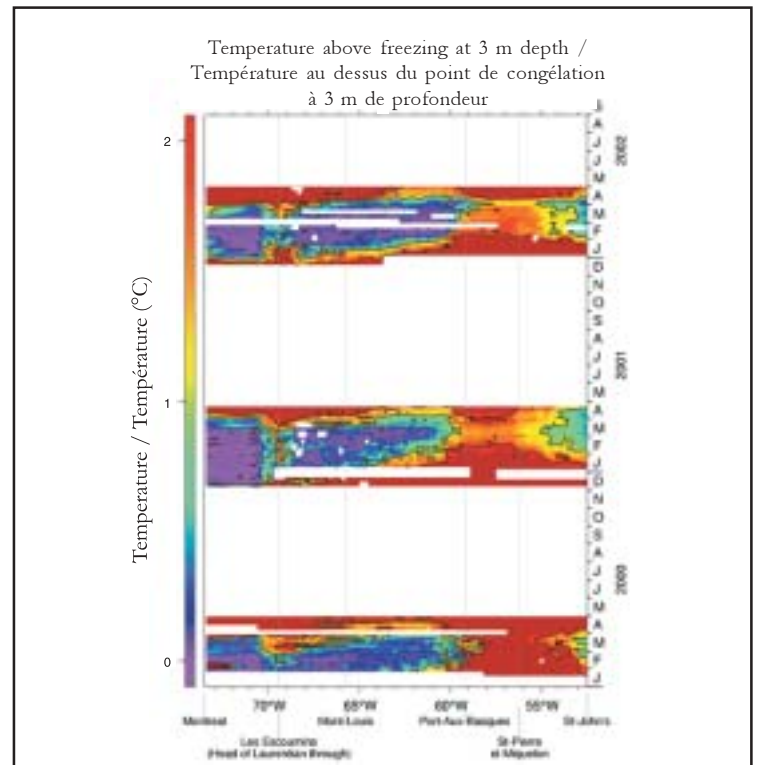


Fig. 5 Water temperature above the freezing point between Montréal and St. John's, Newfoundland (horizontal axis), obtained at different times of the year (vertical axis), from the *Cicero*. Only winter data are shown here.

Champs de température au dessus du point de congélation à 3 m de profondeur entre Montréal et St. John's, Terre-Neuve (axe horizontal), obtenus à différents temps de l'année (axe vertical) par le navire Cicero. Seules les données hivernales sont illustrées ici.

were leading to cold surface water temperatures during the summer months in this area. However, no data were available to determine the winter conditions. In the late 1990s, the ocean circulation modeling group at MLI predicted the occurrence of a detectable heat polynya at the head of the Laurentian Channel. The model showed the occurrence of relatively warm subsurface waters in winter that are mixed with the surface near-freezing layer by tidal stirring, consequently maintaining surface temperatures clearly above the freezing point even during the most bitter winter conditions. In early 2000, just a few months after the deployment of the TSG on the *Cicero*, this prediction was confirmed (Saucier et al., 2002).

To illustrate this better, the same data used for Figure 4 are shown in Figure 5, but this time as the temperature difference with respect to the freezing point. Although the winter water temperature between Montréal and Québec City is warmer than in the Gulf, these waters are fresh and thus have a freezing point of 0°C whereas the saltier waters of the Gulf have to cool further to approximately -1.7°C before freezing. The warm area at

the head of the Laurentian Channel is not visible in Figure 4 when looking at water temperature alone, but it becomes evident in Figure 5, when looking for temperatures above the freezing point in winter. This TSG dataset is the first field data describing the winter polynya in the St. Lawrence. It also provides information about its magnitude, duration, and spatial extent.

Another interesting feature in Figure 5 is the observation that, as winter sets in, the freezing point in the surface waters is attained first in the fresh waters between Montréal and Québec City and then progressively farther into the Gulf toward Cabot Strait. Also, in late August, the near-surface waters reach close to 20°C in the Cabot Strait area and close to 25°C between Montréal and the eastern tip of Île d'Orléans, downstream of Québec City. Significantly colder surface waters are observed between these two regions and particularly in the Lower St. Lawrence Estuary.

