



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 2019/059

Région du Québec

Les conditions océanographiques chimiques et biologiques dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent en 2018

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

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



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2019
ISSN 2292-4272

La présente publication doit être citée comme suit :

Blais, M., Galbraith, P.S., Plourde, S., Scarratt, M., Devine, L. et Lehoux, C. 2019. Les conditions océanographiques chimiques et biologiques dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent en 2018. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2019/059. iv + 67 pp.

Also available in English :

Blais, M., Galbraith, P.S., Plourde, S., Scarratt, M., Devine, L. and Lehoux, C. 2019. Chemical and Biological Oceanographic Conditions in the Estuary and Gulf of St. Lawrence during 2018. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2019/059. iv + 64 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	IV
INTRODUCTION	1
MÉTHODES	1
RÉCOLTE D'ÉCHANTILLONS.....	1
OXYGÈNE	2
ÉLÉMENTS NUTRITIFS ET CHLOROPHYLLE A.....	3
TÉLÉDÉTECTION DE LA COULEUR DE L'OCÉAN.....	3
INDICES DE ZOOPLANCTON.....	4
TABLEAUX SYNOPTIQUES.....	6
OBSERVATIONS.....	6
ENVIRONNEMENT PHYSIQUE	6
OXYGÈNE AU FOND	7
ÉLÉMENTS NUTRITIFS ET PHYTOPLANCTON	7
Sites de monitoring à haute fréquence	7
Sous-régions du golfe	8
Télé-détection de la couleur de l'océan	9
ZOOPLANCTON.....	9
Sites de monitoring à haute fréquence	9
Sous-régions du golfe	10
Phénologie des copépodes	10
Tableaux synoptiques	10
DISCUSSION.....	11
CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES.....	11
PHYTOPLANCTON	13
ZOOPLANCTON.....	14
SOMMAIRE	16
REMERCIEMENTS	17
RÉFÉRENCES	17
TABLEAUX.....	20
FIGURES.....	21
ANNEXES.....	62

RÉSUMÉ

Un aperçu des conditions océanographiques chimiques et biologiques du golfe du Saint-Laurent (GSL) en 2018 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 concentrations d'oxygène à 300 m ont atteint un minimum record dans plusieurs régions du GSL en 2018. La diminution des concentrations d'oxygène était particulièrement forte depuis le détroit de Cabot jusqu'à la région du nord-ouest du GSL, alors que les concentrations sont restées relativement stables dans l'estuaire en comparaison avec 2017. Les inventaires de nitrates dans la couche de surface (0–50 m) et la couche intermédiaire (50–150 m) étaient généralement sous la normale partout dans le GSL durant l'été et l'automne, mais étaient près de la normale à l'hiver. Ceci suggère une forte diminution du contenu en nitrates entre les mois de mars et juin dans l'ensemble des régions du GSL. Encore une fois en 2018, les inventaires de nitrates étaient au-dessus de la normale dans les eaux profondes (150 m–fond) de l'est du GSL (eGSL), ce qui a été observé depuis 2012 et est associé à l'intrusion d'eaux chaudes et salées. Les anomalies annuelles de la chlorophylle intégrée verticalement (chl *a*; 0–100 m) étaient supérieures à la moyenne historique dans toutes les régions, principalement dû aux fortes concentrations de chl *a* à l'automne. Plus spécifiquement, la biomasse de phytoplancton a atteint des maximums records durant l'été dans l'ouest du GSL (oGSL), et à l'automne dans l'eGSL. En accord avec la grande diminution printanière de nitrates, les observations satellitaires montrent que la floraison printanière a débuté plus tôt, a duré plus longtemps et a eu une intensité plus grande que la normale dans plusieurs régions, la principale exception étant dans l'eGSL. La biomasse de zooplancton a connu une augmentation en 2018 par rapport à ce qu'elle était en 2016 et 2017, mais elle est tout de même restée sous la moyenne à long terme presque partout dans le GSL. Dans la plupart des régions, l'abondance des grands calanoïdes était sous la normale en 2018, principalement en raison de *Calanus hyperboreus* à la station Rimouski et de *Calanus finmarchicus* dans l'est et le sud du GSL. En revanche, l'abondance des petits calanoïdes était au-dessus de la normale dans l'oGSL et le sGSL, et près de la normale dans l'eGSL, en accord avec les tendances observées depuis 2014. L'abondance des copépodes associés à l'eau chaude était au-dessus de la normale également dans l'oGSL et le sGSL et près de la normale dans l'eGSL. Dans cette dernière région, l'abondance des copépodes associés à l'eau froide était plus élevée que la moyenne à long terme pour la quatrième année consécutive. La phénologie de *Calanus finmarchicus* à la station Rimouski suggère que l'émergence de la diapause et le développement vers l'adulte ont eu lieu au moment habituel. Par contre, la cohorte de jeunes stades copépodites a été présente sur une longue période et a atteint son maximum seulement en juillet. L'échantillonnage peu fréquent et irrégulier à la station de la vallée de Shediac nous empêche de bien décrire les patrons saisonniers associés aux nutriments et aux niveaux trophiques inférieurs à cette station.

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 de l'oxygène dissous, des éléments nutritifs (nitrate, silicate, phosphate) et des concentrations de chlorophylle *a* (chl *a*) dans l'eau de mer fournit des données importantes sur les mouvements des masses d'eau ainsi que sur l'emplacement, 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 et 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 précieux sur la variabilité naturelle des propriétés physiques, chimiques et biologiques du plateau continental de l'Atlantique Nord-Ouest : les sections transversales fournissent des données géographiques détaillées, mais elles offrent une couverture saisonnière limitée tandis que les sites de monitoring à haute fréquence placés à des endroits stratégiques complètent l'échantillonnage en fournissant des données détaillées sur les variations saisonnières des propriétés de l'écosystème.

Dans le présent document, nous passons en revue les conditions océanographiques chimiques et biologiques (niveaux trophiques inférieurs) du golfe du Saint-Laurent (GSL) en 2018. Les conditions océanographiques physiques qui prévalaient en 2018 sont décrites dans Galbraith *et al.* (2019). Dans l'ensemble, la moyenne de la température de surface de mai à novembre était près de la moyenne de la période de référence malgré des conditions plus chaudes que la normale à la fin de l'été. Il s'agit de l'année la plus froide depuis 2002 en termes de température de surface. Le volume maximum de glace de mer a été le 9^e plus faible depuis 1969. La décharge annuelle moyenne d'eau douce dans l'estuaire était au-dessus de la normale. Dans les eaux profondes, les températures ont dépassé la normale, avec l'advection d'eaux profondes vers l'intérieur du GSL à partir du détroit de Cabot. D'ailleurs, dans le golfe du Saint-Laurent, la température annuelle moyenne a atteint des niveaux record à 250 m et à 300 m. Le présent rapport décrit les cycles de production et la composition de la communauté de phytoplancton et de zooplancton en 2018 dans ce contexte.

MÉTHODES

RÉCOLTE D'ÉCHANTILLONS

Toutes les étapes de collecte et de traitement des échantillons respectent les normes du protocole du PMZA (Mitchell *et al.* 2002). Les mesures sur le terrain qui sont comprises dans le présent rapport ont été réalisées le long de sept sections au cours de relevés effectués en hiver, en été et à l'automne (habituellement en mars, juin et novembre) chaque année, et à

deux sites de monitoring à haute fréquence (Figure 1). Dans le présent document, les sept sections, ainsi que les stations supplémentaires échantillonnées entre les sections, sont regroupées en trois sous-régions afin de mieux correspondre aux échelles spatiales examinées par le PMZA dans d'autres régions (Figure 2) :

- (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 sections 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 Gaspé et n'inclut que la section 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 sections du centre du GSL (TCEN), du détroit de Cabot (TDC) et de la baie Bonne (TBB);

Le tableau 1 fournit des détails sur les relevés d'échantillonnage de 2018 et les figures 2 et 3 résument l'effort d'échantillonnage durant les relevés PMZA saisonniers ainsi qu'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 (environ 1 à 2 fois par mois); et rarement en hiver (à l'exception du relevé d'hiver). 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 l'oGSL. Depuis le début du PMZA, la station de la vallée de Shediac (profondeur de 84 m) représente les conditions dans le sGSL et l'écoulement de l'ESL. La fréquence d'échantillonnage y 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 l'oxygène dissous (méthode de Winkler), des éléments nutritifs (AutoAnalyseur Technicon ou Alpkem), de la chl *a* ainsi qu'à l'identification du phytoplancton (microscopie inversée) (Mitchell *et al.* 2002). Enfin, le mésozooplancton (< 1 cm) a été échantillonné à l'aide d'un filet vertical (diamètre de 75 cm, mailles de 200 µm) déployé du fond vers la surface afin de procéder à l'identification et aux mesures de biomasse.

Depuis 1996, un relevé hivernal de la couche de mélange de surface du GSL est effectué habituellement entre le début et le milieu du mois de mars à l'aide d'un hélicoptère de la Garde côtière canadienne (GCC). L'échantillonnage des éléments nutritifs de surface (2 m) est fait depuis 2001 (Galbraith 2006, Galbraith *et al.* 2006) et des profondeurs supplémentaires ont été échantillonnées en mars 2016 et 2017 puisque l'échantillonnage a été effectué depuis un navire de la GCC au lieu d'un hélicoptère durant ces deux années. Ce relevé a ajouté une quantité importante de données à l'échantillonnage hivernal de la région autrefois limité. Plus d'une centaine de stations ont été échantillonnées en hélicoptère entre le 26 février et le 13 mars 2018.

OXYGÈNE

On utilise la concentration d'oxygène à 300 m comme indicateur de monitoring des conditions hypoxiques dans le GSL parce qu'elle varie moins dans le temps que les concentrations

d'oxygène en surface, qui elles varient selon les saisons sous l'effet du mélange de la colonne d'eau et de la production primaire. La concentration d'oxygène est mesurée à l'aide d'une sonde Sea-Bird SBE43 montée sur la CTD; la sonde est étalonnée par rapport à des échantillons d'eau de mer prélevés et analysés par titration selon la méthode de Winkler à chaque profil vertical (pour la procédure d'étalonnage, voir les [notes 61-1, 61-2 et 61-3 sur l'application Sea-Bird](#)). Nous présentons ici la distribution des concentrations annuelles moyennes d'oxygène à 300 m dans le GSL, obtenues avec la sonde CTD, ainsi que les séries chronologiques des concentrations annuelles moyennes d'oxygène en profondeur.

ÉLÉMENTS NUTRITIFS ET CHLOROPHYLLE A

Les données sur la chl *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. 0–100 m pour la chl *a*; 0–50 m et 50–150 m pour les éléments nutritifs) en utilisant l'intégration numérique trapézoïdale. La concentration de l'échantillon récolté le plus près de la surface a été utilisé comme limite d'intégration supérieure, et la concentration de l'échantillon récolté le plus près de la limite inférieure de l'intégration a été utilisé comme limite inférieure. En 2016 et 2017, les profils verticaux des éléments nutritifs dans le GSL ont révélé que les concentrations de nitrate étaient homogènes dans les 50 m supérieurs de la colonne d'eau durant l'hiver (environ 14 mmol/m³; voir la section Résultats). Donc, pour les années lors desquelles les profils verticaux de nutriment ne sont pas disponibles, incluant 2018, 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 sont homogènes dans la couche de mélange hivernale à ce moment de l'année.

Dans le présent document, une description détaillée des variations saisonnières est fournie pour différents indices nutritifs et phytoplanctoniques. Pour les sites de monitoring à haute fréquence, nous présentons les concentrations des nitrates de différentes couches de la colonne d'eau, la concentration de chl *a*, l'abondance du phytoplancton et l'abondance relative des principaux groupes taxonomiques du phytoplancton. Pour les trois sous-régions du GSL décrites ci-dessus, nous présentons les concentrations saisonnières de nitrates et de chl *a* intégrées sur différentes couches de la colonne d'eau, ainsi que la distribution spatiale des nutriments (nitrates, phosphate, silicate, rapport azote-phosphore [N:P]) et de la chl *a*. La consommation printanière des nutriments a été estimée en fonction de la différence entre les concentrations de nitrates de mars et juin. Les anomalies de chaque indice ont été calculées (voir la section Tableaux synoptiques ci-dessous) pour les sites de monitoring à haute fréquence et les sous-régions du GSL.

TÉLÉDÉTECTION DE LA COULEUR DE L'OCÉAN

Les données satellitaires sur la couleur de l'océan fournissent des images à grande échelle de la biomasse phytoplanctonique en surface (chl *a*) dans tout l'Atlantique Nord-Ouest. Nous avons utilisé des images satellitaires composites de quatre boîtes du GSL (nord-ouest et nord-est du GSL, Plateau madelinien et détroit de Cabot; voir la figure 4 pour les emplacements) prises aux deux semaines pour compléter les observations faites à partir de navires, particulièrement en ce qui concerne la phénologie de la floraison printanière, et pour accroître la couverture saisonnière et spatiale et ainsi fournir une interprétation plus juste des données récoltées durant les relevés en mer. L'imagerie de la couleur de l'océan renseigne sur le moment et l'étendue spatiale des floraisons printanière et automnale, mais elle ne dit rien au sujet de la dynamique qui prend place en deçà des quelques mètres supérieurs de la colonne d'eau. De plus, parce que les données satellitaires sur la couleur de l'océan dans l'estuaire du Saint-Laurent sont largement biaisées par des particules inorganiques en suspension et de la matière organique dissoute colorée, il est impossible de les utiliser de manière absolue. Des données sur la dynamique printanière du phytoplancton à la surface de l'estuaire du Saint-

Laurent sont recueillies par échantillonnage hebdomadaire à la station de Rimouski, mais la résolution temporelle n'est pas toujours suffisante pour mesurer les paramètres de la floraison, tel qu'expliqué plus loin. Nous ne présenterons donc pas les mesures de la floraison printanière dans l'estuaire, mais nous y décrivons la variabilité saisonnière et interannuelle de la biomasse phytoplanctonique. De plus, les relevés océanographiques à grande échelle incluent un transect dans l'estuaire (TESL) et servent de base à une estimation générale des concentrations de phytoplancton en été et en automne dans cette région.

La biomasse de plancton en surface a 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 de SeaWiFS de 1997 à 2007 et les données de MODIS de 2008 à 2011 sont combinées à celles de VIIRS de 2012–2018 afin de concevoir une série chronologique composite de la chl *a* en surface dans quatre sous-régions du GSL (Figure 4). Le rendement du satellite MODIS en ce qui concerne l'estimation de la chl *a* a été comparé à celui de 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 MODIS et 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 turbides (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 patrons et des magnitudes semblables et une fidélité élevée entre eux (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, comme mentionné précédemment. 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 de la NASA. Des statistiques de base (moyenne, étendue, écart-type) ont été extraites des images composites moyennées sur deux semaines en faisant la moyenne de tous les pixels de chaque boîte (SeaWiFS et MODIS ont une résolution spatiale de 1,5 km, tandis que VIIRS a une résolution spatiale de 1 km).

Une fonction gaussienne modifiée du modèle temporel a été utilisée pour décrire les caractéristiques de la floraison printanière de phytoplancton en fonction des données satellitaires 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 boîtes statistiques.

INDICES DE ZOOPLANCTON

Nous fournissons également 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. Pour les sites de monitoring à haute fréquence, nous présentons la biomasse totale de zooplancton (poids sec), l'abondance totale de copépodes et l'abondance relative 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 présentons également la biomasse totale de zooplancton et l'abondance totale de *C. finmarchicus*, de *C. hyperboreus* et de *Pseudocalanus* spp. au printemps et à l'automne pour les trois sous-régions du GSL en raison de leurs régimes océanographiques distincts. Comme les échantillons de zooplancton sont récoltés sur toute la colonne d'eau, les indices de zooplancton sont en fait des métriques intégrés verticalement.

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 25 ans (1994). De 1994 à 2004, avant l'utilisation de traits de filet du fond à la surface standard du PMZA de 75 cm de diamètre avec des mailles de 200 µm (Mitchell *et al.* 2002), l'abondance des stades copépodites de *C. finmarchicus* était déterminée à l'aide d'échantillons recueillis avec des filets à mailles de 333 µm (CIV à CVI) et 73 µm (CI à CIII), tirés du fond vers la surface et de 50 m à la surface respectivement, 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 ayant une taille de maille de 158 µm (S. Plourde, MPO, Mont-Joli, QC, données non publiées). La phénologie de *C. finmarchicus* a été décrite selon les étapes suivantes : 1) les données sur l'abondance relative des stades (individus/m²) ont été normalisées (proportion d'un stade copépodite/proportion maximale du stade copépodite) 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 des indices de zooplancton qui reflètent soit des taxons clés de copépodes, soit des groupes fonctionnels, ou encore différents groupes d'espèces indicatifs de l'intrusion d'eau froide ou chaude, ou de conditions de température locales propres au GSL. Il s'agit de l'abondance de *C. finmarchicus*, *Pseudocalanus* spp., des copépodes totaux (composante principale du mésozooplancton en termes de biomasse et d'abondance), des non-copépodes (stades larvaires d'invertébrés benthiques, dont plusieurs sont carnivores et se nourrissent d'autres espèces de zooplancton, et taxons qui se nourrissent de petites particules), des grands calanoïdes (dominés par les *Calanus* spp. et *Metridia* spp.), des petits calanoïdes (selon la région, ce groupe peut être dominé par des espèces comme *Pseudocalanus* spp., *Acartia* spp., *Temora longicornis* et *Microcalanus* spp.), des cyclopoïdes (dominés par *Oithona* spp. et *Triconia* spp.; ces dernières font référence à des poecilostomatoïdes qui font partie de cette catégorie à cause de leurs caractéristiques écologiques), des espèces propres aux eaux chaudes (*Metridia lucens*, *Centropages* spp., *Paracalanus* spp. et *Clausocalanus* spp.) et des espèces propres aux eaux froides ou arctiques (*Calanus glacialis* et *Metridia longa*). Une liste détaillée des espèces comprise dans chaque indice général de copépodes est présentée à l'annexe 1. 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. Occasionnellement, les taxonomistes ne parviennent pas à distinguer *C. finmarchicus* et *C. glacialis* et les considèrent dans une même catégorie. Pour le rapport de cette année, nous avons utilisé les résultats d'une étude génétique basée sur la longueur du prosome pour distinguer correctement ces espèces (Parent *et al.* 2011). Ceci pourrait avoir une influence mineure sur les patrons d'anomalies discutés dans les rapports précédents.

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 et les régions océanographiques. Ces anomalies sont calculées comme la différence entre la moyenne saisonnière annuelle de la variable et la moyenne de la variable pour la période de référence (habituellement 1999 à 2015 à moins qu'il soit spécifié autrement); ce nombre est ensuite divisé par l'écart-type de la période de référence pour calculer l'anomalie normalisée.

Ces anomalies sont présentées sous la forme de tableaux synoptiques où les anomalies positives sont indiquées en rouge, les anomalies négatives en bleu et les anomalies de $\pm 0,5$ écart-type en blanc (considérées comme des conditions normales). Un ensemble d'indices standard représentant les anomalies des concentrations d'éléments nutritifs, la biomasse et la dynamique de floraison printanière du phytoplancton, et l'abondance des espèces et des groupes de mésozooplanton 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 l'Atlantique Nord-Ouest, le document publié par le MPO (2019) présente un tableau synoptique par zone comprenant des observations provenant de toutes les régions impliquées dans le PMZA.

Les anomalies annuelles de nutriments, des indices liés au phytoplancton ainsi que ceux liés au zooplancton sont basées sur l'estimation de la concentration annuelle moyenne (mmol m⁻² pour les nutriments et mg chl *a* m⁻² pour la biomasse de phytoplancton) ou la densité annuelle moyenne (cellules L⁻¹ pour l'abondance du phytoplancton et ind m⁻² pour l'abondance de zooplancton) à chaque station de monitoring à haute fréquence ainsi que pour chaque sous-région du GSL. Ces estimations d'abondance annuelle utilisent des modèles linéaires généraux (GLM) de la forme :

$\text{Log}_{10}(\text{Density} + 1) = \alpha + \beta_{\text{ANNÉE}} + \delta_{\text{MOIS}} + \varepsilon$ pour les stations à monitoring fréquent et

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

tel que présenté dans Pepin *et al.* (2013) et Johnson *et al.* (2016). La variable α est le point d'intersection et la variable ε est l'erreur. Pour les stations à monitoring fréquent, les variables β et δ représentent les effets catégoriques pour l'année et le mois, respectivement. Pour les sous-régions, 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 basée 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 sous-régions du GSL sont présentés dans les annexes 2-6. Nous avons effectué une transformation logarithmique des valeurs de concentration et de densité avant de calculer les anomalies afin de compenser la distribution asymétrique des observations. La variable *Density* a été majorée d'une unité afin d'inclure les observations dont la valeur est de 0. Les anomalies pour la biomasse du zooplancton ont également été calculées au moyen de ces GLM, mais sans la transformation logarithmique.

OBSERVATIONS

ENVIRONNEMENT PHYSIQUE

La température et la salinité de la colonne d'eau en 2018 sont décrites en détail par Galbraith *et al.* (2019). La stratification est un des paramètres clés qui contrôlent la production primaire. C'est pourquoi nous présentons la stratification de la couche de surface aux stations de monitoring à haute fréquence (Figure 5). Malgré que la moyenne de la décharge annuelle d'eau douce dans l'estuaire ait été au-dessus de la normale (Galbraith *et al.* 2019), la

stratification de la colonne d'eau était très près de la normale tout au long de l'année aux deux stations de monitoring à haute fréquence, et la saisonnalité de la stratification suivait de près la tendance à long terme.

OXYGÈNE AU FOND

Dans le GSL, une valeur de 100 µM d'oxygène dissous correspond à une saturation de 30 % environ, soit la limite en deçà de laquelle l'eau est considérée comme étant hypoxique et peut limiter la survie de certaines espèces (Plante *et al.* 1998). Les teneurs les plus faibles en oxygène dissous (près de 15 % environ ces dernières années) sont enregistrées dans les eaux profondes à la tête du chenal Laurentien, dans l'estuaire (Figure 6). Les concentrations d'oxygène dissous ont encore fortement diminué dans le GSL en 2018 (Figure 6), atteignant les valeurs les plus basses observées depuis le début de la série temporelle dans toutes les régions, exception faite de la station Rimouski où les concentrations sont restées stables par rapport à l'année précédente (Figure 7). Depuis 1984, les eaux profondes de l'estuaire présentent une hypoxie constante; en 2018, la teneur en oxygène dissous a diminué jusqu'à 54 µM, ce qui correspond à une saturation de 18 % environ (Figure 7). En 2018, les plus fortes anomalies négatives ont été enregistrées dans le centre du GSL et dans la région du détroit de Cabot (Figures 6 et 7).

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 contrôle 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 des autres éléments nutritifs. Dans le présent document, nous utilisons les termes « nitrate » ou « nitrates totaux » 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 des concentrations de nitrates et de la biomasse phytoplanctonique en 2018 sont illustrés par la figure 8 pour les deux sites de monitoring à haute fréquence. Des profils verticaux détaillés pour les nitrates et la chl *a*, ainsi que les patrons verticaux d'anomalies sont illustrés aux figures 9 et 10 pour les stations Rimouski et de la vallée de Shediac, respectivement. À la station Rimouski, les concentrations de nitrates étaient près de la normale au printemps et ont par la suite diminué pour devenir généralement sous la normale (Figure 8a) en lien avec une augmentation soudaine et tardive de la biomasse de phytoplancton à la fin mai/début juin. La biomasse de phytoplancton est restée généralement près de la normale à partir de juillet, à l'exception de quelques pics de biomasse en août et d'autres à la fin du mois de septembre (Figure 8c). De juin à septembre, il y avait une biomasse considérable de phytoplancton dans les 40 m supérieurs de la colonne d'eau (Figure 9). Au final, la concentration moyenne annuelle des nitrates était sous la normale dans toutes les couches de la colonne d'eau alors que la biomasse de phytoplancton moyenne annuelle était près de la normale (Fig. 8e). À la station de la vallée de Shediac, à cause d'un échantillonnage peu fréquent, voire quasi inexistant en hiver et au début du printemps (Figure 8b et d), la détection des tendances saisonnières s'avère difficile. De juin à octobre, l'inventaire de nitrates en surface ainsi que les concentrations de chl *a* étaient principalement sous la normale (Figure 8b et d).

L'abondance du phytoplancton à la station de Rimouski était sous la normale la majeure partie de l'année, à l'exception des floraisons printanière et automnale (Figure 11a). La composition

saisonnaire de la communauté de phytoplancton était très similaire à la période de référence, sauf pour le délai dans l'augmentation de l'abondance des diatomées au printemps (Figure 11b, c). Seuls les dinoflagellés ont montré une anomalie annuelle négative en 2018, ce qui a produit une anomalie positive du ratio diatomées/dinoflagellés (Figure 12). Ces anomalies poursuivent une tendance amorcée en 2014, bien que les anomalies positives du ratio diatomées/dinoflagellés puissent aussi être reliées aux fortes abondances de diatomées entre 2014 et 2016 (Figure 12). À l'inverse, l'assemblage de la communauté phytoplanctonique pendant l'été différait largement de la communauté phytoplanctonique de la période de référence à la vallée de Shediac. L'abondance relative des diatomées était réduite de 70 % à 20 % avec une plus grande proportion de petites cellules (Figure 13b, c). Les anomalies annuelles étaient donc négatives pour les diatomées et positives pour les dinoflagellés et les ciliés (Figure 12). Depuis 2014, le patron d'anomalie à la station de la vallée de Shediac suggère qu'un changement dans la structure de taille de la communauté pourrait être en train de se produire. La prudence est toutefois de mise dans l'interprétation de ces tendances saisonnières et anomalies annuelles puisqu'elles sont le fruit de l'analyse de < 10 échantillons de phytoplancton par année au cours des dernières années. En 2018, seulement quatre échantillons ont été récoltés pour l'identification du phytoplancton, et aucun échantillonnage n'a été effectué en avril, mois durant lequel la floraison printanière des diatomées se produit généralement (Figure 13a).

Sous-régions du golfe

Les figures 14 à 20 présentent un aperçu de la distribution saisonnière des concentrations de nutriments et de la biomasse phytoplanctonique, ainsi que des anomalies associées, dans le GSL. Les séries temporelles des anomalies régionales annuelles et saisonnières pour les nutriments et la biomasse du phytoplancton sont présentés aux figures 21 et 22. La distribution de tous les nutriments dans la couche de surface en mars 2018 était similaire à la période de référence (Figure 14), alors que leur concentration était sous la normale en juin 2018, principalement dans l'oGSL et le sGSL (Figure 15). Sans oublier l'impact d'un possible changement dans la composition des masses d'eau en cours d'année, ceci suggère qu'une importante diminution du contenu en nitrates a eu lieu dans ces deux régions au cours du printemps (Figure 19). Les concentrations de nutriments dans la couche de surface étaient légèrement sous la normale à l'automne, particulièrement dans le sGSL et l'eGSL (Figure 16). Les inventaires nutritifs de la couche de surface ont présenté des anomalies négatives particulièrement fortes sur l'ensemble du GSL en 2018. Un tel patron d'anomalies avait été observé pour la dernière fois en 2010 et 2011 (Figure 21). Il est intéressant de noter que la majeure partie de la couche de surface du GSL a montré de fortes anomalies négatives du ratio N/P, parmi les plus fortes de la série temporelle (Figures 15, 16 et 21). L'inventaire de nutriments dans la couche intermédiaire a également montré des anomalies négatives partout dans le GSL à l'été, sauf pour les phosphates qui étaient près des valeurs normales à l'été et à l'automne (Figures 17 et 18). De fortes anomalies positives de nitrates dans l'eGSL, et de phosphates et silicates dans l'eGSL et le sGSL, ont été rencontrés régulièrement à 300 m au cours des dernières années, incluant en 2018, accompagnés par des anomalies négatives du ratio N/P (Figure 21). Le faible inventaire de sels nutritifs à l'été était accompagné d'une biomasse de phytoplancton relativement faible, ce qui suggère une limitation en nutriments, sauf autour de la péninsule de Gaspé où de très fortes anomalies positives de chl *a* ont été mesurées (Figure 20). Cependant, à l'automne, les faibles concentrations de sels nutritifs dans la couche de surface du sGSL et de l'eGSL était vraisemblablement le fruit de la consommation par le phytoplancton puisque des anomalies positives de biomasse de phytoplancton étaient présentes dans les deux régions (Figure 20). La biomasse de phytoplancton à l'automne a en effet atteint un maximum record dans l'eGSL (Figure 22). Ces grands patrons spatiaux sont similaires aux conditions locales retrouvées aux stations de monitoring fréquent, avec des inventaires de sels nutritifs généralement faibles au cours de l'année et une biomasse de

phytoplancton qui est passé de relativement faible à l'été à forte à l'automne. Le maximum record de biomasse de phytoplancton dans l'oGSL en juin, au moment de l'échantillonnage, a probablement été causé par un retard dans le début de la floraison printanière, tel qu'observé à la station Rimouski.

