



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 2019/009

Région du Québec

Les conditions océanographiques chimiques et biologiques dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent en 2017

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](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 2017. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2019/009. iv + 59 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 2017. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2019/009. iv + 56 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	IV
INTRODUCTION.....	1
MÉTHODES.....	1
RÉCOLTE D'ÉCHANTILLONS.....	1
OXYGÈNE.....	2
ÉLÉMENTS NUTRITIFS ET CHLOROPHYLLE.....	3
TÉLÉDÉTECTION DE LA COULEUR DE L'OCÉAN.....	3
INDICES DE ZOOPLANCTON.....	4
TABLEAUX SYNOPTIQUES.....	5
OBSERVATIONS.....	7
ENVIRONNEMENT PHYSIQUE.....	7
OXYGÈNE AU FOND.....	7
ÉLÉMENTS NUTRITIFS ET PHYTOPLANCTON.....	7
Sites de monitoring à haute fréquence.....	7
Sous-régions du golfe.....	8
Télétection de la couleur de l'océan.....	9
ZOOPLANCTON.....	10
Sites de monitoring à haute fréquence.....	10
Sous-régions du golfe.....	12
Phénologie des copépodes.....	12
Tableaux synoptiques.....	12
DISCUSSION.....	13
CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES.....	13
PHYTOPLANCTON.....	15
ZOOPLANCTON.....	16
SOMMAIRE.....	18
REMERCIEMENTS.....	20
RÉFÉRENCES.....	20
TABLEAUX.....	23
FIGURES.....	24
ANNEXES.....	58

RÉSUMÉ

Un aperçu des conditions océanographiques chimiques et biologiques du golfe du Saint-Laurent (GSL) en 2017 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 2017. Les anomalies négatives des concentrations d'oxygène en profondeur étaient particulièrement fortes dans le centre du GSL et dans la région du détroit de Cabot. Les inventaires de nitrate dans la couche de surface (0–50 m) étaient généralement près de la normale partout dans le GSL et ce, tout au long de l'année. Cependant, ils étaient au-dessus de la normale dans les eaux profondes de l'est du GSL (eGSL), ce qui a été observé depuis 2012 en lien avec des intrusions d'eaux plus chaudes et plus salées. Les concentrations de chlorophylle *a* (chl *a*) intégrées verticalement (0–100 m) étaient sous la normale dans l'ouest du GSL (oGSL) et au-dessus de la normale dans le sud du GSL (sGSL) durant l'été et l'automne. D'ailleurs, dans le sGSL, les anomalies positives de chl *a* étaient les plus fortes rencontrées depuis 2002. Cependant, selon les images satellitaires, l'amplitude de la floraison printanière était sous la normale partout dans le GSL, incluant le sGSL. Les estimés satellitaires montrent tout de même des moyennes annuelles près de la normale pour la chl *a* en surface, malgré la faible biomasse printanière. L'abondance des dinoflagellés a atteint un creux record à la station Rimouski en 2017, alors qu'elle était au-dessus de la normale à la station de la vallée de Shediac, conjointement à celles des flagellés et des ciliés à cet endroit. En 2017, la biomasse de zooplancton était sous la moyenne à long-terme partout dans le GSL, mais l'abondance des principaux groupes fonctionnels et des principales espèces de zooplancton étaient au-dessus de la normale dans l'eGSL, à l'exception de *Calanus hyperboreus*. Dans l'oGSL et le sGSL, l'abondance de *C. finmarchicus*, *Pseudocalanus* spp. et le nombre total de copépodes ont tous montré des anomalies négatives. C'est d'ailleurs la première fois depuis 2012–2013 que des anomalies négatives sont enregistrées pour *Pseudocalanus* spp. Depuis 2008, des anomalies positives pour l'abondance des petits calanoïdes ont été rapportées dans l'ensemble du GSL. Cependant, en 2017, seules les stations de Rimouski et de l'eGSL ont montré des anomalies positives pour cet indice. Des abondances plus élevées que la normale pour les espèces de copépodes associées à l'eau chaude ont été observées à nouveau en 2017 dans l'ensemble du GSL, poursuivant une tendance observée depuis 2011. Contrairement aux dernières années, le développement de *C. finmarchicus* était en retard à la station Rimouski en 2017. Certaines des dynamiques observées pour le phytoplancton et le zooplancton en 2017 pourraient être le fruit de l'apport d'eau douce depuis le fleuve St-Laurent qui était bien au-dessus de la normale en mai et juin 2017 et des températures des eaux profondes plus chaudes que la normale tout au long de l'année.

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* 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, 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 annuelles 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 2017. Les conditions océanographiques physiques qui prévalaient en 2017 sont décrites dans Galbraith *et al.* (2018). Dans l'ensemble, les températures ont été plus élevées que la normale pendant toute l'année, le volume maximal de la couverture de glace de mer a été le sixième plus bas depuis 1969, et le réchauffement estival ainsi que le refroidissement automnal ont commencé respectivement un peu plus tôt et un peu plus tard que la normale. L'apport annuel moyen d'eau douce dans l'estuaire a été le plus élevé depuis 1974. Dans les eaux profondes, les températures ont de nouveau dépassé la normale, avec l'advection d'eaux profondes vers l'intérieur du GSL à partir du détroit de Cabot. Dans le golfe du Saint-Laurent (GSL), la température moyenne a atteint un niveau record, soit 300 m. Le présent rapport décrit les cycles de production et la composition de la communauté de phytoplancton et de zooplancton en 2017 dans ce contexte.

MÉTHODES

RÉCOLTE D'ÉCHANTILLONS

Toutes les étapes de collecte et de traitement des échantillons respectent et dépassent souvent les normes du protocole du PMZA (Mitchell *et al.* 2002). Les mesures sur le terrain 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 sont regroupées en trois sous-régions afin de mieux correspondre aux échelles spatiales examinées par le PMZA dans d'autres régions :

- (1) ouest du GSL (oGSL) : cette région est généralement profonde (> 200 m) et froide en été. Elle est fortement influencée par les eaux de ruissellement du fleuve Saint-Laurent ainsi que par les eaux froides et denses du chenal Laurentien. Elle comprend les transects de l'estuaire du Saint-Laurent (TESL), de Sept-Îles (TSI) et du sud-ouest de l'île d'Anticosti (TASO);
- (2) sud du GSL (sGSL) : cette région est peu profonde (< 100 m) et beaucoup plus chaude en été. Elle est influencée par le courant de Gaspé et n'inclut que le transect des îles de la Madeleine (TIDM);
- (3) est du GSL (eGSL) : cette région, comportant des chenaux profonds et un plateau relativement large (< 100 m), est caractérisée par une salinité de surface élevée et directement influencée par l'intrusion d'eaux des plateaux du Labrador et de Terre-Neuve. Elle comprend les transects du centre 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 2017 et la figure 2 résume l'effort d'échantillonnage aux lieux d'échantillonnage à haute fréquence. La station de Rimouski (profondeur de 320 m) est échantillonnée depuis 1991 dans le cadre d'un projet de recherche – à une fréquence hebdomadaire ou presque en été; moins fréquemment au début du printemps et à la fin de l'automne; et rarement en hiver (à l'exception 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 le nord-ouest du GSL. Depuis le début du PMZA, la station de la vallée de Shediac (profondeur de 84 m) représente les conditions dans le sud du GSL et l'écoulement de l'ESL. Bien que l'objectif soit d'échantillonner la station de la vallée de Shediac deux fois par mois, la fréquence est plutôt mensuelle et encore moins élevée de janvier à avril en raison de l'éloignement.

L'échantillonnage des sections et des sites de monitoring à haute fréquence comprend un profil de conductivité, température, profondeur (CTD) [température, salinité, fluorescence, oxygène dissous, pH] ainsi que l'échantillonnage d'eau à l'aide de bouteilles Niskin. L'eau recueillie dans les bouteilles Niskin est destinée à l'analyse de l'oxygène dissous (méthode de Winkler), des éléments nutritifs (AutoAnalyseur Technicon ou Alpkem), de la chlorophylle *a* (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. Ce relevé a ajouté une quantité importante de données à l'échantillonnage hivernal de la région autrefois limité. Quarante-deux stations ont été échantillonnées entre le 1^e et le 12 mars 2017.

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 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 titrage 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 les concentrations annuelles moyennes d'oxygène en profondeur dans le GSL, obtenues avec la sonde CTD, ainsi que les séries chronologiques des concentrations annuelles d'oxygène en profondeur.

ÉLÉMENTS NUTRITIFS ET CHLOROPHYLLE

Les données sur la chlorophylle *a* et les éléments nutritifs recueillis le long des sections du PMZA et aux sites de monitoring à haute fréquence ont été intégrées à divers intervalles de profondeur (p. ex. 0–100 m pour la chl *a*; 0–50 m et 50–150 m pour les éléments nutritifs) en utilisant l'intégration numérique trapézoïdale. La limite d'intégration supérieure était en fait la valeur échantillonnée la moins profonde et la profondeur échantillonnée la plus proche de la limite inférieure de l'intégration a été utilisée pour le calcul. Dans les rapports précédents, les valeurs intégrées de nitrate du relevé hivernal ont été calculées en utilisant les concentrations en surface (2 m) × 50 m; en supposant que les concentrations de nitrate étaient homogènes dans la couche de mélange hivernale à ce moment de l'année. En 2016 et 2017, les profils verticaux des éléments nutritifs à la station de Rimouski ont révélé que les concentrations de nitrate étaient en effet homogènes dans les 50 m supérieurs de la colonne d'eau durant l'hiver (environ 14 mmol/m³; voir la section Résultats). La concentration d'éléments nutritifs dans la partie supérieure (0–50 m) de la colonne d'eau était aussi relativement homogène ailleurs dans le GSL lors des relevés de l'hiver 2016 et 2017 (données non présentées), ce qui confirme l'hypothèse initiale.

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 sous-régions du GSL (nord-ouest et nord-est du GSL, Plateau madelinien et détroit de Cabot; voir la figure 3 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 contaminées 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 décrirons la variabilité saisonnière et interannuelle de la biomasse phytoplanctonique. De plus, les relevés océanographiques à grande échelle incluent un transect dans l'estuaire 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 du VIIRS de 2012 à 2017 et les données du MODIS de 2008 à 2011 sont combinées à celles du SeaWiFS de septembre 1997 à décembre 2007 afin de concevoir une série chronologique composite de la chl *a* en surface dans quatre sous-régions du GSL (Fig. 3). Le rendement du satellite MODIS en ce qui concerne l'estimation de la chl *a* a été comparé à celui du SeaWiFS pour quelques régions dans le monde. Bien que les différences par rapport à la conception des capteurs, à l'orbite et à l'échantillonnage entre le MODIS et le SeaWiFS aient entraîné des écarts entre les valeurs de chl *a* calculées (Gregg et Rousseaux 2014), les biais associés à ces satellites ne dépassent généralement pas les incertitudes algorithmiques de manière significative, particulièrement dans les eaux non troubles (Zibordi *et al.* 2006, Arun Kumar *et al.* 2015). Des études récentes comparant les trois satellites indiquent qu'ils offrent des données uniformes sur la couleur des océans, indiquant des patrons et des magnitudes semblables, et une fidélité élevée entre eux, ce qui reflète leur rendement élevé (Wang *et al.* 2013, Barnes et Hu 2016).

Toutes les sous-régions sélectionnées pour les données d'imagerie satellitaire se trouvent à l'extérieur du panache du fleuve Saint-Laurent puisque les données des régions influencées par cette eau douce ne sont pas fiables en raison de leur turbidité et de l'apport fluvial de matières colorées provenant de la terre, 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 sous-région statistique (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 satellites combinées (Zhai *et al.* 2011). Quatre indices différents ont été calculés pour décrire les caractéristiques de la floraison printanière : la date de début (jour de l'année), la durée de la floraison (en jours), l'ampleur (l'intégrale de la concentration de chl *a* sous la courbe de Gauss) et l'amplitude (concentration de chl *a* maximale). De plus, la biomasse de chl *a* moyenne au printemps (mars à mai), en été (juin à août) et en automne (septembre à novembre) ainsi que la moyenne annuelle (mars à novembre) ont été calculées. Pour chacune de ces huit mesures, nous avons calculé les anomalies annuelles normalisées (voir la section Tableaux synoptiques ci-dessous) afin d'évaluer les tendances temporelles entre les différentes sous-régions statistiques.

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. Au cours des dernières années, le nombre et le type d'indices de zooplancton ainsi que la façon dont ils sont

rapportés ont été rationalisés dans le but de normaliser les documents de recherche des régions visées par le PMZA. Par conséquent, nous présentons pour les sites de monitoring à haute fréquence la biomasse totale de zooplancton (poids sec), l'abondance totale de copépodes et les contributions relatives des espèces de copépodes composant 95 % des taxons identifiés selon l'abondance. De plus, nous incluons les abondances et la composition selon le stade des *Pseudocalanus* spp. (station de Rimouski seulement) et de *Calanus finmarchicus*. En raison de son importance pour la biomasse totale de zooplancton dans le GSL, une description détaillée de *Calanus hyperboreus* a été ajoutée pour les stations de Rimouski et de la vallée de Shediac. Nous présentons également la biomasse totale de zooplancton et l'abondance totale de *C. finmarchicus*, de *C. hyperboreus* et de *Pseudocalanus* spp. au printemps et en hiver pour les trois sous-régions du GSL en raison de leurs régimes océanographiques distincts. Les indices de zooplancton ont été intégrés en utilisant la profondeur échantillonnée au cours des dernières années ou la profondeur au fond avant 2015.

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

Finalement, nous présentons différents indices de zooplancton qui reflètent soit des espèces clés de copépodes, soit différents groupes fonctionnels jouant différents rôles dans l'écosystème, 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, de nombreux carnivores se nourrissant d'autres espèces de zooplancton et de 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 les *Pseudocalanus* spp., les *Acartia* spp., les *Temora longicornis* et les *Microcalanus* spp.), des cyclopoïdes (dominés par les *Oithona* spp. et les *Triconia* spp.; ces dernières font référence à des poecilostomatoïdes qui font partie de cette catégorie à cause de leurs caractéristiques écologiques), des espèces propres aux eaux chaudes (*Metridia lucens*, les *Centropages* spp., les *Paracalanus* spp. et les *Clausocalanus* spp.) et des espèces propres aux eaux froides ou arctiques (*Calanus glacialis* et *Metridia longa*). Les anomalies de ces groupes ont été calculées (voir la section Tableaux synoptiques ci-dessous) pour les sites de monitoring à haute fréquence et les sous-régions du GSL.

TABLEAUX SYNOPTIQUES

Les anomalies normalisées des indices chimiques et biologiques standard présentées dans les tableaux synoptiques ont été calculées pour les sites de monitoring à haute fréquence et les régions océanographiques. Ces anomalies sont calculées comme la différence entre la

moyenne saisonnière (p. ex. les indices de chlorophylle et d'éléments nutritifs) ou la moyenne annuelle (p. ex. les indices de zooplancton) de la variable et la moyenne de la variable pour la période de référence (habituellement 1999 à 2015) ; ce nombre est ensuite divisé par l'écart-type de la période de référence. Les rapports précédents utilisaient la période de référence 1999-2010 pour les paramètres biogéochimiques. Considérant l'état non stationnaire du système atlantique, élargir la climatologie pour inclure les dernières années modifie la moyenne à laquelle les observations sont comparées et modifie la variance de la série chronologique utilisée pour normaliser les moyennes annuelles. Cela peut modifier le signe ou la magnitude des anomalies et, par conséquent, les modèles d'anomalies ne seront pas cohérents avec les rapports antérieurs. Bien que cette notion doive être gardée à l'esprit, l'avantage de la période de référence étendue est de fournir des descriptions plus pertinentes des conditions et des tendances du système actuel.

Ces anomalies sont présentées sous la forme de tableaux synoptiques où les anomalies positives sont indiquées en rouge, les anomalies négatives en bleu et l'absence d'anomalie ($\pm 0,5$ ET) en blanc. Un ensemble d'indices standard représentant les anomalies des concentrations d'éléments nutritifs, la biomasse et la dynamique de floraison de phytoplancton, et l'abondance des espèces et des groupes de copépodes dominants (*C. finmarchicus*, *Pseudocalanus* spp., ensemble des copépodes et ensemble des non-copépodes) est produit pour chacune des régions visées par le PMZA. Pour que l'on puisse visualiser les profils de la variation environnementale à l'échelle de la plate-forme de l'Atlantique Nord-Ouest, le document publié par le MPO (2018) présente un tableau synoptique par zone comprenant des observations provenant de toutes les régions visées par le PMZA.

Les anomalies annuelles des indices des éléments nutritifs et du phytoplancton aux stations à haute fréquence d'échantillonnage sont des moyennes des anomalies mensuelles alors qu'elles correspondent à la moyenne des anomalies d'été et d'automne pour les trois sous-régions. Les anomalies annuelles de l'indice du zooplancton sont basées sur l'estimation de l'abondance annuelle moyenne à chaque station fixe et en tant que moyenne globale pour chaque sous-région du GSL. Ces estimations d'abondance annuelle utilisent des modèles linéaires généraux (GLM) de la forme :

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

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

tel que présenté dans Pepin *et al.* (2013) et Johnson *et al.* (2016). La variable *Abondance* est exprimée par l'unité individus/m², la variable α est le point d'intersection et la variable ε est l'erreur. Le GLM est appliqué séparément aux trois sous-régions. Pour les stations fixes, les variables β et δ représentent les effets catégoriques pour l'année et le mois, respectivement. Pour les sections, les variables β , δ et γ tiennent compte de l'effet de l'année, de la station et de la saison, respectivement. L'estimation de la moyenne par la méthode des moindres carrés 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 1 et 2, respectivement. Nous avons effectué une transformation logarithmique des valeurs de densité avant de calculer les anomalies du zooplancton afin de compenser la distribution asymétrique des observations. La variable *Abondance* a été majorée d'une unité afin d'inclure les observations dont la valeur est de 0.

OBSERVATIONS

ENVIRONNEMENT PHYSIQUE

La température et la salinité de la colonne d'eau en 2017 sont décrites en détail par Galbraith *et al.* (2018). 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 4). Des valeurs de stratification supérieures à la normale sont indiquées en bleu dans cette figure parce qu'elles sont habituellement causées par une salinité de surface inférieure à la moyenne. La stratification était bien au-dessus de la normale au printemps à la station de Rimouski, particulièrement en mai, et consistait en l'anomalie la plus élevée enregistrée depuis 1996, mais la saisonnalité était similaire à la moyenne de 1999-2015. La stratification était également supérieure à la normale à la station de la vallée de Shediac en juin et juillet. La forte stratification a été causée par la crue nivale particulièrement importante et l'accumulation d'eau douce dans l'estuaire et ailleurs dans la GSL (Galbraith *et al.* 2018).

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. Les teneurs les plus faibles en oxygène dissous (saturation de 20 % environ ces dernières années) sont enregistrées dans les eaux profondes à la tête du chenal Laurentien, dans l'estuaire (Figure 5). Les concentrations d'oxygène dissous ont fortement diminué dans le GSL en 2017 (Figure 5), atteignant les valeurs les plus basses observées depuis 2000 dans toutes les régions, exception faite du nord-ouest du GSL (Figure 6). Depuis 1984, les eaux profondes de l'estuaire présentent une hypoxie constante; en 2017, la teneur en oxygène dissous a diminué jusqu'à 54 µM, ce qui correspond à une saturation de 18 % environ (Figure 6). En 2017, les plus fortes anomalies négatives ont été enregistrées dans le centre du GSL et dans la région du détroit de Cabot (Figures 5 et 6).

ÉLÉMENTS NUTRITIFS ET PHYTOPLANCTON

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

Sites de monitoring à haute fréquence

Les principaux points saillants des concentrations de nitrates et de la biomasse phytoplanctonique en 2017 sont bien illustrés par la figure 7 pour les deux sites de monitoring à haute fréquence. À la station de Rimouski, les concentrations de nitrates sont restées près de la normale toute l'année, mais la biomasse phytoplanctonique est demeurée généralement sous la normale, exception faite de deux courtes floraisons : une à la fin de juin et une au début septembre (Figure 7a et c). Les moyennes annuelles des concentrations de biomasse phytoplanctonique et de nitrates sont restées près de la normale, sauf en profondeur, où la concentration de nitrates était inférieure à la normale (Figure 7e). 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 7b et d), la détection des tendances saisonnières s'avère difficile. De mai

à novembre, la concentration de nitrates à la surface dépassait généralement la normale, tandis que la concentration de chl *a* se situait près de la normale (Figure 7b, d et e).

Les profils verticaux détaillés des nitrates et de la chl *a*, de même que les profils verticaux des anomalies associées sont illustrés aux figures 8 (station de Rimouski) et 9 (vallée de Shediac). La consommation de nitrates a débuté à la fin de mai à la station de Rimouski et a augmenté à partir de juin, parallèlement à une forte anomalie positive de la biomasse phytoplanctonique. La reconstitution ultérieure des stocks de nutriments dans la couche superficielle a été propice à une seconde prolifération à la fin de l'été. Contrairement aux dernières années, aucune augmentation de la biomasse phytoplanctonique n'a été observée entre ces deux proliférations. L'exportation verticale au printemps, estimée à partir de la concentration de chl *a* au-dessous de 50 m, a également été inférieure aux dernières années (Figure 8). Quelques fortes anomalies positives des concentrations de nitrates ont été constatées dans la couche superficielle à la station de la vallée de Shediac pendant l'été. Il importe de souligner qu'une forte accumulation de biomasse phytoplanctonique a été observée en mai à près de 40 m de profondeur, contrairement aux années précédentes (Figure 9).

L'abondance du phytoplancton à la station de Rimouski a été légèrement inférieure à la normale pendant la majeure partie de l'année. La communauté phytoplanctonique était composée principalement de flagellés, sauf pendant les deux courtes floraisons, durant lesquelles les diatomées ont prédominé (Figure 10a et c). Ainsi, l'abondance relative des principaux groupes taxonomiques du phytoplancton en 2017 présentait une configuration très différente du profil saisonnier type, qui se caractérise par une hausse marquée des diatomées en avril et leur prédominance dans le phytoplancton de mai à octobre (Figure 10b et c). Les anomalies annuelles (de mai à novembre) de l'abondance des diatomées et des flagellés se situaient près de la normale, bien qu'il soit difficile d'établir les tendances des anomalies en raison de la grande variabilité saisonnière de l'abondance du phytoplancton. Les dinoflagellés ont présenté la plus forte anomalie négative de la série chronologique, et des anomalies négatives sont observées pour ce taxon depuis 2013 à la station de Rimouski (Figure 11). À la station de la vallée de Shediac, l'abondance du phytoplancton a présenté de grandes variations de part et d'autre de la moyenne à long terme au printemps. Elle se situait près de la normale en été et à la fin de l'automne et a dépassé la normale en novembre (Figure 12a). L'abondance relative des diatomées comptait pour à peine 10 % de l'abondance totale du phytoplancton durant l'été 2017, phénomène étonnant si l'on considère qu'elle s'établit normalement à 80 % environ du printemps à l'automne (Figure 12b et c). Les flagellés ont prédominé dans le phytoplancton durant l'été 2017. Dans l'ensemble, des anomalies annuelles positives ont été relevées dans l'abondance des flagellés, des ciliés et des dinoflagellés en 2017 (Figure 11). La prudence est toutefois de mise dans l'interprétation de ces tendances saisonnières et anomalies annuelles, car seulement sept échantillons de phytoplancton ont été analysés à cette station en 2017, et aucun échantillonnage n'a été effectué en avril, mois durant lequel la floraison printanière des diatomées se produit généralement.

Sous-régions du golfe

Les figures 13 à 17 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 concentrations de nitrates dans la couche superficielle sont restées globalement près de la normale pendant la majeure partie de l'année à l'échelle du GSL, avec des anomalies négatives dans l'ouest (oGSL) et l'est (eGSL) pendant l'hiver et l'été, respectivement. Des anomalies négatives des concentrations de nitrates à la surface sont régulièrement observées depuis 2010 dans toutes les sous-régions du GSL, notamment en hiver (Figure 13). Faute d'échantillonnage pendant la floraison printanière, on estime la productivité printanière en fonction de la diminution des concentrations de nitrates dans la couche de surface entre l'hiver et l'été. La distribution de cet indice de productivité printanière indique une anomalie négative

généralisée dans l'oGSL et autour de la péninsule gaspésienne (Figure 14). Cet indice était près de la normale ou légèrement supérieure à la normale ailleurs dans le GSL (Figure 13 et 14).

Le contenu nutritif des différentes couches de la colonne d'eau a été moyenné pour l'été et l'automne (Figure 13, panneau central) afin de créer un indice de la réserve annuelle moyenne de nutriments disponibles pendant la saison productive. Des anomalies positives des concentrations de nitrates à 300 m ont été observées de nouveau cette année dans l'eGSL, où des concentrations de nitrates supérieures à la normale sont observées depuis 2012 (Figure 13). De manière générale, la croissance du phytoplancton n'influe pas grandement sur les quantités de nutriments dans les eaux situées sous la couche de mélange en surface. Ces valeurs constituent donc un indicateur fiable des ressources disponibles pour la croissance du phytoplancton qui peuvent être mélangées à la colonne d'eau pendant l'hiver, ou pendant l'été et l'automne lors de remontées d'eaux profondes. Ainsi, seule la distribution des stocks de nutriments dans la couche intermédiaire est présentée pour le GSL (Figures 15 et 16). Toutes les concentrations de nutriments, mais surtout celles du silicate, présentaient des anomalies négatives généralisées en été, avec des rapports N:P généralement inférieurs à la normale dans l'eGSL (Figure 15). Au cours de l'automne, les concentrations de nitrates et de silicate, de même que les rapports N:P étaient généralement inférieurs à la normale dans l'eGSL, mais les concentrations de silicate étaient largement supérieures à la normale dans l'estuaire (Figure 16).

La tendance des anomalies de la chl *a* a connu de fortes variations d'une saison et d'une sous-région à l'autre en 2017. Dans l'ensemble, les concentrations moyennes de chl *a* étaient inférieures à la normale dans l'oGSL, près de la normale dans l'eGSL, et supérieures à la normale dans le sud du GSL (sGSL). Dans ce dernier cas, il s'agissait de l'anomalie positive la plus élevée depuis 2002 (Figure 13). La distribution des concentrations estivales de chl *a* illustre la distribution de cette anomalie positive dans le sGSL et autour de la péninsule gaspésienne (Figure 17). Cependant, cette forte anomalie positive n'a pas été observée à la station de la vallée de Shediac, où une anomalie positive des nitrates dans la couche superficielle a plutôt été enregistrée (Figure 7e). Les incohérences pourraient être liées à la période des relevés effectués dans le cadre du Programme de monitoring de la zone atlantique (PMZA) par rapport à la phénologie de la prolifération printanière, ou encore à la faible fréquence des échantillonnages à la station de la vallée de Shediac, de sorte que nous devons être prudents dans notre interprétation. Au cours de l'automne, une forte anomalie positive des concentrations de chl *a* a été constatée à l'embouchure de la baie des Chaleurs, alors que les concentrations de chl *a* se situaient essentiellement proches de la normale ailleurs (Figure 17).