Globally, it is clear that the TSG program has been very successful in providing a fairly constant stream of near real-time surface temperature and salinity data at a low cost. Since the first deployment in 1999, the TSG data have been assimilated into numerical ocean forecast models as soon as

they have been downloaded from the ships, and they have served several purposes. For instance, during the fall season, the TSG provides extremely useful information on the heat remaining in the surface layer of the Gulf, allowing the prediction of the timing of sea-ice formation. But perhaps the long-term usefulness of this program is to provide data on the surface waters along commercial ship routes, where information has been very scarce. It should certainly be possible to exploit other similar opportunities to obtain data in waters that are not currently well monitored because of remoteness and/or high acquisition cost. Also, our current sampling systems could be equipped with new sensors capable of monitoring other oceanographic variables of interest. With time, the accumulated data series should become sufficiently long to enable studies aimed at understanding the climate variability and its impact in Canadian coastal waters.

References

Knauth, H.-D., F. Schroeder, R. Menzel, E. Gebhart, S. Marx, E. Gebhart, D. Kohnke, F. Holzkamm, H. Nies, N. Theobald (1997). Marine Pollution Network EUOMAR-MERMAID: Results of the Experimental Operation. Dt. Hydr. Zt., Vol 49, No. 2/3.

Saucier, F.J., F. Roy, D. Gilbert, P. Pellerin, and H. Ritchie (2002).

The formation and circulation processes of water masses and sea ice in the Gulf of St. Lawrence, J. Geophys. Res., *in press*.

Schroeder, F., and W. Petersen, The Ferry-Box as a Monitoring Tool for Marine Waters - Concepts and Technical Solutions of European Systems, online publication at <http://coast.gkss.de/projects/ferrybox/ferrypages/pubs>, accessed in October 2001.

Acknowledgements

The thermosalinograph program is funded by PERD (Program on Energy Research and Development), Objective 2.2.4: The optimization of the overall efficiency of transportation systems. We are indebted to the owners, officers, and crews of Oceanex Inc., Groupe C.T.M.A., Relais Nordik Inc., and Coast Guard Operational Services Branch for their support in this program. In particular, we thank Master Jean Proteau, Master Richard Bailey, and Shore Captain Ghyslain Beaulne of the *Cicero*, Master Bernard Langford of the C.T.M.A. *Voyageur*, Master Stéphane Anctil of the *Nordik Express*, Commanding Officer Sylvain Bertrand and Technical Service Project Officer Denis Corbin of the CCGS *Martha L. Black*.

Development of new monitoring tools for AZMP

Alex Herman and Jim Hamilton

Bedford Institute of Oceanography, 1 Challenger Dr. Dartmouth, NS, B2Y 4A2
hermana@mar.dfo-mpo.gc.ca

Résumé

Pour s'attaquer aux problèmes de la demande élevée en temps de navire et en ressources financières, ainsi qu'aux besoins accrus de la communauté océanographique pour des données de meilleure qualité et plus nombreuses, plusieurs nouveaux développements d'instruments océanographiques ont été réalisés à l'interne au MPO. Ce sont : 1) le profileur MVP («Moving Vessel Profiler») qui a été conçu pour échantillonner la colonne d'eau en milieu côtier à partir d'un navire en mouvement, 2) le compteur optique de plancton conçu pour fournir de l'information plus complète sur le zooplancton, et 3) le «SeaHorse», un profileur océanique qui est ancré et qui est conçu pour utiliser l'énergie des vagues pour effectuer des mesures de profils verticaux continus de plusieurs variables océanographiques sur des périodes de plusieurs mois.

The Atlantic Zone Monitoring Program produces a large demand on DFO resources both in terms of funding and staff requirements. Vessel costs are high and AZMP requires large blocks of shiptime. Personnel time at sea and post-processing of samples in the laboratory places scheduling demands on individuals also resulting in considerable overtime costs. Finally, there is also a continuous need for higher quality data sampled more frequently and more densely in our coastal waters. One aspect of AZMP is to take a pro-active approach to the development of new methodology and instruments that will address the issues of reducing resource demands and costs while providing the AZMP scientific community with more comprehensive data. The Ocean Physics Section of the Ocean Sciences Division at the Bedford

Institute of Oceanography (BIO - DFO-Maritimes) is developing new methodologies in three areas of interest: 1) the Moving Vessel Profiler – a platform designed to allow the deployment of sampling instruments while underway on a vessel, 2) the Optical Plankton Counter – an instrument that provides continuous zooplankton information while being towed, and 3) the SeaHorse – an instrument platform moored at a coastal location or station that can acquire continuous vertical profiles of oceanographic variables using wave energy.