Téledétection de la couleur de l'océan

Selon l'imagerie satellitaire, la floraison printanière a débuté dans l'eGSL au début du mois d'avril et un peu plus tard dans l'ouest, avec le dernier pic de biomasse observé dans l'estuaire à la fin mai/début juin (Figures 23 et 24), coïncidant avec les observations faites à la station Rimouski (Figure 8). Les concentrations maximales de chl *a* dans la couche de surface du GSL au printemps étaient d'environ 4 mg chl *a* m⁻³ et étaient près de la normale dans la plupart des secteurs (Figure 23). Les concentrations de chl *a* à l'automne étaient soit sous ou près de la normale (Figures 23 et 25), ce qui est contraire aux fortes concentrations de biomasse phytoplanctonique mesurées durant la mission automnale du PMZA, particulièrement dans l'eGSL. La structure verticale de la biomasse de phytoplancton dans la colonne d'eau ne peut expliquer ces divergences considérant que la majeure partie de la biomasse était localisée dans la couche de surface (données non-présentées). Cependant, le couvert nuageux qui tend à être davantage présent à l'automne peut diminuer la précision des données d'imagerie durant cette saison et expliquer en partie les écarts observés entre les données satellitaires et les données terrain.

Le début de la floraison était plus tôt dans toutes les boîtes statistiques et elle durait plus longtemps dans la plupart d'entre elles (Figure 26). Le fait que la durée de la floraison soit plus longue que la normale a fait en sorte que l'intensité de la floraison était également élevée dans les boîtes statistiques du NO GSL et du détroit de Cabot. Cependant, les patrons d'anomalies annuelles suggèrent une biomasse de phytoplancton faible en surface dans l'ensemble du GSL, en raison principalement des anomalies négatives à l'été et à l'automne. La biomasse au printemps était quant à elle près de la moyenne à long-terme (Figure 26), ce qui est en accord, dans une certaine mesure, avec la grande diminution de nitrates au printemps.

ZOOPLANCTON

Sites de monitoring à haute fréquence

En 2018, la biomasse de zooplancton à la station de Rimouski était sous la normale la majeure partie de l'année avec quelques observations près de la normale à l'automne; le patron saisonnier suivait la tendance saisonnière à long terme (Figure 27a). À la vallée de Shediac cependant, la biomasse de zooplancton des quelques échantillons récoltés était généralement près de la normale (Figure 27b). Malgré la faible biomasse, l'abondance totale des copépodes était près de la normale à la station Rimouski au printemps et au début de l'été avant d'atteindre un maximum au début de l'automne puis de diminuer à nouveau vers des valeurs plus près de la normale (Figure 28a). Le pic automnal d'abondance a coïncidé avec l'augmentation marquée de la proportion d'*Acartia* spp., un petit calanoïde qui ne faisait pas partie des taxons dominants pour la climatologie. La proportion de *Microcalanus* spp., un autre petit calanoïde, était aussi largement plus grande en 2018 qu'au cours de la période de référence alors que l'abondance relative des grands calanoïdes (*C. finmarchicus*, *C. glacialis*, *C. hyperboreus*) était plus faible (Figure 28b, c). Des observations similaires peuvent aussi être rapportées pour la station de la vallée de Shediac avec l'arrivée d'*Acartia* spp. parmi les taxons dominants en 2018 et la diminution de l'abondance des grands calanoïdes (Figure 29b, c).

Les abondances de *C. finmarchicus* et de *C. hyperboreus* en 2018 à la station Rimouski étaient sous la moyenne saisonnière à long terme jusqu'au milieu de l'été où elles sont retournées à la normale (Figures 30a et 31a). La phénologie de l'assemblage de copépodites de *C.*

finmarchicus était très similaire à la phénologie pour la période de référence, à l'exception de la forte contribution des stades CI-III en juin et juillet (Figure 30b, c). Les adultes *C. hyperboreus* comptaient pour une plus grande portion de la population à l'hiver et au début du printemps 2018 comparativement à la période de référence. De plus, l'assemblage de copépodites était stable à partir de juillet, ce qui suggère que la nouvelle génération est principalement entrée en diapause au stade CIV (Figure 31b, c). L'abondance saisonnière et le développement de *Pseudocalanus* spp. reflètent presque parfaitement la moyenne à long terme à la station de Rimouski (Figure 32a-c). Les quelques échantillons de zooplancton récoltés à la vallée de Shediac suggère que les abondances de ces trois espèces étaient près de la normale (Figures 30a, 31a et 32a). La principale différence avec la climatologie est la très faible abondance des jeunes stades de *C. hyperboreus* en juin qui pourrait suggérer un faible export depuis l'oGSL (Figure 31e, f). Aucune analyse des stades copépodites n'a été faite pour *Pseudocalanus* spp. à la station de la vallée de Shediac.

Sous-régions du golfe

Tout comme les observations aux stations d'échantillonnage à haute fréquence, la biomasse totale moyenne de zooplancton au printemps et à l'automne 2018 ont été parmi les plus faibles observées au cours de la série temporelle, particulièrement à l'automne (Figure 33). Dans l'oGSL, la faible abondance de *C. finmarchicus* peut tout de même apparaître comme une petite récupération suivant les records minimum d'abondance au cours de la période 2015-2017. Cependant, dans les deux autres régions, son abondance était aussi faible, voire même davantage que ce qu'elle a pu être dans les dernières années (Figure 34). L'abondance de *Calanus hyperboreus* était près de la moyenne de la série temporelle dans toutes les régions sauf dans le sGSL au printemps, où il s'agissait d'une des plus faibles abondances de la série temporelle (Figure 35). Dans l'eGSL, le stade copépodite CIV de *C. hyperboreus* représentait une proportion plus grande de la population qu'à l'habitude durant les relevés d'été et d'automne (données non-présentées). L'abondance du petit calanoïde *Pseudocalanus* spp. était relativement élevée durant les deux saisons dans l'oGSL et le sGSL. Dans l'oGSL, son abondance à l'automne était en fait la deuxième plus élevée de la série temporelle. Cette forte abondance coïncide avec un pic tardif de stades CI-III au moment de l'échantillonnage (données non-présentées) qui s'est également observé à la station Rimouski à l'automne (Fig. 32c). Dans l'eGSL, cependant, l'abondance de *Pseudocalanus* spp. était plutôt faible au printemps et la deuxième plus faible de la série temporelle à l'automne (Figure 36).

Phénologie des copépodes

Pour montrer les changements dans la phénologie du développement du zooplancton dans le GSL, nous présentons un profil saisonnier détaillé des proportions relatives des stades copépodites de *C. finmarchicus*, une espèce de copépode clé, à la station de Rimouski de 1994 à 2018 (Figure 37). En général, il existe une tendance évidente vers le devancement du développement de cette population. Le développement de *C. finmarchicus* en 2018 a suivi cette grande tendance avec une mue précoce du stade copépodite CV vers le stade adulte en mai. Cependant, le pic d'abondance relative maximal de CI-III a été atteint en juillet, ce qui est similaire aux observations faites au début de la série temporelle (Figure 37).

Tableaux synoptiques

La série chronologique des anomalies annuelles de la biomasse zooplanctonique met en lumière les changements radicaux survenus récemment dans la communauté; il s'agit pour la plupart d'anomalies négatives dans le GSL depuis 2010 (Figure 38). En 2018, même si les anomalies n'étaient pas aussi faibles qu'en 2017, la biomasse de zooplancton était toujours sous la normale, sauf à la station de la vallée de Shediac (Figure 38) [N.B. : n = 6 en 2018 à la vallée de Shediac]. Le tableau synoptique de la figure 39 présente une synthèse des indices

zooplanctoniques standard du PMZA (abondance de *C. finmarchicus* et des *Pseudocalanus* spp., de tous les copépodes et de tous les non-copépodes), réalisée à partir des anomalies annuelles normalisées de l'abondance. L'abondance de *C. finmarchicus* en 2018 a présenté un patron d'anomalies oscillant entre des valeurs près de la normale et des valeurs sous la normale dans pratiquement toutes les régions du GSL, poursuivant ainsi un patron initié en 2010. Les anomalies positives pour *Pseudocalanus* spp. ont débuté approximativement à la même période et la tendance s'est poursuivie en 2018 dans la plupart des régions. L'abondance totale de copépodes a seulement montré des anomalies positives aux deux stations de monitoring à haute fréquence, avec une petite anomalie négative dans l'eGSL. L'abondance des non-copépodes a également été à la hausse depuis 2010 environ et cet indice a montré de petites anomalies positives dans la plupart des régions en 2018 (Figure 39).

Les anomalies annuelles normalisées de six autres indices d'abondance zooplanctoniques (*C. hyperboreus* et cinq groupes de zooplancton, soit les petits calanoïdes, les grands calanoïdes, les cyclopoïdes, les espèces d'eau chaude et les espèces d'eau froide-arctique) sont présentées à la figure 40. Une liste détaillée des espèces incluses dans chacun de ces indices est présentée à l'Annexe 1. L'abondance de *C. hyperboreus* était au-dessus de la normale dans l'eGSL et à la station de la vallée de Shediac en 2018, mais de telles anomalies positives ont été peu fréquentes dans ces secteurs depuis 2010. En général, depuis 2009, il y a eu un déclin de l'abondance des grands calanoïdes et une augmentation de l'abondance des petits calanoïdes (Figure 40). Les anomalies positives des petits calanoïdes ont été observées en 2018 dans toutes les régions sauf eGSL, ce qui explique probablement l'anomalie négative de l'abondance totale de copépodes dans cette sous-région. Les anomalies des grands calanoïdes étaient négatives dans la plupart des régions. Il s'agit également d'une autre année où les anomalies positives des copépodes associés à l'eau chaude étaient répandues à l'ensemble de la zone. Il y a seulement dans l'eGSL où leur abondance est restée près de la normale; cette même région a montré des anomalies positives pour les copépodes associés à l'eau froide pour la plupart des années depuis 2007, incluant 2018. De nouveau cette année, ces anomalies annuelles étaient relativement cohérentes entre les sites d'échantillonnage à haute fréquence et les sous-régions associées du GSL (Figures 39 et 40).

DISCUSSION

CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES

Le moment du début et l'intensité de la stratification de la colonne d'eau ont une incidence sur la définition de la phénologie de la floraison printanière, de la production de phytoplancton, de la succession des espèces et des interactions trophiques durant toute la saison de croissance (Levasseur *et al.* 1984). En 2018, la saisonnalité et l'étendue de la stratification de la portion supérieure de la colonne d'eau était très similaire à la moyenne historique. Outre la stratification de la colonne d'eau, il y a aussi les propriétés thermiques des couches d'eau de surface, intermédiaires (couche intermédiaire froide ou CIF, de 30 à 125 m) et profondes qui influent sur la dynamique du zooplancton (Plourde *et al.* 2002). Galbraith *et al.* (2019) ont fait état des conditions physiques qui prévalaient dans le GSL en 2018, et le présent document rapporte les conditions chimiques et biologiques dans le GSL en tenant compte de ces conditions physiques.

Les variations de l'oxygène dissous dans les eaux profondes entrant dans la zone du plateau continental du GSL sont déterminées par la variation des proportions d'eau venant du courant du Labrador (eau froide et douce, teneurs élevées en oxygène dissous) et du talus continental (eau chaude et salée, faibles teneurs en oxygène dissous), qui, ensemble, forment la source des eaux profondes dans le GSL (McLellan 1957; Lauzier et Trites 1958; Gilbert *et al.* 2005). Ces eaux migrent de l'embouchure du chenal Laurentien vers l'estuaire en trois à quatre ans

approximativement (Gilbert 2004), et s'appauvrissent en oxygène dissous sous l'effet de la respiration *in situ* et de l'oxydation de la matière organique à mesure qu'elles se dirigent vers la tête du chenal. Si l'on se fie à la variabilité interdécennale, l'apport d'eaux plus chaudes dans l'estuaire devrait exacerber les conditions hypoxiques puisque ces eaux sont généralement moins riches en oxygène dissous (McLellan 1957; Lauzier et Trites 1958; Gilbert *et al.* 2005). Dans l'estuaire du Saint-Laurent, la température est très corrélée aux concentrations de l'oxygène au cours de la série chronologique ($R^2 = 0,86$). À 300 m dans l'estuaire, il y a eu une augmentation de la température de $1,37^\circ\text{C}$ entre le début des années 1970 et 2018 (Galbraith *et al.* 2019). Considérant la relation entre la solubilité de l'oxygène et la température, ceci devrait se traduire par une diminution des concentrations d'oxygène de $10,35\ \mu\text{M}$ au cours de la même période, mais la diminution des teneurs en oxygène dépasse en fait les $100\ \mu\text{M}$. De plus, considérant les propriétés inhérentes des eaux sources du GSL (eaux du centre Nord-Atlantique vs eaux du courant du Labrador; Gilbert *et al.* 2005), des changements dans leur ratio de mélange au niveau du détroit de Cabot implique qu'une diminution de $1,46\ \mu\text{M}$ pourrait se produire chaque fois que la température baisse de $0,1\ ^\circ\text{C}$ dans le détroit de Cabot. Cependant, les concentrations en oxygène ont diminué d'environ $65\ \mu\text{M}$ au détroit de Cabot pour une augmentation de $1,6^\circ\text{C}$ entre le début et la fin de la série temporelle (Galbraith *et al.* 2019). Force est donc de conclure que le réchauffement de l'eau de fond et le changement dans le taux de mélange des eaux source ne sont pas les seuls facteurs déterminant de la baisse des teneurs en oxygène dans le GSL. Parmi les autres facteurs qui peuvent expliquer la variabilité de l'oxygène, mentionnons les changements interannuels du flux vertical de la matière organique dans les eaux de fond de l'estuaire maritime du Saint-Laurent.

Le processus essentiel qu'est le mélange hivernal fait remonter à la surface les eaux profondes riches en nutriments. Dans le GSL, cette convection hivernale est partiellement causée par la perte de flottabilité découlant du refroidissement et de la diminution de l'apport en eau douce, le rejet d'eaux saumâtres associé à la formation de glace de mer et le mélange induit par le vent avant la formation de glace (Galbraith 2006). Des eaux de surface plus chaudes que la normale tout au long de l'hiver et une formation minimale de glace de mer réduisent la convection hivernale et, vraisemblablement, la quantité de nutriments disponibles pour la production printanière. La CIF est la couche mélangée de surface hivernale qui a été isolée de l'atmosphère à cause de la stratification près de la surface et qui contient les nutriments qui, grâce à des remontées d'eau, approvisionnent les producteurs primaires pendant la saison de croissance. En 2018, les différents indices reliés à la CIF suggèrent que la convection hivernale était près de la normale, mais son contenu nutritif était relativement faible. Cela peut avoir limité les échanges de nutriments entre la CIF et la couche de surface malgré le fait que la stratification n'était vraisemblablement pas assez forte pour altérer le flux régulier de nutriments entre ces deux couches (Galbraith *et al.* 2019). On a observé de fréquentes anomalies négatives des concentrations de nitrates dans la couche superficielle dans le GSL depuis 2010, dont le réchauffement très net a été mis en lumière par plusieurs indices de température et de couverture de glace (Galbraith *et al.* 2019). La somme des anomalies régionales suggère une diminution significative d'environ $3\ \text{mmol m}^{-2}\ \text{yr}^{-1}$ des nitrates dans la couche de surface au fil de la série temporelle. L'apport riverain de nutriments peut être un autre facteur à considérer pour améliorer notre compréhension de la dynamique des nutriments et de leur variabilité interannuelle, du moins dans les régions qui subissent une forte influence de l'eau douce.

Des anomalies positives des nutriments dans les eaux profondes (300 m) sont observées depuis 2012 dans l'eGSL, parallèlement à l'intrusion d'eaux à température et à salinité élevées dans le GSL depuis le détroit de Cabot (Galbraith *et al.* 2019). Il est probable que les concentrations supérieures à la moyenne en profondeur soient associées à une thermocline moins profonde qui réduit les échanges entre les couches de surface et de fond, combinée à une masse d'eau composée d'une plus forte proportion d'eau provenant du talus que du plateau continental du Labrador (Galbraith *et al.* 2019). En revanche, des anomalies négatives des concentrations de nutriments en eau profonde ont été observées à la station de Rimouski

pour une troisième année consécutive et l'on peut penser qu'elles existent aussi ailleurs dans l'estuaire. Ces anomalies pourraient découler de variations dans l'activité des bactéries participant au cycle de l'azote (par exemple, une nitrification moindre associée à de faibles concentrations d'oxygène). La mesure systématique de la concentration de NH_4 a été récemment ajoutée à l'échantillonnage du PMZA dans le GSL et devrait s'avérer utile pour vérifier ces hypothèses. De plus, la modélisation en cours des processus du cycle de l'azote dans le GSL (Diane Lavoie, MPO, Institut Maurice-Lamontagne) permettra de mieux comprendre les processus clés impliquée dans la répartition des nitrates.

Le rapport N/P est un autre indice qui nécessite davantage d'attention, car la variabilité de la stœchiométrie de l'apport en nutriments fait partie des grands déterminants de la limitation en nutriments dans le milieu océanique. Ainsi, les variations du rapport N/P dans la CIF au fil du temps pourraient s'avérer plus utiles pour prédire les changements dans la communauté phytoplanctonique et la productivité que les concentrations de nitrates elles-mêmes. Si les anomalies négatives du ratio N/P en 2018 persistent, elles pourraient induire un changement dans la productivité de cette région.

PHYTOPLANCTON

La productivité du phytoplancton pendant la floraison printanière doit être déduite à partir soit des indices indirects (différence dans les stocks de nutriments de la couche mélangée de surface entre les campagnes hivernales et printanières, par exemple), soit des observations par satellite, sauf dans le cas de la station de Rimouski où l'échantillonnage couvre régulièrement cette période. Il est intéressant de souligner qu'en 2018 la diminution des nutriments associée à la productivité printanière a été supérieure à la normale dans toutes les régions. La floraison printanière précoce qui a duré longtemps peut avoir entraîné la consommation accrue de nutriments par le phytoplancton dans la plupart des régions. En général, les échantillons récoltés sur le terrain suggèrent une forte biomasse annuelle de phytoplancton, principalement associée aux fortes anomalies positives rencontrées à l'automne. Ces anomalies positives de chl a ont été régulièrement observées depuis 2013 dans le sGSL et l'eGSL, même si cette augmentation au fil des années n'est pas significative, ce qui peut suggérer que les conditions environnementales sont idéales pour la croissance des cellules phytoplanctoniques, ou que la diminution de la pression de broutage favorise l'accumulation des cellules dans la colonne d'eau. Les observations récentes à la vallée de Shediac suggèrent un possible changement de taille dans la communauté phytoplanctonique vers de plus petites cellules, lesquelles sont connues pour performer mieux dans des eaux stratifiées et pauvres en nutriments (Levasseur *et al.* 1984, Li et Harrison 2008). Si ce genre de changement s'opère ailleurs dans le GSL, le ratio élevé biomasse/taille de cellule suggère que des changements dans la pression de broutage ou dans la composition de la communauté de brouteurs risquent davantage d'expliquer le patron observé, plutôt que des conditions de croissance favorables. Comme la composition taxonomique de la communauté phytoplanctonique n'a pas été documentée ailleurs dans le GSL dans le cadre du PMZA, nous devons user de prudence avant d'extrapoler ces résultats à d'autres sous-régions du GSL. De plus, il importe de rappeler que bien que l'utilisation d'une analyse GLM diminue l'effet du moment de l'échantillonnage sur la moyenne annuelle, cet effet ne doit pas être mis à l'écart. Les fortes concentrations annuelles de chl a pourraient ainsi également s'expliquer par un échantillonnage plus tôt à l'automne dans les dernières années.

Contrairement aux données terrain, les données liées à la couleur de l'océan suggère plutôt une faible biomasse dans la couche de surface, particulièrement à l'été et à l'automne. De telles anomalies négatives ont été rencontrées depuis l'utilisation du satellite VIIRS en 2012 et suggère une diminution variant entre 10 et 20 % de la chl a de surface depuis 2012 selon la région. Il se peut que par rapport aux satellites précédents, le satellite VIIRS soit plus efficace dans les eaux côtières et réduise au minimum la surestimation de la concentration de chl a dans

les eaux troubles. Ceci pourrait expliquer en partie pourquoi la plupart des anomalies des estimations de la biomasse à partir des données satellitaires sont négatives depuis l'utilisation de ce satellite en 2012. Des algorithmes améliorés d'extraction des concentrations de chl *a* dans le GSL à partir des données du satellite SeaWiFS ont été publiés récemment (Laliberté *et al.* 2018) et devraient être appliqués à nos boîtes statistiques. Le cas échéant, ils pourraient modifier le profil des anomalies des séries temporelles. Toutefois, en ce qui a trait aux paramètres de la floraison, le changement de satellite au cours de la série temporelle ne semble pas mener à des tendances interannuelles douteuses. En fait, aucune tendance ne peut être dégagée à partir de ces indices selon les données actuellement disponibles, à l'exception peut-être de la date de début de la floraison. Il semble en effet que la force de ces anomalies se soit amplifiée depuis 2010, suggérant que le moment de la floraison printanière est devenu plus variable au cours de la dernière décennie. Les années 2010 et 2016-2018 correspondent d'ailleurs à des années où les anomalies ont été parmi les plus fortes de la série temporelle, se traduisant par des débuts de bloom précoces. Ces changements pourraient être associés à l'effet combiné du réchauffement sur l'installation de la stratification au printemps et de la densité réduite de copépodes en hibernation (faible biomasse annuelle) au cours de ces années (Sommer et Lengfellner 2008).

ZOOPLANCTON

Les stratégies du cycle biologique sont différentes chez les différentes espèces de grands copépodes, et le moment de la reproduction par rapport à la crue – compte tenu de son effet sur le transport et la circulation des masses d'eau – pourrait expliquer les différences dans la distribution de ces espèces (Runge *et al.* 1999) : par exemple l'anomalie négative de *C. finmarchicus* versus l'anomalie positive de *C. hyperboreus* dans l'eGSL. La sous-région de l'eGSL est moins influencée par les apports d'eau douce que les deux autres régions; les conditions environnementales qui modifient la communauté de zooplancton à cet endroit peuvent plutôt inclure la température et le volume d'eau froide et salée du plateau continental du Labrador qui coule dans l'eGSL via le détroit de Belle-Isle, ces deux indices ayant montré des anomalies négatives depuis 2015 (Colbourne *et al.* 2017; Galbraith *et al.* 2019). Ces possibles différences dans les pressions environnementales peuvent expliquer pourquoi l'eGSL montre souvent des patrons d'anomalie distincts. En 2018, l'eGSL était la seule région à ne pas montrer d'anomalie positive pour *Pseudocalanus* spp., les petits calanoïdes, les non-copépodes et pour les copépodes associés à l'eau chaude. Tous ces indices ont montré des tendances positives depuis 2010 environ.

L'une des caractéristiques les plus frappantes en 2018 a été la très faible biomasse zooplanctonique pour une quatrième année consécutive dans l'ensemble du GSL. Selon les sous-régions, la diminution estimée de la biomasse se situe entre 15 et 40 % en 2018 par rapport à la moyenne à long terme. Cette baisse est associée à la diminution de l'abondance des copépodes de grande taille. Le poids moyen des calanoïdes de grande taille (p. ex., *C. hyperboreus*, 4 mg par femelle adulte) est supérieur d'un à deux ordres de grandeur à celui des calanoïdes de petite taille (p. ex., *Pseudocalanus* spp., 0,02 mg par femelle adulte) (Conover et Huntley 1991). La diminution de l'abondance des grands calanoïdes a donc eu une incidence plus marquée sur la biomasse zooplanctonique que l'augmentation de l'abondance des *Pseudocalanus* spp. enregistrée dans la plupart des sous-régions du GSL en 2018. L'augmentation de l'abondance des petits calanoïdes est principalement attribuable à *Pseudocalanus* spp. dans toutes les régions, mais aussi à *Temora* spp. et *Microcalanus* spp. dans le sGSL et l'oGSL, respectivement. Cette augmentation semble être couplée à la hausse d'abondance des non-copépodes, principalement des larves d'organismes benthiques. Les préférences en termes de conditions environnementales, le succès compétitif pour la nourriture disponible et/ou les différences de pression de prédation peuvent favoriser la dominance de l'une ou l'autre de ces communautés, soit la communauté dominée par les grands copépodes,

soit la communauté combinée de petits calanoïdes et de non-copépodes (Hall *et al.* 1976; Daewel *et al.* 2013), le tout ayant de probables implications pour le réseau trophique pélagique ainsi que le couplage pélogo-benthique.

À la lumière de ces tendances claires dans la communauté de zooplancton dans le GSL, il est possible de se questionner en lien avec les variables à l'origine de ces changements, de même que par rapport aux tendances attendues. Même si le rôle de la prédation et de la variabilité d'abondance des stocks de prédateurs sur les tendances observées doit encore être évalué, il est possible d'obtenir quelques indices quant à l'effet de certaines variables environnementales à partir d'une simple matrice de corrélation (Figure 41). Quelques liens évidents entre la communauté et les conditions environnementales, tel que le rôle joué par la température sur l'abondance des copépodes associés à l'eau chaude ou froide n'ont pas été illustrés dans cette figure. Même si la plupart des corrélations ne sont pas significatives, la température semble agir comme un élément clé pour définir la communauté zooplanctonique, avec les conditions froides dans les couches profondes et intermédiaires étant idéales pour les grands calanoïdes, et du coup pour la biomasse, et les conditions chaudes favorisant les petits calanoïdes et les non-copépodes. De plus, l'intensité de la floraison printanière, laquelle dépend de l'amplitude et de la durée de la floraison, est corrélée significativement avec l'abondance des grands calanoïdes au cours de la série temporelle. Ces facteurs environnementaux peuvent également déclencher des changements dans le moment du développement de certains taxons de zooplancton, en l'occurrence le développement plus précoce de *C. finmarchicus* à la station Rimouski dans les dernières années. Des matrices de corrélation à une échelle plus locale (p. ex. les sous-régions) pourraient permettre de mettre l'emphase sur certains de ces liens ou d'en révéler de nouveaux. Dans l'ensemble, il semble que la composition des communautés zooplanctoniques du GSL soit fonction de l'effet combiné des propriétés changeantes des masses d'eau et du contrôle de population via la disponibilité de la nourriture et la prédation, mais l'importance relative de ces processus n'est pas encore bien comprise.

SOMMAIRE

Le présent document traite des conditions chimiques et biologiques (plancton) dans le GSL en 2018 dans le contexte d'un fort réchauffement ayant commencé en 2010. Les données de 2018 sont comparées aux observations de la série temporelle.

- Les concentrations d'oxygène dissous à 300 m ont atteint des minimums records en 2018 dans presque toutes les régions du GSL.
- Les concentrations de nitrates en surface (0 à 50 m) étaient sous la normale la majeure partie de l'année dans toutes les sous-régions du GSL. Les fortes anomalies positives des concentrations de nutriments en eau profonde (300 m) observées depuis 2012 dans l'eGSL sont associées à des intrusions d'eau à température et à salinité élevées dans le GSL par le détroit de Cabot.
- Les données in situ de chl *a* et de nutriments suggèrent une biomasse élevée de phytoplancton au printemps et à l'automne 2018 alors que les données de couleur de l'océan suggère que la biomasse de phytoplancton était plutôt près de la normale au printemps et sous la normale dans la couche de surface à l'automne.
- Selon l'imagerie satellitaire, le début de la floraison printanière était plus tôt que la normale dans toutes les régions en 2018, même si les données récoltées à la station de Rimouski indique que le début de la floraison y a plutôt été retardé. Sa durée et son intensité étaient généralement au-dessus de la normale dans une grande partie du GSL, à l'exception du nord-est du GSL.
- La communauté de phytoplancton était similaire à celle de la période de référence à la station Rimouski, sauf pour le déclin de l'abondance des dinoflagellés depuis 2014. À la station de la vallée de Shediac, les quelques échantillons récoltés suggèrent une diminution de l'abondance des diatomées simultanément à une augmentation de l'abondance des petites cellules depuis 2014 également.
- La biomasse de zooplancton était sous la normale en 2018 partout dans le GSL en raison de la faible abondance de *C. hyperboreus* à la station Rimouski et de *C. finmarchicus* dans l'eGSL et le sGSL.
- L'abondance des petits calanoïdes, des non-copépodes et des copépodes associés à l'eau chaude étaient plus grandes que la moyenne à long-terme encore une fois en 2018 dans toutes les sous-régions sauf l'eGSL où il étaient près de la normale. Ces conditions poursuivent une tendance amorcée en 2010. Il est aussi intéressant de noter que l'abondance des copépodes associés à l'eau froide était supérieure à la normale dans l'eGSL pour une quatrième année consécutive.
- Malgré que la sortie de diapause ait eu lieu au moment attendu à la station Rimouski, les jeunes stades (CI-III) copépodites de *C. finmarchicus* ont seulement pu être observés à partir de la fin mai et leur abondance était maximale en juillet, ce qui est tard par rapport aux observations des dernières années. Il y a eu une seule cohorte de CI-III en 2018.

