



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS)

Document de recherche 2018/037

Région du Québec

Les conditions océanographiques chimiques et biologiques dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent en 2016

M. Blais, L. Devine, C. Lehoux, P. S. Galbraith, S. Michaud, S. Plourde, et M. Scarratt

Pêches et Océans Canada
Institut Maurice-Lamontagne
850 route de la Mer, P.O. Box 1000
Mont-Joli, QC, G5H 3Z4

Avant-propos

La présente série documente les fondements scientifiques des évaluations des ressources et des écosystèmes aquatiques du Canada. Elle traite des problèmes courants selon les échéanciers dictés. Les documents qu'elle contient ne doivent pas être considérés comme des énoncés définitifs sur les sujets traités, mais plutôt comme des rapports d'étape sur les études en cours.

Publié par :

Pêches et Océans Canada
Secrétariat canadien de consultation scientifique
200, rue Kent
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

[http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/
csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca](http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca)



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2018
ISSN 2292-4272

La présente publication doit être citée comme suit :

Blais, M., Devine, L., Lehoux, C., Galbraith, P.S., Michaud, S., Plourde, S., et Scarratt, M. 2018. Les conditions océanographiques chimiques et biologiques dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent en 2016. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2018/037. iv + 61 p.

Also available in English :

Blais, M., Devine, L., Lehoux, C., Galbraith, P.S., Michaud, S., Plourde, S., and Scarratt, M. 2018. Chemical and Biological Oceanographic Conditions in the Estuary and Gulf of St. Lawrence during 2016. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2018/037. iv + 57 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	IV
INTRODUCTION	1
MÉTHODES	2
COLLECTE D'ÉCHANTILLONS.....	2
TÉLÉDÉTECTION DE LA COULEUR DE L'OCÉAN.....	3
VARIABLES INTÉGRÉES VERTICALEMENT	4
INDICES DE ZOOPLANCTON.....	4
TABLEAUX SYNOPTIQUES.....	5
OBSERVATIONS.....	6
ENVIRONNEMENT PHYSIQUE	6
ÉLÉMENTS NUTRITIFS ET PHYTOPLANCTON	6
Sites de monitoring à haute fréquence	6
Sous-régions du golfe	7
Télétection de la couleur de l'océan	9
ZOOPLANCTON.....	10
Sites de monitoring à haute fréquence	10
Sous-régions du golfe	11
Phénologie des copépodes	12
Tableaux synoptiques	12
DISCUSSION.....	13
CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES.....	13
PHYTOPLANCTON	14
ZOOPLANCTON.....	15
SOMMAIRE	18
REMERCIEMENTS	19
RÉFÉRENCES	19
TABLEAUX.....	22
FIGURES.....	23
ANNEXES.....	59

RÉSUMÉ

Un aperçu des conditions océanographiques chimiques et biologiques du golfe du Saint-Laurent (GSL) en 2016 est présenté dans le cadre du Programme de monitoring de la zone atlantique (PMZA). Les données du PMZA, ainsi que celles provenant de programmes de monitoring régionaux, sont analysées et présentées en fonction des moyennes à long terme et ce, dans le contexte d'un réchauffement ayant commencé en 2010. Les inventaires de nitrates en 2016 étaient généralement sous la normale dans la couche 0–50 m, dû à un début d'hiver doux, alors qu'ils étaient nettement au-dessus des moyennes à long-terme (particulièrement au sud et à l'est du GSL) dans les couches profondes. L'imagerie satellitaire montre que la moyenne annuelle (mars–novembre) de la biomasse de phytoplancton était légèrement sous la moyenne à long-terme dans le GSL. Un assemblage phytoplanctonique dominé par de petites cellules (flagellés et dinoflagellés), tel qu'observé à la station de Shediac Valley, pourrait expliquer cette biomasse relativement faible. Malgré tout, la magnitude et l'amplitude du bloom printanier ont été généralement plus élevées que pour la climatologie (1999–2010), et ce particulièrement dans l'ouest du GSL où une biomasse maximale record a été mesurée. Les abondances de diatomées au-delà des normales retrouvées à la station de Rimouski y expliquent vraisemblablement la forte biomasse phytoplanctonique présente toute l'année (avril–octobre), ainsi que dans l'ouest du GSL au printemps. Le bloom printanier s'est produit plus tôt en saison et a duré plus longtemps que la normale dans le Plateau madelinien et dans le détroit de Cabot, alors que dans le nord du GSL, la date de début du bloom était similaire à la moyenne historique et la durée plus courte. La biomasse de zooplancton en 2016 était parmi les plus faibles rencontrées jusqu'à maintenant dans le GSL, principalement dû à une diminution de l'abondance de *Calanus finmarchicus*, dont le développement des stades copépodites a été exceptionnellement tôt en 2016 à la station de Rimouski. L'abondance des grands calanoïdes était au-dessus de la normale pour la première fois depuis 2006 dans l'ouest du GSL grâce aux fortes abondances de *Calanus hyperboreus* à cet endroit. Les anomalies positives généralement observées depuis 2008 pour l'abondance des petits calanoïdes, des cyclopoïdes, des copépodes d'eaux chaudes, de *Pseudocalanus* spp. et des espèces non-copépodes se sont poursuivies en 2016. Elles s'expliquent possiblement par l'augmentation de la température et une réduction de la compétition liée aux faibles abondances de *Calanus* spp.

INTRODUCTION

Mis en œuvre en 1998 (Therriault *et al.* 1998), le Programme de Monitoring de la Zone Atlantique (PMZA) vise à permettre à Pêches et Océans Canada (MPO) de 1) mieux comprendre, décrire et prévoir l'état de l'écosystème marin et 2) quantifier les changements des propriétés physiques, chimiques et biologiques de l'océan ainsi que les relations prédateur-proie des ressources marines. Le PMZA fournit des données pour appuyer le développement durable des activités océaniques. L'évaluation annuelle de la répartition et de la variabilité des éléments nutritifs et des communautés planctoniques qui en dépendent est un élément essentiel du programme d'observation du PMZA.

Une description de la répartition spatio-temporelle des éléments nutritifs (nitrate, silicate, phosphate), des concentrations de chlorophylle et de l'oxygène dissous dans l'eau de mer fournit des données importantes sur les mouvements des masses d'eau ainsi que sur les emplacements, le moment et l'ampleur des cycles de production biologique. Une description de la répartition du phytoplancton et du zooplancton fournit des données importantes sur les organismes qui constituent la base du réseau trophique marin. La compréhension des cycles de production du plancton est une part essentielle d'une approche écosystémique de la gestion des pêches.

Le PMZA tire ses renseignements sur l'état de l'écosystème marin de données recueillies dans un réseau de lieux d'échantillonnage (sites de monitoring à haute fréquence, sections transversales du plateau) qui se trouvent dans chaque région du MPO (Québec, Golfe, Maritimes et Terre-Neuve-et-Labrador; voir la figure 1 pour connaître les lieux de la région du Québec) et qui sont échantillonnés à une fréquence qui varie d'hebdomadaire à annuelle. Le plan d'échantillonnage fournit des renseignements de base sur la variabilité naturelle des propriétés physiques, chimiques et biologiques du plateau continental de l'Atlantique Nord-Ouest : des sections transversales fournissent des données géographiques détaillées, mais elles offrent une couverture saisonnière limitée tandis que les sites de monitoring à haute fréquence bien situés complètent l'échantillonnage en fournissant des données détaillées sur les variations annuelles des propriétés de l'écosystème.

Dans le présent document, nous passons en revue les conditions océanographiques chimiques et biologiques (niveaux trophiques faibles) du golfe du Saint-Laurent (GSL) en 2016. Dans l'ensemble, les températures étaient plus élevées que la normale pendant toute l'année, probablement en raison d'un début d'hiver doux et d'une couverture de glace de mer très faible (au troisième rang des plus faibles volumes de glace saisonniers maximaux depuis 1969; Galbraith *et al.* 2017). Des températures records des eaux de surface ont été enregistrées dans l'estuaire pour la période de mai à novembre (depuis 1985). Les températures des eaux profondes ont continué à augmenter, atteignant des niveaux records à des profondeurs de 250 m et 300 m. L'aire du plancher océanique couverte par des eaux d'une température supérieure à 6 °C a diminué dans les chenaux d'Anticosti et Esquiman alors qu'elle a connu une hausse marquée dans le centre du GSL en plus de faire une première apparition dans le nord-ouest du GSL (Galbraith *et al.* 2017). Le présent rapport décrit les cycles de production et la composition de la communauté de phytoplancton et de zooplancton en 2016 dans ce contexte.

MÉTHODES

COLLECTE D'ÉCHANTILLONS

Toutes les étapes de collecte et de traitement des échantillons respectent et dépassent souvent les normes du protocole du PMZA (Mitchell *et al.* 2002). Les mesures sur le terrain comprises dans le présent rapport ont été recueillies le long de sept sections au cours de relevés effectués en mars (hiver), en juin (été) ainsi qu'en octobre et en novembre (automne) chaque année, et à deux sites de monitoring à haute fréquence (figure 1). Dans le présent document, les sept sections sont regroupées en trois sous-régions afin de mieux correspondre aux échelles spatiales examinées par le PMZA dans d'autres régions :

1. ouest du GSL (oGSL) : cette région est généralement profonde (> 200 m) et froide en été. Elle est fortement influencée par les eaux de ruissellement du fleuve Saint-Laurent ainsi que par les eaux froides et denses du chenal Laurentien. Elle comprend les transects de l'estuaire du Saint-Laurent (TESL), de Sept-Îles (TSI) et du sud-ouest de l'île d'Anticosti (TASO);
2. sud du GSL (sGSL) : cette région est peu profonde (< 100 m) et beaucoup plus chaude en été. Elle est influencée par le courant de Gaspésie et n'inclut que le transect des îles de la Madeleine (TIDM);
3. est du GSL (eGSL) : cette région, comportant des chenaux profonds et un plateau relativement large (< 100 m), est caractérisée par une salinité de surface élevée et directement influencée par l'intrusion d'eaux des plateaux du Labrador et de Terre-Neuve. Elle comprend les transects du centre de l'estuaire du Saint-Laurent (TCEN), du détroit de Cabot (TDC) et de la baie Bonne (TBB);

Le tableau 1 fournit des détails sur les relevés d'échantillonnage de 2016 et la figure 2 indique l'effort d'échantillonnage aux lieux d'échantillonnage à haute fréquence. La station de Rimouski (profondeur de 320 m) est échantillonnée depuis 1991 dans le cadre d'un projet de recherche – à une fréquence hebdomadaire ou presque en été; moins fréquemment au début du printemps et à la fin de l'automne; et rarement en hiver (à l'exception de variables physiques lors du relevé de mars; l'échantillonnage des éléments nutritifs est effectué lors du relevé de mars depuis 2001). Elle a été incluse dans l'examen annuel des conditions environnementales du PMZA depuis 2004 afin de représenter les conditions dans l'estuaire du Saint-Laurent (ESL) et le nord-ouest du GSL. Depuis le début du PMZA, la station de la vallée de Shediac (profondeur de 84 m) représente les conditions dans le sud du GSL et l'écoulement de l'ESL. Bien que l'objectif soit d'échantillonner la station de la vallée de Shediac deux fois par mois, la fréquence est plutôt mensuelle et encore moins élevée de janvier à avril en raison de l'éloignement.

L'échantillonnage des sections et des sites de monitoring à haute fréquence comprend un profil de conductivité, température, profondeur (CTD) [température, salinité, fluorescence, oxygène dissous, pH] ainsi que l'échantillonnage d'eau à l'aide de bouteilles Niskin. L'eau recueillie dans les bouteilles Niskin est destinée à l'analyse de la chlorophylle *a* (chl *a*; méthode de Welschmeyer 1994 ou Holm-Hansen *et al.* 1965) ainsi qu'à l'identification des éléments nutritifs et du phytoplancton. Enfin, le zooplancton a été échantillonné à l'aide d'un filet vertical (diamètre de 75 cm, mailles de 200 µm) déployé du fond vers la surface. Les échantillons récoltés sont identifiés et des mesures de la biomasse ont été effectuées.

Depuis 1996, un relevé hivernal de la couche de mélange de surface du GSL est effectué entre le début et le milieu du mois de mars à l'aide d'un hélicoptère de la Garde côtière canadienne (GCC) [échantillonnage à bord d'un navire en 2016]; l'échantillonnage des éléments nutritifs de surface (2 m) a été ajouté au protocole en 2001 (Galbraith 2006, Galbraith *et al.* 2006). Des profondeurs supplémentaires ont également été échantillonnées en mars 2016 puisque

l'échantillonnage a été effectué depuis un navire de la GCC au lieu d'un hélicoptère. Ce relevé a ajouté une quantité importante de données à l'échantillonnage hivernal de la région autrefois limité. Soixante-quatorze stations ont été échantillonnées entre le 29 février et le 14 mars 2016.

TÉLÉDÉTECTION DE LA COULEUR DE L'OcéAN

La biomasse de plancton en surface a aussi été estimée à partir des données sur la couleur de l'océan recueillies par le « Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor » ([SeaWiFS](#)) lancé par la NASA à la fin de l'été 1997, le capteur « Aqua » du « Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer » ([MODIS](#)) lancé par la NASA en juillet 2002 et, plus récemment, le « Visible Infrared Imaging Radiometer Suite » ([VIIRS](#)), lancé en octobre 2011. Dans le présent rapport, les données du VIIRS de 2012 à 2016 et les données du MODIS de 2008 à 2011 sont combinées à celles du SeaWiFS de septembre 1997 à décembre 2007 afin de concevoir une série chronologique composite de la chl *a* en surface dans quatre sous-régions du GSL (le nord-ouest et le nord-est du GSL [noGSL, neGSL], le Plateau madelinien, le détroit de Cabot; voir la figure 3 pour connaître les emplacements). Veuillez noter que dans notre rapport précédent (Devine *et al.* 2017), nous avons utilisé les données du MODIS de janvier 2008 à juin 2015 et les données du VIIRS pour le reste de 2015. Le rendement du satellite MODIS en ce qui concerne l'estimation de la chl *a* a été comparé à celui du SeaWiFS pour quelques régions dans le monde. Bien que les différences par rapport à la conception des capteurs, à l'orbite et à l'échantillonnage entre le MODIS et le SeaWiFS aient entraîné des écarts entre les valeurs de chl *a* calculées (Gregg et Rousseaux 2014), les biais associés à ces satellites ne dépassent généralement pas les incertitudes algorithmiques de manière significative, particulièrement dans les eaux non troubles (Zibordi *et al.* 2006, Arun Kumar *et al.* 2015). Des études récentes comparant les trois satellites indiquent qu'ils offrent des données uniformes sur la couleur des océans, indiquant des profils et des magnitudes semblables, et une fidélité élevée entre eux, ce qui reflète leur rendement élevé (Wang *et al.* 2013, Barnes et Hu 2016).

Toutes les sous-régions sélectionnées pour les données d'imagerie satellitaire se trouvent à l'extérieur du panache du fleuve Saint-Laurent puisque les données des régions influencées par cette eau douce ne sont pas fiables en raison de leur turbidité et de l'apport fluvial de matières colorées provenant de la terre. L'unité de télédétection de l'Institut océanographique de Bedford (IOB) [MPO, Dartmouth, N.-É.] a fourni des images-satellites composites en collaboration avec le Goddard Space Flight Center (GSFC) de la NASA. Des statistiques de base (moyenne, étendue, écart-type) ont été extraites d'images composites prises environ toutes les deux semaines selon une résolution spatiale de 1,5 km pour le SeaWiFS et le MODIS, et 1 km pour le VIIRS.

Une fonction gaussienne modifiée du modèle temporel a été utilisée pour décrire les caractéristiques de la floraison printanière de phytoplancton en fonction des données satellites combinées (Zhai *et al.* 2011). Quatre indices différents ont été calculés pour décrire les caractéristiques de la floraison printanière : la date de début (jour de l'année), la durée de la floraison (en jours), l'ampleur (l'intégrale de la concentration de chl *a* sous la courbe de Gauss) et l'amplitude (concentration de chl *a* maximale). De plus, la biomasse de chl *a* moyenne au printemps (mars à mai), en été (juin à août) et en automne (septembre à novembre) ainsi que la moyenne annuelle (mars à novembre) ont été calculées. Pour chacune de ces huit mesures, nous avons calculé les anomalies annuelles normalisées (voir la section Tableaux synoptiques ci-dessous) afin d'évaluer les tendances temporelles entre les différentes sous-régions statistiques.

VARIABLES INTÉGRÉES VERTICALEMENT

Les données sur la chlorophylle *a* et les éléments nutritifs recueillis le long des sections du PMZA et aux sites de monitoring à haute fréquence ont été intégrées à divers intervalles de profondeur (p. ex. 0 à 100 m pour la chl *a*; 0 à 50 m et 50 à 150 m pour les éléments nutritifs) en utilisant l'intégration numérique trapézoïdale. Les données en surface (0 m) étaient en fait les valeurs échantillonnées les moins profondes et la profondeur échantillonnée la plus proche de la limite inférieure de l'intégration a été utilisée pour le calcul. Les indices de zooplancton (décrits ci-dessous) ont été intégrés en utilisant la profondeur échantillonnée. Dans les rapports précédents, les valeurs intégrées de nitrate du relevé hivernal ont été calculées en utilisant les concentrations en surface (2 m) × 50 m; en supposant que les concentrations de nitrate étaient homogènes dans la couche de mélange hivernale à ce moment de l'année. En 2016, les profils verticaux des éléments nutritifs à la station de Rimouski ont révélé que les concentrations de nitrate étaient en effet homogènes dans les 50 m supérieurs de la colonne d'eau (environ 14 mmol/m³; voir la section Résultats). La concentration d'éléments nutritifs dans le haut (0 à 50 m) de la colonne d'eau était aussi relativement homogène ailleurs dans le GSL lors du relevé de mars 2016 (données non présentées), ce qui confirme l'hypothèse initiale.

INDICES DE ZOOPLANCTON

Dans le présent document, nous fournissons une description détaillée des profils saisonniers pour différents indices de zooplancton, principalement aux stations de Rimouski et de la vallée de Shediac, mais également pour les trois sous-régions du GSL décrites précédemment. Au cours des dernières années, le nombre et le type d'indices de zooplancton ainsi que la façon dont ils sont rapportés ont été rationalisés dans le but de normaliser les documents de recherche des régions visées par le PMZA. Par conséquent, nous présentons pour les sites de monitoring à haute fréquence la biomasse totale de zooplancton, l'abondance totale de copépodes et les contributions relatives des espèces de copépodes composant 95 % des taxons identifiés selon l'abondance. De plus, nous incluons les abondances et la composition selon le stade des *Pseudocalanus* spp. (station de Rimouski seulement) et de *Calanus finmarchicus*. En raison de son importance pour la biomasse totale de zooplancton dans le GSL, une description détaillée de *Calanus hyperboreus* a été ajoutée pour les stations de Rimouski et de la vallée de Shediac. Nous avons également présenté la biomasse totale de zooplancton et l'abondance totale de *C. finmarchicus*, de *C. hyperboreus* et de *Pseudocalanus* spp. au printemps et en hiver pour les trois sous-régions du GSL en raison de leurs régimes océanographiques distincts.

Les changements dans la phénologie du zooplancton ont été décrits en utilisant *C. finmarchicus* comme indicateur. Nous avons utilisé la série chronologique à la station de Rimouski parce qu'elle fait l'objet d'une identification des stades et d'un échantillonnage adéquats depuis plus de 20 ans (1994). De 1994 à 2004, l'abondance de *C. finmarchicus* au stade copépodite a été déterminée à l'aide d'échantillons recueillis avec des filets à mailles de 333 µm (CIV à CVI) et 73 µm (CI à CIII) qui ont été analysés pendant sept années de la série chronologique (voir Plourde *et al.* 2009 pour connaître les détails). Lors d'autres années avant 2004 pour lesquelles des échantillons de 73 µm n'ont pas été analysés, l'abondance des stades CI à CIII dans les échantillons de 333 µm était ajustée selon une comparaison effectuée avec des filets semblables (S. Plourde, MPO, Mont-Joli, QC, données non publiées). La phénologie du *C. finmarchicus* a été décrite selon les étapes suivantes : 1) les données sur l'abondance des stades (individus/m²) ont été normalisées (x/x_{\max}) au cours de chaque année pour les stades CI à CIII, CIV, CV et CVI (mâles et femelles); et 2) les proportions relatives des stades ont été lissées à l'aide d'un algorithme Loess.

Finalement, nous présentons différents indices de zooplancton qui reflètent différents groupes fonctionnels jouant différents rôles dans l'écosystème ou différents groupes d'espèces indicatifs de l'intrusion d'eau froide ou chaude, ou de conditions de température locales propres au GSL. Ces indices concernent les grands calanoïdes (dominés par les *Calanus* spp. et *Metridia* spp.), les petits calanoïdes (selon la région, ce groupe peut être dominé par des espèces comme les *Pseudocalanus* spp., les *Acartia* spp., les *Temora longicornis* et les *Microcalanus* spp.), les cyclopoïdes (dominés par les *Oithona* spp. et les *Triconia* spp.; ces dernières font référence à des poecilostomatoïdes qui font partie de cette catégorie à cause de leurs caractéristiques écologiques), les espèces propres aux eaux chaudes (*Metridia lucens*, les *Centropages* spp., les *Paracalanus* spp. et les *Clausocalanus* spp.) et les espèces propres aux eaux froides ou arctiques (*Calanus glacialis* et *Metridia longa*). Les anomalies de ces groupes ont été calculées (voir la section Tableaux synoptiques ci-dessous) pour les sites de monitoring à haute fréquence et les sous-régions du GSL.

TABLEAUX SYNOPTIQUES

Les anomalies normalisées des indices chimiques et biologiques standard présentées dans les tableaux synoptiques ont été calculées pour les sites de monitoring à haute fréquence, les sections et les régions océanographiques. Ces anomalies sont calculées comme la différence entre la moyenne saisonnière (p. ex. les indices de chlorophylle et d'éléments nutritifs) ou la moyenne annuelle (p. ex. les indices de zooplancton) de la variable et la moyenne de la variable pour la période de référence (habituellement 1999 à 2010, mais une période de référence plus longue est souvent utilisée pour les variables physiques); ce nombre est ensuite divisé par l'écart-type de la période de référence. Ces anomalies sont présentées sous la forme de tableaux synoptiques où les anomalies positives sont indiquées en rouge, les anomalies négatives en bleu et l'absence d'anomalie en blanc. Un ensemble d'indices standard représentant les anomalies dans la disponibilité des éléments nutritifs, la biomasse et la dynamique de floraison de phytoplancton, et l'abondance des espèces et des groupes de copépodes dominants (*C. finmarchicus*, *Pseudocalanus* spp., ensemble des copépodes et ensemble des non-copépodes) est produit pour chacune des régions visées par le PMZA. Pour que l'on puisse visualiser les profils de la variation environnementale à l'échelle de la plateforme de l'Atlantique Nord-Ouest, le document publié par le MPO en 2017 présente un tableau synoptique par zone comprenant des observations provenant de toutes les régions visées par le PMZA.

Les estimations annuelles de l'abondance moyenne des principales espèces de zooplancton aux stations fixes et en tant que moyenne globale dans chaque sous-région du GSL reposent sur des modèles linéaires généraux (GLM) de la formule :

$\text{Log}_{10}(\text{Abondance} + 1) = \alpha + \beta_{\text{ANNÉE}} + \delta_{\text{MOIS}} + \varepsilon$ pour les stations fixes et

$\text{Log}_{10}(\text{Abondance} + 1) = \alpha + \beta_{\text{ANNÉE}} + \delta_{\text{STATION}} + \gamma_{\text{SAISON}} + \varepsilon$ pour les sections,

tel que présenté dans Pepin *et al.* (2013) et Johnson *et al.* (2016). La variable *Abondance* est exprimée par l'unité individus/m², la variable α est le point d'intersection et la variable ε est l'erreur. Le GLM est appliqué séparément aux trois sous-régions. Pour les stations fixes, les variables β et δ représentent les effets catégoriques pour l'année et le mois, respectivement. Pour les sections, les variables β , δ et γ tiennent compte de l'effet de l'année, de la station et de la saison, respectivement. L'estimation de la moyenne par la méthode des moindres carrés basé sur la somme des carrés de type III a été utilisée comme mesure de l'effet global de l'année. Les résultats de l'analyse du GLM pour les stations de monitoring à haute fréquence et les sections sont indiqués dans les annexes 1 et 2, respectivement. Cette année, nous avons effectué une transformation logarithmique des valeurs de densité afin de calculer les anomalies du zooplancton dans le but de gérer la distribution asymétrique des observations. La

variable *Abondance* a été majorée d'une unité afin d'inclure les observations dont la valeur est de 0. Il convient également de noter que les indices de zooplancton des groupes fonctionnels ont été intégrés en utilisant la profondeur du fond plutôt que la profondeur échantillonnée avant 2015 (p. ex. Devine *et al.* 2015). Par conséquent, les nombres du tableau peuvent ne pas entièrement correspondre aux valeurs précédentes même si les profils des anomalies sont restés les mêmes.

OBSERVATIONS

ENVIRONNEMENT PHYSIQUE

La température et la salinité de la colonne d'eau en 2016 sont décrites en détail par Galbraith *et al.* (2017). La stratification est un des paramètres clés qui contrôlent la production primaire. C'est pourquoi nous présentons une nouvelle figure sur la stratification de la couche de surface aux stations de monitoring à haute fréquence (figure 4). Des valeurs de stratification supérieures à la normale sont indiquées en bleu dans cette figure parce qu'elles sont habituellement causées par une salinité de surface inférieure à la moyenne. Le début de la stratification de la colonne d'eau a eu lieu plus tôt que la moyenne climatologique à la station de Rimouski, comme l'indique le fort gradient de densité de 0 à 50 m ($\Delta\sigma$) en avril (figure 4). À la station de la vallée de Shediac, le degré de la stratification dans le haut de la colonne d'eau était semblable à la climatologie (figure 4).

ÉLÉMENTS NUTRITIFS ET PHYTOPLANCTON

La répartition des principaux éléments nutritifs inorganiques dissous (nitrate, silicate, phosphate) compris dans le programme observationnel du PMZA covarient fortement dans l'espace et dans le temps (Brickman et Petrie 2003). Pour cette raison, et comme la disponibilité de l'azote est le plus souvent associée avec des limitations de la croissance du phytoplancton dans les eaux côtières du GSL, le présent rapport met l'accent sur la variabilité des concentrations de nitrate, même s'il est aussi brièvement question de la répartition d'autres éléments nutritifs. Dans le présent document, nous utilisons le terme « nitrate » pour faire référence au mélange de nitrate et de nitrite ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$).

Sites de monitoring à haute fréquence

Les principaux points saillants de 2016 concernant les éléments nutritifs et la biomasse de phytoplancton sont bien illustrés par la figure 5 pour les deux sites de monitoring à haute fréquence. À la station de Rimouski, l'abaissement du niveau de nitrate qui a eu lieu au printemps était lié à une floraison printanière de phytoplancton sans précédent (figures 5a, c, e). De plus, une deuxième floraison au début de l'automne (figure 5c) a causé un autre abaissement du niveau de nitrate dans la couche de surface pendant cette période (figure 5a). À la station de la vallée de Shediac, l'échantillonnage a été rare – presque inexistant – en hiver et au début du printemps (figures 5b, d), ce qui a rendu difficile la détection des profils saisonniers. De juin à novembre, les concentrations de nitrate en surface et la biomasse de phytoplancton étaient généralement près des valeurs normales. Cependant, en mai, les concentrations de nitrate et de chl *a* étaient inférieures aux valeurs de la climatologie (figures 5b, d), ce qui pourrait être attribuable à la phénologie de la floraison printanière par rapport à l'échantillonnage.

Les profils verticaux détaillés de nitrate et de chl *a* et/ou les profils verticaux des anomalies sont illustrés dans les figures 6 et 7 pour les stations de Rimouski et de la vallée de Shediac, respectivement. Vers la fin de la floraison printanière de phytoplancton, en mai, l'augmentation

des concentrations de chl a sous 50 m suggère une forte exportation de matière organique de la surface vers les couches plus profondes (figure 6). Les concentrations de nitrate de la couche intermédiaire (50 à 150 m) dépassaient la moyenne de 1999 à 2010 pendant la majeure partie de l'année à la station de Rimouski (figure 6) et l'intrusion sporadique de cette couche intermédiaire riche en éléments nutritifs dans la couche de surface au cours de la saison pourrait expliquer pourquoi la biomasse de phytoplancton est demeurée élevée. De telles intrusions sont clairement évidentes dans le profil de nitrate au cours de la saison de production (figure 6). Par conséquent, il est possible d'observer de faibles concentrations de nitrate près de la surface conjointement à de fortes concentrations de chl a, celles-ci alternant avec des valeurs de nitrate plus élevées et des valeurs de chl a plus faibles entre mai et septembre, ce qui ressemble aux observations d'années précédentes (figure 6). On a émis l'hypothèse que la force des marées de vive-eau et de morte-eau est un mécanisme potentiel responsable de ces remontées d'éléments nutritifs, mais une étude plus approfondie est nécessaire. Les concentrations de nitrate en profondeur étaient principalement inférieures à la moyenne à long terme aux stations de Rimouski (320 m, figure 6) et de la vallée de Shediac (75 m, figure 7).