Téledétection de la couleur de l'océan

Selon l'imagerie satellitaire, si le début de la floraison printanière a généralement commencé à temps dans toutes les sous-régions statistiques, la concentration maximale de chl *a* atteinte pendant la floraison (amplitude) était cependant inférieure à la normale dans la plupart des régions (Figure 18). Dans le nord-ouest du GSL, même si la floraison a commencé à temps, le pic a été retardé et de fortes anomalies positives des concentrations de chl *a* en surface ont été observées entre la fin mai et le début juin (Figures 18 et 19). Sur le Plateau madelinien, la floraison printanière généralement observée en avril a été très faible, avec des anomalies négatives des concentrations de chl *a* en surface partout dans le sGSL. La biomasse phytoplanctonique s'est finalement accumulée dans les eaux de surface en juin, atteignant des niveaux supérieurs à la normale ou proches de celle-ci par la suite (Figures 18 et 19). Les estimations statistiques des paramètres de la floraison printanière indiquent une amplitude et une ampleur généralement inférieures à la normale dans l'ensemble du GSL (Figure 20). La durée plus longue de la floraison dans le nord-ouest du GSL, dû à un commencement à temps, mais à un retard du pic, explique l'ampleur supérieure à la normale de la floraison dans cette

région. Il est intéressant de souligner que ces estimations de paramètres, fondées sur une fonction gaussienne décalée (Zhai *et al.*, 2011), laissent croire que la floraison s'est produite plus tôt dans toutes les sous-régions (Figure 20), alors que, selon les observations terrain, la synchronisation était quasi normale (Figure 18). Il a été impossible de mesurer les paramètres de la prolifération printanière sur le Plateau madelinien en 2017, probablement parce qu'elle a été trop faible (Figures 18 et 20).

Partout dans le GSL, la moyenne de la biomasse phytoplanctonique en surface à l'automne se situait généralement près de la normale, de même que la moyenne annuelle (Figures 20 et 21). Il est intéressant de souligner que plusieurs anomalies négatives ont été observées dans différentes régions et saisons depuis 2012 par rapport aux années précédentes. Les anomalies positives observées à l'été 2017 sur le Plateau madelinien et dans le détroit de Cabot, de même que dans le nord-ouest du GSL à l'automne, sont en fait les premières anomalies positives enregistrées depuis 2012. Dans l'ensemble, les images composites (Figures 19 et 21) corroborent les données de terrain (Figure 17), sauf en ce qui concerne la partie est du sGSL, où les données de terrain montrent des anomalies positives au début juin, et les images composites, des valeurs de biomasse proches de la normale. Les écarts mineurs entre les méthodes sont probablement attribuables à la différence dans l'intégration verticale de la chl *a*. Comme il a été souligné ci-dessus, l'imagerie satellitaire permet de faire des estimations pour les quelques mètres près de la surface seulement, tandis que les observations à bord des navires permettent de recueillir des données pour les 100 premiers mètres de la colonne d'eau.

ZOOPLANCTON

Sites de monitoring à haute fréquence

En 2017, la biomasse zooplanctonique aux stations de Rimouski et de la vallée de Shediac a été près de la normale ou inférieure à celle-ci toute l'année, à l'exception d'un échantillon récolté à la fin de l'automne à la station de Rimouski (Figure 22). Le profil à la station de Rimouski a été comparable à la climatologie en ce sens qu'il y a eu une augmentation de biomasse au fil de la saison. Cependant, l'augmentation de la biomasse a perduré pendant l'automne, alors qu'elle demeure habituellement stable ou diminue légèrement durant cette période (Figure 22a). L'échantillonnage ayant été beaucoup moins fréquent à la station de la vallée de Shediac qu'à la station de Rimouski (7 visites contre 34), il est très probable que le profil saisonnier soit incomplet. Malgré la faible biomasse, l'abondance totale des copépodes était près de la normale à la station de Rimouski (Figure 23a), mais la variation saisonnière de l'assemblage des copépodes était considérablement différente de la climatologie à long terme (Figure 23). Bien que *Calanus glacialis* et *Pseudocalanus* spp. apparaissent dans la climatologie, ils ne figuraient pas parmi les 95 % plus abondants en 2017. Les *Calanus* spp., prédominants dans l'assemblage de copépodes du début du printemps jusqu'au début de l'automne durant la période de référence, ont été remplacés par une abondance relative accrue d'espèces de plus petite taille, comme *Microcalanus* spp. et *Triconia borealis*, en 2017 (Figure 23). Dans la vallée de Shediac, la faible biomasse était associée à une abondance des copépodes inférieure à la normale (Figure 24a). Bien que l'assemblage de copépodes dans la vallée de Shediac en 2017 ait été relativement similaire à celui de la période de référence (Figure 24b et c), plusieurs nouveaux venus parmi les taxons prédominants en 2017, y compris les petits copépodes et *Triconia borealis*, ont contribué de façon significative à l'abondance totale des copépodes. *Calanus glacialis* ne faisait pas partie des espèces prédominantes de copépodes en 2017, et l'abondance relative de *C. hyperboreus* a considérablement diminué (Figure 24b et c). Cette importante diminution de l'abondance relative des *Calanus* spp. par rapport à la moyenne à long terme aux deux sites s'explique par une augmentation de l'abondance des petits taxons (*Triconia borealis* aux deux stations; *Microcalanus* spp. à la

station de Rimouski) et par une diminution de l'abondance des *Calanus* spp. aux deux sites (Figures 23 et 24).

L'abondance de *C. finmarchicus* en 2017 était inférieure à la moyenne saisonnière à long terme à la station de Rimouski (Figure 25a). La proportion de jeunes stades copépodites (CI à CIII) a été inférieure à la normale au début de l'été, puis a culminé au début juillet (Figure 25c), alors que la proportion maximale est habituellement observée à la mi-juin (Figure 25b).

L'augmentation de la proportion d'adultes et de CI à CIII à la fin de l'été laisse entrevoir la présence possible d'une deuxième génération (Figure 27c). De même, à la station de la vallée de Shediac, l'abondance de *C. finmarchicus* a été inférieure à la normale pendant la majeure partie de 2017 (Figure 25d), et la proportion de jeunes stades copépodites a été inférieure à la normale pendant l'été (Figure 25e et f).

L'abondance du copépode de grande taille *C. hyperboreus* était supérieure à la moyenne à long terme au début de la saison productive, mais inférieure par la suite à la station de Rimouski (Figure 26a). La proportion relative de sujets adultes (stade CVI) par rapport à l'abondance totale en 2017 a été inférieure à celle de la période de référence, et les copépodites au stade CV ont prédominé pendant la majeure partie de l'année (Figure 26b et c). Dans l'ensemble, la stabilité de la structure des stades à partir de juillet à la station de Rimouski indique que la population était en diapause, principalement au stade CV. L'abondance de *C. hyperboreus* était également inférieure à la normale en 2017 à la station de la vallée de Shediac (Figure 26d), où la proportion des premiers stades en mai représentait presque la moitié de la moyenne pour la période de référence (Figure 26e et f). L'absence totale de *C. hyperboreus* à l'automne limite notre capacité à décrire la tendance saisonnière de la composition par stade à cet endroit (Figure 26f).

L'abondance des *Pseudocalanus* spp. à la station de Rimouski se situait près de la normale au printemps 2017 et sous la normale par la suite, malgré un fort pic des jeunes stades copépodites à la mi-mai (Figure 27a et c). Le moment de ce pic était similaire à celui de la climatologie (Figure 27b et c). Aucun adulte n'a été trouvé dans les échantillons prélevés à l'automne (Figure 27c), alors que les adultes représentent habituellement environ 15 % de l'abondance totale à cette période de l'année à la station de Rimouski (Figure 27b). Dans la vallée de Shediac, l'abondance des *Pseudocalanus* spp. a également été inférieure à la moyenne à long terme pendant la majeure partie de l'année (Figure 27d). Aucune analyse par stade n'a été effectuée pour ces espèces à la station de la vallée de Shediac.

Sous-régions du golfe

Tout comme les observations aux stations d'échantillonnage à haute fréquence, les biomasses totales moyennes de zooplancton au printemps et à l'automne 2017 ont été parmi les plus faibles observées au cours de la période 2000-2017 dans l'oGSL et le sGSL (Figure 28). Dans l'eGSL, la biomasse printanière mesurée a été la plus élevée depuis 2013, tandis que la biomasse automnale a été l'une des plus faibles enregistrées au cours de la série chronologique (Figure 28). Dans l'oGSL, l'abondance de *C. finmarchicus* a atteint un creux record au printemps et était la deuxième plus faible à l'automne au cours de la série chronologique. Son abondance était également très faible dans le sGSL pendant les deux saisons, alors qu'elle atteignait un sommet record dans l'eGSL au printemps (Figure 29). Ce record était associé à un pic d'abondance des CI-CIII (données non illustrées), ce qui donne à penser que l'échantillonnage a été réalisé alors que l'abondance totale était probablement la plus élevée de la saison. L'abondance totale de *C. hyperboreus* était relativement similaire à celle habituellement observée depuis 2000 durant les deux saisons dans l'oGSL et l'eGSL, et à l'automne dans le sGSL. Toutefois, pour la troisième année consécutive, l'abondance au printemps 2017 était nettement inférieure à la normale dans le sGSL (Figure 30). Dans les dernières années, l'abondance des *Pseudocalanus* spp. a augmenté dans toutes les sous-régions du GSL (Figure 31). Elle a cependant connu un recul généralisé dans toutes les sous-régions en 2017, à l'exception de l'eGSL et du sGSL à l'automne. Les modèles de variabilité interannuelle de ces trois copépodes importants concordent généralement avec ceux observés aux stations de monitoring à haute fréquence (station de Rimouski et oGSL, station de la vallée de Shediac et sGSL), compte tenu de leur faible abondance générale aux deux stations (Figures 25, 27a et d). De plus, le relevé automnal indique une forte abondance de *Pseudocalanus* spp. dans le sGSL, ce qui concorde avec l'abondance supérieure à la normale en novembre à la station de la vallée de Shediac (Figure 27d).

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 copédites de *C. finmarchicus*, une espèce de copépode importante, à la station de Rimouski de 1994 à 2017 (Figure 32). En général, il existe une tendance évidente vers le devancement du développement des populations. Cependant, le développement en 2017 était tardif comparativement aux années récentes. En effet, l'augmentation de la proportion des stades adultes (CVI) à la fin juin était parmi les plus tardifs observés depuis 1994, ce qui suggère une sortie tardive de la diapause. Par conséquent, le pic des premiers stades copépodites (CI – CIII) en 2017 a eu lieu au même moment que celui de la deuxième génération des premiers stades copépodites de ces dernières années. La contribution relativement importante du stade adulte à la population en août suggère la venue d'une deuxième génération, même si le développement de la cohorte était tardif en 2017 (Figure 32).

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 33). En 2017, les niveaux de la biomasse zooplanctonique étaient les plus faibles jamais mesurés dans l'oGSL et à la station de la vallée de Shediac, et les deuxièmes plus faibles de la série chronologique dans le sGSL. Le tableau synoptique de la figure 34 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. Les anomalies négatives de l'abondance de *C. finmarchicus* en 2017, dans presque toutes les sous-régions du GSL, s'inscrivent dans la continuité d'une

tendance amorcée en 2009. Par contre, la tendance des anomalies positives de l'abondance des *Pseudocalanus* spp., amorcée à peu près à la même période, a été interrompue en 2017 par des anomalies négatives partout sauf dans l'eGSL. De même, des anomalies négatives ont été observées pour l'ensemble des copépodes dans la plupart des sous-régions en 2017, une première depuis 2013. Enfin, l'abondance des non-copépodes a été supérieure à la normale dans l'eGSL et le sGSL, conformément à une tendance observée depuis 2011. À l'inverse, leur abondance a été inférieure à la normale pour la première fois depuis 2013 dans l'oGSL (Figure 34).

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 35. L'abondance de *C. hyperboreus* était inférieure à la normale dans le sGSL et l'eGSL en 2017; de telles anomalies négatives sont observées fréquemment dans ces deux régions depuis 2010. En lien avec les tendances observées pour *C. finmarchicus* et *Pseudocalanus* spp., on a observé un déclin de l'abondance des grands calanoïdes et une augmentation de celle des petits calanoïdes depuis 2009 (Figure 35). Des anomalies positives de l'abondance des petits calanoïdes ont été observées de nouveau en 2017 à la station de Rimouski et dans l'eGSL, mais une anomalie négative a été observée à la station de la vallée de Shediac. La même distribution d'anomalies a été observée pour les cyclopoïdes (y compris *Triconia/Oncaea*) et pour les petits calanoïdes en 2017. Des anomalies négatives pour les gros calanoïdes ont été observées dans l'ensemble du GSL, exception faite de l'eGSL. Des anomalies positives généralisées pour les espèces de copépodes d'eau chaude ont été observées de nouveau en 2017, conformément à la tendance prédominante depuis 2009. Comme pour les années précédentes, l'anomalie la plus forte a été constatée dans l'oGSL (Figure 35). L'abondance des copépodes d'eau froide se trouvait généralement sous la normale en 2017, sauf dans l'eGSL. Il convient de souligner que les indices d'abondance des espèces d'eau chaude et des espèces d'eau froide-arctique sont mesurés pour des taxons généralement rares, et que des variations mineures de l'abondance pourraient entraîner des variations importantes des anomalies. De plus, tous les indices zooplanctoniques, sauf l'indice d'abondance du *C. hyperboreus*, ont affiché des anomalies positives dans l'eGSL (Figures 34 et 35). De nouveau cette année, ces anomalies annuelles étaient relativement uniformes entre les sites d'échantillonnage à haute fréquence (stations de Rimouski et de la vallée de Shediac) et les sous-régions associées du GSL (Figures 34 et 35).

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 2017, l'apport d'eau douce moyen annuel du fleuve Saint-Laurent a atteint son plus haut niveau depuis 1974 (Galbraith *et al.* 2018), et a nettement contribué à la très forte stratification observée à la station de Rimouski au printemps et à la station de la vallée de Shediac à l'été. Outre la stratification de la colonne d'eau, il y a aussi les propriétés thermiques des masses d'eau superficielles, intermédiaires (couche intermédiaire froide ou CIF, de 30 à 125 m) et profondes qui influent sur la définition de la dynamique du zooplancton (Plourde *et al.* 2002). Galbraith *et al.* (2018) ont fait état des conditions physiques qui prévalaient dans le GSL en 2017, 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 les variations 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 à 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). L'activité bactérienne et la température comptent parmi les nombreux facteurs qui influencent la teneur en oxygène dissous des eaux entrant dans le GSL. La température est particulièrement importante. Dans l'estuaire du Saint-Laurent, il a été démontré que la température compte pour 74 % de la variabilité de la teneur en oxygène au cours de la série chronologique (Galbraith *et al.* 2017). Une variation de 147,4 μM de l'oxygène dissous peut découler d'un écart de température de 10,09 °C dans les masses d'eau sources (Gilbert *et al.* 2005). Par conséquent, en raison de la variabilité du taux de mélange des eaux sources, une diminution de 1,46 μM pourrait se produire chaque fois que la température baisse de 0,1 °C dans le détroit de Cabot. Ces trois dernières années, toutefois, la concentration moyenne d'oxygène dissous en profondeur a été inférieure d'environ 23 μM par rapport à la période de référence dans la région du détroit de Cabot, alors que la température a augmenté d'environ 0,5 °C. Force est donc de conclure que le réchauffement de l'eau de fond n'est pas le seul facteur 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 chaudes 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. 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.* 2018). 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. La faible convection hivernale en 2017 fait donc également partie des facteurs à l'origine de l'anomalie négative généralisée des concentrations de nutriments dans la couche intermédiaire en juin. Une forte stratification durant la première partie de la saison de croissance pourrait avoir limité les remontées d'eau dans les régions qui subissent l'influence de l'eau douce (oGSL et sGSL) et y avoir favorisé un retour à des conditions presque normales à l'automne.

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.* 2018). Il est probable aussi que les concentrations supérieures à la moyenne en profondeur soient associées à une thermocline moins profonde 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.* 2018). Par contraste, des anomalies négatives des concentrations de nutriments en eau profonde ont été

observées à la station de Rimouski pour une deuxième 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 , récemment ajoutée à l'échantillonnage du PMZA dans le GSL, 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 de la répartition des nitrates.

Le rapport N:P est un autre indice qui nécessite de plus amples études, 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 rapport N:P dans l'eGSL en 2017 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 recueillis en mer (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 2017 la diminution des nutriments associée à la productivité printanière a été inférieure à la normale dans les régions où l'apport d'eau douce du fleuve Saint-Laurent a une incidence directe (Ohashi et Sheng 2013), mais près de la normale ailleurs. D'après cet indice, le possible apport massif en nutriments associé à la forte crue de 2017 pourrait faire croire à tort à une faible productivité printanière dans l'oGSL et la partie ouest du sGSL. Toutefois, les observations satellitaires au cours de la floraison printanière tendent à confirmer que son amplitude et son ampleur ont été relativement faibles dans l'ensemble du GSL. Il est à noter que le moment et l'intensité de la floraison printanière dans l'estuaire du Saint-Laurent sont fortement influencés par l'intensité de l'apport d'eau douce et la turbidité associée à celle-ci (Levasseur *et al.* 1984; Therriault et Levasseur, 1985; Zakardjian *et al.* 2000; Le Fouest *et al.* 2010; Mei *et al.* 2010). Dans les régions les plus influencées par le débit sortant du fleuve Saint-Laurent, le fort apport d'eau douce – et probablement de particules en suspension susceptibles d'augmenter la turbidité – pourrait avoir empêché l'accumulation de biomasse phytoplanctonique, soit parce que la biomasse a été charriée plus en aval, soit parce que la croissance du phytoplancton a été ralentie par la plus faible disponibilité de lumière.

Toutefois, les paramètres de la floraison, estimées à partir de la fonction gaussienne (Zhai *et al.* 2011), portent à croire que l'ampleur de la floraison a été supérieure à la normale dans l'oGSL en raison de sa plus longue durée, mais aussi en raison d'un début précoce partout dans le GSL. Ces résultats contrastent toutefois avec ce qui a été observé (Figure 18), à savoir que la prolifération en 2017 n'est pas vraiment survenue à un moment différent de la moyenne à long terme et qu'elle n'a pas vraiment été plus longue dans l'oGSL; la seule différence semble avoir été le retard du pic maximal de floraison. L'effet de la faible biomasse printanière, telle qu'elle a été mesurée en 2017 dans l'ensemble du GSL, sur l'exactitude de certaines estimations des paramètres de la floraison, notamment son déclenchement (soit la date à laquelle la concentration de chl *a* atteint 20 % de l'amplitude de la prolifération; Zhai *et al.* 2011), nécessite une étude approfondie pour déterminer si elle peut introduire des biais. La moyenne annuelle de la biomasse se situait près de la normale selon les observations satellitaires, et les données de terrain ont confirmé les fortes anomalies positives des concentrations de chl *a* pendant l'été dans le sGSL. La faible biomasse zooplanctonique observée dans l'ensemble du GSL en 2017

et la réduction conséquente de la pression de broutage auraient pu favoriser une croissance du phytoplancton supérieure à la normale malgré une prolifération printanière relativement faible dans cette région. Il s'agit des premières anomalies positives enregistrées pendant l'été dans le sGSL depuis que nous avons commencé à utiliser les données du satellite VIIRS, en 2012. 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. Ce rendement supérieur pourrait expliquer en partie pourquoi la plupart des anomalies des estimations de la biomasse à partir des données satellitaires sont négatives depuis que nous avons commencé à utiliser 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 sous-régions statistiques. Le cas échéant, ils pourraient modifier le profil des anomalies des séries chronologiques.

Les diatomées se trouvent habituellement dans des environnements riches en nutriments et bien mélangés puisqu'elles dépendent principalement des nitrates pour satisfaire leurs besoins en azote; les cellules plus petites telles que les flagellés et les dinoflagellés sont associées à des environnements stratifiés pauvres en nutriments, et utilisent principalement des formes réduites d'azote, comme l'ammonium (Levasseur *et al.* 1984; Li et Harrison 2008). Ainsi, l'environnement hautement stratifié prédominant à la station de Rimouski au printemps et à la station de la vallée de Shediac en été – et probablement ailleurs dans l'oGSL et le sGSL pendant les mêmes saisons – a probablement été favorable aux communautés phytoplanctoniques composées de flagellés. 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 les résultats à d'autres sous-régions du GSL. L'on peut penser néanmoins que la présence de communautés dominées par les flagellés pourrait expliquer la faiblesse de la biomasse phytoplanctonique dans les deux stations de monitoring à haute fréquence et dans l'oGSL en 2017. Malgré la prépondérance généralisée des flagellés en 2017, les diatomées ont été à l'origine de la forte floraison enregistrée à la fin de l'été à la station de Rimouski. Une seconde floraison de phytoplancton peut être favorisée à la fin de l'été ou au début de l'automne lorsque les vents sont assez forts pour briser la stratification et faire remonter à la surface les eaux profondes riches en nutriments. Selon les observations des profils verticaux de la salinité (Figure 63 dans Galbraith *et al.* 2018) et des nitrates à la station de Rimouski, la forte floraison automnale a suivi l'intrusion d'eau plus salée et riche en nutriments depuis les profondeurs jusqu'à la couche superficielle. Par conséquent, les paramètres environnementaux ayant une incidence sur le déclenchement de la stratification et son intensité tout au long de la saison de production pourraient jouer un rôle essentiel dans la détermination de la biomasse phytoplanctonique et de la composition des communautés, ainsi que dans la survenue d'une seconde floraison.

ZOOPLANCTON

L'une des caractéristiques les plus frappantes en 2017 a été la très faible biomasse zooplanctonique pour une troisième année consécutive dans l'ensemble du GSL, exception faite de l'eGSL au printemps. Selon les sous-régions, la diminution estimée de la biomasse se situe entre 2 et 4 g C m⁻² par rapport à la moyenne à long terme. Dans le sGSL, il s'agit d'une baisse de 90 % environ de la biomasse totale moyenne à long terme. Il est probable qu'elle soit associée à la diminution de l'abondance des espèces zooplanctoniques de grande taille, particulièrement dans le sGSL. Le poids moyen des calanoïdes de grande taille (p. ex., *C. hyperboreus*, 4 g 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 g 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 la diminution de l'abondance des *Pseudocalanus* spp. enregistrée dans la plupart des sous-régions du GSL en 2017.

La faible amplitude de la floraison printanière, la proportion réduite des diatomées dans l'assemblage du phytoplancton au début de la saison de croissance et le retard dans l'accumulation de la biomasse phytoplanctonique peuvent tous avoir contribué aux anomalies négatives généralisées de l'indice d'abondance des calanoïdes de grande taille. Il a été avancé par ailleurs que le fort apport d'eau douce du fleuve Saint-Laurent observé au printemps en 2017 a pu provoquer une diminution du transport des espèces de *Calanus* vers le sGSL (Runge *et al.* 1999; Galbraith *et al.* 2018), surtout si l'on considère la faible abondance mesurée à Rimouski au printemps. 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 de la masse d'eau – pourrait expliquer les différences dans la distribution de ces espèces (p. ex. les fortes anomalies négatives de l'abondance de *C. finmarchicus* et l'abondance quasi normale de *C. hyperboreus* dans l'oGSL). Il est aussi possible que la forte pression de prédation exercée par la succession de cohortes massives de sébastes locaux largement planctophages (*Sebastes mentella*) dans le nord du GSL ait persisté jusqu'en 2017 (Bourdages *et al.* 2017). Cela dit, à défaut d'une évaluation quantitative de l'incidence de la prédation par les sébastes sur les grands copépodes dans le GSL, cette hypothèse ne peut être validée.

Pour la première fois depuis 2013, l'abondance des *Pseudocalanus* spp. et l'abondance totale des copépodes ont été inférieures à la normale dans le sGSL et l'oGSL, tout comme l'abondance des non-copépodes dans l'oGSL et l'indice d'abondance des cyclopoïdes à la station de la vallée de Shediac. Tous ces indices ont pour la plupart révélé des anomalies positives généralisées depuis 2008, et laissent entrevoir un changement global en faveur d'espèces zooplanctoniques plus petites qui pourrait avoir une incidence sur le réseau trophique pélagique et le couplage pélogo-benthique. La prédominance croissante des petits taxons est principalement attribuable aux *Pseudocalanus* spp. et peut s'expliquer par l'abondance constamment inférieure à la normale de *C. finmarchicus* depuis 2009 dans l'ensemble du GSL, laquelle aurait pu favoriser le recrutement des *Pseudocalanus* spp. en réduisant la compétition pour des aliments adéquats. En effet, les profils d'anomalies inverses observés pour ces deux taxons de copépodes pendant la période d'étude (1999 à 2016; Figure 34) pourraient révéler qu'elles sont en concurrence. Il semble toutefois qu'en 2017 les conditions environnementales n'étaient pas favorables à la croissance de la plupart des groupes de zooplancton, y compris les *Pseudocalanus* spp., dans presque toutes les sous-régions du GSL. Seul l'eGSL a fait exception : tous les indices zooplanctoniques y présentaient des anomalies positives, sauf celui de *C. hyperboreus*. Le courant de Gaspé plus fort qui a résulté de l'apport exceptionnel d'eau du fleuve Saint-Laurent (Ohashi et Sheng 2013) a pu faciliter l'exportation de zooplancton de l'oGSL à l'eGSL. En outre, la sous-région de l'eGSL a probablement été la moins touchée par l'apport d'eau douce à l'origine des variations dans la stratification, l'assemblage et le développement des ressources alimentaires dans d'autres sous-régions, et pourrait de ce fait avoir bénéficié de meilleures conditions de croissance. Il convient de souligner les anomalies positives de l'abondance des *Pseudocalanus* spp. constatées partout le long des sections de Terre-Neuve-et-Labrador en 2017, ainsi que les anomalies positives de l'abondance du *C. finmarchicus* dans les deux sections les plus au sud (MPO 2018). Ainsi, il se peut que les conditions environnementales favorables le long du plateau continental de Terre-Neuve-et-Labrador aient aussi contribué à améliorer la survie et la croissance de ces copépodes dans l'eGSL.

La température élevée de toute la colonne d'eau tout au long de 2017 pourrait également avoir entraîné des changements dans la composition des communautés. Les copépodes d'eau chaude ont montré de fortes anomalies positives presque partout en 2017, mais en particulier dans l'oGSL. Dans la plupart des régions, ces anomalies étaient en grande partie attribuables à

Metridia lucens (données non illustrées). Les *Centropages* spp. ont également fortement contribué à ces anomalies positives dans le sGSL et l'eGSL (données non illustrées). *Metridia lucens* est un important migrateur vertical, principalement associé à des conditions tempérées. Par conséquent, il a peut-être profité d'une couche profonde plus chaude et plus salée, ainsi que des conditions plus chaudes à la surface devenues caractéristiques du GSL ces dernières années. Malgré des conditions généralement chaudes, l'eGSL a montré des anomalies positives dans le cas des copépodes d'eau froide-arctique la plupart du temps depuis 2007, y compris en 2017. Ces anomalies sont dues principalement à l'abondance relativement élevée de *M. longa* (données non illustrées). L'on sait que les jeunes stades copépodites exploitent les agrégats de phytoplancton qui tombent vers le fond et la microfaune connexe de la zone mésopélagique (Grønvik et Hopkins 1984; Plourde *et al.* 2002). Les algues qui peuvent proliférer sous la glace qui pénètrent dans le GSL par le détroit de Belle-Isle au printemps pourraient représenter une source de nourriture intéressante pour cette espèce adaptée au froid (Tremblay *et al.* 1989) ainsi que pour les femelles de *C. glacialis*, dont la maturation et la reproduction hâtives sont favorisées par la prolifération d'algues de glace de qualité (Søreide *et al.* 2010). En 2017, l'advection des glaces dans le détroit de Belle-Isle a été à l'origine du plus important volume de glace enregistré en juin depuis 1969 (Galbraith *et al.* 2018). Par ailleurs, des températures inférieures à la normale dans la couche superficielle et la CIF durant une grande partie de l'année dans certaines petites régions de l'eGSL telles que Mecatina Through (Figure 55 dans Galbraith *et al.* 2018) pourraient avoir favorisé la croissance d'espèces d'eau froide-arctique dans l'eGSL. Cependant, les relations de cause à effet entre les conditions environnementales et la composition des communautés zooplanctoniques demeurent conjecturales puisqu'elles n'ont pas encore fait l'objet d'analyses dans le cadre du PMZA.