Moving Vessel Profiler - The Moving Vessel Profiler (MVP) was developed by the Ocean Physics Section at BIO between 1990 and 1995 and has since been commercialized. The operational principle of the MVP is shown in Figure 1 and the MVP system is shown in Figure 2. A streamlined towed fish

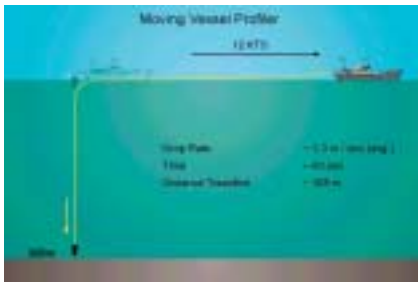


Fig. 1 Illustration of the operating principle of the Moving Vessel Profiler showing the towed fish released (left) from the stern of a vessel steaming at 12 knots, 'free-falling' by pulling cable off the winch drum (free-wheeling), and stopping at a pre-selected depth (or cable length) by the braking winch. Once the fish is recovered to the proximity of the vessel's stern (right), it is re-released for another profile.

Illustration du mode d'opération du profileur MVP montrant l'instrument qui est relâché d'un navire en mouvement à 12 nœuds (à gauche), pour ensuite entreprendre une chute libre vers le fond en entraînant le câble qui se déroule librement du treuil. Une fois atteinte la profondeur de câble prédéterminée (ou la longueur), le treuil arrête le déroulement. Lorsque le poisson est remonté plus loin (à droite) à proximité du navire, il est relâché pour effectuer un autre profil.

containing a number of instruments is released at the surface and "free-falls" to a selected depth at a high drop rate of 3.5 m/sec. while the ship continues steaming at its full operational speed of 12-14 kts. While descending, the fish unravels its tow cable (with conductors) from a free-wheeling winch drum. In this mode, there is little tension on the cable and the fish falls in a near-vertical orientation. When the desired depth (or depth limit) is reached, the winch is braked and the fish is reeled back to near-surface and close to the stern of the ship where it is re-released



Fig. 3 The Laser-Optical Plankton Counter (LOPC) shown mounted inside a standard plankton ring net used for vertical profiling. The LOPC is capable of counting and sizing zooplankton in a range of 100 microns to 3.5 cm and can provide shape profiles of zooplankton greater than 1500 microns.

Illustration du compteur optique de plancton au laser (LOPC) qui est monté dans un filet à plancton standard qu'on utilise pour échantillonner des profils verticaux de zooplancton. Le LOPC est capable de compter et d'estimer la taille du zooplancton entre 100 microns et 3.5 cm et de fournir des profils de silhouettes pour le zooplancton plus gros que 1500 microns.

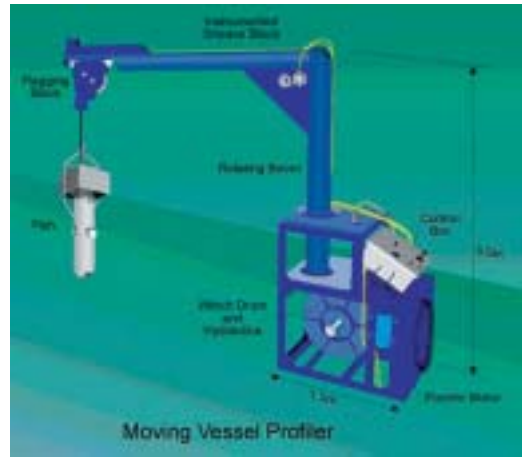


Fig. 2 Illustration of the MVP winch system. The towed streamlined fish containing sensors is shown at the end of the MVP boom. The handling system is fully self-contained with winch drum and hydraulic power/electric motor and requires only an electrical supply from the vessel. The system can be manually operated by a control box containing a microprocessor or can be controlled by a computer located in the vessel's laboratory.

Illustration du profileur MPV et de son système de treuil. On voit ici le poisson de forme allongée contenant les senseurs qui est monté au bout du mat de charge du système de treuil. Le système de contrôle du tambour du treuil et des moteurs électriques / hydrauliques est complètement automatique et requiert seulement une source électrique sur le navire. Le système peut être opéré manuellement à partir d'une boîte de contrôle contenant un microprocesseur, ou encore peut être contrôlé à partir d'un ordinateur localisé dans le laboratoire du navire.

for another profile. The advantages of such a tow system are at least three-fold. First, our current AZMP stations are located about 20-30 km apart and, therefore, higher density profiles (2-3 km) can be obtained simply by deploying the MVP while steaming between stations. Second, any steaming time, even that incurred by steaming to, from, or in between transects, is usable by the MVP for additional "opportunity" data. Finally, for those field trips that require physical oceanographic data only and may not require stopping the ship for station sampling, the MVP may reduce sampling time and thus shiptime needs.