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 (Rémi Desmarais, Marie-Lyne Dubé, Yves Gagnon, Line McLaughlin, Roger Pigeon, Michel Rousseau, Félix St-Pierre, Liliame St-Amand, Sonia Michaud, David Leblanc, et Caroline Lafleur) 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 Erica Head, Gary Maillet et David Bélanger pour leurs apports majeurs à la révision du document.

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.
- 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.
- Colbourne, E., Holden, J., Snook, S., Han, G., Lewis, S., Senciall, D., Bailey, W., Higdon, J., and Chen, N. 2017. [Physical oceanographic conditions on the Newfoundland and Labrador Shelf during 2016 - Erratum](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/079. v + 50 p.
- Conover, R. J., et Huntley, M. 1991. Copepods in ice-covered seas - Distribution, adaptations to seasonally limited food, metabolism, growth patterns and life cycle strategies in polar seas. *J. Mar. Syst.* 2: 1–41.
- Daewel, U., Hjøllø, S.S., Huret, M., Ji, R., Maar, M., Niiranen, S., Travers-Trolet, M., Peck, M.A., et van de Wolfshaar, K. E. 2014. Predation control of zooplankton dynamics: a review of observations and models. *ICES J. Mar. Sci.* 71(2): 254–271.
- 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., Lefavre, D. et Lafleur, C. 2019. Conditions océanographiques physiques dans le golfe du Saint-Laurent en 2018. *Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech.* 2019/046. iv + 83 p.
- Gilbert, D. 2004. Propagation of temperature signals from the northwest Atlantic continental shelf edge into the Laurentian Channel. *ICES CM, 2004/N: 7*, 12 pp.
- Gilbert, D., Sundby, B., Gobeil, C., Mucci, A., et Tremblay, G.-H. 2005. A seventy-two-year record of diminishing deep-water oxygen in the St. Lawrence estuary: The Northwest Atlantic connection. *Limnol. Oceanogr.*, 50(5): 1654–1666.

-
- 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.
- Hall, D.J., Threlkeld, S.T., Burns, C.W., et Crowley, P.H. 1976. The size-efficiency hypothesis and the size structure of zooplankton communities. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 7: 177–208.
- 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.
- Laliberté, J., Larouche, P., Devred, E., et Craig, S. 2018. Chlorophyll-a concentration retrieval in the optically complex waters of the St. Lawrence Estuary and Gulf using principal component analysis. *Remote Sens.* 10, 265, doi: 10.3390/rs10020265.
- Lauzier, L.M., et Trites, R.W. 1958. The deep waters of the Laurentian Channel. *J. Fish. Res. Board Can.* 15: 1247–1257.
- 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.
- McLellan, H.J. 1957. On the distinctness and origin of the slope water off the Scotian Shelf and its easterly flow south of the Grand Banks. *J. Fish. Res. Board Can.* 14: 213–239.
- 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. 2019. [Conditions océanographiques dans la zone Atlantique en 2018](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2019/034.
- Parent, G.J., Plourde, S., et Turgeon, J. 2011. Overlapping size ranges of *Calanus* spp. off the Canadian Arctic and Atlantic Coasts: impact on species' abundances. *J. Plankton Res.* 33: 1654–1665.
- 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.
- Plante, S., Chabot, D., et Dutil, J.-D. 1998. Hypoxia tolerance in Atlantic cod. *J. Fish Biol.* 53: 1342–1356.
- 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., 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.
- Sommer, U., et Lengfellner, K. 2008. Climate change and the timing, magnitude, and composition of the phytoplankton spring bloom. *Global Change Biol.* 14: 1199–1208.
-

-
- Therriault, J.-C., Petrie, B., Pépin, P., Gagnon, J., Gregory, D., Helbig, J., Herman, A., Lefaivre, 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.
- 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 2018. 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.

	Nom	Emplacement	Dates (2018)	Navire	CTD/bouteille	Filet
Fixe	Rimouski	48°40.0'N 068°35.0'W	26 Fév – 6 Déc	Beluga II (+ autres)	34	32
	Vallée de Shediac	47°46.8'N 064°01.8'W	3 Mar – 23 Oct	Multiple	8	6
Relevé hivernal	-	Estuaire et golfe	26 Fév – 13 Mars	CG-945 Hélicoptère	104	0
Relevé estival	TESL	oGSL	3 – 27 Juin	Coriolis II	7	7
	TSI	oGSL	3 – 27 Juin	Coriolis II	6	6
	TASO	oGSL	3 – 27 Juin	Coriolis II	5	5
	TIDM	sGSL	3 – 27 Juin	Coriolis II	10	10
	TDC	eGSL	3 – 27 Juin	Coriolis II	6	6
	TCEN	eGSL	3 – 27 Juin	Coriolis II	5	5
	TBB	eGSL	3 – 27 Juin	Coriolis II	7	7
	Stations supplémentaires		3 – 27 Juin	Coriolis II	23	0
Total					69	46
Relevé automnal	TESL	wGSL	22 Oct – 3 Nov	Hudson	7	7
	TSI	wGSL	22 Oct – 3 Nov	Hudson	6	6
	TASO	wGSL	22 Oct – 3 Nov	Hudson	5	5
	TIDM	sGSL	22 Oct – 3 Nov	Hudson	10	9
	TDC	eGSL	22 Oct – 3 Nov	Hudson	6	6
	TCEN	eGSL	22 Oct – 3 Nov	Hudson	5	3
	TBB	eGSL	22 Oct – 3 Nov	Hudson	7	5
	Stations supplémentaires		22 Oct – 3 Nov	Hudson	7	0
Total					53	41

FIGURES

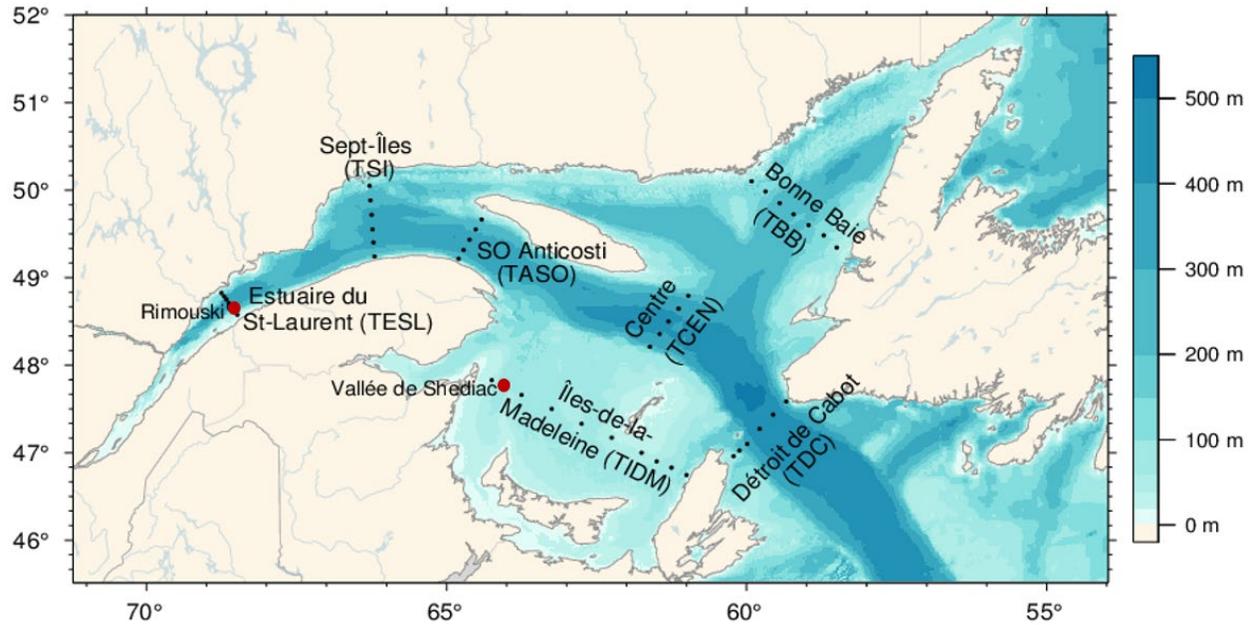


Figure 1. Carte bathymétrique de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent montrant les stations d'échantillonnage sur les différentes sections (points) ainsi qu'aux stations fixes de Rimouski et de la vallée de Shediac (cercles rouges). Les sections ont été regroupées pour former des sous-régions dans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

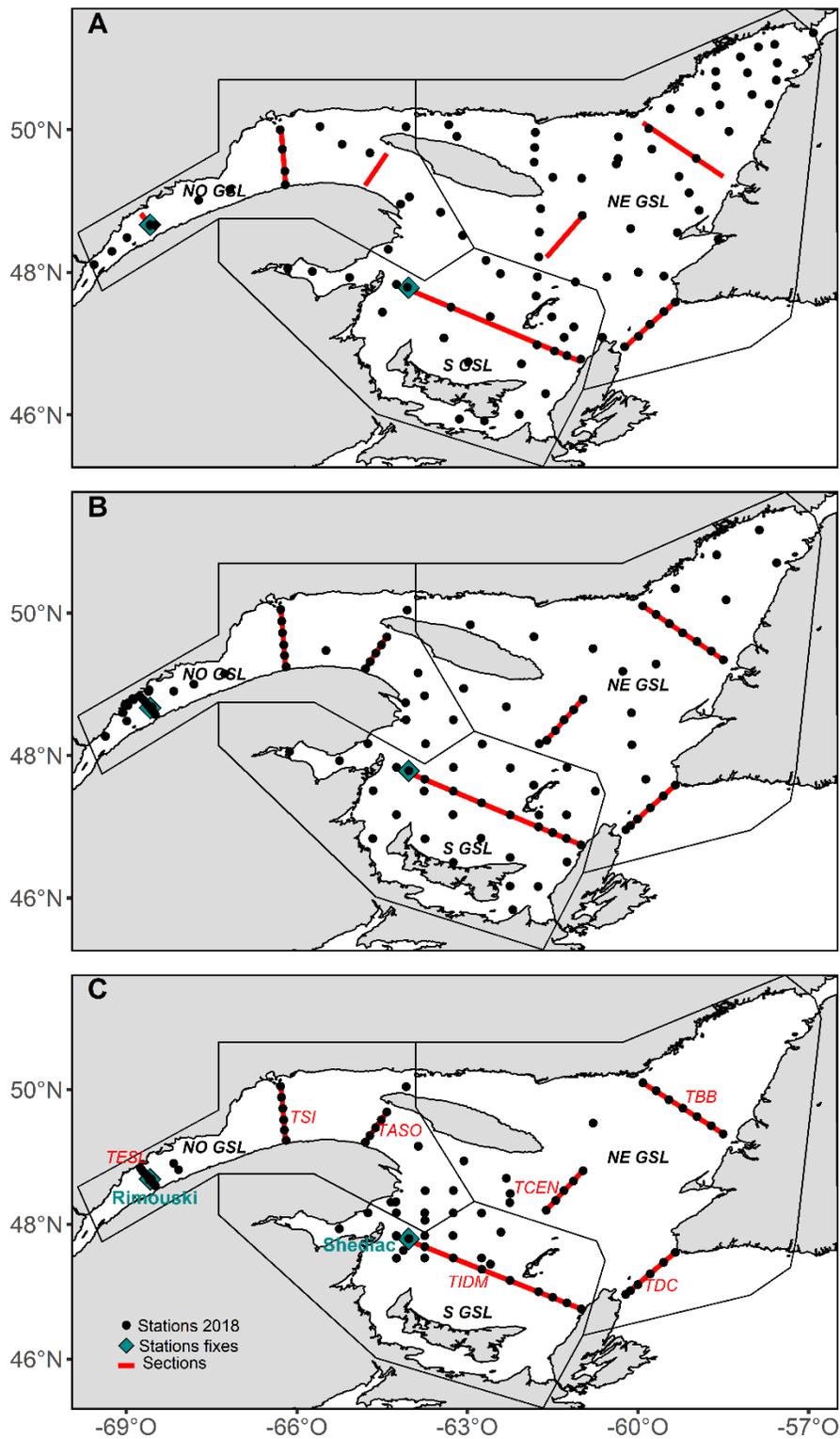


Figure 2. Localisation des stations échantillonnées durant l'hiver (A), l'été (B), et l'automne (C) 2018. Les sections sont regroupées pour former des sous-régions dans l'ouest du GSL : TESL, TSI, TASO; le sud du GSL : TIDM; et l'est du GSL: TBB, TCEN, TDC.

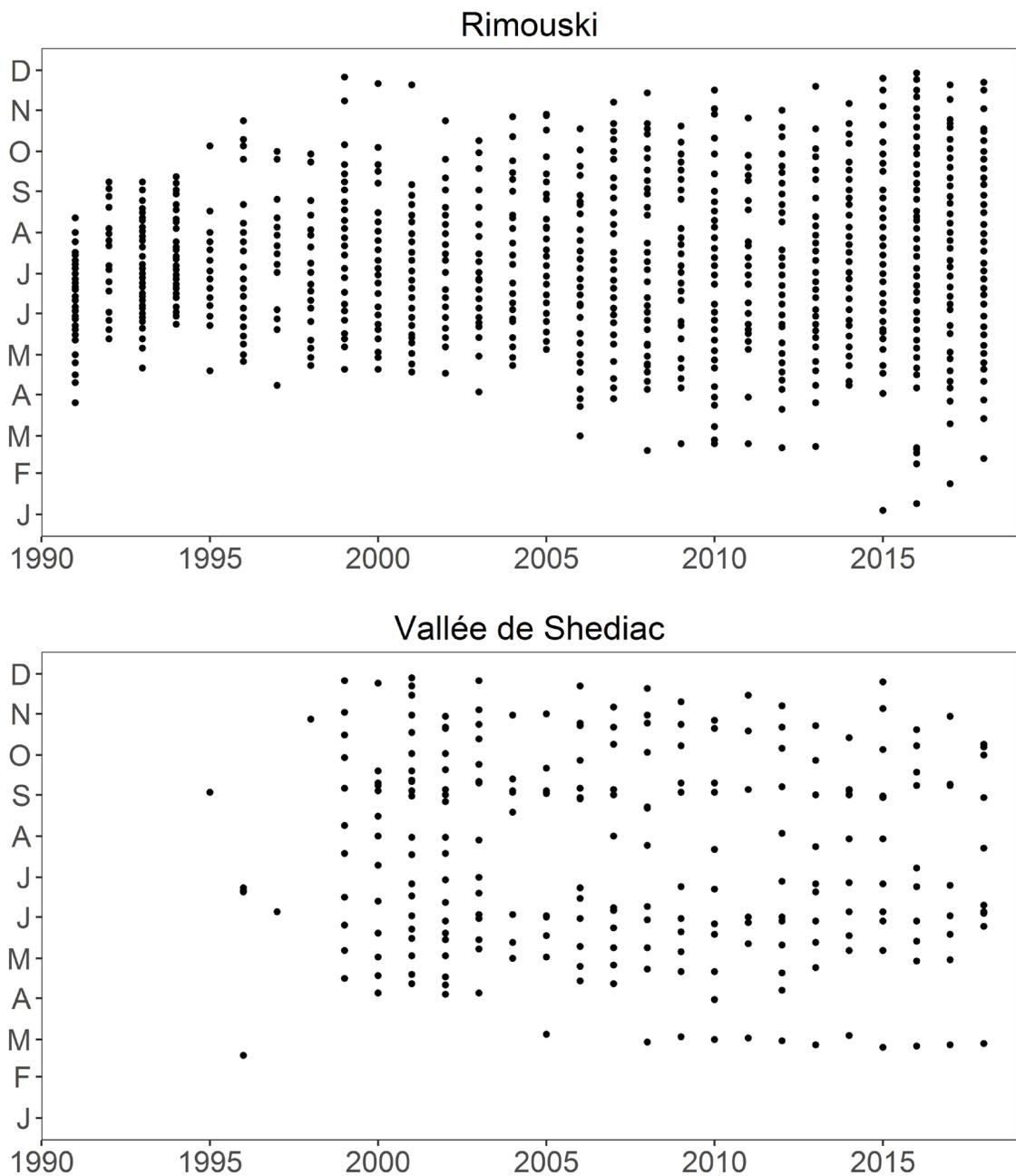


Figure 3. Fréquence d'échantillonnage aux stations de Rimouski et de la vallée de Shediac en 2018. L'échantillonnage comprenait les données CTD/bouteille ainsi que des traits de filet à plancton la plupart du temps (si les conditions météorologiques le permettaient).

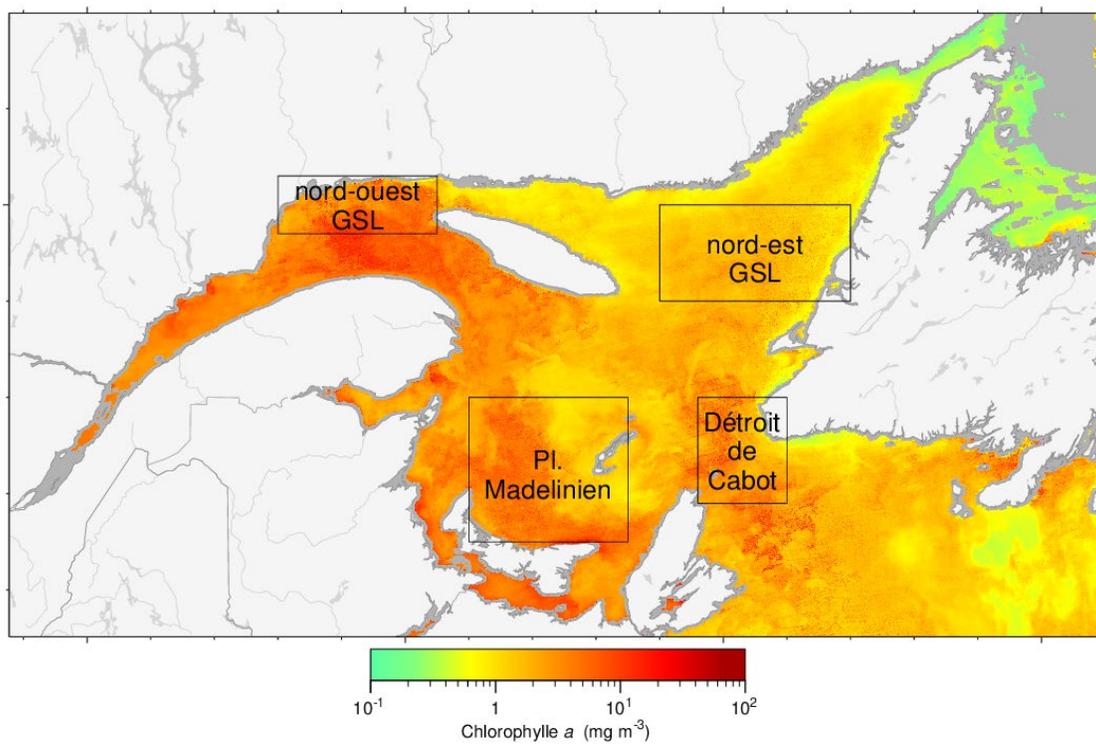


Figure 4. Boîtes statistiques du golfe du Saint-Laurent (GSL) utilisées pour l'analyse spatio-temporelle des données satellites de la couleur de l'océan. La figure est une image composite de VIIRS montrant la chlorophylle a du 16 au 30 avril 2018. Le gris indique l'absence de données (dans le cas présent, les régions littorales).

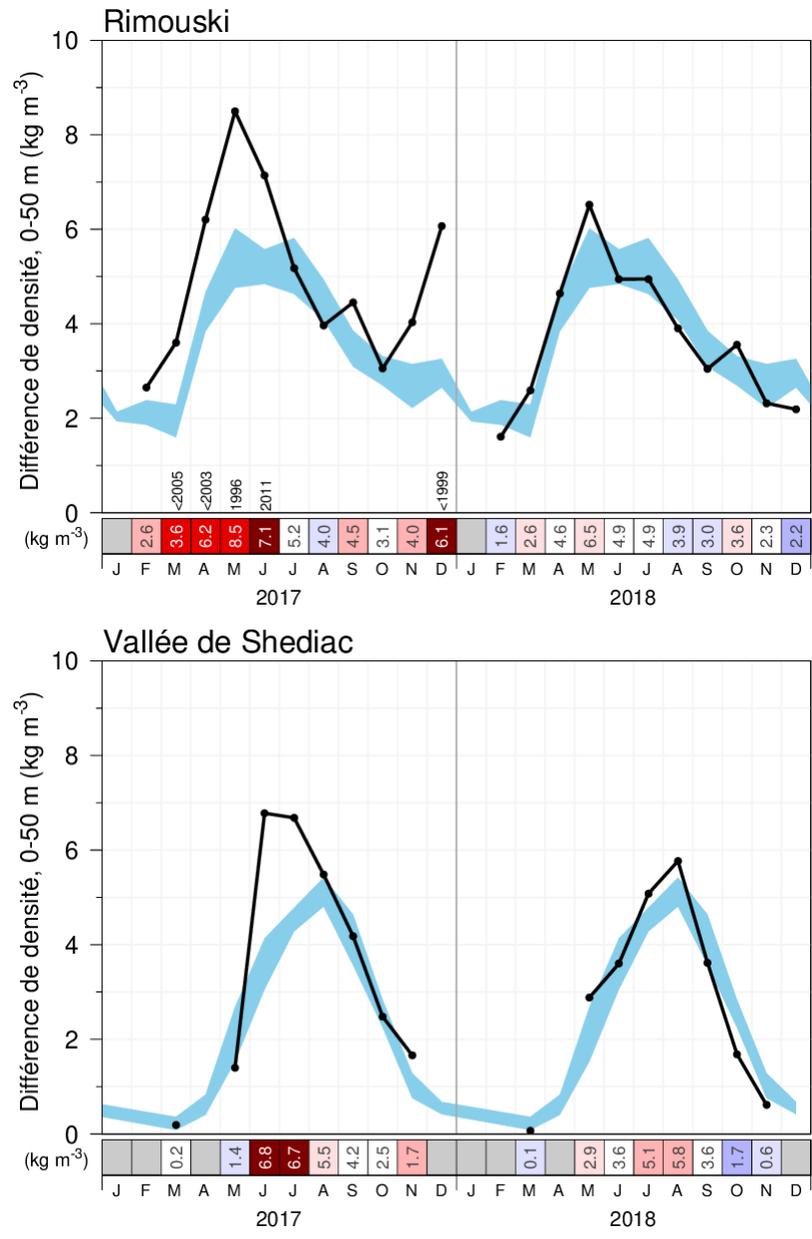


Figure 5. Indice de stratification saisonnière (calculé comme étant la différence de densité entre 50 m et la surface) en 2017 et en 2018 aux stations de Rimouski (panneau supérieur) et de la vallée de Shediac (panneau inférieur). Le bleu représente la moyenne mensuelle climatologique $\pm 0,5$ écart-type (1991 à 2010 pour Rimouski et 1981 à 2018 pour la vallée de Shediac). Les anomalies positives sont indiquées en rouge 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.

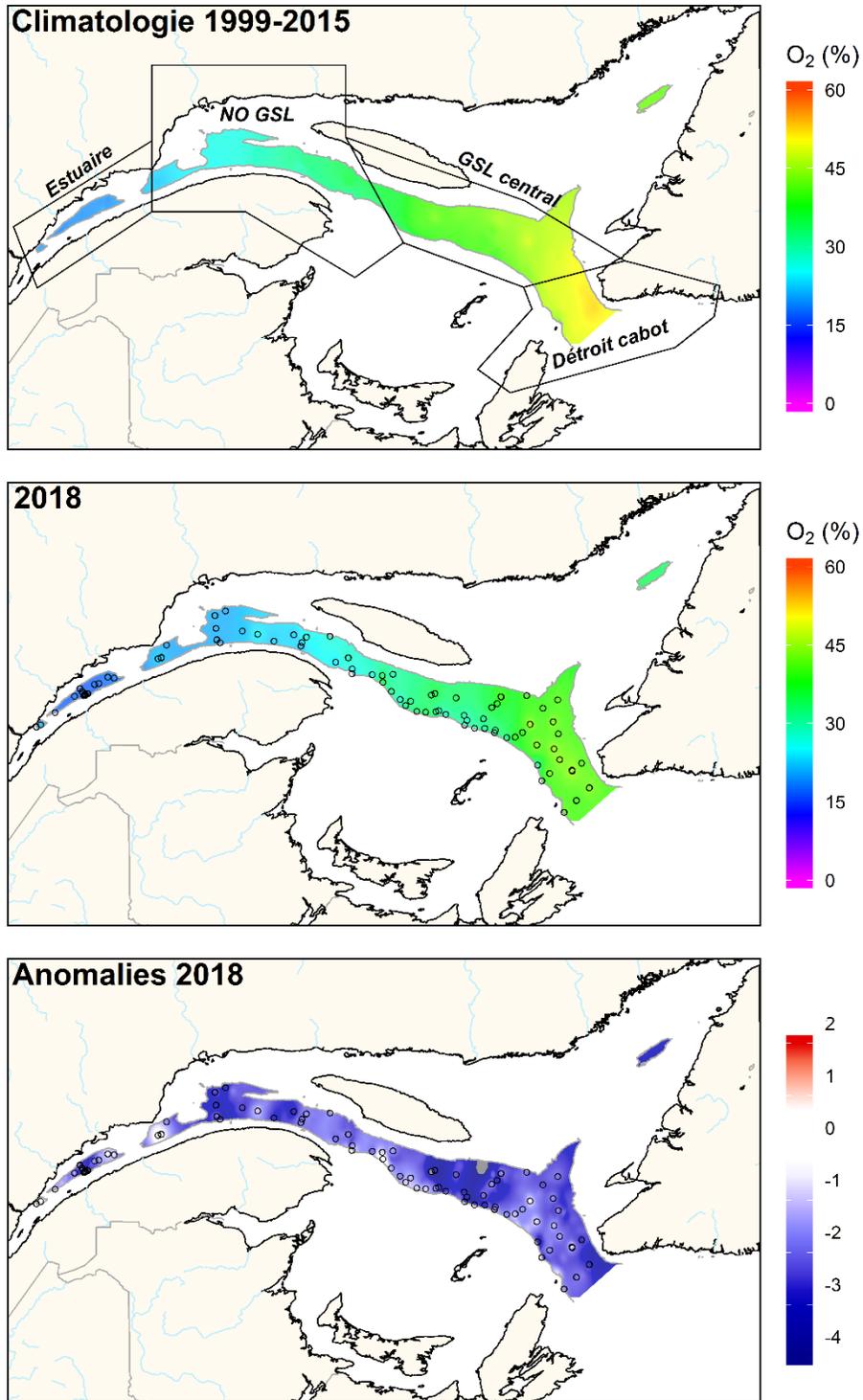


Figure 6. Distribution moyenne annuelle de la saturation en oxygène dissous à une profondeur de 300 m dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent en 2018 (panneau supérieur). La climatologie (1999–2015; panneau du centre) et les anomalies (panneau du bas) sont également montrées. Le bleu indique les anomalies inférieures à la moyenne, le rouge, celles supérieures à la moyenne, et le blanc représente les conditions normales. Les polygones dans le panneau du haut permettent le calcul des anomalies régionales. Les cercles ouverts représentent la localisation des stations en 2018.

