



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS)

Document de recherche 2022/075

Région de Terre-Neuve-et-Labrador

**Conditions océanographiques optiques, chimiques et biologiques sur le plateau
continental de Terre-Neuve-et-Labrador en 2018**

G. Maillet, D. Bélanger, G. Doyle, A. Robar, S. Rastin, D. Ramsay et P. Pepin

Directions des sciences
Pêches et Océans Canada
PO Box 5667
St. John's, Terre-Neuve-et-Labrador, Canada A1C 5X1

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 le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre du
ministère des Pêches et des Océans, 2022

ISSN 2292-4272

ISBN 978-0-660-46098-7 N° cat. Fs70-5/2022-075F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Maillet, G., Bélanger, D., Doyle, G., Robar, A., Rastin, S., Ramsay, D. et Pepin, P. 2022.
Conditions océanographiques optiques, chimiques et biologiques sur le plateau continental
de Terre-Neuve-et-Labrador en 2018. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech.
2022/075. ix + 56 p.

Also available in English :

Maillet, G., Bélanger, D., Doyle, G., Robar, A., Rastin, S., Ramsay, D. and Pepin, P. 2022.
Optical, Chemical, and Biological Oceanographic Conditions on the Newfoundland and
Labrador Shelf during 2018. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2022/075. viii + 53 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	ix
INTRODUCTION	1
MÉTHODES.....	2
COLLECTE D'ECHANTILLONS	2
PROPRIÉTÉS OPTIQUES.....	2
VARIABLES INTÉGRÉES VERTICALEMENT	3
TABLEAUX SYNOPTIQUES DES ANOMALIES ANNUELLES	3
TÉLÉDÉTECTION SATELLITAIRE DE LA COULEUR DE OCÉANS	4
OBSERVATIONS.....	4
PROPRIÉTÉS OPTIQUES.....	4
Station de monitoring à haute fréquence	4
INVENTAIRES DES NUTRIMENTS ET DE LA CHLOROPHYLLE	5
Station de monitoring à haute fréquence	5
Sections transversales du plateau continental.....	7
OBSERVATION SATELLITAIRE DE LA COULEUR DE L'OCÉAN.....	7
ZOOPLANCTON – STATION DE MONITORAGE À HAUTE FRÉQUENCE (S27).....	9
Composition de la communauté.....	9
Abondance	10
Phénologie des copépodes.....	10
Biomasse	11
ZOOPLANCTON – SECTIONS OCÉANOGRAPHIQUES TRANSVERSALES.....	11
Abondance	11
Biomasse	12
Enregistrement du plancton en continu (EPC).....	13
Carbone et pH de l'océan	14
DISCUSSION.....	14
SOMMAIRE	18
REMERCIEMENTS	19
RÉFÉRENCES CITÉES	20
TABLEAUX	23
FIGURES	24
ANNEXE	56
ANNEXE 1. BIOMASSE DE ZOOPLANCTON CORRIGÉE	56

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Relevés d'échantillonnage du Programme de monitoring de la zone Atlantique (PMZA) dans la région de Terre-Neuve et Labrador en 2018. Le nombre de stations hydrographiques est la somme des profil CTD effectués durant chacune des missions incluant les occupations partielles (CTD/XBT seulement) et complètes comprenant un profil CTD, la collecte d'eau de mer et un trait vertical de plancton.23

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Emplacement des sections océanographiques transversales du plateau (BI=Île Beachy, MB=Banc Makkovik, SI=Île Seal, WB=Baie Blanche, BB=Baie de Bonavista, FC=Bonnet Flamand, SEGB=Grands Bancs sud-est, SW-SPB=sud-ouest du Banc Saint-Pierre) et de la station de monitoring à haute fréquence S27 (cercle rouge) occupées durant les relevés PMZA du printemps (panneaux de gauche), d'été (panneaux du centre) et d'automne (panneaux de droite) ainsi que les concentrations de chlorophylle a (panneaux du haut) et les températures des eaux de surfaces (panneaux du bas) au moment de l'échantillonnage.24

Figure 2. Unités de production écosystémiques (EPU) définies par l'OPANO et utilisées dans le présent rapport pour désigner les différentes sous-régions du plateau continental de Terre-Neuve et Labrador incluant le plateau du Labrador, le plateau terre-neuvien, le Bonnet Flamand, les Grands Bancs et le sud de Terre-Neuve. Figure modifiée de Koen-Alonso et al. 2019.25

Figure 3. Emplacement des sous-régions pour lesquelles les indices de floraison printanière (date de début, durée, amplitude et ampleur) sont dérivés à partir des observations satellitaires de la couleur de l'océan. HS=Détroit d'Hudson, NLS=Plateau du nord du Labrador, HB=Banc Hamilton, SAB=Bassin Saint-Anthony, NENS=plateau du nord-est de Terre-Neuve, AC=Chenal d'Avalon, HIB=Hibernia, FP=Passé Flamande, FC=Bonnet Flamand, SES=Haut-fond sud-est, SPB=Banc Saint-Pierre.26

Figure 4. Moyennes mensuelles (panneaux de gauche) et annuelles (panneaux de droite) de l'atténuation verticale de la lumière (A, B), de la profondeur euphotique (C, D) et de la concentration intégrée de la chlorophylle a (E, F) à la station de monitoring à haute fréquence S27. Les lignes noires et les bandes grises indiquent la moyenne climatologique ($\pm 95\%$ IC) pour la période 1999–2015. Les points noirs indiquent les moyennes mensuelles pour l'année 2018. Les lettres sous les abscisses représentent les mois de l'année.27

Figure 5. Comparaison de la structure verticale des phosphates (A, B), des silicates (C, D) et des nitrates (E, F) en mmol m^{-3} entre les moyennes climatologiques pour la période 1999–2015 (panneaux de gauche) et l'année 2018 (panneaux de droite) à la station de monitoring à haute fréquence S27. Les tracés de contours ont été générés par triangulation avec interpolation linéaire. Les points noirs indiquent la grille d'interpolation dérivée des profondeurs standards d'échantillonnage. Les rectangles noirs représentent les mois pour lesquels aucune donnée n'était disponible.28

Figure 6. Comparaison de la structure verticale des concentrations en chlorophylle a en mg m^{-3} entre (A) les moyennes climatologiques pour la période 1999–2015 et (B) l'année 2018 à la station de monitoring à haute fréquence S27. Les tracés de contours ont été générés par triangulation avec interpolation linéaire. Les points noirs indiquent la grille d'interpolation dérivée des profondeurs standards d'échantillonnage. Les rectangles noirs représentent les mois pour lesquels aucune donnée n'était disponible.29

Figure 7. Comparaison des inventaires mensuels moyens (\pm SE) en surface (panneaux du haut) et en profondeur (panneaux du bas) de silicates (panneaux de gauche) et de nitrates (panneaux de droite) entre les moyennes climatologiques pour la période 1999–2015 et l’année 2018 à la station de monitoring à haute fréquence S27. Aucune données n’étaient disponibles de janvier à mars 2018. Les lettres sous les axes des abscisses représentent les mois de l’année.

.....30

Figure 8. Tableaux synoptiques des anomalies annuelles standardisées des inventaires intégrés en surface (A-C) et en profondeur (B-D) de nitrates et de silicates. Les nombres à l’intérieur des cellules sont les anomalies par rapport à la moyenne climatologique pour la période de référence 1999–2015 en unité d’écart-type (moyenne [$\ln 1 +$ concentration en mmol m^{-2}] et SD énumérés à la droite du tableau). Les cellules grises indiquent des données manquantes. Les cellules rouges (bleues) indiquent une concentration supérieure (inférieure) à la normale. Les cellules blanches indiquent une concentration près de la normale (± 0.5 SD). Les sections sont énumérées du nord (haut du tableau) au sud (bas du tableau). SI=Île Seal, BB=Baie de Bonavista, S27=Station 27, BF=Bonnet Flamand, GBSE=Grands Bancs sud-est. Voir les figures 1 et 2 pour l’emplacement géographique des sections océanographiques. 31

Figure 9. Tableau synoptique des anomalies annuelles standardisées des inventaires intégrés de chlorophylle a. Les nombres à l’intérieur des cellules sont les anomalies par rapport à la moyenne climatologique pour la période de référence 1999–2015 en unité d’écart-type (moyenne [$\ln 1 +$ concentration en mg m^{-2}] et SD énumérés à la droite du tableau). Les cellules rouges (bleues) indiquent une concentration supérieure (inférieure) à la normale. Les cellules blanches indiquent une concentration près de la normale (± 0.5 SD). Les sections sont énumérées du nord (haut du tableau) au sud (bas du tableau). SI=Île Seal, BB=Baie de Bonavista, S27=Station 27, BF=Bonnet Flamand, GBSE=Grands Bancs sud-est. Voir les figures 1 et 2 pour l’emplacement géographique des sections océanographiques. 32

Figure 10. Concentrations bimensuelles de chlorophylle a en surface (panneaux de gauche) et anomalies standardisées calculées à partir des moyennes climatologiques pour la période de référence 1998–2015 (panneaux de droite) pour les données satellitaire VIIRS de la couleur de l’océan dans l’Atlantique Nord au printemps 2018. Les panneaux représentent des images composites bimensuelles de la fin mars (panneaux du haut) à la fin mai (panneaux du bas). Les endroits couverts en blanc (gris) dans les panneaux de gauche (droite) indiquent les emplacements où les données n’étaient pas disponibles en raison de la présence de glace ou de la couverture nuageuse. 33

Figure 11. Tableaux synoptiques des anomalies annuelles standardisées des paramètres de la floraison printanière. Les nombres à l’intérieur des cellules sont les anomalies par rapport à la moyenne climatologique pour la période de référence 1998–2015 en unité d’écart-type (moyenne [$\ln 1 +$ concentration] et SD énumérés à la droite du tableau). Les cellules grises indiquent des données manquantes. Les cellules rouges (bleues) indiquent une date de début tardive (hâtive), une durée de floraison prolongée (écourtée), ou une amplitude/ampleur supérieure (inférieure) à la normale. Les cellules blanches indiquent des conditions près de la normale (± 0.5 SD). Les moyennes climatologiques sont exprimées en jours de l’année pour la date de début de la floraison, en jours pour la durée de la floraison, en mg m^{-3} pour l’amplitude et en $\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ pour l’ampleur de la floraison. Les sections sont énumérées du nord (haut du tableau) au sud (bas du tableau). Voir figures 2 et 3 pour l’emplacement géographique des sous-régions. 36

Figure 12. Concentrations bimensuelles de chlorophylle a en surface (mg m^{-3}) et anomalies standardisées calculées à partir des moyennes climatologiques pour la période de référence 1998–2015 pour les données satellitaire VIIRS de la couleur de l’océan dans l’Atlantique Nord à

l'automne 2018. Les panneaux représentent des images composites bimensuelles pour la première (panneaux du haut) et la deuxième (panneaux du bas) moitié du mois de septembre. Les endroits couverts en blanc (gris) dans les panneaux de gauche (droite) indiquent les emplacements où les données n'étaient pas disponibles en raison de la présence de glace ou de la couverture nuageuse.38

Figure 13. Abondance relative des copépodes et des organismes mésozooplanctoniques non-copépodes (A, B) ainsi que des principaux taxa de copépodes (C, D) et d'organismes non-copépodes (E, F) pour la période de référence 1999–2015 (panneaux de gauche) et pour 2018 (panneaux de droite) à la station de monitoring à haute fréquence S27. Les abondances relatives ont été calculées à partir des concentrations mensuelles moyennes des différents groupes ou taxa. Les lettres sous l'axe des abscisses représentent les mois de l'année. 39

Figure 14. Variation saisonnière de l'abondance de taxa de copépodes d'importance écologique à la station de monitoring à haute fréquence S27. Les lignes noires et les bandes grises représentent les moyennes climatologiques mensuelles ($\pm 95\%$ IC) d'abondance pour la période de référence 1999–2015. Les points noirs indiquent la l'abondance lors de chacune des occupations de la station en 2018. Les lettres sous l'axe des abscisses représentent les mois de l'année.40

Figure 15. Variations saisonnières de l'abondance relative des stades copépodites de *Calanus finmarchicus* (A, B) et *Pseudocalanus* spp. (C, D) pour les moyennes climatologiques de la période de référence 1999–2015 (panneaux de gauche) et pour l'année 2018 (panneaux de droite) à la station de monitoring à haute fréquence S27. Les abondances relatives ont été calculées à partir des concentrations mensuelles moyennes des différents stades copépodites. Les lettres sous l'axe des abscisses représentent les mois de l'année.41

Figure 16. Variation saisonnière de la biomasse de zooplancton pour (A) l'ensemble du zooplancton (<10 mm), (B) le zooplancton de petite taille (<1 mm) et (C) le zooplancton de grande taille (1–10 mm) à la station de monitoring à haute fréquence S27. Les lignes noires et les bandes grises représentent les moyennes climatologiques mensuelles ($\pm 95\%$ IC) de biomasse pour la période de référence 1999–2015. Les points noirs indiquent la biomasse lors de chacune des occupations de la station en 2018.42

Figure 17. Tableaux synoptiques des anomalies annuelles de l'abondance (A) des copépodes et (B) des non-copépodes. Les nombres à l'intérieur des cellules sont les anomalies par rapport à la moyenne climatologique pour la période de référence 1999–2015 en unité d'écart-type (moyenne climatologique [$\ln 1 + \text{concentration en ind. m}^{-2}$] et SD énumérés à la droite du tableau). Les cellules rouges (bleues) indiquent une abondance supérieure (inférieure) à la normale. Les cellules blanches indiquent une abondance près de la normale (± 0.5 SD). Les sections sont énumérées du nord (haut du tableau) au sud (bas du tableau). SI=Île Seal, BB=Baie de Bonavista, S27=Station 27, BF=Bonnet Flamand, GBSE=Grands Bancs sud-est. Voir figures 1 et 2 pour l'emplacement géographique des sections océanographiques. 43

Figure 18. Tableaux synoptiques des anomalies annuelles de l'abondance des taxa de copépodes de grande (A) et de petite (B, C) taille. Les nombres à l'intérieur des cellules sont les anomalies par rapport à la moyenne climatologique pour la période de référence 1999–2015 en unité d'écart-type (moyenne climatologique [$\ln 1 + \text{concentration en ind. m}^{-2}$] et SD énumérés à la droite du tableau). Les cellules rouges (bleues) indiquent une abondance supérieure (inférieure) à la normale. Les cellules blanches indiquent une abondance près de la normale (± 0.5 SD). Les sections sont énumérées du nord (haut du tableau) au sud (bas du tableau). SI=Île Seal, BB=Baie de Bonavista, S27=Station 27, BF=Bonnet Flamand, GBSE=Grands Bancs sud-est. Voir les figures 1 et 2 pour l'emplacement géographique des sections océanographiques.44

