

La station de monitoring de Rimouski : plus de 400 visites et 18 ans de monitoring et de recherche

Stéphane Plourde, Pierre Joly, Liliane St-Amand et Michel Starr

Institut Maurice-Lamontagne, C. P. 1000, Mont-Joli, QC, G5H 3Z4
stephane.plourde@dfo-mpo.gc.ca

Abstract

Initiated in 1991 in support of specific research projects, sampling at the Rimouski station located in the lower St. Lawrence estuary has continued for 18 years with more than 400 sampling sorties. The limited sampling protocol followed during the first years revealed the usefulness of such a monitoring project in describing seasonal and interannual patterns in plankton dynamics in the region. These results led to the long duration of the sampling at this station and eventually to its inclusion in the Atlantic Zone Monitoring Program (AZMP) starting in 2005. In addition to its contribution to the monitoring program, the sampling at the Rimouski station has supported several research activities related to key and emergent topics in biogeochemical oceanography. The maintenance of such a long-term time series has only been possible with the contribution of numerous people through the years.

« Jeffrey Runge avait l'index pointé au centre de la carte marine tout juste au nord de Rimouski. C'est là que l'on ira échantillonner me dit-il. Pour ma part, j'avais le regard dirigé vers l'échelle de la carte. Mon peu d'expérience au large des côtes me disait que j'allais vivre de véritables aventures...»

Pierre Joly 1990

La genèse d'une station de monitoring

Née d'un besoin de récolter du zooplancton pour la réalisation d'expériences en laboratoire durant les premières années de l'existence de l'Institut Maurice-Lamontagne (IML), la station Rimouski a atteint sa majorité en 2008 (18 ans) avec au courant de l'été une 400^{ème} visite d'échantillonnage. La position de la station à 20 km au large de la marina de Rimouski (48°40' N, 68°35' O) a été choisie en regard de la sécurité des sorties en mer (la station est localisée entre les deux voies de navigation commerciale) et de sa profondeur (340 m) assurant ainsi la présence des copépodes dominants du genre *Calanus* (Fig. 1). Bien qu'une vingtaine de sorties aient été

réalisées en 1991 et 1992 afin de décrire le patron saisonnier de la production d'œufs du copépode *Calanus finmarchicus* (Plourde et Runge 1993), l'échantillonnage régulier et continu a réellement débuté en 1993. Divers navires d'opportunité et des petites embarcations ont été mis à contribution durant les deux premières années, mais le *Béluga*, un Boston Whaler en fibre de verre de 25 pieds, deviendra rapidement l'embarcation de prédilection de part sa vitesse, son équipement ainsi que sa grande sécurité pour le travail en mer (Fig. 2). Les premières années, la saison d'échantillonnage débutait

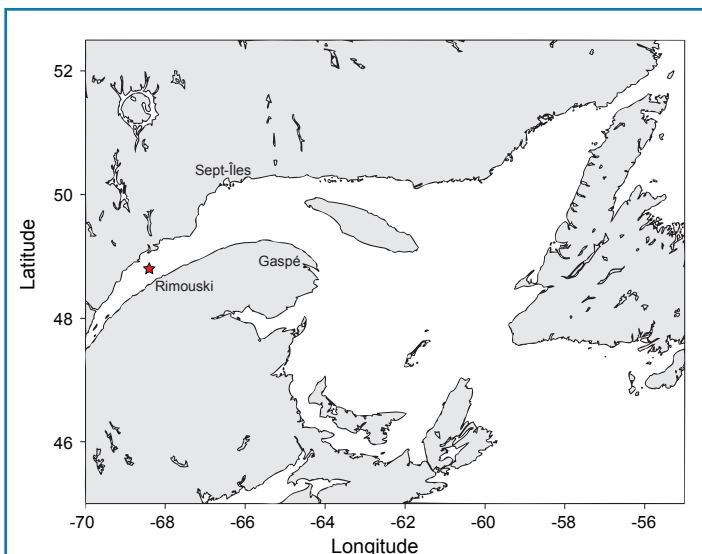


Fig. 1 Localisation de la station Rimouski.

Location of the Rimouski station.



Fig. 2 Le Boston Whaler *Béluga*.