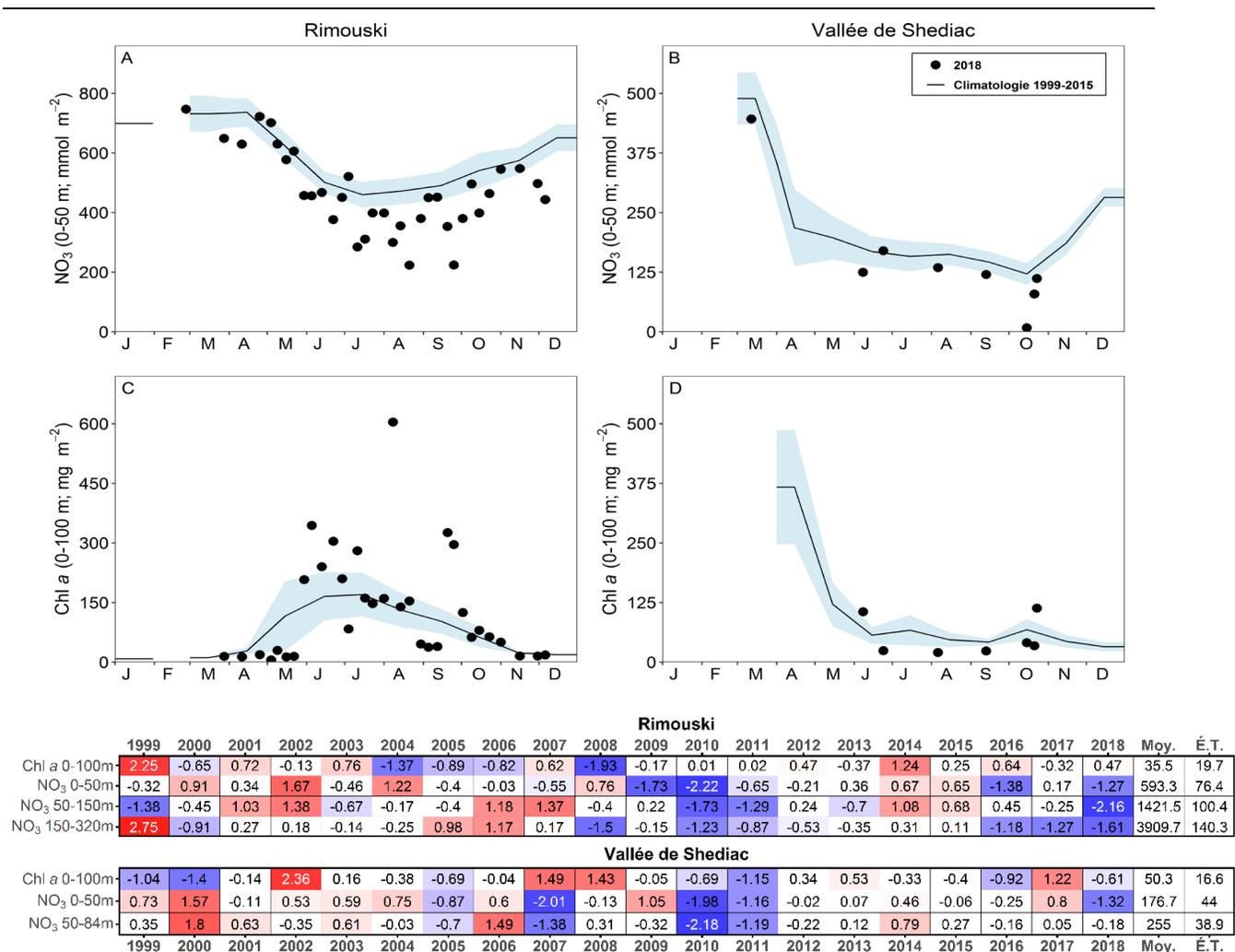


Figure 8. Inventaires de nitrate (0–50 m; panneaux supérieurs) et biomasse de phytoplancton (0–100 m pour Rimouski et 0–84 m pour la vallée de Shediac; panneaux inférieurs) en 2018 (cercles noirs) avec conditions moyennes ($\pm 0,5$ écart-type) pour la période de référence 1999–2015 (ligne noire avec ombrage bleu) aux stations de Rimouski et de la vallée de Shediac. Les anomalies annuelles normalisées (tableau synoptique) pour les teneurs en chlorophylle a (mg/m^2) et les concentrations d'éléments nutritifs (mmol/m^2) sont également présentées avec les moyennes et les écarts-types des variables pour la période de référence 1999–2015 à droite du tableau synoptique. Le bleu indique les anomalies inférieures à la moyenne, le rouge, celles supérieures à la moyenne, et le blanc représente les conditions normales.

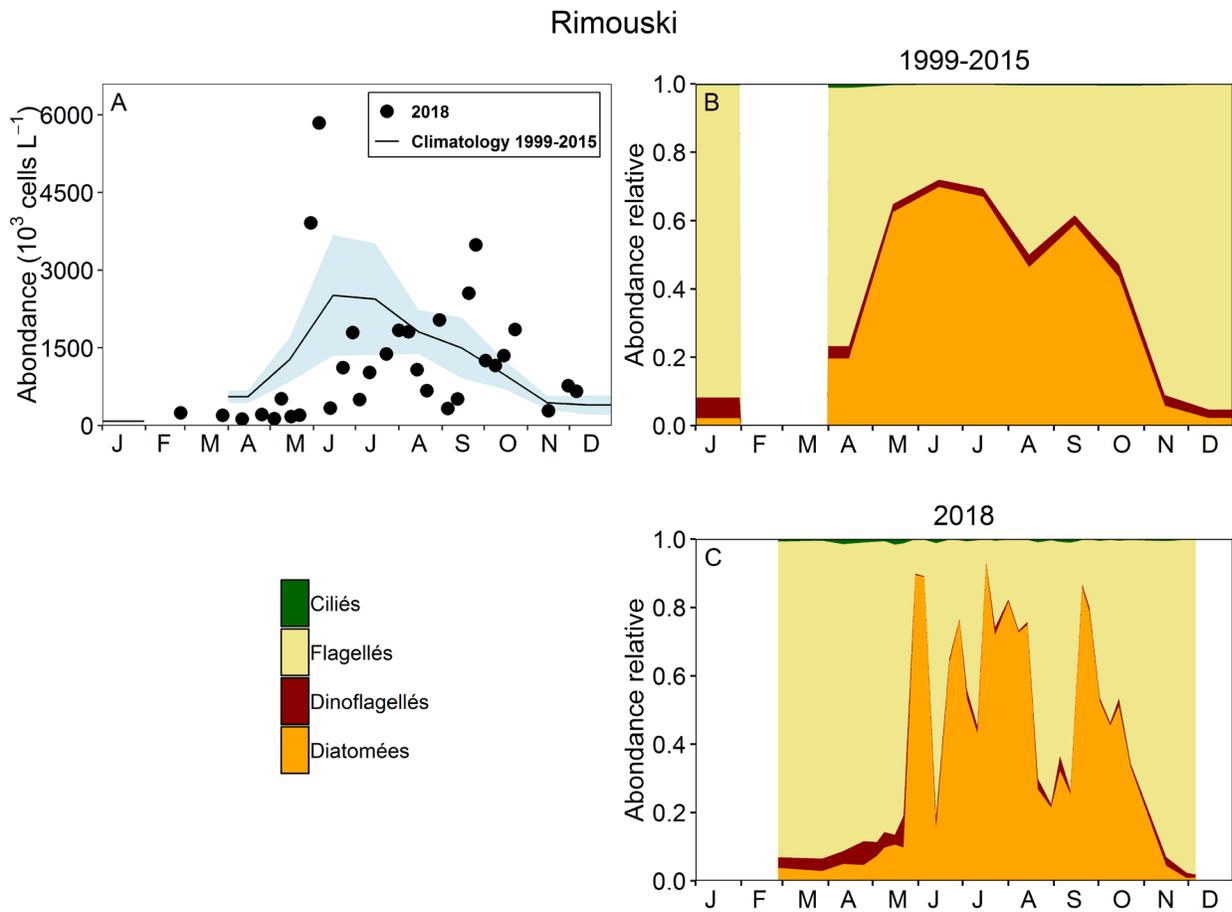


Figure 11. Abondance du phytoplancton (A) et composition de la communauté à la station de Rimouski pour la période de référence 1999-2015 (B; aucune donnée en 2010) et pour 2018 (c). L'ombrage bleu sur le panneau (A) représente ± 0.5 écart-type de la moyenne mensuelle d'abondance du phytoplancton pour la période de référence.

		Rimouski																			Moy.	É.T.	
		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018		
Diatomée		0.56	-0.55	0.5	0.53	1.24	-1.77	-1.36	-1	0.69	-1.67	-0.62		1.07	0.65	-0.63	1.44	0.68	1.16	-1.45	0.39	49	23
Dino		-0.71	-0.39	0.46	0.45	0.74	0.23	0.75	1.44	1.85	0.62	0.88		-0.14	-0.23	-0.4	-1.22	-1.14	-1.41	-1.76	-1.53	23	12
Flag		-1.69	-1.61	-0.62	-0.95	-0.16	-0.89	1.16	1.52	1.71	0.4	0.99		-0.1	-0.77	0.36	-0.49	0.07	0.39	0.25	-0.48	396	183
Cilié		-2.13	-1.51	0.62	0.46	0.16	-1.56	1.73	1.15	1.14	-0.07	-0.11		0.29	0.91	-0.31	-0.13	-0.31	-0.72	-1.2	-0.55	3	1
Total		0.27	-1.53	-0.08	-0.47	0.66	-2.52	0.29	0.98	1.92	-0.9	0.86		0.28	-0.51	-0.38	0.03	-0.07	1.62	-0.29	-0.3	606	171
Diat/Dino		1.21	0	0.05	-0.04	0.2	-1.35	-1.3	-1.42	-0.74	-1.44	-0.83		0.66	0.45	-0.24	1.54	0.95	1.66	0.26	1.14	4	3
Diat/Flag		2.46	0.76	0.7	0.79	0.8	-1.1	-1.3	-1.2	-0.63	-1.35	-0.58		0.4	0.59	-0.77	0.73	-0.04	0.89	-0.47	0.47	1	1
		Vallée de Shediac																			Moy.	É.T.	
		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018		
Diatomée		-0.33	0.77	-0.29	1.44	0.09	0.87	-1.13	0.09	1.88	1.44	-0.22	-1.19	-0.79	-0.58	0.38	-1.19	-1.23	-1.06	0.57	-0.73	53	49
Dino		0.67	1.9	-0.19	0.36	-0.26	1.6	-0.01	-1.04	-0.49	1.24	-1.37	-1.17	-0.39	-1.05	-0.9	0.97	0.13	1.49	0.75	0.75	3	2
Flag		-1.25	0.54	0.87	0.32	0.58	1.34	-0.01	-0.79	-0.6	0.43	-0.6	-1.82	0.37	-0.8	-0.01	2.22	-0.8	2.08	1.89	0.44	12	11
Cilié		1.29	0.51	-0.5	0.48	-0.43	2.04	-0.69	-1.29	-0.19	1.66	-1.06	-0.47	-0.05	-1.68	-0.08	0.33	0.12	1.31	0.61	3.03	1	0
Total		-0.85	0.66	-0.11	1.42	0.33	0.9	-0.45	-0.28	1.69	1.5	-0.5	-1.91	-0.76	-0.76	-0.05	0.35	-1.16	0.18	1.16	-0.51	87	56
Diat/Dino		-0.95	-0.59	-0.19	1.26	0.2	-0.32	-0.76	0.67	2.34	0.66	0.66	-0.31	-0.7	0.01	0.9	-1.52	-1.36	-2.1	-0.04	-1.3	20	18
Diat/Flag		0.54	-0.14	-1.05	1.06	-0.27	-0.57	-0.39	0.49	2.57	0.91	0.23	0.01	-1.13	0.01	0	-1.96	-0.31	-2.02	-0.87	-1	9	10

Figure 12. Série temporelle des anomalies annuelles normalisées (Avril–Décembre) pour l'abondance (10^3 cells L^{-1}) des principaux groupes taxonomiques de phytoplancton (diatomées, dinoflagellés, flagellés, ciliés), l'abondance totale du microphytoplancton et les ratios diatomées/dinoflagellés et diatomées/flagellés aux stations de Rimouski et de la vallée de Shediac. La moyenne et l'écart-type des variables pour la période de référence 1999-2015 sont indiqués à droite du tableau synoptique. Le bleu indique les anomalies inférieures à la moyenne, le rouge, celles supérieures à la moyenne, et le blanc représente les conditions normales. Aucune donnée n'est disponible en 2010 à la station Rimouski.

Vallée de Shediac

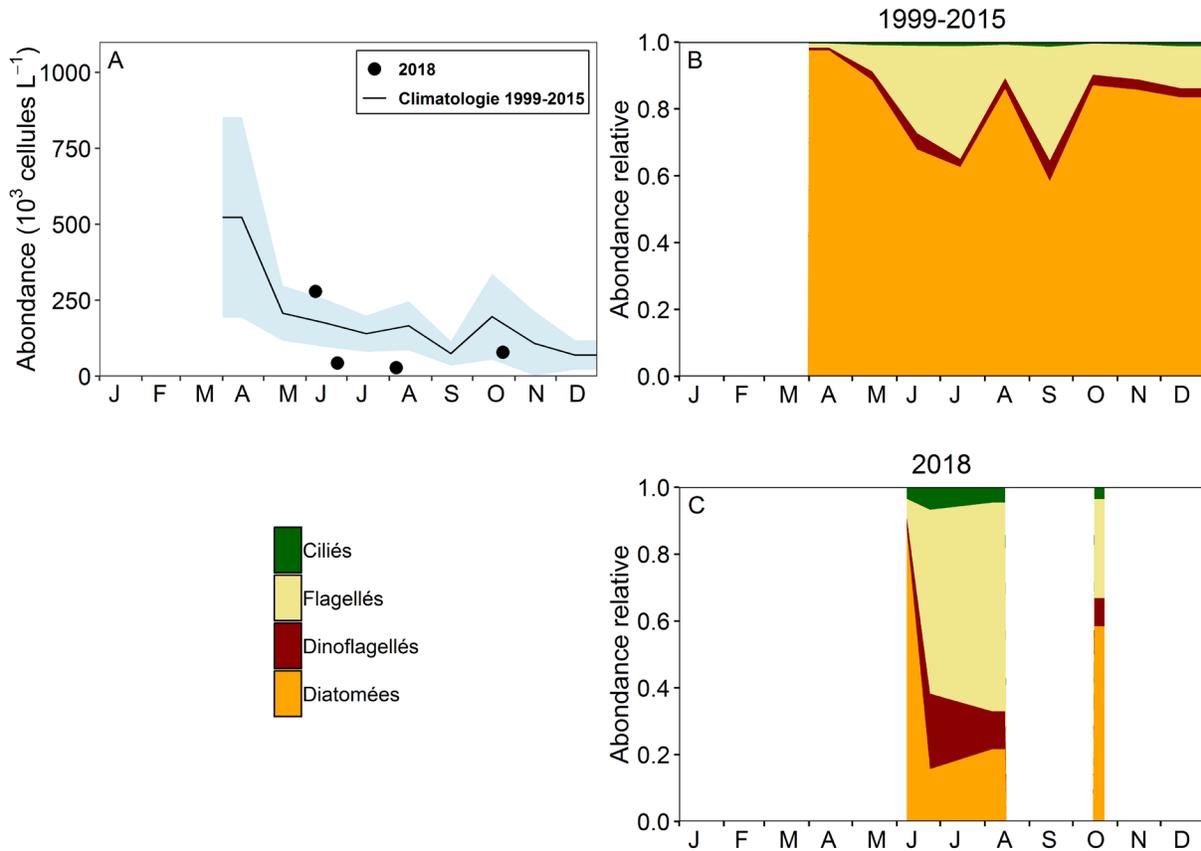


Figure 13. Abondance du phytoplancton (A) et composition de la communauté à la station de la vallée de Shediac pour la période de référence 1999-2015 (B) et pour 2018 (c). L'ombrage bleu sur le panneau (A) représente ± 0.5 écart-type de la moyenne mensuelle d'abondance du phytoplancton pour la période de référence.

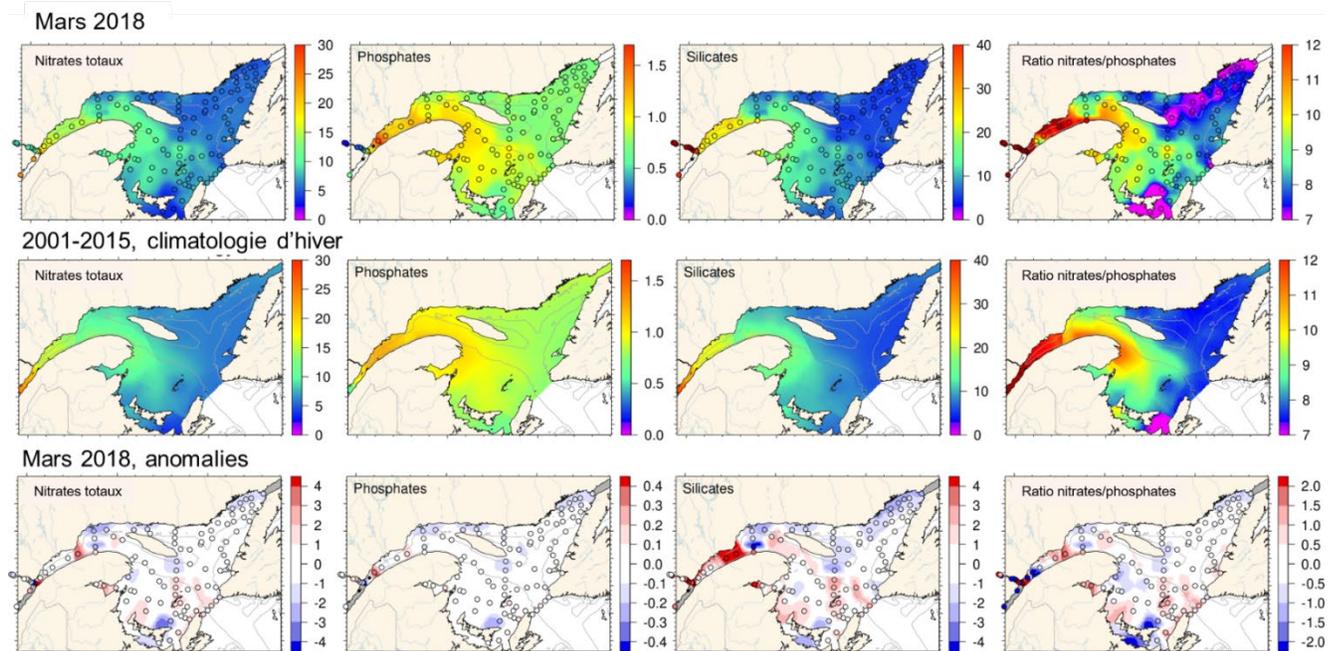


Figure 14. Concentrations totales de nitrate ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$), de phosphate et de silicate (mmol m^{-3}) et ratio N/P à 2 m de profondeur dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent en mars 2018 (panneaux supérieurs). La climatologie (2001 à 2015; panneaux centraux) et les anomalies (panneaux inférieurs) sont indiquées pour chaque élément nutritif. Le bleu indique les anomalies inférieures à la moyenne, le rouge, celles supérieures à la moyenne, et le blanc représente les conditions normales.

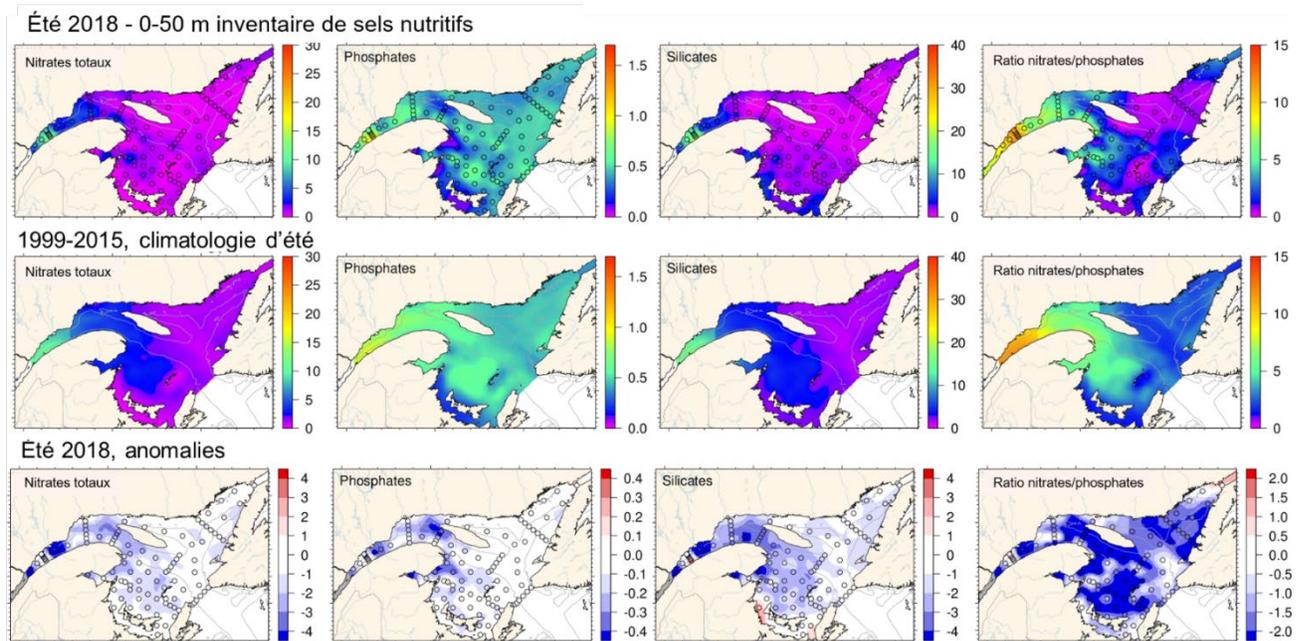


Figure 15. Concentrations totales de nitrate ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$), de phosphate et de silicate (mmol/m^3) et ratio N/P moyen dans la couche de surface (0–50 m) dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent en juin 2018 (panneaux supérieurs). La climatologie (1999 à 2015; panneaux centraux) et les anomalies (panneaux inférieurs) sont indiquées pour chaque élément nutritif. Le bleu indique les anomalies inférieures à la moyenne, le rouge, celles supérieures à la moyenne, et le blanc représente les conditions normales.

Octobre-Novembre 2018 - 0-50 m inventaire de sels nutritifs

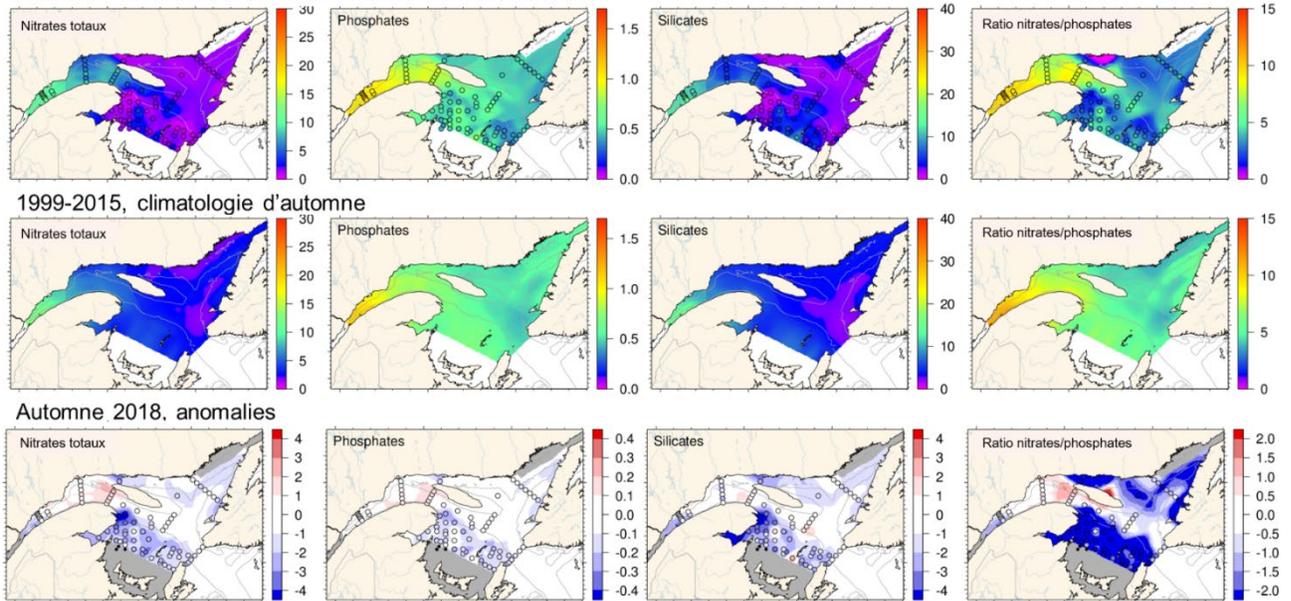


Figure 16. Concentrations totales de nitrate ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$), de phosphate et de silicate (mmol/m^3) et ratio N/P moyen dans la couche intermédiaire (0–50 m) dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent à l'automne 2018 (panneaux supérieurs). La climatologie (1999 à 2015; panneaux centraux) et les anomalies (panneaux inférieurs) sont indiquées pour chaque élément nutritif. Le bleu indique les anomalies inférieures à la moyenne, le rouge, celles supérieures à la moyenne, et le blanc représente les conditions normales.

Eté 2018 - 50-150 m inventaires de sels nutritifs

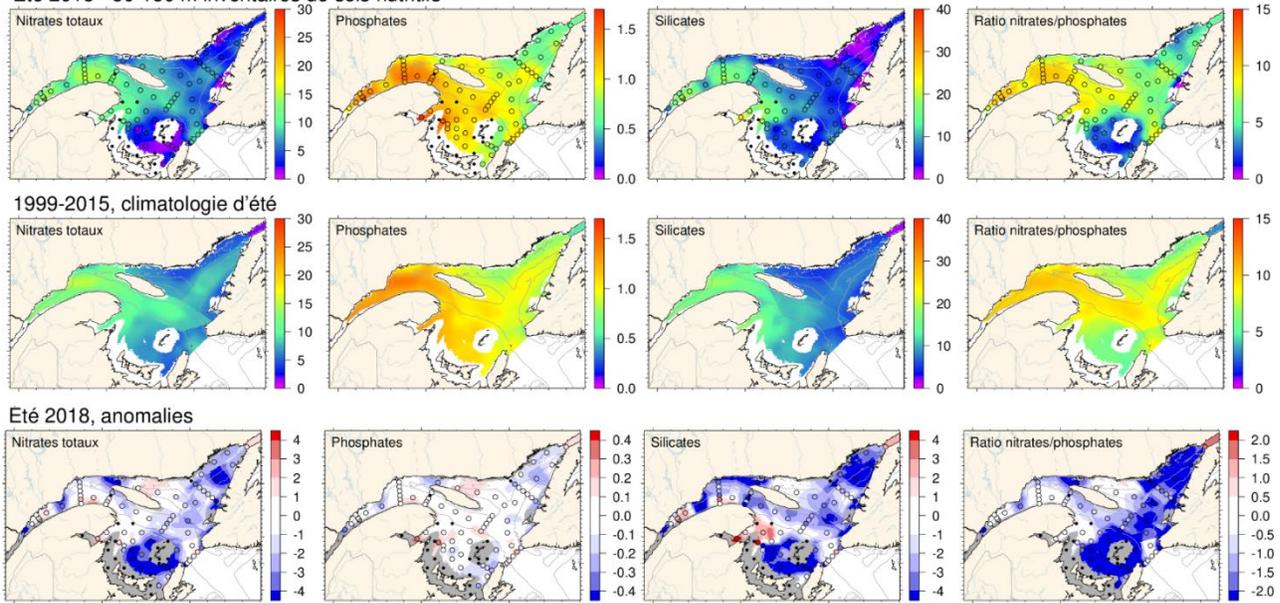


Figure 17. Concentrations totales de nitrate ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$), de phosphate et de silicate (mmol/m^3) et ratio N/P moyen dans la couche intermédiaire (50–150 m) dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent en juin 2018 (panneaux supérieurs). La climatologie (1999 à 2015; panneaux centraux) et les anomalies (panneaux inférieurs) sont indiquées pour chaque élément nutritif. Le bleu indique les anomalies inférieures à la moyenne, le rouge, celles supérieures à la moyenne, et le blanc représente les conditions normales.