Optical Plankton Counters - Currently in the AZMP sampling protocol, zooplankton are sampled with nets while the vessel is stopped on station and samples are post-processed in the laboratory. Our objective here was to examine technologies that could provide us with higher density data and with measurements of proxies relating to zooplankton populations while having the potential of reducing net sampling and thus related costs. Optical Plankton Counters (OPCs), originally developed at BIO and commercialized, have been in use by the oceanographic community for the last 15 years. Currently, there are 120 OPCs in operation worldwide. Used as a towed instrument, the OPC provides higher density spatial coverage and size distributions of zooplankton. The

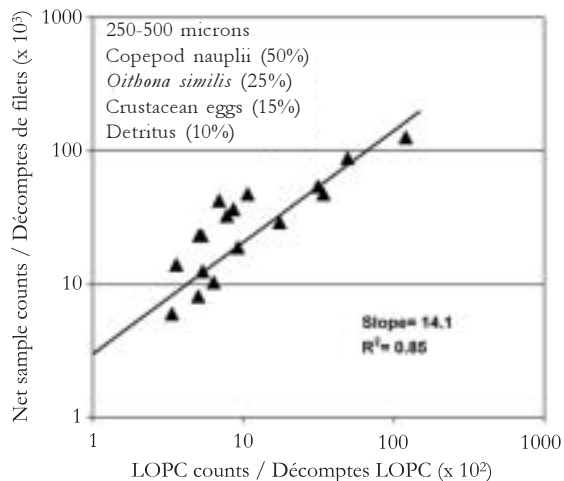


Fig. 4 Graph showing the relationship between regular net sample counts and LOPC counts. The LOPC counts represent a size range of 250-500 microns primarily corresponding to copepod nauplii.

Graphique montrant la relation entre des décomptes de filet standards et des décomptes obtenus par mesures de LOPC. Le LOPC mesure les organismes entre 250 et 500 microns, ce qui correspond principalement à des nauplii de copépodes.

CALCOFI program (California Cooperative Oceanic Fisheries Investigation), a major monitoring program on the USA west coast for the last 50 years, has been evaluating the use of OPCs mounted within their standard

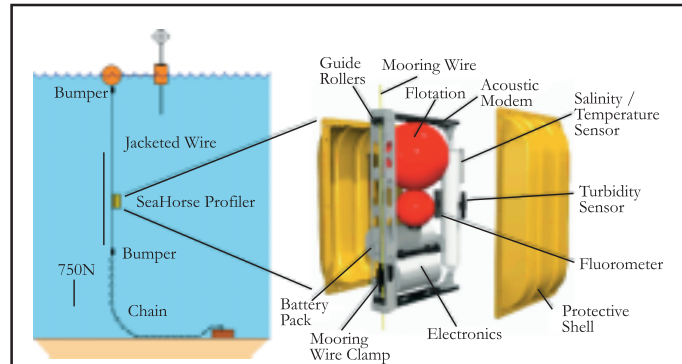


Fig. 5 Illustration of the operational principle of the SeaHorse (left) and of the exploded view of its components (right). The SeaHorse is a platform designed to carry instruments, such as a CTD and a fluorometer, and will “ratchet” its way down to the bottom using wave energy only. Once released from its pre-programmed parking depth near the bottom, it rises to near-surface on its own buoyancy, thus obtaining profiles during both descent and ascent.

Illustration du principe d'opération du «SeaHorse» (à gauche) et de la vue éclatée de ses composantes internes (à droite). Le «SeaHorse» est une plate-forme conçue pour recevoir des instruments tels un CTD et un fluoromètre, et qui descend graduellement le long de son câble d'ancrage jusqu'au fond en utilisant l'énergie des vagues seulement. Une fois libéré de sa position préprogrammée au fond, il débute son ascension jusqu'à la surface grâce à sa propre flottabilité, obtenant ainsi des profils verticaux durant la descente comme durant la remontée.