The Boston Whaler, *Béluga*.

en mai, précédant la période de croissance du phytoplancton, afin de couvrir l'amorce de la floraison du phytoplancton et de la reproduction de *C. finmarchicus*. L'observation de variations interannuelles dans cette dynamique a motivé le leader du projet à l'époque, le Dr. Jeffrey Runge, de poursuivre cette activité sur une base pluriannuelle. De plus, de part sa proximité ainsi que l'utilisation d'une petite embarcation, cette station de monitoring « en devenir » s'avérait relativement peu coûteuse par rapport aux coûts d'opération. Depuis 1993, de 20 à 25 sorties sont réalisées chaque année sous la responsabilité de Pierre Joly (IML). L'échantillonnage débute

dès avril/début mai et se termine le plus tard possible afin de couvrir l'ensemble du cycle saisonnier des espèces de copépodes dominants dans cette région fort dynamique de l'estuaire du Saint-Laurent.

Progression de la station de monitoring

Le protocole d'échantillonnage a rapidement évolué lors des premières années en réponse aux besoins de mieux suivre la dynamique saisonnière et interannuelle du plancton et de l'environnement. En 1991, l'échantillonnage se résumait à : i) un trait de filet de 1 mètre de diamètre et de vide de maille de 333 µm, de 250 m à la surface, pour la récolte des femelles de *C. finmarchicus*; ii) la récolte d'échantillons d'eau avec

une bouteille Niskin à trois profondeurs (0, 10 et 20 m) pour la détermination de la biomasse de chlorophylle *a*; et iii) un profil des températures et des salinités sur la colonne d'eau (0–250 m) à partir d'une sonde CTD (Plourde et Runge 1993). Dès 1992, l'échantillonnage du phytoplancton a été porté à huit profondeurs réparties dans la couche 0–50 m, un effort minimal soutenu depuis ce temps. En 1993, l'intérêt de suivre l'abondance de tous les stades de développement (œufs, nauplii et copépodites) de *C. finmarchicus* et des autres copépodes clés du système a motivé l'ajout d'un échantillonnage de la couche de surface (0–50 m) avec un filet de vide de maille de 73 µm en complément du filet de 333 µm. L'analyse des échantillons récoltés avec ce filet de faible vide de maille a permis de mieux décrire la dynamique de *C. finmarchicus* et d'identifier de nouvelles avenues de recherche (voir ci-dessous). À partir de 1995, le Dr. Michel Starr, chercheur principalement intéressé par la dynamique de la production primaire (phytoplancton) et les cycles biogéochimiques, a commencé à s'impliquer activement dans l'échantillonnage et l'analyse des échantillons et des données de la station Rimouski. De plus, à partir de 1999, l'intérêt croissant de M. Starr pour les processus régissant la production primaire et la biomasse de phytoplancton ainsi que son implication dans le Programme de monitoring de la zone Atlantique (PMZA) ont amené l'ajout de mesures d'atténuation de la lumière, de sels nutritifs, de la composition phytoplanctonique et de production primaire. En 2002, la mise à l'eau de la bouée océanographique de surface IML-04 à la station Rimouski a permis de relier les observations récoltées sur une base hebdomadaire à des données en continu et ainsi contribuer à la calibration/validation des dif-

férentes sondes de la bouée. Des problématiques émergentes relatives aux changements climatiques d'origine naturelle ou anthropiques ont amené l'ajout de mesures de la concentration en oxygène (Dr. Denis Gilbert, IML) et du pH (M. Starr, IML) à différentes profondeurs dans la colonne d'eau à partir de 2005, résultant en un protocole d'échantillonnage appliqué depuis (Tableau 1). Récemment, l'accumulation de nouvelles connaissances concernant l'importance de la circulation de type estuarienne en deux couches dans le contrôle du zooplancton dans l'estuaire maritime a amené le Dr. Stéphane Plourde à développer un échantillonnage du zooplancton sur deux strates de profondeur (0–100 m et 100–320 m) depuis 2004. Finalement, l'échantillonnage du zooplancton avec un filet

Tableau 1 Les activités de terrain et les travaux en laboratoire réalisés sur les échantillons récoltés à la station Rimouski.
Field work and laboratory analyses conducted on samples collected at the Rimouski station.