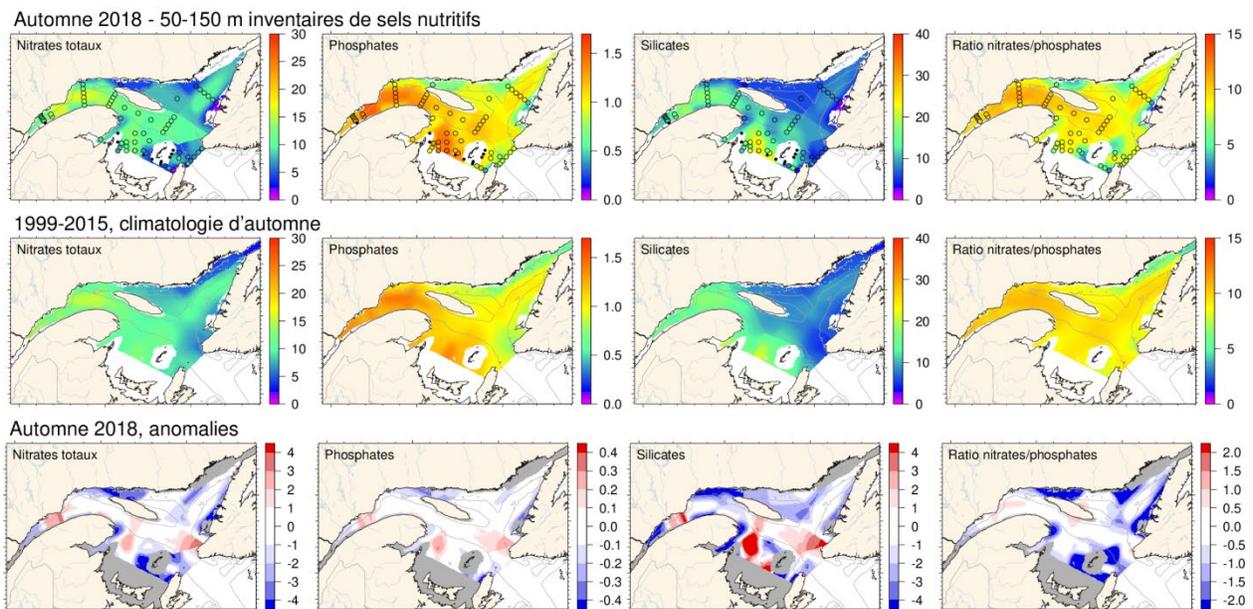


Figure 18. Concentrations totales de nitrate ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$), de phosphate et de silicate (mmol/m^3) et ratio N/P moyen dans la couche intermédiaire (50–150 m) dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent à l'automne 2018 (panneaux supérieurs). La climatologie (1999 à 2015; panneaux 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.

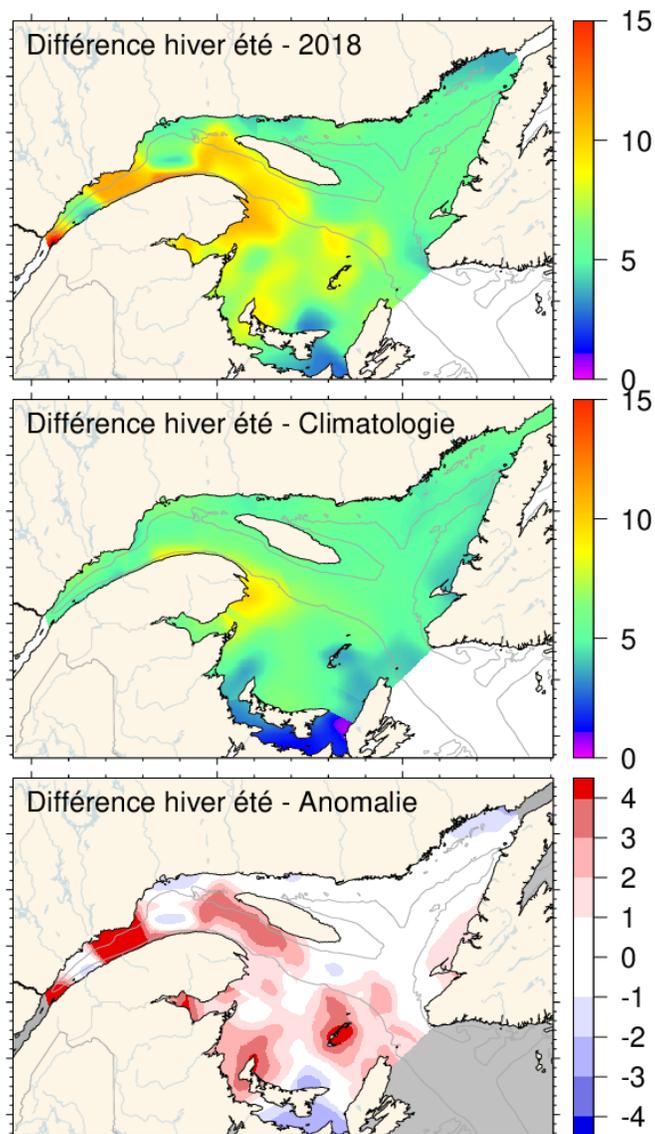


Figure 19. Différence entre les concentrations totales de nitrate ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) [mmol m^{-3}] à 2 m dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent entre l'hiver et l'été. Haut : différence entre l'hiver et l'été 2018; centre : différences pour la climatologie (2001 à 2015); bas : anomalies de la différence entre hiver et été 2018. Les anomalies négatives (en bleu) suggèrent de faibles diminutions du niveau de nitrate et les anomalies positives (en rouge), de fortes diminutions.

Été 2018

Automne 2018

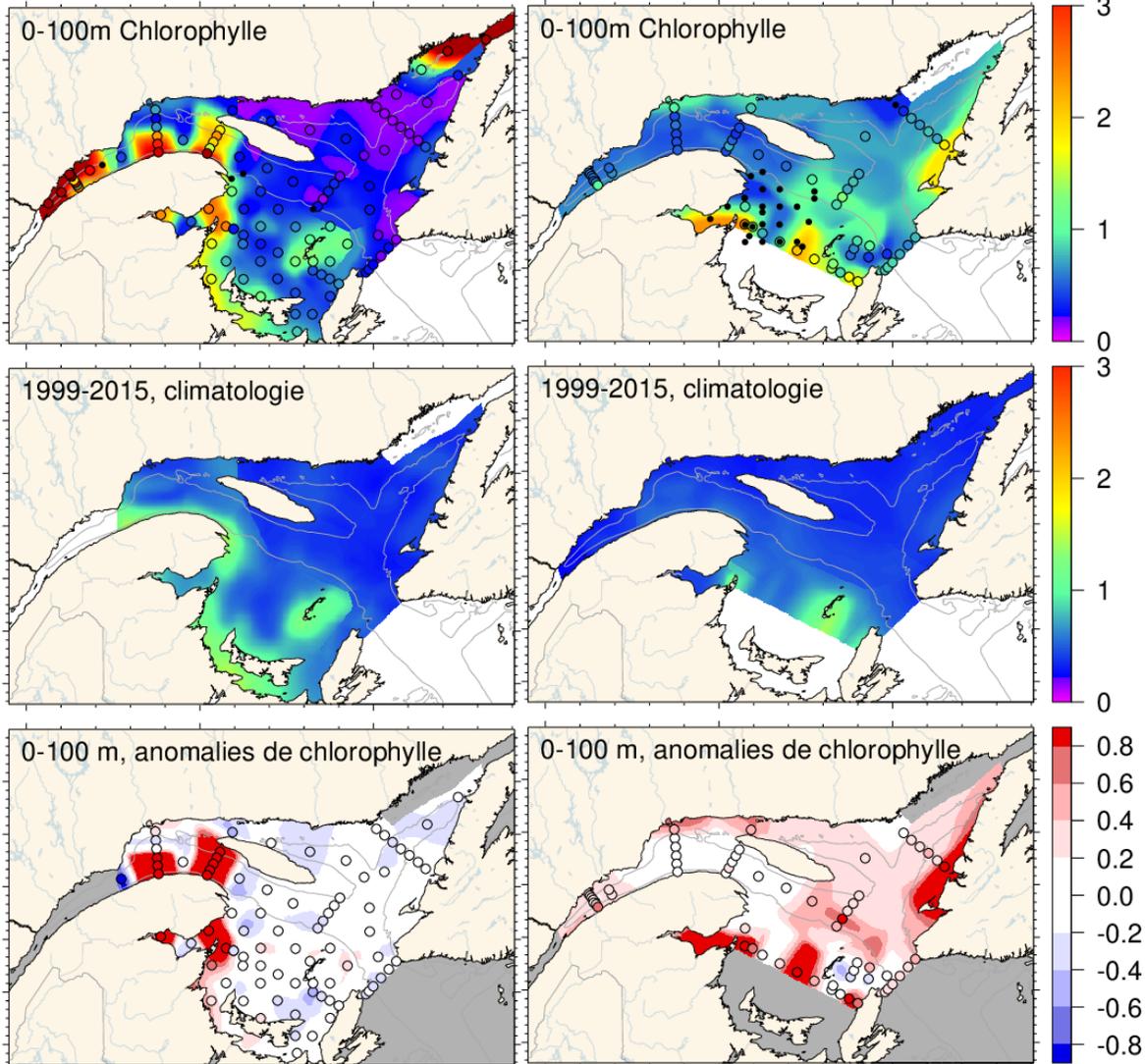


Figure 20. Concentrations de chlorophylle a (mg/m^3) moyennées verticalement (0–100 m) dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent à l'été (panneaux de gauche) et à l'automne 2018 (panneaux de droite). La climatologie (1999 à 2015; panneaux centraux) et les anomalies (panneaux inférieurs) sont indiquées pour les deux saisons. Le bleu indique les anomalies inférieures à la moyenne, le rouge, celles supérieures à la moyenne, et le blanc représente les conditions normales.

		Nutriments en surface (0-50 m; mmol m ⁻²)																			Moy.	É.T.	
		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018		
N	Rimouski	-0.32	0.91	0.34	1.67	-0.46	1.22	-0.4	-0.03	-0.55	0.76	-1.73	-2.22	-0.65	-0.21	0.36	0.67	0.65	-1.38	0.17	-1.27	593.3	76.4
	oGSL	1.34	-0.46	0.77	1.49	0.32	-0.99	-0.54	-0.35	-0.41	-0.22	-0.54	-1.97	-1.4	0.05	0.87	0.5	1.53	-0.05	0.68	-1.02	347.2	56.4
	eGSL	0.9	1.48	0.56	0.4	1.13	-1.18	-0.32	-0.24	1.24	0.03	-0.04	-1.7	-1.78	-1.23	-0.19	0.16	0.77	-2	-1.19	-2.22	127.1	21.7
	V. S.	0.73	1.57	-0.11	0.53	0.59	0.75	-0.87	0.6	-2.01	-0.13	1.05	-1.98	-1.16	-0.02	0.07	0.46	-0.06	-0.25	0.8	-1.32	176.7	44
	sGSL	0.55	1.14	-0.46	0.1	0.35	0.49	0.58	1.67	0.37	0.73	0.59	-2.56	-0.74	-1.23	-0.46	-0.23	-0.89	-0.91	-0.3	-1.81	81.7	26.3
P	Rimouski	0.04	-0.04	0.83	1.71	0.1	1.21	0.12	0.74	-0.87	0.48	-1.9	-1.46	-1.62	-0.34	0.2	-0.12	0.91	-1.82	-0.36	-0.65	53.3	5.7
	oGSL	1.07	-0.18	0.85	1.45	0.84	-0.18	-0.38	-0.58	-0.18	-0.59	-1.05	-1.87	-1.68	-0.08	0.63	0.39	1.56	-0.58	0.01	-0.74	41.8	4.8
	eGSL	0.87	1.14	1.31	1.27	1.61	0.27	-0.31	-0.62	0.25	-0.55	-0.62	-1.64	-1.61	-1.18	-0.19	-0.08	0.1	-1.33	-0.72	-0.62	29.3	2.8
	V. S.	0.98	0.75	1.64	1.63	1.16	0.33	-0.86	-0.05	-1.05	-0.86	0.37	-1.42	-1.5	0.12	-0.58	-0.1	-0.57	-0.93	-0.5	-1.14	33.4	4.4
	sGSL	0.77	0.67	0.58	1.16	1.24	1.08	0	0.71	0.21	0.01	-0.02	-2.33	-1.41	-0.93	-0.25	-0.2	-1.29	-0.22	-1.74	-1.81	21.4	3
Si	Rimouski	0.18	0.7	0.11	1.23	-0.91	1.14	-0.25	0.07	-0.92	1.94	-1.76	-1.91	-0.41	0.03	0.21	0.15	0.4	-0.58	0.66	-1.69	774.5	141.8
	oGSL	1.62	-0.12	0.46	1.34	0.64	-0.25	-0.01	-0.07	-1.28	-0.26	-1.21	-1.75	-1.62	0.12	0.97	0.56	0.84	-0.43	1.49	-1.41	421.9	74.6
	eGSL	2.19	1.06	-0.29	0.05	1.29	-0.3	0.17	0.46	0.73	-0.16	-1.74	-0.62	-1.7	-0.96	0.11	0.1	-0.43	-2.09	-1.13	-1.45	166.8	38.9
	V. S.	0.62	1.28	-0.41	0.45	0.8	1.4	-0.27	0.3	-2.13	-0.12	1.31	-1.46	-0.96	-0.78	0.63	0.05	-0.73	-0.34	0.46	-1.01	248.9	63.6
	sGSL	2.3	1.3	-0.47	-0.24	0.72	0.39	-0.59	1.43	0.07	0.2	-0.24	-1.3	-0.91	-0.78	-0.23	-0.1	-1.55	-1.04	-0.66	-1.42	194.7	73.7
N/P	Rimouski	-0.67	1.77	-0.66	0.47	-1.02	0.38	-0.95	-1.23	0.31	0.67	-0.18	-1.91	1.29	0.13	0.36	1.45	-0.22	0.26	0.87	-1.38	11.1	0.8
	oGSL	1.47	-0.82	0.38	1.14	-0.74	-2.13	-0.67	0.18	-0.7	0.46	0.5	-1.53	-0.51	0.31	1.07	0.57	1.03	0.89	1.69	-1.21	8.3	0.5
	eGSL	1.15	1.22	-0.39	-0.47	0.36	-1.96	-0.32	0.07	1.79	0.43	0.4	-1.21	-1.32	-0.95	-0.09	0.28	1	-1.99	-1.19	-2.53	4.5	0.4
	V. S.	0.3	1.64	-1.24	-0.32	0	0.87	-0.55	0.82	-2.07	0.37	1.2	-1.66	-1.64	-0.17	0.52	0.67	0.26	0.25	1.46	-0.84	5.3	1
	sGSL	0.23	1.11	-1.05	-0.58	-0.32	0.08	0.79	2.03	0.34	1	0.91	-2.13	-0.23	-1.21	-0.38	-0.08	-0.5	-0.53	0.67	-1.48	4.1	0.9

		Nutriments dans la couche intermédiaire (50-150 m; mmol m ⁻²)																			Moy.	É.T.	
		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018		
N	Rimouski	-1.38	-0.45	1.03	1.38	-0.67	-0.17	-0.4	1.18	1.37	-0.4	0.22	-1.73	-1.29	0.24	-0.7	1.08	0.68	0.45	-0.25	-2.16	1421.5	100.4
	oGSL	0.38	-1.6	0.66	1.11	0.47	-1.59	-0.51	0.43	-0.02	0	-0.2	-1.49	-0.83	1.04	0.14	-0.08	2.09	0.02	0.25	-0.34	1224.9	108.6
	eGSL	-1.15	-0.14	-1.37	0.03	0.27	-1.9	-0.67	0.96	0.28	-0.28	0.11	-0.72	-0.11	1.04	0.66	0.76	2.22	-0.63	-1.35	-1.52	863.3	76.5
	V. S.	0.35	1.8	0.63	-0.35	0.61	-0.03	-0.7	1.49	-1.38	0.31	-0.32	-2.18	-1.19	-0.22	0.12	0.79	0.27	-0.16	0.05	-0.18	255	38.9
	sGSL	-0.44	-0.25	-0.02	1.2	1.7	0.59	-1.99	0.77	-1.01	0.12	1.21	-0.66	0.55	0.08	-0.13	-1.79	0.09	0.36	-0.7	-0.59	34	15.2
P	Rimouski	-0.8	-1.34	1.79	1.34	-0.11	0.07	0.42	1.91	0.06	-0.03	-0.42	-1.01	-1.71	0.02	-0.52	-0.19	0.51	-0.54	-0.41	-1.9	141.1	9.2
	oGSL	0.59	-0.99	0.95	1.59	1.04	-0.44	-0.4	-0.01	-0.03	-0.28	-1.06	-1.45	-1.07	0.51	-0.35	-0.72	2.11	-0.47	0.08	-0.02	125.2	7.8
	eGSL	-1.22	0.52	-0.44	1.29	1.17	-0.53	-0.82	0.5	1.2	-0.92	-1.13	-1.13	-0.6	0.01	0.47	0.32	2.4	-0.59	-1.02	-0.01	98	5.3
	V. S.	-0.02	0.57	1.71	1.64	0.94	-0.59	-0.54	1.1	-0.55	0.34	-1.09	-2.12	-0.66	-0.42	-0.71	0.03	0.38	-0.43	-0.41	0.73	34.2	2.6
	sGSL	-0.17	-0.57	0.28	1.31	1.76	0.57	2	0.55	-0.83	0.06	1.09	-0.43	0.53	0.16	-0.41	-1.9	-0.02	0.23	-0.81	-1.19	7.5	2.3
Si	Rimouski	-1.57	-0.67	0.87	1.2	-0.35	-0.18	0.07	0.7	1.12	1.37	-0.9	-1.6	-1.21	0.64	-0.87	0.96	0.43	0.45	0.47	-1.26	1884.7	214.2
	oGSL	0.95	-1.51	0.82	0.89	0.94	-1.12	-0.18	0.39	0.02	0.1	-1.04	-1.66	-1.15	1.03	-0.09	-0.06	1.67	-0.4	0.66	-0.59	1524.6	186.7
	eGSL	1.26	-0.02	-1.6	-0.11	0.68	-1.45	-0.2	1.34	0.83	-0.71	-0.9	-1.19	-0.8	0.37	0.04	0.92	1.53	-0.52	-1.17	-1.16	895.1	94.5
	V. S.	-0.16	1.23	0.44	0.28	0.92	0.38	-0.64	1.91	-0.78	-0.32	0.02	-2.43	-1.14	-0.57	0.34	0.82	-0.29	-0.24	0.53	0.08	389	48.6
	sGSL	0.31	-0.4	-0.13	1.28	1.85	0.51	-1.95	0.75	-0.86	-0.09	1.18	-0.59	0.38	0.02	-0.22	-1.83	-0.2	0.35	-0.07	-0.66	46.4	22.5
N/P	Rimouski	-0.94	1.14	-0.9	0.23	-0.84	-0.35	-1.15	-0.83	1.94	-0.56	0.88	-1.19	0.39	0.33	-0.32	1.84	0.32	1.38	0.18	-0.63	10.1	0.5
	oGSL	-0.04	-1.72	0	0.01	-0.47	-2.4	-0.45	0.82	0.01	0.36	0.99	-0.91	-0.18	1.29	0.71	0.78	1.2	0.64	0.35	-0.61	9.8	0.4
	eGSL	-0.57	-0.61	-1.55	-1.04	-0.62	-2.21	-0.23	0.92	0.27	0.39	1.11	-0.02	0.35	1.44	0.53	0.77	1.06	-0.39	-1.04	-2.03	8.8	0.5
	V. S.	0.38	2.01	-0.38	-1.01	0.1	0.42	-0.58	1.21	-1.64	0.2	0.34	-1.66	-1.18	-0.11	0.67	1.11	0.12	0.1	0.37	-0.74	7.6	0.8
	sGSL	-1.59	1.47	-0.84	-0.03	-0.59	-0.35	-0.34	1.71	-0.75	0.73	0.77	-1.84	-0.31	-0.32	0.86	0.96	0.45	-0.04	0.39	-2.06	7.4	0.8

		Nutriments au fond (300 m; mmol m ⁻³)																			Moy.	É.T.	
		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018		
N	Rimouski	-0.84	-2.21	-1.75	0.34	0.49	0.7	1.2	1.4	0.38	-1.06	0.7	-0.37	-0.29	-0.49	0.52	0.92	0.19	-1.17	-1.69	-1.39	24.4	0.7
	oGSL	-2.77	-1.86	-0.49	0.17	0.28	-0.4	0.18	1.14	0.07	0.33	0.09	0.12	-0.13	0.53	0.98	0.94	0.85	-0.08	-0.15	0.27	23.7	1
	eGSL	-2.71	-0.66	0.12	-0.3	0.88	-1.17	-0.57	0.73	-0.41	0.22	-0.35	-0.2	0.29	0.97	1.16	0.57	1.43	1.21	1.3	1.67	22.5	0.9
P	Rimouski	1.89	-0.22	-0.61	-0.06	0.4	0.19	2.04	1.73	-0.46	0.14	-0.46	0.29	-1.46	-0.48	0.53	-0.7	1	-0.53	-0.36	-0.39	2.5	0.1
	oGSL	-2.02	-0.06	-0.05	0.53	0.56	0.89	0.14	-0.37	-1.23	0.37	-0.88	0.82	-1.39	-0.59	0.58	0.61	2.08	0.83	0.74	1.99	2.2	0.1
	eGSL	-2.31	0.9	1.04	0.99	1.3	0.05	-0.69	-0.47	-0.53	-0.33	-1.07	-0.52	-0.47	-0.45	0.45	0.43	1.67	1.24	2.31	2.54	1.7	0.1
Si	Rimouski	-2.97	-1.56	0.11	0.48	1.16	0.04	0.2	-0.32	0.14	0.98	-0.64	0.18	0.15	0.62	-0.06	0.87	0.62	1.35	1.11	0.76	56.2	4.8
	oGSL	-2.35	-1.17	-0.47	0.17	1.15	-0.53	-0.71	-0.27	-0.03	1.03	-0.78	0.37	-0.27	0.96	0.38	1.78	0.74	2.35	2.06	2.13	48.7	2.6
	eGSL	-0.73	-0.99	0.63	-0.68	2.07	-0.22	-1.73	0.54	0.85	0.64	-1.34	-0.55	-0.68	0.25	-0.14	1.26	0.81	2.53	3.48	3.44	28.7	1.3
N/P	Rimouski	1.83	-1.2	-0.41	0.31	-0.08	0.24	-1.47	-1	0.33	-0.86	1	-0.59	1.52	0.24	-0.25	1.43	-1.03	-0.15	-0.7	-0.47	9.7	0.4
	eGSL	-1.01	-2.08	-0.51	-0.28	-0.2	-1.26	0.12	1.7	0.8	0.02	0.9	-0.61	1.14	1.14	0.57	0.49	-0.91	-0.86	-0.87	-1.55	10.8	0.4
		0.01	-1.77	-1.14	-1.52	-0.63	-1.31	0.25	1.33	0.2	0.63	0.92	0.41	0.86	1.55	0.67	0.06	-0.5	-0.22	-1.34	-1.24	13.3	0.5

Figure 21. Série temporelle des anomalies annuelles pour les inventaires de nitrate, phosphate et silicate ainsi que le ratio N/P dans la couche de surface, intermédiaire et à 300 m pour les sous-régions du GSL et les stations de monitoring à haute fréquence. Pour la vallée de Shediac, l'intégration de la couche intermédiaire est faite entre 50 et 84 m. La moyenne et l'écart-type des variables pour la période de référence 1999-2015 sont indiqués à droite du tableau synoptique. Le bleu indique les anomalies inférieures à la moyenne, le rouge, celles supérieures à la moyenne, et le blanc représente les conditions normales.

		NO ₃ (0-50 m; mmol m ⁻²)																		Moy.	É.T.		
		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018		
Hiver	oGSL	1.75	-0.58	-0.23	-0.09	0.85	0.36	0.06	0.13	1.38	-0.5	0.25	-2.09	-1.96	-0.19	0.43	0.91	-0.45	-0.09	-1.07	0.14	568	94.9
	eGSL	-0.65	0.24	0.08	1.53	1.14	-0.54	-0.11	1.02	-0.22	-0.08	-2.88	-0.45	-0.52	0.45	0.4	0.58	-0.9	-0.33	-0.19	308.5	43.4	
	sGSL	0.68	0.55	0.21	0.29	-0.03	0.71	-0.08	0.69	0.39	-0.14	0.54	-2.77	-0.47	-1.66	-0.77	0.32	1.53	-0.04	-0.03	0.46	263.8	109
Été	oGSL	-0.01	-0.09	0.65	1.09	0.29	0.07	-0.62	-0.07	-0.47	0.43	-0.49	-2.38	-1.31	-0.91	1.22	1.64	0.96	-0.43	0.75	-2.12	228.2	47.3
	eGSL	-0.55	0.38	-0.02	-0.61	1.4	-1.41	-0.34	0.43	0.78	0.91	-0.09	-0.88	-1.78	-1.09	-0.05	1.66	1.26	-1.61	-1.49	-2.53	60.7	21.2
	sGSL	0.42	0.82	-0.72	-0.02	0.51	-0.04	0.64	1.72	0.4	1.37	0.53	-2.14	-0.47	-0.47	-0.07	-0.84	-1.7	-1.01	-0.2	2.08	39.6	16.2
H. É.	oGSL	2.24	-0.59	-0.67	-0.82	0.81	0.34	0.35	0.15	1.95	-0.82	0.51	-0.95	-1.25	0.21	-0.31	-0.03	-1.11	0.09	-1.57	1.08	339.7	87
	eGSL	-0.49	0.31	0.39	1.15	2.11	-0.46	-0.38	0.87	-0.84	-0.05	-2.45	0.17	-0.13	0.59	-0.68	-0.1	-0.38	0.22	0.66	248.1	37.9	
	sGSL	0.67	0.38	0.13	0.16	-0.33	0.79	-0.43	0.38	0.22	-0.65	0.42	-1.71	-0.63	-1.44	-0.95	0.3	2.7	-0.14	-0.22	0.59	224.2	107.8
Automne	oGSL	1.62	-0.43	0.73	1.51	-0.07	-1.89	-0.55	-0.65	-0.96	-0.62	-0.65	0.24	-0.41	1.24	0.21	-0.74	1.41	0.21	0.71	0.47	352.6	79.8
	eGSL	1.61	1.18	1.15	1.41	0.24	-1.58	0.06	-0.59	1.08	-0.46	0.25	-0.17	-1.26	-0.79	-0.57	-1.28	-0.28	-1.43	-0.03	-1.32	114.3	29.7
	sGSL	0.55	1.48	-0.06	-0.12	-0.15	1.49	0.89	1.53	-0.8	0.21	-0.3	-0.35	-1.99	-0.27	0.11	-0.18	-1.85	-0.53	-0.58	-3.99	157.8	44.9

		Chl a (0-100 m; mg m ⁻²)																		Moy.	É.T.		
		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018		
Été	oGSL	0.51	-1.34	0.47	1.29	1.39	-0.04	-1.06	-0.03	0.37	-1.07	0.7	0.71	-0.44	0.87	-2.35	0.36	-0.35	-0.82	0.2	1.85	69.5	26
	eGSL	0.3	0.49	0.01	2.13	-1.25	-0.51	-0.79	-0.45	-0.3	0.29	-0.19	-0.62	-1.19	-0.69	0.77	-0.31	2.3	-0.81	0.69	-0.93	35.8	12.7
	sGSL	0.63	-2.21	-0.12	2.58	-0.17	-0.18	-0.82	0.58	-0.15	-0.64	-0.41	0.86	-0.53	-0.29	0.38	-0.48	0.96	1.06	2.66	0.29	31.9	9.6
Automne	oGSL	-0.67	-1.46	-0.32	0.05	0.8	-0.35	0.35	-0.14	-0.2	2.91	-0.66	-0.63	-1	0.42	-0.68	0.51	1.08	-0.27	-1.1	1.39	33.1	16.1
	eGSL	-0.79	-1.89	-0.43	0.82	0.89	-0.5	-1.19	-0.25	0.35	-0.38	0.64	-0.38	-0.85	-0.17	0.52	1.71	1.91	1.06	0.94	4.08	37	6
	sGSL	-0.36	-2.66	0.37	1.38	0.59	-0.93	-1.1	-0.88	1	-0.18	-0.18	-0.2	0.26	0.78	1.17	0.5	0.44	0.33	0.92	1.02	38.9	14.1
Annuel	oGSL	-0.19	-2.01	0.3	0.95	1.68	-0.31	-0.39	-0.1	0.33	1.01	0.05	0.13	-0.91	0.88	-2.19	0.51	0.26	-0.93	-0.83	2.15	46.8	12.2
	eGSL	-0.3	-0.69	-0.16	1.67	-0.22	-0.61	-1.18	-0.45	-0.02	-0.06	0.21	-0.56	-1.2	-0.57	0.81	0.59	2.74	0.01	1.16	0.63	35.1	7.5
	sGSL	0.38	-2.48	0.16	2.3	0.31	-0.63	-1.11	-0.08	0.28	-0.6	-0.42	0.51	-0.35	0.07	1.01	-0.13	0.78	0.67	2.22	0.66	34.9	9.6

Figure 22. Série temporelle des anomalies saisonnières pour les inventaires de nitrate et la chlorophylle a, ainsi que les anomalies annuelles pour la chlorophylle a, dans les couches 0–50 m (nitrates) et 0–100 m (chl a) pour les sous-régions du GSL. La moyenne et l'écart-type des variables pour la période de référence 1999-2015 sont indiqués à droite du tableau synoptique. Le bleu indique les anomalies inférieures à la moyenne, le rouge, celles supérieures à la moyenne, et le blanc représente les conditions normales.