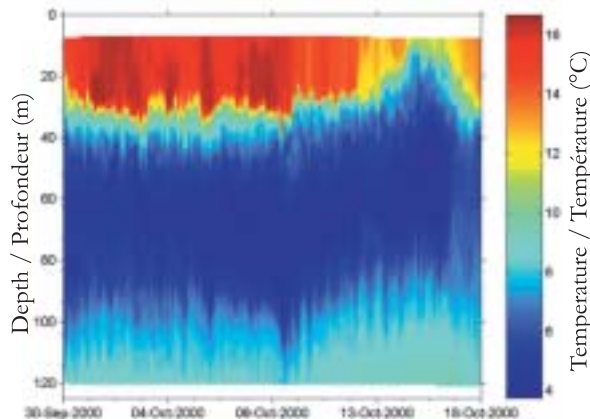


Fig. 6 Continuous temperature profiles obtained by the SeaHorse while moored at Station 2 outside Halifax Harbour over a three-week period.

Profils continus de température obtenus sur une période de trois semaines, à l'aide du «SeaHorse» ancré à la Station 2 au large du port de Halifax.

bongo nets for the last three years. The second generation of OPCs, the laser-OPC (or LOPC), shown mounted in a regular ring net in Figure 3, has been developed at BIO and also commercialized. Though it is a smaller device, the LOPC provides many new features—for example, the measurement of shape profiles of individual zooplankton, enabling identification, and the ability to operate in high plankton abundance areas. DFO studies are underway to assess the applicability of the OPC and the LOPC to AZMP needs and to determine its ability to deliver the measurements needed. One example of such a study is presented in Figure 4, which shows an inter-comparison between counts from net tow samples and LOPC measurements of a zooplankton assemblage.

Moored Ocean Profilers - AZMP also has a requirement for collecting data at fixed stations (particularly at less accessible stations) representing long time series measurements. Our current technology limits us to physical measurements at several discrete depths over periods of 6-12 months. The AZMP community needs both physical and biological measurements sampled over the entire water column, and the development of the SeaHorse at BIO has been directed towards that specific goal. Figure 5 depicts the SeaHorse and its operating principle. The sensor platform is able to “ratchet” down a wire using only wave energy, almost entirely restricting electrical power requirements to the sensors only. Once the SeaHorse has reached its pre-programmed bottom depth, it is released from its resting position at a predetermined time and ascends to the surface by its own buoyancy. In this operational mode, the sensors contained within the SeaHorse can measure the entire water column with high resolution and over long mooring periods. An example of temperature measurements sampled over a three week period at Station 2 along the Halifax Section is shown in Figure 6.

Ships that take us there...!

Michel Mitchell¹, Eugene Colbourne² and Alain Gagné³

¹Bedford Institute of Oceanography, Box 1006, Dartmouth, NS, B2Y 4A2

²Northwest Atlantic Fisheries Centre, Box 5667, St. John's, NF, A1C 5X1

³Institut Maurice-Lamontagne, Mont-Joli, QC, G5H 3Z4

mitchellm@dfo-mpo.gc.ca

Les navires qui nous mènent et qui nous mènent...!

Introduction

The main component of the Atlantic Zone Monitoring Program (AZMP) of the Department of Fisheries and Oceans (DFO) is an ambitious field program where biological, chemical, and physical variables are routinely measured at a number of stations at fixed sites and along specific transects or sections located in representative regions of the Northwest Atlantic Ocean, including the Gulf of St. Lawrence. This sampling is needed to create the quality time series data that are required by DFO to fulfill its basic monitoring mandate. The collection of these environmental data necessitates sophisticated instrumentation and equipment that are operated by highly trained and specialized personnel, but also requires adequate sampling platforms or vessels from which the field work can be conducted efficiently and safely. Sampling must be performed both for the biweekly collection of field samples and measurements at the fixed sites and for the spring and fall sampling of the standard sections (see map on the first page of this Bulletin). In that context, the Canadian Coast Guard (CCG) is the most reliable partner of the AZMP, since the CCG operates a fleet of vessels upon which the AZMP is totally dependent. Without access to the CCG ships and without the expertise and support of the officers and crew members of these ships, DFO would certainly not be able to successfully carry out its ambitious but so very important monitoring program. This article briefly describes the successful relationships established between the AZMP and the CCG in the three DFO Atlantic Regions (Maritimes, Newfoundland, and Québec), and highlights the history of a few of the ships that take us there...!

Maritimes Region and the CCGS *Hudson*

Fixed sites in the Maritimes Region are sampled biweekly on an opportunity basis by various vessels that range from Search and Rescue boats to large multi-disciplinary research vessels (*Sambro*, *Shippigan*, *Pandora*, *Opilio*, *Alfred Needler*, *Hudson*, etc.). The standard sections on the Scotian Shelf and Cabot Strait are sampled from CCGS *Hudson*.