Terrain / Field	Profondeur échantillonnée / Sampling depth (m)	Variation / Variables
Secchi	–	Atténuation de la lumière / Light attenuation
Niskin 5L	0 ¹ ; 2.5; 5; 10 ^{2,3} ; 15; 20; 25; 35; 50; 100; 200; 320 ^{1,2}	Chl <i>a</i> , concentrations bactériennes et virales, pH, oxygène, composition du phytoplancton, CDOM, sels nutritifs / <i>Cbl a</i> , bacteria and virus concentrations, pH, oxygen, phytoplankton composition, CDOM, nutrients
Sea-Bird 19plus CTD	0–320	Profils in situ : température, salinité, fluorescence, oxygène, pH / In situ profiles: temperature, salinity, fluorescence, oxygen, pH
Filet / Net		
0.5 m Ø, 73 µm, 1:8	0–50	Œufs, nauplii, copépodites / Eggs, nauplii, copepodites
0.75 m Ø, 202 µm, 1:5	0–100; 100–320	Composition du zooplancton / Zooplankton composition
Mesures de laboratoire / Laboratory measurements		
Zooplancton / Zooplankton	Production d'œufs in situ / In situ egg production (<i>Calanus finmarchicus</i> , <i>C. hyperboreus</i> , <i>Metridia longa</i>)	
	Succès d'éclosion / Hatching success (<i>C. finmarchicus</i> , <i>M. longa</i>)	
	Viabilité / Viability (<i>C. finmarchicus</i>)	
	Morphométrie du prosome et de l'urosome, volume lipidique, CHN / Prosome and urosome morphometrics, lipid volume, CHN	
	Taxonomie / Taxonomy	
Phytoplancton / Phytoplankton	Caractéristiques optiques et de tailles des cellules (flux cytométrie) / Optical characteristics and cell size (flow cytometry)	
	Viabilité du phytoplancton / Phytoplankton viability	
	Production primaire et bactérienne / Primary and bacterial production	
	Taxonomie / Taxonomy	

¹ oxygène/oxygen, ² pH, ³ composition du microzooplancton / microzooplankton composition

standard de vide de maille de 202 µm, utilisé dans le cadre du PMZA, a débuté en 2005 suite à l'inclusion officielle des données de zooplancton de la station Rimouski dans les rapports d'état de l'écosystème (Harvey et al. 2005, Bulletin du PMZA). Un effort visant à standardiser les données de zooplancton de la station Rimouski récoltées selon différents protocoles d'échantillonnage depuis 1993–1994 est présentement en cours afin d'éventuellement intégrer les données historiques dans les rapports du PMZA.

standard de vide de maille de 202 µm, utilisé dans le cadre du PMZA, a débuté en 2005 suite à l'inclusion officielle des données de zooplancton de la station Rimouski dans les rapports d'état de l'écosystème (Harvey et al. 2005, Bulletin du PMZA). Un effort visant à standardiser les données de zooplancton de la station Rimouski récoltées selon différents protocoles d'échantillonnage depuis 1993–1994 est présentement en cours afin d'éventuellement intégrer les données historiques dans les rapports du PMZA.

La station Rimouski : contribution à la recherche en océanographie biologique à l'IML

La localisation de l'IML sur la rive sud de l'estuaire maritime du Saint-Laurent ainsi que les caractéristiques océanographiques

de cette région supportant une communauté de zooplancton dominée par un mélange d'espèces de copépodes océaniques arctiques et subarctiques typiques des eaux du nord du golfe du Saint-Laurent et du plateau continental du nord-ouest de l'Atlantique font de la station Rimouski un site de choix. L'accessibilité de ce site d'intérêt permet l'échantillonnage et la réalisation d'expériences en laboratoire avec des organismes vivant à une fréquence plus élevée (hebdomadaire) que celle possible au cours des missions sur de grands navires. L'effort soutenu d'échantillonnage à la station Rimouski ne représente qu'une fraction de l'effort investi depuis 18 ans dans l'analyse des échantillons de phytoplancton et de zooplancton, et l'étude de processus en laboratoire tant au niveau de la production primaire, de l'activité bactérienne et virale, et de la dynamique de populations des espèces de copépodes dominantes (production d'œufs, taux d'éclosion, etc.) de l'estuaire du Saint-Laurent.