Figure 19. Tableaux synoptiques des anomalies annuelles de biomasse totale de zooplancton (A) et de biomasse de zooplancton de petite (B) et de grande (C) taille. Les nombres à l'intérieur des cellules sont les anomalies par rapport à la moyenne climatologique pour la période de référence 1999–2015 en unité d'écart-type (moyenne climatologique [$\ln 1 +$ biomasse en g m^{-2}] et SD énumérés à la droite du tableau). Les cellules rouges (bleues) indiquent une biomasses supérieure (inférieure) à la normale. Les cellules blanches indiquent une biomasse près de la normale (± 0.5 SD). Les sections sont énumérées du nord (haut du tableau) au sud (bas du tableau). SI=Île Seal, BB=Baie de Bonavista, S27=Station 27, BF=Bonnet Flamand, GBSE=Grands Bancs sud-est. Voir les figures 1 et 2 pour l'emplacement géographique des sections océanographiques.	45
Figure 20. Fréquence d'échantillonnage mensuel du programme d'enregistrement du plancton en continu (EPC) sur le nord des Grands Bancs (panneau de gauche) et le sud de Terre-Neuve (panneau de droite). Notez l'importante interruption dans l'échantillonnage entre le milieu des années 1970 et 1991.	46
Figure 21. Routes des navires commerciaux et stations d'échantillonnage du programme d'enregistrement du plancton en continu (EPC) dans les eaux du plateau continental et du talus de 1961–2017. Les croix noires indiquent les stations d'échantillonnage pour le nord des Grands Bancs. Les croix blanches indiquent les stations d'échantillonnage pour le sud de Terre-Neuve.....	47
Figure 22. Tableaux synoptiques des anomalies annuelles standardisées d'abondance relative des taxa de phytoplancton et de zooplancton du programme d'enregistrement du plancton en continu (EPC) pour (A) le nord de Grands Bancs et (B) le sud de Terre-Neuve de 1991 à 2017. Les nombres à l'intérieur des cellules sont les anomalies par rapport à la moyenne climatologique pour la période de référence 1991–2010 en unités d'écart-type (SD). Les cellules grises indiquent les années pour lesquelles les données d'échantillonnage s'étaient sur 8 mois ou moins, ou les années avec des écarts dans l'échantillonnage de 3 mois ou plus. Les cellules rouges (bleues) indiquent une abondance supérieure (inférieure) à la normale. Les cellules blanches indiquent une abondance près de la normale (± 0.5 SD). Les taxa sensibles à l'acidification inclus les coccolithophores, les foraminifères et les ptéropodes appartenant au genre <i>Limacina</i>	48
Figure 23. État de saturation de l'aragonite (Ω) pour (A) les premiers 50 m, (B) les eaux intermédiaires (75–200 m), et (C) >200 m (profondeur maximale de 3700 m) durant la mission PMZA du printemps (mars-avril) 2018. Les valeurs correspondantes de pH (échelle totale) sont présentées dans les panneaux D-F. $\Omega < 1$ indique une sous-saturation en aragonite, et $\Omega > 1$ indique une sursaturation en aragonite.....	50
Figure 24. État de saturation de l'aragonite (Ω) pour (A) les premiers 50 m, (B) les eaux intermédiaires (75–200 m), et (C) >200 m (profondeur maximale de 3700 m) durant la mission PMZA d'été (juillet) 2018. Les valeurs correspondantes de pH (échelle totale) sont présentées dans les panneaux D-F. $\Omega < 1$ indique une sous-saturation en aragonite et $\Omega > 1$ indique une sursaturation en aragonite.	52
Figure 25. État de saturation de l'aragonite (Ω) pour (A) les premiers 50 m, (B) les eaux intermédiaires (75–200 m), et (C) >200 m (profondeur maximale de 3700 m) durant la mission PMZA d'automne (novembre-décembre) 2018. Les valeurs correspondantes de pH (échelle totale) sont présentées dans les panneaux D-F. $\Omega < 1$ indique une sous-saturation en aragonite et $\Omega > 1$ indique une sursaturation en aragonite.....	54
Figure A.1. Comparaison des anomalies annuelles de zooplancton calculées à partir des données non corrigées (panneau de gauche) et corrigées (panneau de droite) de biomasse	

pour la station de monitoring à haute fréquence (S27) et les sections océanographiques (SI: Île Seal, BB: Baie de Bonavista, FC: Bonnet Flamand, SEGB: Grands Bancs sud-est). Voir figure 1 pour l'emplacement de la station de monitoring à haute fréquence et des sections océanographiques.56

RÉSUMÉ

L'état des nutriments et du plancton marin sur les Grands Bancs et le plateau continental de Terre-Neuve et Labrador en 2018 est évalué et comparé aux conditions moyennes à long-terme dans la région afin de mettre en évidence les interrelations entre les conditions biogéochimiques océanographiques et la production marine primaire (phytoplancton) et secondaire (zooplancton). Globalement, les indices optiques et de chlorophylle *a* indiquent une biomasse de phytoplancton au-dessus de la normale à la station de monitoring à haute fréquence (S27) pour avril et mai 2018. Les indices de production de phytoplancton étaient près des normales durant le reste de l'année. Les profils printaniers de silicate et de nitrate montrent une absorption de nutriments à des profondeurs deux fois supérieures aux moyennes climatologiques suggérant qu'une portion de la production primaire a eu lieu plus profondément en zone euphotique. Les anomalies annuelles de chlorophylle le long des sections océanographiques transversales du plateau continental indiquent également une production de phytoplancton au-dessus de la moyenne pour 2018, ce qui contraste avec les niveaux plus faibles observés depuis le début des années 2010. Bien que l'imagerie satellitaire de la couleur de l'océan pour 2018 concorde avec les observations *in situ* du Programme de monitoring de la zone Atlantique (PMZA), les indices de floraison printanière à l'échelle régionale montrent une intensité et une ampleur réduites de la floraison printanière. La tendance générale de l'augmentation de l'abondance du zooplancton sur les Grands Bancs observée depuis le début du PMZA s'est poursuivie en 2018. L'abondance des copépodes de grande taille à haute teneur énergétique *Calanus finmarchicus* était principalement près des normales sur les Grands Bancs et le plateau continental de Terre-Neuve et Labrador en 2018 après 4 années de faible abondance. L'abondance des copépodes de petite taille *Pseudocalanus* spp. et *Oithona* spp. était de retour à des niveaux près de la normale après 3–4 années d'abondances élevées à l'exception des Grands Bancs sud-est où l'abondance est demeurée au-dessus de la normale. L'abondance des organismes zooplanctoniques non-copépodes est demeurée au-dessus de la normale dans l'ensemble de la région pour une 6^e année consécutive, atteignant des niveaux records ou parmi les plus élevés pour S27 et chacune des sections océanographiques. Les cycles de production de *C. finmarchicus* et de *Pseudocalanus* spp. à S27 ont été retardés d'environ un mois en 2018 et présentent des signes de production d'une deuxième génération. Le zooplancton de grande taille (>1 mm) était le principal responsable de l'augmentation de la biomasse total de zooplancton le long de chacune des sections océanographiques. La biomasse du zooplancton de petite taille (<1 mm) présentait des anomalies négatives dans l'ensemble de la région, continuant une tendance qui a débuté il y a plus d'une décennie. Les abondances relatives de certains taxa de phyto- et de zooplancton en surface basées sur les données du programme d'enregistrement du plancton en continu (EPC) indiquent des niveaux élevés de copépodes de petite taille et de plancton sensible à l'acidification sur le nord des Grands Bancs. Des changements dans l'acidification des océans et la chimie des carbonates montrent des variations saisonnières de pH et d'horizons de saturation (Ω) de l'aragonite et de la calcite. Les mesures de carbone océanique indiquent de façon générale que les masses d'eau sont saturées en ions carbonates, mais sous-saturée en aragonite dans les eaux intermédiaires et profondes à certaines stations d'échantillonnage. Les patrons de variation générale des nutriments, de la biomasse du phytoplancton et de l'abondance du zooplancton soulignent l'importance des relations entre l'environnement biogéochimique et la production océanique primaire et secondaire. Les résultats montrent des signes persistants d'un changement de la structure de taille de la communauté de copépodes caractérisé par une diminution de l'abondance des copépodes de grande taille à haute teneur énergétique en faveur d'autres taxa de copépodes de petite taille. Davantage de recherches sont nécessaires afin de comprendre les raisons à la base des changements dans la structure des communautés zooplanctoniques et leur effets sur le transfert d'énergie vers les niveaux trophiques supérieurs.

INTRODUCTION

Le Programme de monitoring de la zone Atlantique (PMZA) a été mis en œuvre en 1998 (Therriault et al. 1998) dans le but d'accroître la capacité de Pêches et Océans Canada (MPO) à comprendre, décrire et prévoir l'état des écosystèmes marins et à quantifier les changements des propriétés physiques, chimiques et biologiques de l'océan. Un des éléments clés du PMZA consiste à fournir des observations visant à évaluer les variations saisonnières et interannuelles des nutriments, du phytoplancton (producteur primaires microscopiques) et du zooplancton (animaux à la dérive). L'objectif général du programme est d'identifier les relations fondamentales entre les différents éléments de l'écosystème planctonique et de comprendre comment ces derniers répondent aux changements des différents facteurs environnementaux. Le PMZA tire ses renseignements sur l'état de l'écosystème marin de données recueillies à partir d'un réseau de sites d'échantillonnage (stations de monitoring à haute fréquence, sections océanographiques transversales du plateau continental et relevés multi-espèces au chalut) dans quatre régions du MPO (Québec, Golfe, Maritimes et Terre-Neuve-et-Labrador [T-N-L]) occupées selon une fréquence variant de bimensuelle à annuelle. Les sections transversales fournissent des informations à grande échelle sur la variabilité environnementale mais sont toutefois limitées par leur couverture saisonnière. Les stations de monitoring à haute fréquence complètent l'échantillonnage en fournissant de l'information détaillée sur les changements annuels des propriétés océaniques. La figure 1 montre l'emplacement des sections transversales et de la station de monitoring à haute fréquence S27 pour la région de T-N-L occupées en 2018.

La description des patrons saisonniers de distribution du phytoplancton et du zooplancton fournit des renseignements importants au sujet des organismes constituant la base de la chaîne alimentaire marine. La compréhension des cycles de production planctonique ainsi que de leur variabilité interannuelle est essentielle à une approche écosystémique de la gestion des pêches. Ce document présente une évaluation de la distribution et de l'abondance des macronutriments et du plancton sur le plateau continental de Terre-Neuve-et-Labrador en comparant les conditions océanographiques biogéochimiques observées en 2018 aux conditions moyennes à long-terme basées sur des données historiques. Ce rapport complète d'autres revues similaires des conditions océanographiques biogéochimiques du golfe du Saint-Laurent, du plateau néo-écossais et du golfe du Maine, ainsi que de la mer du Labrador (Yashayaev et al. 2014, Blais et al. 2018, Johnson et al. 2020). Ce rapport complète également les rapports sur l'évaluation des conditions d'océanographie physique de la région de Terre-Neuve et Labrador (Cyr et al. 2020) et de l'ensemble du système côtier de l'Atlantic Nord-Ouest (MPO, 2019).

La variabilité des conditions océanographiques biologiques peut être liée aux propriétés physiques de la colonne d'eau. En général, les masses d'eau caractéristiques du plateau de Terre-Neuve sont dominées par des eaux subpolaires dont les températures demeurent normalement près de 0°C à des profondeurs intermédiaires. Les eaux du talus continental du Labrador s'écoulent vers le sud le long de la limite du plateau et dans la Passe Flamande; cette masse d'eau est généralement plus chaude et plus salée que la masse d'eau subpolaire du plateau. En moyenne, les températures de fond demeurent inférieures à 0°C sur la majeure partie du nord des Grands Bancs, mais augmentent au-dessus de 0°C dans les régions plus au sud ainsi qu'à des profondeurs supérieures à 200 m sur la pente externe des Grands Bancs. Au nord des Grands Bancs, les températures de fond sont généralement plus élevées à l'exception des régions côtières peu profondes où elles demeurent sous les 0°C. Durant la majeure partie de l'année, la couche d'eau froide et relativement moins salée recouvrant le plateau continental est séparée de la couche plus chaude et plus salée du talus par un important front de

température et de salinité. Cette masse d'eau froide formée en hiver est appelée couche intermédiaire froide (CIF) et est considérée comme un indice fiable des conditions climatiques océaniques. En général, les propriétés des masses d'eau du plateau continental subissent des modifications saisonnières résultant des flux de chaleur entre l'air et l'océan, du mélange par le vent, et de la formation et la fonte des glaces donnant cours à de forts gradients verticaux et horizontaux principalement à la limite entre les masses d'eaux du plateau et du talus continental.

MÉTHODES

Dans la mesure du possible, la collecte et le traitement des échantillons s'effectue selon les normes établies par le protocole d'échantillonnage du PMZA (Mitchell et al. 2002). Les protocoles utilisés pour les mesures non standard et pour le calcul de variables dérivées sont décrits ci-dessous. Les unités de production écosystémiques (EPU) définies par l'Organisation des pêches de l'Atlantique nord-ouest (OPANO) sont utilisées dans le présent rapport pour référer aux différentes sous-régions des eaux côtières de la région de T-N-L (Figure 2).

COLLECTE D'ÉCHANTILLONS

Trois relevés saisonniers (printemps, été et automne) ont été réalisés le long des sections transversales standard (Île Seal [IS], Baie de Bonavista [BB], Bonnet Flamand [BF] et Grands Bancs sud-est [GBSE]) dans la région de T-N-L en plus des occupations de la station côtière de monitoring à haute fréquence (S27) durant les missions d'échantillonnage du PMZA et les relevés multi-espèces (Tableau 1, Figure 1).

Au total, 415 stations hydrographiques ont été occupées en 2018. Des échantillons d'eau de mer et de plancton ont été collectés à 220 et 231 stations, respectivement. La station de monitoring à haute fréquence S27 a été occupée à 25 reprises entre avril et décembre 2018. La collecte d'échantillons à S27 ainsi que le long des sections transversales standard comprend un profil de conductivité, température, profondeur (CTD) effectué à l'aide d'un instrument SBE-9plus (Sea-Bird Electronics) équipé de capteurs d'oxygène dissous, de chlorophylle *a* (chl *a*), de fluorescence, de rayonnement photosynthétiquement actif (RPA), de pH, de matière organique dissoute colorée (CDOM) et d'un transmissomètre. Dans les cas où un profil CTD ne pouvait être obtenu, une sonde bathythermographique largable (XBT) était parfois utilisée.

Des analyses de salinité, d'oxygène dissous, de chl *a*, et de nutriments ont été effectuées sur des échantillons d'eau prélevés à l'aide de bouteilles Niskin à des profondeurs de 5, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 250, 500 et 1000 m ainsi que près du fond. En plus des analyses standard du programme pour les conditions biologiques et chimiques énumérées ci-dessus, des mesures de carbone organique particulaire (COP), d'azote organique particulaire (NOP) et de carbonate (alcalinité totale [AT] et carbone inorganique dissous [CID]) ont été effectuées pour un sous-ensemble de stations et de profondeurs afin d'évaluer l'état d'acidification de l'océan. Les échantillons de zooplancton ont été collectés à l'aide d'un filet à plancton (maille = 202 µm) à ouverture circulaire d'un diamètre de 75 cm remorqué verticalement du fond (profondeur maximale de 1000 m dans les eaux profondes du large) jusqu'à la surface à une vitesse d'environ 1 m s⁻¹. Les échantillons ont été préservés dans une solution de formaldéhyde tamponnée 4% et analysés selon le protocole décrit dans Mitchell et al. (2002).