La moyenne annuelle (mai à oct.) de l'abondance cellulaire totale de phytoplancton à la station de Rimouski était supérieure à la normale pour la première fois depuis 2009 et l'anomalie positive des diatomées était la plus élevée jamais enregistrée dans la série chronologique (figure 8). L'abondance de dinoflagellés était bien inférieure à la normale, fidèle à la tendance observée depuis 2011. En 2016, l'abondance relative des diatomées a presque atteint 80 % en avril tandis que selon la climatologie, leur abondance relative est inférieure à 10 % en avril et atteint environ 65 % en mai, ce qui suggère que la floraison a eu lieu un mois avant la climatologie (figure 9). La figure 10 illustre la phénologie des assemblages de phytoplancton et sa variabilité interannuelle. La floraison dominée par les diatomées qui a atteint son niveau maximal en août 2016 faisait partie des floraisons de diatomées de la fin de l'été et du début de l'automne les plus fortes jamais enregistrées (figure 10). Cette figure suggère également qu'un passage d'une communauté dominée par les flagellés à une communauté dominée par les diatomées a eu lieu en 2011 (aucune donnée en 2010) et que la composition de la communauté des dernières années ressemble davantage à celle observée de 1997 à 2003. De 2004 à 2009, la communauté était principalement dominée par des cellules flagellées (y compris des dinoflagellés) [figure 10].

À la station de la vallée de Shediac, la contribution des diatomées était assez faible tout au long de l'année et la contribution de dinoflagellés à la floraison automnale était particulièrement notable, près de 20 % (figure 9). Les flagellés étaient le groupe de phytoplancton dominant tout au long de l'année, excepté durant les deux floraisons de phytoplancton (figure 9). Alors que l'abondance des diatomées était sous la normale, les abondances de dinoflagellés, de flagellés et de ciliés ont affiché des anomalies positives en 2016, avec une moyenne annuelle (avril à octobre) de l'abondance totale de phytoplancton près des valeurs normales (figure 11). Cependant, il faut interpréter ces profils saisonniers et anomalies annuelles avec prudence compte tenu du fait que seulement huit échantillons de phytoplancton ont été analysés à cette station en 2016 et de l'absence d'échantillonnage en avril, mois durant lequel la floraison printanière des diatomées a généralement lieu.

Sous-régions du golfe

Un aperçu de la répartition saisonnière des anomalies des éléments nutritifs et de la biomasse de phytoplancton dans le GSL est présenté dans la figure 12. Les concentrations de nitrate de la couche de surface étaient proches de la normale ou inférieures à celle-ci au début de la saison de production et sont demeurées assez faibles pendant le reste de la saison, particulièrement dans le sGSL et l'eGSL, où l'indice de consommation d'éléments nutritifs au

printemps (calculé comme étant la différence de concentration de nitrate entre mars et juin) était près de la normale (figure 12). Dans l'oGSL, l'indice de consommation d'éléments nutritifs au printemps était principalement sous la normale, ce qui est probablement à l'origine des petites anomalies positives du nitrate observées dans cette sous-région en été et en automne (figure 12). La moyenne des concentrations de nitrate au printemps et à l'automne a été calculée pour chaque section et pour chaque couche de la colonne d'eau (moyenne P+A) afin de servir d'indicateur de la moyenne annuelle de la réserve d'éléments nutritifs disponible lors de la saison de production. Les concentrations moyennes de nitrate dans la couche profonde ont principalement affiché des anomalies positives dans le nord du GSL tandis que les concentrations moyennes de nitrate dans la couche intermédiaire froide (CIF) étaient généralement au-dessus de la moyenne dans l'oGSL et sous la moyenne dans l'eGSL (figure 12). Les anomalies de la biomasse de phytoplancton combinées pour l'été et l'automne diffèrent du patron d'anomalies observé pour le nitrate dans la couche de surface et la CIF. En effet, des anomalies négatives de chl *a* pour la saison de production était généralement associée à des anomalies positives du nitrate dans l'oGSL tandis que c'était l'inverse dans l'eGSL et le sGSL (figure 12).

Il existe des incohérences entre les observations aux stations de monitoring à haute fréquence et le long des sections. En été et en automne, des concentrations de nitrate et de chl *a* près de la normale ont été mesurées le long du TESL tandis que des anomalies négatives des concentrations annuelles de nitrate entre 0 et 50 m et des anomalies positives des concentrations annuelles de chl *a* entre 0 et 100 m ont eu lieu à la station de Rimouski (figures 5, 12). De plus, bien que des anomalies positives de la chl *a* aient été enregistrées le long du TIDM en été et en automne, la biomasse est demeurée près de la moyenne ou inférieure à celle-ci à la station de la vallée de Shediac (figures 5, 12). Ces incohérences sont probablement attribuables à la période du relevé du PMZA par rapport à la phénologie de la floraison printanière; il faut donc interpréter ces données avec prudence.

Les répartitions saisonnières détaillées des éléments nutritifs et de la biomasse de phytoplancton sont illustrées dans les figures 13 et 19. Peu importe la saison, les concentrations des éléments nutritifs en surface étaient les plus élevées dans l'estuaire et près de la Gaspésie, comme le prévoit généralement la climatologie (figures 13, 14, 15). Au fur et à mesure que les eaux estuariennes sont mélangées et diluées vers le GSL (principalement la partie sud), les concentrations d'éléments nutritifs diminuent tout comme le ratio N/P. Le changement de l'élément nutritif limitant – du phosphate dans les environnements d'eau douce à l'azote dans les environnements marins – entraîne une chute du ratio N/P de l'estuaire au golfe. Comme prévu, les concentrations de silicate et de phosphate ont suivi des tendances très semblables à celles du nitrate en matière de distribution et d'anomalies (figures 13, 14, 15). Les concentrations d'éléments nutritifs dans la CIF en été et en automne ont également tendance à être plus élevées dans l'estuaire et près de la Gaspésie ainsi que dans les régions profondes du GSL, probablement influencées par les eaux de fond riches en éléments nutritifs (figures 16, 17).

Semblable à la climatologie de 2001 à 2015, l'indice de consommation du niveau de nitrate le plus important entre mars et juin a eu lieu près de la Gaspésie (figure 18), ce qui suggère que cette région est parmi les régions les plus productives du GSL au printemps. En juin, les zones de forte biomasse de phytoplancton étaient localisées dans l'estuaire et dans le sGSL, ce dernier étant associé à d'importantes anomalies positives (figure 19). Les concentrations de chl *a* avaient largement diminué en octobre et novembre par rapport au mois de juin dans l'oGSL et le sGSL, mais elles étaient légèrement plus élevées à la fin de l'automne qu'au printemps dans l'eGSL. À la fin de l'automne, les concentrations de chl *a* les plus élevées ont été mesurées dans le sGSL (figure 19).

Téledétection de la couleur de l'océan

Les données satellites sur la couleur de l'océan fournissent des images à grande échelle de la biomasse de phytoplancton en surface (chl *a*) dans tout l'Atlantique Nord-Ouest. Nous avons utilisé des images-satellites produites aux 2 semaines de quatre sous-régions du GSL (noGSL, neGSL, le Plateau madelinien et le détroit de Cabot; voir la figure 3) pour compléter nos observations effectuées à bord de navires et fournir une couverture saisonnière ainsi qu'un contexte à grande échelle selon lesquels interpréter les données de nos relevés. L'imagerie de la couleur de l'océan fournit des renseignements sur le moment et l'étendue spatiale des floraisons printanière et automnale, mais elle ne fournit pas de renseignements sur les dynamiques qui prennent place sous les quelques premiers mètres de la colonne d'eau. De plus, les données satellites sur la couleur de l'océan pour l'estuaire du Saint-Laurent sont largement contaminées par des particules en suspension et des matières organiques colorées dissoutes qui rendent ces données trop incertaines pour être prises en compte. Les connaissances sur la dynamique du phytoplancton dans l'estuaire du Saint-Laurent sont obtenues à l'aide de la station d'échantillonnage à haute fréquence de Rimouski et les relevés océanographiques à grande échelle.

L'imagerie satellitaire suggère que la phénologie de la floraison printanière de phytoplancton varie dans les différentes sous-régions du GSL (figures 20, 21). Dans le détroit de Cabot et sur le Plateau madelinien, la floraison printanière a commencé au début mars et culminé durant la première moitié du mois d'avril tandis qu'elle a commencé entre la fin mars et le début avril, et culminé pendant la seconde moitié du mois d'avril dans le nord du GSL (figure 20). Dans les deux régions les plus au sud, la floraison printanière a eu lieu plus tôt en plus de durer plus longtemps et son ampleur a dépassé la moyenne à long terme (figures 20, 22). Dans le noGSL et le neGSL, le moment de la floraison printanière était semblable à celui prévu par la moyenne à long terme, mais elle a duré moins longtemps (figures 20, 22). Une anomalie très positive de la chl *a* dans le noGSL a été observée pendant la seconde moitié du mois d'avril (figures 20, 21); elle a été associée à l'amplitude de la floraison printanière la plus élevée jamais enregistrée à cet emplacement à ce moment de l'année (figure 22). La forte concentration de chl *a* mesurée en avril à la station de Rimouski a confirmé l'occurrence d'un tel pic de chl *a* dans l'oGSL (figure 5). La biomasse de phytoplancton intégrée au printemps (mars à mai) était près de la normale, à l'exception de l'anomalie positive dans le noGSL (figure 22). Les biomasses d'été (juin à août) et d'automne (septembre à novembre) étaient principalement inférieures à la moyenne à long terme (figures 22, 23). Cependant, cela contraste avec les observations *in situ* à la station de Rimouski qui indiquent qu'une forte floraison automnale a eu lieu dans l'estuaire (figure 5). En général, la biomasse de phytoplancton annuelle (mars à novembre) était principalement inférieure à la moyenne à long terme à l'exception de celle du noGSL, où la floraison printanière était assez forte pour éclipser les biomasses d'été et d'automne relativement faibles (figure 22).

Les anomalies de la chl *a* calculées à partir d'images satellites prises au cours de la même période que les relevés (1^{er} au 15 juin et 16 au 31 oct. 2016) correspondent généralement aux observations de terrain. Dans l'oGSL, la biomasse estivale sous la normale mesurée lors de l'échantillonnage (figure 12) confirme une floraison printanière plus courte que la moyenne à long terme dans le noGSL (figure 22). Sur le Plateau madelinien (sGSL) et le détroit de Cabot (eGSL), la durée de la floraison plus longue que la moyenne et son amplitude plus élevée (figure 22) corroborent la concentration de la biomasse supérieure à la moyenne mesurée dans le sGSL et l'eGSL au cours du relevé de juin (figure 12). En général, les images composites affichent principalement des anomalies négatives au début juin (figure 21) et des valeurs près de la normale à la fin octobre (figure 23) qui correspondent aux données sur le terrain (figure 12). Les écarts locaux mineurs entre les méthodes sont probablement attribuables à la

différence dans l'intégration verticale de la chl a. Comme indiqué ci-dessus, l'imagerie satellitaire n'intègre que la couche près de la surface tandis que les données à bord des navires intègrent les 100 premiers mètres de la colonne d'eau.

ZOOPLANCTON

Sites de monitoring à haute fréquence

En 2016, la biomasse de zooplancton à la station de Rimouski était légèrement sous la normale au printemps et semblable à la moyenne à long terme pendant la majeure partie de l'été. La biomasse était à son niveau le plus élevé à la fin de l'été, encore relativement près des valeurs de la climatologie, avant de diminuer jusqu'à atteindre des valeurs inférieures à la moyenne à long terme à l'automne (figure 24a). En général, la biomasse de zooplancton était inférieure à la climatologie à la station de Rimouski. De même, la station de la vallée de Shediac a également connu une biomasse annuelle inférieure à la moyenne en 2016, particulièrement au printemps et au début de l'été tandis que la biomasse la plus élevée a été observée en juillet. La biomasse a dépassé la climatologie seulement en automne, au moins pour les deux échantillons recueillis après la mi-octobre (figure 24b). La fréquence d'échantillonnage à la station de la vallée de Shediac est beaucoup moins élevée que celle à la station de Rimouski (9 contre 34) et pourrait ne pas révéler le profil saisonnier complet.

L'abondance totale de copépodes était beaucoup plus élevée que la moyenne à long terme à la station de Rimouski en 2016 de mai jusqu'à la fin de l'année et la variabilité saisonnière de l'assemblage de copépodes différait largement de la climatologie à long terme (figure 25a). Bien que *Calanus glacialis* et *Paraeuchaeta norvegica* figurent dans la climatologie, ils ne font plus partie des 95 % les plus abondants en 2016; ils ont été remplacés par *Acartia* spp., le taxon Aetideidae et *Metridia lucens*. Une abondance totale maximale près d'un ordre de grandeur plus élevée que la climatologie a été observée en juin et au début juillet, et elle a été associée à une augmentation de l'abondance relative d'*Oithona similis* (figures 25a, c). De plus, l'abondance relative de *Microcalanus* spp., de *Triconia borealis*, de *Pseudocalanus* spp. et d'espèces vivant en eaux profondes de la famille Aetideidae était supérieure à la climatologie pendant la majeure partie de l'année. L'abondance relative des *Calanus* spp., habituellement dominantes et de grande taille, était donc considérablement réduite par rapport à la climatologie (figures 25b, c). À la station de la vallée de Shediac, la variabilité saisonnière de l'abondance totale de copépodes en 2016 était semblable à la moyenne à long terme au printemps et au début de l'été, mais elle a montré des variations d'amplitude supérieure à la normale à la fin de l'été et en automne (figure 26a). L'abondance de copépodes était particulièrement faible en septembre par rapport à la climatologie (figure 26a). Comme le prévoyait la climatologie, l'*O. similis* a dominé l'abondance de copépodes pendant la majeure partie de l'année (figures 26b, c). Une augmentation de l'abondance relative de *Pseudocalanus* spp. et la présence de nouveaux taxons dans la liste des dix taxons les plus abondants, comme *Triconia borealis* et *Metridia lucens*, ont entraîné une importante baisse de l'abondance relative des *Calanus* spp. par rapport à la climatologie de 1999 à 2010 (figures 26b, c). En 2016, *Calanus glacialis* ne faisait pas partie des dix taxons les plus abondants. Cette importante baisse de l'abondance relative des *Calanus* spp. par rapport à la moyenne à long terme aux deux sites est liée à une augmentation de l'abondance de petits taxons (*Pseudocalanus* spp. aux deux stations; *Microcalanus* spp. et *O. similis* à la station de Rimouski) et une diminution de l'abondance des *Calanus* spp. aux deux sites (figures 26b, c).

Pendant la majeure partie de l'année, l'abondance de *C. finmarchicus* était relativement stable et sous la moyenne saisonnière à long terme à la station de Rimouski, à l'exception de deux observations en juin qui étaient essentiellement dominées par de jeunes stades copépodites (CI

à CIII) dans des proportions plus grandes que la climatologie (figures 27a-c). Les augmentations à la fin de l'été et en automne de la proportion d'adultes et des stades CI à CIII suggèrent la présence possible d'une deuxième et d'une troisième génération (figure 27c). À la station de la vallée de Shediac, la variabilité saisonnière de la structure des stades copépodites était généralement semblable à la climatologie, mais le mois de juillet a été marqué par la quasi-absence des jeunes stades (figure 27f). Cela a entraîné une abondance totale de *C. finmarchicus* largement inférieure à la climatologie en été, période pendant laquelle un pic d'abondance est habituellement observé (figure 27d).

L'abondance du copépode de grande taille, *C. hyperboreus*, était généralement supérieure à la climatologie saisonnière en 2016 à la station de Rimouski, son abondance maximale ayant été observée entre la fin de l'été et le début de l'automne (figure 28a). La structure des stades copépodites en 2016 était relativement semblable à la climatologie, mais la contribution du stade CIV était plus élevée et les contributions des stades CV et CVI étaient inférieures en été et en automne (figures 28b, c). À la station de la vallée de Shediac, l'abondance de *C. hyperboreus* était inférieure à la moyenne saisonnière au printemps et en été, et pratiquement identique à la climatologie en automne (figure 28d). La structure des stades copépodites était également semblable à la moyenne à long terme, mais aucun spécimen n'a été détecté avant mai et aucun échantillon n'a été recueilli après le début novembre, ce qui limite notre capacité à décrire le profil saisonnier de la structure de la population à ce site (figures 28e, f). En général, la structure stable des stades à partir de juillet aux deux sites indique une population en diapause, principalement au stade CIV.

L'abondance des *Pseudocalanus* spp. à la station de Rimouski en 2016 était largement supérieure à la climatologie de mai à novembre, avec un pic exceptionnel d'abondance en juin, lequel était dominé par les stades CI à CIII (figure 29a) et coïncidait avec les deux observations d'abondance élevée des jeunes stades de *C. finmarchicus* (figure 27a). Le profil saisonnier de la structure des stades de *Pseudocalanus* spp. était semblable à la climatologie pendant toute l'année. Le moment du pic des jeunes stades au printemps a eu lieu légèrement plus tôt que pour la climatologie, avec une proportion supérieure de jeunes stades copépodites (CI à CIII; figures 29b, c). À la station de la vallée de Shediac en 2016, deux observations effectuées en été ont démontré des abondances bien au-dessus de la climatologie. Par la suite, l'abondance était semblable à la moyenne à long terme (figure 29d). Aucune donnée n'a été recueillie à la fin de l'automne et aucune analyse des stades n'a été réalisée pour cette espèce à la station de la vallée de Shediac.

Sous-régions du golfe

Pour la deuxième année consécutive, les biomasses totales moyennes de zooplancton lors des relevés du printemps et de l'automne de 2016 étaient pratiquement les mêmes pour les deux saisons et parmi les plus faibles observées entre 2000 et 2016 dans les trois sous-régions du GSL (figure 30). L'abondance de *C. finmarchicus* était faible en automne, mais pas au printemps, où elle était près de la moyenne globale dans toutes les sous-régions (figure 31). En 2016, les abondances de *C. hyperboreus* étaient plus élevées que la normale dans l'oGSL; elles ont même atteint le niveau le plus élevé depuis 2000 au printemps. Cependant, l'abondance de ce large taxon a affiché un creux record au printemps dans le sGSL et était près de la moyenne pendant les deux saisons dans l'eGSL (figure 32). Les abondances de *Pseudocalanus* spp. dans l'oGSL ont semblé augmenter lentement au cours des années et 2016 n'échappe pas à la règle. Dans l'eGSL et le sGSL, certaines des abondances les plus élevées de la série chronologique ont été enregistrées au printemps et les abondances étaient près de la moyenne en automne (figure 33). L'abondance très élevée de *Pseudocalanus* spp. au printemps dans le sGSL est particulièrement remarquable, étant près de deux fois plus

élevée que l'abondance la plus importante mesurée jusqu'à maintenant (figure 33). Les profils de variabilité interannuelle pour ces trois principales espèces de copépodes concordent généralement avec ceux observés aux stations de monitoring à haute fréquence (cf. station de Rimouski et oGSL, station de la vallée de Shediac et sGSL), compte tenu de l'abondance généralement faible de *C. finmarchicus* (figures 27a, d) et de l'abondance extrêmement élevée de *Pseudocalanus* spp. au printemps aux deux stations (figures 29a, d). De plus, l'abondance élevée de *C. hyperboreus* dans l'oGSL au cours du relevé de juin concorde avec son abondance supérieure à la normale en été à la station de Rimouski (figure 28a).

Phénologie des copépodes

Nous présentons un profil saisonnier détaillé des proportions relatives des stades copédites de *C. finmarchicus*, une espèce de copépode importante, à la station de Rimouski de 1994 à 2016 en tant qu'indicateur de changements dans la phénologie du développement du zooplancton dans le GSL (figure 34). En général, il existe une tendance évidente vers le devancement du développement des populations de *C. finmarchicus* à la station de Rimouski (figure 34). Le développement le plus précoce depuis le début de la série chronologique a été observé en 2016. L'augmentation de la proportion des stades adultes (CVI) au début mai était la plus précoce observée depuis 1994, ce qui suggère que le moment de sortie de la diapause était également le plus précoce observé jusqu'à maintenant. Le développement précoce de la cohorte de 2016 a donné lieu à la présence d'une deuxième génération, comme le suggère l'importante proportion de stades adultes dans la population en juillet et en août (figure 34).

Tableaux synoptiques

Une synthèse des indices de zooplancton standard du PMZA (abondances de *C. finmarchicus*, des *Pseudocalanus* spp., ensemble des copépodes et des non-copépodes), réalisée à partir des anomalies annuelles normalisées de l'abondance, est présentée sur la forme d'un tableau synoptique (figure 35). Ces anomalies en 2016 ont démontré une continuité des tendances ayant vu le jour en 2009 pour *C. finmarchicus* et *Pseudocalanus* spp. et en 2006 pour l'ensemble des copépodes et des non-copépodes. En 2016, les anomalies de l'abondance annuelle de *C. finmarchicus* étaient principalement négatives; l'abondance annuelle des *Pseudocalanus* spp. et de l'ensemble du zooplancton (autant les copépodes et les non-copépodes) étaient supérieures à la moyenne à long terme à l'échelle du GSL. Les anomalies positives les plus importantes des indices de *Pseudocalanus* spp. et de l'ensemble des copépodes sont survenues à la station de Rimouski tandis que l'anomalie positive de l'indice de l'ensemble des non-copépodes était le plus élevé dans l'eGSL (figure 35).

Les anomalies annuelles normalisées de l'abondance pour six indices de zooplancton supplémentaires (*C. hyperboreus* et cinq groupes de zooplancton : petits calanoïdes, grands calanoïdes, cyclopoïdes, espèces d'eaux chaudes et espèces d'eaux froides ou arctiques) sont présentées dans la figure 36. Cette année, ces anomalies annuelles étaient de nouveau relativement uniformes entre les lieux d'échantillonnage à haute fréquence (stations de Rimouski et de la vallée de Shediac) et les sous-régions du GSL correspondantes (figure 36). L'abondance de petits calanoïdes, de cyclopoïdes et d'espèces de copépodes propres aux eaux chaudes a démontré des anomalies positives partout dans le GSL en 2016, comme c'est généralement le cas depuis 2008 pour les petits calanoïdes (principalement à cause de *Pseudocalanus* spp.; voir la figure 35) et les espèces de copépodes propres aux eaux chaudes. Cependant, 2016 représente la première année pour laquelle l'anomalie positive est répandue à travers le GSL pour les cyclopoïdes (y compris les genres *Triconia* et *Oncaea*) [figure 36]. Les anomalies positives associées aux copépodes d'eaux chaudes étaient les plus fortes enregistrées jusqu'à maintenant dans l'oGSL et à la station de Rimouski en 2016 (figure 36), où

l'abondance de *M. lucens* était légèrement supérieure à la climatologie (figures 25b, c). *M. lucens* était aussi le contributeur principal des anomalies positives des copépodes d'eaux chaudes ailleurs dans le GSL, conjointement avec *Centropages* spp. dans le sGSL et *Paracalanus* spp. dans l'eGSL.

Des anomalies très négatives ont principalement été observées pour les grands calanoïdes dans le sGSL (y compris la station de la vallée de Shediac) depuis 2009. Des anomalies négatives ont également été observées en 2016 dans le sGSL, mais elles n'étaient pas aussi importantes que par le passé (figure 36). Les autres sous-régions du GSL ont affiché des anomalies près de la normale ou négatives depuis 2009, mais dans une mesure moindre que dans le sGSL. En 2016, l'oGSL a affiché des anomalies positives pour les grands calanoïdes et *C. hyperboreus*, ce dernier étant également plus abondant que la moyenne à long terme à la station de Rimouski et dans l'eGSL (figure 36). De plus, une anomalie positive a été observée pour la première fois depuis 2010 dans l'oGSL pour les espèces de copépodes propres aux eaux froides. Dans l'eGSL, l'anomalie positive pour les espèces d'eaux froides suit la tendance ayant vu le jour en 2007 (figure 36). Il convient de noter que les indices d'espèces d'eaux chaudes et d'eaux froides ou arctiques reposent sur des taxons généralement rares, ce qui sous-entend que des variations mineures de l'abondance pourraient entraîner des variations importantes de leurs anomalies.

DISCUSSION

CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES

En plus de l'effet de la stratification de la colonne d'eau sur la dynamique du phytoplancton, les propriétés thermiques des masses d'eau de surface, intermédiaires (CIF, 30 à 125 m) et profondes jouent un rôle dans la définition de la dynamique du zooplancton (Plourde *et al.* 2002). Galbraith *et al.* (2017) ont fait état des conditions physiques prévalentes dans le GSL en 2016. Nous résumons ici leurs principaux constats. Parmi ceux-ci se trouve l'observation d'un début d'hiver doux; la couche de mélange de surface n'était pas près du point de congélation dans tout le GSL, ce qui a entraîné le volume de couverture de glace de mer se situant au troisième rang des volumes les plus faibles depuis 1969. De mai à novembre, la moyenne des températures de surface du GSL était près de la normale ou supérieure à celle-ci, avec des records élevés de température dans l'estuaire. La température de la CIF était également plus élevée qu'à l'habitude. La somme des anomalies normalisées des différents indices climatiques pour les trois couches de la colonne d'eau du GSL a révélé que toutes les couches (surface, intermédiaire et profonde) affichaient des conditions plus chaudes que la normale, le réchauffement le plus remarquable se trouvant dans les eaux profondes. La crue annuelle moyenne du fleuve Saint-Laurent, combinée aux affluents de l'estuaire, était légèrement supérieure à la normale en 2016. Le présent document traite des conditions chimiques et biologiques dans le GSL dans le contexte de ces conditions physiques.

En général, les moyennes de concentration de nitrate en surface étaient sous la moyenne à long terme en mars et en juin à l'échelle du GSL. Le mélange hivernal est un processus essentiel pour faire remonter à la surface les eaux profondes riches en éléments nutritifs. Dans le GSL, cette convection hivernale est partiellement attribuable à la perte de flottabilité (refroidissement et diminution du ruissellement), au rejet de saumure associé à la formation de glace de mer et au mélange induit par le vent avant la formation de glace (Galbraith 2006). Cependant, les eaux de surface sont demeurées relativement chaudes tout au long de l'hiver et la formation de glace de mer était minimale, ce qui suggère une convection hivernale plus faible que la normale, ce qui a probablement entraîné une stratification de la colonne d'eau plus importante qu'à l'habitude au début du printemps. Par conséquent, il semble que la faible

convection hivernale n'ait pas permis le renouvellement complet des éléments nutritifs en surface avant la floraison printanière dans la plupart des régions du GSL.

Des anomalies très positives des éléments nutritifs en eaux profondes (> 200 m) ont été observées depuis 2012 dans toutes les régions sauf dans l'estuaire; elles sont associées à des intrusions d'eau très chaude et très salée dans le GSL par le détroit de Cabot (Galbraith *et al.* 2017). Ces concentrations en eaux profondes supérieures à la normale sont probablement liées à la combinaison d'une thermocline plus élevée dans la colonne d'eau, d'une stratification plus forte à la fin de l'été et en automne, et d'une composition des masses d'eau comportant plus d'eau du talus continental que d'eau du plateau continental du Labrador (Galbraith *et al.* 2017). La remontée de ces eaux riches en éléments nutritifs pourrait alimenter les producteurs primaires pendant la saison de production. Cependant, le réchauffement des eaux de fond et leur teneur en éléments nutritifs supérieure à la normale pourraient également influencer l'acidification déjà signalée dans la région (Mucci *et al.* 2011), ce qui pourrait avoir des conséquences négatives sur les pêches et les activités aquacoles ainsi que sur la productivité et la biodiversité globales dans le GSL.

PHYTOPLANCTON

Ce faible mélange hivernal et la faible concentration en éléments nutritifs qui en découlent au début de la floraison printanière pourraient suggérer une productivité printanière relativement faible dans le GSL. Cependant, selon les images satellites, la biomasse printanière (mars à mai) était près de la normale à l'échelle du GSL. La biomasse printanière de chl *a* était même au-dessus de la normale dans le noGSL et les données recueillies sur le terrain à la station de Rimouski ont confirmé l'occurrence d'une forte floraison de phytoplancton. Sur le Plateau madelinien et dans le détroit de Cabot, la floraison a commencé plus tôt que ne le prévoyait la climatologie et les données sur le terrain à la station de Rimouski ont indiqué que la floraison a aussi commencé plus tôt dans l'estuaire. Le moment de la floraison printanière dans l'estuaire du Saint-Laurent est reconnu comme étant fortement influencé par l'intensité du ruissellement et la turbidité liée à l'eau douce (Levasseur *et al.* 1984, Therriault et Levasseur 1985; Zakardjian *et al.* 2000, Le Fouest *et al.* 2010, Mei *et al.* 2010). La crue printanière légèrement supérieure à la normale accompagnée d'une plus mince couche de mélange froide en surface en hiver a probablement entraîné une stratification précoce dans le haut de la colonne d'eau dans l'estuaire, ce qui pourrait expliquer le devancement de la production primaire dans l'estuaire, particulièrement considérant le faible couvert de glace (Ferland *et al.* 2011; Le Fouest *et al.* 2005). La faible couverture de glace et la stratification précoce en raison d'une faible convection hivernale pourraient être responsables du devancement de la production primaire ailleurs dans le GSL et expliquer les observations effectuées sur le Plateau madelinien et dans le détroit de Cabot. De plus, les observations satellitaires ont révélé que la floraison printanière a commencé à la fin février dans la région du détroit de Cabot, avant le relevé du PMZA de mars. Par conséquent, dans le sGSL et l'eGSL, où ont été mesurées la plupart des anomalies négatives de la concentration de nitrate, un devancement de la floraison printanière avant le relevé de mars pourrait partiellement expliquer la biomasse printanière près de la moyenne et la faible concentration d'éléments nutritifs. Une faible biomasse printanière de zooplancton, comme celle observée à l'échelle du GSL en 2016, et une réduction de la pression de broutage pourraient également permettre la croissance du phytoplancton jusqu'à des valeurs près de la normale malgré une faible concentration d'éléments nutritifs au printemps.