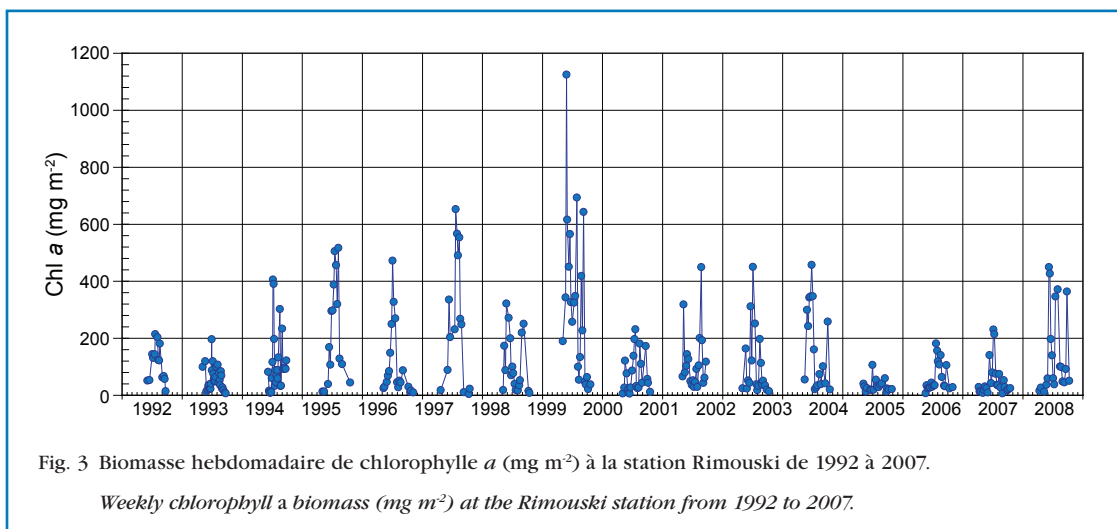
Dès 1991, la station Rimouski a servi à J. Runge pour les projets de deux étudiants à la maîtrise en science sur l'écologie d'une espèce planctonique dominante du système estuaire et golfe du Saint-Laurent, le copépode *C. finmarchicus*. S. Plourde a décrit la relation directe entre la maturation des gonades chez les femelles de *C. finmarchicus* et la disponibilité de nourriture tant en laboratoire que sur le terrain (station Rimouski), ainsi que la relation fonctionnelle entre le taux de production d'œufs des femelles en relation avec la biomasse phytoplanctonique (Plourde et Runge 1993). Nancy Turriff a quant à elle décrit le processus d'assimilation des toxines d'algues toxiques (ex. *Alexandrium tamarense*) lors de l'alimentation de *C. finmarchicus* en vue d'évaluer son rôle potentiel dans le transfert des toxines dans le réseau trophique (Turriff et al. 1995).

L'émergence de la problématique de l'effet potentiellement nocif des diatomées sur le taux d'éclosion des œufs de copépodes a amené J. Runge et son équipe à explorer cette question à partir des échantillonnages récoltés à la station Rimouski. Le suivi des taux d'éclosion in situ des œufs de copépodes par P. Joly et l'étude expérimentale de M. Starr sur le rôle de la composition phytoplanctonique sur la fécondité et la viabilité des œufs de *C. finmarchicus* ont résulté en deux publications importantes dans ce domaine de recherche spécifique (Starr et al. 1999, Irigoien et al. 2002).