PROPRIÉTÉS OPTIQUES

Les propriétés optiques de l'eau de mer (coefficient d'atténuation verticale [K_d] et profondeur euphotique [Z_{eu}]) sont dérivées à partir de mesures *in situ* d'extinction de la lumière prise à l'aide d'un capteur de rayonnement photosynthétiquement actif (RPA) fixé à la rosette. Le

coefficient d'atténuation vertical de RPA (K_{d_RPA}) est estimé comme étant la pente de la régression linéaire de $\ln(E_d(z))$ en fonction de la profondeur z où $E_d(z)$ est la valeur de l'irradiance descendante en RPA à la profondeur (z) pour l'intervalle de profondeur allant de près de la surface à 50 m. La profondeur euphotique (Z_{eu}) à laquelle l'irradiance atteint ~1% de l'incidence en surface est estimée à partir de la formule:

$$Z_{eu} (m) = 4.6 / K_{d_RPA}$$

En l'absence de données *in situ* de RPA, un coefficient d'atténuation vertical calculé à partir de la concentration de chlorophylle ($K_{d_chl a}$) est calculé à l'aide de la formule:

$$K_{d_chl a} (m^{-1}) = 0.027 m^{-1} + 0.015 m^{-1} + B(z) * 0.04 m^{-1} \text{ (Platt et al. 1988)}$$

où $B(z)$ est la concentration de chl *a* en $mg\ m^{-3}$ et où les autres coefficients sont liés aux composantes de l'eau de mer pure et de substances dissoutes. La profondeur euphotique est estimée en substituant la valeur moyenne de $K_{d_chl a}$ pour l'intervalle 0–50 m à K_{d_RPA} .

VARIABLES INTÉGRÉES VERTICALEMENT

Les inventaires intégrés de chl *a* (0–100 m) et de nutriments (0–50 m et 50–150 m) sont calculés à partir de la méthode trapézoïdale d'intégration numérique. Lorsque la profondeur maximale à une station donnée est inférieure à la limite d'intégration mentionnée ci-haut, les inventaires sont calculés en réglant la limite inférieure d'intégration à la profondeur maximale à cette station. Le niveau de surface (0 m) est défini comme étant égal à la valeur mesurée à la profondeur située le plus près de la surface. Le niveau à la profondeur maximale est défini comme:

1. la valeur interpolée lorsque l'échantillonnage a lieu à une profondeur supérieure à la limite inférieure d'intégration; ou
2. la valeur à la profondeur le plus près de la limite inférieure d'intégration lorsque l'échantillonnage a lieu à une profondeur inférieure à la limite inférieure d'intégration.

TABLEAUX SYNOPTIQUES DES ANOMALIES ANNUELLES

Les tableaux synoptiques présentent les anomalies annuelles standardisées pour les principaux indices biogéochimiques dans un format compact. Les inventaires annuels moyens de nutriments, de chl *a* et d'abondance des principaux taxons zooplancton le long de chacune des quatre sections transversales standard ainsi qu'à la station de monitoring à haute fréquence sont calculés à partir de modèles linéaires généraux de la forme

$$Densité = \alpha + \beta_{ANNÉE} + \delta_{STATION} + \gamma_{SAISON} + \varepsilon$$

pour les sections transversales où la *Densité* est exprimée en m^{-2} , α représente l'intercepte, ε représente l'erreur et β , δ , et γ représentent les effets catégoriels de l'année, de la station et de la saison, respectivement, et de la forme

$$Densité = \alpha + \beta_{ANNÉE} + \delta_{MOIS} + \varepsilon$$

pour la station de monitoring à haute fréquence (Station 27) où β et δ représentent les effets catégoriels de l'année et du mois, respectivement. Une transformation logarithmique est appliquée aux valeurs de densité ($\ln [Densité]$) afin de normaliser la distributions asymétrique des observations. Pour le zooplancton, les valeurs de densité sont augmentées de un ($\ln [Densité + 1]$) afin d'inclure les observations où la densité est égale à zéro. Les valeurs de propriétés optiques de l'eau de mer n'ont pas été transformés. Les valeurs annuelles moyennes sont estimées à partir des moyennes marginales (least-square means) du modèle linéaire calculées selon la méthode de la somme de carrés de type III. Les anomalies annuelles

représentent l'écart entre la moyenne annuelle pour une année donnée et la moyenne pour la période de référence, soit 1998–2015 pour les données satellitaires de la couleur de l'océan et 1999–2015 pour les inventaires de nutriments, de chl *a* et d'abondance du zooplancton. Les anomalies sont exprimées en unités normalisées (i.e. en divisant l'anomalie par l'écart-type des moyennes annuelles pour la période de référence). Des écarts importants par rapport aux conditions moyennes à long terme peuvent indiquer des changements au niveau du régime océanographique ou des processus écosystémiques dominant.

TÉLÉDÉTECTION SATELLITAIRE DE LA COULEUR DE OCÉAN

La biomasse du phytoplancton près de la surface est estimée à partir de données satellitaires de la couleur de l'océan récoltées par les capteurs [Sea-viewing Wide Field-of-View Sensor](#) (SeaWiFS) lancé par l'Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace (NASA) en septembre 1997, [Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer](#) (MODIS) "Aqua" lancé par la NASA en juillet 2002 et [Visible-Infrared Imager Radiometer Suite](#) (VIIRS) lancé par la NASA et par l'Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique (NOAA) en octobre 2011. Dans le présent rapport, une série chronologique de la biomasse du phytoplancton en surface pour différentes sous-régions de la région de Terre-Neuve-et-Labrador (Figure 3) est construite à partir des données satellitaires SeaWiFS pour la période 1998–2007, MODIS pour la période 2008–2011 et VIIRS pour la période 2012–2018. Les concentrations en chl *a* sont estimées à l'aide des algorithmes OCx de rapports de bandes spectrales ($x = 4, 3M$ et $3V$ pour SeaWiFS, MODIS et VIIRS, respectivement) appliqués aux mesures de télédétection de réflectance selon la méthode décrite dans O'Reilly et al. (1998). Les coefficients des algorithmes pour chaque capteur sont disponibles sur le [site internet de la couleur de l'océan de la NASA](#). Des statistiques de bases (moyenne, écart-type) extraites d'image composites semi-mensuelles sont utilisées pour créer des produits de visualisation du cycle annuel et de la variabilité interannuelle de la concentration de chl *a* en surface. Ces produits sont disponibles dans la section [Télédétection opérationnelle](#) du site de l'Institut océanographique de Bedford. Des données satellitaires hebdomadaires (composites 8 jours) sont utilisées pour décrire la phénologie de la floraison printanière sur la base de quatre indicateurs dérivés d'un modèle de fonction gaussienne du temps décalé selon la méthode décrite dans Zhai et al. (2011) :

- la date de début (jour de l'année),
- la durée du cycle (nombre de jours),
- l'ampleur (l'intégrale de la concentration en chl *a* sous la courbe gaussienne),
- l'amplitude (concentration de chl *a* maximale moins la concentration de fond).

OBSERVATIONS

PROPRIÉTÉS OPTIQUES

Station de monitoring à haute fréquence

Les indices optiques (i.e. le coefficient d'atténuation de la lumière et la profondeur euphotique) suivent de façon générale la dynamique du cycle de production du phytoplancton. En général, l'atténuation du RPA augmente graduellement au cours de l'hiver, culmine en avril, décroît rapidement en juin, et demeure relativement stable au cours de l'été et de l'automne (Figure 4A). En 2018, les coefficients d'atténuation étaient bien au-dessus des moyennes à long terme indiquant une floraison printanière plus intense que la normale. L'atténuation verticale était de retour à des valeurs près de la normale durant l'été. La floraison automnale, plus modeste et

généralement difficile à observer à partir des changements saisonniers des indices optiques, était cependant visible en 2018 (Figure 4A). Les coefficients annuels moyens indiquent une tendance variable et une valeur record en 2018 (Figure 4B). La profondeur euphotique (profondeur à laquelle l'incidence de RPA est égale à 1%) varie normalement de 35 à 85 m selon les saisons (Figure 4C). Elle commence à diminuer en janvier et atteint un minimum en avril durant la floraison printanière. Elle augmente ensuite rapidement jusqu'à un maximum en juin et demeure relativement stable au cours de l'été et de l'automne. La profondeur euphotique en avril 2018 était environ deux fois inférieure à la moyenne climatologique. Les valeurs observées durant l'été étaient généralement près de la normale. La pénétration de la lumière était également sous la normale en septembre et octobre 2018 suggérant une forte production primaire automnale (Figure 4C). La profondeur euphotique moyenne annuelle montre une tendance à l'augmentation de 2000 à 2014, suivie d'une diminution marquée jusqu'à un minimum record en 2017 (Figure 4D). La profondeur euphotique moyenne annuelle en 2018 était la deuxième plus faible de la série chronologique.

En 2018, les inventaires intégrés de chlorophylle étaient bien au-dessus de la climatologie en avril et en mai avec ~ 600 et 300 mg m^{-2} , respectivement (Figure 4E). Le coefficient d'atténuation au-dessus de la normale en octobre ainsi que les profondeurs euphotiques sous la normale en septembre et octobre suggèrent une floraison automnale relativement intense en 2018. Par contre, les inventaires de chlorophylle indiquaient des conditions normales pour la même période. Tandis que la floraison printanière se développe à travers la majeure partie de la profondeur euphotique, la floraison automnale, quant à elle, a lieu plus près de la surface. La production automnale en surface est en quelque sorte diluée lorsqu'intégrée à travers une colonne d'eau de 100 m ce qui peut expliquer pourquoi la floraison automnale n'est pas reflétée par les inventaires intégrés de chlorophylle. Les inventaires moyens annuels de chlorophylle montrent une tendance à la baisse passant de $\sim 250 \text{ mg m}^{-2}$ au début de la série chronologique à un minimum record de $\sim 40 \text{ mg m}^{-2}$ en 2016, avant d'augmenter à nouveau à $\sim 170 \text{ mg m}^{-2}$ en 2018, soit la deuxième valeur la plus élevée de la série chronologique (Figure 4F).

INVENTAIRES DES NUTRIMENTS ET DE LA CHLOROPHYLLE

Station de monitoring à haute fréquence

La distribution verticale des nutriments inorganiques à S27 montre une covariation des nitrates, silicates et phosphates. Les inventaires de nutriments sont influencés par les processus biologiques saisonniers opérant dans la partie supérieure de la colonne d'eau et par les processus de recyclage en eau profonde. En plus, la détermination du début de l'absorption des nutriments dépend de l'effort d'échantillonnage et la fréquence des observations est limitée durant l'hiver et au début du printemps en comparaison du reste de l'année.

Les traits dominant du cycle de production annuelle des nutriments ont été déterminés à partir de comparaisons climatologiques de la distribution verticale et de la variabilité mensuelle des concentrations de nutriments et de chlorophylle. La distribution des macronutriments montre une forte stratification verticale tout au long de l'année (Figure 5A-F). La climatologie des phosphates indique une absorption débutant au début mars et s'intensifiant au cours des mois d'été. La concentration de phosphate commence à augmenter en août et atteint un maximum en janvier. L'absorption verticale du phosphate se limite généralement aux premiers 50 m de la colonne d'eau. En 2018, l'absorption des phosphates était plus étendue que la normale. Une première absorption sur une profondeur de plus de 100 m a eu lieu en avril-mai, soit considérablement plus tôt que la normale (Figure 5B). Une deuxième absorption a eu lieu à la fin de l'été 2018, mais cette fois limitée aux 50 premiers mètres de la colonne d'eau. En plus, les concentrations de phosphates dans les eaux près du fond étaient supérieures à la moyenne

climatologique durant l'automne, lorsque le recyclage microbien de la matière organique s'intensifie. Nous avons également noté des concentrations de fond supérieures aux moyennes climatologiques pour tous les nutriments durant l'été et l'automne 2018.

La climatologie des silicates et des nitrates montre également que l'absorption débute en mars avec une importante diminution menant à des valeurs des valeurs près des concentrations limitantes (i.e. près de zéro) pour la production primaire persistant jusqu'à la fin de l'automne dans les premiers 50–75 m de la colonne d'eau (Figure 5C, E). Le stock de silicates se reconstitue généralement plus rapidement que celui des nitrates avec des concentrations approchant $\sim 4 \text{ mmol m}^{-3}$ à la fin de l'automne comparé à $\sim 2 \text{ mmol m}^{-3}$ pour les nitrates. Les patrons d'absorption de silicates et de nitrates en 2018 étaient similaires à celui des phosphates mais avec des absorptions printanières plus hâtives et plus importantes et des concentrations limitantes à des profondeurs excédant 100 m (Figure 5D, F). Les données disponibles suggèrent que les nitrates limitent le taux de production primaire davantage que les silicates et les phosphates, et ce particulièrement durant les périodes de forte production au printemps et à l'automne.

La distribution verticale de la biomasse de chlorophylle concorde généralement avec la dynamique des nutriments. La climatologie montre une augmentation de la biomasse de chlorophylle au-dessus des niveaux ambiants à partir de la fin février-début mars culminant à $\sim 4 \text{ mg m}^{-3}$ en avril pendant la floraison printanière dans les premiers 50 m de la colonne d'eau (Figure 6A). Le cycle de production printanier s'étend généralement de février à mai. La biomasse de phytoplancton décroît ensuite rapidement à des niveaux ambiants au début de l'été, pour augmenter à nouveau jusqu'à des concentrations $\sim 1\text{-}2 \text{ mg m}^{-3}$ dans les premiers 40 m de la colonne d'eau durant la floraison automnale (Figure 6A). En 2018, la concentration de chlorophylle a dépassé les 5 mg m^{-3} et des niveaux élevés ont été observés à des profondeurs dépassant la normale (Figure 6B). Par contre, la floraison automnale basée sur les mesures *in situ* de concentration de chlorophylle était plus faible que la normale mais s'étendait sur une période similaire à celle de la climatologie. Étant donnée la durée limitée de la floraison automnale, il est possible que le programme d'échantillonnage ait manqué une partie du cycle de production.

Un résumé des inventaires intégrés mensuels de macronutriments à S27 durant la période de référence indique que des niveaux élevés ($\sim 150\text{--}200 \text{ mmol m}^{-2}$) de silicate et de nitrate sont maintenus dans la partie supérieure de la colonne d'eau (0–50 m) de janvier à mars (Figure 7A, B). On observe ensuite un déclin rapide de ces deux nutriments sur une période d'un mois, suivi d'une diminution graduelle des concentrations jusqu'à la fin mai. Le renflouement des inventaires de surface commence au début de l'été et progresse plus rapidement au cours de l'automne, particulièrement dans le cas du silicate, pour se rapprocher des conditions pré-hivernales (Figure 7A, B). En 2018, aucune données n'étaient disponibles de janvier à mars mais les inventaires de surfaces pour ces deux nutriments sont demeurés sous la normale jusqu'au début de l'automne avant de se rapprocher et même de dépasser légèrement les moyennes climatologiques (Figure 7A, B).

Les inventaires en eau profonde (50–150 m) varient entre ~ 400 et 600 mmol m^{-2} de façon saisonnière mais sans patron particulier au cours de la période de référence. Les inventaires minimum de silicates et de nitrates sont observés en mai et en octobre, respectivement, alors que les inventaires maximum sont observés en août. Nous avons noté des réductions importantes dans les inventaires de silicates en eau profonde en juin, ainsi qu'en août et septembre 2018 en comparaison avec les moyennes climatologiques (Figure 7C, D). Les inventaires saisonniers moyens de nitrates en eau profonde étaient sous la normale tout au long de l'année 2018, bien que l'incertitude associée aux moyennes mensuelles était grande en raison du nombre limité d'observations.