Malgré une biomasse printanière relativement normale, la chl *a* était principalement sous la moyenne pour le reste de l'année dans le GSL, à l'exception de la floraison de la fin de l'été/début de l'automne observée à la station de Rimouski. Les diatomées se trouvent habituellement dans des environnements riches en éléments nutritifs et bien mélangés

puisqu'elles dépendent principalement du nitrate pour satisfaire leur besoin d'azote; les cellules plus petites telles que les flagellés et les dinoflagellés sont associées à des environnements stratifiés pauvres en éléments nutritifs et utilisent principalement des formes réduites d'azote, comme l'ammonium (Levasseur *et al.* 1984, Li et Harrison 2008). Par conséquent, l'environnement chaud, stratifié et pauvre en éléments nutritifs qui prévalait presque partout dans le GSL en 2016 a possiblement favorisé les communautés de phytoplancton flagellé. Il est intéressant de noter que les abondances relatives de flagellés et de dinoflagellés étaient supérieures à la moyenne à long terme à la station de la vallée de Shediac d'avril à novembre 2016 et que les ratios diatomées/flagellés ont affiché des anomalies négatives. Le PMZA n'a pas documenté régulièrement la composition taxonomique de la communauté de phytoplancton ailleurs dans le GSL et il faut être prudent lors de la généralisation de ces résultats pour les appliquer à d'autres sous-régions du GSL. Néanmoins, les communautés dominées par les flagellés pourraient être responsables de la faible biomasse de phytoplancton au cours de l'été et de l'automne 2016 dans le GSL.

À la station de Rimouski, la biomasse de phytoplancton était généralement dominée par les diatomées jusqu'à la fin de l'automne en 2016. Les diatomées étaient responsables des fortes floraisons enregistrées à ce site au printemps et à la fin de l'été et peut-être dans l'oGSL au printemps. Une deuxième floraison de phytoplancton peut avoir lieu lorsque les vents sont assez forts à la fin de l'été et au début de l'automne pour dissiper la stratification et faire remonter à la surface les eaux riches en éléments nutritifs, ceci étant particulièrement vrai si l'on considère l'anomalie positive des concentrations de nitrate en eaux profondes observées à plusieurs endroits dans le GSL en 2016. Les observations des profils verticaux de la salinité (voir la figure 73 dans Galbraith *et al.* 2017) et du nitrate enregistrés à la station de Rimouski ont indiqué que la forte floraison automnale avait suivi l'intrusion d'eau riche en éléments nutritifs provenant d'eaux profondes dans la couche de surface. La variabilité interannuelle de l'assemblage de phytoplancton saisonnier indique que les diatomées ont composé la plus grande proportion de l'abondance totale de la fin du printemps au début de l'automne de 2011 à 2016 tandis qu'elles en représentaient une proportion relativement faible (< 50 %) de 2003 à 2009 (figure 10). Il est intéressant de noter que la période de 2011 à 2016 est associée à des concentrations de nitrate en surface près de la moyenne ou supérieures à celle-ci en automne dans l'oGSL tandis que les concentrations d'éléments nutritifs à l'automne étaient généralement sous la moyenne entre 2003 et 2009 (figure 12). Par conséquent, les paramètres environnementaux modifiant le déclenchement de la stratification et son intensité tout au long de la saison de production pourraient potentiellement jouer un rôle essentiel dans la détermination de la biomasse annuelle de phytoplancton, de la composition des communautés et de la possibilité de l'occurrence d'une deuxième floraison.

ZOOPLANCTON

Parmi les caractéristiques les plus notables de 2016 se trouve la très faible biomasse de zooplancton pour une deuxième année consécutive au printemps et à l'automne à l'échelle du GSL. Il est probable qu'elle soit associée à la diminution de l'abondance des espèces de zooplancton de grande taille, particulièrement dans le sGSL. Cependant, en dépit de cette diminution généralisée de l'abondance des *Calanus* spp., l'abondance des grands calanoïdes était supérieure à la climatologie dans l'oGSL, principalement en raison du *C. hyperboreus*. L'hypothèse a été émise que le ruissellement printanier élevé du fleuve Saint-Laurent pourrait entraîner la diminution du transport des espèces de *Calanus* dans le sGSL (Runge *et al.* 1999, Galbraith *et al.* 2017). En 2016, la crue était légèrement supérieure à la normale, ce qui pourrait ainsi expliquer partiellement l'anomalie négative des grands calanoïdes dans le sGSL malgré leur abondance relativement élevée dans la région source (oGSL). Les stratégies liées au cycle vital différent entre les espèces de copépodes de grande taille et le moment de la reproduction

par rapport à la crue – compte tenu de son influence sur la circulation et le transport dans les masses d'eau – pourrait expliquer les différences entre les patrons de distribution de ces espèces. La variation des masses d'eau de fond pénétrant le GSL par le détroit de Cabot (Galbraith *et al.* 2017) est une autre hypothèse qui pourrait expliquer la faible abondance de calanoïdes de grande taille dans le sGSL. De plus, à la station de la vallée de Shediac, et potentiellement ailleurs dans le sGSL, la contribution des diatomées à l'assemblage de phytoplancton au printemps et en été était inférieure à la moyenne à long terme en 2016, ce qui pourrait avoir contribué à l'anomalie négative de l'indice des grands calanoïdes observés à cet endroit.

La pression exercée sur les grands calanoïdes par les prédateurs comme l'importante cohorte de sébastes (*Sebastes mentella*), détectée pour la première fois en 2013 et observée de nouveau en 2016 dans le nord du GSL (Bourdages *et al.* 2017), pourrait également avoir contribué à la biomasse de zooplancton relativement faible en 2016. Les petits sébastes (< 25 cm) se nourrissent principalement de grands calanoïdes et d'autres petits crustacés (Gonzalez *et al.* 2000), et il se peut qu'ils soient un nouveau prédateur dont la menace est assez forte pour exercer une pression sur les populations de larges calanoïdes dans le GSL au cours des dernières années. Le grand copépode riche en énergie *C. finmarchicus* a affiché une autre année d'anomalies négatives répandues (stations de Rimouski et de la vallée de Shediac, eGSL), mais dans une mesure moindre qu'en 2015. Au fur et à mesure qu'ils grandissent et habitent des eaux plus profondes, les sébastes pourraient changer leur comportement alimentaire et sélectionner des proies plus larges (Brassard *et al.* 2017), réduisant ainsi la pression sur *C. finmarchicus* par rapport aux observations des quelques dernières années. *Calanus hyperboreus*, en raison de sa plus grande taille et du fait qu'il soit retrouvé en eaux plus profondes (Plourde *et al.* 2003), pourrait devenir une meilleure proie plus tard dans l'ontogénie du sébaste et, par conséquent, moins subir actuellement les conséquences de sa prédation. Cependant, les études sur l'effet de la prédation du sébaste sur les populations de grands calanoïdes dans le GSL manquent pour valider ces hypothèses.

Malgré la faible biomasse de zooplancton, l'abondance générale de zooplancton a augmenté tout comme l'abondance d'espèces de copépodes et de non-copépodes (stades larvaires d'invertébrés benthiques, de nombreux carnivores qui se nourrissent d'autres espèces de zooplancton et des taxons qui se nourrissent de petites particules), ce qui suggère une tendance générale vers l'augmentation des espèces de zooplancton plus petites, ce qui pourrait avoir des répercussions sur le réseau trophique pélagique et le couplage pélogo-benthique. La tendance vers une dominance des taxons de plus petite taille a vu le jour en 2008, comme l'indique l'indice des petits calanoïdes, et était principalement attribuable aux *Pseudocalanus* spp. Au cours du printemps 2016, l'abondance des *Pseudocalanus* spp. était au-dessus de la normale dans toutes les sous-régions du GSL. L'abondance de *C. finmarchicus* constamment sous la normale (depuis 2009) partout dans le GSL pourrait avoir favorisé le recrutement des *Pseudocalanus* spp. au printemps et au début de l'été en diminuant la concurrence pour des ressources alimentaires adéquates, notamment en raison de la faible contribution des diatomées à la floraison printanière – de laquelle dépendent ces deux copépodes – observée à la station de la vallée de Shediac. Des profils d'anomalies inverses peuvent être observés pour ces copépodes pendant la période d'étude (1999 à 2016; figure 35), ce qui pourrait suggérer qu'il existe bel et bien une compétition entre ces espèces. *Calanus hyperboreus* représente généralement une grande partie de la biomasse printanière dans le sGSL et son abondance est parmi les plus faibles enregistrées au printemps 2016. Cela pourrait réduire encore davantage la concurrence pour *Pseudocalanus* spp. dans cette région.

La température chaude de toute la colonne d'eau tout au long de l'année 2016 pourrait également avoir entraîné des changements dans la composition des communautés de

zooplancton. Les espèces de copépodes propres aux eaux chaudes ont affiché la plus grande anomalie positive de la série chronologique en 2016 partout dans le GSL, plus particulièrement dans l'oGSL et à la station de Rimouski. Aux stations de Rimouski et de la vallée de Shediac, ces anomalies étaient principalement attribuables à *Metridia lucens*, qui a remplacé les espèces d'eaux froides ou arctiques comme *C. glacialis* parmi les espèces de copépodes dominantes. *M. lucens* est un important migrateur vertical principalement associé à des conditions tempérées. Par conséquent, il a peut-être profité d'une couche profonde devenue plus chaude et plus salée ainsi que des conditions plus chaudes à la surface qui sont devenues typiques dans le GSL au cours des dernières années. Malgré les conditions chaudes, le nord du GSL a affiché des anomalies positives pour les espèces de copépodes d'eaux froides ou arctiques en raison de l'abondance relativement élevée de *M. longa* (données non montrées). Leurs jeunes stades copépodites mésopélagiques sont connus pour exploiter les agrégats de phytoplancton qui sédimentent et la microfaune connexe (Grønvik et Hopkins 1984, Plourde *et al.* 2002). Les profils verticaux de la biomasse de phytoplancton enregistrés à la station de Rimouski indiquent une importante sédimentation de matière organique après la floraison printanière, ce qui pourrait avoir favorisé le développement des jeunes stades copépodites de *M. longa* dans l'oGSL malgré les masses d'eau chaudes au cours de l'été et de l'automne 2016 (Galbraith *et al.* 2017). Du côté est, les températures de la couche de surface et de la CIF étaient généralement près de la normale tout au long de l'année (voir la figure 65 dans Galbraith *et al.* 2017) et elles ont potentiellement favorisé la croissance des espèces d'eaux froides ou arctiques. Cependant, puisque ces relations de cause à effet entre la température et la composition des communautés de zooplancton n'ont pas encore été abordées dans le contexte du PMZA, elles demeurent hypothétiques.

En plus de leur effet potentiel sur l'assemblage de zooplancton, les conditions environnementales locales pourraient également avoir déclenché le développement beaucoup plus précoce de *C. finmarchicus* par rapport aux années précédentes à la station de Rimouski, ce qui pourrait avoir des conséquences sur les niveaux trophiques supérieurs. Les conditions chaudes dans la CIF et la couche profonde ont probablement causé l'émergence précoce des stades CV de la diapause et leur mue vers le stade CVI. De plus, le devancement de la floraison de phytoplancton à la station de Rimouski en raison de l'hiver doux pourrait avoir favorisé une reproduction précoce et amélioré la survie et le développement de la progéniture. La croissance et le développement de *Pseudocalanus* spp. dépendent également de la phénologie de la floraison de phytoplancton et ils pourraient avoir eu lieu plus tôt que d'habitude à la station de Rimouski en 2016, comme le suggère la forte contribution de stades précoces à l'abondance totale en mai par rapport au mois de juin dans la climatologie. Cette production précoce pourrait permettre l'occurrence de deux générations ou plus dans la même année pour *C. finmarchicus* et *Pseudocalanus* spp. à la station de Rimouski, comme le démontrent les courtes périodes avec une grande proportion d'adultes et les pics de stades copépodites précoces qui en résultent pour ces deux taxons. Le développement de ces cohortes de copépodes successives a potentiellement été favorisé par l'occurrence de deux floraisons de phytoplancton à la station de Rimouski en 2016. En général, la dynamique des communautés de zooplancton dans le GSL semblent être modulée par un ensemble de facteurs dont la modification des propriétés des masses d'eau, la disponibilité de la nourriture, la compétition et la prédation. Cependant, on ne comprend pas encore très bien l'importance relative de ces facteurs.

SOMMAIRE

Le présent document traite des conditions chimiques et biologiques (plancton) dans le GSL en 2016 dans le contexte d'un fort réchauffement ayant commencé en 2010. Les données de 2016 sont comparées aux observations de la série temporelle.

- En général, les moyennes de concentration de nitrate en surface (0 à 50 m) des sections échantillonnées étaient sous la moyenne à long terme en mars et en juin à l'échelle du GSL en raison de l'hiver doux. Cependant, des anomalies très positives des éléments nutritifs en eaux profondes (> 200 m) ont été observées depuis 2012 dans toutes les régions sauf dans l'estuaire et elles sont associées à des intrusions d'eau très chaude et très salée dans le GSL par le détroit de Cabot.
- La floraison printanière a eu lieu plus tôt et a duré plus longtemps que la normale sur le Plateau madelinien et dans le détroit de Cabot alors qu'elle a eu lieu au moment habituel et a duré moins longtemps dans le nord du GSL. En général, l'ampleur et l'amplitude de la floraison étaient supérieures à la climatologie dans le GSL. Malgré tout, la moyenne annuelle de la chl *a* était généralement inférieure à la moyenne historique dans le GSL sauf dans l'oGSL, où la biomasse printanière de phytoplancton a atteint un niveau record.
- La stratification précoce dans le haut de la colonne d'eau à la station de Rimouski, en raison de la faible convection hivernale et de l'importante crue printanière, a entraîné un devancement de la floraison (environ deux mois plus tôt que la climatologie). La biomasse annuelle de phytoplancton élevée et l'occurrence d'une seconde floraison à la fin de l'été/début de l'automne ont été associées à une anomalie positive des diatomées à cette station. À la station de la vallée de Shediac, la biomasse annuelle était près de la normale tandis que les dinoflagellés et les flagellés affichaient des anomalies très positives.
- La biomasse de zooplancton était sous la normale à l'échelle du GSL au printemps et en automne en raison de la diminution des populations de copépodes de grande taille, en l'occurrence *C. finmarchicus* partout dans le GSL et *C. hyperboreus* dans le sGSL. Cette diminution aurait probablement un effet positif sur les petits calanoïdes, particulièrement *Pseudocalanus* spp., qui affichaient des anomalies très positives dans l'ensemble du GSL.
- L'abondance annuelle de *C. hyperboreus* était au-dessus de la normale à la station de Rimouski et dans l'oGSL en 2016. La forte contribution des diatomées à la biomasse annuelle de phytoplancton combinée à une possible réduction de la pression exercée par les prédateurs, notamment le sébaste, est une hypothèse pouvant potentiellement expliquer cette abondance élevée.
- Des anomalies positives dans les indices des copépodes d'eaux chaudes ont été mesurées à l'échelle du GSL en 2016 et elles étaient particulièrement importantes dans l'oGSL en raison de l'augmentation de l'abondance de *M. lucens*. Ces valeurs extrêmes représentent le maximum historique d'une tendance ayant vu le jour en 2008.
- Des anomalies très positives – parmi les plus élevées enregistrées depuis le début de la série temporelle – pour les espèces de copépodes d'eaux froides ou arctiques ont été observées dans l'oGSL et l'eGSL et associées à *M. longa*.
- Les conditions locales à la station de Rimouski ont déclenché le développement beaucoup plus précoce du *C. finmarchicus* par rapport aux années précédentes, ce qui pourrait avoir des conséquences sur les niveaux trophiques supérieurs. En 2016, cette espèce clé a affiché le développement le plus précoce au cours de la série temporelle débutant en 1994.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Jean-Yves Couture, Sylvie Lessard, Marie-France Beaulieu, Caroline Lebel, Isabelle St-Pierre et Caroline Lafleur pour la préparation et la standardisation des données sur le phytoplancton et le zooplancton. Les données utilisées dans le présent rapport n'existeraient pas sans le travail de François Villeneuve et de son équipe du PMZA (Sylvain Chartrand, Rémi Desmarais, Marie-Lyne Dubé, Yves Gagnon, Line McLaughlin, Roger Pigeon, Michel Rousseau, Félix St-Pierre, Liliane St-Amand, Paul Nicot, David Leblanc et Brian Boivin) qui organisent et exécutent les relevés du PMZA ainsi que l'analyse des échantillons. Nous remercions également Jeff Spry et Kevin Pauley d'avoir fourni les données pour la station de la vallée de Shediac et l'unité de télédétection de l'IOB pour les images-satellites composites. Nous sommes reconnaissants envers Catherine Johnson et Pierre Pepin pour leurs révisions critiques.

RÉFÉRENCES

- Arun Kumar, S.V.V., Babu, K.N., et Shukla, A.K. 2015. Comparative analysis of chlorophyll-a distribution from SeaWiFS, MODIS-Aqua, MODIS-Terra and MERIS in the Arabian Sea. *Mar. Geod.* 38: 40–57.
- Barnes, B., et Hu, C. 2016. Dependence of satellite ocean color data products on viewing angles: A comparison between SeaWiFS, MODIS, and VIIRS. *Remote Sens. Environ.* 175:120–129.
- Bourdages, H., Brassard, C., Desgagnés, M., Galbraith, P., Gauthier, J., Légaré, B., Nozères, C. et Parent, E. 2017. [Résultats préliminaires du relevé multidisciplinaire de poissons de fond et de crevette d'août 2016 dans l'estuaire et le nord du golfe du Saint-Laurent](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2017/002. v + 88 p.
- Brassard, C., Bourdages, H., Duplisea, D., Gauthier, J., et Valentin, A. 2017. [L'état des stocks de sébaste \(*Sebastes fasciatus* et *S. mentella*\) de l'unité 1 \(golfe du Saint-Laurent\) en 2015](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2017/023. ix + 54 p.
- Brickman, D., et Petrie, B. 2003. [Nitrate, silicate and phosphate atlas for the Gulf of St. Lawrence](#). Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 231: xi + 152 pp.
- Devine, L., Plourde, S., Starr, M., St-Pierre, J.-F., St-Amand, L., Joly, P., et Galbraith, P.S. 2015. [Chemical and biological oceanographic conditions in the Estuary and Gulf of St. Lawrence during 2014](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2015/071. v + 46 pp.
- Devine, L., Scarratt, M., Plourde, S., Galbraith, P.S., Michaud, S., et Lehoux, C. 2017. [Chemical and biological oceanographic conditions in the Estuary and Gulf of St. Lawrence during 2015](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/034. v + 48 pp.
- Ferland, J., Gosselin, M., et Starr, M. 2011. Environmental control of summer primary production in the Hudson Bay system: The role of stratification. *J. Mar. Syst.* 88(3): 385–400.
- Galbraith, P. S. 2006. Winter water masses in the Gulf of St. Lawrence. *J. Geophys. Res.* 111, C06022, doi:10.1029/2005JC003159.
- Galbraith, P. S., Desmarais, R., Pigeon, R., et Cantin, S. 2006. [Ten years of monitoring winter water masses in the Gulf of St. Lawrence by helicopter](#). AZMP Bulletin PMZA 5: 32–35.
- Galbraith, P.S., Chassé, J., Caverhill, C., Nicot, P., Gilbert, D., Pettigrew, B., Lefavre, D., Brickman, D., Devine, L., et Lafleur, C. 2017. [Physical oceanographic conditions in the Gulf of St. Lawrence in 2016](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/044. v + 91 p.

-
- Gonzalez, C., Bruno, I., et Paz, X. 2000. Food and feeding of deep-sea redfish (*Sebastes mentella* Travin) in the North Atlantic. NAFO Sci. Coun. Studies 33: 89–101.
- Gregg, W. W., et Rousseaux, C. S. 2014. Decadal trends in global pelagic ocean chlorophyll: A new assessment integrating multiple satellites, in situ data, and models. J. Geophys. Res. Oceans, 119: 5921–5933, doi 10.1002/2014JC010158.
- Grønvik, S., et Hopkins, C. C. E. 1984. Ecological investigations of the zooplankton community of Balsfjorden, northern Norway: Generation cycle, seasonal vertical distribution, and seasonal variations in body weight and carbon and nitrogen content of the copepod *Metridia longa* (Lubbock). J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 80: 93–107.
- Holm-Hansen, O., Lorenzen, C.J., Holmes, R.W., et Strickland, J.D. 1965. Fluorometric determination of chlorophyll. ICES J. Mar. Sci. 30: 3–15.
- Johnson, C., Casault, B., Head, E., et Spry, J. 2016. Optical, chemical, and biological oceanographic conditions on the Scotian Shelf and in the Eastern Gulf of Maine in 2014. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2016/003. v + 51 p.
- Le Fouest, 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.
- Le Fouest, V., Zakardjian, B., et Saucier, F. J. 2010. Plankton ecosystem response to freshwater-associated bulk turbidity in the subarctic Gulf of St. Lawrence (Canada): A modelling study. J. Mar. Syst. 81(1-2): 75–85.
- Levasseur, M., Therriault, J.-C., et Legendre, L. 1984. Hierarchical control of phytoplankton succession by physical factors. Mar. Ecol. Prog. Ser. 19: 211–222.
- Li, W. K. W., et Harrison, W. G. 2008. Propagation of an atmospheric climate signal to phytoplankton in a small marine basin. Limnol. Oceanogr. 53(5): 1734–1745.
- Mei, Z.-P., Saucier, F., Le Fouest, V., Zakardjian, B., Sennville, S., Xie, H., et Starr, M. 2010. Modeling the timing of spring phytoplankton bloom and biological production of the Gulf of St. Lawrence (Canada): Effects of colored dissolved organic matter and temperature. Cont. Shelf Res. 30: 2027–2042.
- Mitchell, M. R., Harrison, G., Pauley, K., Gagné, A., Maillet, G., et Strain, P. 2002. [Atlantic Zonal Monitoring Program sampling protocol](#). Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 223: iv + 23 pp.
- MPO. 2017. [Conditions océanographiques dans la zone atlantique en 2016](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2017/031.
- Mucci, A., Starr, M., Gilbert, D., et Sundby, B. 2011. Acidification of lower St. Lawrence Estuary bottom waters. Atmos.-Ocean 49(3): 206–218.
- Pepin, P., Maillet, G., Fraser, S., Shears, T., et Redmond, G. 2013. [Optical, chemical, and biological oceanographic conditions on the Newfoundland and Labrador Shelf during 2011-12](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2013/051. v + 38 p.
- 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: 221–224.
- Plourde S., Joly, P., Runge, J. A., Dodson, J. 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(4): 371–388.
- Runge, J. A., Castonguay, M., De Lafontaine, Y., Ringuette, M., et Beaulieu, J. L. 1999. Covariation of climate, zooplankton biomass and mackerel recruitment in the southern Gulf of St. Lawrence. *Fish. Oceanogr.* 8(2): 139–149.
- Therriault, J.-C., et Levasseur, M. 1985. Control of phytoplankton production in the Lower St. Lawrence Estuary: light and freshwater runoff. *Nat. Can.* 112: 77–96.
- Therriault, J.-C., Petrie, B., Pépin, P., Gagnon, J., Gregory, D., Helbig, J., Herman, A., Lefavre, D., Mitchell, M., Pelchat, B., Runge, J., et Sameoto, D. 1998. [Proposal for a Northwest Atlantic zonal monitoring program](#). *Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci.* 194: vii + 57 pp.
- Wang, M., Liu, X., Tan, L., Jiang, L., Son, S. H., Shi, W., Rausch, K., et Voss, K. 2013. Impacts of VIIRS SDR performance on ocean color products. *J. Geophys. Res. Atmos.* 118: 10,347–10,360, doi:10.1002/jgrd.50793.
- Welschmeyer, N. A. 1994. Fluorometric analysis of chlorophyll a in the presence of chlorophyll b and pheopigments. *Limnol. Oceanogr.* 39(8): 1985–1992.
- Zakardjian, B. A., Gratton, Y., et Vézina, A. F. 2000. Late spring phytoplankton bloom in the Lower St. Lawrence Estuary: the flushing hypothesis revisited. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 192: 31–48.
- Zhai, L., Platt, T., Tang, C., Sathyendranath, S., et Hernández Walls, R. 2011. Phytoplankton phenology on the Scotian Shelf. *ICES J. Mar. Sci.* 68: 781–791, doi:10.1093/icesjms/fsq175.
- Zibordi, G., Mélin, F., et Berthon, J.-F. 2006. Comparison of SeaWiFS, MODIS and MERIS radiometric products at a coastal site. *Geophys. Res. Letters* 33: L06617, doi:10.1029/2006GL0257.

TABLEAUX

Tableau 1. Liste des relevés du PMZA indiquant les emplacements, les dates et les activités d'échantillonnage pour 2016. oGSL, eGSL et sGSL représentent les sous-régions de l'ouest, de l'est et du sud du golfe du Saint-Laurent, respectivement. Voir la figure 1 pour connaître l'emplacement des stations.

Groupe d'échantillonnage	Nom	Emplacement	Dates (2016)	Navire	CTD/bouteille	Filet
Fixe	Rimouski	48°40,0'N 068°35,0'W	23 janv. au 12 déc.	Beluga II (et autres)	43	34
	Vallée de Shediac	47°46,8'N 064°01,8'W	1 ^{er} mars au 2 nov.	Multiple	10	9
Relevé hivernal	-	Estuaire et golfe	29 fév. au 14 mars	Martha Black et Cornwallis	74	30
Sections printanières	TESL	oGSL	1 ^{er} au 11 juin	Coriolis II	7	7
	TSI	oGSL	1 ^{er} au 11 juin	Coriolis II	6	6
	TASO	oGSL	1 ^{er} au 11 juin	Coriolis II	5	5
	TIDM	sGSL	1 ^{er} au 11 juin	Coriolis II	10	10
	TDC	eGSL	1 ^{er} au 11 juin	Coriolis II	6	6
	TCEN	eGSL	1 ^{er} au 11 juin	Coriolis II	5	4
	TBB	eGSL	1 ^{er} au 11 juin	Coriolis II	7	7
Total					46	45
Sections automnales	TESL	oGSL	24 oct. au 2 nov.	Hudson	7	7
	TSI	oGSL	24 oct. au 2 nov.	Hudson	6	6
	TASO	oGSL	24 oct. au 2 nov.	Hudson	5	5
	TIDM	sGSL	24 oct. au 2 nov.	Hudson	10	10
	TDC	eGSL	24 oct. au 2 nov.	Hudson	6	6
	TCEN	eGSL	24 oct. au 2 nov.	Hudson	5	5
	TBB	eGSL	24 oct. au 2 nov.	Hudson	7	7
Total					46	46

FIGURES

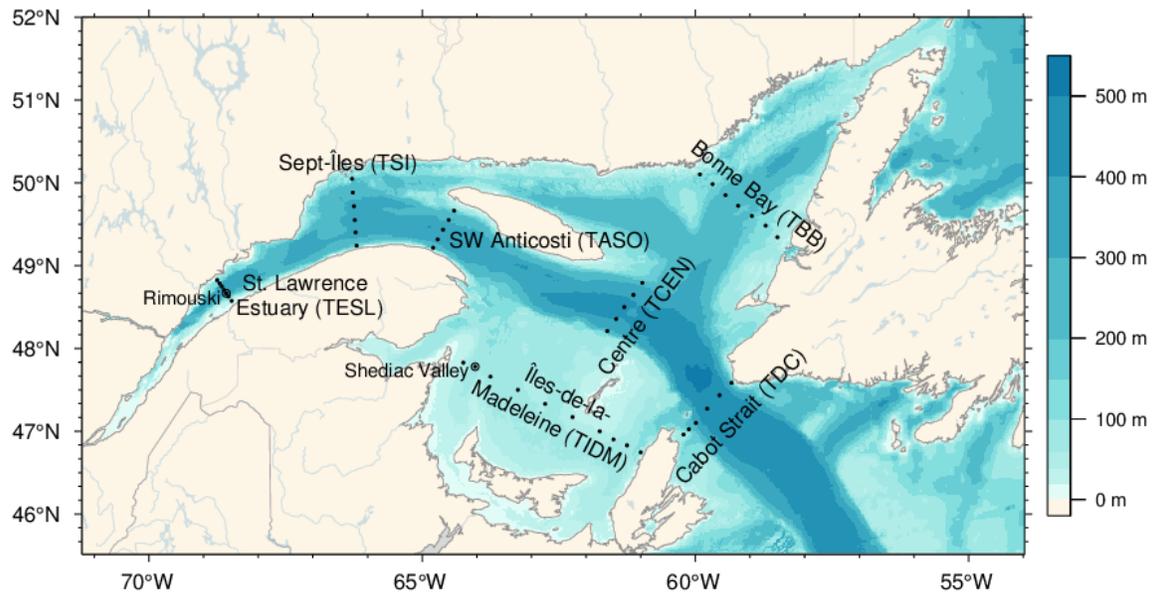


Figure 1. Carte bathymétrique de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent montrant les stations d'échantillonnage sur les différentes sections (points) ainsi qu'aux stations fixes de Rimouski et de la vallée de Shediac (cercles). Les sections ont été regroupées pour former des sous-régions dans l'ouest du GSL : TESL, TSI, TASO; le sud du GSL : TIDM; et l'est du GSL : TBB, TCEN, TDC.