Parallèlement, S. Plourde a réalisé ses études de doctorat sous la supervision de J. Runge sur la dynamique de population de *C. finmarchicus* et *C. hyperboreus* en grande partie à partir des données récoltées à la station Rimouski de 1991 à 1998. L'analyse en profondeur des patrons saisonniers de la reproduction et de l'abondance de ces deux espèces a permis d'élaborer des hypothèses concernant les facteurs régissant la

dynamique de ces espèces dans la région en relation avec la dynamique physique particulière du système estuaire maritime – golfe du Saint-Laurent, ainsi que dans les changements environnementaux majeurs ayant eu lieu au début des années 1990 (Plourde et al. 2001, 2002, 2003). Ces travaux sont à la base de l'échantillonnage en deux couches de profondeur initié en 2004 à la station Rimouski. Cet échantillonnage divisant la colonne d'eau en deux strates de profondeur vise à différencier les composantes « actives » (strate 0–100 m) et « inactives » (animaux en hibernation) (strate 100–320 m) des espèces de *Calanus* et à étudier les facteurs contrôlant les moments de sortie et d'entrée d'hivernation (lipides, nourriture, température, etc.). De plus, cet échantillonnage fournit des données sur l'axe temporel nécessaires à la validation des modèles couplés biologie-physique de *C. finmarchicus* utilisés pour décrire le rôle de la circulation de type estuarienne en deux couches dans le contrôle de la dynamique de population de cette espèce dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Finalement, les données historiques de la station Rimouski ont été utilisées dans le cadre d'une étude visant à déterminer le moment de sortie et d'entrée en hibernation de *C. finmarchicus* dans différentes régions dans le nord-ouest de l'Atlantique et à explorer les variables environnementales pouvant expliquer ce phénomène (Johnson et al. 2008).

Le suivi de la dynamique de la production et/ou de la biomasse du phytoplancton a permis d'observer d'importantes variations interannuelles dans l'initiation, l'intensité et la durée de la floraison estivale du phytoplancton (Fig. 3) (Starr et al. 2004). Ces variations interannuelles dans la dynamique du phytoplancton peuvent avoir un effet direct dans le contrôle des variations interannuelles de l'intensité de la reproduction de *C. finmarchicus* dans la région (Fig. 4) (Plourde et al. 2001). De plus, la dynamique du phytoplancton pourrait jouer un rôle important sur la production totale de *C. finmarchicus* via des processus densité-dépendant (mortalité des jeunes via cannibalisme ou jeûne) dont l'intensité semble inversement reliée à la biomasse de phytoplancton (disponibilité de nourriture) (Plourde et al. 2009, Plourde et al. ms soumis). Ces études portant sur les processus contrôlant la mortalité/survie et conséquemment le succès de la production de la nouvelle génération de *C. finmarchicus* sont des éléments clés dans l'élaboration de modèles biologiques représentatifs et répondant aux variations environnementales.



La station Rimouski : une aventure vécue par une équipe nombreuse

Une sortie à plus de 20 km au large en petite embarcation dans une voie maritime majeure implique une bonne préparation mais surtout une flexibilité d'horaire par rapport aux conditions météorologiques. En de nombreuses occasions, les gens à bord du *Béluga* ont dû affronter les différents impondérables de Dame

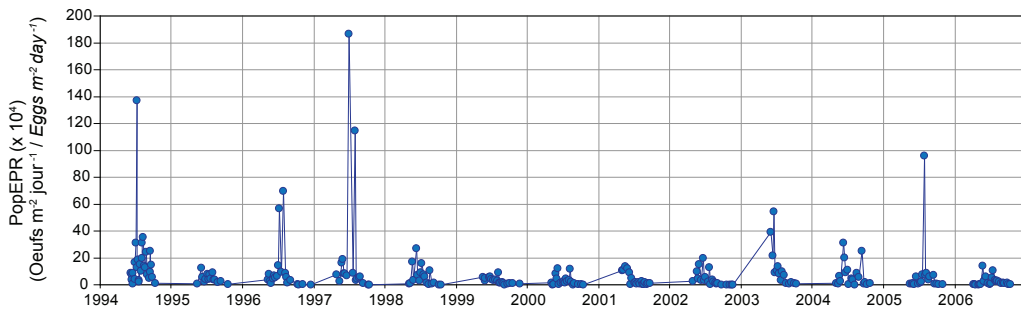


Fig. 4 Taux journalier de la production d'œufs de la population de *Calanus finmarchicus* (PopEPR) à la station Rimouski de 1994 à 2006.

Daily egg production of the *Calanus finmarchicus* population (PopEPR) at the Rimouski station from 1994 to 2006.