Outre leur effet potentiel sur l'assemblage zooplanctonique, l'on peut penser que les conditions environnementales locales en 2017 expliquent le développement tardif de *C. finmarchicus* par rapport aux années précédentes à la station de Rimouski, lequel pourrait avoir des répercussions sur les niveaux trophiques supérieurs. À la station de Rimouski, le début tardif de la floraison printanière dû à la forte stratification a probablement retardé la reproduction et réduit la survie et le développement des juvéniles. La croissance et le développement des *Pseudocalanus* spp. dépendent également de la phénologie de la floraison du phytoplancton, mais l'assemblage de copépodites à la station de Rimouski indique que le moment du développement en 2017 a été très semblable à celui de la période de référence. Cependant, la quasi-absence de jeunes stades copépodites à l'automne laisse également croire à une survie moindre des juvéniles et à un développement plus lent pour ce taxon. La proportion moindre d'adultes (stade copépodite CVI) dans les populations de *C. hyperboreus* à la station de Rimouski en 2017, phénomène régulièrement observé à l'automne depuis 2009 dans l'oGSL et l'eGSL (données non illustrées), laisse aussi entrevoir des changements dans le cycle biologique de cette espèce. Il est possible en effet que la proportion de femelles multipares, qui ont généralement un cycle de vie pluriannuel, ait diminué. 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 facteurs n'est pas encore bien comprise.

SOMMAIRE

Le présent document traite des conditions chimiques et biologiques (plancton) dans le GSL en 2017 dans le contexte d'un fort réchauffement ayant commencé en 2010. Les données de 2017 sont comparées aux observations de la série temporelle.

- La crue printanière exceptionnelle a entraîné une forte stratification de la colonne d'eau au printemps et en été aux stations de Rimouski et de la vallée de Shediac.

-
- En 2017, les concentrations d'oxygène dissous ont fortement diminué dans le GSL, atteignant les valeurs les plus basses observées depuis 2000 dans toutes les régions, exception faite du nord-ouest.
 - Les concentrations de nitrates en surface (0 à 50 m) ont été généralement proches de la moyenne à long terme pendant la majeure partie de l'année dans toutes les sous-régions du GSL, malgré la faible convection hivernale. Les fortes anomalies positives des concentrations de nutriments en eau profonde (> 200 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.
 - Selon l'imagerie satellitaire, l'amplitude et l'ampleur de la floraison printanière ont été généralement inférieures à la normale dans l'ensemble du GSL. Une diminution légère des nutriments entre les échantillonnages hivernal et estival dans l'oGSL et autour de la péninsule gaspésienne corrobore ces observations.
 - À la station de Rimouski, le retard de la floraison printanière a été attribué à l'accumulation d'eau douce dans la couche superficielle et à une forte stratification. À l'exception des courtes floraisons au printemps et à la fin de l'été, la biomasse phytoplanctonique est demeurée sous la normale toute l'année. À la station de la vallée de Shediac, la biomasse annuelle était près de la normale. La proportion des diatomées dans l'assemblage phytoplanctonique était inférieure à celles qui ont été observées aux deux sites au cours de la période de référence.
 - Au printemps et à l'automne, la biomasse zooplanctonique était inférieure à la normale en 2017 dans l'ensemble du GSL en raison de la diminution de l'abondance de copépodes de grande taille, dont *C. finmarchicus* dans l'oGSL et *C. hyperboreus* dans l'eGSL et le sGSL. L'abondance des *Pseudocalanus* spp. a également présenté des anomalies négatives dans la plupart des régions, une première depuis 2007.
 - Des conditions de croissance défavorables dans l'oGSL et le sGSL, notamment la diminution des ressources alimentaires et la pression accrue de la prédation, sont avancées comme causes possibles des faibles biomasses et abondances zooplanctoniques dans ces régions. Au contraire, presque tous les indices zooplanctoniques révélaient des anomalies positives dans l'eGSL, ce qui pourraient s'expliquer par l'advection du zooplancton dans l'eGSL à partir des régions sources par un courant de Gaspé inhabituellement fort, ou par l'advection de glace de mer qui pourrait avoir été utilisée comme source alimentaire (algues de glace) par des espèces adaptées au froid.
 - Des anomalies positives dans les indices d'abondance des copépodes d'eau chaude ont été mesurées à l'échelle du GSL en 2017; elles étaient particulièrement marquées dans l'oGSL, probablement en raison d'une abondance accrue du *M. lucens*.
 - Les conditions locales à la station de Rimouski ont retardé le développement de *C. finmarchicus* par rapport aux années précédentes, ce qui pourrait avoir eu des répercussions sur les niveaux trophiques supérieurs. En 2017, le développement de cette espèce clé a été le plus tardif depuis 2005.

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, Liliane 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 Emmanuel Devred et Pierre Pepin 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.
- Bourdages, H., Brassard, C., Desgagnés, M., Galbraith, P., Gauthier, J., Légaré, B., Nozères, C., et Parent, E. 2017. [Résultats préliminaires du relevé multidisciplinaire de poissons de fond et de crevette d'août 2016 dans l'estuaire et le nord du golfe du Saint-Laurent](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2017/002. v + 88 p.
- 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.
- 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.
- Galbraith, P. S. 2006. Winter water masses in the Gulf of St. Lawrence. *J. Geophys. Res.* 111, C06022, doi: 10.1029/2005JC003159.
- Galbraith, P. S., Desmarais, R., Pigeon, R., et Cantin, S. 2006. [Ten years of monitoring winter water masses in the Gulf of St. Lawrence by helicopter](#). AZMP Bulletin PMZA 5: 32–35.
- Galbraith, P.S., Chassé, J., Caverhill, C., Nicot, P., Gilbert, D., Pettigrew, B., Lefavre, D., Brickman, D., Devine, L., et Lafleur, C. 2017. [Conditions océanographiques physiques dans le golfe du Saint-Laurent en 2016](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2017/044. v + 91 p.
- Galbraith, P.S., Caverhill, C., Chassé, J., Nicot, P., Gilbert, D., Lefavre, D., et Lafleur, C. 2018. [Conditions océanographiques physiques dans le golfe du Saint-Laurent en 2017](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2018/050. v + 79 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.
- Grønvik, S., et Hopkins, C. C. E. 1984. Ecological investigations of the zooplankton community of Balsfjorden, northern Norway: Generation cycle, seasonal vertical distribution, and seasonal variations in body weight and carbon and nitrogen content of the copepod *Metridia longa* (Lubbock). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 80: 93–107.
- 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.
- Le Fouest, V., Zakardjian, B., et Saucier, F. J. 2010. Plankton ecosystem response to freshwater-associated bulk turbidity in the subarctic Gulf of St. Lawrence (Canada): A modelling study. *J. Mar. Syst.* 81(1-2): 75–85.
- Levasseur, M., Therriault, J.-C., et Legendre, L. 1984. Hierarchical control of phytoplankton succession by physical factors. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 19: 211–222.
- Li, W. K. W., et Harrison, W. G. 2008. Propagation of an atmospheric climate signal to phytoplankton in a small marine basin. *Limnol. Oceanogr.* 53(5): 1734–1745.
- 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.
- Mei, Z.-P., Saucier, F., Le Fouest, V., Zakardjian, B., Sennville, S., Xie, H., et Starr, M. 2010. Modeling the timing of spring phytoplankton bloom and biological production of the Gulf of St. Lawrence (Canada): Effects of colored dissolved organic matter and temperature. *Cont. Shelf Res.* 30: 2027–2042.
- Mitchell, M. R., Harrison, G., Pauley, K., Gagné, A., Maillet, G., and Strain, P. 2002. [Atlantic Zonal Monitoring Program sampling protocol](#). Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 223: iv + 23 pp.
- MPO. 2018. [Conditions océanographiques dans la zone Atlantique en 2017](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2018/039.
- Ohashi, K., et Sheng, J. 2013. Influence of St. Lawrence River discharge on the circulation and hydrography in Canadian Atlantic waters. *Cont. Shelf Res.* 58: 32-49.
- Pepin, P., Maillet, G., Fraser, S., Shears, T., et Redmond, G. 2013. [Optical, chemical, and biological oceanographic conditions on the Newfoundland and Labrador Shelf during 2011-12](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2013/051. v + 38 p.
- Plourde, S., Dodson, J. J., Runge, J. A., et Therriault, J.-C. 2002. Spatial and temporal variations in copepod community structure in the lower St. Lawrence Estuary, Canada. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 230: 221–224.
-

-
- Plourde, S., 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.
- Søreide, J.E., Leu, E., Berge, J., Graeve, M., et Falk-Petersen, S. 2010. Timing of blooms, algal food quality and *Calanus glacialis* reproduction and growth in a changing Arctic. Glob. Change Biol. doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02175.x.
- Therriault, J.-C., et Levasseur, M. 1985. Control of phytoplankton production in the Lower St. Lawrence Estuary: light and freshwater runoff. Nat. Can. 112: 77–96.
- Therriault, J.-C., Petrie, B., Pépin, P., Gagnon, J., Gregory, D., Helbig, J., Herman, A., Lefavre, D., Mitchell, M., Pelchat, B., Runge, J., et Sameoto, D. 1998. Proposal for a Northwest Atlantic zonal monitoring program. Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 194: vii + 57 pp.
- Tremblay, C., Runge, J. A., et Legendre, L. 1989. Grazing and sedimentation of ice algae during and immediately after a bloom at the ice-water interface. Mar. Ecol. Prog. Ser. 56: 291–300.
- 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.
- Zakardjian, B. A., Gratton, Y., et Vézina, A. F. 2000. Late spring phytoplankton bloom in the Lower St. Lawrence Estuary: the flushing hypothesis revisited. Mar. Ecol. Prog. Ser. 192: 31–48.
- Zhai, L., Platt, T., Tang, C., Sathyendranath, S., et Hernández Walls, R. 2011. Phytoplankton phenology on the Scotian Shelf. ICES J. Mar. Sci. 68: 781–791, doi:10.1093/icesjms/fsq175.
- Zibordi, G., Mélin, F., et Berthon, J.-F. 2006. Comparison of SeaWiFS, MODIS and MERIS radiometric products at a coastal site. Geophys. Res. Letters 33: L06617, doi:10.1029/2006GL0257.

TABLEAUX

Tableau 1. Liste des relevés du PMZA indiquant les emplacements, les dates et les activités d'échantillonnage pour 2017. 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 (2017)	Navire	CTD/bouteille	Filet
Fixe	Rimouski	48°40.0'N 068°35.0'W	7 Fév – 4 Déc	Beluga II (+ autres)	35	34
	Vallée de Shediac	47°46.8'N 064°01.8'W	11 Mar – 13 Nov	Multiple	7	7
Relevé hivernal	-	Estuaire et golfe	1 – 12 Mars	Earl Grey	42	20
Relevé estival	TESL	oGSL	28 Mai – 19 Juin	Teleost	7	7
	TSI	oGSL	28 Mai – 19 Juin	Teleost	6	6
	TASO	oGSL	28 Mai – 19 Juin	Teleost	5	5
	TIDM	sGSL	28 Mai – 19 Juin	Teleost	10	10
	TDC	eGSL	28 Mai – 19 Juin	Teleost	6	6
	TCEN	eGSL	28 Mai – 19 Juin	Teleost	5	4
	TBB	eGSL	28 Mai – 19 Juin	Teleost	7	7
Total					46	45
Relevé automnal	TESL	wGSL	7–30 Nov	Coriolis II	7	7
	TSI	wGSL	7–30 Nov	Coriolis II	6	6
	TASO	wGSL	7–30 Nov	Coriolis II	5	5
	TIDM	sGSL	7–30 Nov	Coriolis II	10	10
	TDC	eGSL	7–30 Nov	Coriolis II	4	4
	TCEN	eGSL	7–30 Nov	Coriolis II	5	5
	TBB	eGSL	7–30 Nov	Coriolis II	7	7
Total					44	44

FIGURES

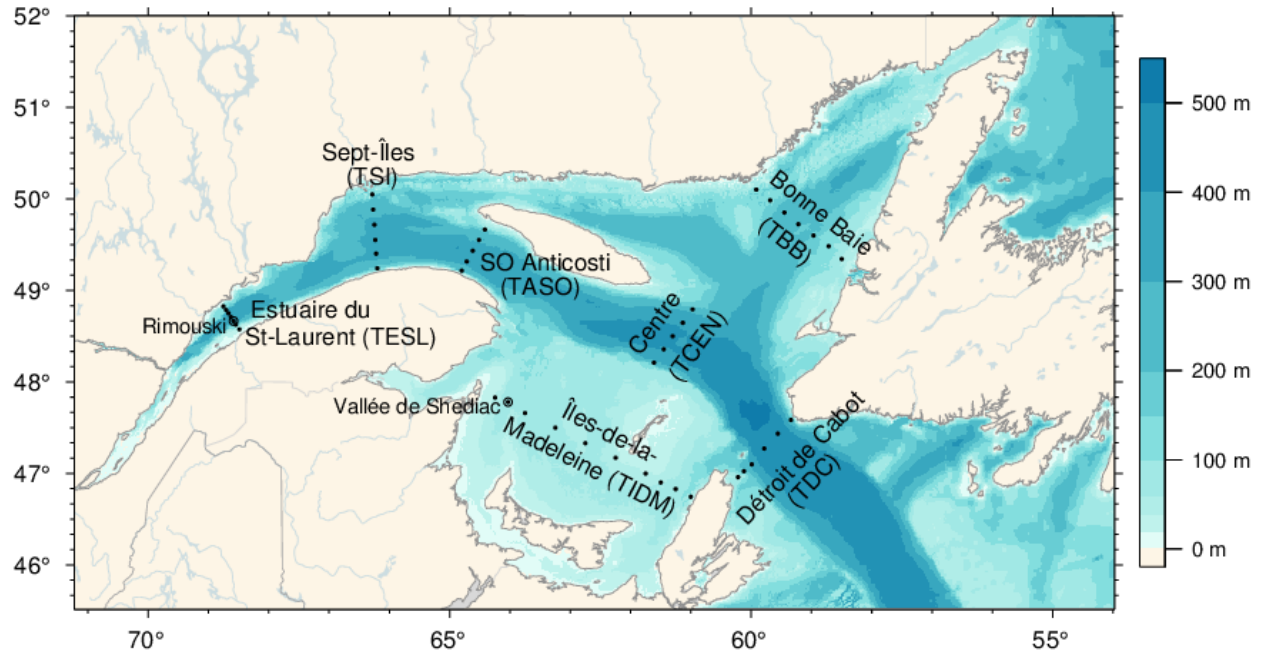


Figure 1. Carte bathymétrique de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent montrant les stations d'échantillonnage sur les différentes sections (points) ainsi qu'aux stations fixes de Rimouski et de la vallée de Shediac (cercles). Les sections ont été regroupées pour former des sous-régions dans l'ouest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

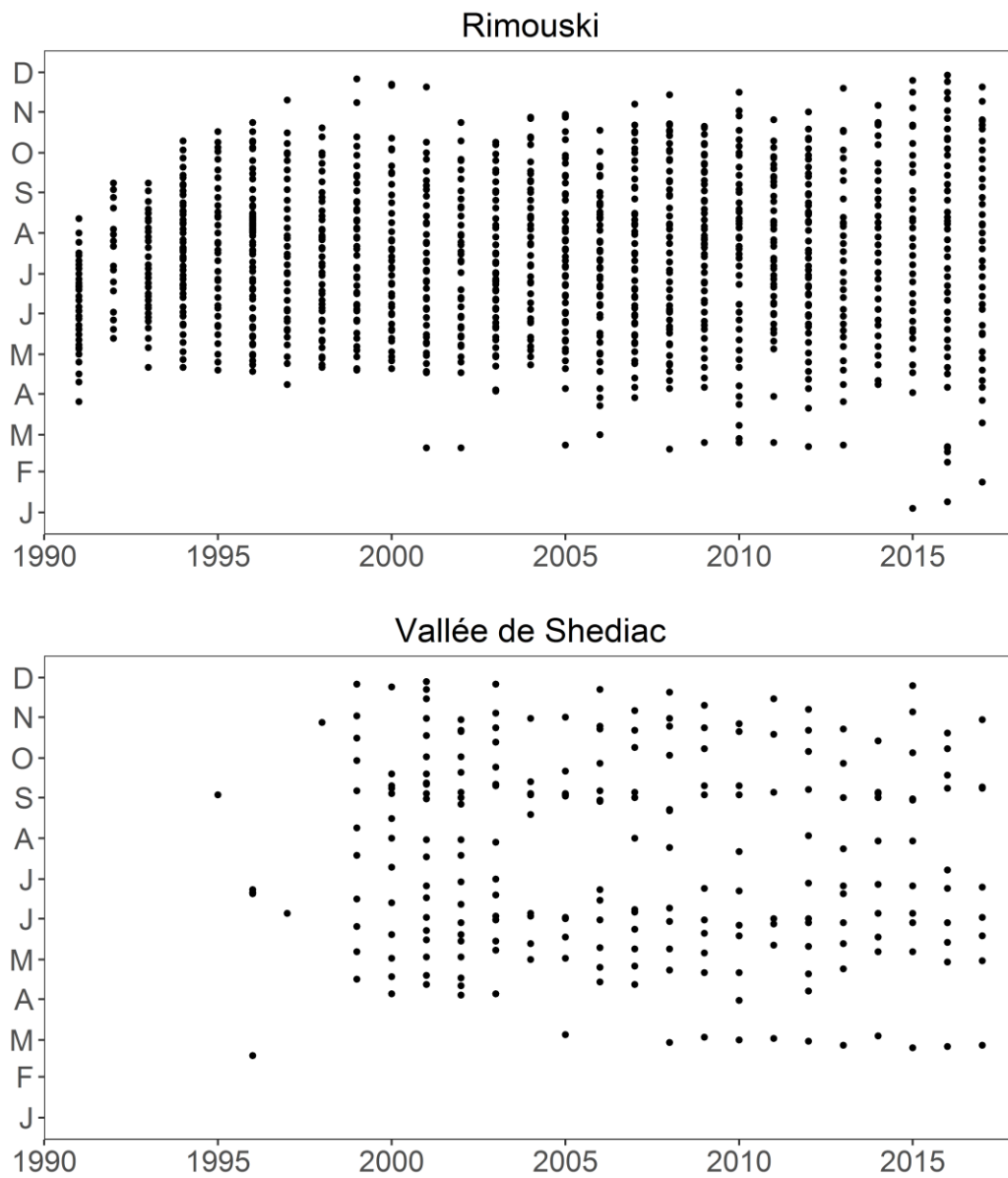


Figure 2. Fréquences d'échantillonnage aux stations de Rimouski et de la vallée de Shediac en 2017. L'échantillonnage comprenait les données CTD/bouteille ainsi que des traits de filet à plancton la plupart du temps (si les conditions météorologiques le permettaient).

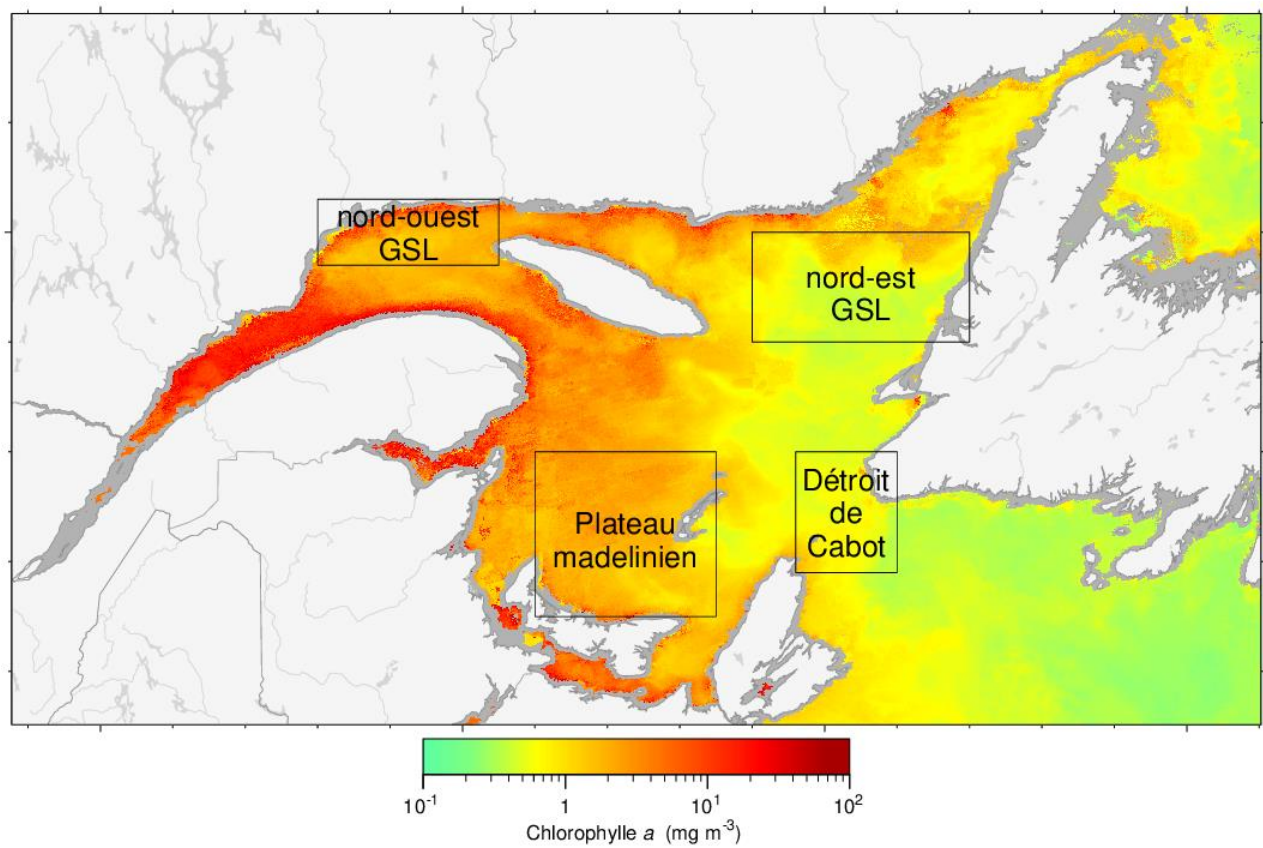


Figure 3. Sous-régions statistiques du golfe du Saint-Laurent (GSL) utilisées pour l'analyse spatio-temporelle des données satellites de la couleur de l'océan. La figure est une image composite du VIIRS montrant la chlorophylle a du 16 au 30 juin 2017. Le gris indique l'absence de données (dans le cas présent, les régions littorales).

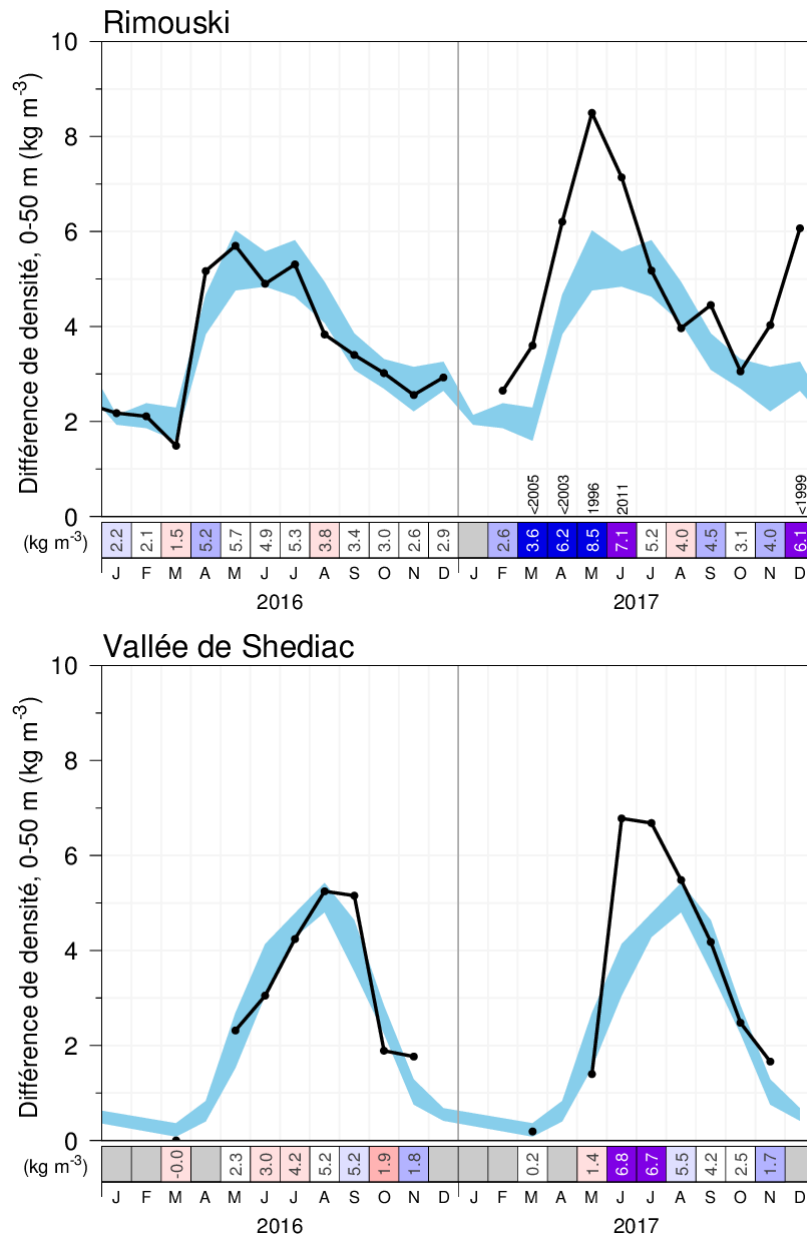


Figure 4. Indice de stratification saisonnière (calculé comme étant la différence de densité entre 50 m et la surface) en 2016 et en 2017 aux stations de Rimouski (panneau supérieur) et de la vallée de Shediac (panneau inférieur). Le bleu représente la moyenne mensuelle climatologique $\pm 0,5$ écart-type (1991 à 2010 pour Rimouski et 1981 à 2016 pour la vallée de Shediac). Les tableaux synoptiques utilisent un code de couleur inversé; les anomalies positives sont indiquées en bleu et elles correspondent à une faible salinité et une forte stratification. Les nombres dans le tableau synoptique représentent la différence de densité mensuelle en kg/m^3 . Pour les anomalies dont l'écart-type est supérieur à 2, l'année précédente ayant connu une anomalie supérieure est indiquée.