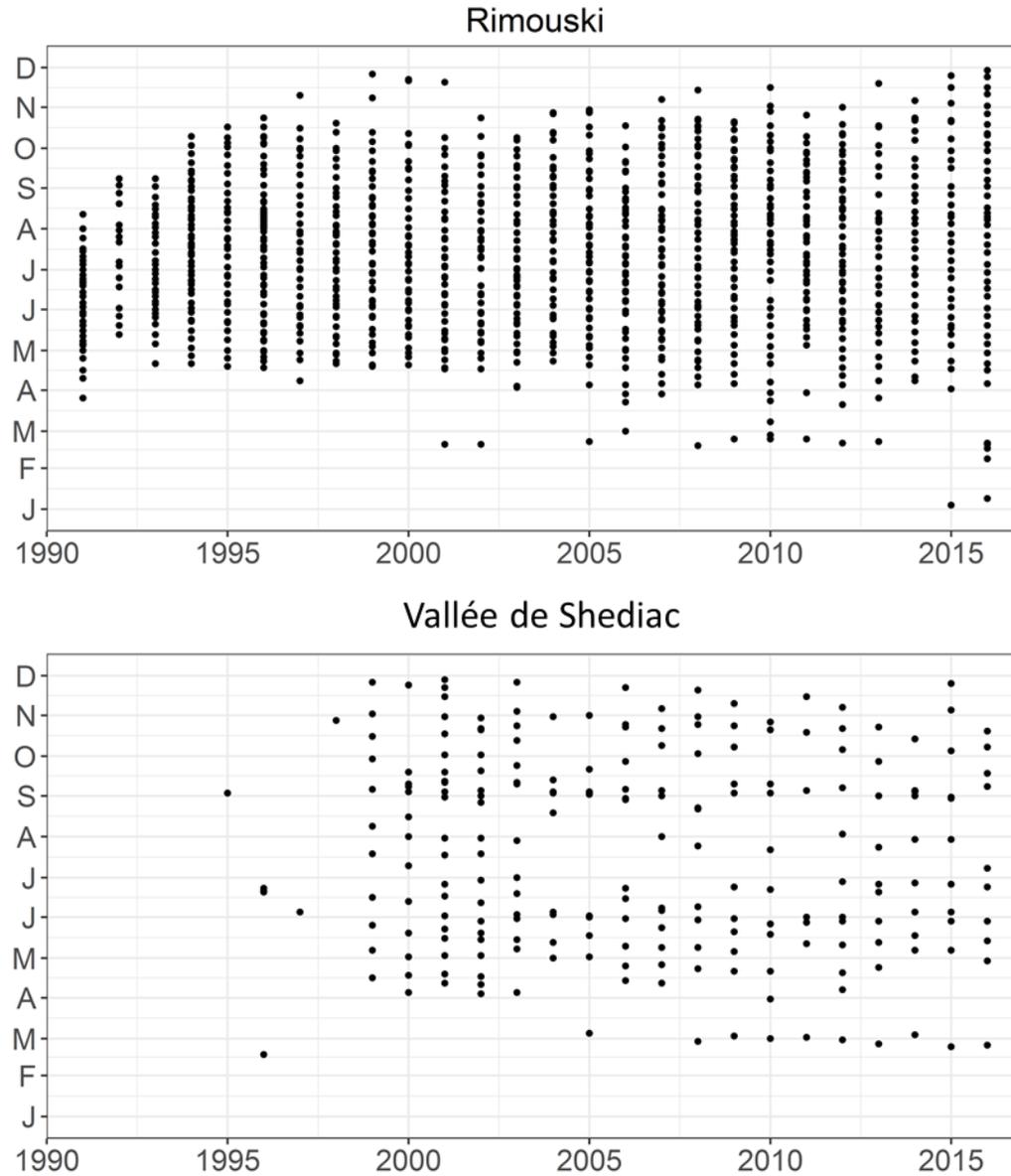


Figure 2. Fréquences d'échantillonnage aux stations de Rimouski et de la vallée de Shediac en 2016. L'échantillonnage comprenait les données CTD/bouteille ainsi que des traits de filet à plancton la plupart du temps (si les conditions météorologiques le permettaient).

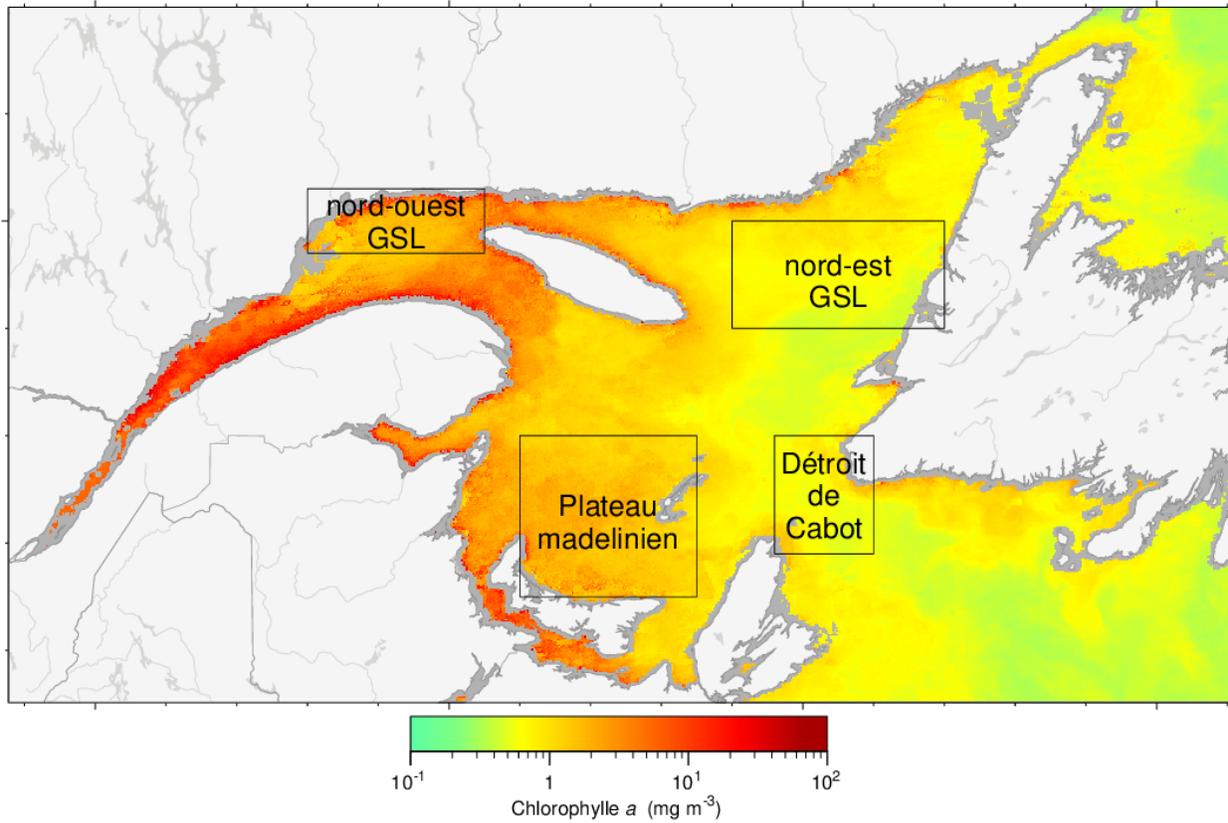


Figure 3. Sous-régions statistiques du golfe du Saint-Laurent (GSL) utilisées pour l'analyse spatio-temporelle des données satellites de la couleur de l'océan. La figure est une image composite du VIIRS montrant la chlorophylle a du 16 au 31 juillet 2016. Le gris indique l'absence de données (dans le cas présent, les régions littorales).

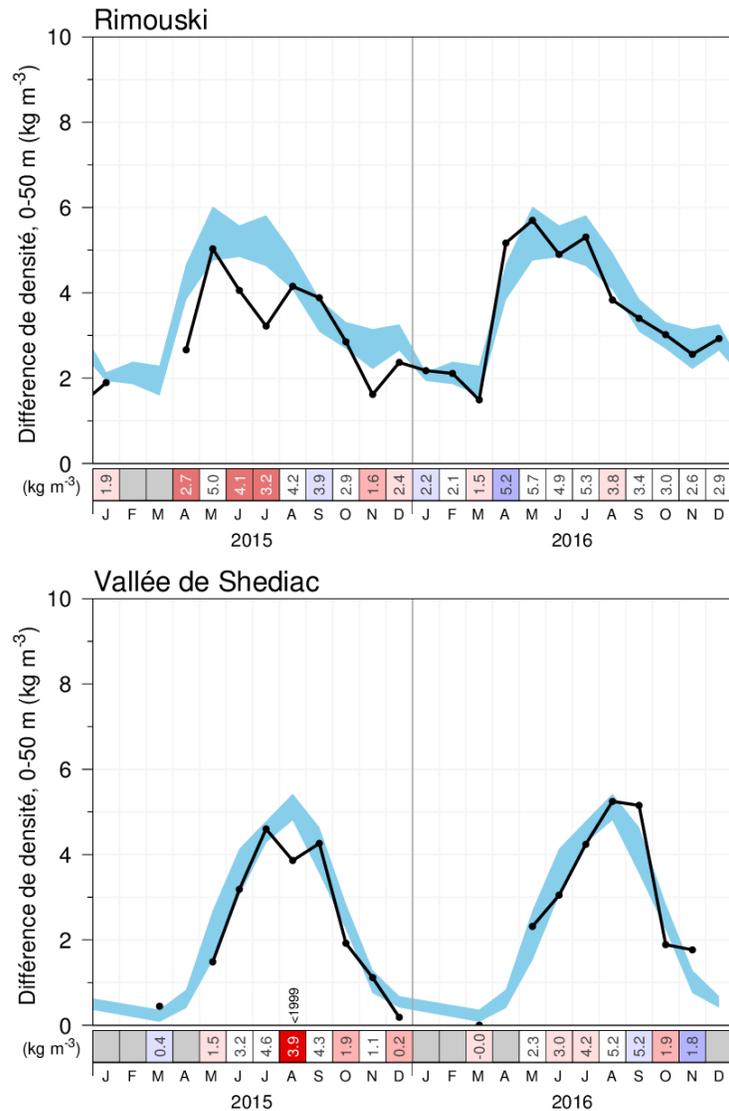
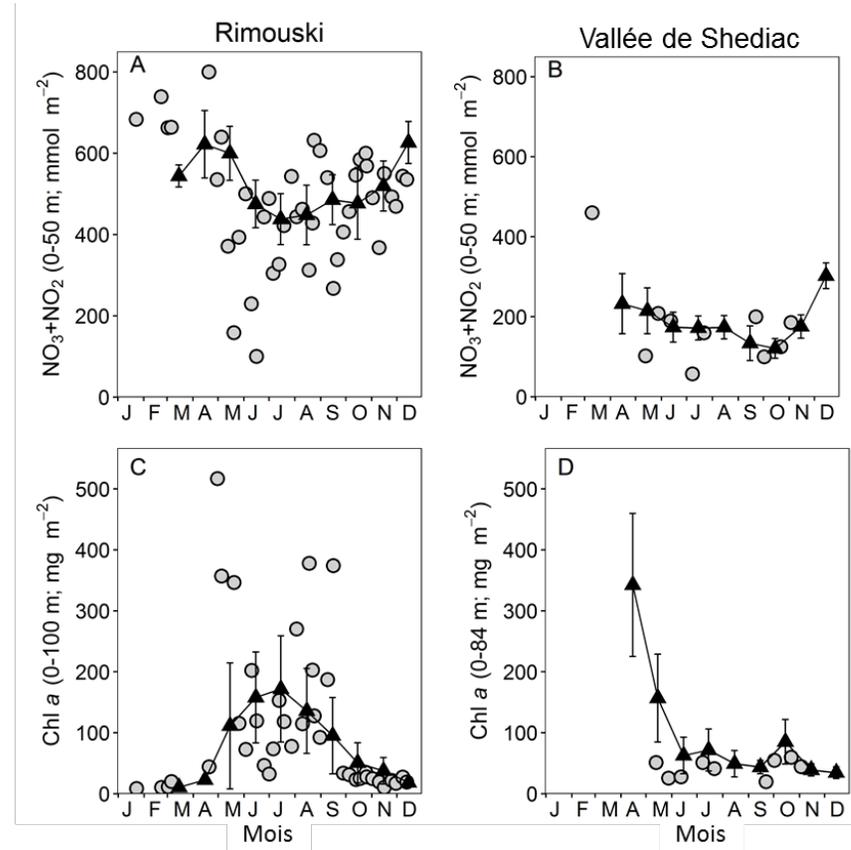


Figure 4. Indice de stratification saisonnière (calculé comme étant la différence de densité entre 50 m et la surface) en 2015 et en 2016 aux stations de Rimouski (panneau supérieur) et de la vallée de Shediac (panneau inférieur). Le bleu représente la moyenne mensuelle climatologique $\pm 0,5$ écart-type (1991 à 2010 pour Rimouski et 1981 à 2016 pour la vallée de Shediac). Les tableaux synoptiques utilisent un code de couleur inversé; les anomalies positives sont indiquées en bleu et elles correspondent à une faible salinité et une forte stratification. Les nombres dans le tableau synoptique représentent la différence de densité mensuelle en kg/m^3 . Pour les anomalies dont l'écart-type est supérieur à 2, l'année précédente ayant connu une anomalie supérieure est indiquée.



E

Concentration moyenne (mmol m ⁻²):	Prof. (m):	Stn	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Moy.	σ	%2016
Nitrate Avril—Octobre	0-50	R	-0.3	0.6	0.1	1.1	-0.3	0.8	-0.3	0.0	-0.1	0.4	-0.4	-1.3	-0.6	-0.3	0.1	0.3	0.5	-0.8	554.5	116.2	-14.5
Nitrate Avril—Décembre	0-50	VS	0.2	0.7	-0.3	0.2	0.2	0.6	-0.2	0.7	-1.1	-0.1	0.7	-1.2	-0.9	0.2	-0.4	0.1	-0.6	-0.4	487.9	70.6	-21.9
Nitrate Avril—Octobre	50-150	R	N.A.	-0.4	0.7	1.0	-0.7	-0.1	-0.2	0.6	0.5	-0.2	0.1	-1.2	-1.0	0.2	-0.7	1.1	0.6	0.6	1466.4	146.3	7.7
Nitrate Avril—Décembre	50-84	VS	-0.2	1.0	0.2	0.7	-0.1	0.5	-0.2	0.6	-1.2	0.1	-0.1	-1.4	-1.5	-0.4	-1.0	-0.4	-0.7	-1.1	274.7	65.3	-18.4
Chl a Avril—Octobre	0-100	R	1.7	-0.2	0.0	-0.3	0.5	-0.8	-0.4	-0.5	0.5	-0.9	0.2	0.0	-0.3	0.6	0.1	1.4	0.4	4.3	109.3	58.2	59.9
Chl a Avril—Décembre	0-84	VS	-0.4	-0.7	-0.3	1.1	0.2	-0.5	-0.6	-0.1	0.5	0.6	0.1	-0.3	-0.7	-0.1	0.7	-0.2	-0.5	-0.4	96.9	72.7	-53.5

Figure 5. Concentrations de nitrate (0–50 m; panneaux supérieurs) et teneurs en chlorophylle a (0–100 m pour Rimouski et 0–84 m pour la vallée de Shediac; panneaux inférieurs) en 2016 (cercles gris) avec conditions moyennes (± 0,5 écart-type) de 1999 à 2010 (triangles noirs) aux stations de Rimouski et de la vallée de Shediac. Les anomalies annuelles normalisées (tableau synoptique) pour les teneurs en chlorophylle a (mg/m²) et les concentrations d'éléments nutritifs (mmol/m²) sont également présentées avec les moyennes et les écarts-types des variables. Le bleu indique les anomalies inférieures à la moyenne et le rouge, celles supérieures à la moyenne.

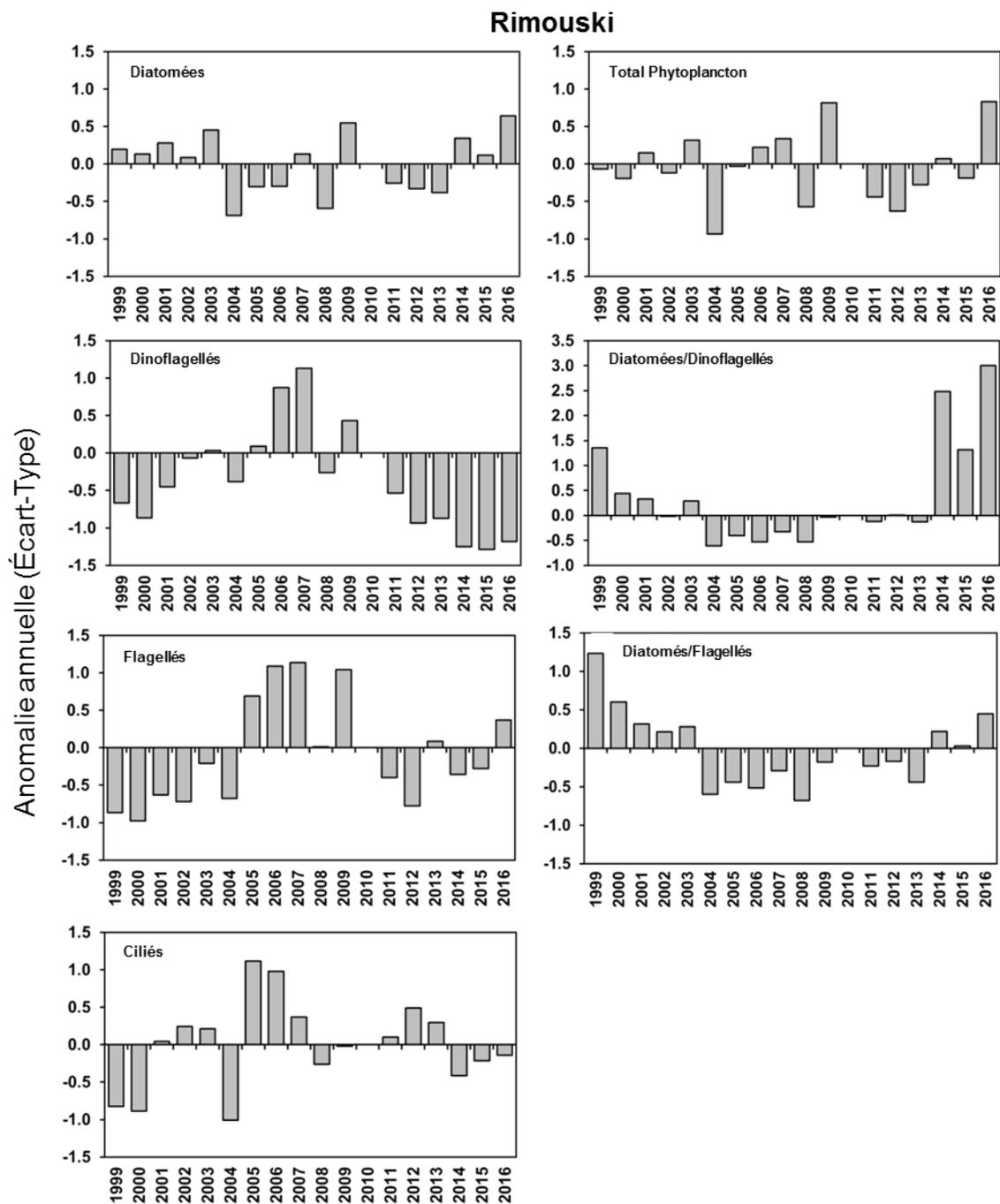


Figure 8. Série temporelle des anomalies normalisées de l'abondance annuelle (mai à octobre) moyenne de microphytoplancton (par rapport à la climatologie de 1999 à 2009; aucune donnée en 2010) pour l'ensemble du phytoplancton et par groupe (diatomées, dinoflagellés, flagellés, ciliés) et pour les ratios diatomées/dinoflagellés et diatomées/dinoflagellés à la station de Rimouski. Prenez note de la modification de l'échelle de l'axe des ordonnées pour le ratio diatomées/dinoflagellés.

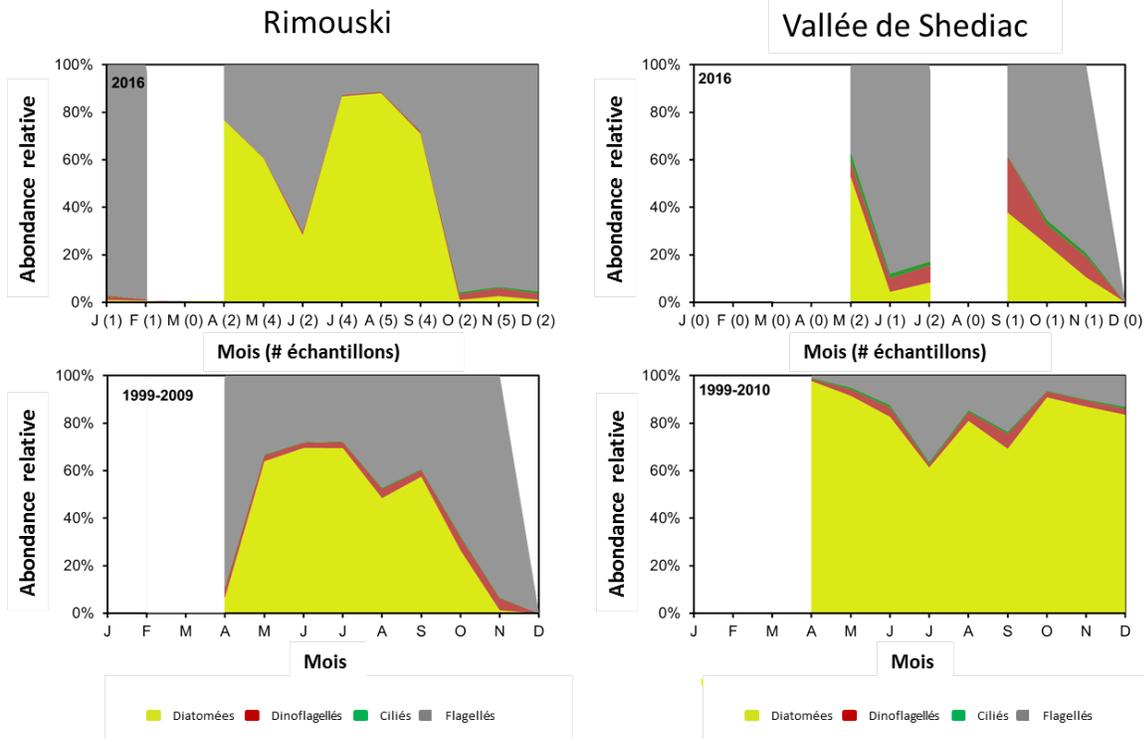


Figure 9. Composition de la communauté de phytoplancton aux stations de Rimouski et de la vallée de Shediac pour 2016 (panneaux supérieurs) et la moyenne de 1999 à 2009 (Rimouski; aucune donnée en 2010) ou de 1999 à 2010 (vallée de Shediac) [panneaux inférieurs]. Les ciliés sont indiqués entre les dinoflagellés et les flagellés dans les figures; ils sont généralement si rares qu'ils sont à peine visibles.

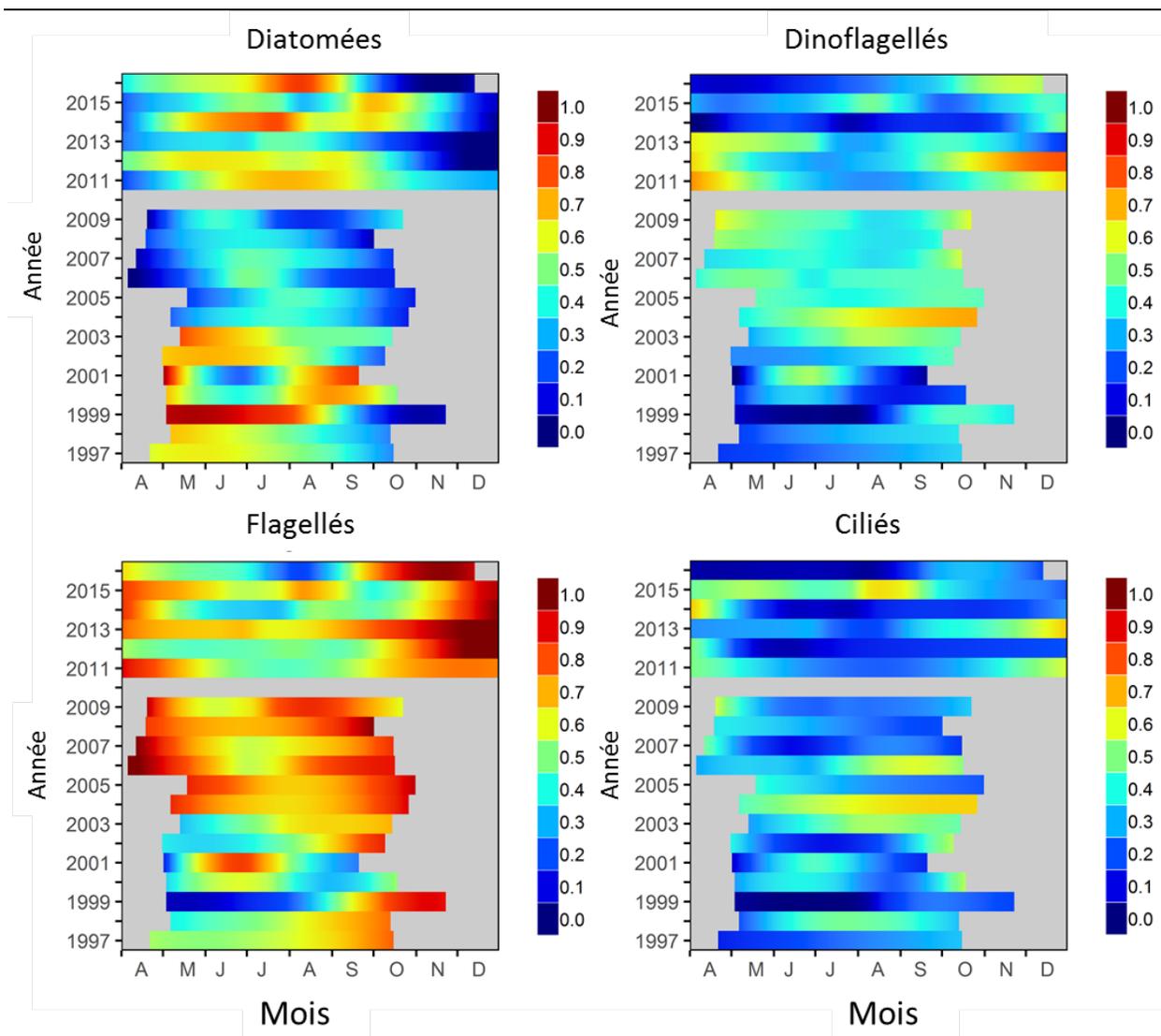


Figure 10. Cycle saisonnier de l'abondance relative des diatomées, des dinoflagellés, des flagellés et des ciliés de 1997 à 2016 (aucune donnée en 2010) à la station de Rimouski. Les proportions sont normalisées selon le maximum annuel et lissées à l'aide d'un algorithme Loess.

Vallée de Shediac

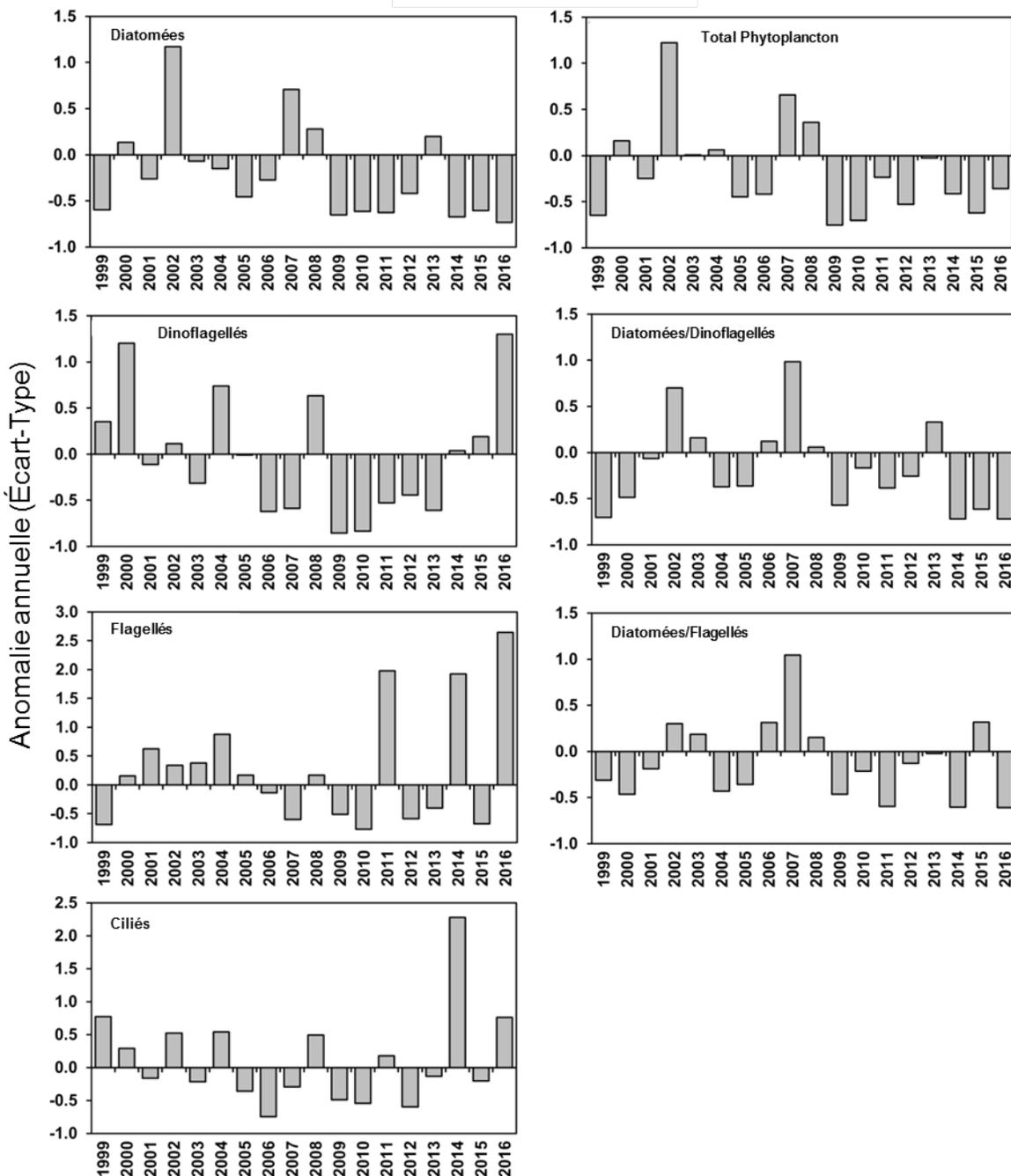


Figure 11. Série temporelle des anomalies normalisées de l'abondance annuelle (avril à octobre) moyenne de microphytoplancton (par rapport à la climatologie de 1999 à 2010) pour l'ensemble du phytoplancton et par groupe (diatomées, dinoflagellés, flagellés, ciliés) et pour les ratios diatomées/dinoflagellés et diatomées/dinoflagellés à la station de la vallée de Shediac. Prenez note de la modification de l'échelle de l'axe des ordonnées pour les flagellés et les ciliés.