L'acquisition hebdomadaire des données de la concentration en oxygène à la station Rimouski a aussi contribué à décrire le phénomène d'hypoxie dans les eaux profondes de l'estuaire du Saint-Laurent (Gilbert et al. 2005). Dans les années 1930, les niveaux d'oxygène à 300 m dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent était de 38 % de saturation. Aujourd'hui, les mesures d'oxygène à la station Rimouski sont autour de 20 % avec des observations aussi faibles que 16 %. Les eaux profondes de l'estuaire sont donc sévèrement hypoxiques, présentant un risque pour la santé de l'écosystème. Ce déclin de l'oxygène est attribué à deux facteurs : i) des changements dans le patron de circulation dans l'Atlantique Nord et ii) une augmentation des flux de matières organiques dans les eaux profondes et les sédiments. De plus, les observations récentes de l'équipe de M. Starr à la station Rimouski ont mis en évidence une acidification marquée des eaux profondes de l'estuaire du Saint-Laurent. Cette acidification des eaux de l'estuaire pourrait avoir des effets délétères sur les organismes et notamment ceux possédant des coquilles contenant du carbonate de calcium ou de la calcite (CaCO_3) (foraminifères, échinodermes, mollusques, coraux). L'ajout de mesures d'oxygène et de pH à la station Rimouski permet ainsi de suivre l'évolution de l'hypoxie et du phénomène d'acidification de l'estuaire du Saint-Laurent.

Un important travail visant à optimiser les méthodes d'incubation pour la mesure des taux de production d'œufs et de succès d'éclosion in situ des copépodes a été réalisé dans le cadre des activités de monitoring et de recherche à la station Rimouski. Les résultats de ces expériences ont contribué à l'élaboration de méthodes standards (Runge et Roff 2000). Des données récoltées lors de ces années ont récemment été utilisées afin de comparer le taux de production d'œufs in situ de *C. finmarchicus* et *M. longa* et de quantifier l'importance du cannibalisme des femelles sur leurs œufs durant les incubations en relation avec leur passé alimentaire (biomasse de phytoplancton ambiant lors de la capture à la station) (Fig. 4) (Plourde et Joly 2008). M. Starr et son équipe ont acquis une expertise sur la dynamique de la production primaire, bactérienne et virale, tant au niveau de l'apprentissage et de la mise au point des techniques d'analyses en laboratoire qu'au niveau de la dynamique saisonnière de ces différentes variables, en grande partie en travaillant sur des échantillons récoltés à la station Rimouski. Ces connaissances ont permis le développement de modèles biogéochimiques 3D permettant de mieux comprendre le fonctionnement de l'écosystème du Saint-Laurent (LeFouest et al. 2005).

nature (ou des prévisions météorologiques), soit de forts coups de vents, le brouillard imprévu, des navires de fort tonnage en dehors de leur voie de navigation habituelle, etc. Bien que parfois stressants, ces événements ont contribué à ajouter un complément d'aventure à notre travail d'échantillonnage pouvant paraître parfois monotone et répétitif. L'observation de phénomènes physiques particuliers (par exemple clapotis, déplacement de fronts) ainsi que de plusieurs mammifères marins comme des phoques, bélugas, rorquals communs et rorquals bleus sont d'autant d'éléments qui agrémentent le travail d'échantillonnage. Ces derniers sont sans compter la « pause santé » prise dans un silence complet sur une mer d'huile sous un beau soleil de juillet....