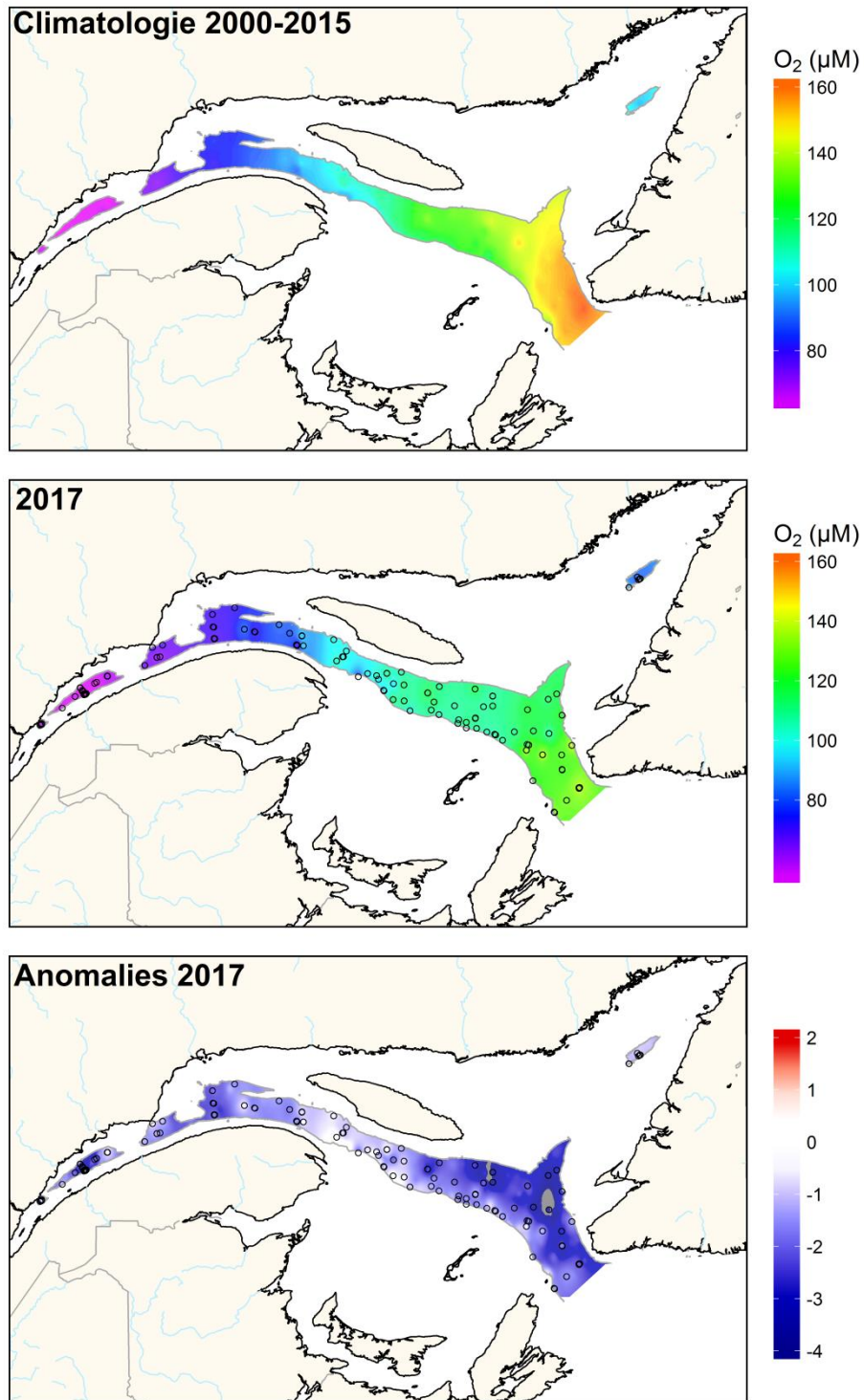
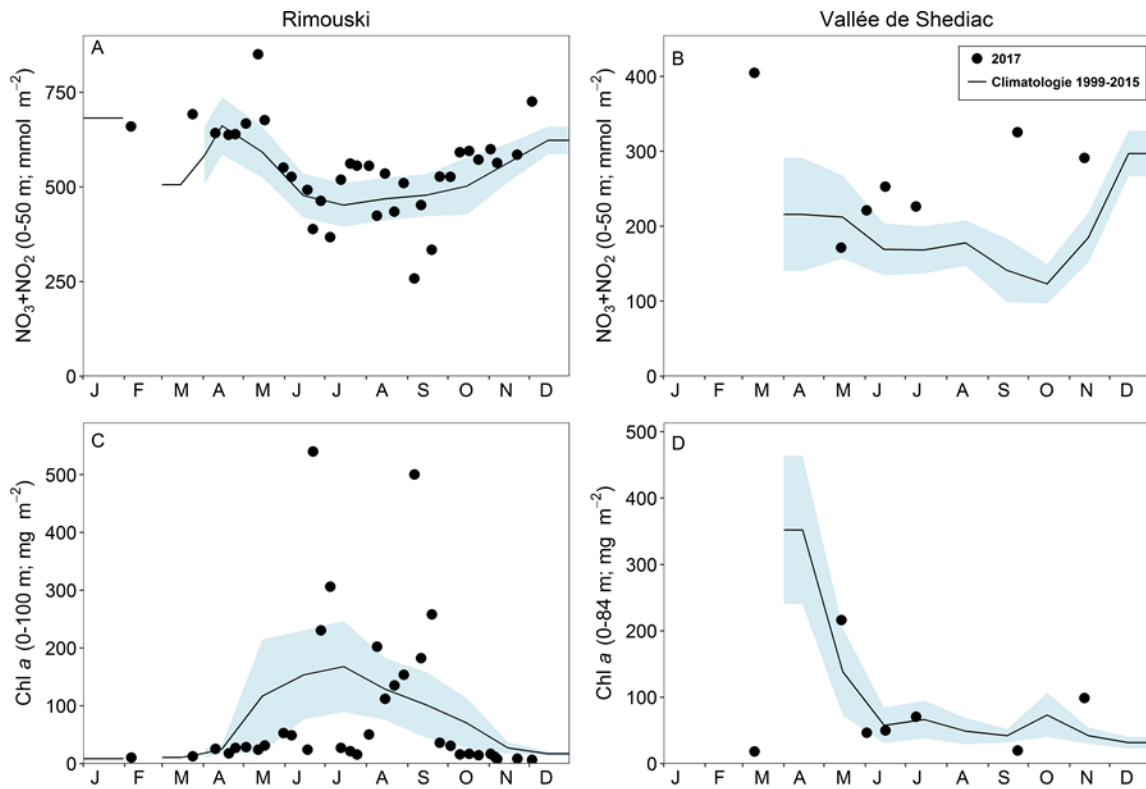


Figure 5. Distribution moyenne annuelle des concentrations d'oxygène dissous à une profondeur de 300 m dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent en 2017 (panneau supérieur). La climatologie (2000–2015; panneau du centre) et les anomalies (panneau du bas) sont également montrées. Le bleu indique les anomalies inférieures à la moyenne et le rouge, celles supérieures à la moyenne.



Rimouski

E

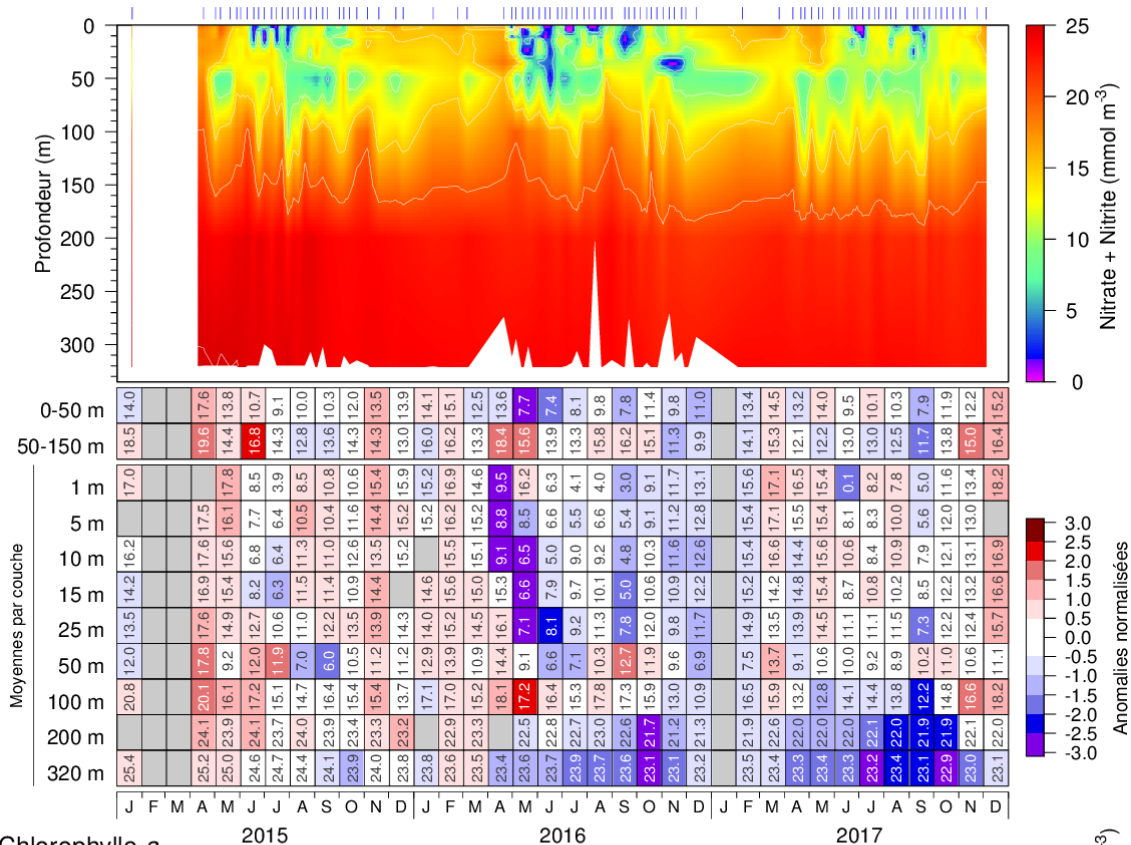
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Moy.	É.T.
Chl a 0-100m	1.83	-0.42	0.39	-0.28	0.42	-0.78	-0.57	-0.53	0.2	-0.79	-0.14	-0.19	-0.32	0.25	-0.23	0.85	0.02	1.98	-0.13	86.8	65.9
Nitrate 0-50m	0	0.46	-0.06	1.33	-0.24	0.71	-0.63	-0.03	-0.58	0.55	-0.36	-1.25	-0.5	-0.21	0.09	0.28	0.52	-0.8	0.28	539.1	90.4
Nitrate 50-150m	-0.32	-0.25	0.4	0.92	-0.47	-0.29	0.09	0.39	0.66	-0.35	0.2	-1.08	-0.7	0.08	-0.44	0.61	0.54	0.11	-0.2	1449	188.8
Nitrate 150-320m	1.29	-0.99	-1.39	0.66	0.11	0.35	1	1.38	0.47	-0.93	0.25	-0.88	-0.58	-0.58	-0.01	0.18	0.46	-1.37	-1.68	4036.1	123.2

Vallée de Shediac

Chl a 0-100m	-0.46	-0.34	-0.13	1.48	0.17	-0.44	-0.42	0.08	0.41	0.6	-0.07	-0.28	-0.74	-0.14	0.33	-0.35	-0.41	-0.58	0.36	91.7	62
Nitrate 0-50m	0.29	0.56	-0.03	0.24	0.25	0.53	-0.64	0.32	-1.17	-0.2	0.52	-1.13	-0.09	0.09	0.06	0.7	-0.34	-0.09	1.32	187.9	72.1
Nitrate 50-84m	0.08	0.88	0.21	0.57	0.03	-0.2	-0.43	0.86	-1.17	0.13	0.07	-1.45	-0.96	-0.08	-0.14	0.64	0.05	0.07	0.29	290.6	62.3
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Moy.	É.T.

Figure 7. Concentrations de nitrate (0–50 m; panneaux supérieurs) et teneurs en chlorophylle a (0–100 m pour Rimouski et 0–84 m pour la vallée de Shediac; panneaux inférieurs) en 2017 (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 la droite du tableau synoptique. Le bleu indique les anomalies inférieures à la moyenne et le rouge, celles supérieures à la moyenne.

Rimouski - Nitrate + Nitrite



Chlorophylle a

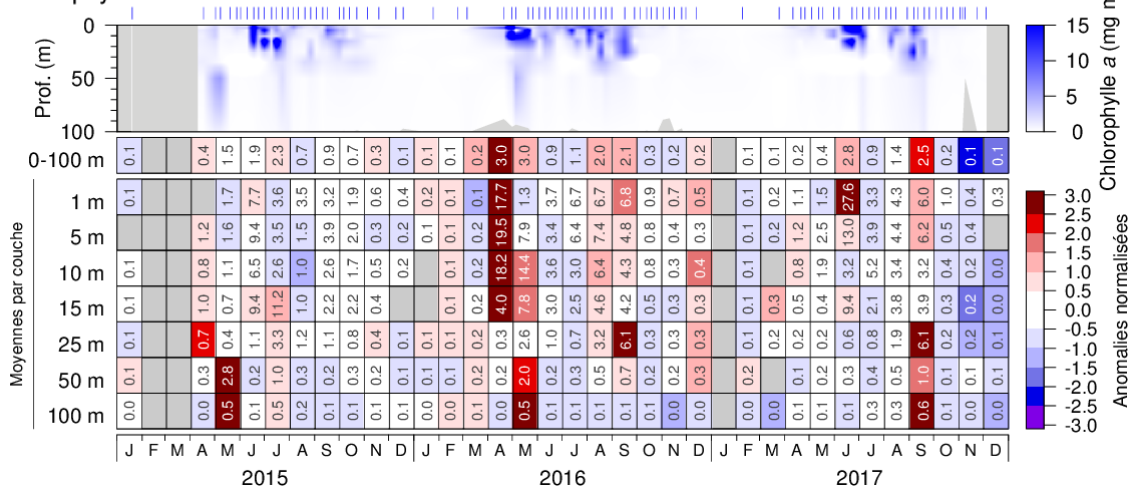
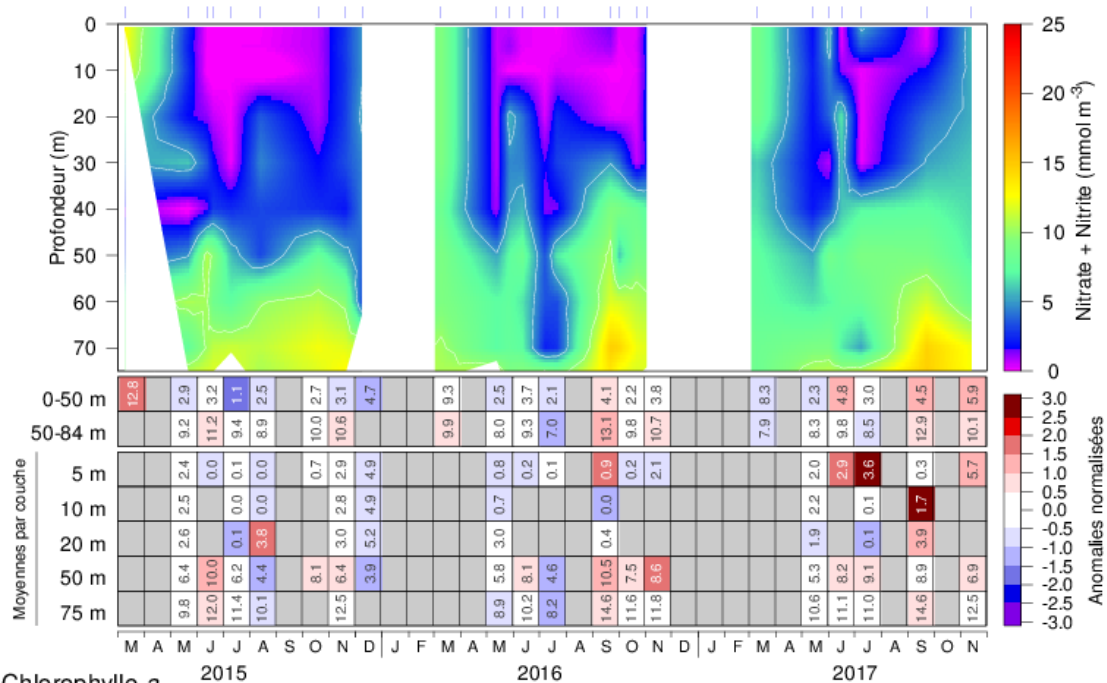


Figure 8. Concentrations de nitrate (haut) et de chlorophylle a (bas) à la station de Rimouski lors des saisons d'échantillonnage de 2015 à 2017. Les tracés de contours sont élaborés à partir de données de sorties individuelles tandis que les moyennes mensuelles sont indiquées dans les tableaux sous les graphiques (nitrates : mmol/m³; chl a : mg/m³). La couleur des cellules indique les anomalies normalisées selon la climatologie de 1991 à 2015 : le bleu indique les anomalies inférieures à la moyenne et le rouge, celles supérieures à la moyenne. En mars, la moyenne mensuelle intégrée (0–50 m) et la moyenne en fonction de la profondeur pour la période de référence ne comprennent pas la même quantité de données, ce qui peut entraîner une incohérence des anomalies entre les valeurs intégrées et les valeurs en fonction de la profondeur.

Vallée de Shediac - Nitrate + Nitrite



Chlorophylle a

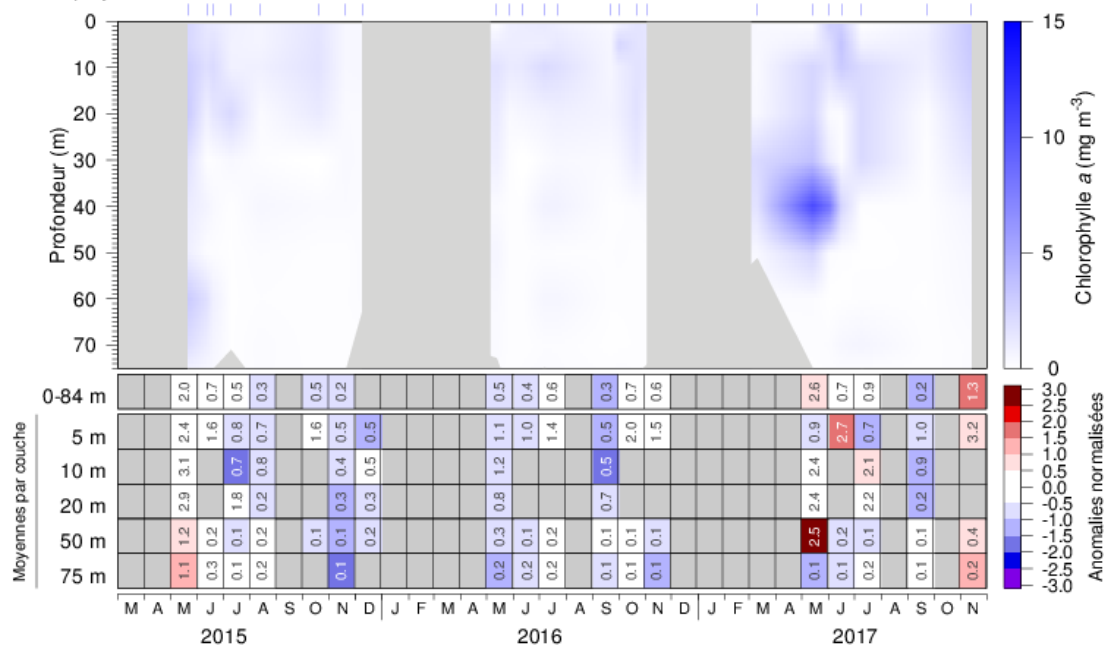


Figure 9. Concentrations de nitrate (haut) et de chlorophylle a (bas) à la station de la vallée de Shediac lors des saisons d'échantillonnage de 2015 à 2017. Les tracés de contours sont élaborés à partir de données de sorties individuelles tandis que les moyennes mensuelles sont indiquées dans les tableaux sous les graphiques (nitrates : mmol/m³; chl a : mg/m³). Les valeurs de nitrate de mars proviennent du relevé hivernal à l'échelle du golfe. La couleur des cellules indique les anomalies normalisées selon la climatologie de 1991 à 2015 : le bleu indique les anomalies inférieures à la moyenne et le rouge, celles supérieures à la moyenne. Entre sept et dix observations par année seulement ont été utilisés pour produire les profils verticaux annuels et l'interpolation entre les dates d'échantillonnage (ligne bleue au-dessus des profils verticaux) peut être incorrecte.

Rimouski

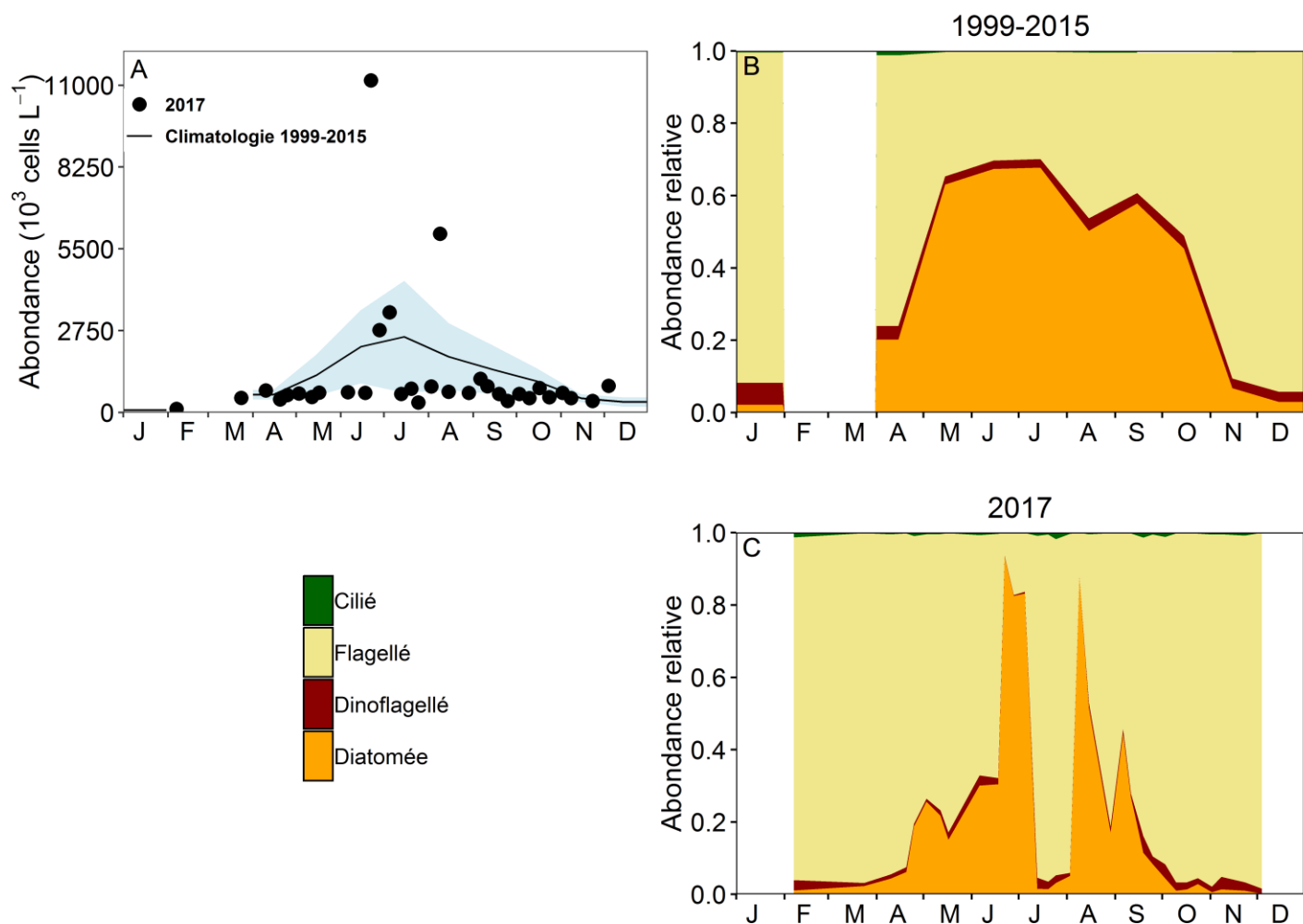


Figure 10. Abondance du phytoplancton (A) et composition de la communauté à la station de Rimouski pour la période de référence 1999-2015 (B; aucune donnée en 2010) et pour 2017 (c). L'ombrage bleu sur le panneau (A) représente ± 0.5 écart-type de la moyenne mensuelle d'abondance du phytoplancton pour 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		
Diatomée		0.15	0.2	0.45	0.17	0.33	-0.71	-0.47	-0.32	0.18	-0.53	0.47		0.14	0.01	-0.46	0.29	0.39	3.9	-0.29	807	892
Dino		-0.37	-0.56	-0.12	0.26	0.34	-0.05	0.32	1.17	1.44	-0.03	0.62		-0.24	-0.15	-0.55	-0.86	-0.96	-0.94	-1.1	40	25
Flag		-0.87	-0.97	-0.55	-0.67	-0.11	-0.63	0.82	1.4	1.34	0.14	0.97		-0.35	-0.5	0.09	-0.24	0.35	0.79	0.12	572	334
Cilié		-0.94	-0.97	0.15	0.3	0.17	-1.01	1.23	0.76	0.52	-0.28	-0.14		0.02	0.65	-0.15	-0.13	-0.28	-0.42	-0.58	6	4
Total		-0.14	-0.11	0.31	-0.03	0.34	-0.89	-0.13	0.42	0.55	-0.43	0.67		-0.02	-0.18	-0.39	0.05	0.37	2.97	-0.03	1426	1036
Diat/Dino		1.21	0.33	0.35	-0.07	-0.16	-0.69	-0.59	-0.61	-0.43	-0.57	-0.14		0.22	0.02	-0.32	0.77	0.56	7.04	0.9	29	45
Diat/Flag		1.23	0.67	0.48	0.31	0.19	-0.63	-0.6	-0.53	-0.3	-0.63	-0.2		0.14	0.15	-0.45	0.22	-0.05	0.94	-0.38	2	2

		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		
Diatomée		-0.51	0.19	-0.25	1.07	0.03	-0.02	-0.3	-0.2	1.21	0.36	-0.24	-0.54	-0.51	-0.3	0.15	-0.64	-0.48	-0.61	0.27	171	226
Dino		0.36	1.31	0.06	0.28	-0.19	0.99	0.16	-0.75	-0.45	0.86	-0.77	-0.62	-0.34	-0.5	-0.68	-0.08	0.11	1.62	0.63	5	4
Flag		-0.72	-0.02	0.63	0.67	0.34	0.41	0.15	-0.21	-0.53	0.22	-0.58	-0.69	0.8	-0.5	-0.39	1.02	-0.49	3.3	1.52	21	23
Cilié		0.96	0.31	-0.3	0.3	-0.3	0.56	-0.33	-0.76	0.02	0.33	-0.08	-0.43	0.36	-0.37	-0.14	-0.01	0.18	1.15	1.08	1	1
Total		-0.57	0.2	-0.2	1.14	0.07	0.19	-0.32	-0.34	1.16	0.43	-0.33	-0.65	-0.21	-0.4	-0.05	-0.4	-0.48	-0.21	0.78	198	232
Diat/Dino		-0.64	-0.47	-0.13	0.69	0.1	-0.28	-0.29	0.17	1.3	0.12	0.13	-0.14	-0.31	-0.21	0.32	-0.66	-0.51	-0.66	-0.24	50	62
Diat/Flag		-0.31	-0.46	-0.34	0.29	0.64	-0.41	-0.26	0.31	1.33	0.04	0.01	-0.24	-0.51	-0.13	-0.05	-0.6	0.05	-0.57	-0.48	51	56

Figure 11. Série temporelle des anomalies annuelles normalisées (Avril–Novembre) 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 et le rouge, celles supérieures à la moyenne. Aucune donnée n'est disponible en 2010 à la station Rimouski.