Sections transversales du plateau continental

Les séries chronologiques d'anomalies annuelles des inventaires en eau peu profonde (0–50 m) et en eau profonde (50–150 m) pour les nitrates et les silicates le long des différentes sections transversales du plateau et à S27 sont utilisées pour évaluer les tendances à long terme pour l'ensemble de la région T-N-L. En général, les inventaires de nutriments montrent des tendances similaires à court terme ainsi qu'une importante variabilité entre les anomalies positives et négatives au cours des deux dernières décennies (Figure 8A-D). Les inventaires de silicates en eau peu profonde étaient au plus haut au début de la série chronologique, et au plus bas entre la fin des années 2000 et le début des années 2010 avec une tendance générale à la baisse pour l'ensemble de la série (Figure 8B). Les inventaires de silicate et de nitrate en eau peu profonde montrent des tendances variables similaires avec des niveaux plus élevés au début des années 2000 et des niveaux plus faibles de la fin des années 2000 jusqu'en 2018 (Figure 8A, B). Contrairement aux silicates, les inventaires de nitrates dans la couche d'eau peu profonde ont augmenté depuis 2015 le long de la plupart des sections, bien que les conditions en 2018 aient été généralement sous la normale.

Les inventaires de nitrates et de silicates en eau profonde suivent des patrons de variation similaires, passant d'anomalies principalement positives durant la première moitié de la série chronologique, à des niveaux généralement près de ou sous la normale à partir de la fin des années 2000 (Figure 8C, D). L'exception à ce patron sont les importantes anomalies négatives de silicates observées en 1999 et 2000 pour la presque totalité des sections océanographiques et à S27 (Figure 8D). Les inventaires de nitrates en eau profonde ont brièvement augmentés à des niveaux près ou au-dessus de la normale de 2015–17 avant de retourner sous la normale sur l'ensemble de la région en 2018 (Figure 8C). Les inventaires de chlorophylle dans les premiers 100 m de la colonne d'eau sont demeurés généralement près de ou au-dessus de la normale pour l'ensemble des sections et à S27 du début du programme de monitoring jusqu'en 2010 (Figure 9). Par la suite, les inventaires de chlorophylle ont diminués sous la normale où ils sont demeurés jusqu'en 2017. En 2018 les inventaires de chlorophylle étaient près de ou au-dessus de la normale sur l'ensemble des sections ainsi qu'à S27. En général, le déclin des inventaires de nitrates et de silicates en eau profonde s'accorde avec les faibles niveaux de chlorophylle observés du début au milieu des années 2010 (Figure 9).

OBSERVATION SATELLITAIRE DE LA COULEUR DE L'OCÉAN

Les données d'observation satellitaire de la couleur de l'océan fournissent une perspective à grande échelle de la biomasse de phytoplancton en surface pour l'ensemble de l'Atlantique Nord-Ouest, ce que les méthodes d'échantillonnage conventionnelles à bord de navires ne permettent pas. L'imagerie satellitaire complète nos données d'observation à bord de navires et fournissent une couverture saisonnière ainsi qu'une perspective d'ensemble pour l'interprétation de nos données de relevés scientifiques. L'observation satellitaire de la couleur de l'océan nous renseigne sur le timing et l'étendue des floraisons printanières et automnales mais ne fournit pas d'information sur les processus ayant cours sous les quelques premiers mètres de la colonne d'eau. Les informations pour la colonne d'eau sous la surface proviennent de l'échantillonnage *in situ* à la station de monitoring S27 et des relevés océanographiques saisonniers.

Les cartes d'anomalies de la couleur de l'océan pour l'Atlantique Nord-Ouest montrent des changements dans le timing et l'intensité de la floraison en 2018. Le développement hâtif de la floraison en surface a débuté à la fin mars et se limitait en grande partie au nord des Grands Bancs et au sud du plateau terre-neuvien (Figure 10). Des concentrations élevées de chlorophylle en surface ont été observées dans le sud de la mer du Labrador avec des niveaux plus faibles dans les eaux côtières. La carte d'anomalies pour cette période montre des valeurs

au-dessus de la normale sur l'ensemble du nord des Grands Bancs et des plateaux de Terre-Neuve et du Labrador ainsi que dans la mer du Labrador. La concentration de chlorophylle sur le sud des Grands Bancs était principalement près de ou légèrement sous la normale à la fin mars. Au début d'avril la concentration de chlorophylle en surface s'est intensifiée sur la portion nord et dans les eaux du talus des Grands Bancs ainsi qu'au large du plateau terre-neuvien. La floraison intense observée au début d'avril était plus modérée deux semaines plus tard mais toujours au-dessus de la normale sur le nord des Grands Bancs et dans les eaux du talus du plateau terre-neuvien. Au début du mois de mai les concentrations de chlorophylle en surface avaient atteint des niveaux élevés dans les zones côtières du plateau terre-neuvien et demeuraient au-dessus des normales dans les eaux du talus du nord des Grands Bancs. Les cartes d'anomalies indiquent que des niveaux élevés de chlorophylle persistaient sur le plateau terre-neuvien à la fin mai alors que les niveaux étaient de retour près de la normale sur les Grands Bancs (Figure 10).

Nous avons calculé les paramètres de la floraison printanière (initiation, amplitude et ampleur) pour 11 sous-régions dans l'Atlantique Nord-Ouest (Figure 3). Dans certaines régions plus au nord, les données étaient parfois insuffisantes pour permettre l'estimation des paramètres de production. La date de début de la floraison printanière varie avec la latitude, et s'étend de la fin mars pour le sud des Grands Bancs, jusqu'au début juin pour le nord du Labrador. La floraison sur le Bonnet Flamand/Passe Flamande est généralement retardée d'environ 10–15 jours par rapport aux Grands Bancs (Figures 11A). En 2018, le timing du début de la floraison était près de la normale sur les Grands Bancs, mais retardé sur les plateaux de Terre-Neuve et du Labrador (Figure 11A). La floraison printanière dure généralement de 30 à 40 jours, mais peut s'étaler sur 3 mois dans le nord du Labrador en raison de la longue photopériode et de la disponibilité en nutriment (Figure 11B). En général, la durée de la floraison printanière est passée d'au-dessus de la normale entre 1998–2005, à sous la normale à partir de 2008 dans l'ensemble de la région à l'exception des floraisons de longue durée sur le Bonnet Flamand/Passe Flamande et sur le plateau du nord-est de Terre-Neuve en 2016 et 2017 (Figure 11B). La durée de la floraison sur les Grands Bancs en 2018 était principalement près de la normale, contrastant avec les floraisons plus courtes observées au cours de l'année précédente (Figure 11B).

L'amplitude de la floraison printanière varie normalement entre 1–3 mg m⁻³ entre les sous-régions avec les valeurs les plus élevées généralement rencontrées sur le haut-fond sud-est (Southeast Shoal) (Figure 11C). L'amplitude des floraisons était généralement sous la normale de 1998 à 2005. Des floraisons plus intenses (anomalies positives) ont eu lieu entre 2006 et 2015 sans toutefois présenter de tendances spatiales ou temporelles claires à l'exception de 2006 et de 2011 où des concentrations élevées de chlorophylle ont été notées sur l'ensemble de la région de T-N-L (Figure 11C). L'amplitude des floraisons était principalement sous la normale dans l'ensemble de la région en 2016-17. En 2018, l'amplitude était principalement sous la normale sur les Grands Bancs et le plateau du Labrador, et au-dessus de la normale sur le Bonnet Flamand/Passe Flamande et sur le plateau terre-neuvien (Figure 11C).

La production (ampleur) de la floraison printanière se situe généralement entre ~30 et 90 mg m⁻² d⁻¹ et ne présente aucune tendance latitudinale particulière (Figure 11D). De même, aucune tendance temporelle ou spatiale claire n'a été observée pour l'ampleur de la floraison printanière entre 1998 et 2011, à l'exception de 2006 où une production au-dessus de la normale a eu lieu sur l'ensemble de la région (Figure 11D). En accord avec les tendances observées pour l'amplitude de la floraison, une diminution de l'ampleur est évidente depuis 2012 à l'exception de la production élevée observée en 2014 pour les sous-régions du chenal d'Avalon (Avalon Channel) et du haut-fond sud-est (Southeast Shoal) (Figure 11D). Dans l'ensemble, la production printanière dans le détroit d'Hudson, le Bonnet Flamand ainsi que le

nord-est et le sud des Grands Bancs est de 1.2 à 2.7 fois plus élevée que dans les autres sous-régions (Figure 11D).

La floraison automnale est normalement moins importante que la floraison printanière en terme d'amplitude et d'ampleur mais peut s'étendre sur de vastes zones dans l'Atlantique Nord-Ouest. L'imagerie satellitaire de la couleur de l'océan montraient des concentrations de chlorophylle de 1–3 mg m⁻³ au début de septembre sur la partie nord et dans les eaux du talus des Grands Bancs, et plus au nord dans les eaux côtières du plateau terre-neuvien (Figure 12). La carte d'anomalies pour cette période montrait des anomalies positives de l'ordre de ~2–3 mg m⁻³ au-dessus de la climatologie (Figure 12). La floraison automnale s'est étendue sur les Grands Bancs durant la fin septembre avec des anomalies positives de concentration de chlorophylle en surface sur l'ensemble de la région (Figure 12).

ZOOPLANCTON – STATION DE MONITORAGE À HAUTE FRÉQUENCE (S27)

Composition de la communauté

Le mésozooplancton dans les écosystèmes marins est généralement dominé par les copépodes en terme d'abondance. À S27 les copépodes comptent normalement pour plus de 80% de l'abondance totale du zooplancton à toute époque de l'année (Figure 13A). En 2018, l'abondance relative des copépodes était plus faible que la normale pour la plupart des mois d'avril à décembre (Figure 13B).

La communauté des copépodes est dominée par 11 taxa, avec les copépodes cyclopoïdes (*Oithona* spp.) et calanoïdes (*Pseudocalanus* spp.) de petite taille représentant 65–85% de l'abondance totale (Figure 13C). Les copépodes calanoïdes de grande taille *Calanus finmarchicus* sont bien représentés de juin à décembre, alors que les copépodes calanoïdes arctiques de taille encore plus grande *C. glacialis* et *C. hyperboreus* sont généralement présents d'avril-juin (Figure 13C). La proportion des copépodes adaptés aux eaux plus chaudes *Temora longicornis* culmine généralement d'août à décembre (Figure 13C).

En 2018, l'assemblage de copépodes à S27 était caractérisé par une diminution d'environ 10% de la proportion d'*Oithona* spp. de juin à décembre par rapport à la climatologie, et par une augmentation d'environ 14% de la proportion de *Pseudocalanus* spp. durant la même période (Figure 13C, D). La proportion de *T. longicornis* était environ 10% inférieure aux niveaux habituels en août, et environ 10% supérieure en octobre et novembre (Figure 13C, D). Les abondances relatives mensuelles des autres taxa de copépodes ne déviaient généralement pas de la climatologie par plus de 5% (Figure 13C, D).

Les appendiculaires (principalement *Fritillaria borealis* et *Oikopleura* spp.), les gastéropodes (principalement *Limacina* spp.), les larves de bivalves et les cladocères dominent généralement la communauté zooplanctonique d'organismes non-copépodes à S27. La proportion des gastéropodes culmine en hiver, celle des appendiculaires au printemps et en été, celle des cladocères en été et celle des bivalves en automne (Figure 13E).

En 2018, l'abondance relative des non-copépodes par rapport à celle des copépodes était plus grande que la normale, en particulier en juin et en août où les proportions étaient respectivement 17% et 21% au-dessus des moyennes climatologiques (Figure 13B). La proportion des appendiculaires était également très au-dessus de la normale d'avril à octobre, culminant à 96% en août (Figure 13F). Par contre, les abondances relatives de gastéropodes et de cladocères étaient respectivement 19% et 23% moins élevées que les moyennes climatologiques durant les mois d'été (Figure 13E, F).

Abondance

L'abondance des copépodes calanoïdes de grande taille augmente normalement au printemps et culmine en juin (Figure 14A-C). Alors que l'abondance de *C. finmarchicus* diminue graduellement au cours de l'été et de l'automne (Figure 14A), l'abondance de *C. glacialis* et de *C. hyperboreus* décline rapidement en juillet et août, respectivement (Figure 14B, C).

L'abondance de *Pseudocalanus* spp. augmente normalement à la fin du printemps, demeure élevée durant l'été, et diminue à l'automne (Figure 14D). L'abondance d'*Oithona* spp. est généralement minimum à la fin du printemps et augmente durant l'été et l'automne pour culminer au début de l'hiver (Figure 14E).

En 2018, l'abondance de *C. finmarchicus* était près de ou sous la normale au printemps et en été, au-dessus de la normale au début de l'automne avec des abondances exceptionnellement élevées en septembre et en octobre, et en dessous de la normale à la fin de l'automne (Figure 14A). L'abondance de *C. glacialis* est demeurée sous la normale au printemps et en été à l'exception de deux observations notablement élevées tôt en juin, et a augmenté à des niveaux près de la normale à l'automne (Figure 14B). L'abonde de *C. hyperboreus* est demeurée principalement près de ou au-dessus de la normale au début du printemps, a augmenté à des niveaux bien au-dessus de la normale à la fin mai – début juin, et a diminué à des niveaux près de la normale en automne (Figure 14C). L'abondance des petits copépodes *Pseudoclanus* spp. était principalement près de ou sous la normale au printemps et en été, et bien au-dessus de la normale au début de l'automne (Figure 14D). L'abondance des petits copépodes *Oithona* spp. est passée d'au-dessus de la normale au début du printemps, à sous la normale à la fin du printemps et en été. L'abondance a ensuite momentanément augmenté au-dessus de la normale en septembre et octobre pour redescendre à des niveaux sous la normale en novembre et décembre (Figure 14E). L'abondance de *T. longicornis* est demeurée faible et près de la normale au cours du printemps et de l'été. Elle a ensuite augmenté bien au-dessus de la normale en septembre et octobre avant de retourner à des niveaux près de la normale à la fin de l'automne, reflétant ainsi les tendances observées chez les autres taxa de copépodes de petites taille (Figure 14F).

Phénologie des copépodes

La proportion de copépodes *C. finmarchicus* adultes (CVI) à S27 commence généralement à augmenter en janvier et culmine en avril à ~45% de l'ensemble des stades copépodites, avant de diminuer à mesure que les stades de développement plus précoces CI-CIV se développent au cours de l'été. La proportion des stades CI-CIII est demeurée élevée (70–80%) de mai à juillet avant de décliner rapidement à la fin de l'été alors que les copépodites se développent graduellement en subadultes (CV) d'août à décembre (Figure 15A). En 2018, la proportion d'adultes de *C. finmarchicus* a culminé en avril comme à l'habitude, bien qu'aucune donnée n'était disponible pour la période précédente de janvier à mars (Figure 15B). Cependant, la proportion de *C. finmarchicus* adultes dans la colonne d'eau à ce moment était ~15% plus élevée par rapport aux moyennes climatologiques (Figure 15B). La proportion des stades copépodites CI-CIII a culminé en juin, ~1mois plus tard que la moyenne climatologique. Un deuxième pic a eu lieu deux mois plus tard en août (Figure 15B). La proportion de subadultes a culminé en octobre mais a laissé la place à une deuxième vague de copépodites CIV vers la fin de l'automne. La proportion de copépodites CIV à la fin de 2018 était ~35% plus élevée qu'à l'habitude (Figure 15B).