Certaines personnes ont particulièrement épaulé le travail mené depuis le début par Pierre Joly. Jeffrey Runge a initié et supporté le travail à cette station durant plusieurs années bien avant que son importance et sa valeur ne soit reconnue dans les années 1990 avec le développement de la vocation monitoring des sciences océanographiques du Ministère des Pêches et des Océans. Durant plusieurs années, Jeffrey a investi des fonds pour l'analyse des échantillons et l'embauche de personnel temporaire pour supporter cette activité sur le terrain et l'analyse des échantillons en laboratoire. Quelques personnes ont particulièrement épaulé Pierre Joly dans cette aventure : Stéphane Plourde durant ses études graduées, Michel Starr toujours fidèle au poste durant quelques années pour se mouiller les pieds à bord du *Béluga*, Eric Dionne, Caroline Lebel et Sandrine Guittard qui ont contribué significativement à l'échantillonnage et à l'analyse des échantillons, Réal Gagnon avec qui Pierre Joly a raffiné et développé l'échantillonnage qui atteint maintenant un haut standard de qualité, Jean-François St-Pierre et Jean-Pierre Allard qui ont suppléé Pierre lors de ses vacances bien méritées, et Caroline Lafleur qui a pris la relève ces dernières années. Le traitement des échantillons en laboratoire sous la responsabilité de Liliane Saint-Amand mérite aussi d'être souligné. Finalement, Sylvie Lessard et Lyse-Bérard Therriault ont analysé les échantillons visant la description de la composition du phytoplancton (de 1997 à aujourd'hui) et Marie-Lyne Dubé et Line McLaughlin ont analysé les échantillons de sels nutritifs (de 1999 à aujourd'hui). À ces personnes importantes s'ajoute une longue liste de gens qui au cours de presque deux décennies ont contribué à l'effort collectif nécessaire à la réalisation de ce travail de longue haleine.

Merci à tous !

Marie-Josée Arseneault, Maryse Bélanger, Sonia Beaulieu, Claire Bertolone, Monica Borobia, Luc Bourassa, Luc Bourgeois, Alice Bui, Gabrielle Chapados, Mélanie Charrette, Lucienne Chénard, Jean-Yves Couture, Claudie Dallaire, François DeMontigny, Aurélie Descroix, Rémi Desmarais, Laure Devine, Patricia Gagnon, Yves Gagnon, Linda Girard, Michel Harvey, Béatrice Huppertz, Chantal Lacoste, Katherine Lafleur, Bernadette Lagacé, Christian Legeault, Martin Lévesque, Frédéric Maps, Alexandra Marion, Liliane Marois, Vickie Mercier, Dominique Morrier, Guylaine Morrier, Geneviève Parent, Étienne Proulx, Marc Ringuette, Jean-Guy Rondeau, François Roy, Isabelle St-Pierre, Gilles Savard, Nathalie Simard, Richard Sirmel, Pierre Sylvestre, Julie Taxil, Nancy Turriff, Pierre Villemure et François Villeneuve.