Vallée de Shediac

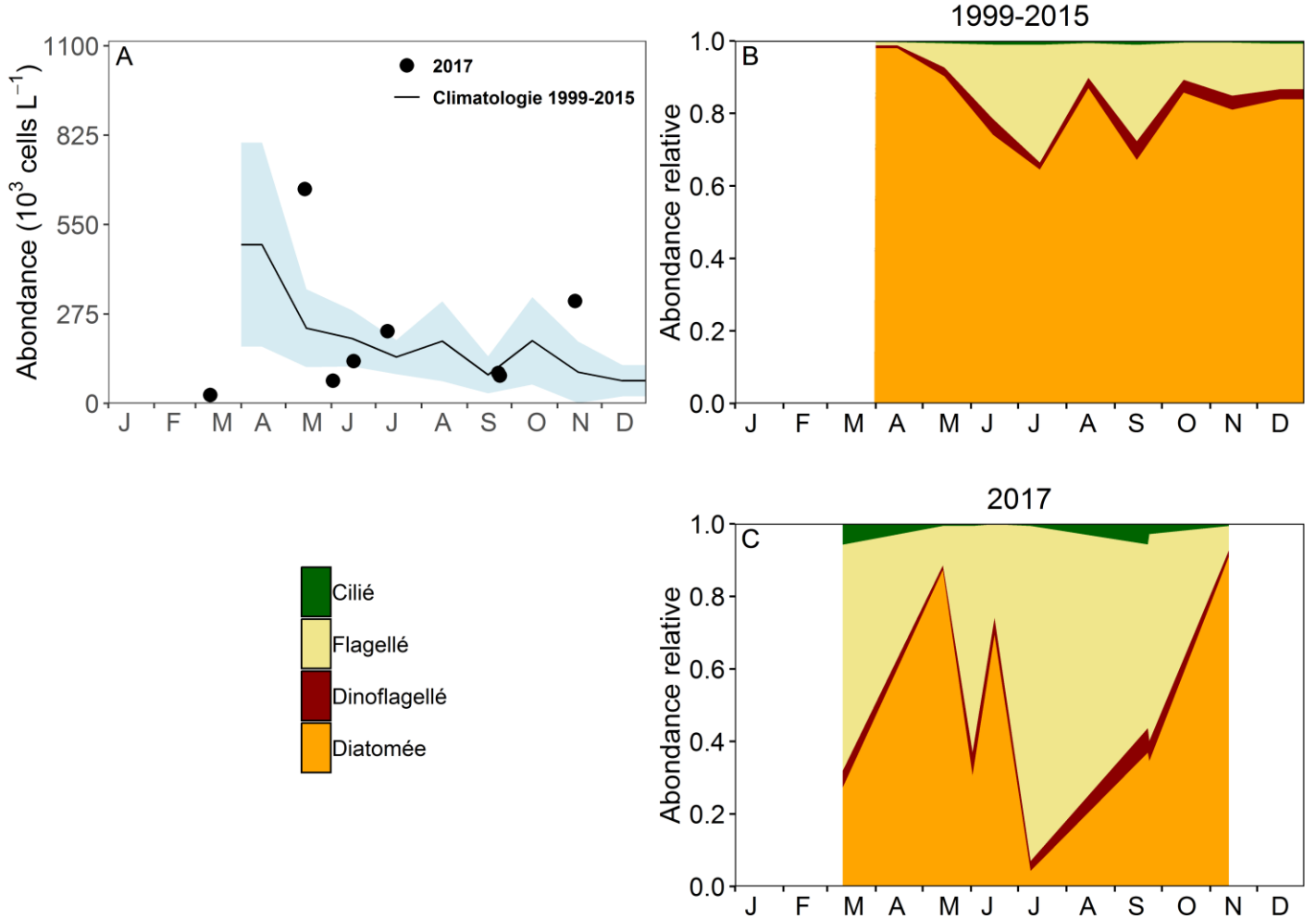


Figure 12. Abondance du phytoplancton (A) et composition de la communauté à la station de la vallée de Shediac pour la période de référence 1999-2015 (B) et pour 2017 (c). L'ombrage bleu sur le panneau (A) représente ± 0.5 écart-type de la moyenne mensuelle d'abondance du phytoplancton pour la période de référence.

		NO ₃ +NO ₂ (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		
Hiver	oGSL	1.73	-0.42	0.26	0.3	1.58	0.32	-0.46	0.37	1.48	-0.43	0.19	-1.51	-1.8	-0.29	0.38	-0.6	-1.1	0.19	-1.17	563.6	92
	eGSL			-0.04	0.13	1.94	1.02	-0.83	-0.16	0.96	-0.29	-0.14	-2.47	-0.72	-0.57	0.41	0.48	0.28	-1.28	-0.21	301.9	46
	sGSL	0.11	1.49	-0.18	1.01	0.93	1.06	-0.57	0.66	0.18	-0.59	0.24	-2.27	-0.98	-1.54	-0.66	0.41	0.7	-0.24	-0.32	367.6	95
Été	oGSL	-1.46	-0.45	0.4	1.12	-0.07	0.6	-1.09	0.02	-0.19	0.35	-1.1	-1.06	-1.06	-0.51	1.64	1.65	1.2	-0.85	0.15	315.8	57.6
	eGSL	-0.79	0.51	-0.22	-1.2	1.85	-1.24	-0.5	0.18	0.92	1.4	-0.21	-0.53	-1.18	-0.9	-0.28	1.62	0.59	-1.37	-1.37	66.7	23
	sGSL	-0.32	0.37	-1.14	0.19	0.53	-0.13	-0.26	1.94	-0.11	1.15	1.1	-2.09	-0.65	-0.98	0.88	0.49	-0.98	-1.37	-0.49	110.5	32.4
H - E	wGSL	2.24	-0.11	0.01	-0.34	1.38	-0.05	0.19	0.3	1.35	-0.55	0.74	-0.72	-0.96	0.02	-0.55	-1.39	-1.57	0.62	-1.07	247.8	108.6
	eGSL			0.1	0.68	1.17	1.87	-0.63	-0.27	0.59	-1.09	-0.01	-2.46	-0.12	-0.11	0.65	-0.36	0	-0.65	0.56	234.2	40.8
	sGSL	0.26	1.57	0.24	0.94	0.87	1.28	-0.55	0	0.26	-1.12	-0.15	-1.77	-0.86	-1.37	-1.09	0.29	1.19	0.26	-0.16	256.4	82.7
Automne	sGSL	1.12	0.37	-1.18	-0.24	-0.15	1.83	0.44	2.12	-0.82	0.3	-0.23	-0.67	-0.93	-0.36	0.06	0.03	-1.69	-1.08	0.56	170	35.5
	eGSL	1.77	1.35	-0.8	1.74	0.46	-1.09	-0.08	-0.36	1.05	0.03	0.38	-0.37	-1.44	-1.06	-0.18	-1.04	-0.37	-1.28	0.43	115.1	24.4
	oGSL	1.63	-0.61	-0.11	1.64	-0.38	-1.52	-0.69	-0.52	-1.1	-0.74	-0.74	0.72	-0.41	1.51	0.13	-0.15	1.33	0.28	0.2	359.2	69.4
		NO ₃ +NO ₂ (Été & Automne; mmol m ⁻² or 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		
0-50 m	oGSL	0.09	-0.53	0.14	1.38	-0.22	-0.46	-0.89	-0.25	-0.64	-0.2	-0.92	-0.17	-0.73	0.5	0.88	0.75	1.26	-0.29	0.18	337.5	63.5
	eGSL	0.49	0.93	-0.51	0.27	1.15	-1.17	-0.29	-0.09	0.98	0.71	0.08	-0.45	-1.31	-0.98	-0.23	0.29	0.11	-1.33	-0.47	90.9	23.7
	sGSL	0.4	0.37	-1.16	-0.03	0.19	0.85	0.09	2.03	-0.46	0.72	0.44	-1.38	-0.79	-0.67	0.47	0.26	-1.33	-1.22	0.03	140.3	33.9
50-150 m	oGSL	0.19	-1.14	0.63	0.68	0.37	-1.25	-0.62	0.56	-0.02	0.13	-0.28	-1.08	-0.99	0.69	0	0.32	1.82	-0.02	0.06	1366.4	143.7
	eGSL	-0.6	0.79	-1.59	-0.23	0.21	-1.61	-0.77	1.18	-0.7	0.22	0.28	-0.14	-0.38	0.48	0.43	0.54	1.88	-0.27	-1.44	879.2	99.9
	sGSL																					
300m	oGSL	-1.85	-1.8	-0.61	0.39	0.23	-0.35	0.09	1.07	0.03	0.15	0.2	-0.12	-0.21	0.3	0.9	0.83	0.77	-0.24	-0.35	23.8	1.2
	eGSL	-1.65	-0.11	-0.58	-0.97	0.82	-0.5	-0.45	0.54	-0.92	0.03	-0.35	-0.1	0.37	0.92	1.22	0.48	1.24	1.23	1.19	22.2	1.1
	sGSL																					
		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		
Été	oGSL	1.39	-0.82	-0.09	0.75	2.07	-0.55	-1.22	-0.47	0.82	-1.3	0.9	0.24	-0.23	0.31	-1.71	0.31	-0.4	-0.81	-0.75	110.2	47
	eGSL	-0.37	0.09	-0.6	3.23	-0.83	-0.4	-0.6	-0.3	-0.2	0.19	-0.34	-0.14	-0.55	-0.58	-0.14	-0.16	1.7	-0.3	1.06	36.8	17.7
	sGSL	-0.33	-1.11	0.04	3.52	0.08	-0.28	-0.76	0.31	-0.04	-0.69	0.1	0.52	-0.69	-0.33	0.1	-0.41	-0.01	-0.17	1.87	37.3	14.3
Automne	oGSL	-0.35	-0.64	-0.14	-0.26	0.5	-0.4	0.24	-0.3	-0.31	3.59	-0.54	-0.69	-0.72	-0.14	-0.54	0.36	0.33	-0.71	-0.98	35.9	18
	eGSL	-0.51	-0.5	-0.82	1.97	0.62	-0.48	-1.09	-1.09	0.28	-0.58	0.7	-0.2	-0.77	-0.89	0.17	1.13	2.07	1.54	-0.77	37.3	6.9
	sGSL	-0.54	-1.77	0.13	2.61	0.46	-1.01	-1.11	-0.89	1.06	-0.26	-0.4	-0.17	-0.05	0.58	0.75	0.33	0.28	0.14	2.06	40.7	16
E & A	oGSL	0.52	-0.73	-0.11	0.25	1.28	-0.47	-0.49	-0.38	0.25	1.15	0.18	-0.23	-0.48	0.09	-1.12	0.34	-0.04	-0.76	-0.87	73.1	32.5
	eGSL	-0.44	-0.2	-0.71	2.6	-0.1	-0.44	-0.85	-0.69	0.04	-0.2	0.18	-0.17	-0.66	-0.74	0.02	0.49	1.89	0.62	0.15	37.1	12.3
	sGSL	-0.43	-1.44	0.08	3.07	0.27	-0.65	-0.93	-0.29	0.51	-0.48	-0.15	0.17	-0.37	0.13	0.42	-0.04	0.14	-0.02	1.97	39	15.2

Figure 13. Série temporelle des anomalies saisonnières normalisées pour les inventaires de nitrate (mmol m⁻²; panneau supérieur) et les niveaux de chlorophylle a (mg m⁻²; panneau inférieur) pour les sous-régions du GSL. Les séries temporelles d'anomalies normalisées pour les inventaires de nitrates moyennés pour l'été et l'automne sont également présentées (panneau central) pour différentes couches de la colonne d'eau (mmol m⁻²) ou 300 m (mmol m⁻³). La moyenne et l'écart-type des variables pour la période de référence 1999-2015 sont indiqués à droite du tableau synoptique. H - E correspond à la différence dans l'inventaire de nitrates entre l'hiver et l'été. E & A représente l'anomalie moyenne de l'été et de l'automne. Le bleu indique les anomalies inférieures à la moyenne et le rouge, celles supérieures à la moyenne.

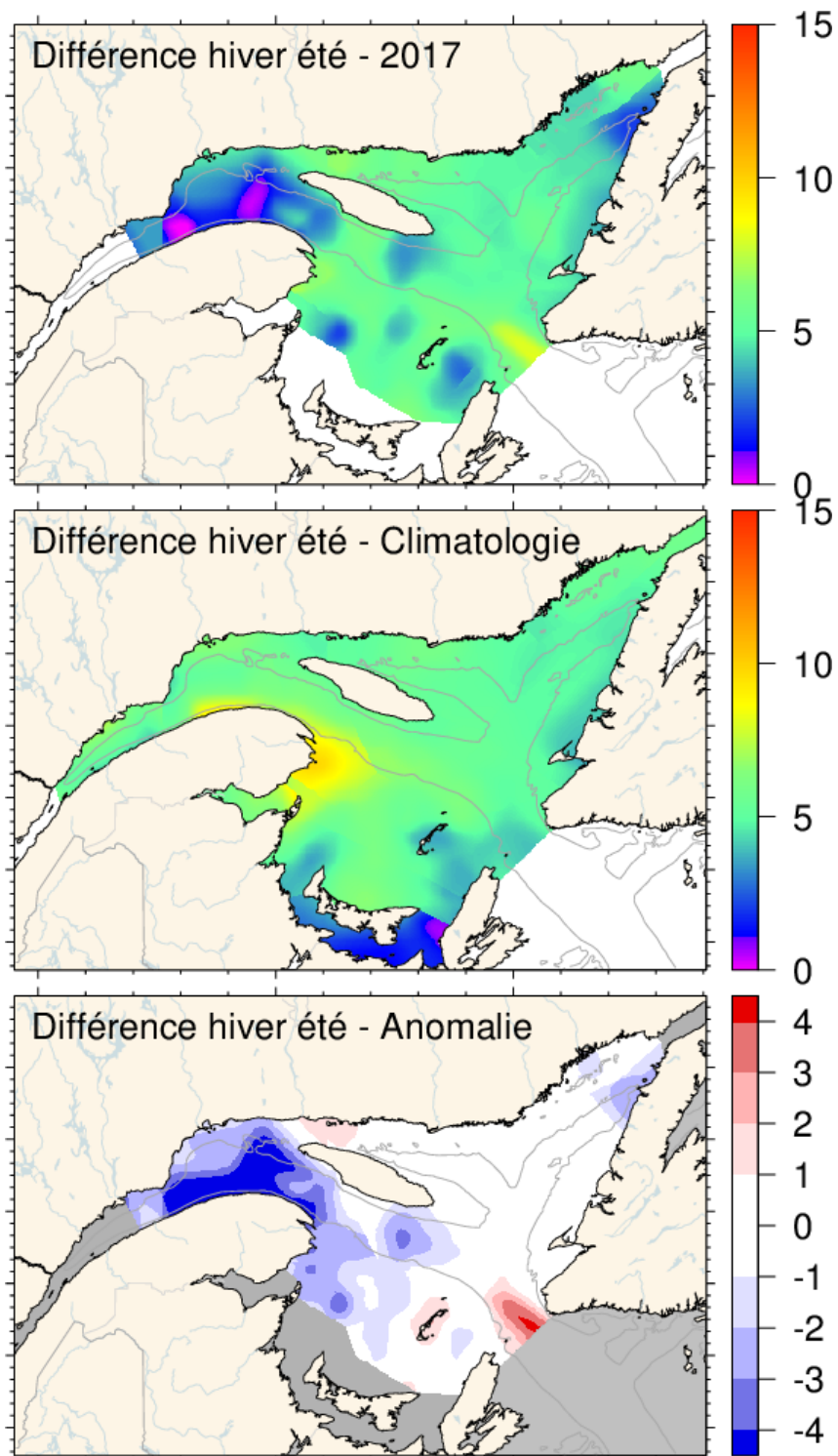
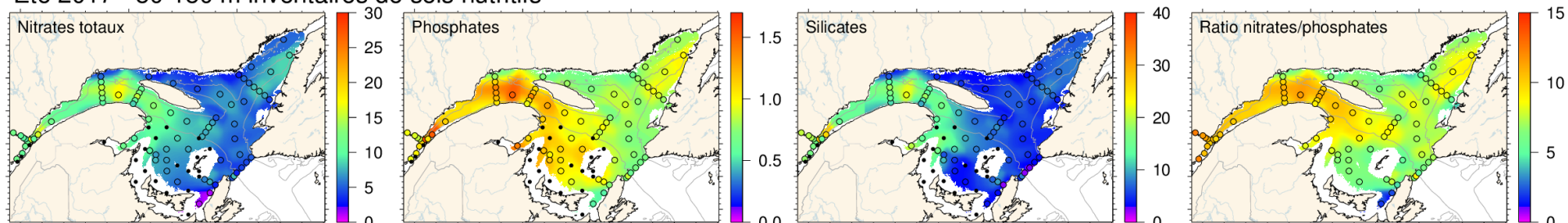
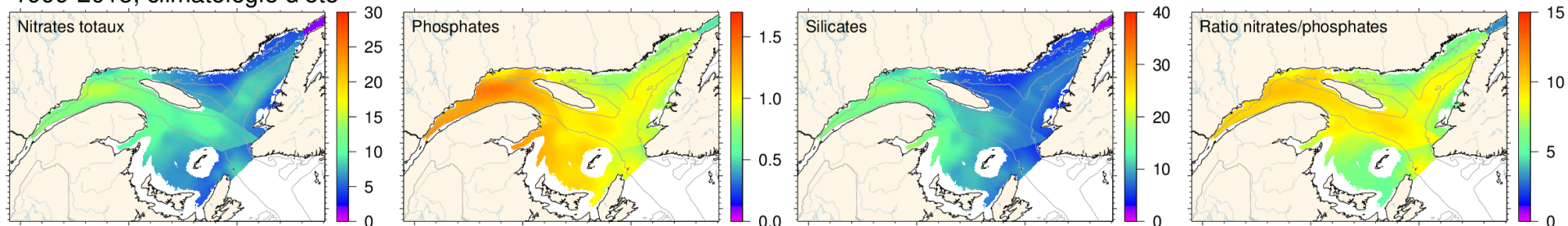


Figure 14. Différence entre les concentrations totales de nitrate ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$) [mmol/m^3] à 2 m dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent entre l'hiver et l'été. Haut : différence entre l'hiver et l'été 2017; centre : différences pour la climatologie (2001 à 2015); bas : anomalies de la différence entre hiver et été 2017. Les anomalies négatives (en bleu) suggèrent de faibles diminutions du niveau de nitrate et les anomalies positives (en rouge), de fortes diminutions.

Été 2017 - 50-150 m inventaires de sels nutritifs



1999-2015, climatologie d'été



Été 2017, anomalies

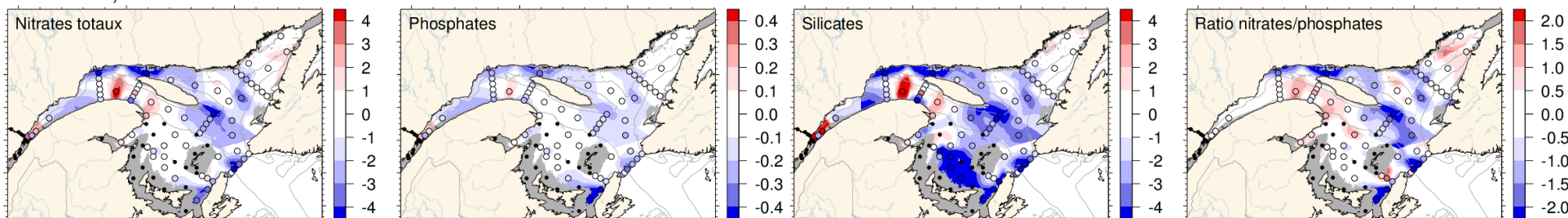
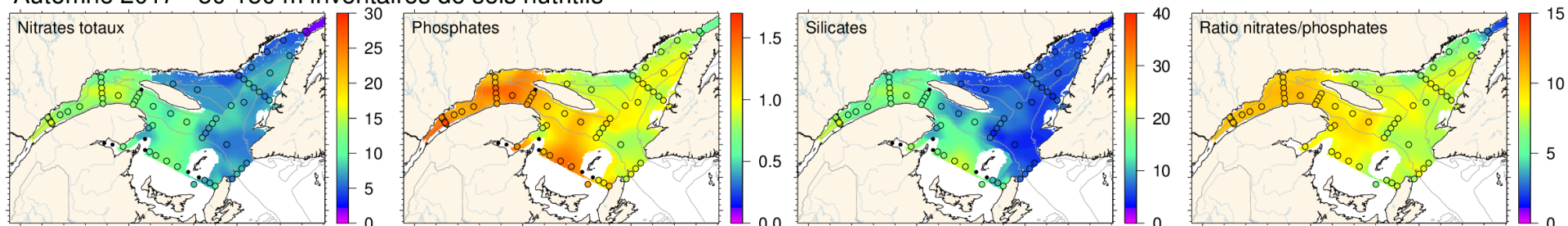
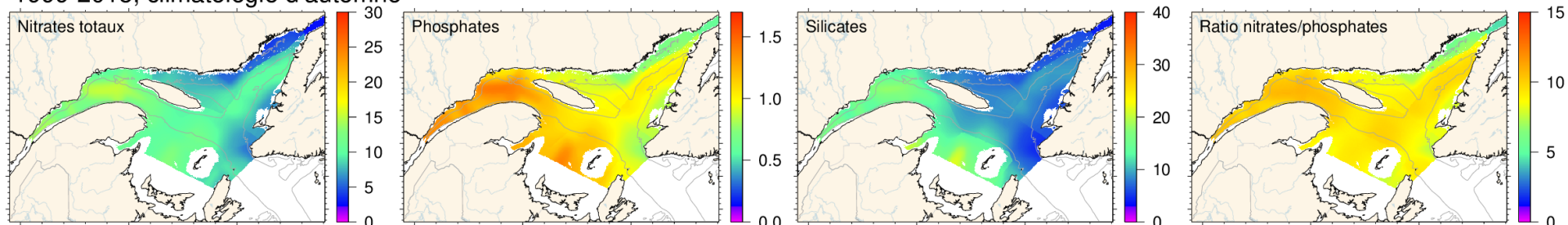


Figure 15. Concentrations totales de nitrate ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$), de phosphate et de silicate (mmol/m^3) et ratio N/P moyen dans la couche intermédiaire (50–150 m) dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent à l'été 2017 (panneaux supérieurs). La climatologie (1999 à 2015; panneaux centraux) 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.

Automne 2017 - 50-150 m inventaires de sels nutritifs



1999-2015, climatologie d'automne



Automne 2017, anomalies

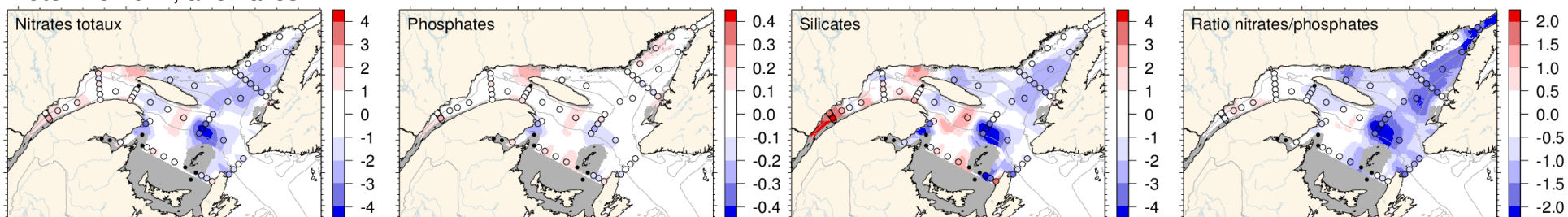


Figure 16. Concentrations totales de nitrate ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$), de phosphate et de silicate (mmol/m^3) et ratio N/P moyen dans la couche intermédiaire (50–150 m) dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent à l'automne 2017 (panneaux supérieurs). La climatologie (1999 à 2015; panneaux 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.

Été 2017

Automne 2017

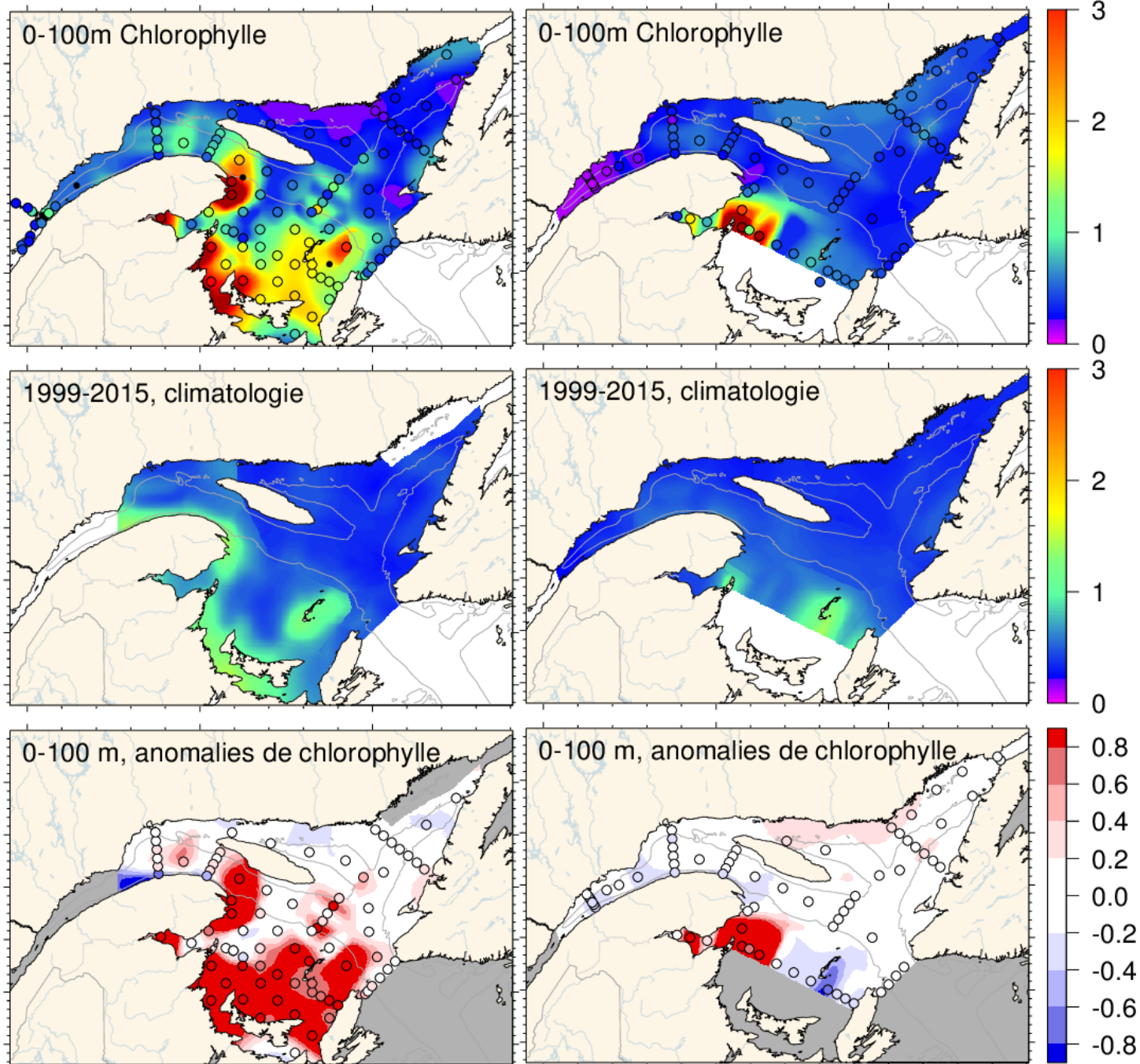


Figure 17. Concentrations de chlorophylle a (mg/m^3) moyennées verticalement (0–100 m) dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent à l'été (panneaux de gauche) et à l'automne 2017 (panneaux de droite). La climatologie (1999 à 2015; panneaux centraux) et les anomalies (panneaux inférieurs) sont indiquées pour les deux saisons. Le bleu indique les anomalies inférieures à la moyenne et le rouge, celles supérieures à la moyenne.