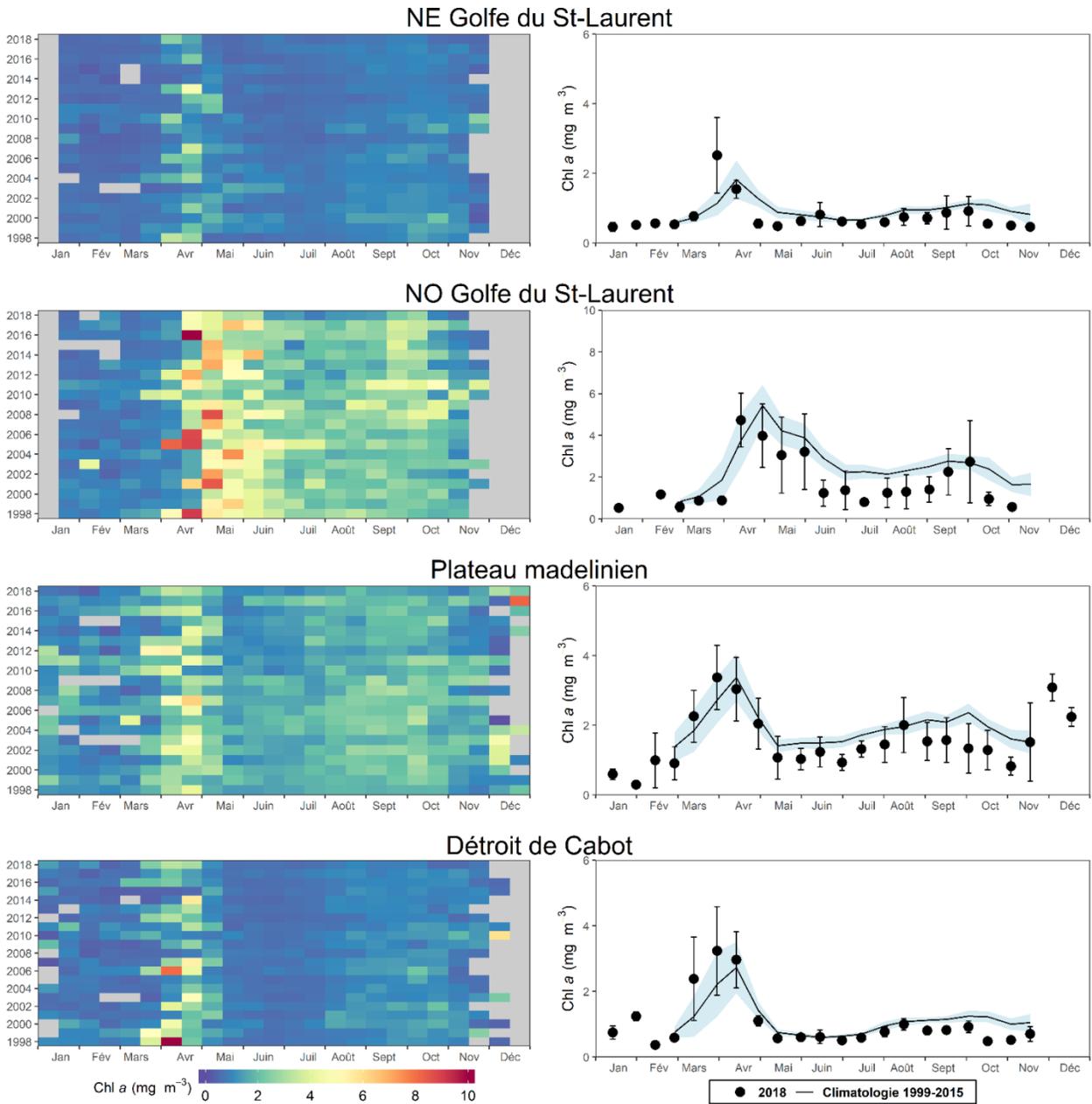


Figure 23. *Panneaux de gauche : Série chronologique des concentrations de chlorophylle a en surface à partir des données bimensuelles de la couleur de l'océan de SeaWiFS (1998 à 2007), de MODIS (2008 à 2011) et de VIIRS (depuis 2012) dans les sous-régions statistiques du nord-est du golfe du Saint-Laurent, du nord-ouest du golfe du Saint-Laurent, du Plateau madelinien et du détroit de Cabot (voir la figure 4). Panneaux de droite : comparaison des estimations de la chlorophylle en surface en 2018 (cercles noirs) à l'aide des données satellites de la couleur de l'océan et des conditions moyennes ($\pm 0,5$ écart-type) enregistrées entre 1999 et 2015 (ligne noire avec ombrage bleu) dans les mêmes sous-régions statistiques.*

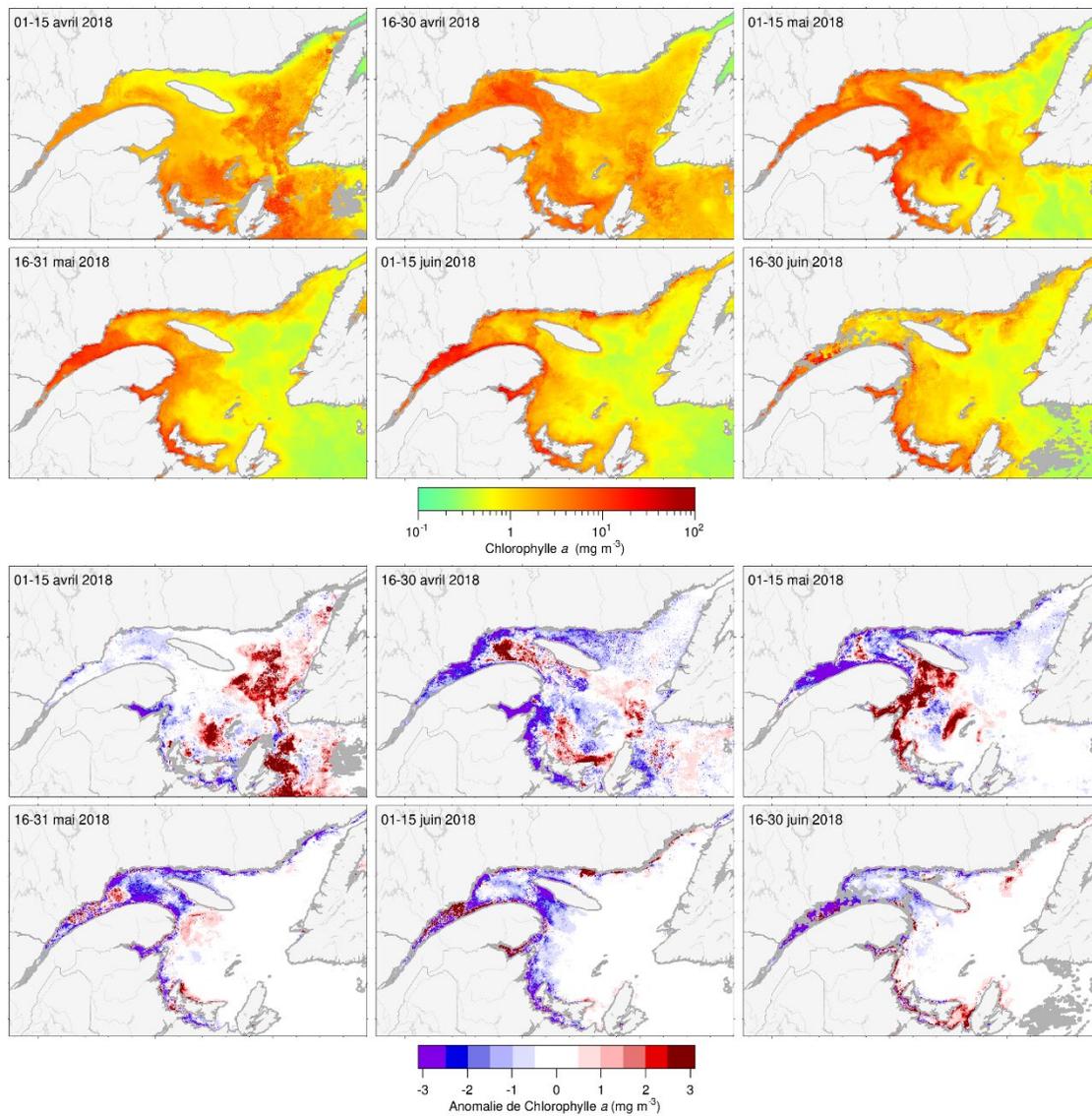


Figure 24. Images composites de la chlorophylle a en surface prises deux fois par mois par VIIRS (panneaux supérieurs) et anomalie en fonction de la climatologie de 1999 à 2015 (panneaux inférieurs) dans le golfe du Saint-Laurent au printemps/été 2018.

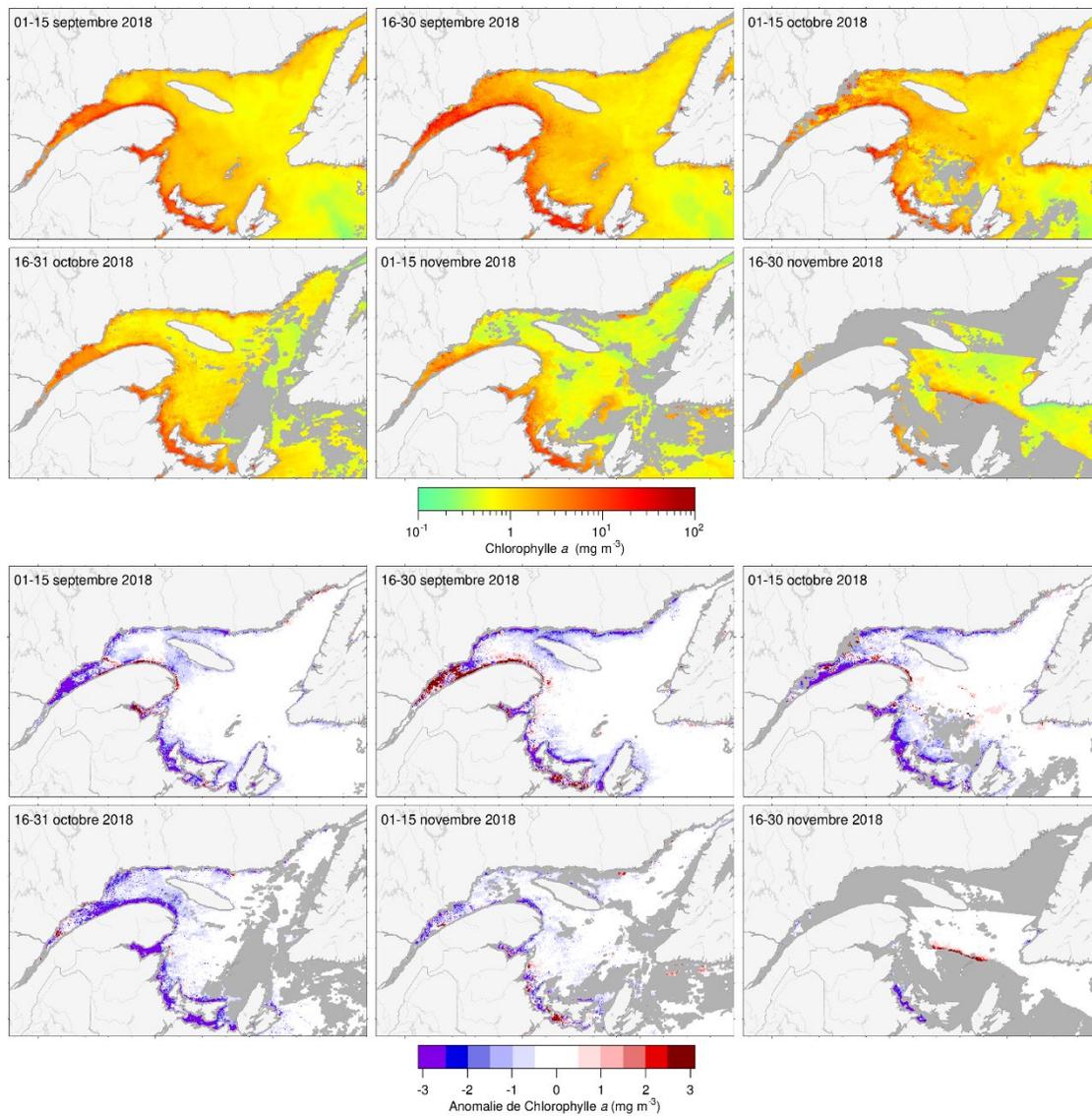


Figure 25. Images composites de la chlorophylle a en surface prises deux fois par mois par VIIRS (panneaux supérieurs) et anomalie en fonction de la climatologie de 1999 à 2015 (panneaux inférieurs) dans le golfe du Saint-Laurent à l'automne 2018.

		Propriétés du bloom printanier																			Moy	É.T.		
		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018		
Début	Nord-ouest GSL	-0.81	0.66	0.24	-0.5	1.55	0.12	0.85	-0.96	-0.46	0.37	0.57	0.24	-2.91	-0.5	-0.57	-0.09	0.24	1.16	0.1	-0.63	-1.56	107.3	11.4
	Nord-est GSL	-0.89	-0.32	1.48	-0.27	-0.09	0.57	-1.23	0.01	-1.24	0.18	-0.03	-1.03	-1.62	1.22		-0.27	0.8	1.84	-0.12	-0.81	-0.73	102.1	10.9
	Plateau madelinien	0.24	-1	-0.62	0.54	-0.54	0.23	0.87		1.14	-0.39	1	0.2	-1.96	0.54	-1.43	-0.9	0.93	1.38	-2.02		-1.16	91.5	13
	Détroit cabot	-0.73	-0.92	-0.29	0.5	0.11	0.68	0.54	-0.06	-0.63	0.02	1.67	-0.16	-1.85	0.43	-1.93	-0.51	0.74	1.65	-2.98	-0.85	-1.5	93.8	14.2
Durée	Nord-ouest GSL	-0.03	0.55	2.13	0.5	-1.14	1.41	0.53	-0.76	-0.65	0.07	-0.51	-0.74	-0.27	-0.96	-1.08	0.17	1.6	-0.86	-1.08	2.34	1.86	40	22.1
	Nord-est GSL	-0.27	-0.25	-0.71	-0.15	0.73	3.36	0.41	-0.74	0.1	-0.42	0.18	-0.14	-0.38	-0.87		-0.48	0.06	-0.7	-0.56	-0.06	-0.72	32.1	20.2
	Plateau madelinien	-0.03	-0.46	2.31	-0.71	0.37	0.16	-1.41		-1.33	0.94	-0.9	0.6	0.96	-0.46	0.11	1	-0.35	-0.83	1.79		1.55	35.2	14.3
	Détroit cabot	0.08	-0.49	-1.1	0.84	-1.12	-1.2	0.12	0.49	0.26	0.51	-0.9	0.75	0.72	-0.36	2.6	0.56	-1.02	-0.66	4.3	0.4	2.36	30	13.2
Intensité	Nord-ouest GSL	0.78	0.26	1.26	0.68	-1.26	1.07	1.27	-0.44	-0.17	0.47	-0.09	-0.71	-1.33	-1.2	-0.79	0.23	1.87	-1.11	0.58	3.06	0.8	152.4	57.2
	Nord-est GSL	1.77	-0.33	-0.92	0.44	-0.09	1.4	0.81	-1.1	0.84	1.22	-0.53	-0.74	0.37	-0.8		1.82	-0.99	-1.4	-0.19	-0.86	0.12	35.4	19.7
	Plateau madelinien	-0.07	-0.95	-0.24	-0.67	0.69	0.87	-1.1		-0.9	2.21	-1.05	-0.41	0.53	-0.36	1.74	0.29	0.17	-0.81	1.85		0.49	78.9	45.4
	Détroit cabot	2.82	0.48	-0.37	-0.34	0.1	-0.17	-0.45	-1.03	2.65	1.46	-1.39	-0.15	-0.6	-0.41	0.93	-0.12	0.57	-1.16	0.57	-0.69	2.03	65.7	39.2
Amplitude	Nord-ouest GSL	0.64	-0.89	-1.43	-0.44	1.01	-1.07	0.08	1.02	1.14	0.04	0.76	0.38	-1.7	0.17	2.04	-0.41	-0.69	-0.01	6.14	-0.58	-1.54	6.1	1.7
	Nord-est GSL	1.86	-0.21	-0.34	0.38	-0.67	-0.79	0.06	-0.55	0.39	1.71	-0.69	-0.68	0.68	0.16		2.59	-0.99	-1.05	0.4	-0.83	1.23	1.8	1.1
	Plateau madelinien	-0.07	-1.1	-1.38	-0.35	0.52	1	-0.34		0.11	1.59	-0.95	-0.96	-0.15	-0.06	2.26	-0.43	0.69	-0.47	0.48		-0.53	3.2	1.3
	Détroit cabot	2	0.7	0.51	-0.75	1.3	1.06	-0.6	-1.12	1.64	0.53	-1.16	-0.61	-0.89	-0.33	-0.56	-0.53	1.77	-0.96	-0.92	-0.87	-0.06	3.5	2.3
		Chl a moyenne en surface																			Moy	É.T.		
		1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018		
Annuel	Nord-ouest GSL	0.67	-0.12	-0.14	0.17	-0.32	-0.09	-0.12	0.68	-0.25	0.09	0.44	0.28	0.19	0.43	-0.21	-0.37	-0.02	-0.59	0.11	0.34	-1.04	2.6	0.6
	Nord-est GSL	0.1	0.65	0.99	0.27	0.22	0.53	0.28	-0.06	0.3	0.06	-1.05	-0.02	0.3	-0.33	-0.63	-0.17	-1.01	-0.47	-0.41	-0.21	-0.67	0.9	0.2
	Plateau madelinien	-0.38	0.02	0.3	-0.08	0.54	-0.01	0.25	0.49	0.28	0.59	-0.11	0.41	-0.36	0.05	-0.82	-0.45	-0.61	-0.47	-0.48	0.23	-0.86	1.9	0.4
	Détroit cabot	0.22	0.52	0.81	0.09	0.82	-0.24	-0.25	-0.6	0.89	0.39	-0.22	-0.23	0.34	-0.21	-0.79	-0.28	-0.51	-0.48	-0.24	-0.13	-0.72	1.1	0.5
Printemps	Nord-ouest GSL	1.22	0.02	-0.44	0.68	-0.19	-0.36	0.44	0.38	-0.06	0.16	-0.22	-0.24	0.44	-0.2	0.25	0.27	-0.36	-0.57	0.24	-0.07	-0.52	2.9	0.9
	Nord-est GSL	0.37	0.35	0.21	-0.01	0.3	-0.24	0.82	-0.33	0.08	0.21	-0.77	-0.54	0.7	0.12	0.08	0.26	-0.81	-0.74	-0.24	-0.77	-0.21	1.1	0.4
	Plateau madelinien	-0.04	0.02	0.41	-0.42	0.63	0.33	0.03	-0.02	-0.12	0.9	-0.79	-0.12	0.06	0.07	0.21	-0.11	-0.4	-0.63	-0.08	-0.78	-0.18	2.2	0.4
	Détroit cabot	0.88	1.27	0.17	-0.09	0.36	0.24	-0.21	-0.58	0.69	0.46	-0.55	-0.54	0.1	-0.13	-0.19	0.03	-0.32	-0.73	0.32	-0.56	-0.06	1.5	0.7
Été	Nord-ouest GSL	0.93	0.05	0.22	0.08	-0.14	0.05	-0.11	1.58	-0.08	-0.11	0.85	0.32	-0.18	-0.41	-0.67	-0.71	0.08	-0.81	0.3	0.44	-1.59	2.6	0.3
	Nord-est GSL	-0.4	0.7	1.34	0.53	0.13	1.52	0.48	0.4	0.16	-0.27	-1.2	0.08	-0.39	-0.69	-1.1	-0.25	-1.15	-0.3	-0.6	0.43	-0.69	0.8	0.1
	Plateau madelinien	-0.19	0.24	0.39	0.03	0.41	-0.26	0.8	1.07	0.94	0.3	0.05	0.42	-0.73	-0.66	-1.39	-0.45	-0.62	-0.54	-0.87	1.49	-1.1	1.7	0.1
	Détroit cabot	-0.18	-0.22	1.61	0.11	0.79	-0.48	-0.29	-0.72	1.06	0.39	0.14	0.08	0.31	-0.32	-1.28	-0.31	-0.63	-0.25	-0.5	0.73	-0.61	0.8	0.1
Automne	Nord-ouest GSL	-0.32	-0.51	-0.21	-0.25	-0.7	0.02	-0.81	-0.05	-0.68	0.24	0.75	0.87	0.32	1.89	-0.22	-0.68	0.28	-0.4	-0.2	0.69	-1	2.3	0.2
	Nord-est GSL	0.36	0.88	1.42	0.3	0.22	0.17	-0.46	-0.3	0.74	0.27	-1.23	0.41	0.6	-0.43	-0.88	-0.52	-1.04	-0.42	-0.4	-0.3	-1.12	1	0.2
	Plateau madelinien	-0.9	-0.21	0.12	0.15	0.59	-0.05	-0.08	0.42	0.02	0.56	0.41	0.92	-0.42	0.73	-1.29	-0.8	-0.82	-0.25	-0.5	-0.03	-1.28	2	0.1
	Détroit cabot	-0.1	0.52	0.64	0.23	1.42	-0.41	-0.25	-0.49	0.93	0.31	-0.24	-0.21	0.6	-0.19	-0.89	-0.61	-0.55	-0.47	-0.55	-0.56	-1.47	1.1	0.1

Figure 26. Série temporelle des anomalies annuelles normalisées des propriétés de la floraison printanière (section supérieure) et moyenne annuelle/saisonnière de la chlorophylle a en surface (section inférieure; mg/m³) estimées à partir des satellites (SeaWiFS, 1998–2007; MODIS, 2008–2011; et VIIRS depuis 2012) dans les boîtes statistiques du golfe du Saint-Laurent (voir la figure 4). Les indices de floraison printanière sont le début (jour de l'année), la durée (en jours), l'ampleur (mg de chl/m²) et l'amplitude (mg de chl/m³). Les moyennes et écarts-types de la période de référence (1999–2015) sont indiqués à droite du tableau. Le bleu indique les anomalies inférieures à la moyenne, le rouge, celles supérieures à la moyenne, et le blanc représente les conditions normales. Le printemps inclut les mois de mars à mai, l'été de juin à août et l'automne de septembre à novembre.

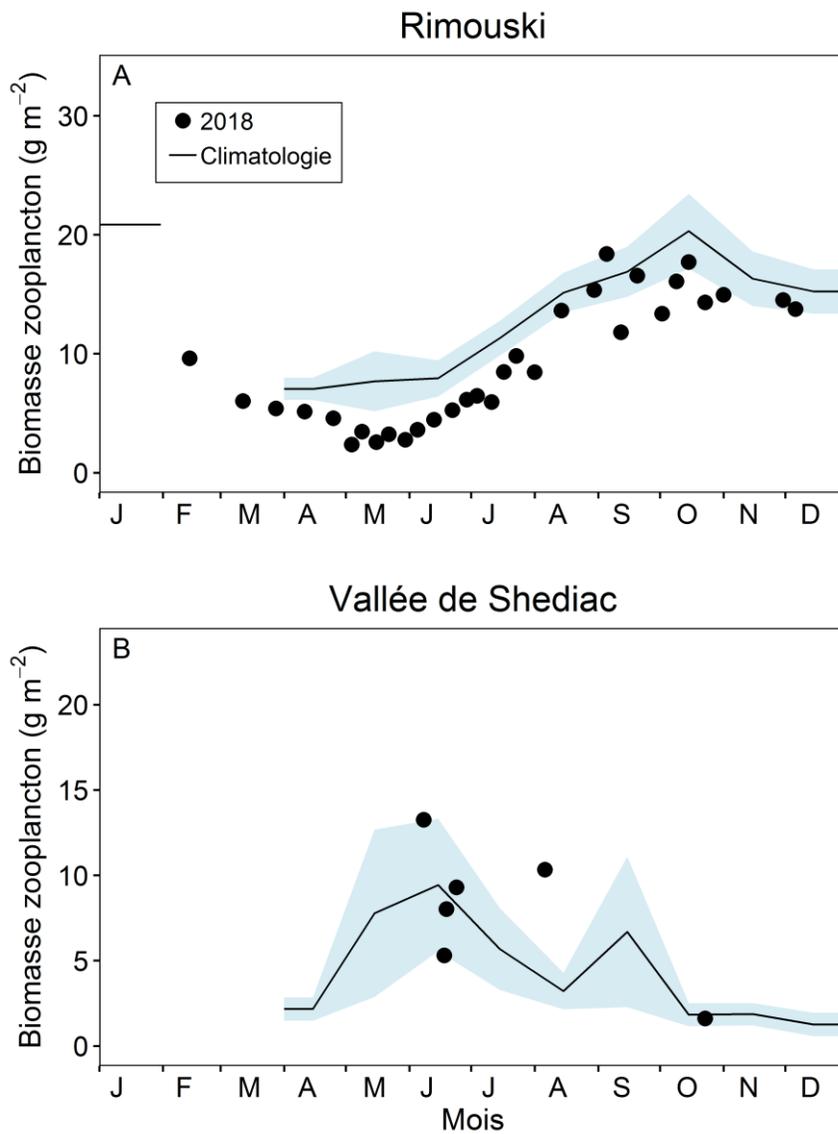


Figure 27. Comparaison de la biomasse totale de zooplancton (poids sec) en 2018 (cercles) par rapport à la climatologie mensuelle des stations de A) Rimouski (2005 à 2015) et de B) la vallée de Shediac (1999 à 2015) [ligne noire et ombrage bleu]. L'ombrage bleu représente 0.5 écarts-type des moyennes mensuelles.

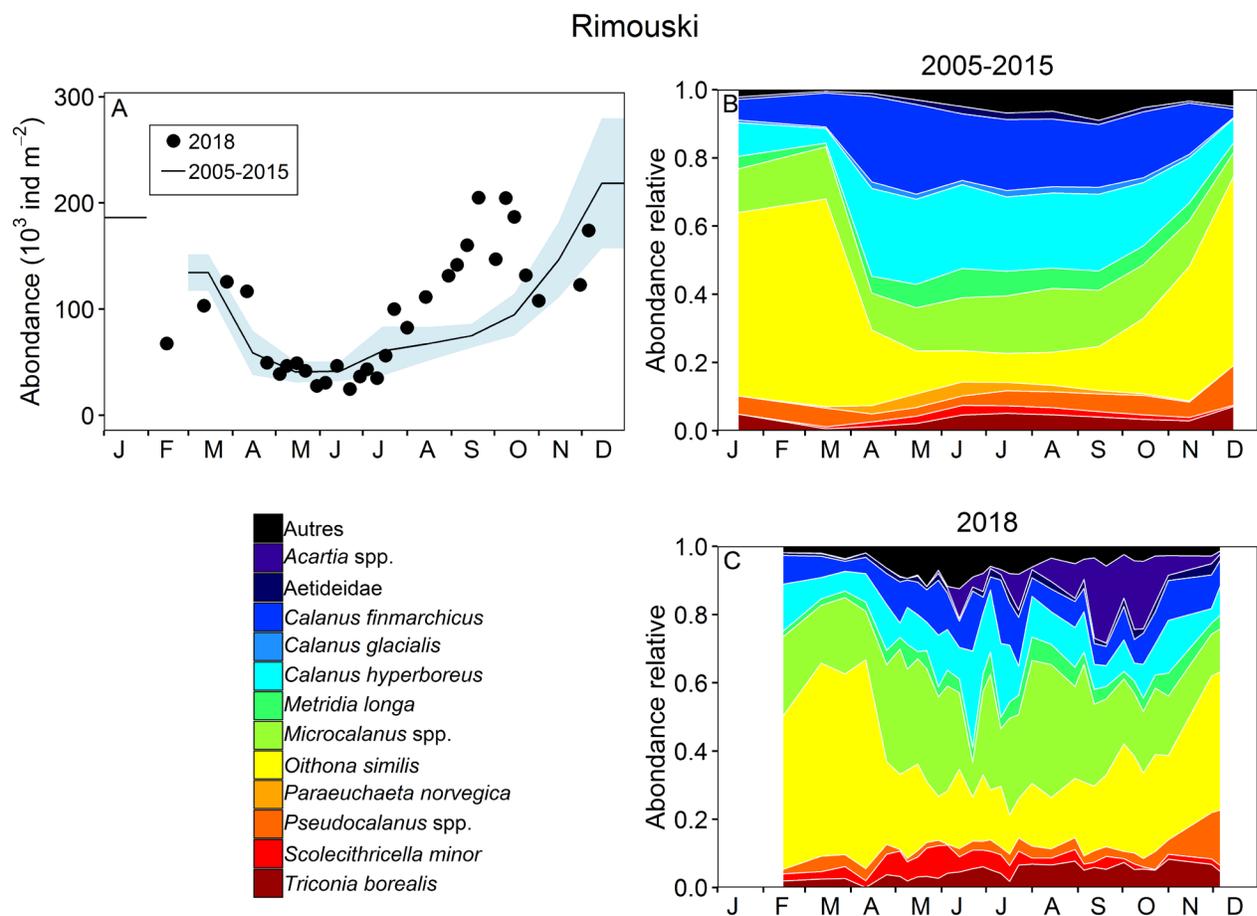


Figure 28. Variabilité saisonnière des copépodes dominants à la station de Rimouski. Abondance des copépodes (à l'exception des nauplii) au cours de la période de référence (ligne noire avec ombrage bleu représentant 0.5 écart-type) et de 2018 (cercles) [A]; climatologie de l'abondance relative des copépodes composant 95 % des taxons identifiés pour la période de 2005 à 2015 (B); et en 2018 (C).