La proportion de copépodes *Pseudocalanus* spp. adultes augmente généralement aussi durant l'hiver jusqu'à un maximum d'environ 45% en avril, avant de décliner au cours du printemps alors que les stades copépodites CI-CIII se développent (Figure 15C). Les stades CIV et CV culminent à l'automne alors que leur proportion atteint ~60% des stades copépodites dans la

colonne d'eau (Figure 15C). En 2018, l'abondance relative des *Pseudocalanus* spp. adultes a aussi culminé en avril avec une proportion ~15% plus élevée que la moyenne climatologique. En accord avec les observations pour *C. finmarchicus*, la proportion des stades CI et CII de *Pseudocalanus* spp. a culminé ~1 mois plus tard qu'à l'habitude et fut suivi d'une deuxième vague, moins intense, en août. La proportion des copépodites CIV était ~15% plus élevée que les moyennes climatologiques à la fin de l'automne (Figure 15D).

Biomasse

Les poids secs de mésozooplancton sont présentés pour trois catégories de taille: zooplancton total (≤ 10 mm), zooplancton de petite taille (≤ 1 mm), et zooplancton de grande taille (1–10 mm). La biomasse totale du zooplancton à S27 est généralement minimum en janvier et augmente durant l'hiver pour culminer en avril. La biomasse diminue ensuite au cours du printemps avant de se stabiliser à des niveaux faibles durant l'été et l'automne (Figure 16A). La biomasse du zooplancton de petite taille suit un patron de variation similaire en hiver et au printemps mais continue d'augmenter lentement au long de l'été et de l'automne jusqu'en novembre où elle commence à décliner (Figure 16B). La biomasse du zooplancton de grande taille culmine normalement ~2 mois plus tard que celle du zooplancton de petite taille. Elle décroît normalement de juin à septembre avant d'augmenter à nouveau à l'automne jusqu'en novembre (Figure 16C).

En 2018, la biomasse totale de zooplancton était principalement près de la normale d'avril à mai, au-dessus de la normale de juin à octobre, et sous la normale en novembre et décembre (Figure 16A). La biomasse du zooplancton de petite taille était sous la normale au printemps, et près de ou au-dessous la normale durant l'été et l'automne (Figure 16B). La biomasse du zooplancton de grande taille était généralement près de la normale en avril-mai, malgré quelques observations inhabituellement élevées à la fin avril. La biomasse est par la suite demeurée au-dessus des moyennes climatologiques durant l'été et au début de l'automne, avant de décliner sous la normale en novembre (Figure 16C).

ZOOPLANCTON – SECTIONS OCÉANOGRAPHIQUES TRANSVERSALES

Abondance

L'abondance des copépodes montre une tendance générale à la hausse sur les Grands Bancs (S27, FC, SEGB) depuis le début du programme de monitoring, avec des anomalies passant de principalement négatives dans les premières années de la série chronologique, à principalement positives vers la fin. Des abondances près de ou au-dessus de la normale ont été observées sur le plateau terre-neuvien (BB, SI) de 2003 à 2010, mais l'abondance a ensuite fluctué au cours des années 2010 (Figure 17A). L'augmentation de l'abondance des copépodes ces dernières années a été plus prononcée pour les Grands Bancs sud-est (GBSE) que pour les autres sections plus au nord, avec trois records consécutifs d'anomalies positives entre 2016 et 2018 (Figure 17A).

L'abondance des organismes zooplanctoniques non-copépodes sur les Grands Bancs montre aussi une tendance générale à la hausse durant les 20 années de la série chronologique, passant d'anomalies principalement négatives à principalement positives au cours des années 2010 (Figure 17B). L'abondance des non-copépodes sur le plateau terre-neuvien a varié de façon similaire à celle des copépodes jusqu'au milieu des années 2010. Par la suite, l'abondance des non-copépodes est demeurée au-dessus de la normale jusqu'en 2018, avec plusieurs niveaux records observés durant cette période (Figure 17B). Contrairement aux copépodes, l'importante augmentation de l'abondance des organismes non-copépodes au

cours des dernières années est généralisée à l'ensemble de la région de T-N-L, atteignant des niveaux de 1 à 3 écarts-types au-dessus des moyennes climatologiques (Figure 17B).

L'abondance des grands copépods calanoïdes *C. finmarchicus* était minimum au début du programme de monitoring, avec de fortes anomalies négatives sur les Grands Bancs et le plateau terre-neuvien en 1999 et 2000 (Figure 18A). L'abondance est demeurée principalement près de ou au-dessus de la normale sur l'ensemble la région de T-N-L de 2001 à 2013 avant de décliner sous la normale jusqu'en 2016. L'abondance de *C. finmarchicus* a augmenté à des niveaux près de la normale en 2017–2018 sur la majeure partie des Grands Bancs mais est demeurée principalement sous la normale sur le plateau terre-neuvien durant la même période (Figure 20A). L'abondance des petits copépods calanoïdes *Pseudocalanus* spp. était également minimum au début de la série chronologique, particulièrement sur les Grands Bancs où des anomalies négatives records furent observées sur l'ensemble des sections transversales (Figure 18B). L'abondance de *Pseudocalanus* spp. est demeurée principalement près de ou sous la normale durant la majeure partie des années 2000 sur les Grands Bancs. Elle a ensuite augmenté sur les Grands Bancs à partir de 2009 et est demeurée principalement au-dessus de la normale sur l'ensemble de la région de T-N-L depuis 2014. L'abondance de *Pseudocalanus* spp. était maximum de 2003 à 2007 sur la partie nord du plateau terre-neuvien (SI), et à partir de 2013 jusqu'à récemment plus au sud (BB) (Figure 18B).

Les petits copépods cyclopoïdes *Oithona* spp. et calanoïdes *Pseudocalanus* spp. montrent des tendances d'abondance similaires avec une augmentation générale tout au long de la série chronologique sur les Grands Bancs, et des abondances élevées sur le plateau terre-neuvien de 2002 à 2006 (Figure 18C). L'abondance dans la partie sud du plateau terre-neuvien (BB) est demeurée près de ou au-dessus de la normale depuis 2003, à l'exception de 2012 et 2014 où d'importantes anomalies négatives ont été observées. En 2018, l'abondance de *Oithona* spp. était près de la normale sur l'ensemble de la région à l'exception de GBSE, où l'abondance est demeurée élevée (Figure 18C).

Biomasse

La biomasse totale de zooplancton a montré des tendances similaires pour toutes les sections océanographiques avec de faibles abondances au début de la série chronologique passant à des niveaux au-dessus de la normale de 2002 à 2011 (Figure 19A). Des anomalies négatives ont été observées au début et au milieu des années 2010 mais la biomasse a augmenté à nouveau à des niveaux principalement au-dessus de la normale à partir de 2016 (Figure 19A).

Les biomasses de zooplancton de petite (<1 mm) et grande (>1 mm) taille ont suivi des tendances opposées tout au long de la série chronologique (Figure 19B, C). La biomasse du zooplancton de petite taille était principalement sous la normale au début de la série avant d'augmenter à des niveaux au-dessus de la normale de 2002 à 2006, puis de décliner sous les moyennes climatologiques de 2007 à 2013. De 2014 à 2017, la biomasse du zooplancton de petite taille a augmenté légèrement jusqu'à des niveaux près de la normale avant de décliner à nouveau en 2018 (Figure 19B).

La biomasse du zooplancton de grande taille était près de la normale au début de la série chronologique et a décliné sous la normale entre le début et le milieu des années 2000 (Figure 21C). De 2007 à 2018, la biomasse est demeurée principalement au-dessus de la normale malgré une légère diminution au début et au milieu des années 2010 pour certaines sections océanographiques (Figure 19C). La biomasse annuelle moyenne à la station de monitoring à haute fréquence S27 allait à l'encontre de la tendance générale observée dans la région de 2000 à 2004 et 2012–2015 (Figure 19C). En 2018, la biomasse du zooplancton de grande taille

était au-dessus de la normale sur l'ensemble de la région de T-N-L avec un niveau record pour le nord du plateau terre-neuvien (Figure 19C).

Enregistrement du plancton en continu (EPC)

La série chronologique d'enregistrement du plancton en continu (EPC) fournit de l'information sur l'abondance relative, la distribution, et la saisonnalité du plancton dans les eaux de surface du nord des Grands Bancs et du sud de Terre-Neuve pour la période précédant le début du PMZA (1998–1999). Les indices EPC diffèrent de ceux du PMZA en ce sens qu'ils sont calculés à partir d'information sur différents taxa de plancton dans les premiers 10 m de la colonne d'eau plutôt qu'à partir d'information provenant de traits verticaux intégrés sur l'ensemble de la colonne d'eau. Par conséquent, les indices EPC ne tiennent pas compte de la migration verticale journalière effectuée par plusieurs organismes planctoniques. Bien que la série chronologique remonte au début des années 1960, nous présentons seulement les données à partir de 1991. Une interruption dans l'échantillonnage du programme EPC a eu lieu au milieu des années 1970 jusqu'en 1990. De plus, le faible nombre d'observations pour le nord des Grands Bancs en 1991 et 2007–2009, ainsi que pour le sud de Terre-Neuve en 2007–2009, 2013–2014 et 2016–2017 n'a pas permis le calcul des anomalies annuelles d'abondances relatives pour ces années (Figure 20). Nous avons généré des tableaux synoptiques d'anomalies annuelles pour les taxa EPC dominants en combinant les données provenant de différents transects de navires commerciaux dans les régions du nord des Grands Bancs et du sud de Terre-Neuve en utilisant 1991–2010 comme période de référence afin de développer une climatologie pour les années où l'échantillonnage mensuel était suffisant (Figure 21). Les trajectoires des navires commerciaux dans la région de T-N-L couvrent principalement le nord des Grands Bancs et une plus petite portion du plateau au sud de Terre-Neuve. La région du sud de Terre-Neuve comprend les bancs Vert et de Saint-Pierre, une partie de la Baie de Plaisance et une portion du Chenal Laurentien (Figure 21). Les anomalies annuelles indiquent de façon générale une plus grande abondance relative de plusieurs groupes planctoniques dans le nord des Grands Bancs en comparaison avec le sud de Terre-Neuve pour les années 2010 à 2017 (Figure 22A, B). Des abondances relatives plus élevées sur le nord des Grands Bancs ont également été observées pour plusieurs indices de phytoplancton (indice de la couleur du phytoplancton [PCI], diatomées et dinoflagellés) ainsi que pour les copépodes *C. finmarchicus*, *Oithona spp.* et *ParalPseudoclanus*. (Figure 22A, B). Les euphausiacés, les amphipodes hyperidés et le plancton sensible à l'acidification (coccolithophores, foraminifères et ptéropodes *Limacina spp.*) ont montré des tendances similaires d'abondance relative au-dessus des normales pour le nord des Grands Bancs et au sud de Terre-Neuve durant cette période (Figure 22A, B).

L'abondance relative des copépodes arctiques *C. glacialis* et *C. hyperboreus* et des larves de décapodes étaient généralement en dessous de la normale de 2010 à 2017 alors que les taxa sensibles à l'acidification, les larves (nauplius) de copépodes ainsi que les copépodes *Para/Pseudocalanus spp.* et *Oithona spp.* présentaient d'importantes anomalies positives de 2 à 5 écarts-types au-dessus des moyennes climatologiques (Figure 22A, B). D'importantes anomalies négatives ont été observées sur le nord des Grands Bancs entre le milieu des années 1990 et le milieu des années 2000 pour plusieurs taxa (Figure 22A). Les taxa sensibles à l'acidification montrent aussi des abondances relatives généralement moins élevées à partir du début de la série chronologique jusqu'au milieu des années 2000. Plusieurs taxa de copépodes et de macrozooplancton exhibaient des abondances relatives plus élevées au début des années 1990. La tendance d'anomalies positives sur le nord des Grands Bancs durant les années 2010 peut difficilement être comparée aux conditions pour le sud de Terre-Neuve en raison des données manquantes pour les périodes 2013–2014 et 2016–2017. Les données disponibles suggèrent toutefois des abondances élevées pour les amphipodes hyperidés et les

taxa sensibles à l'acidification dans le sud de Terre-Neuve au cours des années 2010 en accord avec les observations plus au nord (Figure 22B).

Carbone et pH de l'océan

La solubilité du carbonate de calcium (CaCO_3) pour l'aragonite et la calcite est importante pour les organismes marins produisant des structures calcaires. L'état de saturation en CaCO_3 (Ω) varie en fonction de l'acidité (pH) de l'eau de mer. L'augmentation de l'acidité des océans réduit l'horizon de saturation (i.e. la profondeur sous laquelle la calcification ne peut avoir lieu) des deux formes de carbonates, mais de façon plus marquée pour l'aragonite que pour la calcite. Nous avons calculé les valeurs d'oméga (Ω) pour l'aragonite et le pH à trois intervalles de profondeur (<50 m, 75–200 m, et >200 m) pour chacun des relevés saisonniers effectués en 2018, et reporté les valeurs moyennes pour chacune des stations le long des différentes sections transversales du plateau. Les valeurs d'oméga >1 au printemps indiquaient une sursaturation en aragonite pour chacun des intervalles de profondeur (Figure 23). Les valeurs de pH au printemps étaient généralement >8 dans la colonne d'eau supérieure (<50 m) et <8 à des profondeurs >200 m dans la zone couverte par le relevé (Figure 23). Le pH en eau peu profonde variait de 7.99 à 8.22 (échelle totale) alors que Ω variait de 1.26 à 2.18. Aux profondeurs intermédiaires, le pH variait de 7.89 à 8.11, et Ω de 1.10 à 1.74. Au-delà de 200 m, le pH variait de 7.82 à 8.01, et Ω de 1.14 à 1.52.

Le relevé d'été s'étend plus au nord sur le plateau terre-neuvien. Omega (Ω) durant l'été 2018 était >1 dans les eaux de surface et profondes, contrairement aux eaux intermédiaires (75–200 m) où des zones de sous-saturation en aragonite ont été détectées sur le nord des Grands Bancs (Figure 24). Le pH de l'océan en été variait entre 7.8 et 8.2 dans la zone de relevé. Comme au printemps, le pH en été diminue généralement à mesure que l'on passe des eaux côtières de surface vers les eaux profondes du talus (Figure 24). En eau peu profonde, le pH variait de 7.94 à 8.40 alors que Ω variait de 1.16 à 2.87. En eaux intermédiaires le pH variait de 7.84 à 8.11 et Ω de 0.86 à 1.78. En eau profonde, le pH variait de 7.87 à 8.02, et Ω de 1.03 à 1.54.

Le relevé d'automne montrent également une étendue limitée de la sous-saturation en aragonite pour les eaux profondes du talus. Des valeurs d' Ω <1 ont été détectées à certains endroits sur les Grands Bancs, le plateau terre-neuvien et le Bonnet Flamand à l'automne 2018 (Figure 25). La sous-saturation de l'aragonite était normalement associée aux eaux profondes du talus. De plus, plusieurs stations dans les eaux intermédiaires des Grands Bancs étaient caractérisées par des conditions approchant la limite de saturation (Figure 25). Le pH de l'océan était généralement près de 8.0 dans les eaux de surface mais diminuait avec l'augmentation de la profondeur. En eau peu profonde le pH variait de 7.90 à 8.10 et Ω variait de 1.16 à 2.11. En eaux intermédiaires, le pH variait de 7.86 à 8.22 et Ω de 1.02 à 2.27. En eau profonde, le pH variait de 7.86 à 8.03, et Ω de 0.78 à 1.83.