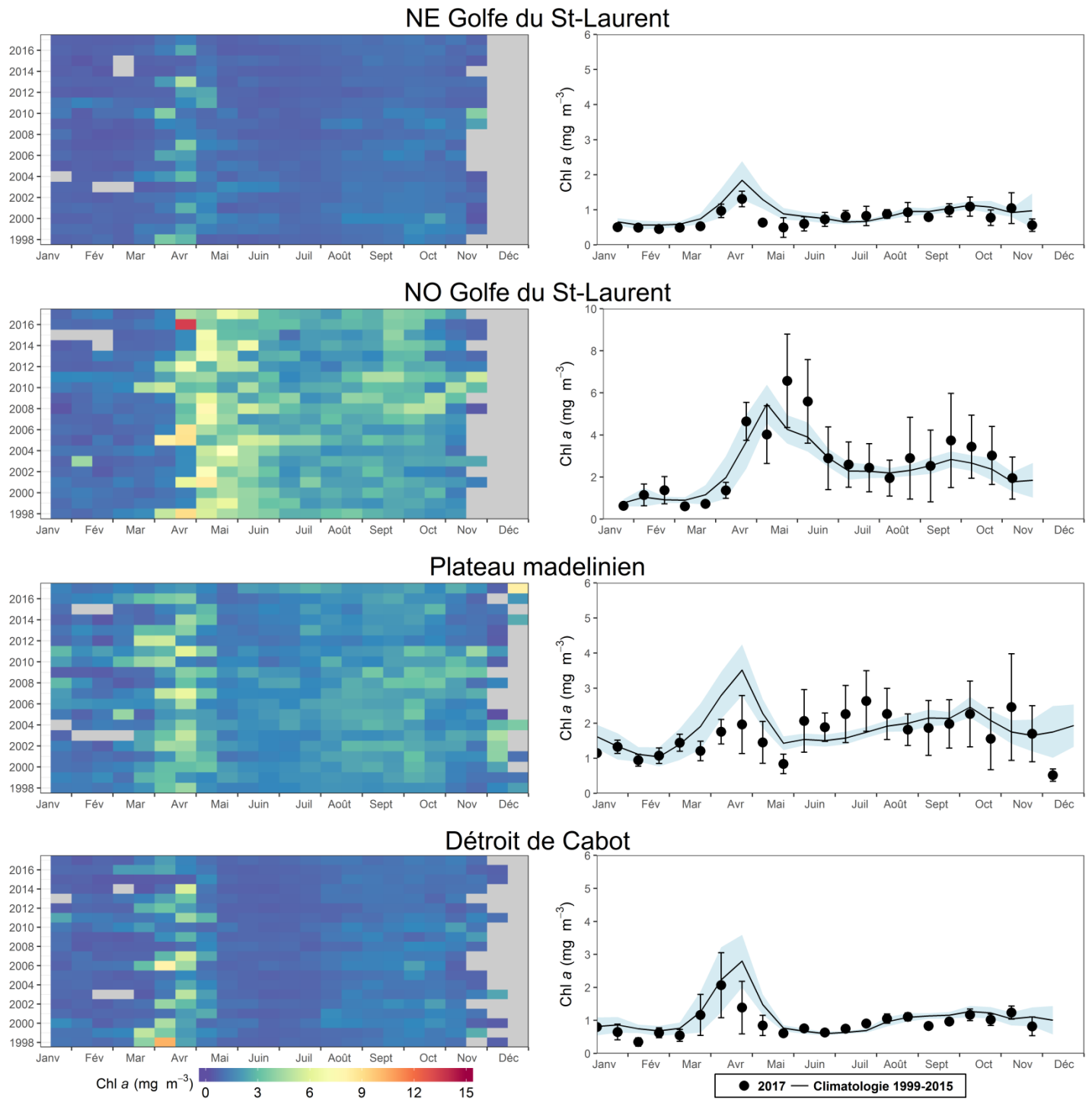


Figure 18. Panneaux de gauche : Série chronologique des concentrations de chlorophylle a en surface à partir des données bimensuelles de la couleur de l'océan de SeaWiFS (1998 à 2007), de MODIS (2008 à 2011) et de VIIRS (depuis 2012) dans les sous-régions statistiques du nord-est du golfe du Saint-Laurent, du nord-ouest du golfe du Saint-Laurent, du Plateau madelinien et du détroit de Cabot (voir la figure 3). Panneaux de droite : Comparaison des estimations de la chlorophylle en surface en 2017 (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.

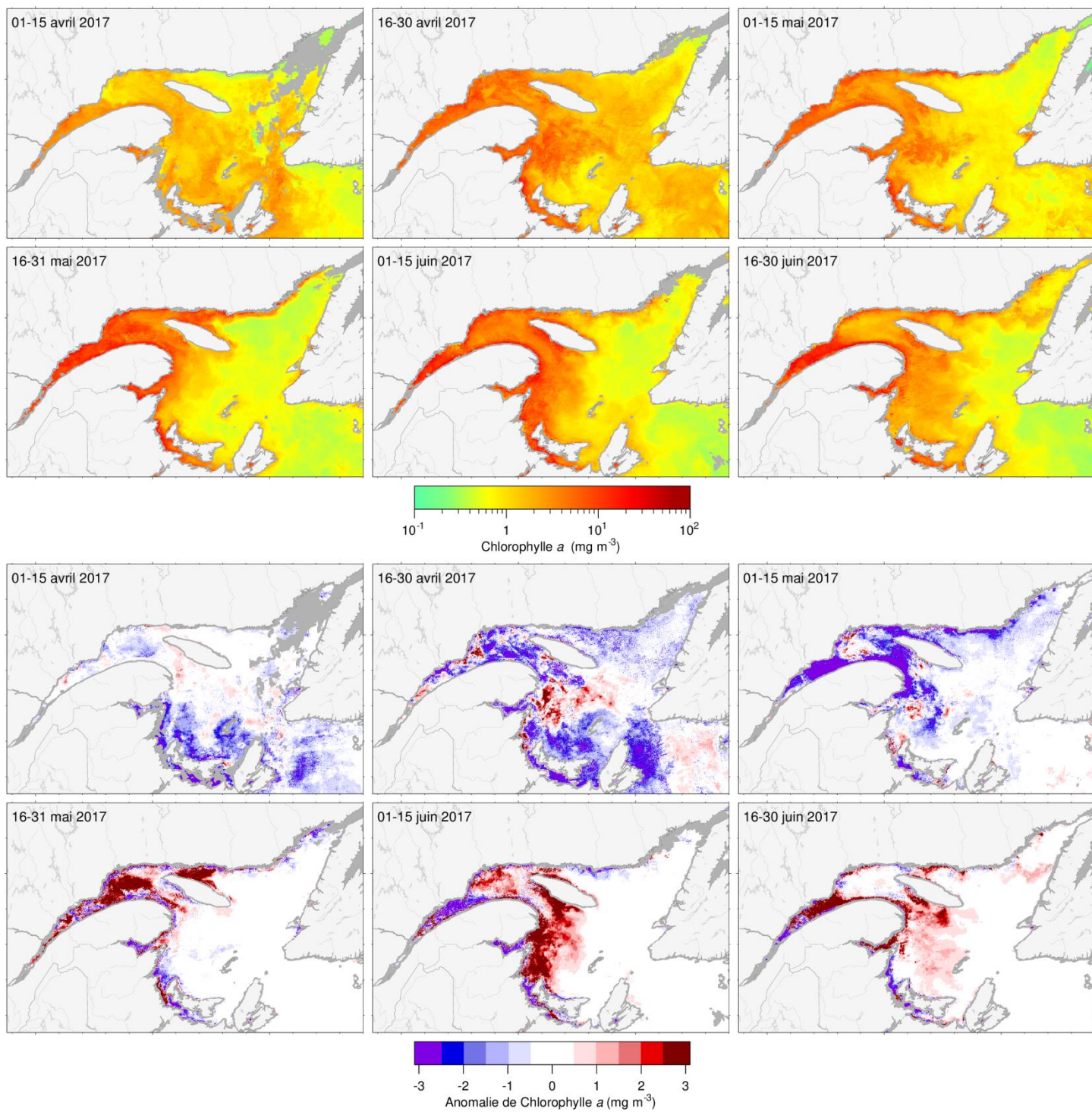


Figure 19. Images composites de la chlorophylle a en surface prises deux fois par mois par le VIIRS (panneaux supérieurs) et anomalie en fonction de la climatologie de 1999 à 2015 (panneaux inférieurs) dans le golfe du Saint-Laurent au printemps/été 2017.

		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		
Début	Nord-ouest GSL	-0.81	0.67	0.24	-0.5	1.55	0.12	0.85	-0.96	-0.46	0.37	0.6	0.41	-2.81	-0.82	-0.57	-0.09	0.24	1.17	0.1	-0.63	107	11
	Nord-est GSL	-0.91	-0.33	1.48	-0.28	-0.1	0.56	-1.25	-0.01	-1.26	0.17	-0.13	-0.94	-1.56	1.31		-0.28	0.79	1.84	-0.14	-0.82	102	11
	Plateau madelinien	0.25	-0.96	-0.59	0.54	-0.52	0.24	0.86		1.13	-0.37	0.84	0.6	-2.11	0.31	-1.38	-0.86	0.92	1.36	-1.96		91	13
	Détroit Cabot	-0.64	-0.82	-0.23	0.51	0.15	0.67	0.54	-0.01	-0.55	0.06	1.51	-0.13	-2.28	0.45	-1.75	-0.43	0.73	1.57	-2.73	-0.75	93	15
Durée	Nord-ouest GSL	-0.1	0.51	2.12	0.45	-1.23	1.39	0.48	-0.84	-0.73	0.01	-0.58	-0.94	-0.4	0.18	-1.17	0.12	1.57	-0.94	-1.17	2.33	41	22
	Nord-est GSL	-0.26	-0.24	-0.69	-0.14	0.73	3.34	0.42	-0.73	0.11	-0.41	0.3	-0.18	-0.49	-0.91		-0.47	0.06	-0.69	-0.55	-0.06	32	20
	Plateau madelinien	-0.04	-0.49	2.34	-0.74	0.37	0.15	-1.46		-1.37	0.94	-0.74	0.07	1.11	-0.06	0.1	1.01	-0.37	-0.86	1.81		35	14
	Détroit Cabot	0.02	-0.53	-1.11	0.74	-1.13	-1.21	0.05	0.41	0.18	0.43	-0.66	0.7	1.43	-0.47	2.42	0.47	-1.03	-0.69	4.04	0.32	31	14
Intensité	Nord-ouest GSL	0.79	0.26	1.29	0.69	-1.32	1.1	1.3	-0.47	-0.19	0.47	-0.51	-0.78	-1.02	-0.97	-0.84	0.23	1.93	-1.16	0.59	3.16	153	55
	Nord-est GSL	1.68	-0.37	-0.94	0.38	-0.14	1.31	0.74	-1.12	0.77	1.13	-0.49	-0.82	0.99	-0.73		1.72	-1.02	-1.42	-0.23	-0.89	36	20
	Plateau madelinien	-0.18	-1.05	-0.35	-0.78	0.57	0.75	-1.2		-1.01	2.07	-0.84	-0.55	0.86	0.59	1.61	0.17	0.06	-0.91	1.72		84	46
	Détroit Cabot	2.83	0.45	-0.42	-0.38	0.07	-0.21	-0.5	-1.09	2.66	1.44	-1.37	-0.13	-0.57	-0.03	0.91	-0.16	0.54	-1.22	0.55	-0.74	67	39
Amplitude	Nord-ouest GSL	0.71	-0.78	-1.29	-0.34	1.06	-0.95	0.17	1.07	1.19	0.13	0.16	0.88	-0.97	-1.59	2.06	-0.31	-0.58	0.08	6.02	-0.47	5.9	1.7
	Nord-est GSL	1.63	-0.28	-0.39	0.27	-0.7	-0.81	-0.03	-0.59	0.28	1.48	-0.72	-0.72	1.54	0.39		2.3	-0.99	-1.04	0.29	-0.84	1.9	1.2
	Plateau madelinien	-0.21	-1.25	-1.53	-0.49	0.39	0.87	-0.48		-0.03	1.46	-0.62	-0.84	0.07	0.94	2.14	-0.57	0.55	-0.62	0.35		3.4	1.3
	Détroit Cabot	1.98	0.68	0.49	-0.78	1.28	1.04	-0.63	-1.14	1.61	0.51	-1.16	-0.62	-1.02	0.12	-0.58	-0.56	1.74	-0.99	-0.94	-0.89	3.6	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		
Annuelle	Nord-ouest GSL	0.58	-0.17	-0.17	0.11	-0.35	-0.16	-0.16	0.63	-0.28	0.02	0.56	0.46	0.44	0.39	-0.27	-0.4	-0.06	-0.6	0.09	0.28	2.63	1.09
	Nord-est GSL	0.04	0.6	0.97	0.24	0.17	0.51	0.23	-0.07	0.25	0.05	-0.81	0	0.39	-0.29	-0.67	-0.22	-1.02	-0.48	-0.45	-0.24	0.96	0.36
	Plateau madelinien	-0.43	-0.08	0.21	-0.18	0.44	-0.16	0.17	0.37	0.19	0.43	0.27	0.59	-0.01	0.3	-0.86	-0.49	-0.66	-0.54	-0.53	0.12	1.99	0.66
	Détroit Cabot	0.19	0.46	0.75	0.03	0.77	-0.3	-0.29	-0.62	0.85	0.33	-0.01	-0.02	0.38	-0.12	-0.8	-0.31	-0.54	-0.52	-0.28	-0.16	1.16	0.5
Printemps	Nord-ouest GSL	1.05	-0.04	-0.5	0.61	-0.23	-0.39	0.33	0.3	-0.1	0.08	-0.12	-0.04	0.72	-0.04	0.16	0.21	-0.38	-0.58	0.17	-0.09	2.91	1.49
	Nord-est GSL	0.27	0.3	0.16	-0.07	0.24	-0.22	0.69	-0.31	0	0.21	-0.7	-0.55	0.9	0.39	0.02	0.2	-0.81	-0.74	-0.28	-0.76	1.09	0.54
	Plateau madelinien	-0.09	-0.02	0.34	-0.46	0.56	0.24	-0.02	-0.08	-0.17	0.81	-0.77	-0.04	0.3	0.48	0.16	-0.17	-0.46	-0.66	-0.14	-0.81	2.22	1.03
	Détroit Cabot	0.85	1.21	0.15	-0.17	0.31	0.15	-0.25	-0.61	0.67	0.37	-0.48	-0.52	0.19	0.28	-0.22	0.01	-0.36	-0.77	0.28	-0.58	1.55	0.99
Été	Nord-ouest GSL	0.9	0	0.19	0.03	-0.18	0.01	-0.15	1.53	-0.13	-0.16	0.94	0.44	0.05	-0.27	-0.72	-0.76	0.02	-0.83	0.26	0.39	2.65	0.78
	Nord-est GSL	-0.42	0.69	1.32	0.5	0.12	1.51	0.46	0.38	0.13	-0.28	-1.15	0.15	-0.46	-0.53	-1.1	-0.26	-1.16	-0.31	-0.62	0.4	0.77	0.19
	Plateau madelinien	-0.27	0.12	0.29	-0.06	0.32	-0.38	0.67	0.94	0.84	0.18	0.62	0.43	-0.38	-0.36	-1.45	-0.48	-0.7	-0.59	-0.94	1.36	1.71	0.35
	Détroit Cabot	-0.18	-0.24	1.57	0.1	0.77	-0.51	-0.31	-0.73	1.03	0.36	0.18	0.3	0.29	-0.29	-1.29	-0.34	-0.63	-0.25	-0.52	0.71	0.78	0.17
Automne	Nord-ouest GSL	-0.37	-0.53	-0.22	-0.29	-0.7	-0.09	-0.78	-0.08	-0.69	0.17	0.87	1.07	0.57	1.48	-0.23	-0.66	0.23	-0.38	-0.18	0.61	2.34	0.98
	Nord-est GSL	0.32	0.81	1.44	0.28	0.17	0.13	-0.47	-0.33	0.68	0.24	-0.53	0.41	0.74	-0.72	-0.93	-0.59	-1.07	-0.43	-0.45	-0.35	1.02	0.37
	Plateau madelinien	-0.93	-0.32	-0.01	-0.02	0.45	-0.27	-0.13	0.27	-0.11	0.3	0.96	1.39	0.04	0.77	-1.28	-0.82	-0.83	-0.37	-0.51	-0.2	2.04	0.59
	Détroit Cabot	-0.14	0.4	0.55	0.14	1.31	-0.46	-0.3	-0.51	0.86	0.25	0.27	0.15	0.66	-0.35	-0.9	-0.66	-0.59	-0.53	-0.59	-0.61	1.16	0.34

Figure 20. Série temporelle des anomalies annuelles normalisées des propriétés de la floraison printanière (section supérieure) et de productivité (section inférieure; moyenne annuelle ou saisonnière de chlorophylle a en surface; mg/m³) estimées à partir des satellites (SeaWiFS, 1998–2007; MODIS, 2008–2011; et VIIRS depuis 2012) dans les sous-régions statistiques du golfe du Saint-Laurent (voir la figure 3). Les indices de floraisons printanières sont le début (jour de l'année), la durée (en jours), l'ampleur (mg de chl/m²) et l'amplitude (mg de chl/m³). 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 et le rouge, celles supérieures à la moyenne. Le printemps inclut les mois de mars à mai, l'été de juin à août et l'automne de septembre à novembre.

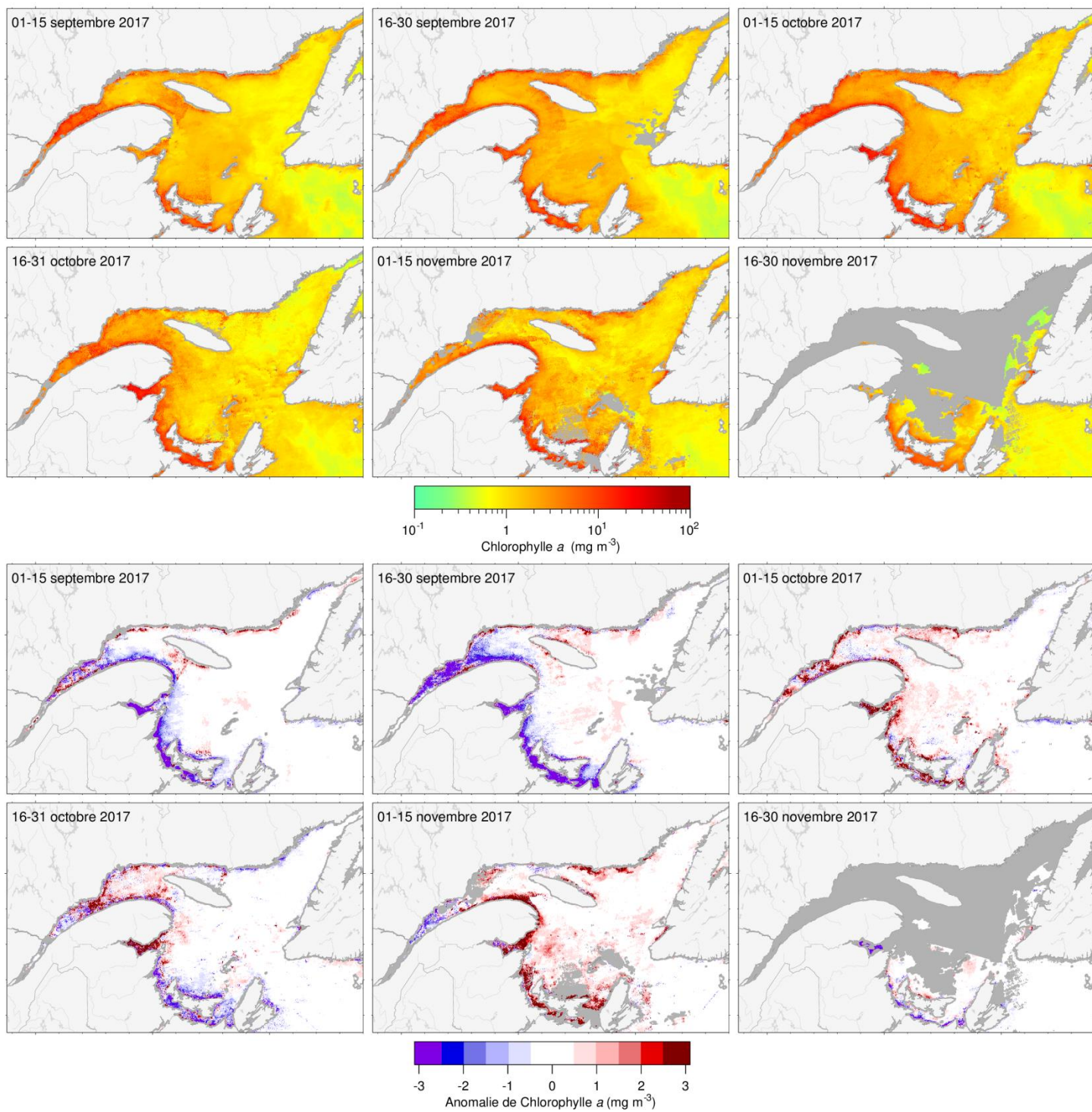


Figure 21. Images composites de la chlorophylle a en surface prises deux fois par mois par le VIIRS (panneaux supérieurs) et anomalie en fonction de la climatologie de 1999 à 2015 (panneaux inférieurs) dans le golfe du Saint-Laurent à l'automne 2017.

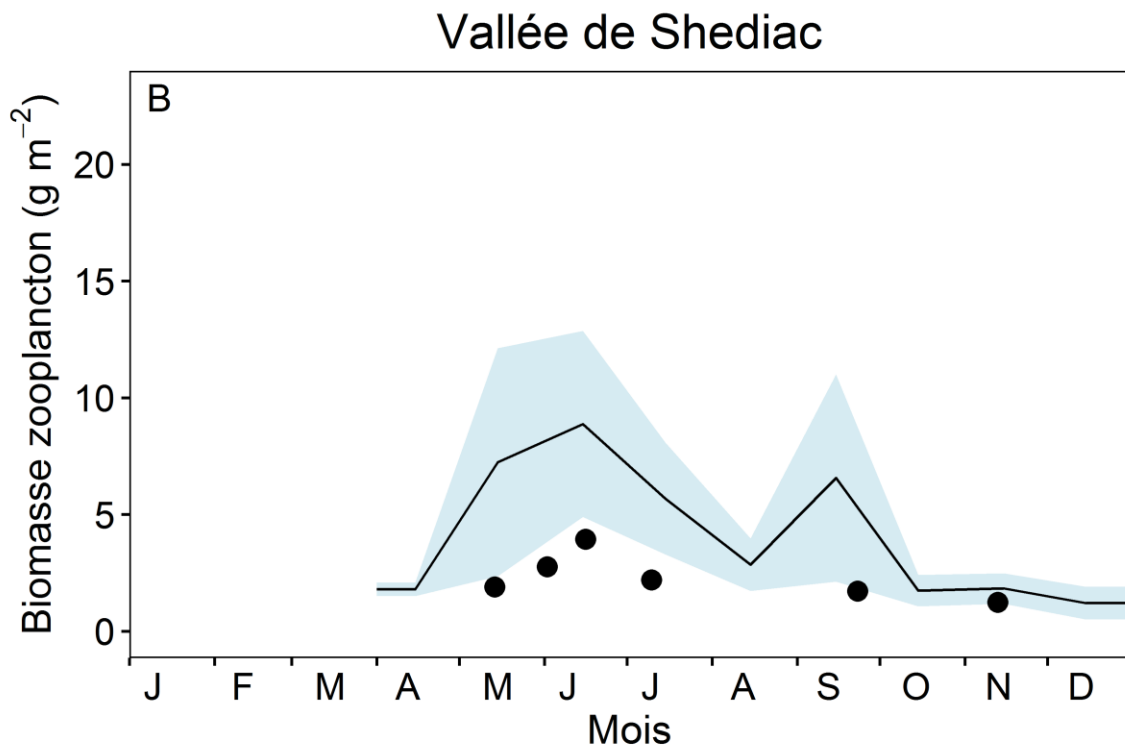
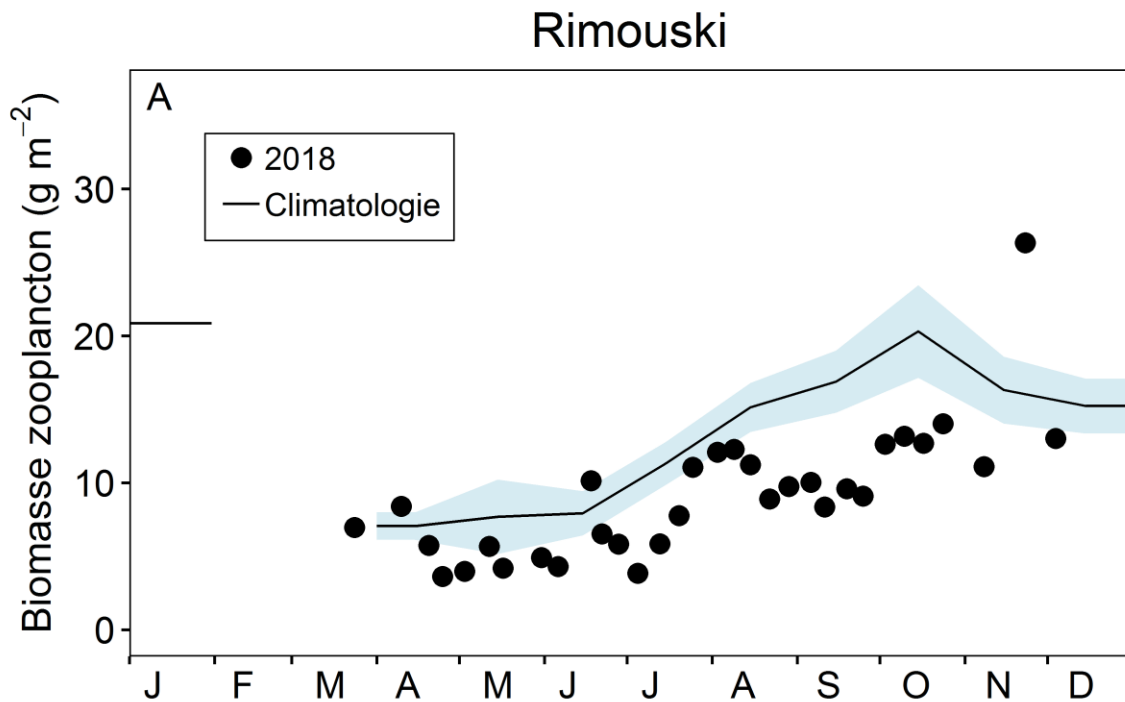


Figure 22. Comparaison de la biomasse totale de zooplancton en 2017 (cercles) par rapport à la climatologie mensuelle des stations de A) Rimouski (2005 à 2015) et de B) la vallée de Shediac (1999 à 2015) [ligne noire et ombrage bleu]. L'ombrage bleu représente 0.5 écart-type des moyennes mensuelles.