The scientific ship *Hudson* came into service in 1963. She was built in Saint John, NB, and was the second of two

Introduction

La principale composante du Programme de Monitorage de la Zone Atlantique (PMZA) du Ministère des Pêches et des Océans (MPO) est un ambitieux programme de terrain où des variables biologiques, chimiques et physiques sont échantillonnées de façon routinière à un certain nombre de stations fixes et le long de transects ou sections localisées dans des régions représentatives de la région nord-ouest de l'océan Atlantique, incluant le golfe du Saint-Laurent. On a besoin de cet échantillonnage pour construire les séries de données de grande qualité qui sont nécessaires pour que le MPO puisse remplir son mandat de monitorage de base. La collecte de ces données environnementales nécessite des instruments et des équipements sophistiqués qui sont opérés par du personnel hautement spécialisé et entraîné, mais requiert également des plateformes d'échantillonnage ou des navires adéquats à partir desquels le travail de terrain peut être mené de façon efficace et sécuritaire. Le programme de terrain comprend la collecte d'échantillons et la prise de mesures à toutes les deux semaines à des stations fixes, et au printemps et à l'automne à des stations situées le long de sections standard (voir carte en première page de ce Bulletin). Dans ce contexte, la Garde Côtière Canadienne (GCC) représente le partenaire le plus important pour le PMZA, parce que la GCC opère une flotte de navires dont le PMZA dépend complètement. Sans accès aux navires de la GCC et sans l'expertise et le support des officiers et de membres d'équipage de ces navires, le MPO ne serait certainement pas capable de poursuivre avec autant de succès son ambitieux, mais si important, programme de monitorage. Cet article décrit brièvement les relations harmonieuses qui se sont établies entre le PMZA et la GCC dans les trois régions Atlantique du MPO (Maritimes, Terre-Neuve et Québec), et met en valeur l'histoire de certains de ces navires qui nous mènent et qui nous mènent...!

large ice-strengthened offshore research and survey ships. This multi-disciplinary ship, stationed at the Bedford Institute of Oceanography, was specifically designed to address the needs of ocean science and to carry out a wide range of oceanographic programs. *Hudson* was modernized in 1990 and is currently undergoing a multi-year refit, which began in 1999 and which will maintain her as the primary research vessel for the Maritimes Region for the next decade.

Through four decades of service to the scientific community

of Canada and internationally, *Hudson* has made important contributions to our knowledge of the oceans. Fame was added to her distinguished history by the Hudson-70 expedition, when she became the first vessel to circumnavigate both North and South America. This mission took her from her Dartmouth base to the Antarctic, through the Pacific and back to the Atlantic *via* the Northwest Passage while conducting a broad array of scientific programs.

Hudson continues to be a platform of choice for field work offshore. From the onset of the AZMP, *Hudson* has been the primary vessel used in spring and fall of each year to survey the standard sections in the Maritimes Region. Thanks to *Hudson's* sea handling capabilities, we have

been able to complete our sampling program during every mission in spite of frequently adverse sea conditions.

Hudson offers all the laboratory space as well as handling equipment necessary to carry out the AZMP sampling. In addition, hull-mounted acoustic transducers permit the collection of backscatter measurements as well as current speed and direction throughout the expeditions. Surface water is pumped continuously through the ship's hull, allowing non-stop monitoring of the properties of surface waters. Because *Hudson* offers ample laboratory and deck space, as well as deck space for portable laboratory containers, operations in support of other programs are routinely executed during the AZMP expeditions, such as mooring operations, optical measurements for groundtruthing satellite data, instrument development, surveys in the Gully, krill surveys, acoustic surveys, etc.

CCGS *Hudson* Particulars

Length	90.4 meters
Breadth	15.4 meters
Draft	6.8 meters
Displacement	3740 tons
Propulsion	Twin Screw, Diesel Electric
Power	8670 BHP (6469 KW)
Range	23,100 nautical miles
Max. speed	17 knots
Cruising speed	10.5 knots
Fuel capacity	1268 m ³ (diesel)
Personnel	60 (32 crew and 28 scientific staff)



Newfoundland Region and the CCGS *Teleost*

The AZMP fixed monitoring site (Station 27) in the Newfoundland Region is sampled biweekly on an opportunity basis by various vessels that range in size from a small general purpose boat (CCG-206) and an inshore research vessel (*Shamook*) to larger offshore multi-disciplinary research vessels such as the *Wilfred Templeman*, the *Teleost*, and the *Hudson*. The standard sections on the Newfoundland and Labrador Shelf are, however, usually sampled from the CCGS *Teleost* or the *Hudson*.