DISCUSSION

La biomasse de phytoplancton inférée à partir des indices optiques et des mesures de chlorophylle à la station de monitoring à haute fréquence S27 indiquaient une floraison printanière intense et prolongée en 2018. Il est difficile de déterminer quelles sont les conditions environnementales ayant favorisé une augmentation de la production puisque, dans l'ensemble, les conditions climatiques de l'océan dans la région de T-N-L étaient près de la normale (Cyr et al. 2020). Un réchauffement significatif de la température de l'air a été noté en mars 2018, ce qui a pu contribuer à stabiliser la couche supérieure de la colonne d'eau permettant à la floraison printanière de débuter plus tôt que lors des années précédentes. Bien que limitées, les

observations *in situ* à S27 en mars 2018 indiquaient que l'absorption des nitrates et des silicates dans la colonne d'eau avait débuté à cette période. Les observations satellitaires durant la deuxième moitié de mars 2018 indiquaient également des anomalies positives de concentration de chlorophylle en surface pour le nord-est des Grands Bancs et le plateau terre-neuvien. Une diminution significative de la salinité et un transport élevé du courant du Labrador ont été observés en 2018 ce qui a pu également contribuer à augmenter la stratification de la colonne d'eau et promouvoir la croissance du phytoplancton (Tian et al. 2011, Cyr et al. 2020). La plus grande biomasse de phytoplancton peut aussi avoir été le résultat d'un changement dans le timing de l'émergence de certains taxa de zooplancton. Nous avons observé un déclin général des indices intégrés d'abondance des copépodes brouteurs *Calanus finmarchicus* vers le milieu des années 2010. Ceci, en plus du délai dans le cycle de production des stades copépodites pour cette espèce en 2018, peut avoir réduit la pression de broutage et permis l'accumulation de la biomasse de phytoplancton. Il est cependant difficile de distinguer l'importance relative des conditions environnementales (e.g. la stratification) et de la pression de broutage sur la biomasse du phytoplancton.

Les mesures *in situ* de concentrations de chlorophylle à S27 indiquaient une floraison printanière se prolongeant jusqu'à tard en mai, alors que l'épuisement des nutriments durant cette période résulte normalement en un déclin rapide de la biomasse de phytoplancton. Les inventaires de silicates et de nitrates dans la colonne d'eau supérieure étaient bien en dessous des moyennes climatologiques, indiquant une absorption importante de ces macronutriments clés et limitant. Une absorption importante de nutriments à des profondeurs dépassant 100 m, soit environ deux fois plus profond que la normale, indiquait qu'une partie importante de la production primaire s'est déroulée en profondeur échappant ainsi à la détection par imagerie satellitaire. En accord avec les observations à S27, les inventaires de chlorophylle pour les sections océanographiques transversales des Grands Bancs et du plateau-terre-neuvien étaient près de ou au-dessus de la normale pour une deuxième année consécutive. Cette augmentation marquée de la biomasse de phytoplancton à des valeurs au-dessus de la normale à S27 et le long des sections transversales en 2018 contraste avec la période de faible production enregistrée depuis 2011. Les anomalies négatives observées sur l'ensemble de la région pour les nitrates en surface et en profondeur ainsi que pour les silicates en surface en 2018 sont en accord avec les valeurs élevées des indices de production primaire pour cette année en particulier.

Bien que la floraison automnale de phytoplancton soit typiquement moins intense que celle du printemps, les anomalies positives de concentration de chlorophylle en surface indiquaient une production automnale élevée sur une grande partie des Grands Bancs et des plateaux de terre-neuvien et du Labrador en septembre 2018. Les inventaires de nitrates et de silicates en surface et en profondeur à S27 étaient également sous la normale en septembre et octobre, suggérant une importante absorption de nutriments par les producteurs primaires à travers la colonne d'eau. Cependant, les observations *in situ* de chlorophylle indiquaient des concentrations près de la normale pour la même période ce qui peut être dû à un décalage entre les dates d'échantillonnage et l'apogée de la floraison automnale. Aussi, les inventaires intégrés (0–100 m) de chlorophylle sont moins sensibles à la production automnale en raison de son intensité moindre et de son confinement plus en surface que celle du printemps.

Les observations satellitaires à grande échelle montrant des concentrations élevées de chlorophylle en surface en 2018 ne concordent pas entièrement avec les indices de floraisons printanière calculés pour les différentes sous-régions. Les indices d'ampleur et d'amplitude indiquaient des conditions près de ou en dessous de la normale dans la plupart des sous-régions en 2018 malgré des floraisons hâtives et de plus longues durées qu'au cours des années précédentes. Le timing entre le début de la floraison printanière et l'émergence des

copépodes brouteurs ainsi que l'abondance de ces derniers peut influencer l'intensité de la consommation de phytoplancton et, par le fait même, les indices d'ampleur et d'amplitude de la floraison printanière.

L'augmentation générale de l'abondance du zooplancton sur l'ensemble de la région de T-N-L depuis le début du PMZA en 1999 s'est poursuivie en 2018. Les petits copépodes dont *Pseudocalanus* spp. et *Oithona* spp. sont principalement responsables de l'augmentation de l'abondance du zooplancton. Le retour des abondances d'*Oithona* spp. à des niveaux près de la normale sur la majeure partie de la région en 2018 s'accorde avec le déclin général de l'abondance totale des copépodes en comparaison avec l'année précédente. Par contre, les abondances élevées de *Pseudocalanus* spp. et d'*Oithona* spp. sur les Grands Bancs sud-est (GBSE) ont certainement fortement contribué à l'anomalie positive record d'abondance de copépodes pour cette section en 2018. L'abondance élevée de copépodes observée sur les Grands Bancs (S27, FC, GBSE) depuis 2016 n'était pas aussi prononcée plus au nord sur le plateau terre-neuvien (BB, SI). L'augmentation de l'abondance des taxa de copépodes de petite taille qui a débuté au milieu des années 2010 coïncide avec une diminution de l'abondance des copépodes de grande taille *C. finmarchicus*, marquant ainsi un changement dans la composition et la structure de taille de la communauté de copépodes. Les copépodes sont des proies importantes pour plusieurs espèces de poissons fourrage dont le capelan, le hareng et les lançons. Ces poissons jouent un rôle important dans la chaîne alimentaire marine en transformant la production de zooplancton en nourriture disponible pour les niveaux trophiques supérieurs (Alders et al. 2008). Le remplacement des copépodes de grande taille *C. finmarchicus*, *C. glacialis* et *C. hyperboreus* par des copépodes de plus petite taille et à plus faible teneur énergétique augmente la contrainte visuelle pour la recherche de nourriture des poissons prédateurs et peut avoir des impacts négatifs sur le transfert d'énergie vers les niveaux trophiques supérieurs, et ce même si la biomasse totale de proie demeure inchangée (van Deurs et al. 2015, Ljungström et al. 2020).

La synchronicité est un mécanisme important qui affecte les interactions trophiques en milieu tempéré. Un décalage phénologique entre différents niveaux trophiques peut avoir de profonds impacts sur la structure des communautés dans un écosystème (Edwards and Richardson 2004). Le cycle de production des copépodes *C. finmarchicus* était retardé à S27 en 2018 par rapport à la moyenne climatologique. Bien que l'abondance des adultes (CVI) ait culminé en avril comme à l'habitude, l'émergence des stades copépodites CI et CII a eu lieu en juin, soit un mois plus tard que la moyenne climatologique. Un deuxième pic d'abondance des stades précoces CI-CIII a eu lieu en août. L'apparition d'une deuxième génération de *C. finmarchicus* a déjà été observée à S27 (Maillet et al. 2019) et ailleurs dans l'Atlantique Nord et en Arctique (Gluchowska et al. 2017, Weydmann et al. 2017). La floraison printanière prolongée, la hausse de production primaire automnale de surface, ainsi que les températures de fond élevées de mai à juillet (Cyr et al. 2020) peuvent avoir favorisé une deuxième génération de *C. finmarchicus* en 2018 (Head et al. 2013). L'émergence des stades copépodites CI-CIII pour *Pseudocalanus* spp. a aussi été retardée d'environ un mois en 2018. La production de multiples générations de *Pseudocalanus* spp. a également déjà été observée (Carotenuto et al. 2012). Dans la présente étude, *Pseudocalanus* spp. comprend plusieurs espèces. Par conséquent, il est difficile de savoir si le deuxième pic d'abondance des stades CI-CIII en août 2018 est le résultat du développement d'une deuxième génération ou d'un décalage dans la phénologie de différentes espèces de *Pseudocalanus*.

L'abondance des organismes zooplanctoniques non-copépodes était également à la hausse dans l'ensemble de la région en 2018, atteignant les niveaux les plus élevés, ou les deuxièmes plus élevés de la série chronologique pour chacune des sections océanographiques. À S27, l'augmentation de l'abondance des non-copépodes est principalement due à une hausse de

l'abondance des appendiculaires au printemps et à l'été 2018. Les appendiculaires sont des suspensivores se nourrissant de particules de différentes tailles allant des bactéries au phytoplancton (Diebel 1986). Une forte abondance d'appendiculaires a aussi été observée en 2016 et 2017 (Maillet et al. 2019) et coïncidait avec une augmentation de la biomasse de chlorophylle à des niveaux près de ou au-dessus de la normale après 5 années de faible production primaire. L'augmentation de l'abondance des non-copépodes a débuté au début des années 2010 sur les Grands Bancs et s'est propagée plus au nord sur le plateau terre-neuvien quelques années après, suggérant une possible influence du Gulf Stream dans le transport et l'advection des larves sur les Grands Bancs.

La biomasse du mésozooplancton dans l'Atlantique Nord est dominée par les copépodes calanoïdes de grande taille à haute teneur énergétique *C. finmarchicus*, *C. glacialis* et *C. hyperboreus* (Planque et al. 1997, Johns et al. 2001, Plourde et al. 2019). Ces copépodes, principalement brouteurs, jouent un rôle important dans la chaîne alimentaire marine en transférant l'énergie provenant de la production primaire vers les niveaux trophiques supérieurs dont les stades planctivores de plusieurs espèces de poissons de grande valeur écologique et économique. *C. finmarchicus* est l'espèce de copépode calanoïde de grande taille la plus abondante et le principal contributeur de la biomasse de zooplancton (Planque et al. 1997). Les patrons de variation similaires dans les séries chronologiques d'anomalies de *C. finmarchicus* et de biomasse totale du zooplancton confirment cette corrélation pour les eaux côtières de Terre-Neuve et du Labrador. Par exemple, l'augmentation de l'abondance de *C. finmarchicus* passant de sous la normale à des valeurs près de, ou au-dessus de la normale sur les Grands Bancs en 2017–2018 correspondait à un retour de la biomasse du zooplancton à des valeurs au-dessus de la normale après plusieurs années d'anomalies négatives. À S27, les abondances élevées de *C. glacialis* et de *C. hyperboreus* en juin ont certainement contribué à la forte biomasse de zooplancton de grande taille observée tard au printemps et au début de l'été, ainsi qu'aux valeurs globales de biomasse au-dessus de la normale observées en 2018. De même, la baisse de l'abondance des copépodes de petite taille *Pseudocalanus* spp. et *Oithona* spp. à travers la région en 2018 était associée à une diminution de la biomasse du zooplancton de petite taille. Ces résultats renforcent la notion que l'abondance des copépodes est le principal facteur de contrôle de la biomasse du zooplancton.

Les variations temporelles de biomasse de zooplancton de petite et de grande taille suggèrent des changements dans la structure de taille de la communauté correspondant à une augmentation de l'abondance relative des organismes planctoniques de grande taille vers 2006–2007. Ces résultats contrastent avec la tendance à l'augmentation de l'abondance des petits copépodes au détriment des copépodes de grande taille observée au début des années 2010 et suggèrent que les changements dans la composition de la communauté zooplanctonique n'étaient pas limités aux copépodes. L'augmentation générale de l'abondance des gastéropodes pélagiques calcifiés (principalement *Limacina* spp.) depuis le milieu des années 2000 et des appendiculaires (principalement *Oikopleura* spp. et *Frittilaria* spp.) depuis le début des années 2010 (données non incluses dans le présent rapport) a vraisemblablement contribué à l'augmentation générale de la biomasse du zooplancton de grande taille observée depuis 2007.

Les indices d'enregistrement du plancton en continu (EPC) pour les taxa de phytoplancton et de macrozooplancton sur le nord des Grands Bancs montrent des niveaux fluctuant entre au-dessus et en dessous de la normale durant les années 2010 tandis que l'abondance relative des copépodes et des taxa sensibles à l'acidification a augmenté durant la même période. Les larves nauplius, les *Calanus* juvéniles, et les petits copépodes *Oithona* et *Para/Pseudocalanus* étaient principalement responsables de l'augmentation de l'abondance relative des copépodes. Une diminution de l'abondance relative des copépodes de grande taille *C. hyperboreus* est observable depuis le début des années 2000. Tous les taxa sensibles à l'acidification

(coccolithophores, foraminifères et *Limacina* sp.) présentaient de fortes anomalies positives pour le nord des Grands Bancs de 2010 à 2017.

Les indices d'abondance relative pour le sud de Terre-Neuve fluctuaient également entre au-dessus et en dessous de la normale durant les années 1990 et 2000. La forte augmentation dans l'abondance des copépodes observée sur le nord des Grands Bancs n'était pas aussi apparente pour le sud de Terre-Neuve. Les facteurs responsables de l'augmentation de la proportion des copépodes et des taxa sensibles à l'acidification restent à déterminer mais des recherches ont associées les changements d'abondance des indices EPC avec les tendances générales de la température et la stratification de la colonne d'eau dans l'Atlantique Nord (Head et Pépin 2010). Le timing saisonnier des floraisons de phytoplancton influence les transferts d'énergie à travers les niveaux trophiques (Cushing 1990, Harrington et al. 1999). D'autres travaux suggèrent également que le timing des cycles planctoniques dans les écosystèmes marins tempérés sont des indicateurs de changements climatiques (Edwards et Richardson 2004). Le réchauffement des océans pourrait modifier les interactions trophiques entre certains taxa planctoniques clés et altérer la structure des réseaux trophiques provoquant des changements à l'échelle écosystémique (Beaugrand et al. 2003).

La description de la chimie des carbonates le long des sections transversales standard et à S27 dans la région de T-N-L est présentée pour la première fois dans cette série de rapports. Le transport des eaux arctiques vers le sud le long des côtes ainsi que l'absorption locale du CO₂ anthropogénique dans les régions de convection profonde de la mer du Labrador sont les principaux facteurs qui régulent la chimie des carbonates dans l'Atlantique Nord-Ouest (Azetsu-Scott et al. 2010, Yashayaev et al. 2014). Les longues séries chronologiques de mesures de l'alcalinité totale (AT) et du carbone inorganique dissous (CID) ainsi que du pH dans la mer du Labrador indiquent une augmentation du CID d'environ 0.9 µmol et une diminution du pH d'environ 0.003 unités (échelle totale) par année de 1996–2013 (Yashayaev et al. 2014). Des études préalables sur la variabilité saisonnière et spatiale des paramètres du carbone océanique montrent une étendue limitée des régions sous-saturées en aragonite sur le plateau néo-écossais (Shadwick et Thomas 2014). Aussi, des conditions environnementales localisées, comme par exemple les conditions hypoxiques des eaux de fonds de l'estuaire moyen du Saint-Laurent, ont engendré d'importants déclin du pH ainsi qu'une sous-saturation en aragonite marquée dans cette région (Mucci et al. 2011). L'augmentation de l'acidité des océans en lien avec les concentrations élevées de CO₂ anthropogénique continuera d'affecter l'état de saturation des différentes formes de carbonates. Les mesures saisonnières des paramètres du carbone océanique (AT et CID) commencent à identifier des changements dans les conditions de pH et de sous-saturation en aragonite dans les eaux intermédiaires et profondes sur les Grands Bancs, le plateau terre-neuvien et le Bonnet Flamand. Les changements dans les conditions physiques de l'environnement marin (e.g. réchauffement de l'océan et augmentation de la stratification) jumelés à la variation saisonnière de la productivité biologique vont continuer à influencer l'acidité des océans et l'état de saturation des carbonates dans le futur. L'impact potentiel de ces changements pour plusieurs organismes marins incluant des producteurs primaires comme les coccolithophores, ainsi que pour les foraminifères et les organismes zooplanctoniques calcifiés est incertain. Le programme de monitoring continuera à suivre l'état des groupes sensibles à l'acidification dans le futur.