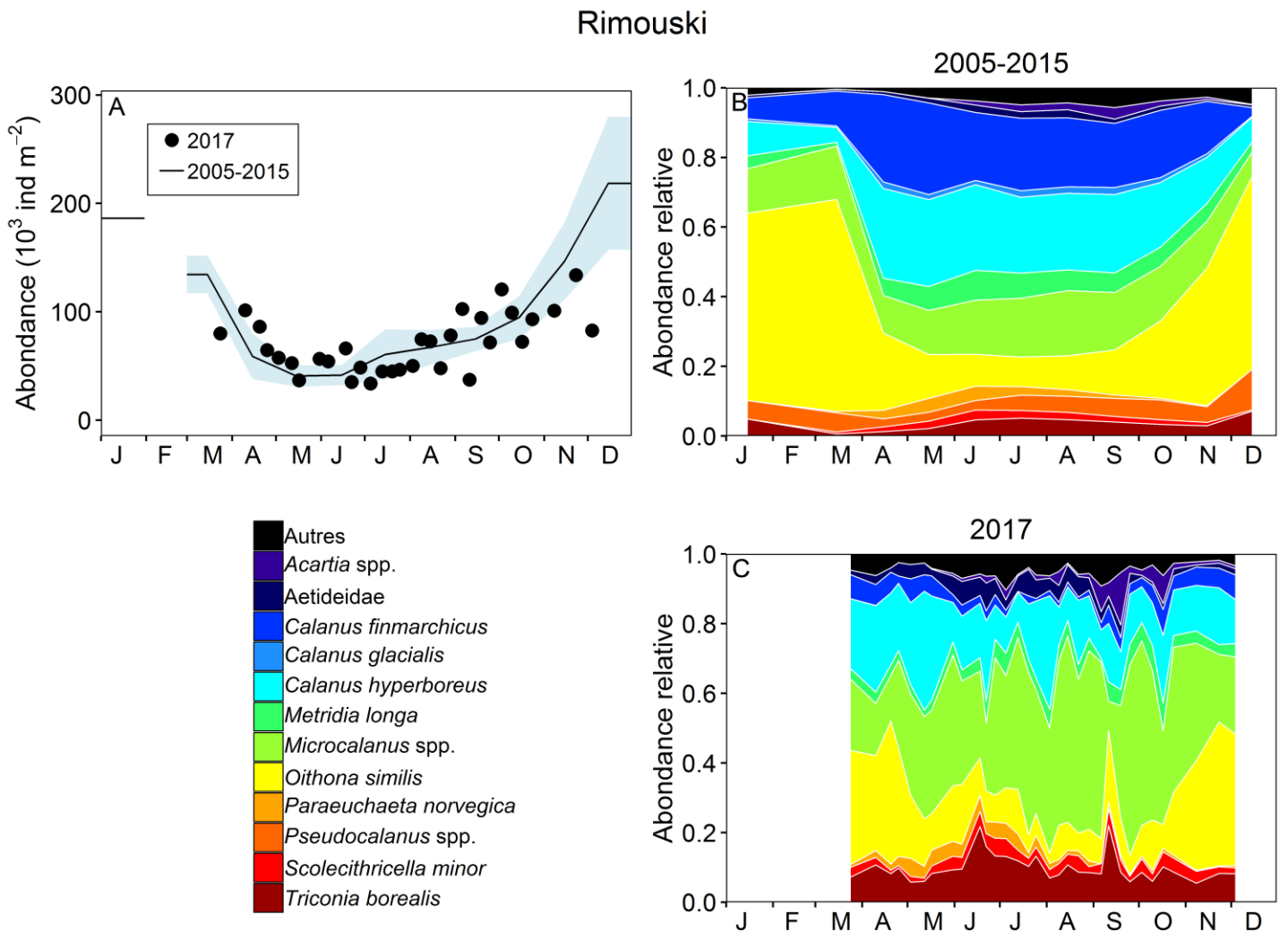


Figure 23. Variabilité saisonnière des copépodes dominants à la station de Rimouski. Abondance des copépodes (à l'exception des nauplii) au cours de la période de référence (ligne noire avec ombrage bleu représentant 0.5 écart-type) et de 2017 (cercles) [A]; climatologie de l'abondance relative des copépodes composant les 95 % supérieurs des taxons identifiés pour la période de 2005 à 2015 (B); et en 2017 (C).

Vallée de Shediac

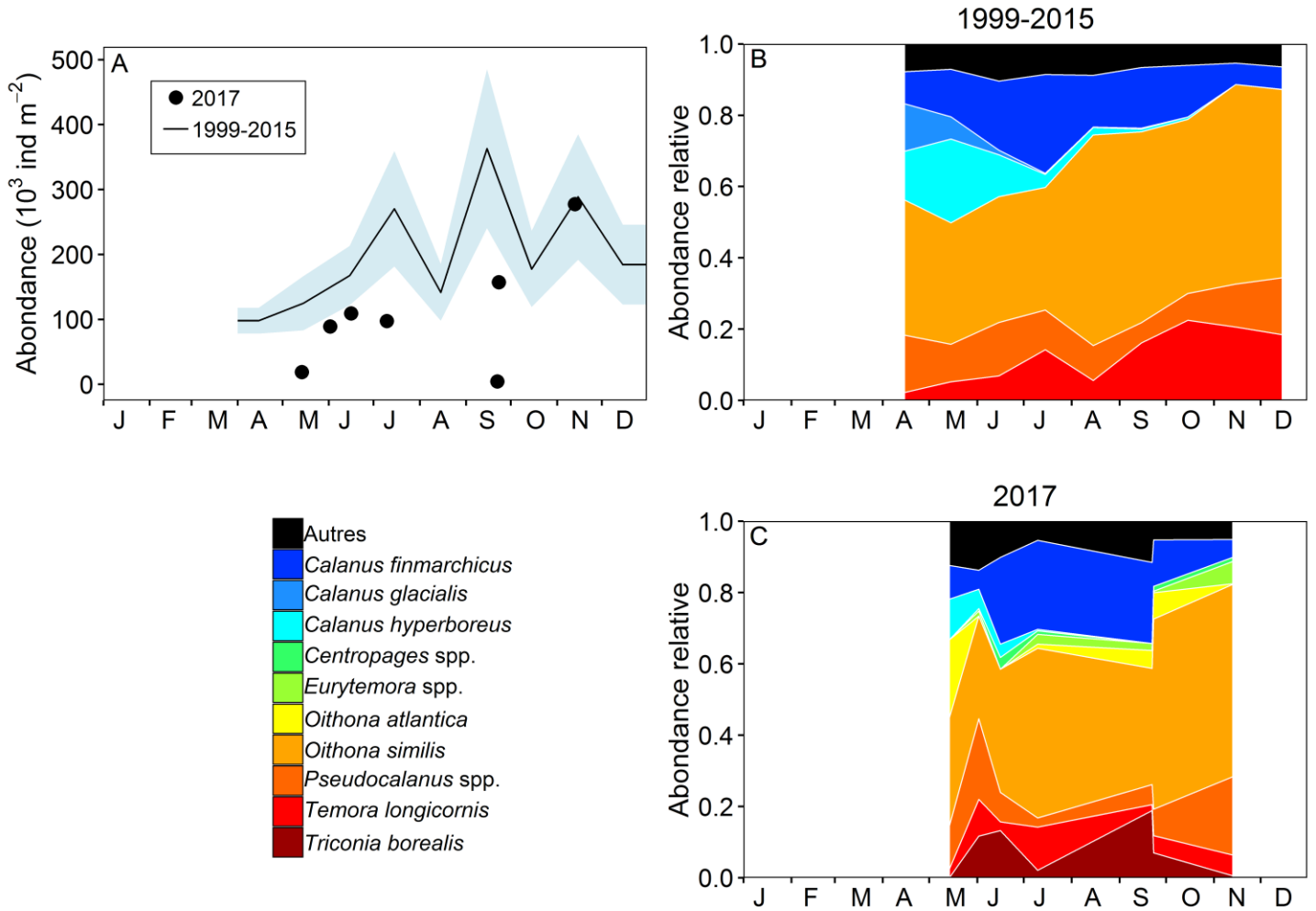


Figure 24. Variabilité saisonnière des copépodes dominants à la station de la vallée de Shediac. Abondance des copépodes (à l'exception des nauplii) au cours de la période de référence (ligne noire avec ombrage bleu représentant 0.5 écart-type) et de 2017 (cercles) [A]; climatologie de l'abondance relative des copépodes composant les 95 % supérieurs des taxons identifiés pour la période de 1999 à 2015 (B); et en 2017 (C).

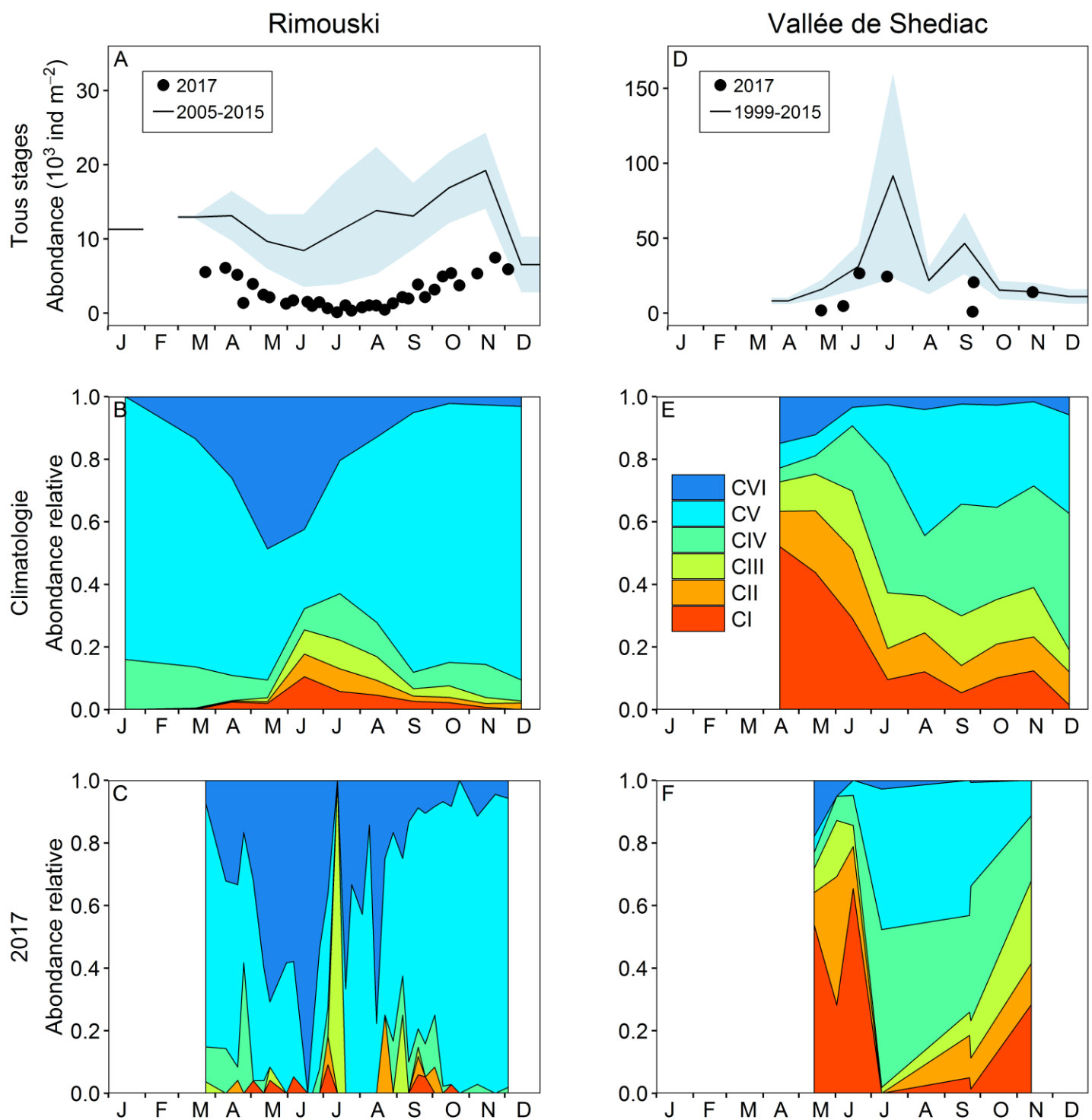


Figure 25. Variabilité saisonnière de l'abondance de copépodites *Calanus finmarchicus* aux stations de Rimouski (A à C) et de la vallée de Shediac (D à F). Les climatologies des dénombrements combinés pour les périodes de référence (ligne noire avec ombrage bleu représentant 0.5 écart-type) sont présentés avec les données de 2017 (cercles) [A, D]. Les variabilités saisonnières des différents stades copépodites pour les périodes de référence (B, E) et 2017 (C, F) sont également indiquées.

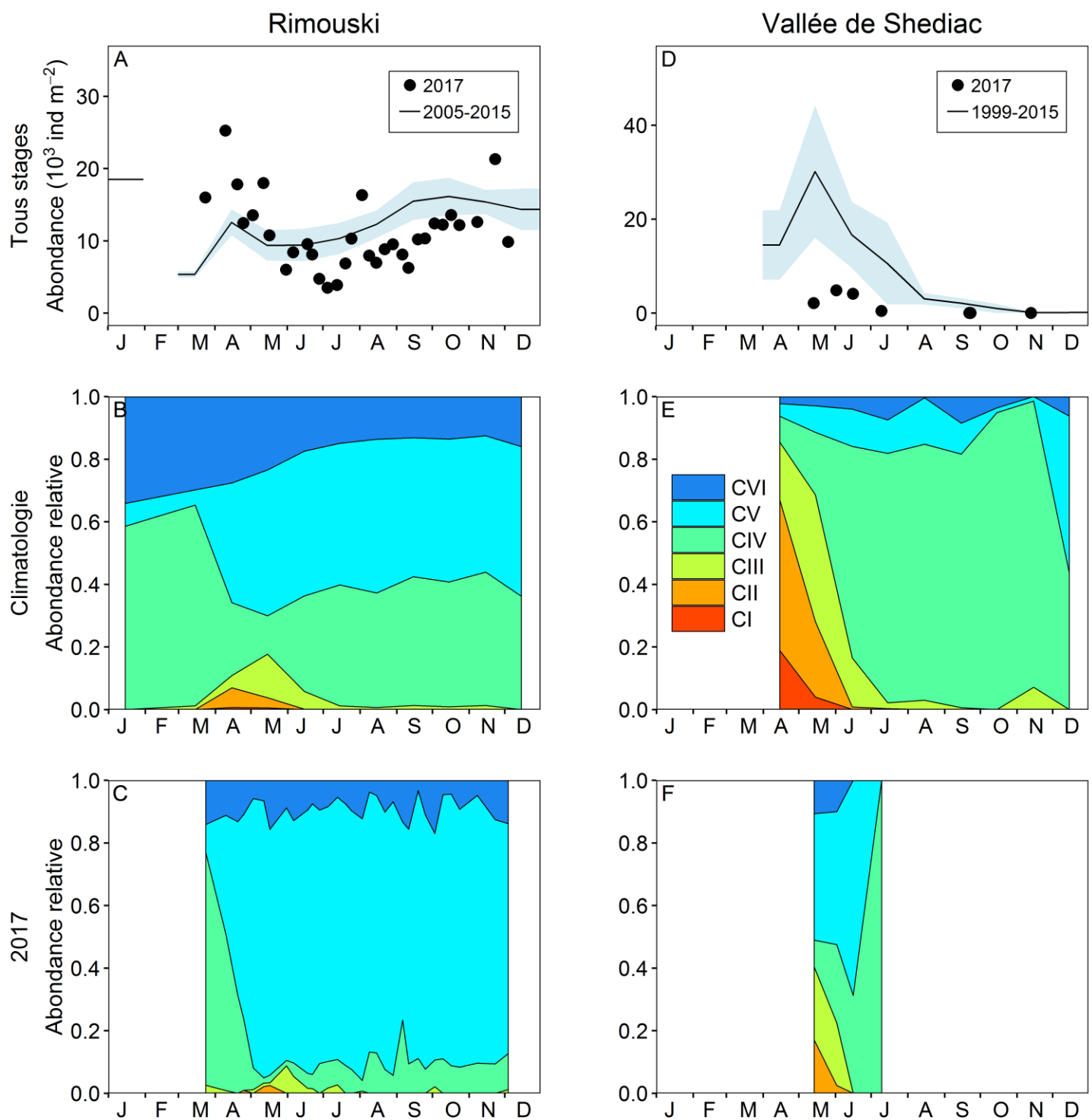


Figure 26. Variabilité saisonnière de l'abondance de copépodites *Calanus hyperboreus* aux stations de Rimouski (A à C) et de la vallée de Shediac (D à F). Les climatologies des dénombrements combinés pour les périodes de référence (ligne noire avec ombrage bleu représentant 0.5 écart-type) sont présentés avec les données de 2017 (cercles) [A, D]. Les variabilités saisonnières des différents stades copépodites pour les périodes de référence (B, E) et 2017 (C, F) sont également indiquées.

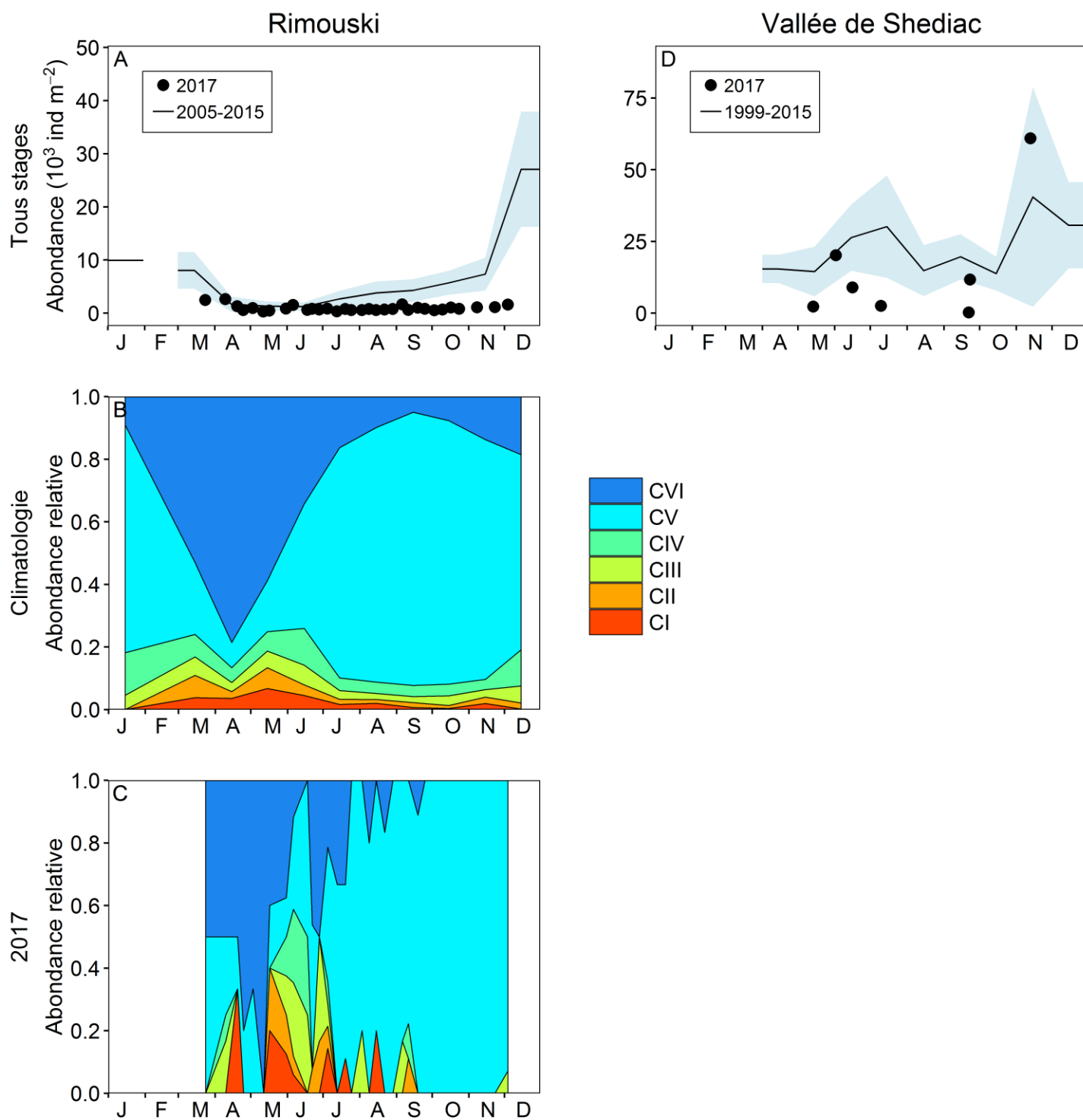


Figure 27. Variabilité saisonnière de l'abondance de copépodites des *Pseudocalanus* spp. aux stations de Rimouski (A à C) et de la vallée de Shediac (D). Les climatologies des dénombrements combinés pour les périodes de référence (ligne noire avec ombrage bleu représentant 0.5 écart-type) sont présentés avec les données de 2017 (cercles) [A, D]. La variabilité saisonnière des différents stades copépodites pour la période de référence (B) et 2017 (C) est également indiquée. Aucun renseignement sur les stades n'est disponible pour la vallée de Shediac.

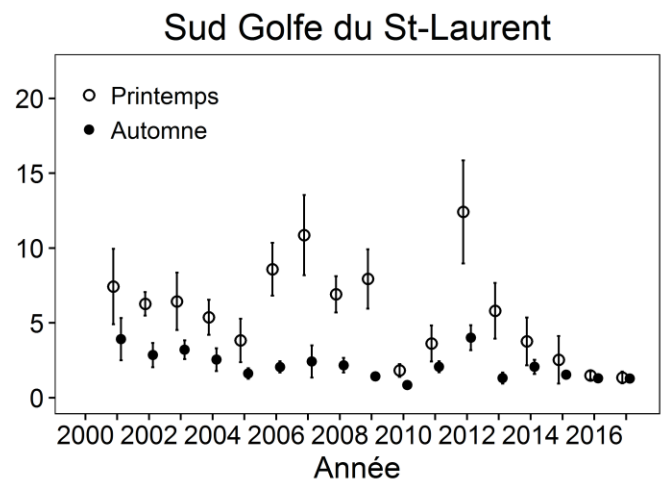
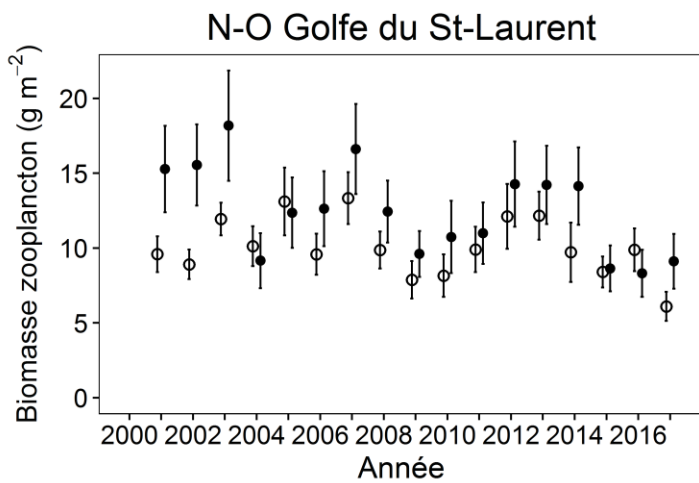
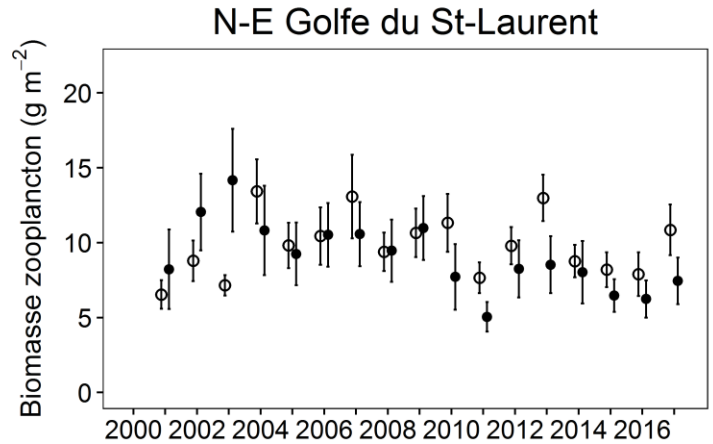
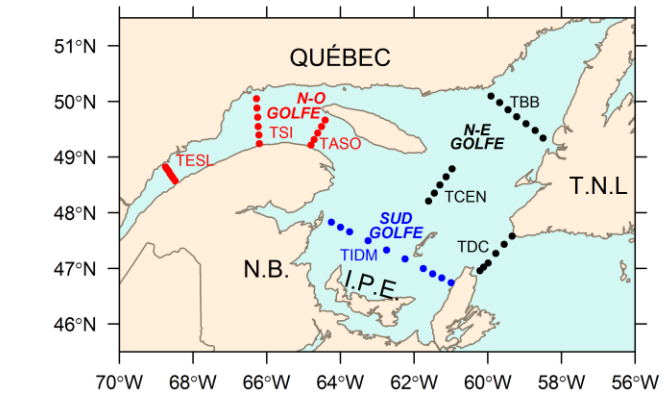


Figure 28. Série temporelle de la biomasse annuelle moyenne du zooplancton au printemps (cercles ouverts) et en automne (cercles pleins) pour les trois sous-régions du golfe du Saint-Laurent. Les lignes verticales représentent les erreurs-types.