In 1995, the Department of Fisheries and Oceans in the Newfoundland Region received a major boost in oceanographic monitoring capabilities when it took delivery of the multi-disciplinary ship *Teleost*. Originally named the *Atlantic Champion*, the vessel was built in 1988 in Tomrefjord, Norway, as an ice-reinforced factory freezer trawler for use in the Northwest Atlantic shrimp fishery. In 1994, Marystown Shipyard Limited in

Newfoundland extensively modified the vessel. It was converted to function as a fisheries research platform suitable for the conduct of multi-function science missions. It is the only fisheries research trawler in the Atlantic fleet able to operate in heavy ice.

The vessel is equipped to carry out a wide range of oceanographic and fisheries research missions using large or small bottom and mid-water trawls, modern physical and biological oceanographic instrumentation, hull-mounted and towed sensors, and fisheries hydroacoustic systems. Although her primary task is fisheries research, she also conducts search and rescue missions.

The facilities and scientific equipment used to support AZMP monitoring activities on the *Teleost* include a biology lab equipped with a fume hood, chemical storage cabinets, a 225 kg freight elevator to the oceanographic lab, a stainless steel work counter with a sink, and a refrigerator. The oceanographic

lab is equipped with an oceanographic EA500 12 kHz echosounder and a computerized cable metering system for the oceanographic winches. Adjacent to this lab is a fully enclosed staging area containing a slip-ring and hydrographic winch, a hydraulic ramp, and a platform for deployment of CTDs and other monitoring equipments. The acoustic lab contains a Simrad EK 500 scientific echosounder and a 150 kHz ADCP with a hydraulic ramp for deploying the transducer unit through

the vessel's hull.

Since 1998, the *Teleost* has been conducting both a spring and summer oceanographic survey along standard sections on the Newfoundland and Labrador Shelf in support of the AZMP. The data collected on these surveys include vertical profiles of temperature, salinity, pressure, chlorophyll, dissolved oxygen, ocean currents, zooplankton, nutrients, phytoplankton, ichthyoplankton, and meteorological data.

CCGS *Teleost* Particulars

Length	63.0 meters
Breadth	14.2 meters
Draft	7.2 meters
Displacement	2215 tons
Propulsion	Twin Screw, Diesel Electric
Power	4000 hp/2984 kw
Range	12,000 nautical miles
Max. Speed	14.5 knots
Cruising Speed	12.0 knots
Fuel Capacity	400 m ³ (diesel)
Personnel	36 (20 crew and 16 scientific staff)



Région du Québec et le NGCC *Martha L. Black*

En 1995 la région du Québec mettait sur pied un programme de monitoring à deux stations fixes appelées courant de Gaspé et gyre d'Anticosti, situées dans la portion ouest du golfe du Saint-Laurent. La stratégie d'échantillonnage bimensuelle à ces deux stations s'appuyait sur l'utilisation sur une base opportuniste des navires de la GCC basés dans cette région pour assurer la couverture de recherche et sauvetage. C'est à cette même époque que Pêches et Océans et la GCC fusionnaient, ce qui augurait bien pour entreprendre un partenariat intéressant entre les scientifiques de l'IML et la GCC dans la région du Québec. La première sortie de monitoring eut lieu en février 1996, et dès la première sortie, le personnel scientifique a été impressionné par la capacité des navires à pouvoir effectuer des tâches scientifiques, par l'accueil chaleureux et par le professionnalisme des équipages du NGCC *Pierre Radisson* et du NGCC *Martha L. Black*.

Au fil des ans, le projet de monitoring est devenu bien connu des équipages de la GCC, et notre façon de travailler ensemble est devenue de mieux en mieux rôdée. D'ailleurs,

l'acquisition ces dernières années d'un petit «conteneur» laboratoire bien équipé pour le travail du PMZA a contribué à raffiner notre façon de travailler. Ce petit laboratoire dans lequel tout l'équipement est installé (ordinateur, treuil, rosette, filet, système de filtration, etc.), peut être facilement transféré d'un navire à l'autre, ce qui évite le transport et l'installation répétées de l'équipement et facilite grandement le travail en mer, notamment durant les conditions très froides de l'hiver. Après 7 ans de collaboration avec la GCC pour la réalisation, entre autre, du programme de monitoring, le bilan est très positif et la collaboration est à son meilleur. Ainsi, douze navires de la flotte ont été mis à contribution au cours de ces années pour un total de 116 sorties en mer aux deux stations fixes.