Indice	Sous-région	Sec-tion	Année														Climatologie 99-10										
			99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	Moy.	σ	%16				
Inventaire NO ₂ + NO ₃	H	0-50 m	oGSL	TESL			-0.3	-0.6	0.9	0.6			1.5	0.7	-1.5	0.2	-1.5	-1.7	-0.2	0.4			-1.3	770	85	-15	
			oGSL	TSI			-0.1	0.4	1.2	0.5	-0.8	0.0	1.3	-0.7	0.3	-2.1	-1.2	-0.4	0.5	-0.1	-0.7	0.1		528	125	2	
			oGSL	TASO			-0.2	0.0	1.2	-0.1	1.2	-0.1	0.1	0.3	1.0	-0.1	0.2	-2.5	-1.8	-0.4	-0.4	0.9	-0.3	-0.1	522	89	-2
			sGSL	TIDM			0.0	0.4	0.6	0.9	0.9	-0.5	0.8	0.5	-0.8	0.4	-2.4	-0.9	-1.3	-0.8	0.5	0.7	-0.6		384	99	-16
			eGSL	TCEN			-0.6	-0.3	1.9	0.8	-0.9	-0.1	1.3	-0.6	-0.6	-0.9	-1.5	0.3	0.4	0.3	-0.2	-1.5			344	51	-23
			eGSL	TBB			-0.3	0.3	1.9	0.9	-0.7	-0.2	0.5	-0.7	0.0	-1.7	-0.5	-0.6	0.5	-0.1	0.2	-1.2			299	38	-15
	eGSL	TDC			0.4	0.2	1.3	0.8	-1.0	-0.4	0.7	0.2	0.0	-2.2	-0.4	-1.0	0.2	0.1	0.3	-0.3			293	80	-8		
	P	0-50 m	oGSL	TESL			0.0	1.7	-0.2	0.4			1.3	-0.8	0.0	-0.9	-1.4	-0.6	0.2	1.6	1.6	1.6	-0.2	437	92	-5	
			oGSL	TSI	-1.2	-0.1	1.0	1.4	1.2	-0.7	-0.6	0.0	-0.9	1.5	-0.6	-1.0	-1.0	-0.7	1.3	2.7	0.8	1.9		203	46	43	
			oGSL	TASO	-1.5	-0.6	-0.2	1.2	1.7	0.5	-0.7	-0.8	0.8	0.6	0.2	-1.2	-1.0	-1.3	1.5	2.9	1.3	-0.9		186	59	-28	
			sGSL	TIDM	-0.8	1.0	-0.8	-0.2	0.3	-0.6	-0.2	1.7	0.0	1.1	0.6	-1.9	-0.5	-1.0	0.9	0.4	-0.2	-1.0		109	38	-37	
			eGSL	TCEN								-1.5	0.0	1.0	0.0	1.3	0.2	-0.9	-0.9	-1.6	2.6	4.4	0.8	-1.6	68	20	-46
			eGSL	TBB	-0.3	0.3	-0.3	-0.3	2.5	-1.4	-1.0	-0.1	0.7	0.8	-0.6	-0.3	-1.1	-0.8	-1.3	2.1	1.0	-1.4			63	24	-54
	eGSL	TDC	-1.2	1.0	-0.2	-1.5	0.8	-0.1	-1.0	0.0	0.6	2.1	0.0	-0.4	-1.5	-0.7	-0.1	0.5	1.0	-2.1			71	21	-62		
	Δ H-P	0-50 m	oGSL	TESL			-0.3	-1.9	0.9	0.1			0.1	1.2	-1.1	1.0	0.0	-0.8	-0.3	-1.1				332	111	-28	
			oGSL	TSI			-0.4	-0.1	0.9	0.8	-0.5	0.1	1.6	-1.2	0.5	-1.6	-0.8	-0.1	0.1	-1.0	-0.9	-0.6		319	126	-22	
			oGSL	TASO			0.1	-0.8	0.3	-0.3	0.9	1.4	0.9	-0.5	0.3	-2.1	-1.4	0.8	-1.7	-1.2	-1.3	0.8		323	65	17	
			sGSL	TIDM			0.3	0.6	0.6	1.3	-0.5	0.2	0.6	-1.4	0.1	-1.9	-0.9	-1.1	-1.4	0.5	0.9	-0.3		275	84	-8	
eGSL			TCEN						1.4	-0.7	-0.3	1.4	-0.9	-0.5	-0.4	-0.9	1.0	-0.4	-1.2	-0.3	-0.7		269	54	-15		
eGSL			TBB			-0.1	0.5	0.4	2.0	-0.1	-0.1	0.1	-1.3	0.4	-1.7	0.2	-0.1	1.5	-1.5	-0.5	-0.3		236	35	-5		
eGSL	TDC			0.5	0.6	1.2	0.9	-0.8	-0.4	0.6	-0.4	0.0	-2.2	0.0	-0.9	0.2	0.0	0.1	0.3		221	75	10				
A	0-50 m	oGSL	TESL	2.5	-0.1	0.5	1.1	-0.6	-1.1	0.3	-0.8	-0.8	-0.1	-0.6	-0.3	-0.1	0.7	-0.4	-0.1	1.0	-0.1		534	116	-3		
		oGSL	TSI	1.9	-0.7	1.1	1.2	0.5	-1.3	-1.2	-0.3	-0.7	-0.5	-0.3	0.3	-0.5	1.6	0.7	-0.1	1.7	0.9		268	102	36		
		oGSL	TASO	1.9	-0.3	0.9	1.2	-1.2	-1.0	-0.6	-0.3	-0.6	0.4	-1.0	0.8	-1.0	1.3	0.0	0.7	1.3	0.6		278	74	17		
		sGSL	TIDM			1.2	0.6	0.0	-1.2	1.3	0.1	1.3	-0.9	-0.2	-0.9	-1.2	-2.2	-1.3	-0.2	-0.6	-2.1	-1.3		183	36	-26	
		eGSL	TCEN						-0.1	-0.9	-0.4	-0.3	2.1	0.2	0.5	-1.2	-2.8	-1.9	-1.1	-0.8	-0.9	-1.6		136	28	-33	
		eGSL	TBB	0.9	0.3	1.3	0.1	0.8	-1.9	-0.3	-1.6	1.0	-0.4	0.2	-0.5	-0.5	-1.5	-1.0	-1.4	-0.1	-1.1	1.25		125	31	-26	
eGSL	TDC	1.4	0.7	-0.2	2.2	-0.6	-1.3	0.1	-0.1	-0.5	-0.6	-0.2	-0.9	-1.0	-0.5	0.1	-1.2	-0.8	-1.5			135	45	-51			
Moy. P+A	0-50 m	oGSL	TESL	2.6	0.1	0.0	1.0	-0.6	-0.6	0.5	-0.1	-0.9	-0.3	-0.9	-0.9	-0.5	0.2	0.2	0.4	0.9	-0.4		511	120	-9		
		oGSL	TSI	1.2	-0.6	1.3	1.6	0.9	-1.3	-1.2	-0.3	-0.9	0.2	-0.5	-0.2	-0.8	1.1	1.1	0.9	1.7	1.5		235	60	39		
		oGSL	TASO	0.7	-0.8	0.7	2.2	0.2	-0.7	-1.2	-1.0	0.1	0.8	-0.9	-0.2	-1.8	0.3	1.2	3.1	2.3	-0.1		232	36	-1		
		sGSL	TIDM	-1.8	1.3	0.0	0.0	-0.4	0.5	0.1	1.7	-0.4	0.6	0.0	-1.5	-1.3	-1.1	0.5	0.0	-1.1	-1.1		142	36	-28		
		eGSL	TCEN					1.2	-1.4	-0.4	0.1	1.1	0.5	0.2	-1.3	-2.3	-2.1	0.2	1.2	-0.4	-1.9		106	23	-40		
		eGSL	TBB	0.4	0.4	0.7	-0.1	1.8	-2.0	-0.7	-1.1	1.0	0.1	-0.1	-0.5	-0.9	-1.4	-1.3	0.2	0.5	-1.4		94	23	-35		
eGSL	TDC	1.0	1.4	-0.3	1.8	-0.3	-1.6	-0.4	-0.1	-0.3	0.4	-0.3	-1.3	-2.0	-1.0	0.1	-1.1	-0.4	-2.9		103	19	-55				
Moy. P+A	50-150 m	oGSL	TESL			1.0	1.6	0.2				0.5	0.0	-0.5	0.1	-1.5	-1.2	1.0	0.5	0.8	2.9	0.9	1336	110	7		
		oGSL	TSI	0.0	-1.4	0.7	1.2	0.9	-1.4	-0.9	0.7	-0.2	1.3	-1.1	-0.1	-0.5	1.1	0.6	0.2	2.4	1.7		1354	144	18		
		oGSL	TASO	-0.1	-1.5	0.2	1.4	0.9	-1.0	-1.0	1.0	-0.1	1.1	0.4	-1.3	-0.5	2.2	0.4	2.5	3.1	0.4		1256	100	4		
		eGSL	TCEN						-1.5	-0.3	1.2	0.7	0.3	0.7	-1.1	-0.9	-0.3	1.0	0.2	1.6	-1.3		1093	106	-12		
		eGSL	TBB	-2.6	-0.2	0.0	0.5	1.1	-1.0	-0.1	0.9	0.7	0.1	-0.1	0.7	0.4	0.4	0.6	0.5	2.5	0.2		898	99	2		
		eGSL	TDC	-1.1	1.9	-1.3	0.0	0.3	-1.1	-0.6	1.5	-0.3	0.5	0.4	-0.1	-0.5	1.8	0.6	1.0	2.2	-1.0		867	86	-10		
Moy. P+A	300 m	oGSL	TESL	2.5	-0.7	-0.3	0.1	-0.4	-0.2	0.5	0.8	-0.7	0.0	-1.6	0.1	-0.6	0.2	0.3	0.4	0.2	-0.4		24	1	-2		
		oGSL	TSI	-2.2	-1.3	-0.2	0.8	1.1	-0.5	-0.4	1.2	0.5	0.7	0.2	0.0	0.4	1.5	2.6	2.1	2.1	1.3		24	1	4		
		oGSL	TASO	-0.5	-0.4	-2.2	0.5	0.0	0.8	0.8	0.2	-1.6	0.8	0.8	0.8	-0.9	1.4	2.3	2.7	2.6	1.2		23	1	3		
		eGSL	TCEN						-0.7	0.0	0.8	0.1	1.4	0.2	-1.7	0.3	2.3	3.8	3.8	4.0	4.6		22	0	9		
		eGSL	TBB						-0.7	0.0	0.8	0.1	1.4	0.2	-1.7	0.3	2.3	3.8	3.8	4.0	4.6		22	0	9		
		eGSL	TDC	-1.4	0.8	-0.2	-1.8	1.6	-0.1	-0.6	0.9	-0.3	0.1	-0.3	1.3	-2.0	1.4	1.9	2.3	2.9	2.8		21	1	9		
Concentration chl a	P	0-100m	oGSL	TESL			0.0	1.0	-0.9	-1.7	-0.9	0.0	-1.0	1.1	-0.7	-0.1	-0.2	-0.4	-0.1	-1.2	0.1	-1.1	-0.7	148	97	-49	
			oGSL	TSI	-0.2	-1.4	0.1	2.3	-0.3	1.3	-0.8	0.3	0.2	-0.9	-0.7	0.1	-0.3	0.5	-1.2	-0.2	1.1	-0.8		69	38	-46	
			oGSL	TASO	-0.4	-0.7	-0.7	2.8	-0.4	0.5	0.5	0.4	-0.7	-0.6	-0.6	-0.1	-0.6	-0.1	-1.0	-0.4	0.0	-0.8		94	67	-57	
			sGSL	TIDM	-0.2	-1.6	-0.5	2.4	0.3	-0.1	-0.7	0.0	-0.2	-0.4	-0.2	1.2	-0.2	-0.3	0.6	0.0	0.3	0.9		36	14	37	
			eGSL	TCEN							-0.8	-0.6	-0.7	0.6	1.7	0.6	-0.8	-0.8	-0.9	0.0	-0.8	3.1	1.2		38	12	37
			eGSL	TBB	-1.0	0.5	-1.2	1.6	-0.8	1.7	-0.7	-0.8	-0.1	0.8	-0.5	0.4	-1.1	-0.4	1.6	-0.4	1.8	-0.7		29	11	-25	
	eGSL	TDC	2.0	-0.6	0.0	2.1	-0.7	-0.7	-0.7	-0.1	-0.4	-0.5	-0.4	0.1	-0.5	-0.4	-0.4	0.2	-0.2	0.0		47	32	2			
	A	0-100m	oGSL	TESL	-0.7	-1.6	-0.6	-0.1	1.2	0.2	-0.3	-0.1	0.0	2.4	-0.2	-0.1	-0.4	0.7	-1.0	0.7	1.2	0.5		23	9	19	
			oGSL	TSI	-0.5	-0.9	-0.6	-0.2	0.3	-0.3	0.4	-0.3	-0.2	3.0	-0.5	-0.3	-0.5	-0.3	-0.5	-0.2	0.6	-0.5		46	34	-34	
			oGSL	TASO	-0.6	-1.0	-0.5	-0.2	0.6	-0.5	0.2	-0.1	-0.2	2.9	-0.1	-0.5	-0.3	0.1	0.0	-0.2	1.4	-0.5		45	32	-34	
			sGSL	TIDM			-1.6	0.6	1.7	0.8	-0.9	-0.9	-0.4	1.2	-0.5	-0.1	0.1	0.5	1.7	2.1	1.0	1.4	0.5		38	13	19
			eGSL	TCEN						1.3	-1.4			-0.9	-0.6	0.2	0.3	1.1	-1.5	0.0	-0.2	1.8	1.1	0.2	42	8	4
			eGSL	TBB	-0.6	-1.4	-0.3	1.4	1.0	2.1	-0.6	-0.7	0.3	-0.6	-0.2	-0.4	1.0	0.8	0.4	1.2	0.3	0.1		35	11	4	
	eGSL	TDC	-0.9	-1.7	-0.2	1.5	0.4	-0.3	-0.8	0.8	1.1	-0.4	1.3	-0.6	-0.8	-0.7	1.1	1.5	3.0	3.3		41	11	91			
	Moy. P+A	0-100m	oGSL	TESL	-1.0	-1.2	1.2	-0.5	1.9	-0.5	-0.9	-0.6	1.3	-0.1	0.2	0.1	-0.1	0.3	-0.9	0.5	-0.6	-0.3		69	53	-25	
			oGSL	TSI	-0.5	-1.3	-0.4	1.8	-0.1	0.9	-0.4	0.0	0.0	1.5	-1.0	-0.1	-0.6	0.2	-1.4	-0.3	1.5	-1.1		58	22	-42	

Mars 2016 - Inventaire de nutriments en surface

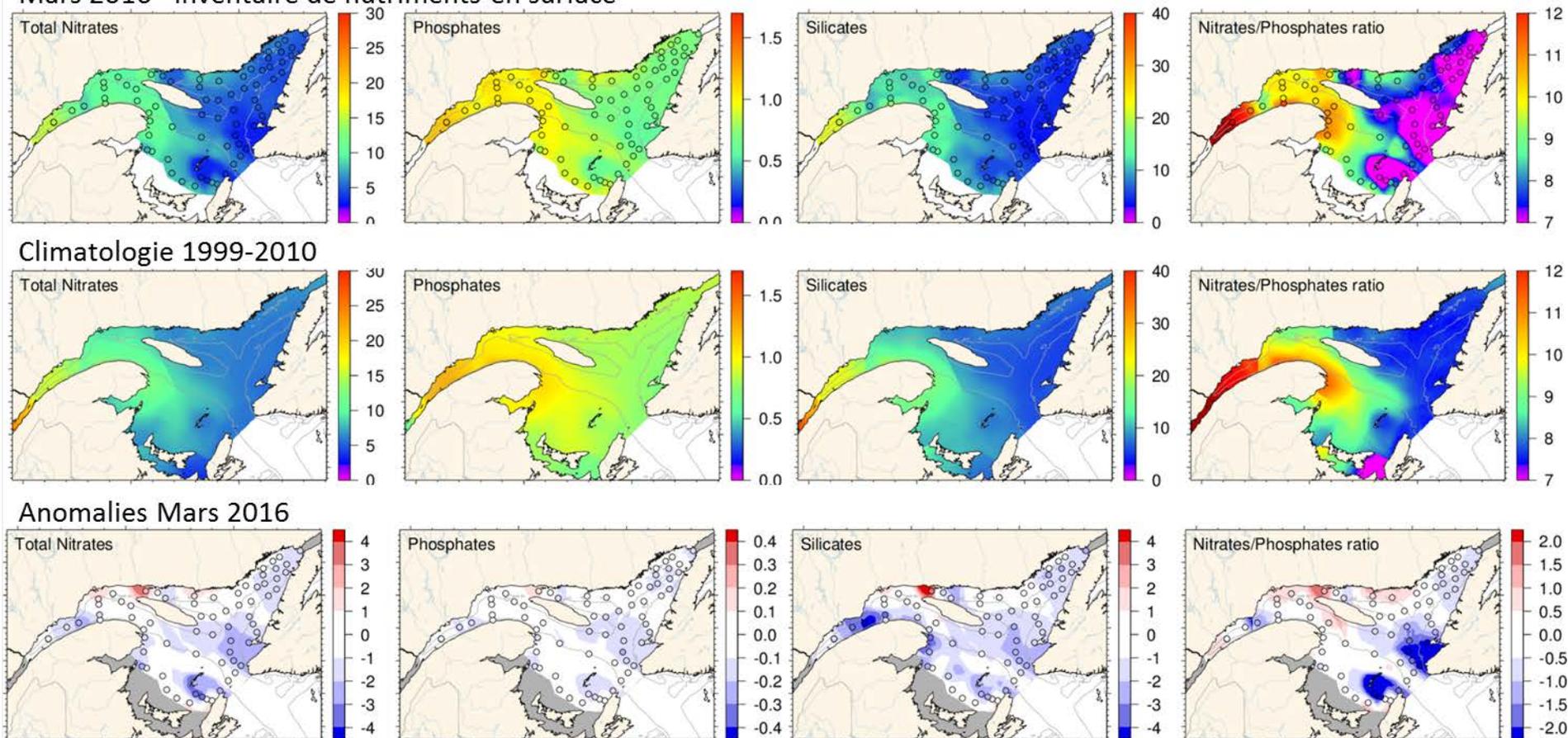


Figure 13. Concentrations totales de nitrate ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$), de phosphate et de silicate (mmol/m^3) et ratio N/P à 2 m dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent au début mars 2016 (panneaux supérieurs). La climatologie (2001 à 2016; panneaux centraux) et les anomalies (panneaux inférieurs) sont indiquées pour chaque élément nutritif. Le bleu indique les anomalies inférieures à la moyenne et le rouge, celles supérieures à la moyenne.

Jun 2016 - 0 – 50 m inventaire de nutriments

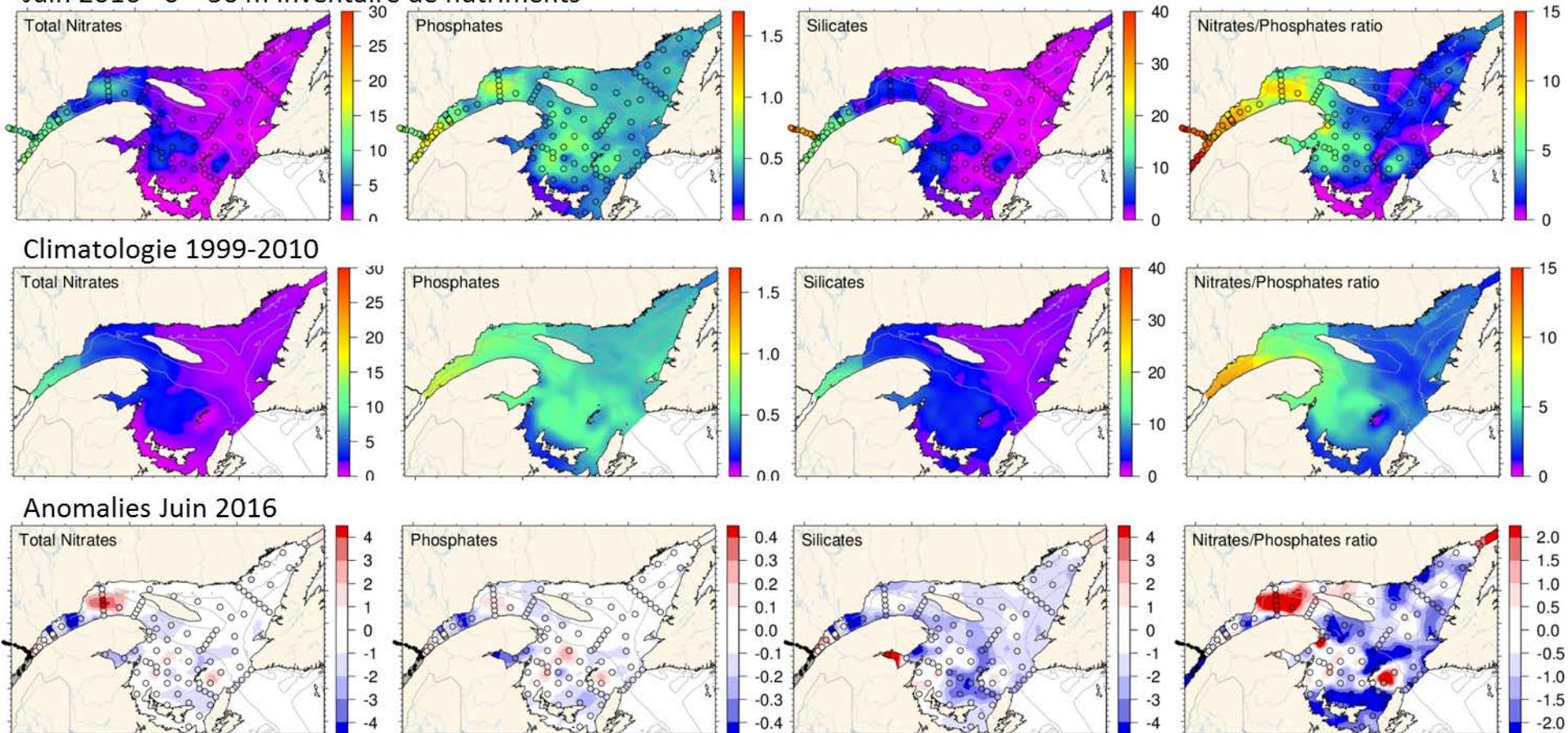
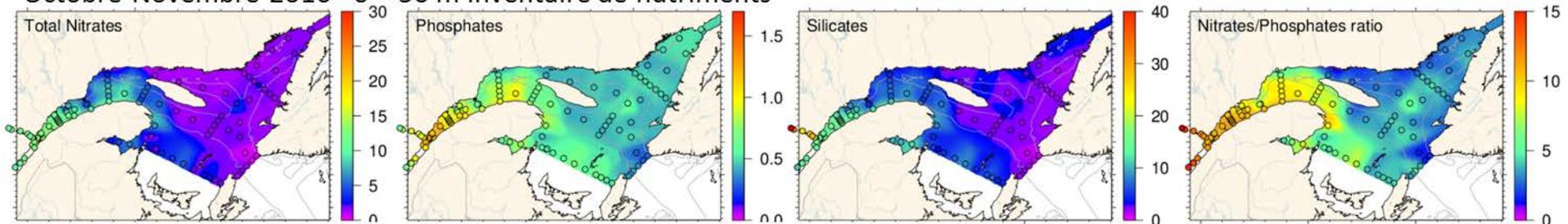
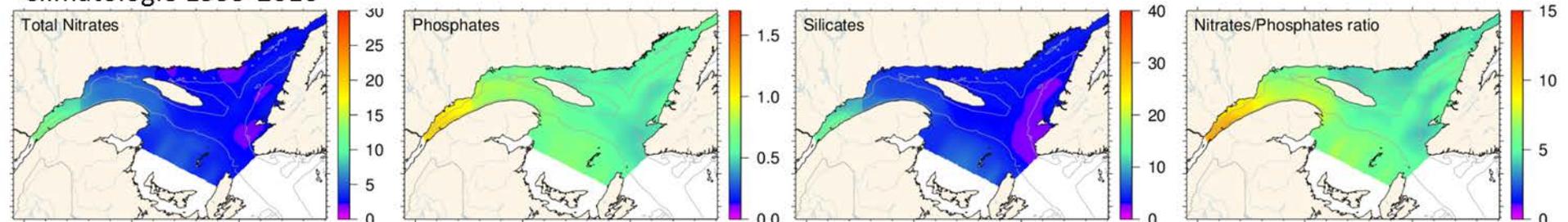


Figure 14. Concentrations totales de nitrate ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$), de phosphate et de silicate (mmol/m^3) et ratio N/P moyen dans la couche de surface (0–50 m) dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent au début juin 2016 (panneaux supérieurs). La climatologie (1999 à 2010; panneaux centraux) et les anomalies (panneaux inférieurs) sont indiquées pour chaque élément nutritif. Le bleu indique les anomalies inférieures à la moyenne et le rouge, celles supérieures à la moyenne.

Octobre-Novembre 2016 - 0 – 50 m inventaire de nutriments



Climatologie 1999-2010



Anomalies Octobre-Novembre 2016

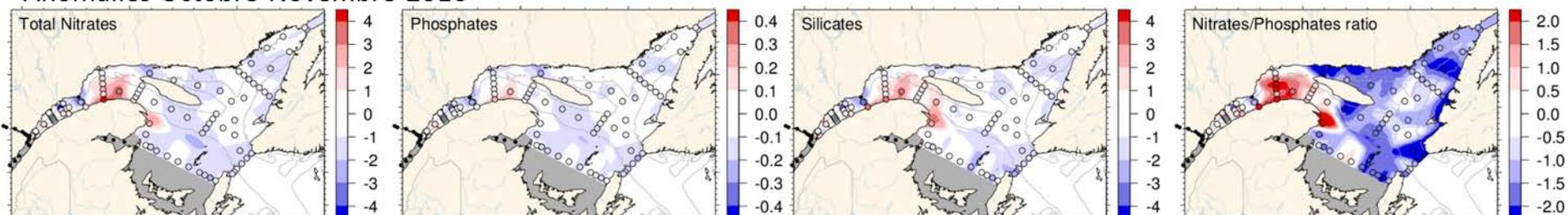


Figure 15. Concentrations totales de nitrate ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$), de phosphate et de silicate (mmol/m^3) et ratio N/P moyen dans la couche de surface (0–50 m) dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent de la fin octobre au début novembre 2016 (panneaux supérieurs). La climatologie (1999 à 2010; panneaux centraux) et les anomalies (panneaux inférieurs) sont indiquées pour chaque élément nutritif. Le bleu indique les anomalies inférieures à la moyenne et le rouge, celles supérieures à la moyenne.

Jun 2016 - 50 – 150 m inventaire de nutriments

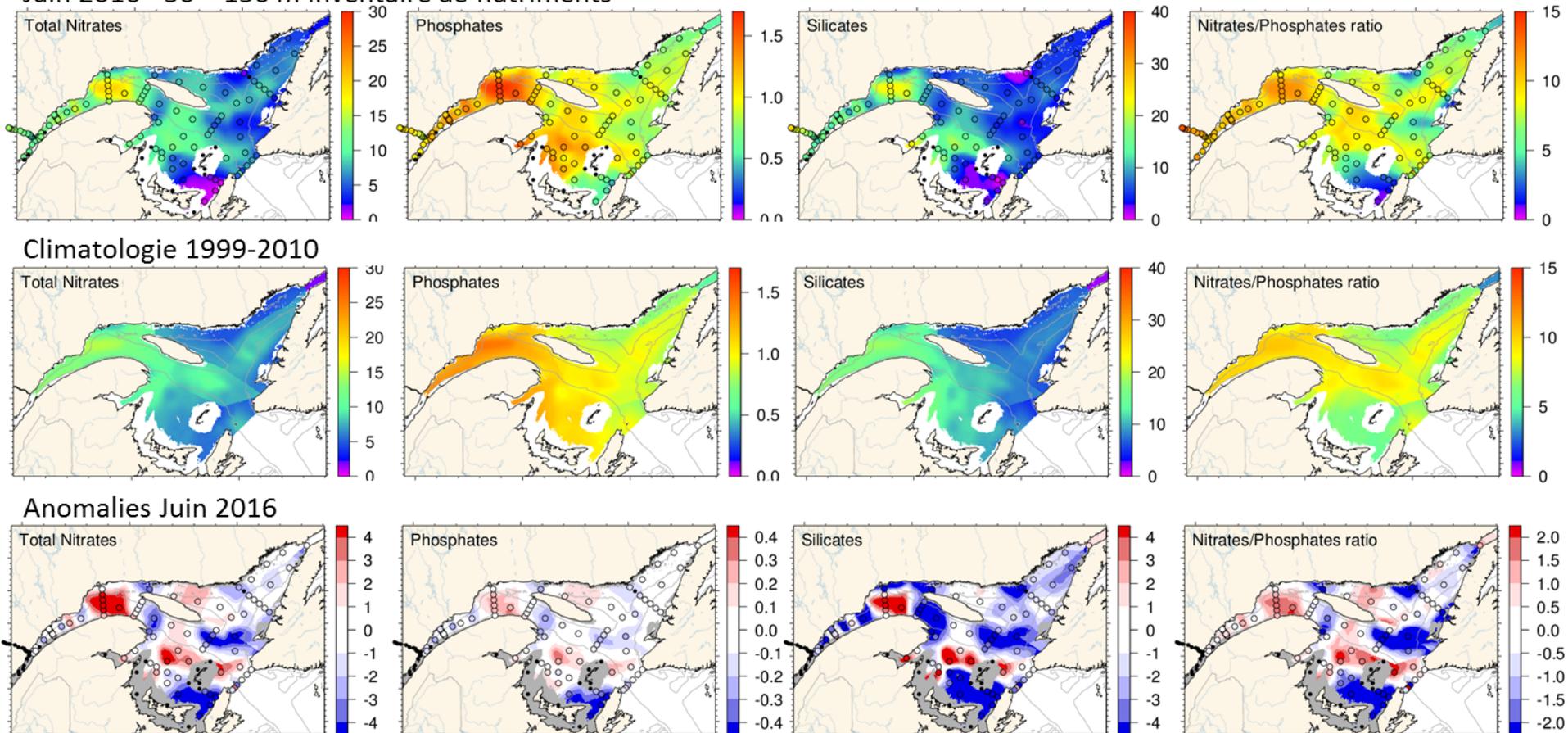


Figure 16. Concentrations totales de nitrate ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$), de phosphate et de silicate (mmol/m^3) et ratio N/P moyen dans la couche intermédiaire (50–150 m) dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent au début juin 2016 (panneaux supérieurs). La climatologie (1999 à 2010; panneaux centraux) et les anomalies (panneaux inférieurs) sont indiquées pour chaque élément nutritif. Le bleu indique les anomalies inférieures à la moyenne et le rouge, celles supérieures à la moyenne.