SOMMAIRE

- L'absorption des silicates et des nitrates à S27 à des profondeurs près de deux fois supérieures à la normale au printemps 2018 indiquait une importante production primaire dans l'ensemble de la colonne d'eau.

-
- Les inventaires de macronutriments en surface (<50 m) et en profondeur (50-150 m) le long des sections océanographiques ont augmenté à des niveaux près de la normale en 2018.
 - Les inventaires de chlorophylle lors des relevés océanographiques saisonniers et à S27 étaient au-dessus de la normale en 2018.
 - La date de début et la durée de la floraison printanière étaient près de la normale dans la plupart des sous-régions en 2018.
 - L'amplitude et l'ampleur de la floraison printanière étaient sous la normale pour la presque totalité des sous-régions en 2018.
 - L'abondance des copépodes est demeurée au-dessus de la normale sur les Grands Bancs pour une 3^e année consécutive et a atteint des niveaux records sur les Grands Bancs sud-est.
 - L'abondance des organismes zooplanctoniques non-copépodes était bien au-dessus de la normale sur l'ensemble de la région de T-N-L présentant les valeurs les plus élevées ou les deuxièmes plus élevées de la série chronologique pour chacune des sections océanographiques ainsi qu'à S27.
 - L'abondance des copépodes de grande taille à haute teneur énergétique *Calanus finmarchicus* était près de ou en dessous la normale sur l'ensemble de la région de T-N-L à l'exception du nord du plateau-terre-neuvien (SI), où leur abondance était légèrement au-dessus de la normale.
 - L'abondance des petits copépodes *Pseudocalanus* spp. et *Oithona* spp. était principalement près de la normale en 2018 après 2–4 années consécutives de fortes anomalies positives dans l'ensemble de la région.
 - Le cycle de production des copépodes *C. finmarchicus* et *Pseudocalanus* spp. était retardé à S27 en 2018 et la production d'une deuxième génération de *C. finmarchicus* a été observée.
 - La biomasse du zooplancton de petite taille (<1 mm) était principalement sous la normale en 2018, alors que celle du zooplancton de grande taille (1–10 mm) était au-dessus de la normale sur l'ensemble de la région avec des niveaux records pour la série chronologique sur le nord du plateau terre-neuvien (SI).
 - En accord avec les tendances d'abondance de zooplancton mesurées à partir des relevés saisonniers du PMZA, les indices d'abondance relative du programme EPC indiquaient une augmentation récente de la proportion des petits copépodes sur le nord des Grands Bancs et le sud de Terre-Neuve au cours des dernières années.
 - Les mesures de carbone océanique indiquent que les masses d'eau de la région de T-N-L sont généralement saturées en ions carbonates, mais des conditions de sous-saturation en aragonite ont été détectées dans les eaux intermédiaires et profondes de certaines stations d'échantillonnage.

REMERCIEMENTS

Nous remercions les nombreux scientifiques et techniciens du Centre des pêcheries de l'Atlantique Nord-Ouest d'avoir collecté et fournis la majeure partie des données utilisées pour les analyses. Carla Caverhill et Cathy Porter de l'Institut océanographique de Bedford nous ont donné accès aux produits de données d'observation satellitaire de la couleur de l'océan. Nous remercions également les capitaines et les équipages du NGCC Teleost, NGCC Needler, RV

Coriolis II et NGCC Hudson pour la collecte des données océanographiques en 2018. Nous remercions Benoit Casault et Stéphane Plourde pour la révision du document.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Alder, J., Campbell, B., Karpouzi, V., Kaschner, K., and Pauly, D. 2008. [Forage Fish: From Ecosystems to Markets](#). *Annu. Rev. Environ. Resour.* 33: 153–166.
- Azetsu-Scott, K., Clarke, A., Falkner, K., Hamilton, J., Jones, E.P., Lee, C., Petrie, B., Prinsenberg, S., Starr, M., and Yeats, P. 2010. [Calcium carbonate saturation states in the waters of the Canadian Arctic Archipelago and the Labrador Sea](#). *J. Geophys. Res.* 115, C11021.
- Beaugrand, G., Brander, K.M., Lindley, J.A., Souissi, S., and Reid, P.C. 2003. [Plankton effect on cod recruitment in the North Sea](#). *Nature.* 426: 661–664.
- Blais, M., Devine, L., Lehoux, C., Galbraith, P.S., Michaud, S., Plourde, S., et Scarratt, M. 2018. [Les conditions océanographiques chimiques et biologiques dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent en 2016](#). *Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech.* 2018/037. iv + 61 p.
- Carotenuto, Y., Esposito, F., Pisano, F., Lauritano, C., Perna, M., Miralto, A., and Lanora, A. 2012. [Multi-generation cultivation of the copepod *Calanus helgolandicus* in a re-circulating system](#). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 418–419: 46–58.
- Cushing, D.H. 1990. [Plankton Production and Year-class Strength in Fish Populations: an Update of the Match/Mismatch Hypothesis](#). *Adv. Mar. Biol.* 26: 249–293.
- Cyr, F., Colbourne, E., Galbraith, P.S., Gibb, O., Snook, S., Bishop, C., Chen, N., Han, G., et Senciall, D. 2020. [Conditions océanographiques physiques sur le plateau continental de Terre-Neuve-et-Labrador en 2018](#). *Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech.* 2020/018. iv + 50 p.
- Diebel, D. 1986. [Feeding mechanism and house of the appendicularian *Oikopleura vanhoeffeni*](#). *Mar. Biol.* 93: 429–436.
- Edwards, M., and Richardson, A.J. 2004. [Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch](#). *Nature.* 430: 881–884.
- Gluchowska, M., Dalpadado, P., Beszcynska-Möller, A., Olszewska, A., Ingvaldsen, R.B., and Kwasniewski, S. 2017. [Interannual zooplankton variability in the main pathways of the Atlantic water flow into the Arctic Ocean \(Fram Strait and Barents Sea branches\)](#). *ICES J. Mar. Sci.* 74: 1921–1936.
- Harrington, R., Woiwod, I., and Sparks, T. 1999. [Climate change and trophic interactions](#). *Trends Ecol. Evol.* 14(4): 146–150.
- Head, E.J.H., and Pepin, P. 2010. [Spatial and inter-decadal variability in plankton abundance and composition in the Northwest Atlantic \(1958–2006\)](#). *J. Plank. Res.* 32(12): 1633–1648.
- Head, E.J.H., Melle, W., Pepin, P., Bagøien, E., and Broms, C. 2013. [On the ecology of *Calanus finmarchicus* in the Subarctic North Atlantic: a comparison of population dynamics and environmental conditions in areas of the Labrador Sea-Labrador/Newfoundland Shelf and Norwegian Sea Atlantic and Coastal Waters](#). *Prog. Oceanogr.* 114: 46–63.
- Johns, D.G., Edwards, M., and Batten, S.D. 2001. [Arctic boreal plankton species in the Northwest Atlantic](#). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58(11): 2121–2124.

-
- Johnson, C., Devred, E., Casault, B., Head, E., Cogswell, A., et Spry, J. 2020. [Conditions océanographiques optiques, chimiques et biologiques du plateau néo-écossais et de l'est du golfe du Maine en 2017](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2020/002. vi + 71 p.
- Koen-Alonso, M., Pepin, P., Fogarty, M.J., Kenny, A., and Kenchington, E. 2019. [The Northwest Atlantic Fisheries Organization Roadmap for the development and implementation of an Ecosystem Approach to Fisheries: structure, state of development, and challenges](#). Mar. Policy. 100: 342–352.
- Ljungström, G., Claireaux, M., Fiksen, Ø., and Jørgensen, C. 2020. [Body size adaptations under climate change: zooplankton community more important than temperature or food abundance in model of a zooplanktivorous fish](#). Mar. Ecol. Prog. Ser. 636: 1–18.
- Maillet, G., Bélanger, D., Doyle, G., Robar, A., Fraser, S., Higdon, J., Ramsay, D. et Pepin, P. 2019. [Conditions optiques, chimiques et biologiques de l'océan sur le plateau de Terre-Neuve-et-Labrador au cours de 2016-2017](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2019/055. ix + 40 p.
- 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. 2019. [Conditions océanographiques dans la zone Atlantique en 2018](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Avis sci. 2019/034.
- Mucci, A., Starr, M., Gilbert, D., and Sundby, B. 2011. [Acidification of Lower St. Lawrence Estuary Bottom Waters](#). Atmos-Ocean 49(3): 206–218.
- O'Reilly, J.E., Maritorena, S., Mitchell, B.G., Siegel, D.A., Carder, K.L., Garver, S.A., Kahru, M., and McClain, C. 1998. [Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS](#). J. Geophys. Res. 103(C11): 24937–24953.
- Planque, B., Hays, G.C., Ibanez, F., and Gamble, J.C. 1997. [Large scale spatial variations in the seasonal abundance of *Calanus finmarchicus*](#). Deep Sea Res. Part I: Ocean. Res. Pap. 44(2): 315–326.
- Platt, T., Sathyendranath, S., Caverhill, C.M., and Lewis, M.R. 1988. [Ocean primary production and available light: further algorithms for remote sensing](#). Deep Sea Res. Part I : Ocean. Res. Pap. 35(6): 855–879.
- Plourde, S., Lehoux, C., Johnson, C.L., Perrin, G., and Lesage, V. 2019. [North Atlantic right whale \(*Eubalena glacialis*\) and its food: \(I\) a spatial climatology of *Calanus* biomass and potential foraging habitats in Canadian waters](#). J. Plankton Res. 41(5): 667–685.
- Shadwick, E.H., and Thomas, H. 2014. [Seasonal and spatial variability in the CO₂ system on the Scotian Shelf \(Northwest Atlantic\)](#). Mar. Chem. 160: 42–55.
- Therriault, J.-C., Petrie, B., Pepin, P., Gagnon, J., Gregory, D., Helbig, J., Herman, A., Lefavre, D., Mitchell, M., Pelchat, B., Runge, J., and Sameoto, D. 1998. Proposal for a Northwest Atlantic Zonal Monitoring Program. Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 194: vii+57 p.
- Tian, T., Su, J., Flöser, G., Wiltshire, K., and Wirtz, K. 2011. [Factors controlling the onset of spring blooms in the German Bight 2002–2005: Light, wind and stratification](#). Cont. Shelf Res. 31(10): 1140–1148.
- Van Deurs, M., Jørgensen, C., and Fiksen, Ø. 2015. [Effects of copepod size on fish growth: a model based on data for North Sea sandeel](#). Mar. Ecol. Prog. Ser. 520: 235–243.

Weydmann, A., Walczowski, W., Carstensen, J., and Kwaśniewski, S. 2017. [Warming of Subarctic waters accelerates development of a key marine zooplankton *Calanus finmarchicus*](#). *Global Change Biol.* 24(1): 172–183.

Yashayaev, Head, E.J.H., Azetsu-Scott, K., Wang, Z., Li, W.K.W., Greenan, B.J.W., Anning, J., and Punshon, S. 2014. [Oceanographic and Environmental Conditions in the Labrador Sea during 2012](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2014/046 v + 24 p.

Zhai, L., Platt, T., Tang, C., Sathyendranath, S., and Walls, R.H. 2011. [Phytoplankton phenology on the Scotian Shelf](#). *ICES J. Mar. Sci.* 68(4): 781–791.

TABLEAUX

Tableau 1. Relevés d'échantillonnage du Programme de monitoring de la zone Atlantique (PMZA) dans la région de Terre-Neuve et Labrador en 2018. Le nombre de stations hydrographiques est la somme des profils CTD effectués durant chacune des missions incluant les occupations partielles (CTD/XBT seulement) et complètes comprenant un profils CTD, la collecte d'eau de mer et un trait vertical de plancton.

Groupe	Endroit	Mission	Dates	# Stations hydrographiques	# Stations filets / bouteilles
Relevés de l'écosystème au chalut du printemps	NE du plateau terre-neuvien et Grands Bancs	TEL2018-159-172	10 mai - 21 juin 2018	498	6 / 5
Relevés de l'écosystème au chalut d'automne	Grands Bancs, plateaux terre-neuvien et du Labrador	NED2018-464-472, TEL2018-162-167	21 août - 20 déc. 2018	643	17 / 9
Relevé PMZA du printemps	Grands Bancs et plateau terre-neuvien	TEL2018-185	6-24 avril 2018	112	55 / 56
Relevé PMZA d'été	Grands Bancs, plateaux terre-neuvien et du Labrador	COR2018-011	15 juill. - 2 août 2018	169	83
Relevé PMZA d'automne	Grands Bancs et plateau terre-neuvien	HUD118	11 nov.- 2 déc. 2018	134	75 / 73
Occupations de la Station 27	Chenal d'Avalon	Navires d'opportunité	8 mars -18 déc. 2018	36	18 / 8