Vallée de Shediac

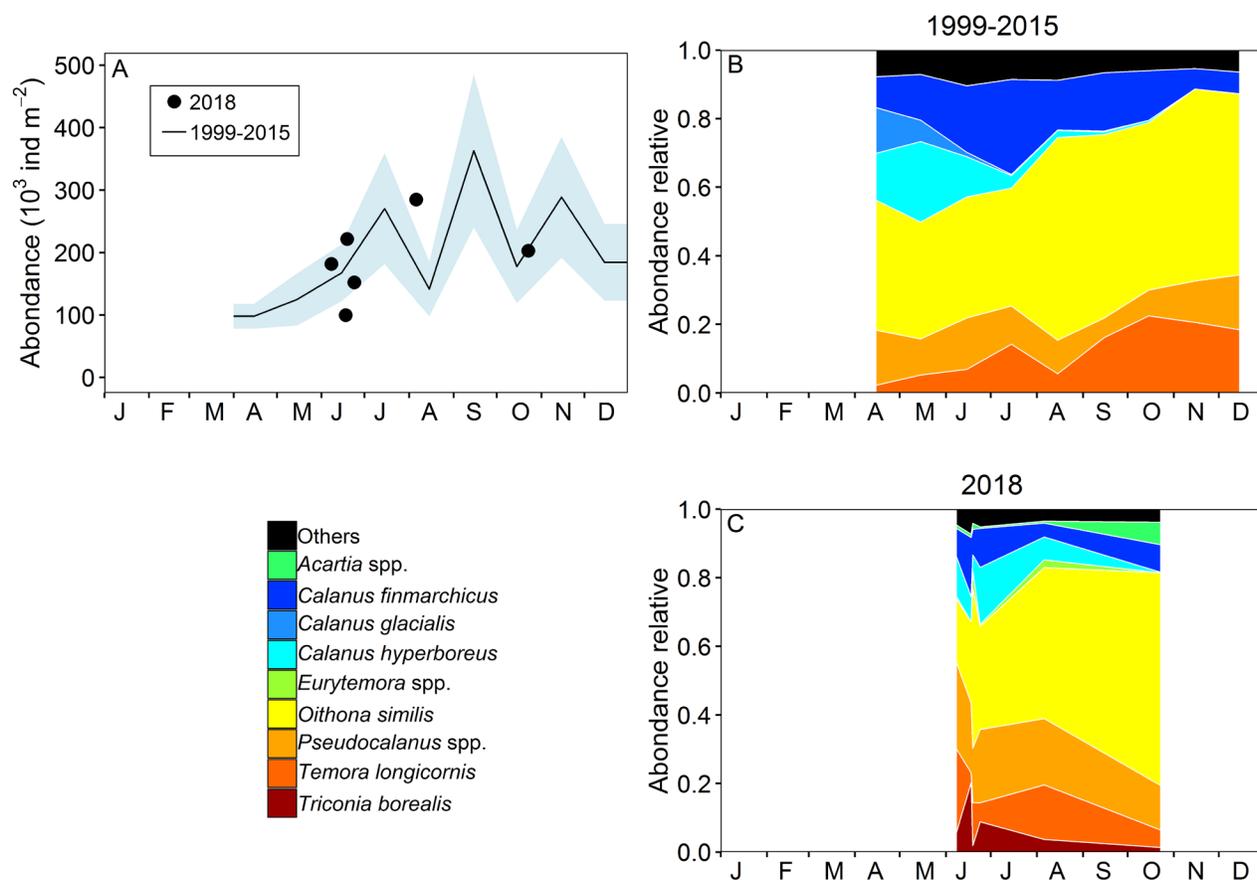


Figure 29. Variabilité saisonnière des copépodes dominants à la station de la vallée de Shediac. Abondance des copépodes (à l'exception des nauplii) au cours de la période de référence (ligne noire avec ombrage bleu représentant 0.5 écart-type) et de 2018 (cercles) [A]; climatologie de l'abondance relative des copépodes composant 95 % des taxons identifiés pour la période de 1999 à 2015 (B); et en 2018 (C).

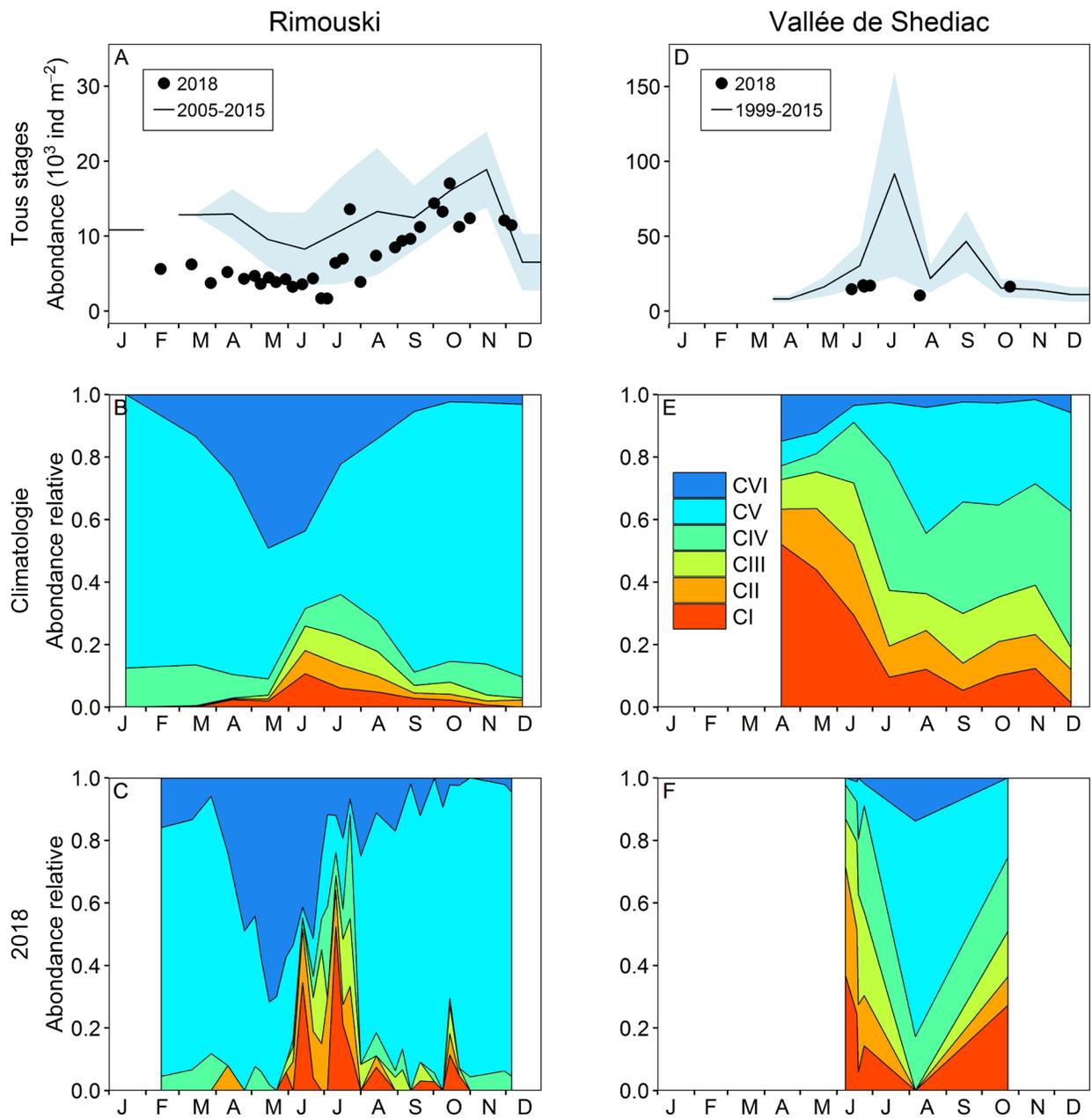


Figure 30. Variabilité saisonnière de l'abondance de copépodites *Calanus finmarchicus* aux stations de Rimouski (A à C) et de la vallée de Shediac (D à F). Les climatologies des dénombrements combinés pour les périodes de référence (ligne noire avec ombrage bleu représentant 0.5 écart-type) sont présentés avec les données de 2018 (cercles) [A, D]. Les variabilités saisonnières des différents stades copépodites pour les périodes de référence (B, E) et 2018 (C, F) sont également indiquées.

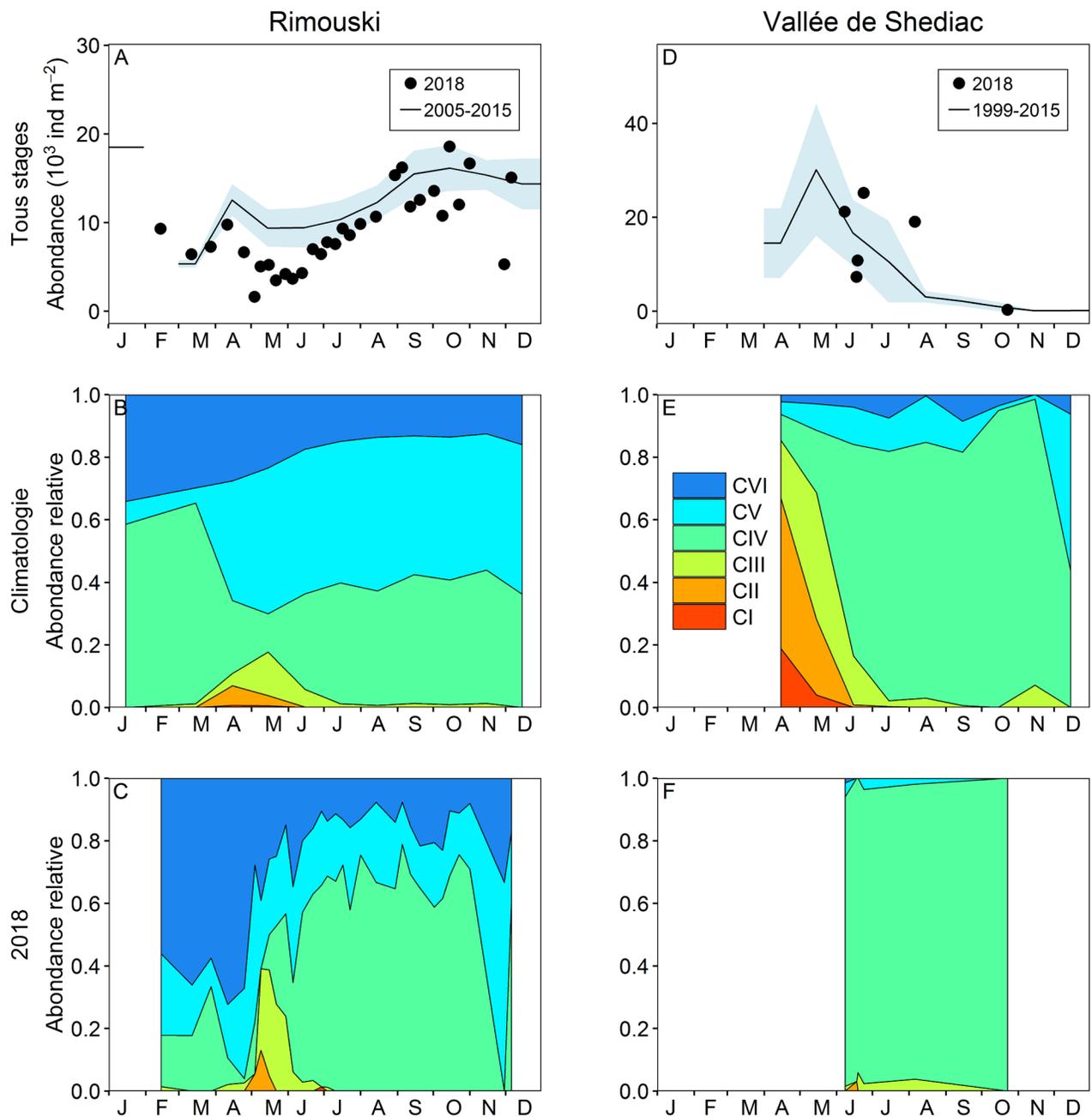


Figure 31. Variabilité saisonnière de l'abondance de copépodites *Calanus hyperboreus* aux stations de Rimouski (A à C) et de la vallée de Shediac (D à F). Les climatologies des dénombrements combinés pour les périodes de référence (ligne noire avec ombrage bleu représentant 0.5 écart-type) sont présentés avec les données de 2018 (cercles) [A, D]. Les variabilités saisonnières des différents stades copépodites pour les périodes de référence (B, E) et 2018 (C, F) sont également indiquées.

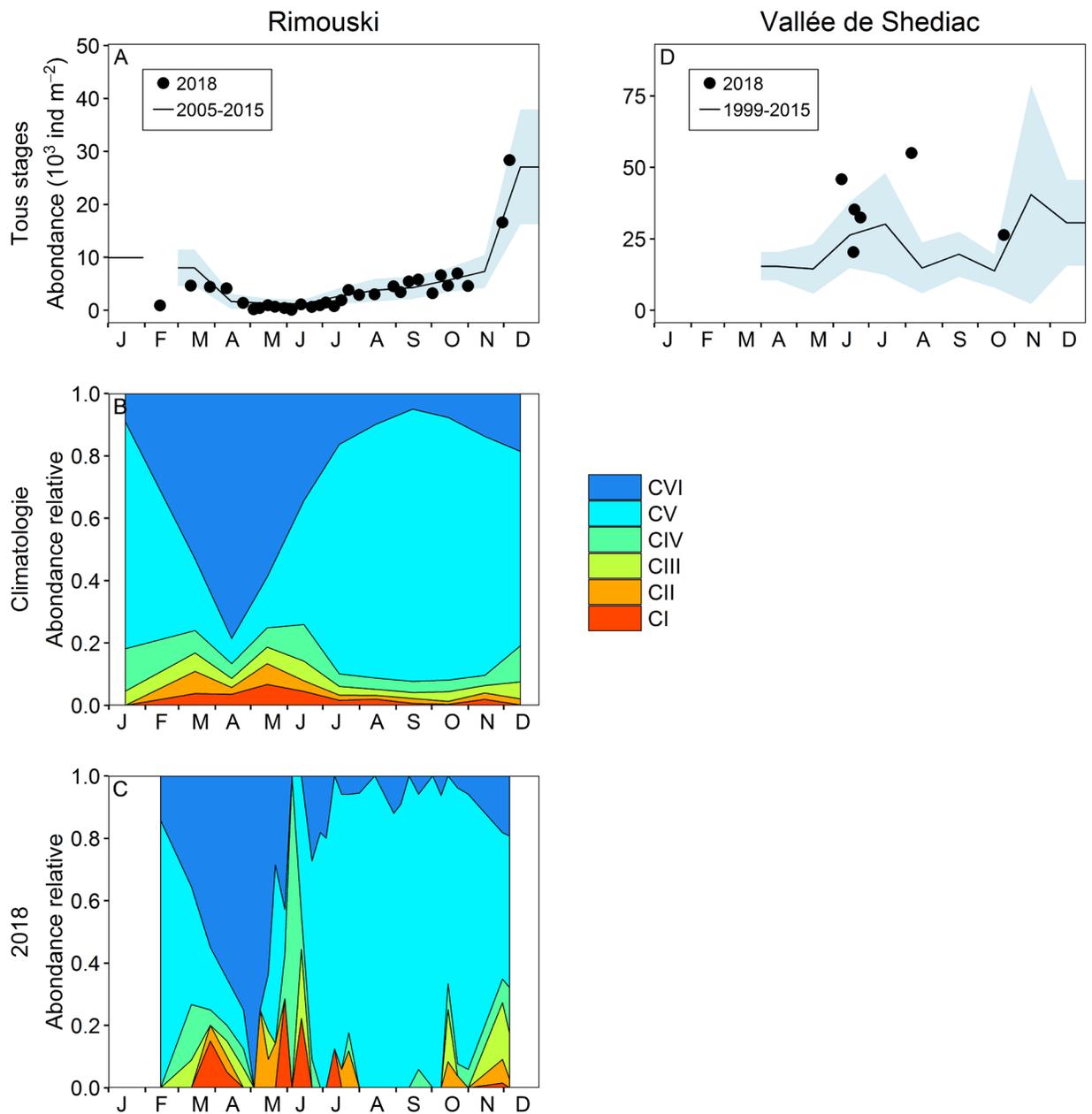


Figure 32. Variabilité saisonnière de l'abondance de copépodites des *Pseudocalanus* spp. aux stations de Rimouski (A à C) et de la vallée de Shediac (D). Les climatologies des dénombrements combinés pour les périodes de référence (ligne noire avec ombrage bleu représentant 0.5 écart-type) sont présentées avec les données de 2018 (cercles) [A, D]. La variabilité saisonnière des différents stades copépodites pour la période de référence (B) et 2018 (C) est également indiquée. Aucun renseignement sur les stades n'est disponible pour la vallée de Shediac.

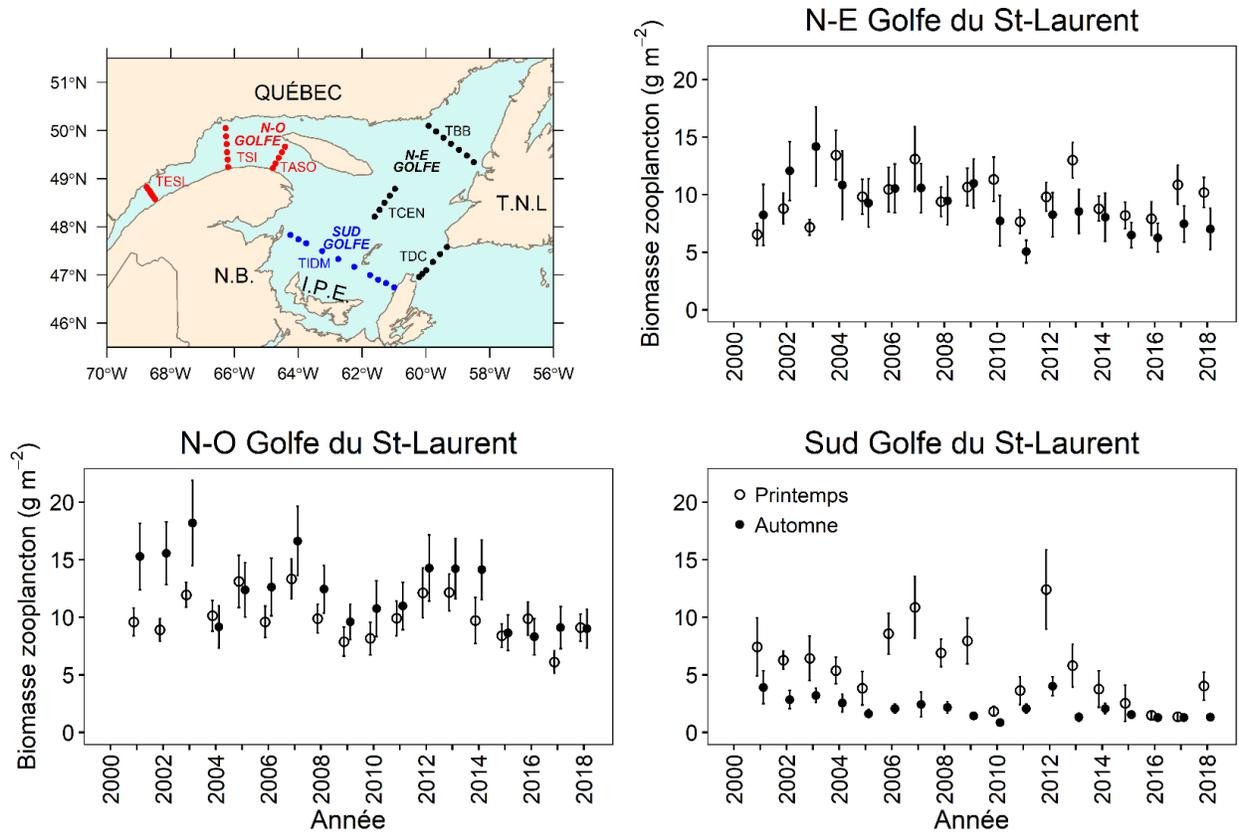


Figure 33. Série temporelle de la biomasse annuelle (poids sec) moyenne du zooplancton au printemps (cercles ouverts) et en automne (cercles pleins) pour les trois sous-régions du golfe du Saint-Laurent. Les lignes verticales représentent les erreurs-types.

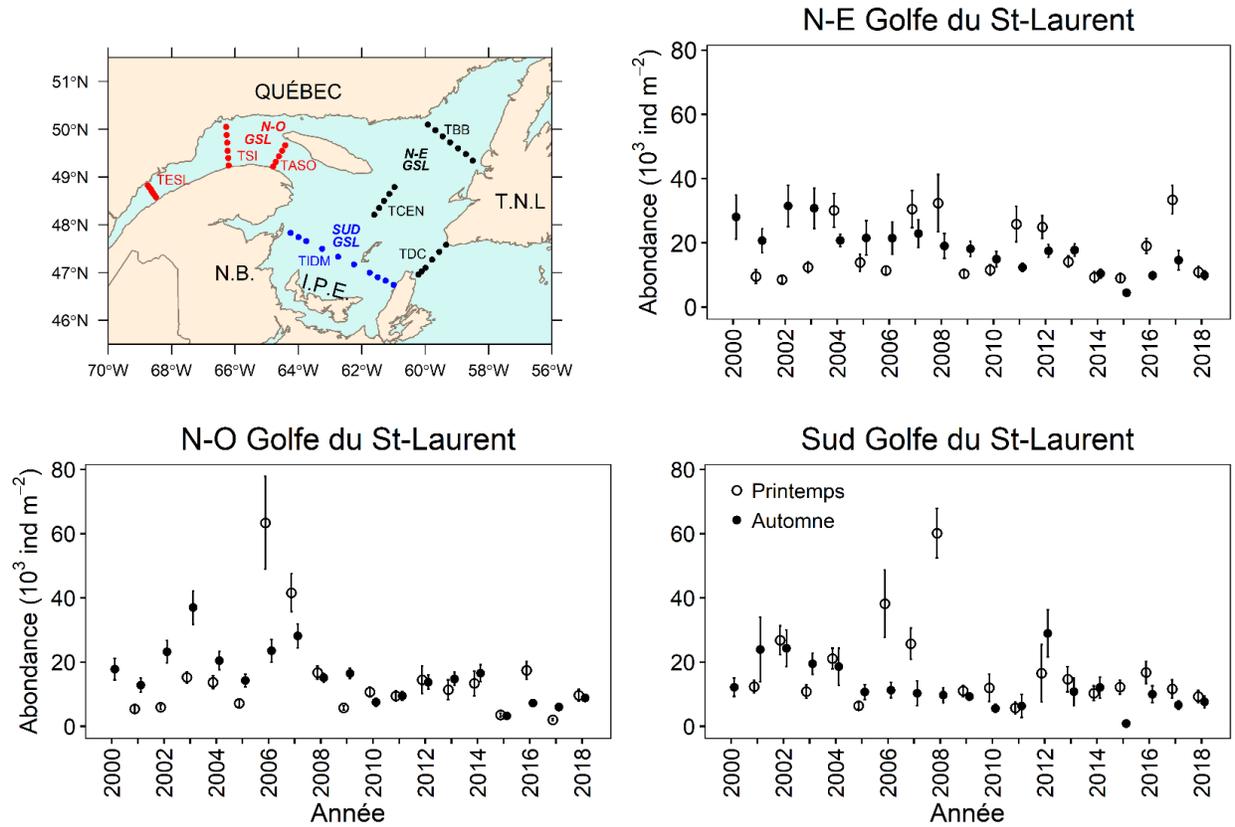


Figure 34. Série temporelle de l'abondance annuelle moyenne de *Calanus finmarchicus* au printemps (cercles ouverts) et en automne (cercles pleins) pour les trois sous-régions du golfe du Saint-Laurent. Les lignes verticales représentent les erreurs-types.

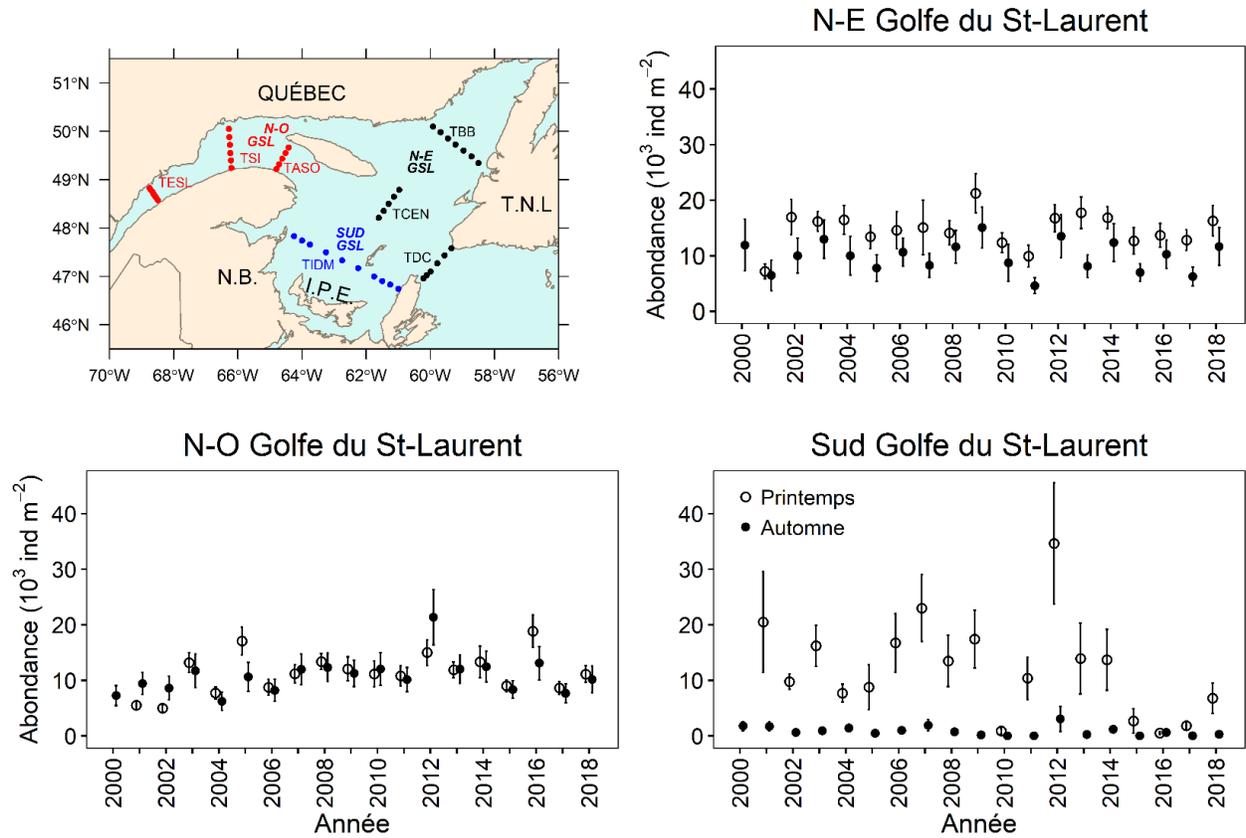


Figure 35. Série temporelle de l'abondance annuelle moyenne de *Calanus hyperboreus* au printemps (cercles ouverts) et en automne (cercles pleins) pour les trois sous-régions du golfe du Saint-Laurent. Les lignes verticales représentent les erreurs-types.