Octobre-Novembre 2016 - 50 – 150 m inventaire de nutriments

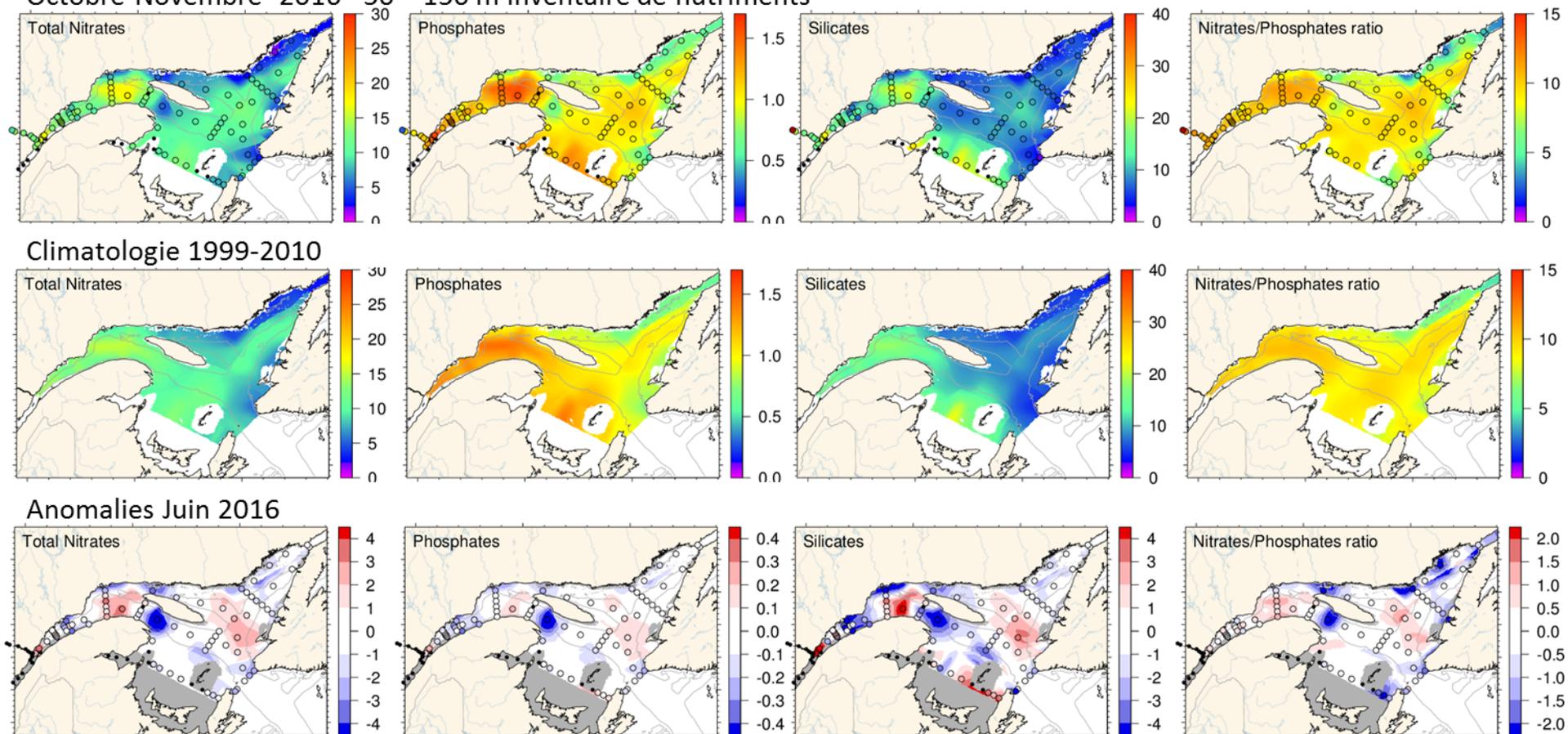


Figure 17. Concentrations totales de nitrate ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$), de phosphate et de silicate (mmol/m^3) et ratio N/P moyen dans la couche intermédiaire (50–150 m) dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent de la fin octobre au début novembre 2016 (panneaux supérieurs). La climatologie (1999 à 2010; panneaux centraux) et les anomalies (panneaux inférieurs) sont indiquées pour chaque élément nutritif. Le bleu indique les anomalies inférieures à la moyenne et le rouge, celles supérieures à la moyenne.

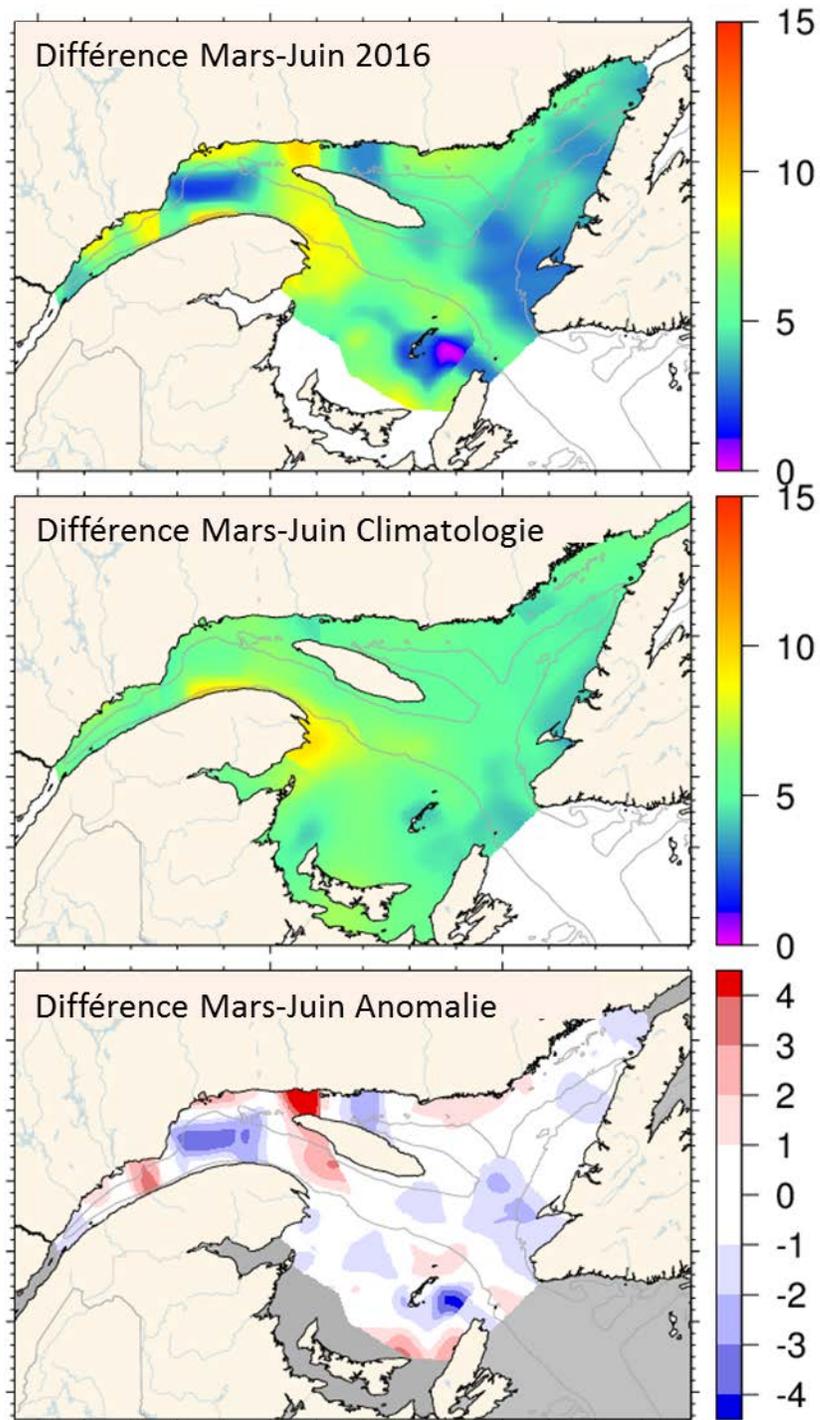


Figure 18. Différence entre les concentrations totales de nitrate ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) [mmol/m^3] à 2 m dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent entre mars et juin. Haut : différence entre mars et juin 2016; centre : différences pour la climatologie (2001 à 2016); bas : anomalies de la différence entre mars et juin 2016. Les anomalies négatives (en bleu) suggèrent de faibles diminutions du niveau de nitrate et les anomalies positives (en rouge), de fortes diminutions.

Juin 2016

Octobre-Novembre 2016

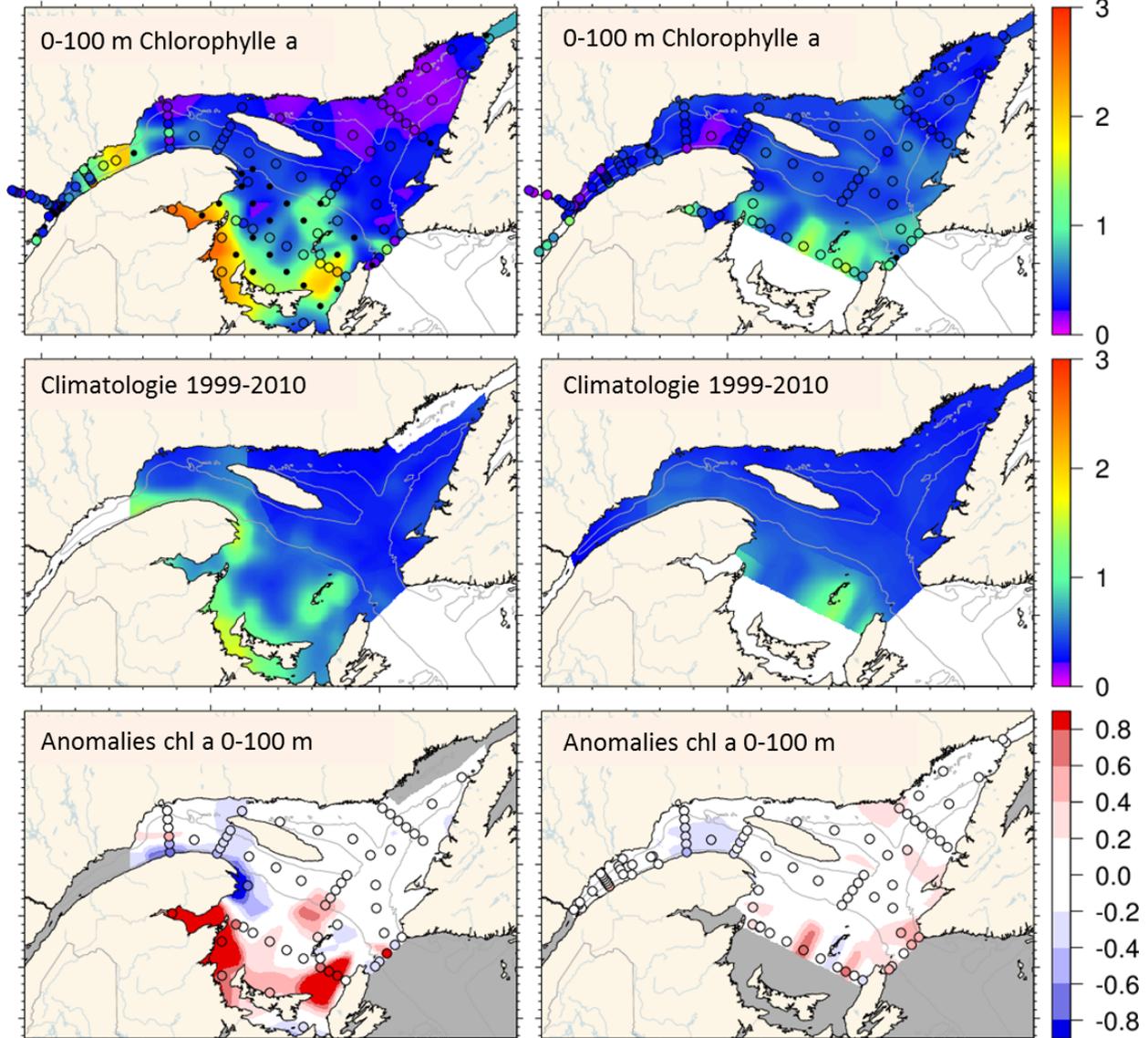


Figure 19. Concentrations de chlorophylle a (mg/m^3) moyennées verticalement (0–100 m) dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent au début juin (panneaux de gauche) et à la fin octobre/début novembre 2016 (panneaux de droite). La climatologie (1999 à 2010; panneaux centraux) et les anomalies (panneaux inférieurs) sont indiquées pour les deux saisons. Le bleu indique les anomalies inférieures à la moyenne et le rouge, celles supérieures à la moyenne.

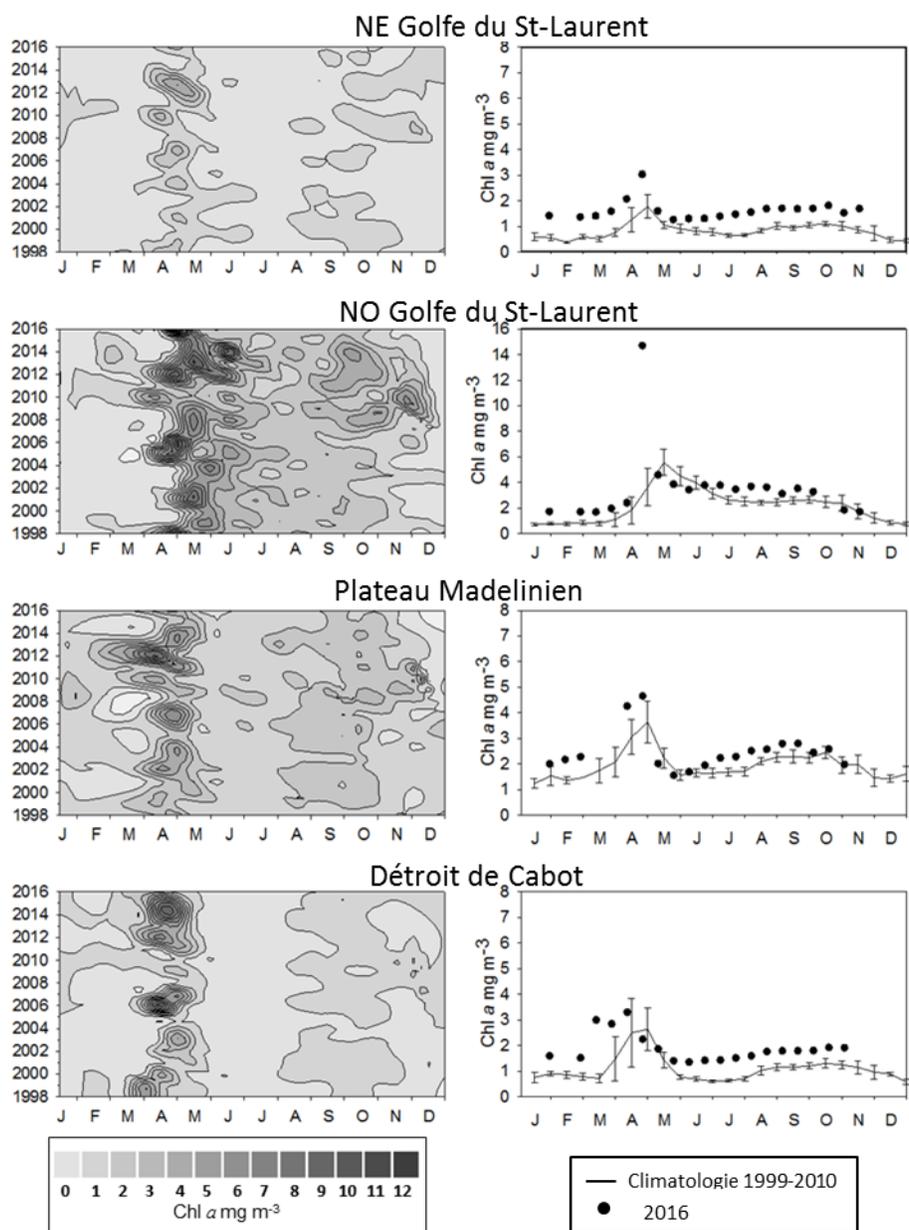


Figure 20. Panneaux de gauche : Série chronologique des concentrations de chlorophylle a en surface à partir des données bimensuelles de la couleur de l'océan de SeaWiFS (1998 à 2007), de MODIS (2008 à 2011) et de VIIRS (depuis 2012) dans les sous-régions statistiques du nord-est du golfe du Saint-Laurent, du nord-ouest du golfe du Saint-Laurent, du Plateau madelinien et du détroit de Cabot (voir la figure 3). Panneaux de droite : Comparaison des estimations de la chlorophylle en surface en 2016 (cercles noirs) à l'aide des données satellites de la couleur de l'océan et des conditions moyennes enregistrées entre 1999 et 2010 (ligne pleine; $\pm 0,5$ écart-type) dans les mêmes sous-régions statistiques.

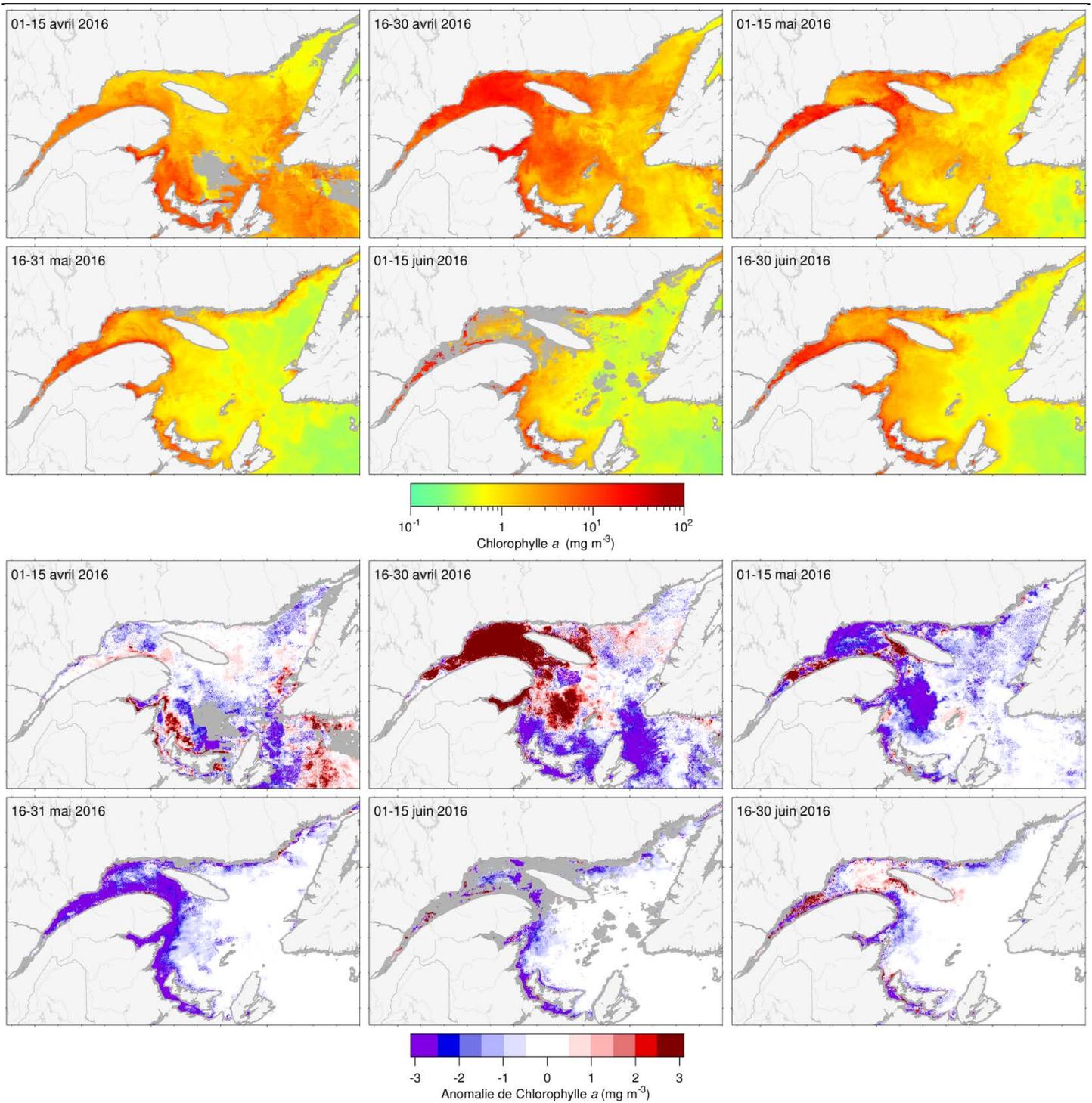


Figure 21. Images composites de la chlorophylle a en surface prises deux fois par mois par le VIIRS (panneaux supérieurs) et anomalie en fonction de la climatologie de 1999 à 2010 (panneaux inférieurs) dans le golfe du Saint-Laurent au printemps 2016.

Indices de changement des propriétés du bloom printanier basés sur SeaWiFS (1998-2007), MODIS (2008-2011) et VIIRS (2012-présent)

Index	Subregion	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Moy.	σ
Début du bloom (jour de l'année)	Nord-ouest GSL	-0.74	0.59	0.21	-0.46	1.39	0.10	0.76	-0.87	-0.42	0.32	0.53	0.36	-2.53	-0.74	-0.70	-0.09	0.36	0.82	0.10	107	13
	Nord-est GSL	-0.70	-0.03	2.08	0.02	0.24	1.01	-1.10	0.35	-1.11	0.55	0.21	-0.74	-1.47	1.88	1.52	-1.06	1.38	2.51	0.03	99	9
	Plateau madelinien	0.29	-0.95	-0.58	0.59	-0.50	0.28	0.91	n.d.	1.19	-0.35	0.89	0.65	-2.12	0.35	-1.35	-0.98	1.01	1.32	-1.64	91	13
	Détroit de Cabot	-0.64	-0.83	-0.19	0.60	0.21	0.78	0.63	0.04	-0.54	0.12	1.67	-0.09	-2.40	0.54	-1.71	-0.82	0.85	1.83	-3.06	92	14
Durée du bloom (jours)	Nord-ouest GSL	-0.12	0.48	2.08	0.43	-1.24	1.35	0.46	-0.85	-0.74	-0.01	-0.60	-0.95	-0.41	0.16	-0.97	0.03	1.49	-0.60	-1.21	42	22
	Nord-est GSL	-0.39	-0.37	-0.79	-0.28	0.51	2.90	0.23	-0.82	-0.06	-0.53	0.12	-0.32	-0.60	-0.99	-0.78	0.03	-0.19	-0.70	-0.51	35	22
	Plateau madelinien	-0.05	-0.44	2.03	-0.66	0.31	0.12	-1.29	n.d.	-1.21	0.81	-0.66	0.04	0.96	-0.06	0.11	1.17	-0.38	-0.66	1.14	36	16
	Détroit de Cabot	0.09	-0.55	-1.23	0.93	-1.24	-1.34	0.13	0.54	0.28	0.57	-0.70	0.88	1.74	-0.49	3.00	1.29	-1.27	-0.84	4.36	30	12
Magnitude du bloom (mg Chl m ⁻²)	Nord-ouest GSL	0.80	0.22	1.34	0.69	-1.49	1.13	1.35	-0.73	-0.27	0.45	-0.61	-0.91	-1.16	-1.11	0.92	1.47	3.96	-0.23	0.67	156	51
	Nord-est GSL	1.79	-0.56	-1.23	0.29	-0.30	1.37	0.71	-1.43	0.75	1.17	-0.70	-1.08	1.00	-0.98	0.87	4.27	-0.98	-1.63	-0.17	39	18
	Plateau madelinien	-0.04	-0.87	-0.20	-0.61	0.67	0.84	-1.01	n.d.	-0.83	2.11	-0.67	-0.39	0.96	0.70	3.70	1.76	0.95	-0.62	1.83	78	48
	Détroit de Cabot	2.57	0.41	-0.37	-0.34	0.06	-0.18	-0.45	-0.98	2.42	1.31	-1.24	-0.11	-0.52	-0.03	3.12	1.51	1.21	-1.08	1.21	67	42
Amplitude du bloom (mg Chl m ⁻³)	Nord-ouest GSL	0.82	-0.90	-1.50	-0.39	1.23	-1.10	0.19	0.91	1.37	0.14	0.18	1.01	-1.13	-1.84	5.38	1.24	0.63	0.84	7.78	5.94	1.50
	Nord-est GSL	2.04	-0.27	-0.41	0.39	-0.78	-0.91	0.03	-0.65	0.40	1.87	-0.81	-0.81	1.94	0.55	2.59	2.80	-0.81	-1.08	0.36	1.79	0.97
	Plateau madelinien	0.01	-1.15	-1.46	-0.30	0.68	1.22	-0.29	n.d.	0.22	1.89	-0.44	-0.69	0.32	1.30	5.84	1.02	2.51	-0.34	1.13	3.11	1.15
	Détroit de Cabot	1.93	0.65	0.46	-0.79	1.24	1.00	-0.64	-1.15	1.57	0.48	-1.16	-0.63	-1.03	0.10	0.30	0.21	3.28	-0.93	-0.68	3.65	2.32

Indices de changement de la productivité basé sur SeaWiFS (1998-2007), MODIS (2008-2011) et VIIRS (2012-présent; recalculé fév. 2017)

Index	Subregion	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Moy.	σ
Moyenne Chl surface Mars - Novembre (mg m ⁻³)	Nord-ouest GSL	0.82	-0.63	-0.75	0.05	-0.96	-0.92	-0.70	1.33	0.01	-0.91	1.98	1.00	0.50	0.01	3.08	2.14	2.34	-0.84	0.66	2.75	0.40
	Nord-est GSL	0.22	0.74	1.12	0.08	-0.75	0.24	0.16	-1.92	0.07	-0.29	-1.57	0.87	1.26	-0.85	2.16	4.15	-1.32	-1.33	-0.64	0.95	0.10
	Plateau madelinien	-2.10	-1.06	0.38	-1.35	1.59	-0.80	-0.03	-1.46	0.58	0.82	0.32	1.20	-0.19	1.25	2.22	2.57	1.71	-1.39	-1.23	2.12	0.20
	Détroit de Cabot	0.71	0.46	0.57	-0.60	0.26	0.05	-0.97	-1.41	2.49	0.35	-0.86	-0.20	-0.14	-0.28	1.23	1.20	1.04	-0.78	-0.05	1.19	0.31
Moyenne Chl surface Mars - Mai (mg m ⁻³)	Nord-ouest GSL	2.45	-0.26	-1.66	0.86	-0.62	-1.31	0.08	2.05	0.74	-0.62	0.27	0.25	0.22	-0.85	3.29	2.23	0.47	-0.28	1.68	3.10	0.63
	Nord-est GSL	1.36	-0.06	-0.92	0.04	-0.39	-0.81	1.69	-1.34	0.48	0.92	-0.61	-0.67	1.66	0.32	3.54	4.58	-0.26	-1.91	-0.11	1.10	0.20
	Plateau madelinien	-0.74	-0.48	-0.15	-1.07	1.04	0.79	0.86	-1.45	0.07	1.86	-1.19	-0.40	0.12	0.69	3.65	2.02	2.28	-0.71	0.05	2.48	0.57
	Détroit de Cabot	1.20	0.86	-0.01	-0.78	-0.03	0.85	-0.71	-1.13	2.20	0.78	-1.12	-0.35	-0.56	-0.01	1.82	1.23	2.22	-0.53	0.16	1.63	0.75
Moyenne Chl surface Juin - Août (mg m ⁻³)	Nord-ouest GSL	0.50	-0.55	0.09	-0.61	0.36	-0.51	-0.18	2.18	-0.07	-1.55	1.55	-0.19	-0.51	-1.64	1.00	0.41	3.14	-1.89	-0.11	2.87	0.36
	Nord-est GSL	-1.02	0.59	1.53	0.25	-0.46	1.84	0.25	-0.43	-0.41	-1.14	-1.54	0.24	-0.73	-1.01	-1.17	0.51	-1.15	-0.17	-0.94	0.80	0.15
	Plateau madelinien	-1.44	-0.06	0.42	-0.62	0.61	-1.53	0.42	0.10	2.09	-0.70	0.62	0.14	-1.51	-1.36	-1.88	1.23	0.24	-1.99	-1.91	1.84	0.19
	Détroit de Cabot	-0.84	-0.78	2.06	0.55	0.54	-0.69	-0.98	-1.68	0.97	-0.07	-0.47	0.18	0.37	-0.85	-1.52	0.44	-0.14	-0.33	-0.78	0.80	0.13
Moyenne Chl surface Septembre - Novembre (mg m ⁻³)	Nord-ouest GSL	-0.70	-0.60	0.09	-0.41	-1.07	-0.17	-0.98	-0.46	-0.61	-0.24	2.23	1.46	0.76	1.59	1.54	1.01	1.64	-0.20	-0.61	2.32	0.76
	Nord-est GSL	-0.02	0.69	1.47	-0.07	-0.35	-0.37	-1.43	-1.36	-0.19	-0.64	-0.26	1.77	0.74	-0.98	0.50	1.21	-0.17	0.02	-0.24	0.97	0.19
	Plateau madelinien	-1.48	-0.90	0.50	-0.35	0.35	-1.07	-0.90	-0.42	-0.26	-0.73	1.63	2.07	0.08	1.34	-0.35	0.61	0.63	-0.17	-0.65	2.10	0.40
	Détroit de Cabot	-0.37	-0.70	1.15	-0.40	0.77	-1.03	-1.23	-0.56	1.64	-1.31	0.56	0.21	0.90	-0.42	-0.31	-0.16	0.10	-0.54	-0.57	1.20	0.22

Figure 22. Anomalies annuelles normalisées (tableau synoptique) des propriétés de la floraison printanière (section supérieure) et de productivité (section inférieure; chlorophylle en surface moyenne au cours de différentes périodes; mg/m³) dans les sous-régions statistiques du golfe du Saint-Laurent (voir la figure 3) de 1998 à 2016. Les indices de floraisons printanières sont le début (jour de l'année), la durée (en jours), l'ampleur (mg de chl/m²) et l'amplitude (mg de chl/m³). La période de référence utilisée pour calculer les anomalies annuelles est de 1999 à 2010. Le bleu indique les anomalies inférieures à la moyenne et le rouge, celles supérieures à la moyenne. Les moyennes et écarts-types climatologiques sont indiqués à droite du tableau.