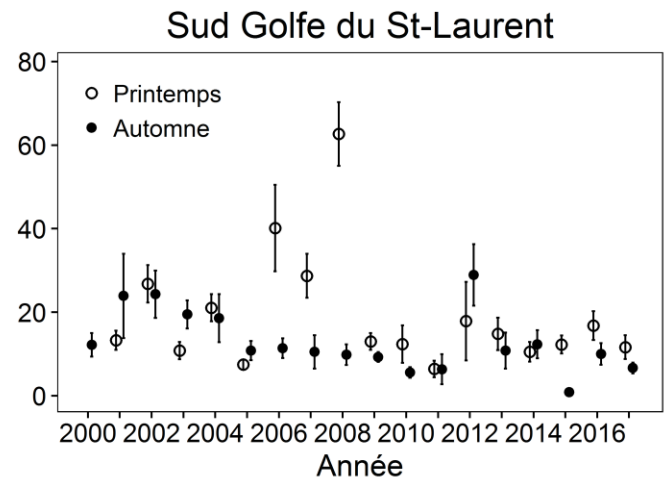
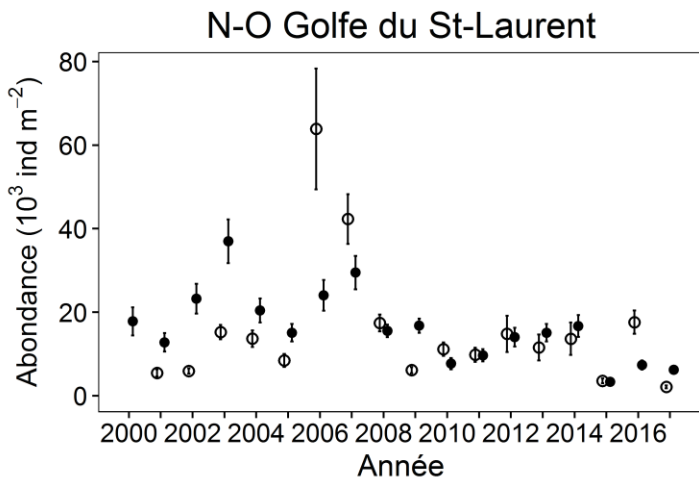
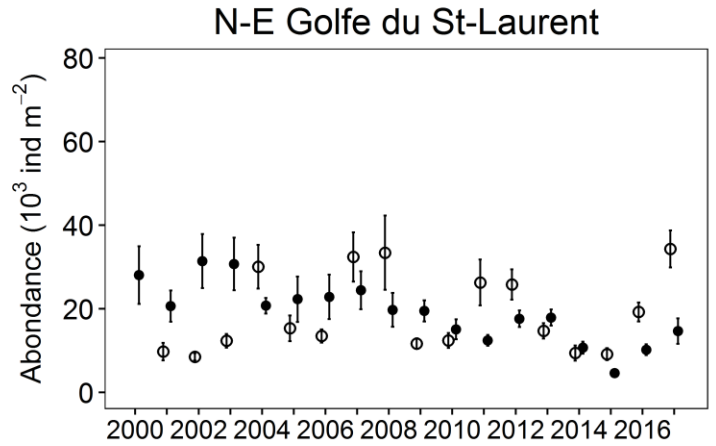
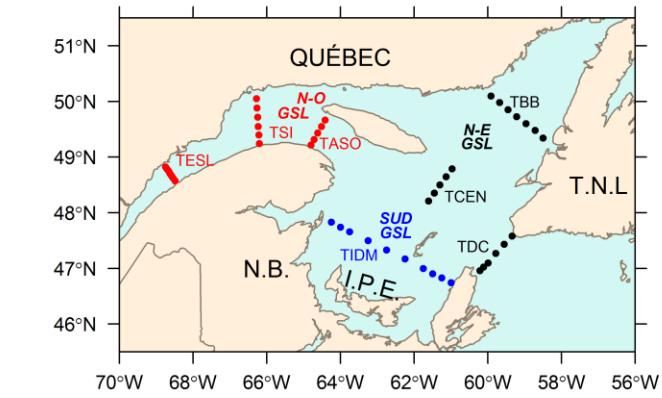


Figure 29. Série temporelle de l'abondance annuelle moyenne de *Calanus finmarchicus* au printemps (cercles ouverts) et en automne (cercles pleins) pour les trois sous-régions du golfe du Saint-Laurent. Les lignes verticales représentent les erreurs-types.

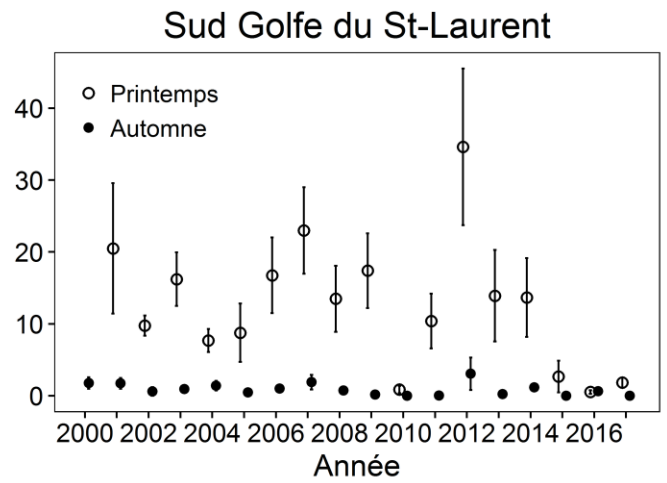
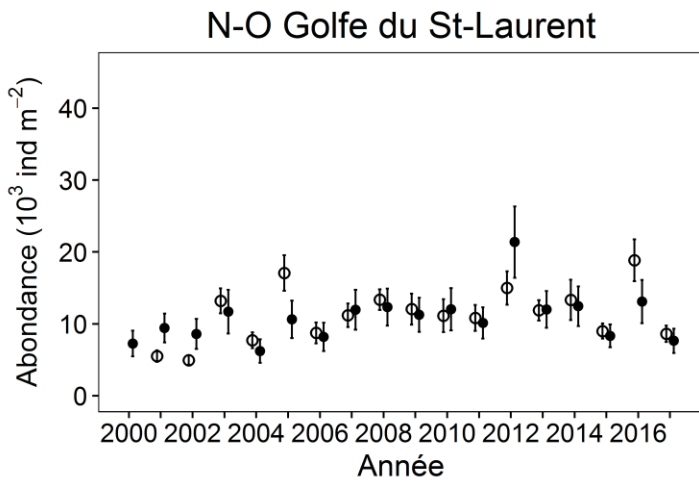
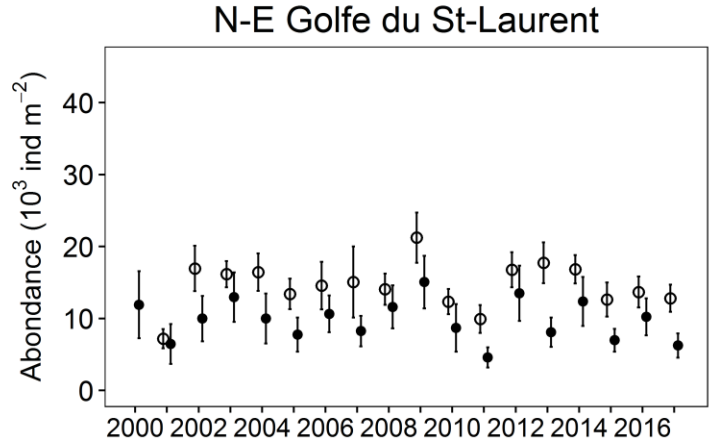
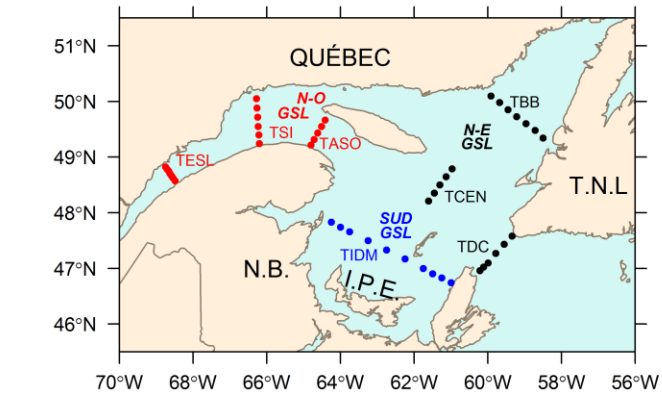


Figure 30. Série temporelle de l'abondance annuelle moyenne de *Calanus hyperboreus* au printemps (cercles ouverts) et en automne (cercles pleins) pour les trois sous-régions du golfe du Saint-Laurent. Les lignes verticales représentent les erreurs-types.

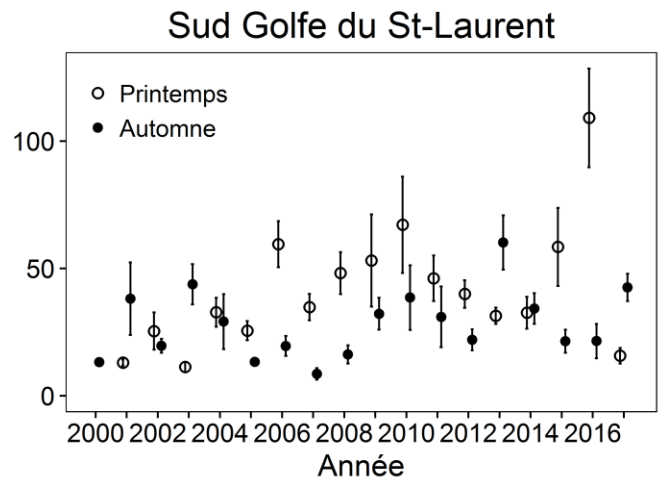
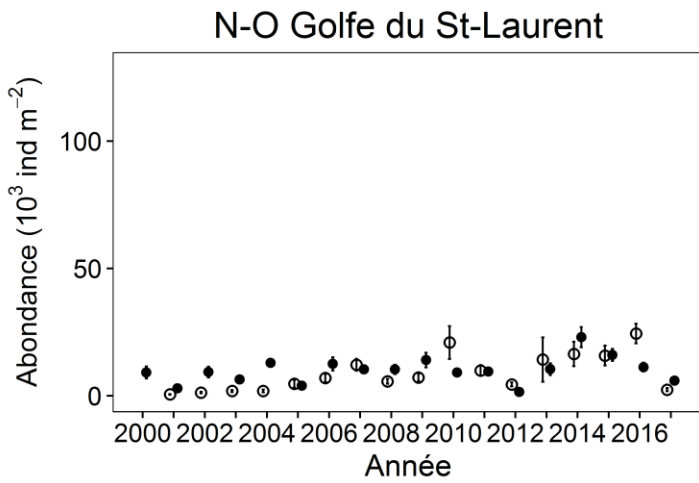
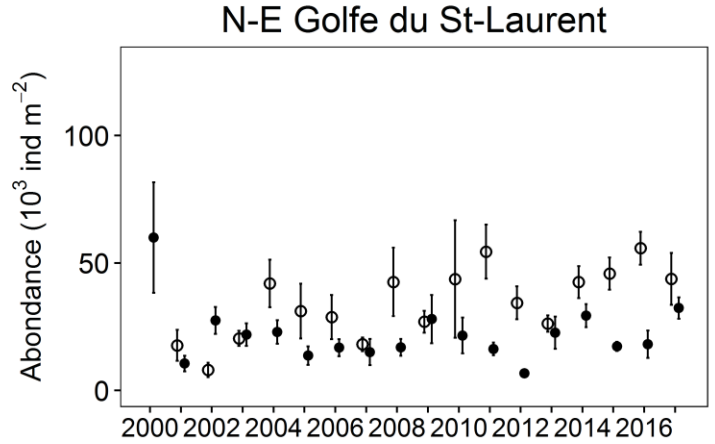
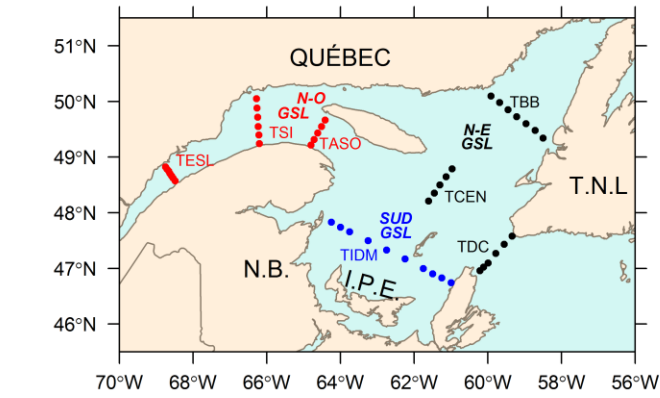


Figure 31. Série temporelle de l'abondance annuelle moyenne de *Pseudocalanus* spp. au printemps (cercles ouverts) et en automne (cercles pleins) pour les trois sous-régions du golfe du Saint-Laurent. Les lignes verticales représentent les erreurs-types.

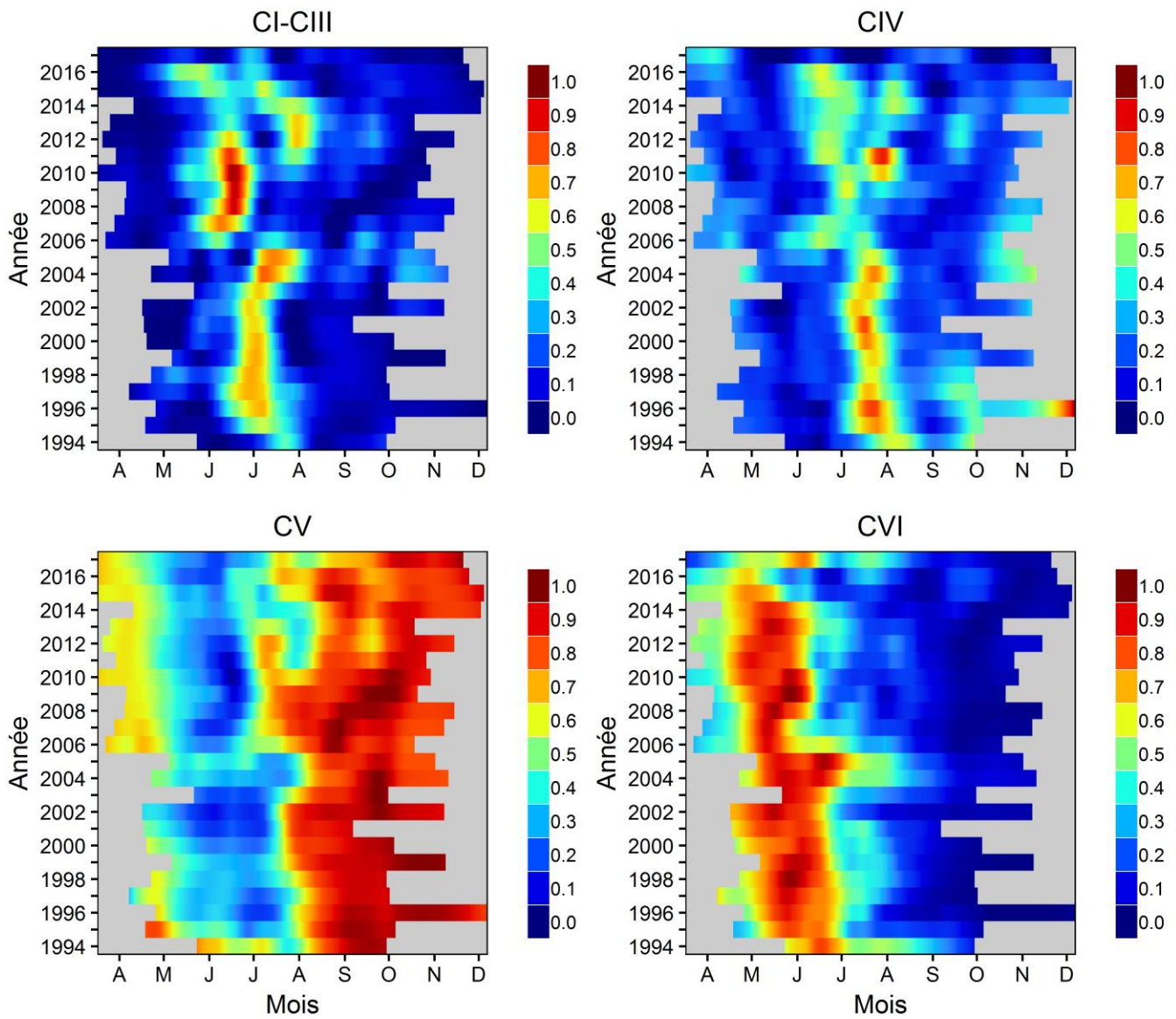


Figure 32. Série temporelle du cycle saisonnier en proportions relatives de l'abondance totale pour les stades CI à CIII, CIV, CV et CVI (mâles et femelles) des copépodites *Calanus finmarchicus* à la station de Rimouski. Les proportions sont normalisées selon le maximum annuel et lissées à l'aide d'un algorithme Loess.

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Moy.	É.T.
Rimouski							0.13	0.24	1.48	1.13	-1.69	-1.58	0.26	-0.53	0.03	0.82	-0.29	-1.13	-1.30	12.7	2.8
oGSL		0.57	0.24	1.52	-0.67	-0.04	-0.15	1.64	-0.35	-1.49	-1.01	-0.51	0.99	0.93	-0.03	-1.64	-1.19	-1.97	11.4	1.9	
eGSL		-0.26	1.50	0.58	1.56	-0.28	0.24	1.16	-0.34	0.43	-0.19	-2.03	-0.56	0.39	-0.91	-1.29	-1.50	-0.49	10.0	1.8	
Vallée de Shediac	-1.35	0.75	0.83	-0.37	2.33	0.34	-0.93	0.83	0.18	-0.74	0.45	-1.33	-1.31	0.83	-0.14	0.38	-0.76	-1.41	-1.91	3.9	2.1
sGSL		0.73	0.14	0.32	-0.14	-0.73	0.61	1.31	0.19	0.27	-1.81	-0.71	2.15	-0.33	-0.76	-1.24	-1.48	-1.63	4.2	1.9	

Figure 33. 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 et le rouge, celles supérieures à la moyenne.

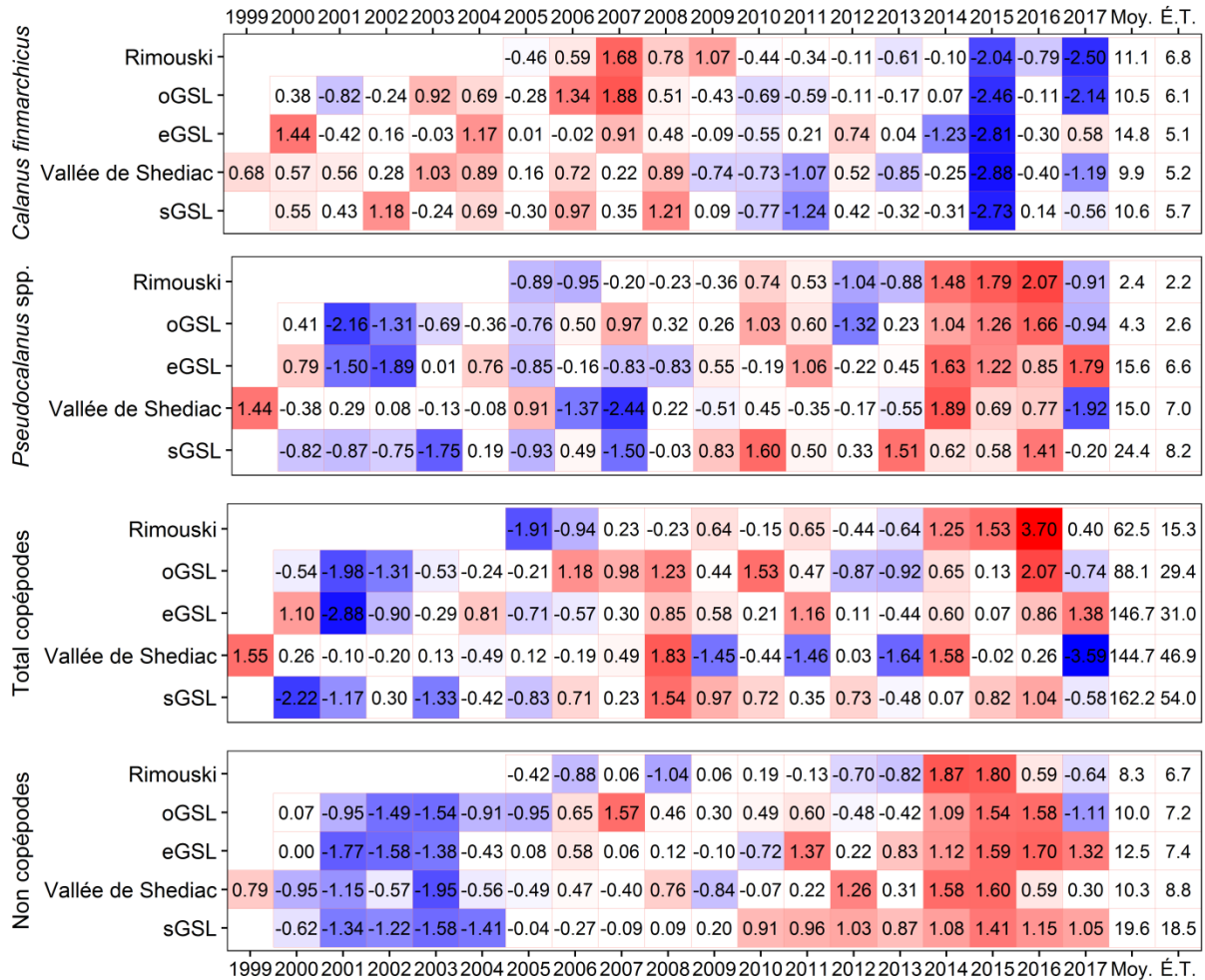


Figure 34. Série temporelle des anomalies annuelles normalisées d'abondance ($\times 10^3 \text{ ind m}^{-2}$) de quatre indices de zooplancton aux sites de monitoring à haute fréquence et dans les trois sous-régions du golfe du Saint-Laurent. Les moyennes et écart-types par région pour la période de 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 et le rouge, celles supérieures à la moyenne.

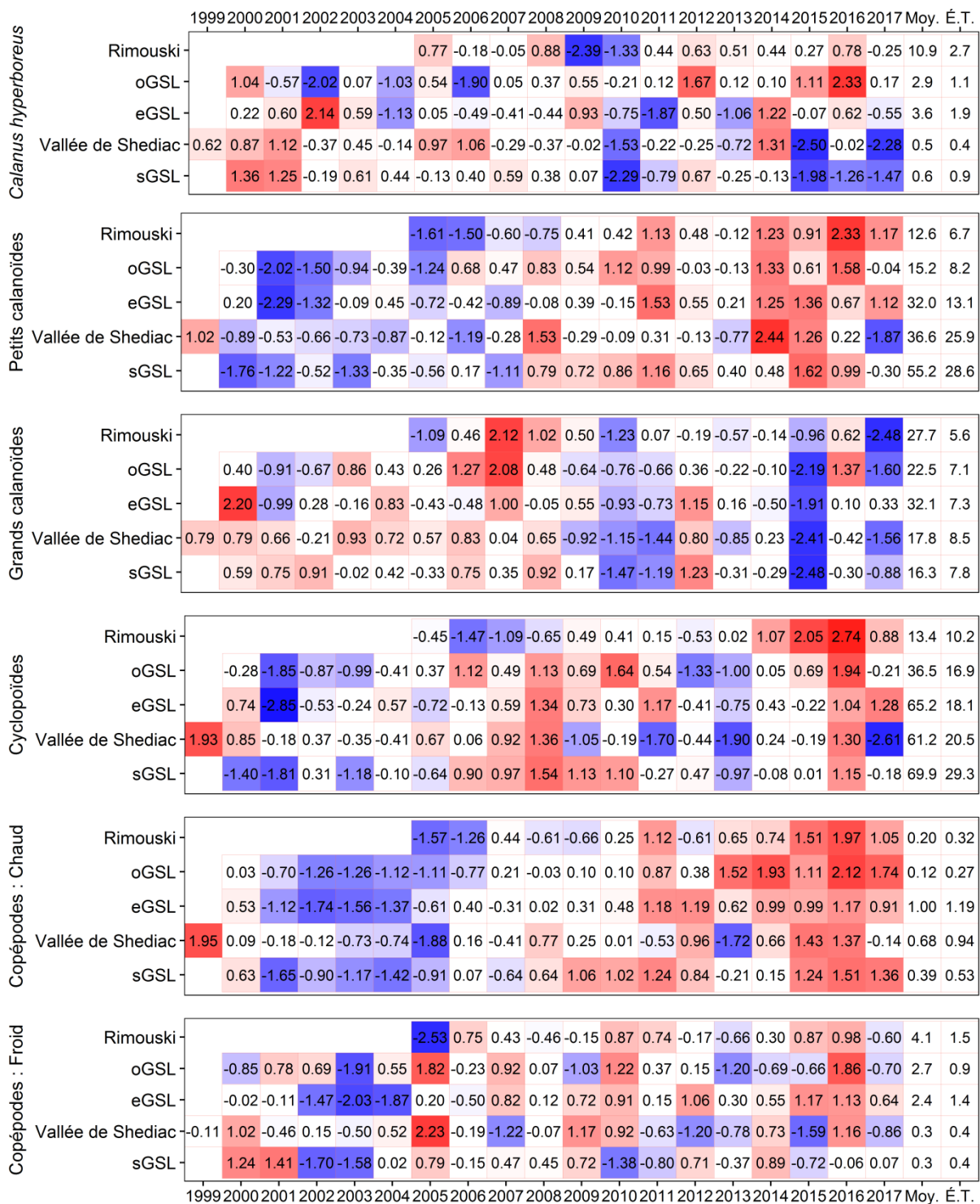


Figure 35. Série temporelle des anomalies annuelles normalisées d'abondance ($\times 10^3 \text{ ind m}^{-2}$) de six indices de zooplancton aux sites de monitoring à haute fréquence et dans les trois sous-régions du golfe du Saint-Laurent. Les moyennes et écart-types par région pour la période de référence (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 et le rouge, celles supérieures à la moyenne. 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*.

ANNEXES

Annexe 1. 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 chaque groupe.

Région	Groupe	année (p)	mois (p)	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
	Petit calanoïdes	<0,0001	<0,0001	0,65
	Grand calanoïdes	<0,0001	<0,0001	0,3
	Cyclopoïdes	<0,0001	<0,0001	0,58
	Copépodes : eau chaude	<0,0001	0,9	0,54
	Copépodes : eau froide	<0,0001	<0,0001	0,44
Vallée de Shediac	<i>Calanus finmarchicus</i>	<0,0001	<0,0001	0,34
	<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
	Petit calanoïdes	0,01	0,0003	0,18
	Grand calanoïdes	<0,0001	<0,0001	0,37
	Cyclopoïdes	0,2	<0,0001	0,24
	Copépodes : eau chaude	0,1	0,06	0,08
	Copépodes : eau froide	0,2	<0,0001	0,29

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

Région	Groupe	année (p)	saison (p)	station(p)	R ²
oGSL	<i>Calanus finmarchicus</i>	<0,0001	0,001	<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
	Petit calanoïdes	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,68
	Grand calanoïdes	<0,0001	0,02	<0,0001	0,78
	Cyclopoïdes	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,71
	Copépodes : eau chaude	<0,0001	0,05	<0,0001	0,52
	Copépodes : eau froide	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,66
sGSL	<i>Calanus finmarchicus</i>	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,31
	<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
	Petit calanoïdes	<0,0001	0,003	0,01	0,28
	Grand calanoïdes	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,48
	Cyclopoïdes	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,37
	Copépodes : eau chaude	<0,0001	<0,0001	0,3	0,52
	Copépodes : eau froide	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,40
eGSL	<i>Calanus finmarchicus</i>	<0,0001	0,3	<0,0001	0,22
	<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
	Petit calanoïdes	<0,0001	0,9	<0,0001	0,37
	Grand calanoïdes	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,48
	Cyclopoïdes	<0,0001	<0,0001	0,002	0,32
	Copépodes : eau chaude	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,50
	Copépodes : eau froide	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,38