Références

- Gilbert, D., Sundby, B., Gobeil, C., Mucci, A. et Tremblay, G.-H. 2005. A seventy-two-year record of diminishing deep-water oxygen in the St. Lawrence estuary: the northwest Atlantic connection. *Limnol. Oceanogr.* 50(5): 1654-1666.
- Harvey, M., St-Pierre, J.-F., Devine, L., Gagné, A., Gagnon, Y. et Beaulieu, M.-F. 2005. Oceanographic conditions in the Estuary and in the Gulf of St. Lawrence during 2004: zooplankton. DFO CSAS Res. Doc. 2005/043, 22 pp.
- Irigoien, X., Harris, R.P., Verheye, H.M., Joly, P., Runge, J., Starr, M., Pond, D. et al. 2002. Copepod hatching success in marine ecosystems with high diatom concentrations. *Nature* 419: 387-389.
- Johnson, C.L., Leising, A.W., Runge, J.A., Head, E.J.H., Pepin, P., Plourde, S. et Durbin, E.G. 2008. Characteristics of *Calanus finmarchicus* dormancy patterns in the Northwest Atlantic. *ICES J. Mar. Sci.* 65: 339-350.
- LeFouest V., Zakardjian, B., Saucier, F. et Starr, M. 2005. Seasonal versus synoptic variability in planktonic production in a high-latitude marginal sea: the Gulf of St. Lawrence (Canada). *J. Geophys. Res.* 110, C09012, Doi 10.1029/2004JC002423.
- Plourde, S. et Joly, P. 2008. Comparison of in situ egg production rate in *Calanus finmarchicus* and *Metridia longa*: discriminating between methodological and species-specific effects. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 363: 165-175.
- Plourde, S. et Runge, J.A. 1993. Reproduction of the planktonic copepod *Calanus finmarchicus* in the lower St. Lawrence Estuary: Relation to the cycle of phytoplankton production and evidence for a *Calanus* pump. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 102: 217-227.
- Plourde, S., Joly, P., Runge, J.A., Zakardjian, B. et Dodson, J.J. 2001. Life cycle of *Calanus finmarchicus* in the lower St. Lawrence estuary: The imprint of circulation and late timing of the spring phytoplankton bloom. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58: 647-658.
- Plourde, S., Dodson, J.J., Runge, J.A. et Therriault, J.C. 2002. Spatial and temporal variations in copepod community structure in the lower St. Lawrence Estuary, Canada. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 230: 211-224.
- Plourde, S., Joly, P., Runge, J.A., Dodson, J. et Zakardjian, B. 2003. Life cycle of *Calanus hyperboreus* in the lower St. Lawrence Estuary and its relationship to local environmental conditions. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 255: 219-233.
- Plourde, S., Maps, F. et Joly, P. 2009. Mortality and survival in early stages control recruitment in *Calanus finmarchicus*. *J. Plankton Res.* 31: 371-388.
- Runge, J.A. et Roff, J.C. 2000. The measurement of growth and reproductive rates. *Dans ICES zooplankton methodology manual. Sous la direction de R. Harris, P. Wiebe, J. Lenz, H.R. Skjoldal et M. Huntley Academic Press, London.* pp. 401-451.
- Starr, M., Runge J. et Therriault, J.-C. 1999. Effects of diatom diets on the reproduction of the planktonic copepod *Calanus finmarchicus*. *Sarsia* 84: 379-389.
- Starr, M., St. Amand, L., Devine, L., Bérard-Therriault, L. et Galbraith, P.S. 2004. State of phytoplankton in the Estuary and Gulf of St. Lawrence during 2003. DFO CSAS Res. Doc. 2004/123, 35 pp.
- Turriff, N., Runge, J.A. et Cembella, A.D. 1995. Toxin accumulation and feeding behaviour of the planktonic copepod *Calanus finmarchicus* exposed to the red-tide dinoflagellate *Alexandrium excavatum*. *Mar. Biol.* 123: 55-64.
- Harvey, M., P.S. Galbraith and A. Descroix. 2009. Vertical distribution and diel migration of macrozooplankton in the St. Lawrence marine system (Canada) in relation with the cold intermediate layer thermal properties. *Prog. Oceanogr.* 80: 1-20; doi:10.1016/j.pocean.2008.09.001.
- Head, E., and P. Pepin. 2008. Variations in overwintering depth distributions of *Calanus finmarchicus* in the slope waters of the NW Atlantic continental shelf and the Labrador Sea. *J. Northw. Atl. Fish. Sci.* 39: 49-69.
- Johnson, C.L., A.W. Leising, J.A. Runge, E.J.H. Head, P. Pepin, S. Plourde and E.G. Durbin. 2008. Characteristics of *Calanus finmarchicus* dormancy patterns in the Northwest Atlantic. *ICES J. Mar. Sci.* 65: 339-350.
- Li, W.K.W., and W.G. Harrison. 2008. Propagation of an atmospheric climate signal to phytoplankton in a small marine basin. *Limnol. Oceanogr.* 53(5): 1734-1745.
- Li, W.K.W., M.R. Lewis and W.G. Harrison. 2008. Multiscalarly of the nutrient-chlorophyll relationship in coastal phytoplankton. *Estuaries Coasts*, doi 10.1007/s12237-008-9119-7.
- Marion, A., M. Harvey, D. Chabot and J.-C. Brêthes. 2008. Feeding ecology and predation impact of the recently established amphipod, *Themisto libellula*, in the St. Lawrence marine system, Canada. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 373: 53-70.
- Neuheimer, A.B., W.C. Gentleman, P. Pepin and E.J.H. Head. 2009. How to build and use individual-based models (IBM) as hypothesis testing tools. *J. Marine Syst.* (in press).
- Pepin, P., and E.J.H. Head. 2009. Seasonal variation in the depth-dependent state of stage 5 copepodites of *Calanus finmarchicus* in the waters of the Newfoundland Shelf and the Labrador Sea. *Deep-Sea Res. (Part I)*. doi:10.1016/j.dsr.2009.01.005.

Publications

Primary Publications / Publications primaires