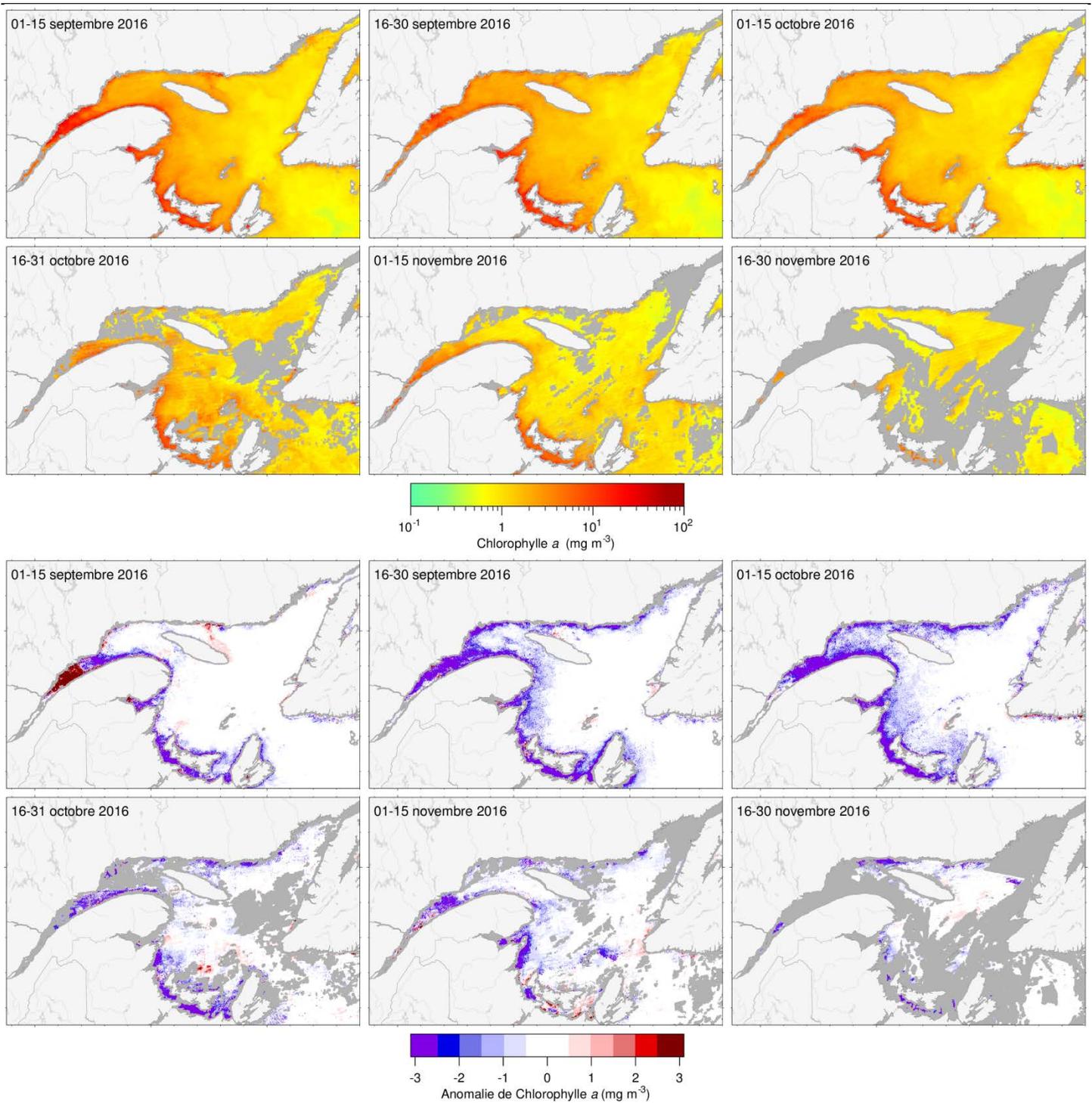


Figure 23. Images composites de la chlorophylle a en surface prises deux fois par mois par le VIIRS (panneaux supérieurs) et anomalie en fonction de la climatologie de 1999 à 2010 (panneaux inférieurs) dans le golfe du Saint-Laurent à l'automne 2016.

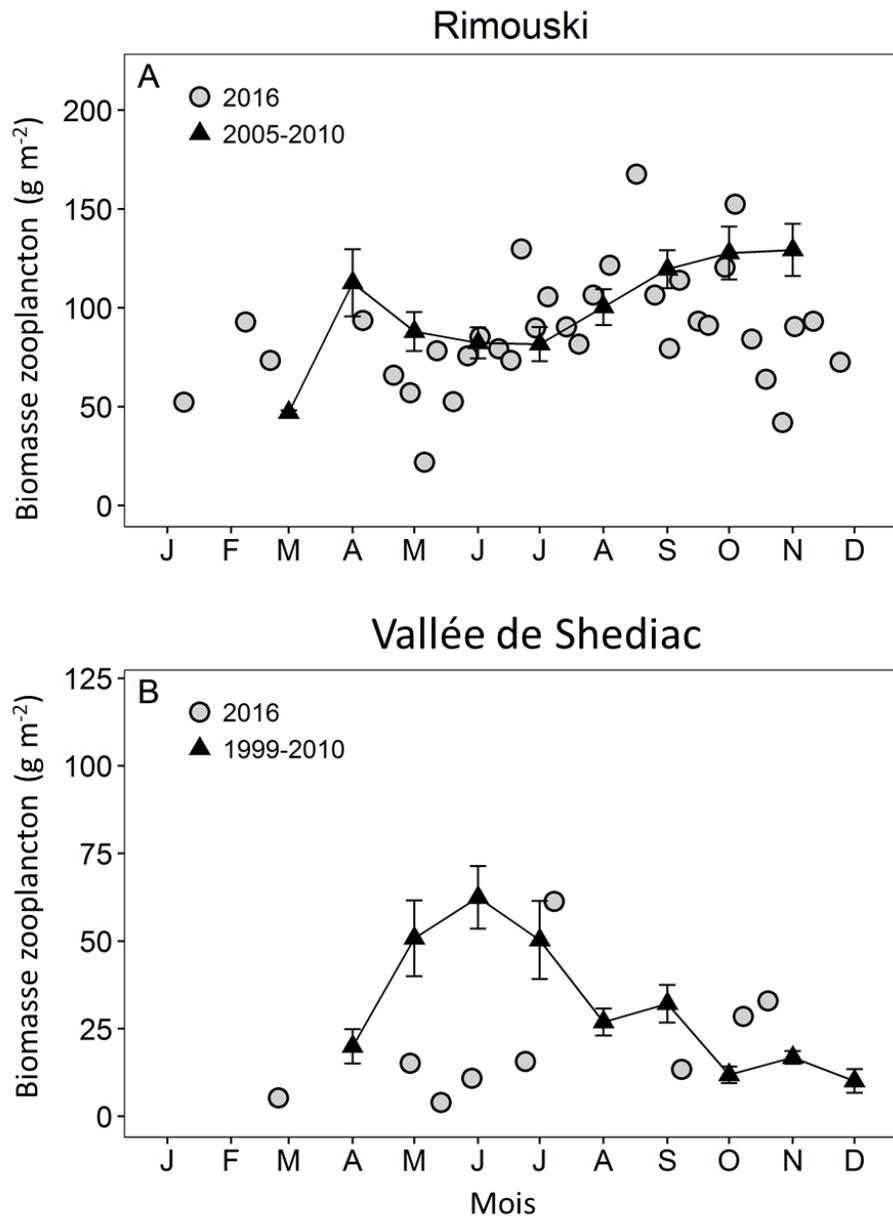


Figure 24. Comparaison de la biomasse totale de zooplancton en 2016 (cercles) par rapport à la climatologie mensuelle des stations de A) Rimouski (2005 à 2010) et de B) la vallée de Shediac (1999 à 2010) [triangles et ligne pleine]. Les lignes verticales représentent les erreurs-types des moyennes mensuelles.

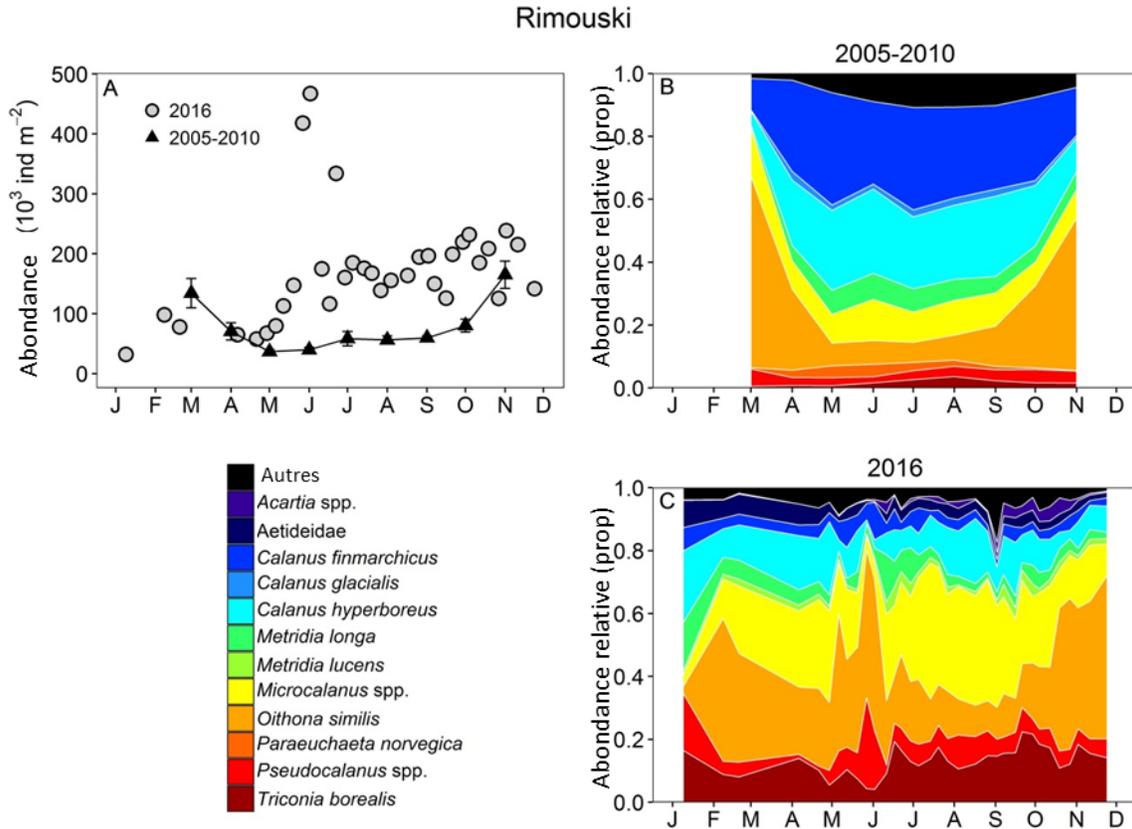


Figure 25. Variabilité saisonnière des copépodes dominants à la station de Rimouski. Abondance des copépodes (à l'exception du nauplius) au cours de la période de référence (triangles et ligne pleine avec erreurs-types) et de 2016 (cercles) [A]; climatologie de l'abondance relative des copépodes composant les 95 % supérieurs des taxons identifiés pour la période de 2005 à 2010 (B); et en 2016 (C).

Vallée de Shediac

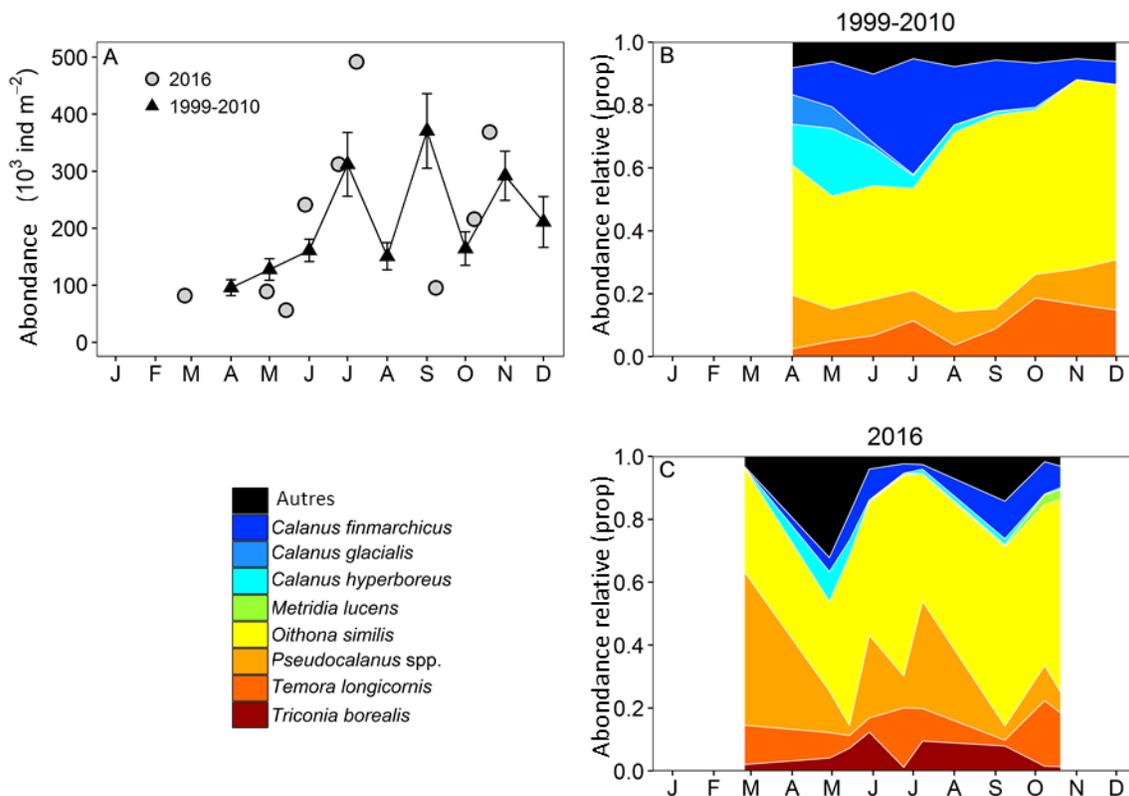


Figure 26. Variabilité saisonnière des copépodes dominants à la station de la vallée de Shediac. Abondance des copépodes (à l'exception du nauplius) au cours de la période de référence (triangles et ligne pleine avec erreurs-types) et de 2016 (cercles) [A]; climatologie de l'abondance relative des copépodes composant les 95 % supérieurs des taxons identifiés pour la période de 1999 à 2010 (B); et en 2016 (C).

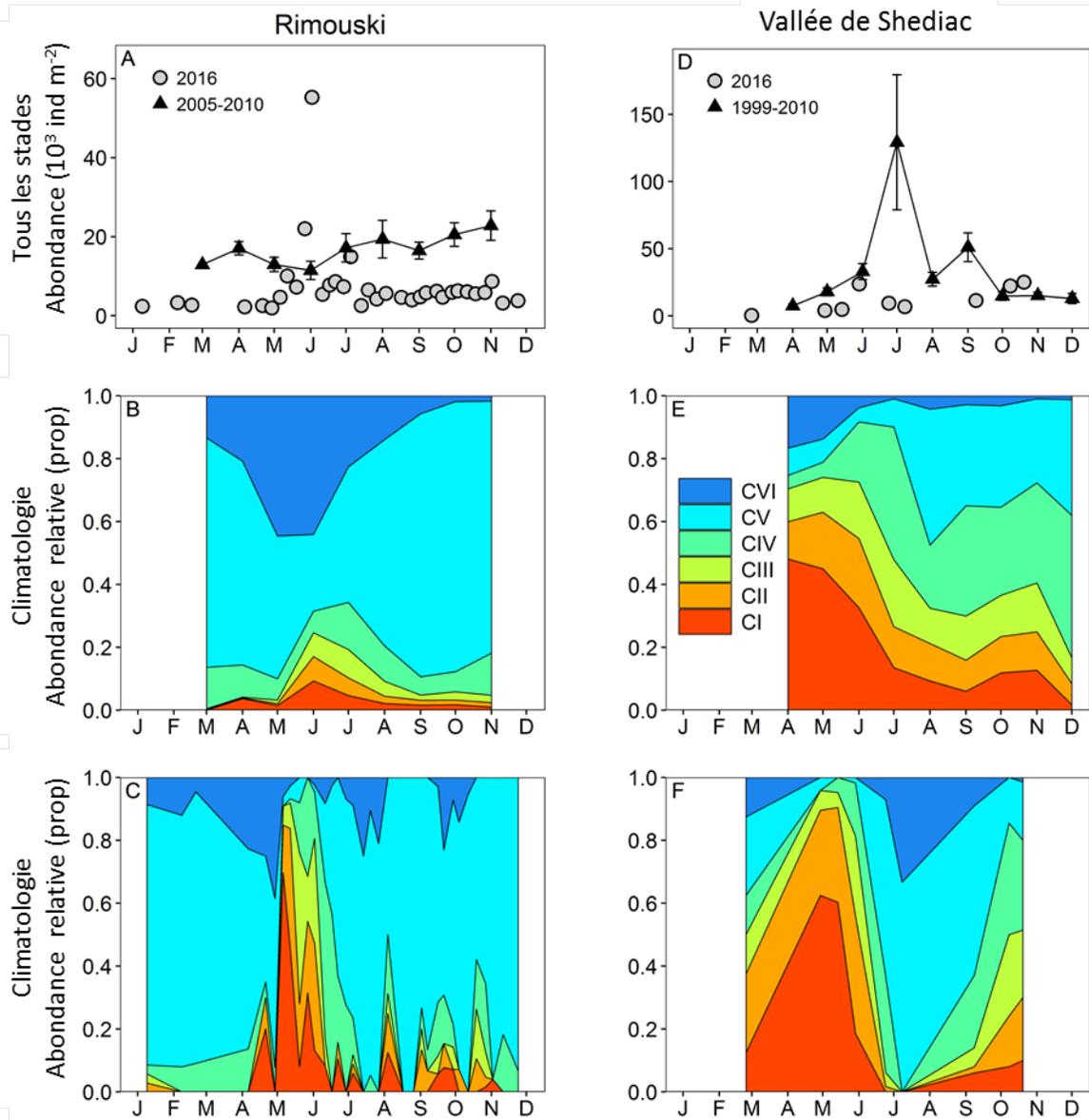


Figure 27. Variabilité saisonnière de l'abondance de copépodites *Calanus finmarchicus* aux stations de Rimouski (A à C) et de la vallée de Shediac (D à F). Les climatologies des dénombrements combinés pour les périodes de référence (triangles et lignes pleines avec erreurs-types; 2005 à 2010 pour Rimouski et 1999 à 2010 pour la vallée de Shediac) sont présentés avec les données de 2016 (cercles) [A, D]. Les variabilités saisonnières des différents stades copépodites pour les périodes de référence (B, E) et 2016 (C, F) sont également indiquées.

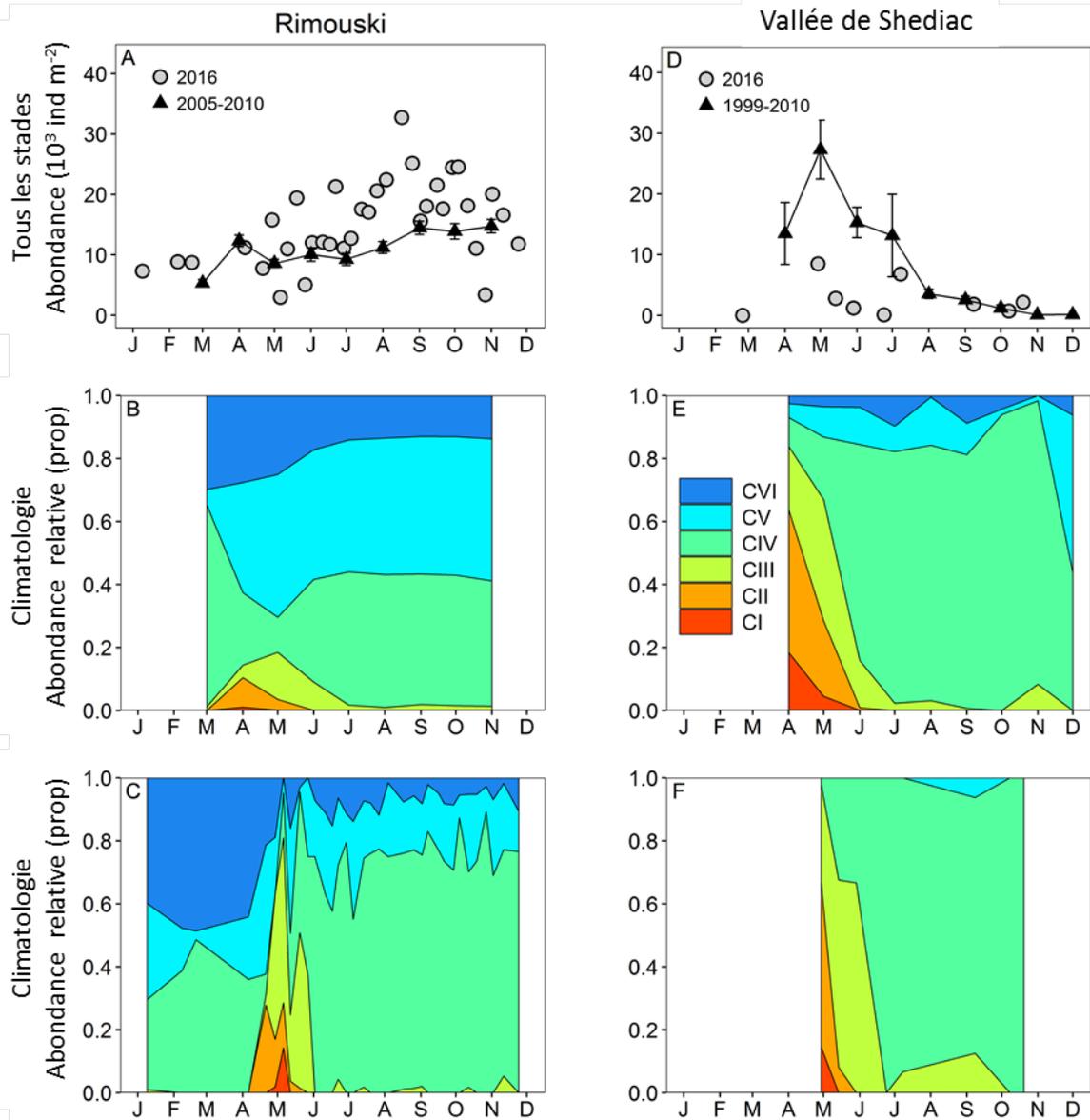


Figure 28. Variabilité saisonnière de l'abondance de copépodites *Calanus hyperboreus* aux stations de Rimouski (A à C) et de la vallée de Shediac (D à F). Les climatologies des dénombrements combinés pour les périodes de référence (triangles et lignes pleines avec erreurs-types; 2005 à 2010 pour Rimouski et 1999 à 2010 pour la vallée de Shediac) sont présentés avec les données de 2016 (cercles) [A, D]. Les variabilités saisonnières des différents stades copépodites pour les périodes de référence (B, E) et 2016 (C, F) sont également indiquées.

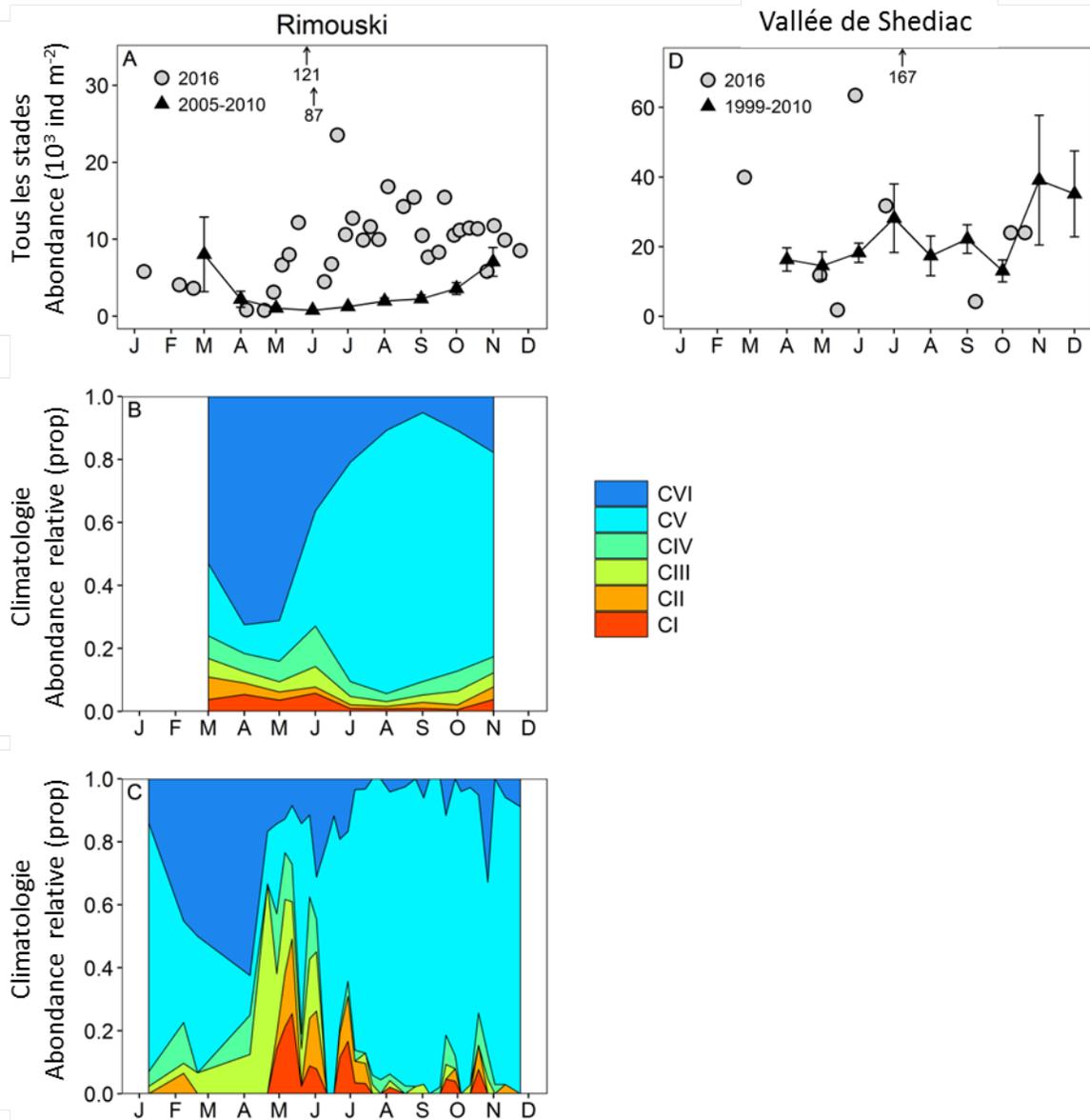


Figure 29. Variabilité saisonnière de l'abondance de copépodites des *Pseudocalanus* spp. aux stations de Rimouski (A à C) et de la vallée de Shediac (D). Les climatologies des dénombrements combinés pour les périodes de référence (triangles et lignes pleines avec erreurs-types; 2005 à 2010 pour Rimouski et 1999 à 2010 pour la vallée de Shediac) sont présentés avec les données de 2016 (cercles) [A, D]. La variabilité saisonnière des différents stades copépodites pour la période de référence (B) et 2016 (C) est également indiquée. Aucun renseignement sur les stades n'est disponible pour la vallée de Shediac. Les valeurs hors échelle pour la station de Rimouski ont été échantillonnées le 9 juin (120 500 individus/m²) et le 15 juin (86 500 individus/m²), et celles pour la vallée de Shediac, le 21 juillet (167 500 individus/m²).