Le NGCC *Martha L. Black* qui a été modifié pour accomplir du travail scientifique est de loin le navire qui a été le plus souvent utilisé avec un total de 48 visites aux deux sites de monitoring. C'est aussi sur ce navire qu'a lieu chaque année depuis 1998, la mission printanière d'échantillonnage aux 41 stations situées le long des 8 sections du PMZA sous la responsabilité de la région du Québec. Construit à Vancouver en 1986, le NGCC *Martha L. Black* est un navire de la classe

brise glace léger/grand baliseur qui a œuvré dans la région du Pacifique avant d'être transféré à la région du Québec en 1991. Ce navire est utilisé suivant une approche multi-tâches et est principalement conçu pour le mouillage, l'entretien et l'enlèvement des bouées grâce à son puissant mât de charge. Il est également muni d'un pont d'envol pour hélicoptère. Sa propulsion de type CA/CA avec cyclo-convertisseur et la forme particulière de son étrave lui permettent de remplir des missions de déglaçages et d'escorte sur le fleuve Saint-Laurent et la rivière Saguenay. Polyvalent, il participe pendant la saison estivale à l'entretien, à la construction des aides à la navigation et au ravitaillement des phares sur la côte nord du fleuve Saint-Laurent et au nord du Québec.

En 1999 le navire subissait quelques modifications pour accueillir des missions scientifiques, notamment en océanographie, tout en conservant sa vocation multidisciplinaire. Le projet de réaménagement du navire a conduit à l'installation de 6 laboratoires de type conteneur dont 3 sont dotés de hottes chimiques. Un laboratoire a été conçu pour la microscopie et est équipé de 2 incubateurs. Les 2 autres conteneurs laboratoires ont été conçus pour permettre l'échantillonnage à l'aide d'un échantillonneur de type rosette ou d'un carottier à piston ou à boîte. Tous ces conteneurs peuvent être alimentés en services *via* un puit d'alimentation et les services disponibles sont : électricité (600V, 230V, 115V, 24 V/DC et 12 VD/C), eau de mer et eau douce (chaude et froide), communications téléphoniques internes et externes, branchement des postes informatiques en réseau par fibres optiques et lignes téléphoniques pour modems,

branchement Internet et courrier électronique, et moniteur de surveillance relié à trois caméras et à la carte électronique. Les scientifiques ont aussi accès à une salle d'acquisition de données et une salle de traitement de données. Pour la conservation des échantillons, un congélateur à -86°C (0.7 m^3), un congélateur -18°C (2.1 m^3) et un réfrigérateur à 4°C (1.6 m^3) sont aussi à la disposition des scientifiques. Le navire est également équipé d'un pied de sondage télescopique pour balayage acoustique et sonore. Ce pied de sondage peut être déployé à 4 m sous la coque afin d'éviter les interférences parasites. Les têtes de surface sont adaptables aux besoins du champ de détection désiré par modification du faisceau et de la fréquence. Un fluorimètre *in situ* couplé à un système de thermosalinographe (voir Galbraith et al. dans ce Bulletin) permet aussi l'enregistrement en continu de la température, la salinité et la fluorescence de l'eau pompée à 3 m sous la surface. Le NGCC *Martha L. Black* est équipé de gréements de levage efficaces et d'un grand espace de travail. Il offre un service bilingue entre la passerelle de navigation et les opérations scientifiques.

Depuis sa conversion en mode scientifique, le NGCC *Martha L. Black* a réalisé plusieurs missions, à la grande satisfaction des scientifiques de la région du Québec. Citons en outre des missions pour le monitoring du PMZA, le mouillage d'instruments océanographiques, l'évaluation de la biomasse de krill, l'évaluation du maquereau, des études l'hydro-acoustiques, des mesures bio-optiques pour la calibration des signaux satellitaires SeaWiFS et, tout récemment, la mission de prévision des glaces 2002.

Caractéristiques du NGCC *Martha L. Black*

Longueur	83 mètres
Largeur	16.2 mètres
Tirant d'eau	6.1 mètres
Déplacement	5,029 tonnes métriques
Propulsion	deux hélices, diesel-électrique
Puissance	5,250 kw
Autonomie	14,500 milles marins
Vitesse maximale	15.1 noeuds
Vitesse de croisière	14.0 noeuds
Capacité en carburant	1086 m ³ (diesel)
Personnel	51 (27 équipage et 24 scientifiques)