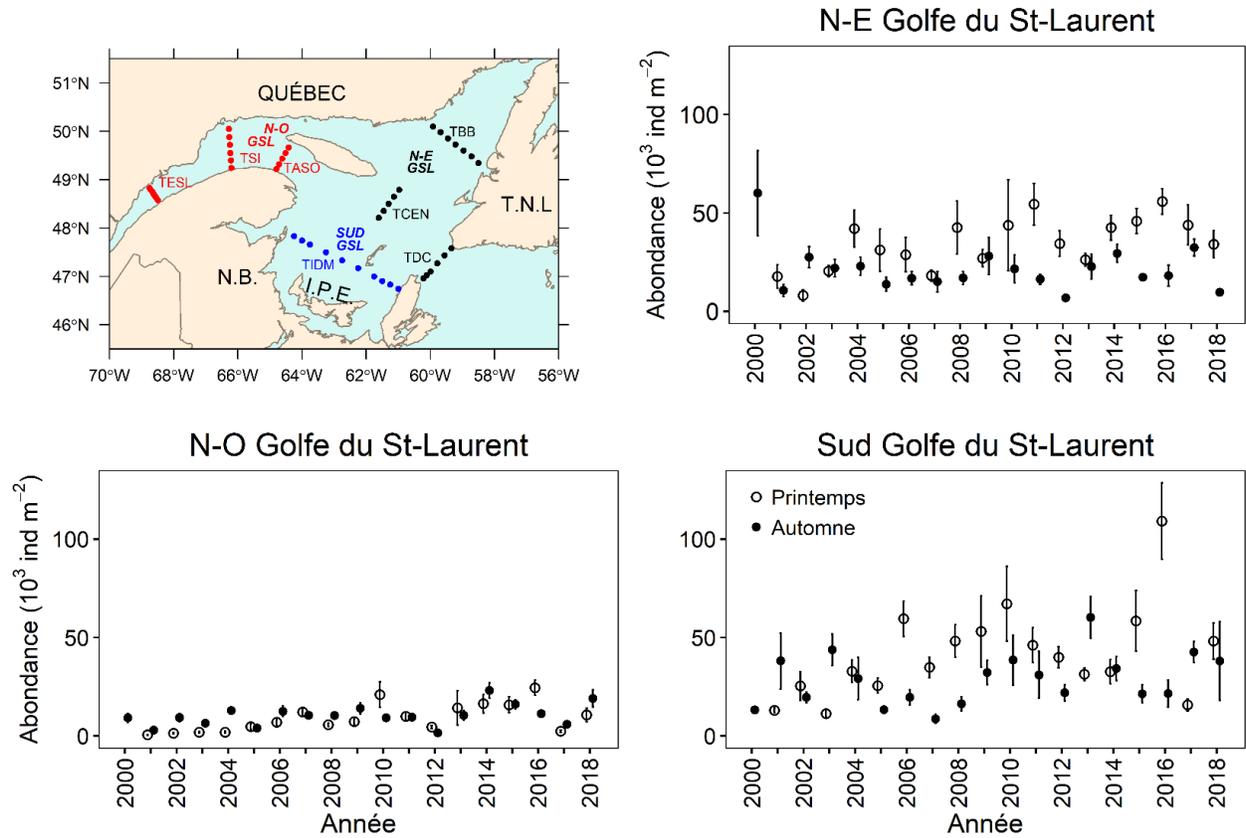


Figure 36. Série temporelle de l'abondance annuelle moyenne de *Pseudocalanus* spp. au printemps (cercles ouverts) et en automne (cercles pleins) pour les trois sous-régions du golfe du Saint-Laurent. Les lignes verticales représentent les erreurs-types.

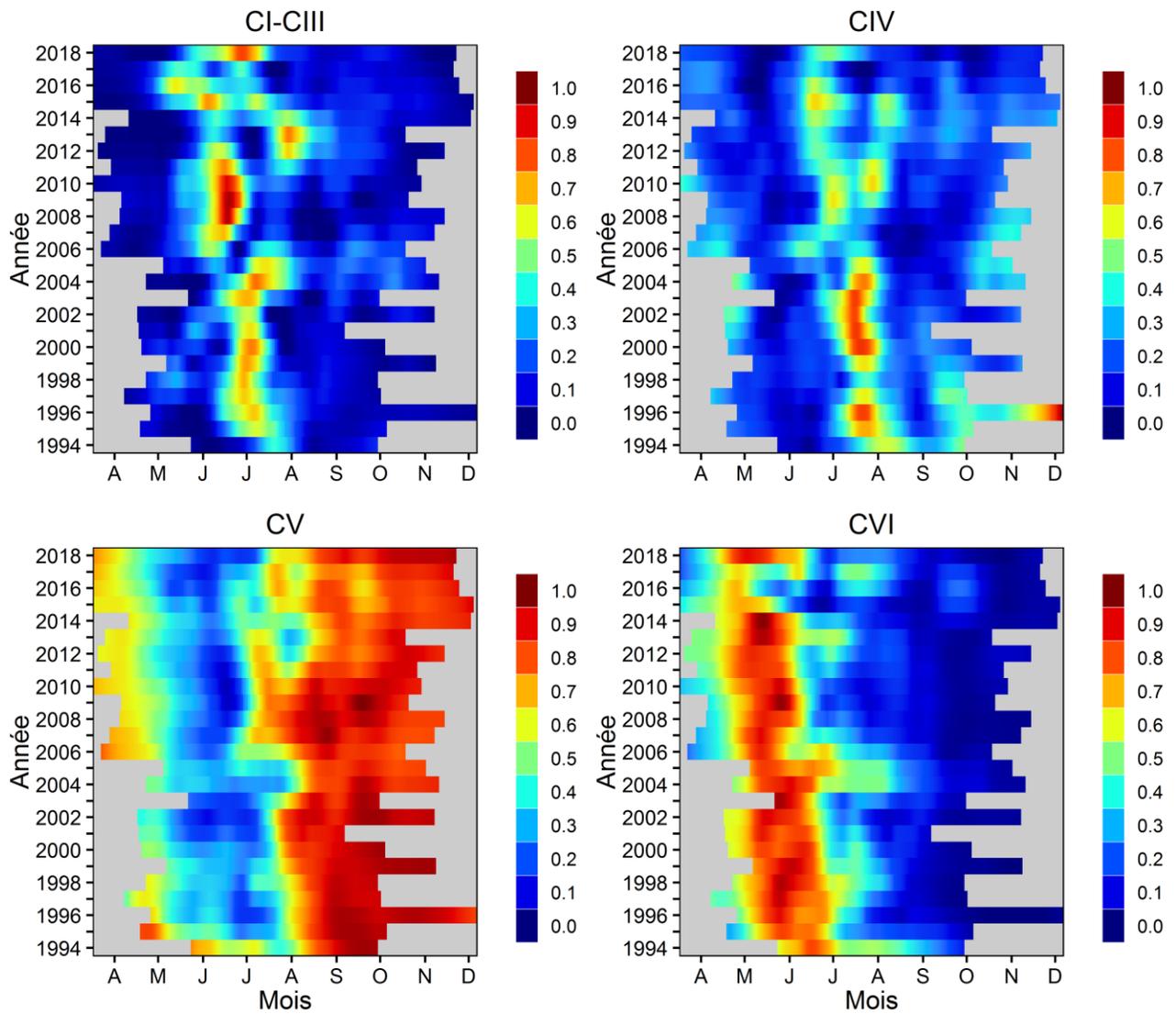


Figure 37. Série temporelle du cycle saisonnier en proportions relatives de l'abondance totale pour les stades CI à CIII, CIV, CV et CVI (mâles et femelles) des copépodites *Calanus finmarchicus* à la station de Rimouski. Les proportions sont normalisées selon le maximum annuel et lissées à l'aide d'un algorithme Loess.

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Moy.	É.T.
Rimouski							0.08	0.23	1.50	1.12	-1.69	-1.58	0.25	-0.51	0.06	0.83	-0.28	-1.13	-1.28	-1.12	12.8	2.8
oGSL		0.57	0.24	1.51	-0.68	-0.02	-0.15	1.65	-0.36	-1.50	-1.01	-0.51	0.99	0.93	-0.02	-1.63	-1.19	-1.97	-1.21	11.4	1.9	
eGSL		-0.27	1.50	0.57	1.56	-0.27	0.25	1.16	-0.34	0.43	-0.19	-2.04	-0.56	0.40	-0.91	-1.29	-1.50	-0.49	-0.84	10.0	1.8	
Vallée de Shediac	0.72	0.61	0.80	-0.53	2.33	0.18	-1.10	0.76	0.04	-0.88	0.33	-1.54	-1.50	0.71	-0.29	0.25	-0.89	-1.58	-2.15	0.53	4.0	2.0
sGSL		0.74	0.14	0.32	-0.14	-0.73	0.61	1.31	0.19	0.27	-1.81	-0.71	2.14	-0.33	-0.77	-1.24	-1.48	-1.63	-0.84	4.2	1.9	

Figure 38. Série temporelle des anomalies annuelles normalisées de la biomasse du zooplancton (poids sec; $g\ m^{-2}$) aux sites de monitoring à haute fréquence et dans les trois sous-régions du golfe du Saint-Laurent. Les moyennes et écart-types par région pour la période de référence (1999–2015, ou 2005–2015 pour la station de Rimouski) sont présentés à la droite du tableau. Le bleu indique les anomalies inférieures à la moyenne, le rouge, celles supérieures à la moyenne, et le blanc représente les conditions normales.

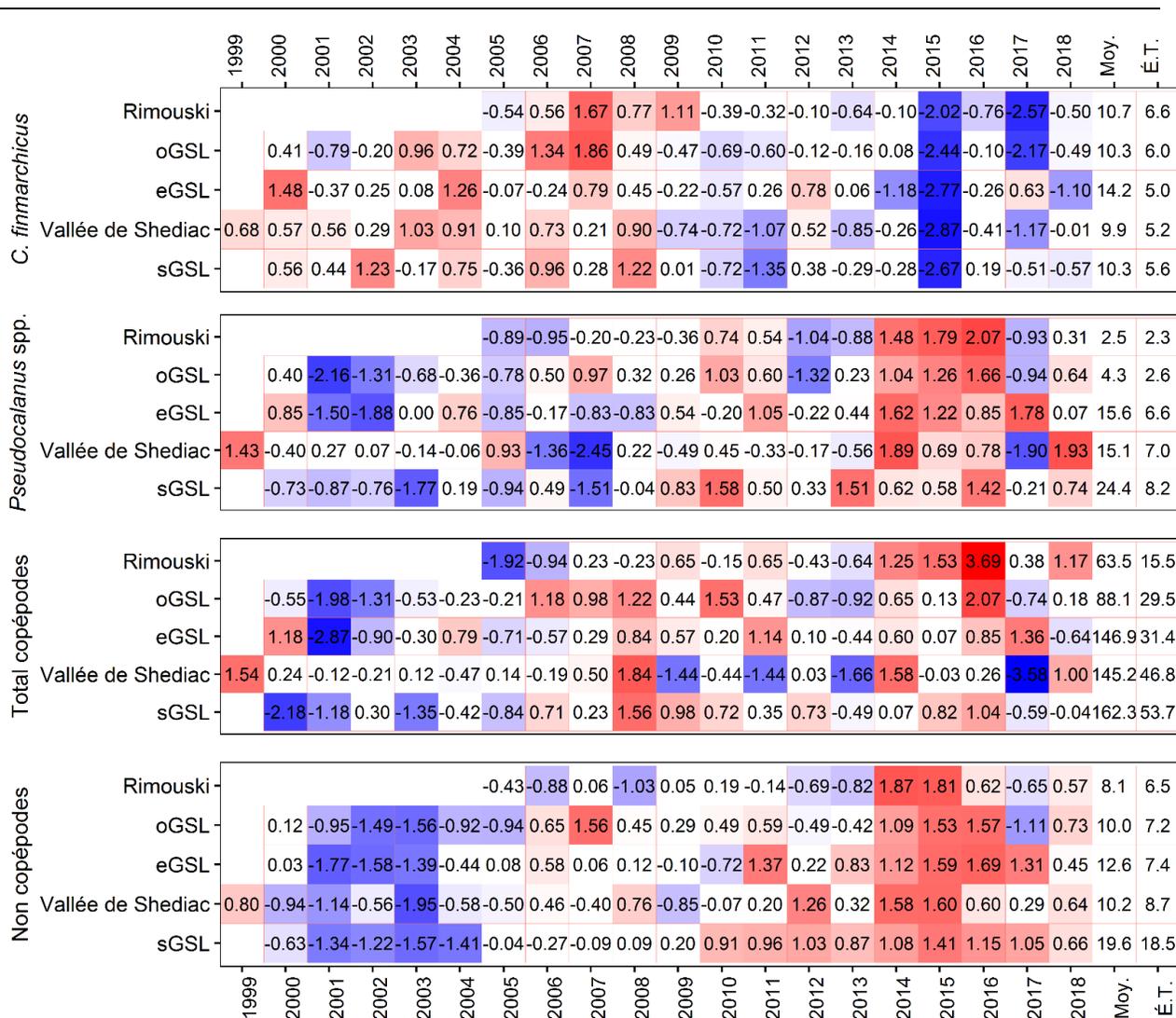


Figure 39. Série temporelle des anomalies annuelles normalisées d'abondance ($\times 10^3$ ind m^{-2}) de quatre indices de zooplancton aux sites de monitoring à haute fréquence et dans les trois sous-régions du golfe du Saint-Laurent. Les moyennes et écart-types par région pour la période de référence (1999–2015, ou 2005–2015 pour la station de Rimouski) sont présentés à la droite du tableau. Le bleu indique les anomalies inférieures à la moyenne, le rouge, celles supérieures à la moyenne, et le blanc représente les conditions normales.

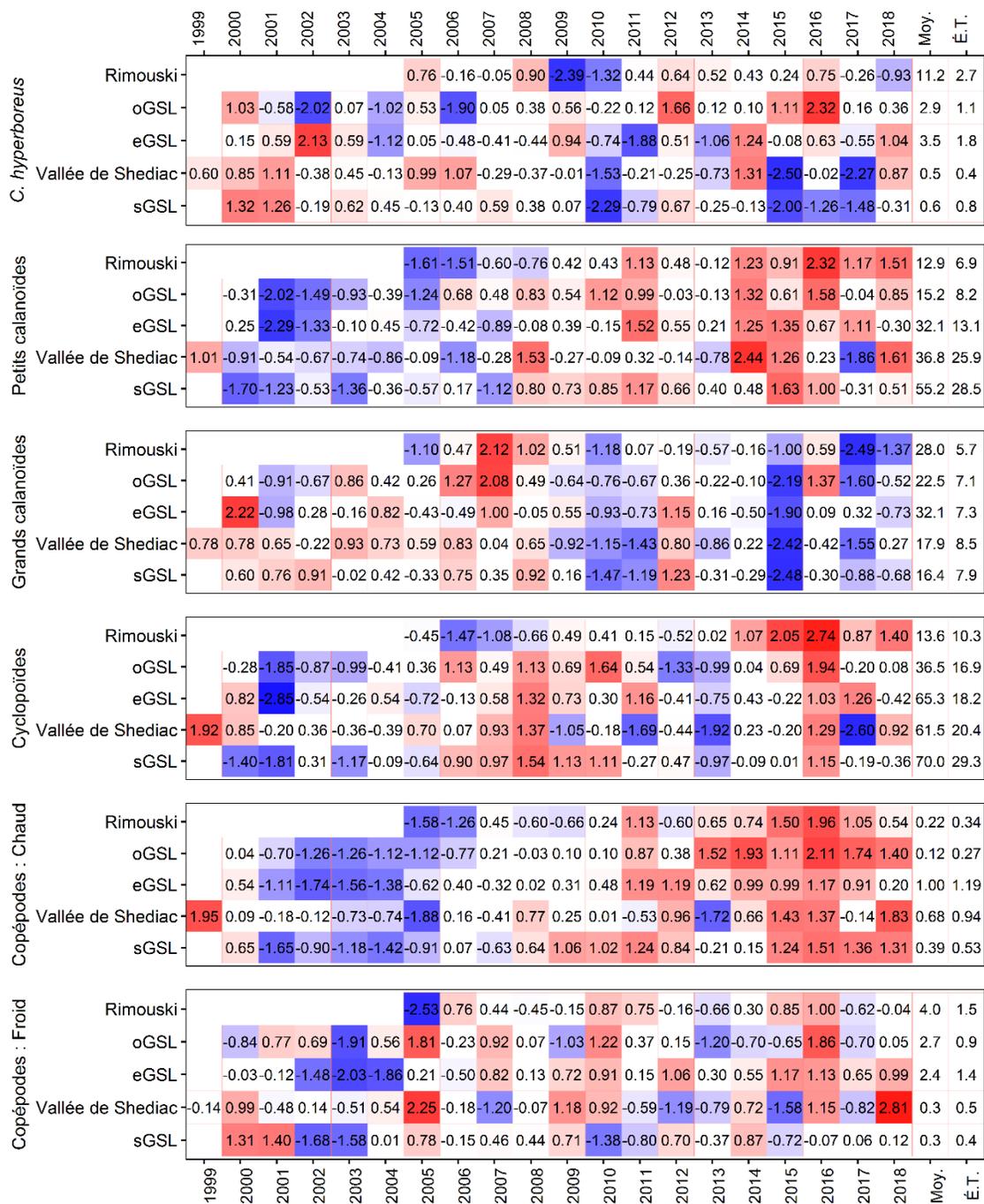


Figure 40. Série temporelle des anomalies annuelles normalisées d'abondance ($\times 10^3$ ind m^{-2}) de six indices de zooplancton aux sites de monitoring à haute fréquence et dans les trois sous-régions du golfe du Saint-Laurent. Les moyennes et écart-types par région pour la période de référence (1999–2015, ou 2005–2015 pour la station de Rimouski) sont présentés à la droite du tableau. Le bleu indique les anomalies inférieures à la moyenne, le rouge, celles supérieures à la moyenne, et le blanc représente les conditions normales. 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 d'eaux froides : *Calanus glacialis* et *Metridia longa*. Une liste détaillée des espèces incluses dans chaque grand indice de copépodes est présenté à l'annexe 1.

ANNEXES

Annexe 1. Liste des espèces et des genres associés à chaque grand indice de copépode.

Petits calanoïdes	<i>Acartia</i> spp.
	<i>Aetideidae</i>
	<i>Centropages</i> spp.
	<i>Clausocalanus</i> spp.
	<i>Eurytemora</i> spp.
	<i>Microcalanus</i> spp.
	<i>Nannocalanus</i> spp.
	<i>Paracalanus parvus</i>
	<i>Pseudocalanus</i> spp.
	<i>Scolecithricella</i> spp.
	<i>Spinocalanus</i> spp.
	<i>Temora</i> spp.
	<i>Tortanus</i> spp.
	Grands calanoïdes
<i>Calanus finmarchicus</i>	
<i>Calanus glacialis</i>	
<i>Calanus hyperboreus</i>	
<i>Euchaeta</i> spp.	
<i>Metridia</i> spp.	
<i>Paraeuchaeta norvegica</i>	
<i>Pleuromamma borealis</i>	
<i>Pleuromamma robusta</i>	
Copépodes d'eau chaude	<i>Centropages</i> spp.
	<i>Clausocalanus</i> spp.
	<i>Metridia lucens</i>
	<i>Nannocalanus minor</i>
	<i>Paracalanus</i> spp.
	<i>Pleuromamma borealis</i>
	<i>Pleuromamma robusta</i>
Cyclopoïdes	<i>Oithona</i> spp.
	<i>Oncaea</i> spp.
	<i>Triconia borealis</i>
	<i>Triconia conifera</i>
	<i>Triconia similis</i>
Copépodes d'eau froide	<i>Metridia longa</i>
	<i>Calanus glacialis</i>

Annexe 2. Résultats des GLM pour les stations de Rimouski et de la vallée de Shediac. Présentation des effets liés à l'année et au mois ainsi que du R carré ajusté de la régression pour les nutriments et la chlorophylle.

Station	Indice	année (p)	mois (p)	R ²
Rimouski	Chlorophylle <i>a</i> (0–100m)	<0,0001	<0,0001	0,40
	Nitrate (0–50m)	<0,0001	<0,0001	0,31
	Phosphate (0–50m)	<0,0001	<0,0001	0,30
	Silicate (0–50m)	<0,0001	<0,001	0,44
	Nitrate (50–150m)	<0,0001	<0,0001	0,24
	Phosphate (50–150m)	<0,0001	<0,0001	0,30
	Silicate (50–150m)	<0,0001	<0,0001	0,25
	Nitrate (300m)	<0,0001	<0,001	0,46
	Phosphate (300m)	<0,0001	0,01	0,36
	Silicate (300m)	<0,0001	<0,0001	0,63
	Nitrate (150–320m)	<0,0001	<0,0001	0,37
Shediac Valley	Chlorophylle <i>a</i> (0–100m)	<0,0001	<0,0001	0,40
	Nitrate (0–50m)	<0,001	<0,0001	0,33
	Phosphate (0–50m)	<0,0001	<0,0001	0,33
	Silicate (0–50m)	<0,01	<0,0001	0,27
	Nitrate (50–150m)	0,3	<0,0001	0,15
	Phosphate (50–150m)	<0,01	<0,0001	0,32
	Silicate (50–150m)	0,4	<0,0001	0,20

Annexe 3. Résultats des GLM pour les stations de Rimouski et de la vallée de Shediac. Présentation des effets liés à l'année et au mois ainsi que du R carré ajusté de la régression pour les groupes de phytoplancton.

Région	Groupe	year (p)	mois (p)	R ²
Rimouski	Diatomées	<0,0001	<0,0001	0,35
	Dinoflagellés	<0,0001	<0,0001	0,54
	Flagellés	<0,0001	<0,0001	0,39
	Ciliés	<0,0001	<0,0001	0,35
	Total	<0,0001	<0,0001	0,22
	Diatomées/Dinoflagellés	<0,0001	<0,0001	0,30
	Diatomées/Flagellés	<0,0001	<0,0001	0,23
Vallée de Shediac	Diatomées	<0,0001	<0,0001	0,36
	Dinoflagellés	<0,001	0,03	0,28
	Flagellés	<0,0001	<0,0001	0,42
	Ciliés	0,2	0,4	0,03
	Total	<0,0001	<0,0001	0,35
	Diatomées/Dinoflagellés	<0,0001	<0,001	0,35
	Diatomées/Flagellés	<0,0001	<0,0001	0,41

Annexe 4. Résultats des GLM pour les sous-régions du GSL. Présentation des effets liés à l'année, à la saison et à la station ainsi que du R carré ajusté de la régression pour les nutriments et la chlorophylle.

Région	Indice	année (p)	saison (p)	station(p)	R ²
oGSL	Chlorophylle <i>a</i> (0–100m)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,37
	Nitrate (0–50m)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,69
	Phosphate (0–50m)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,65
	Silicate (0–50m)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,68
	Nitrate (50–150m)	<0,0001	0,08	<0,0001	0,48
	Phosphate (50–150m)	<0,0001	0,6	<0,0001	0,45
	Silicate (50–150m)	<0,0001	0,02	<0,0001	0,50
	Nitrate (300m)	<0,0001	<0,001	0,3	0,12
	Phosphate (300m)	<0,0001	<0,001	<0,0001	0,65
	Silicate (300m)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,67
sGSL	Chlorophylle <i>a</i> (0–100m)	<0,0001	<0,001	<0,01	0,27
	Nitrate (0–50m)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,69
	Phosphate (0–50m)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,71
	Silicate (0–50m)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,61
	Nitrate (50–150m)	<0,0001	0,01	<0,0001	0,61
	Phosphate (50–150m)	<0,0001	0,3	<0,0001	0,63
	Silicate (50–150m)	<0,001	0,1	<0,0001	0,62
eGSL	Chlorophylle <i>a</i> (0–100m)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,19
	Nitrate (0–50m)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,75
	Phosphate (0–50m)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,77
	Silicate (0–50m)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,78
	Nitrate (50–150m)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,63
	Phosphate (50–150m)	<0,0001	<0,01	<0,0001	0,56
	Silicate (50–150m)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,51
	Nitrate (300m)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,39
	Phosphate (300m)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,65
Silicate (300m)	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,63	

Annexe 5. Résultats des GLM pour les stations de Rimouski et de la vallée de Shediac. Présentation des effets liés à l'année et au mois ainsi que du R carré ajusté de la régression pour les indices de zooplancton.

Station	Indice	année (ρ)	mois (ρ)	R ²
Rimouski	<i>Calanus finmarchicus</i>	<0,0001	<0,0001	0,55
	<i>Pseudocalanus</i> spp.	<0,0001	<0,0001	0,56
	Total copépodes	<0,0001	<0,0001	0,56
	Non-copépodes	<0,0001	<0,0001	0,44
	<i>Calanus hyperboreus</i>	<0,0001	<0,0001	0,38
	Petits calanoïdes	<0,0001	<0,0001	0,65
	Grands calanoïdes	<0,0001	<0,0001	0,3
	Cyclopoïdes	<0,0001	<0,0001	0,58
	Copépodes: Chaud	<0,0001	0,9	0,54
	Copépodes: Froid	<0,0001	<0,0001	0,44
	Poids sec	<0,0001	<0,0001	0,6
	Vallée de Shediac	<i>Calanus finmarchicus</i>	<0,0001	<0,0001
<i>Pseudocalanus</i> spp.		0,2	0,2	0,03
Total copépodes		0,1	<0,0001	0,18
Non-copépodes		0,001	0,0003	0,24
<i>Calanus hyperboreus</i>		<0,0001	<0,0001	0,66
Petits calanoïdes		0,01	0,0003	0,18
Grands calanoïdes		<0,0001	<0,0001	0,37
Cyclopoïdes		0,2	<0,0001	0,24
Copépodes: Chaud		0,1	0,06	0,08
Copépodes: Froid		0,1	<0,0001	0,29
Poids sec		0,3	<0,0001	0,17

Annexe 6. Résultats des GLM pour les sous-régions du GSL. Présentation des effets liés à l'année, à la saison et à la station ainsi que du R carré ajusté de la régression pour les indices de zooplancton.

Région	Indice	année (p)	saison (p)	station(p)	R ²
oGSL	<i>Calanus finmarchicus</i>	<0,0001	0,001	<0,0001	0,68
	<i>Pseudocalanus</i> spp.	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,53
	Total copépodes	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,76
	Non-copépodes	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,60
	<i>Calanus hyperboreus</i>	0,003	<0,0001	<0,0001	0,61
	Petits calanoïdes	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,68
	Grands calanoïdes	<0,0001	0,02	<0,0001	0,78
	Cyclopoïdes	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,71
	Copépodes: Chaud	<0,0001	0,05	<0,0001	0,52
	Copépodes: Froid	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,66
	Poids sec	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,66
	sGSL	<i>Calanus finmarchicus</i>	<0,0001	<0,0001	<0,0001
<i>Pseudocalanus</i> spp.		<0,0001	<0,0001	0,8	0,13
Total copépodes		<0,0001	<0,0001	0,0005	0,32
Non-copépodes		<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,53
<i>Calanus hyperboreus</i>		<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,49
Petits calanoïdes		<0,0001	0,003	0,01	0,28
Grands calanoïdes		<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,48
Cyclopoïdes		<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,37
Copépodes: Chaud		<0,0001	<0,0001	0,3	0,52
Copépodes: Froid		<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,40
Poids sec		<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,36
eGSL		<i>Calanus finmarchicus</i>	<0,0001	0,3	<0,0001
	<i>Pseudocalanus</i> spp.	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,27
	Total copépodes	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,27
	Non-copépodes	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,45
	<i>Calanus hyperboreus</i>	0,1	<0,0001	<0,0001	0,54
	Petits calanoïdes	<0,0001	0,9	<0,0001	0,37
	Grands calanoïdes	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,48
	Cyclopoïdes	<0,0001	<0,0001	0,002	0,32
	Copépodes: Chaud	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,50
	Copépodes: Froid	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,38
	Poids sec	<0,0001	0,02	<0,0001	0,59