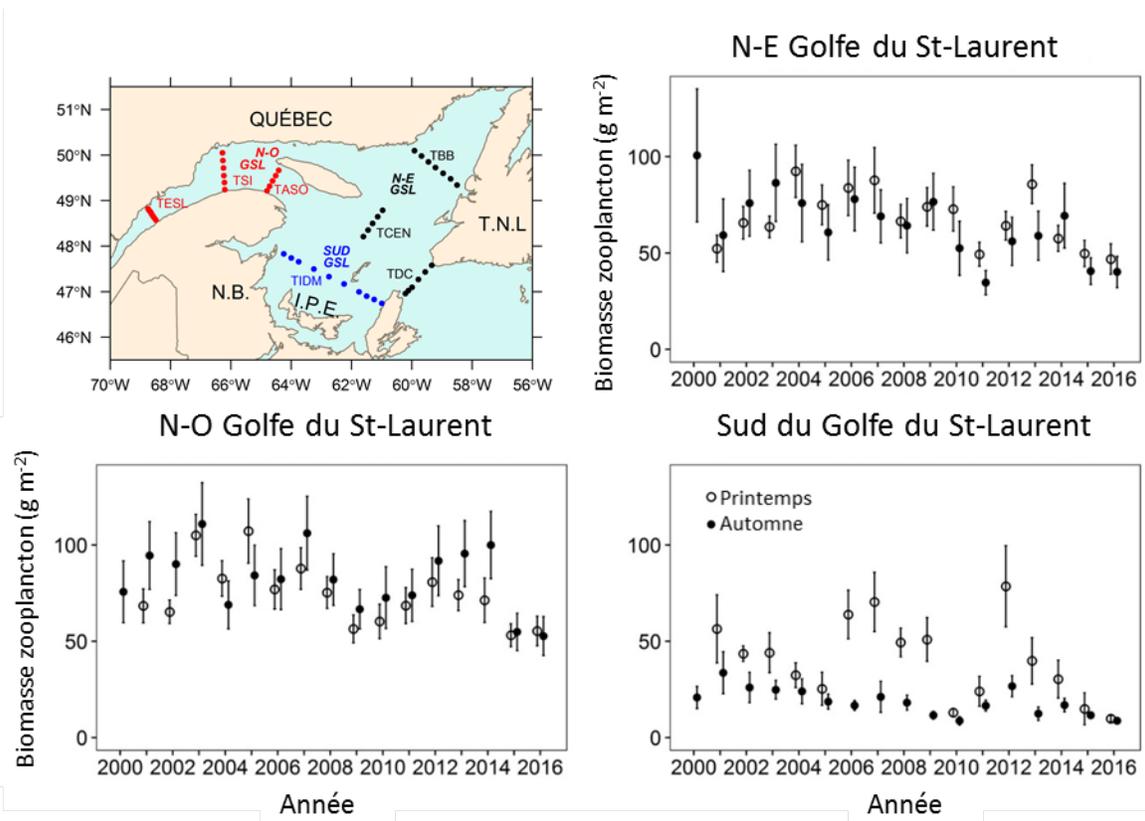


Figure 30. Biomasse totale moyenne du zooplancton au printemps (cercles ouverts) et en automne (cercles pleins) pour les trois sous-régions de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent de 2000 à 2016. Les lignes verticales représentent les erreurs-types.

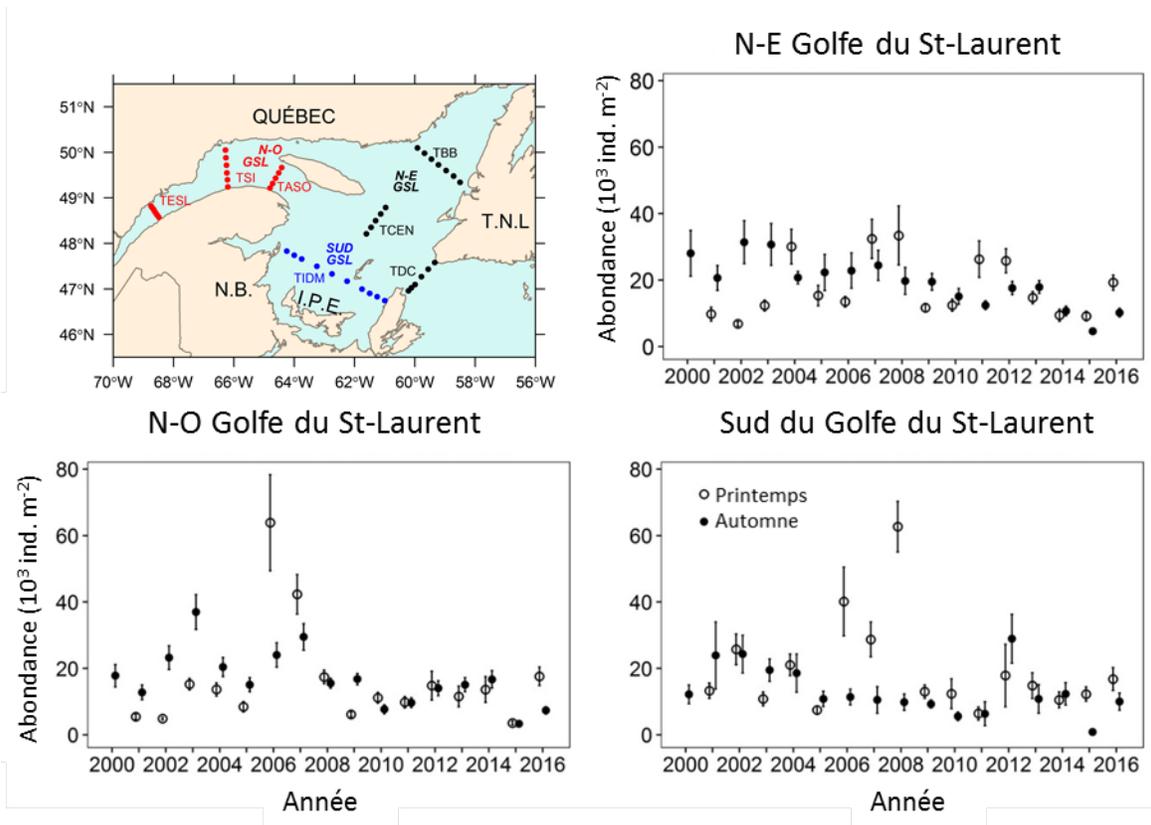


Figure 31. Abondance totale moyenne de *Calanus finmarchicus* au printemps (cercles ouverts) et en automne (cercles pleins) pour les trois sous-régions de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent de 2000 à 2016. Les lignes verticales représentent les erreurs-types.

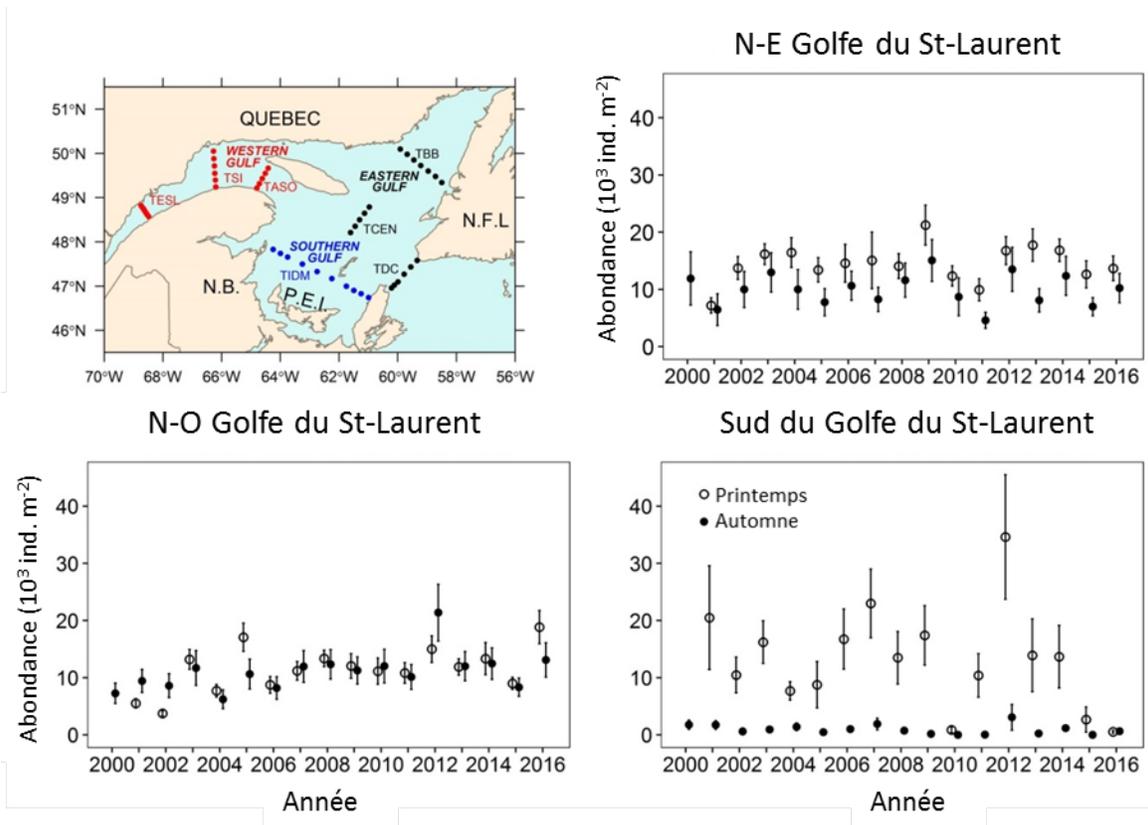


Figure 32. Abondance totale moyenne de *Calanus hyperboreus* au printemps (cercles ouverts) et en automne (cercles pleins) pour les trois sous-régions de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent de 2000 à 2016. Les lignes verticales représentent les erreurs-types.

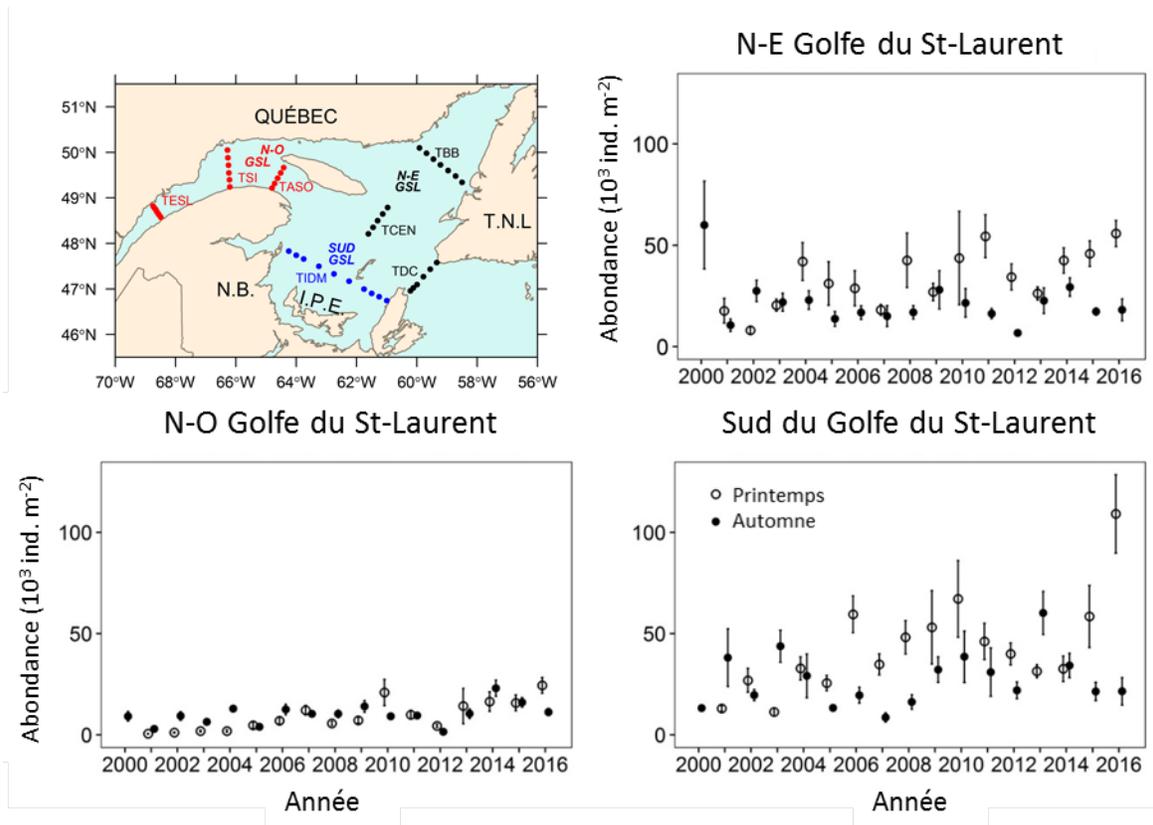


Figure 33. Abondance totale moyenne des *Pseudocalanus* spp. au printemps (cercles ouverts) et en automne (cercles pleins) pour les trois sous-régions de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent de 2000 à 2016. Les lignes verticales représentent les erreurs-types.

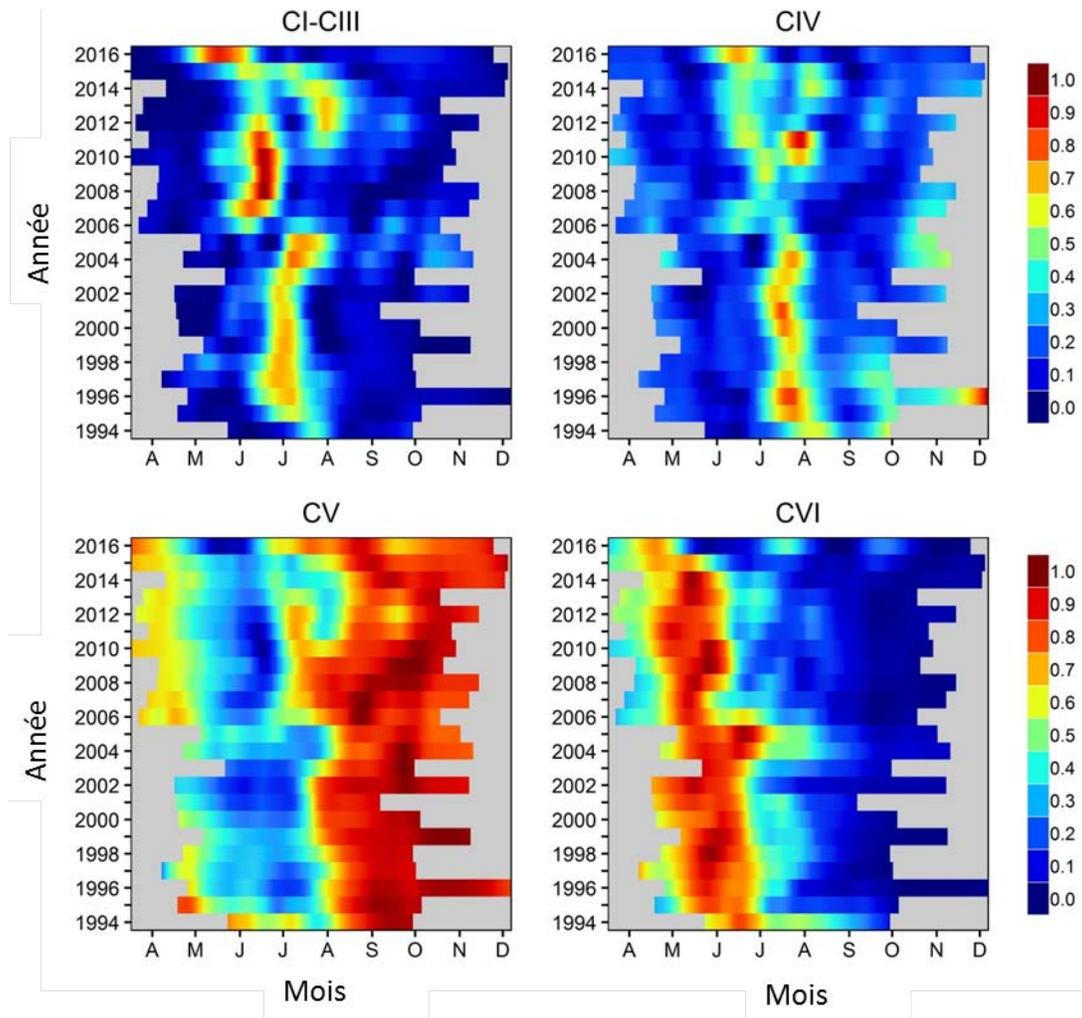


Figure 34. Cycle saisonnier en proportions relatives de l'abondance totale pour les stades CI à CIII, CIV, CV et CVI (mâles et femelles) des copépodites *Calanus finmarchicus* de 1994 à 2016 à la station de Rimouski. Les proportions sont normalisées selon le maximum annuel et lissées à l'aide d'un algorithme Loess.

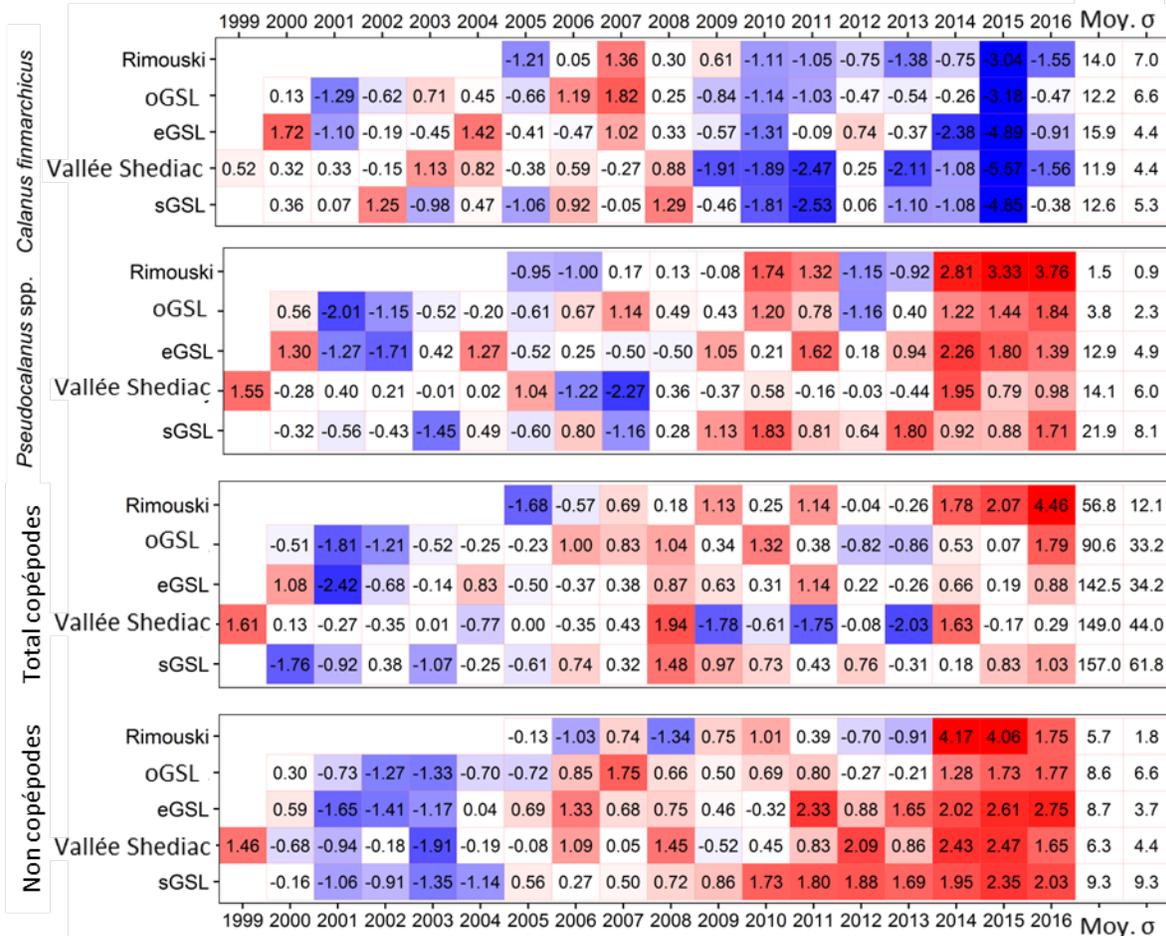


Figure 35. Anomalies annuelles normalisées (tableau synoptique) de quatre catégories de zooplancton aux sites de monitoring à haute fréquence et dans les trois sous-régions de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (période de référence : 1999 à 2010 [2005 à 2010 pour Rimouski]). Le bleu indique les anomalies inférieures à la moyenne et le rouge, celles supérieures à la moyenne. Les moyennes et écarts-types climatologiques sont également indiqués (abondance; $\times 10^3$ individus/m²).

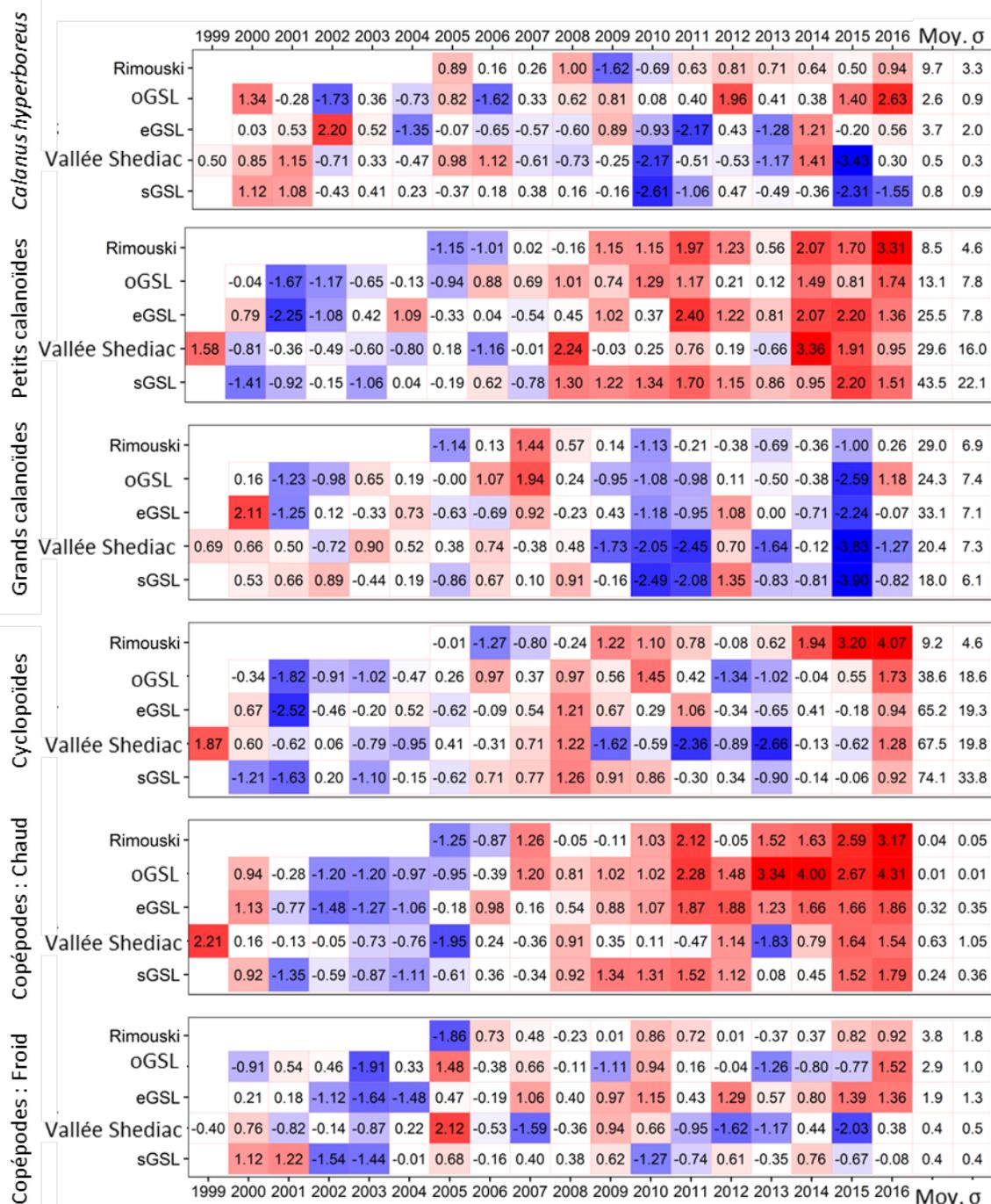


Figure 36. Anomalies annuelles normalisées (tableau synoptique) de six catégories d'assemblages de zooplancton aux sites de monitoring à haute fréquence et dans les trois sous-régions de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (période de référence : 1999 à 2010 [2005 à 2010 pour la station de Rimouski]). Le bleu indique les anomalies inférieures à la moyenne et le rouge, celles supérieures à la moyenne. Les moyennes et écarts-types climatologiques sont également indiqués (abondance; $\times 10^3$ individus/m²). Petits calanoïdes : principalement des espèces néritiques comme *Pseudocalanus spp.*, *Acartia spp.*, *Temora longicornis* et *Centropages spp.*; grands calanoïdes : principalement les espèces *Calanus* et *Metridia*; cyclopoïdes : principalement *Oithona spp.* et *Triconia spp.*; espèces d'eaux chaudes : *Metridia lucens*, *Centropages spp.*, *Paracalanus spp.* et *Clausocalanus spp.*; et espèces propres d'eaux froides : *Calanus glacialis* et *Metridia longa*.

ANNEXES

Annexe 1. Résultats des GLM pour les stations de Rimouski et de la vallée de Shédiac. Présentation des effets liés à l'année et au mois ainsi que du R carré ajusté de la régression pour chaque groupe.

Région	Groupe	Année (p)	mois (p)	R ²
Rimouski	<i>Calanus finmarchicus</i>	<0,0001	<0,0001	0,48
	<i>Pseudocalanus</i> spp.	<0,0001	<0,0001	0,57
	Copépodes totaux	<0,0001	<0,0001	0,57
	Non-copépodes	<0,0001	<0,0001	0,43
	<i>Calanus hyperboreus</i>	<0,0001	<0,0001	0,40
	Petits calanoïdes	<0,0001	<0,0001	0,65
	Grands calanoïdes	<0,0001	<0,0001	0,25
	Cyclopoïdes	<0,0001	<0,0001	0,58
	Copépodes : eau chaude	<0,0001	0,95	0,54
	Copépodes : eau froide	<0,0001	<0,0001	0,43
	Vallée de Shédiac	<i>Calanus finmarchicus</i>	<0,0001	<0,0001
<i>Pseudocalanus</i> spp.		0,2	0,3	0,03
Copépodes totaux		0,4	<0,0001	0,18
Non-copépodes		0,0007	0,0001	0,24
<i>Calanus hyperboreus</i>		<0,0001	<0,0001	0,66
Petits calanoïdes		0,01	0,0004	0,18
Grands calanoïdes		<0,0001	<0,0001	0,38
Cyclopoïdes		0,3	<0,0001	0,26
Copépodes : eau chaude		0,1	0,03	0,09
Copépodes : eau froide		0,2	<0,0001	0,29

Annexe 2. Résultats des GLM pour les sections. Présentation des effets liés à l'année, à la saison et à la station ainsi que du R carré ajusté de la régression pour chaque groupe.

Région	Groupe	année (p)	saison (p)	station(p)	R ²
oGSL	<i>Calanus finmarchicus</i>	<0,0001	0,002	<0,0001	0,66
	<i>Pseudocalanus</i> spp.	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,52
	Copépodes totaux	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,76
	Non-copépodes	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,60
	<i>Calanus hyperboreus</i>	0,001	<0,0001	<0,0001	0,60
	Petits calanoïdes	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,68
	Grands calanoïdes	<0,0001	0,07	<0,0001	0,78
	Cyclopoïdes	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,70
	Copépodes : eau chaude	<0,0001	0,3	<0,0001	0,47
	Copépodes : eau froide	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,66
sGSL	<i>Calanus finmarchicus</i>	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,32
	<i>Pseudocalanus</i> spp.	<0,0001	<0,0001	0,7	0,16
	Copépodes totaux	<0,0001	<0,0001	0,003	0,29
	Non-copépodes	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,49
	<i>Calanus hyperboreus</i>	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,48
	Petits calanoïdes	<0,0001	0,003	0,01	0,27
	Grands calanoïdes	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,48
	Cyclopoïdes	<0,0001	<0,0001	0,0009	0,35
	Copépodes : eau chaude	<0,0001	<0,0001	0,3	0,52
	Copépodes : eau froide	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,39
eGSL	<i>Calanus finmarchicus</i>	<0,0001	0,6	<0,0001	0,21
	<i>Pseudocalanus</i> spp.	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,27
	Copépodes totaux	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,28
	Non-copépodes	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,45
	<i>Calanus hyperboreus</i>	0,05	<0,0001	<0,0001	0,53
	Petits calanoïdes	<0,0001	0,96	<0,0001	0,40
	Grands calanoïdes	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,45
	Cyclopoïdes	<0,0001	<0,0001	0,0008	0,32
	Copépodes : eau chaude	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,51
	Copépodes : eau froide	<0,0001	0,0004	<0,0001	0,37