FIGURES

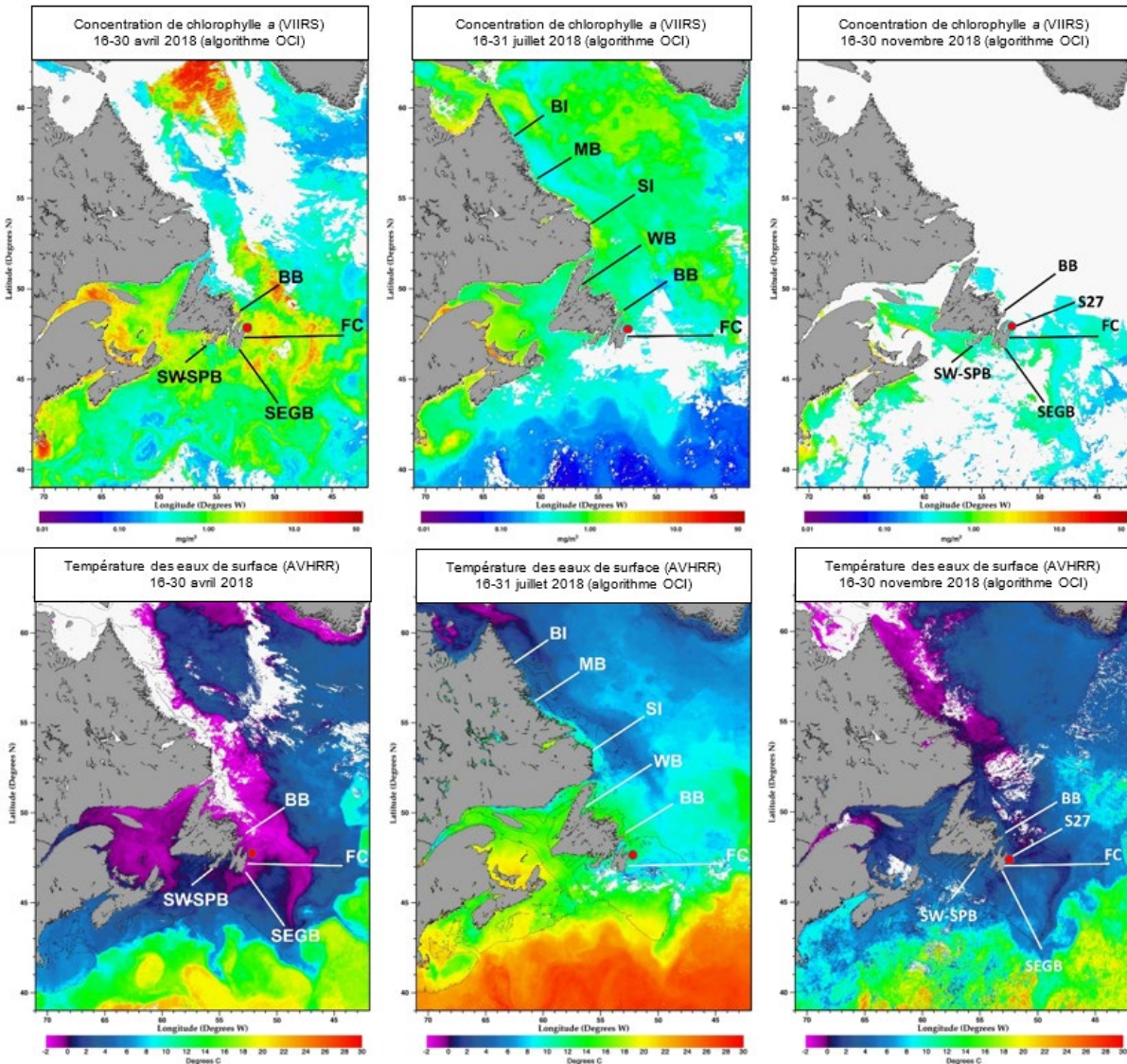


Figure 1. Emplacement des sections océanographiques transversales du plateau (BI=Île Beachy, MB=Banc Makkovik, SI=Île Seal, WB=Baie Blanche, BB=Baie de Bonavista, FC=Bonnet Flamand, SEGB=Grands Bancs sud-est, SW-SPB=sud-ouest du Banc Saint-Pierre) et de la station de monitoring à haute fréquence S27 (cercle rouge) occupées durant les relevés PMZA du printemps (panneaux de gauche), d'été (panneaux du centre) et d'automne (panneaux de droite) ainsi que les concentrations de chlorophylle a (panneaux du haut) et les températures des eaux de surfaces (panneaux du bas) au moment de l'échantillonnage.

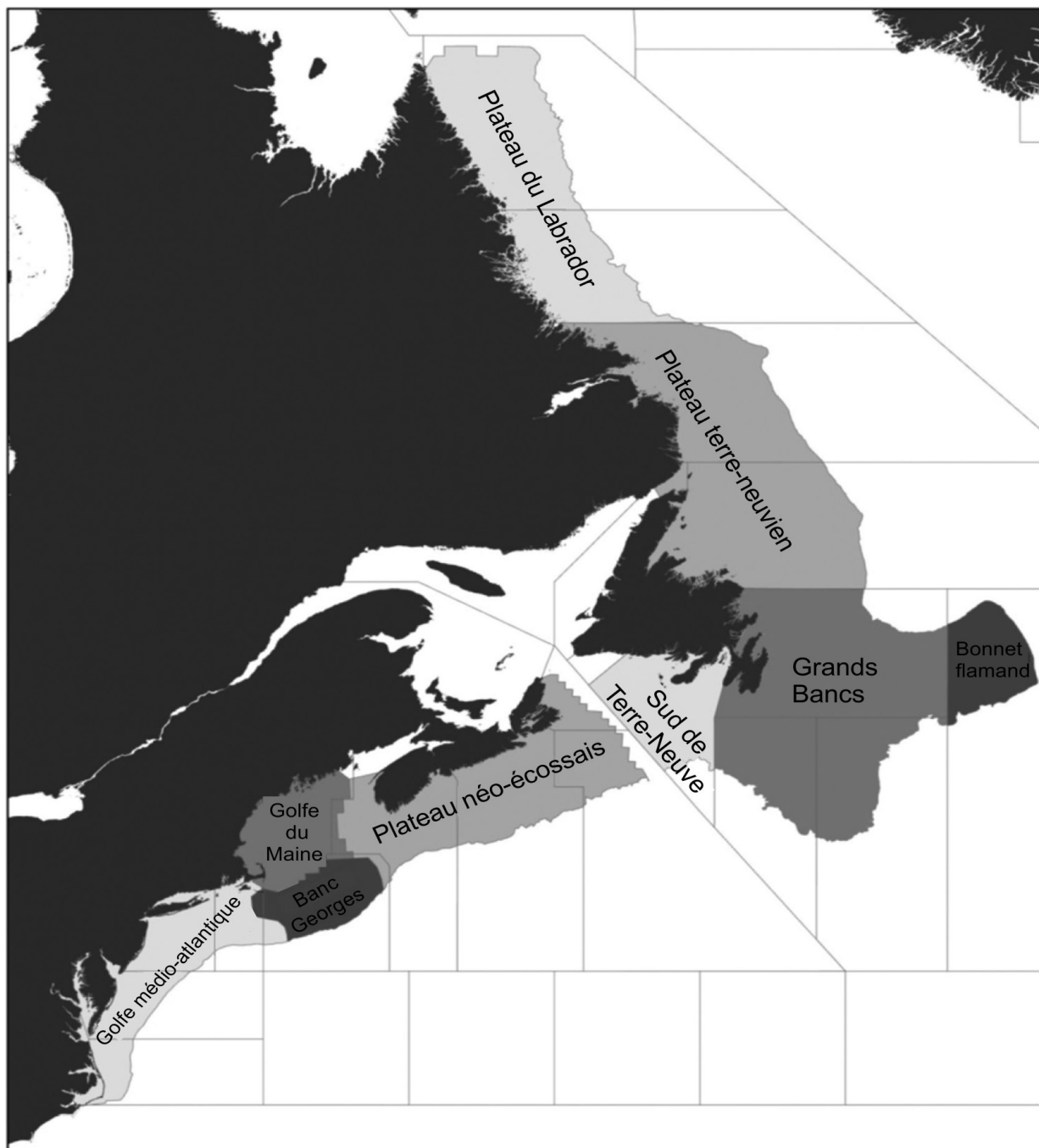


Figure 2. Unités de production écosystémiques (EPU) définies par l'OPANO et utilisées dans le présent rapport pour désigner les différentes sous-régions du plateau continental de Terre-Neuve et Labrador incluant le plateau du Labrador, le plateau terre-neuvien, le Bonnet Flamand, les Grands Bancs et le sud de Terre-Neuve. Figure modifiée de Koen-Alonso et al. 2019.

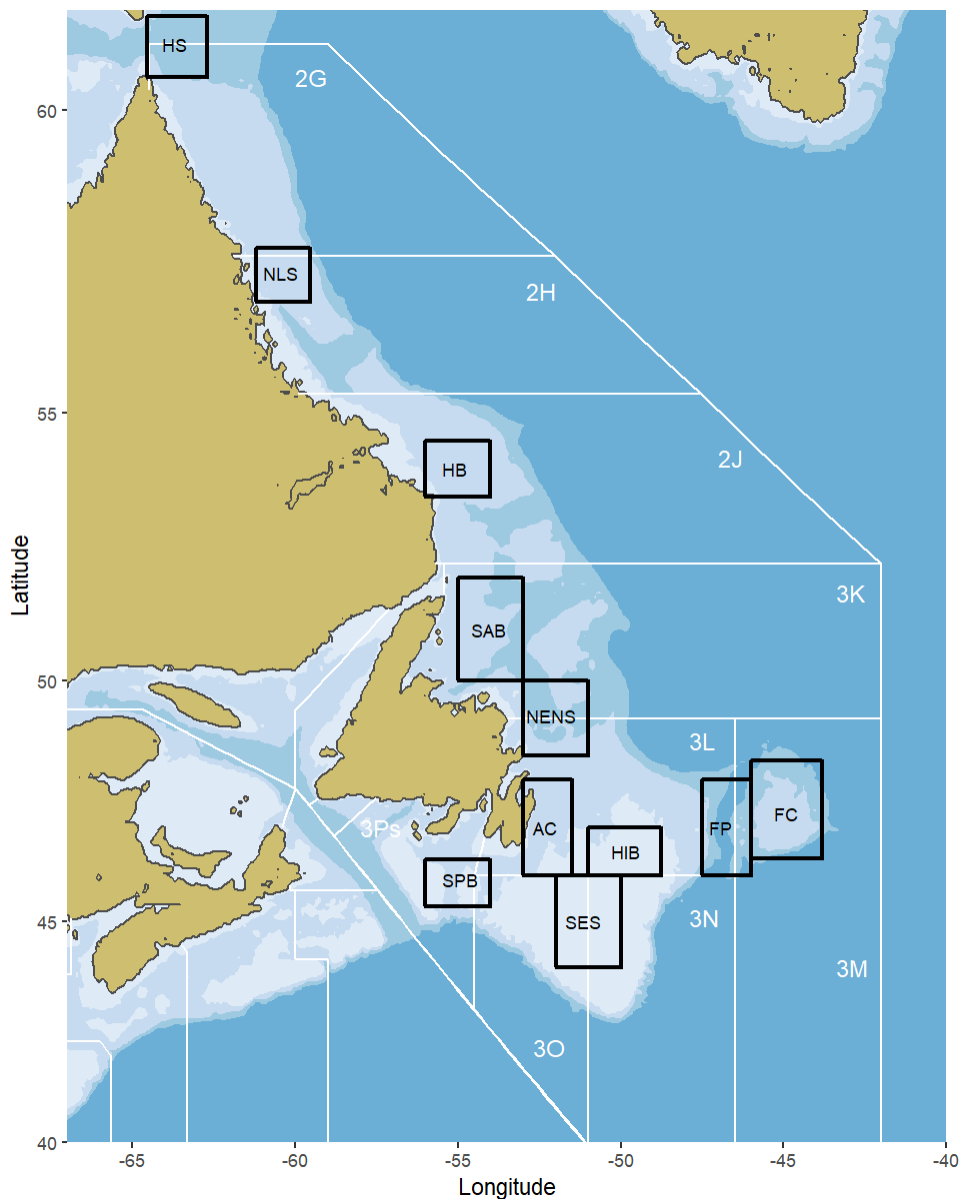


Figure 3. Emplacement des sous-régions pour lesquelles les indices de floraison printanière (date de début, durée, amplitude et ampleur) sont dérivés à partir des observations satellitaires de la couleur de l'océan. HS=Détroit d'Hudson, NLS=Plateau du nord du Labrador, HB=Banc Hamilton, SAB=Bassin Saint-Anthony, NENS=plateau du nord-est de Terre-Neuve, AC=Chenal d'Avalon, HIB=Hibernia, FP=Passe Flamande, FC=Bonnet Flamand, SES=Haut-fond sud-est, SPB=Banc Saint-Pierre.

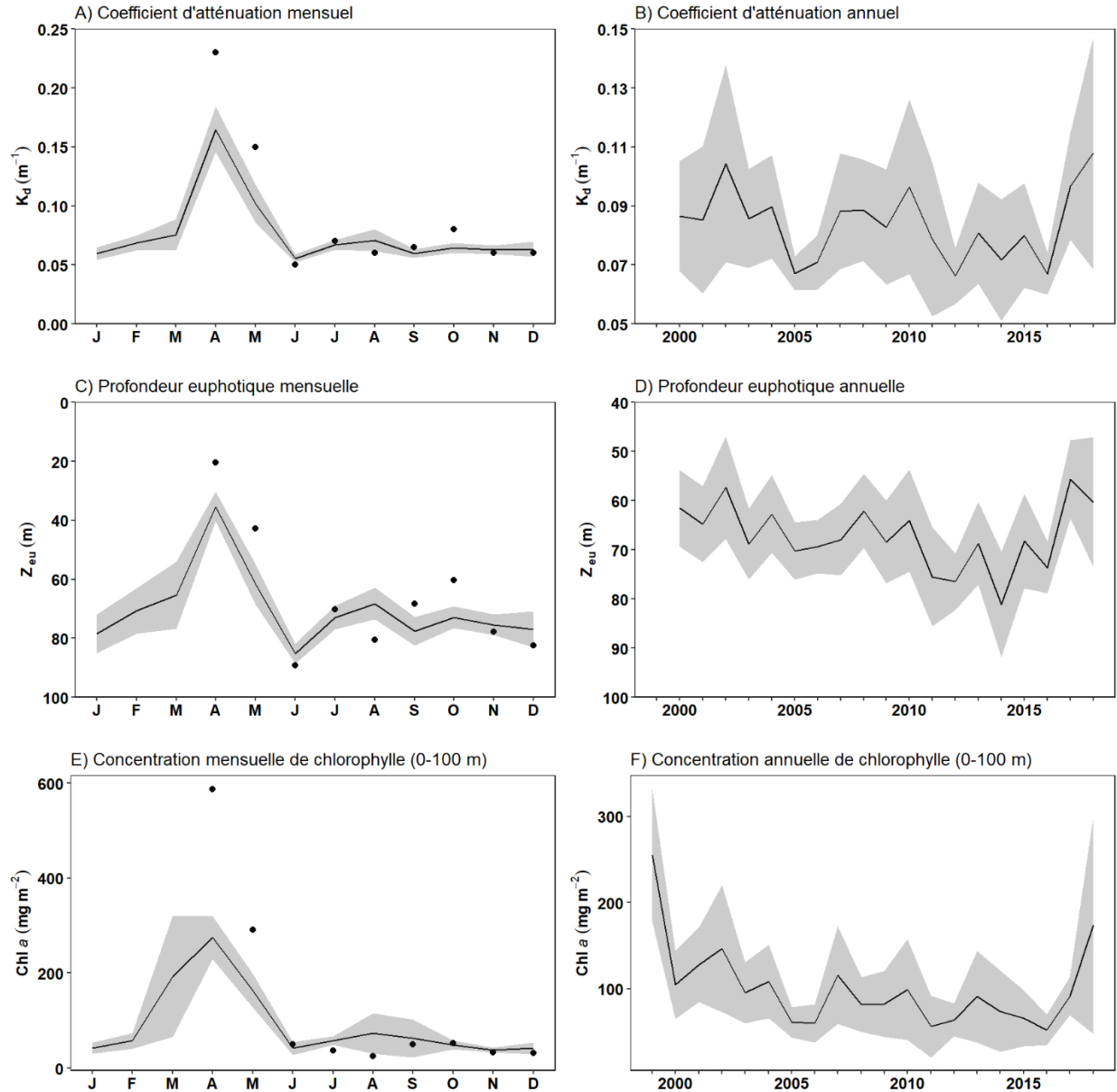


Figure 4. Moyennes mensuelles (panneaux de gauche) et annuelles (panneaux de droite) de l'atténuation verticale de la lumière (A, B), de la profondeur euphotique (C, D) et de la concentration intégrée de la chlorophylle a (E, F) à la station de monitoring à haute fréquence S27. Les lignes noires et les bandes grises indiquent la moyenne climatologique ($\pm 95\%$ IC) pour la période 1999–2015. Les points noirs indiquent les moyennes mensuelles pour l'année 2018. Les lettres sous les abscisses représentent les mois de l'année.

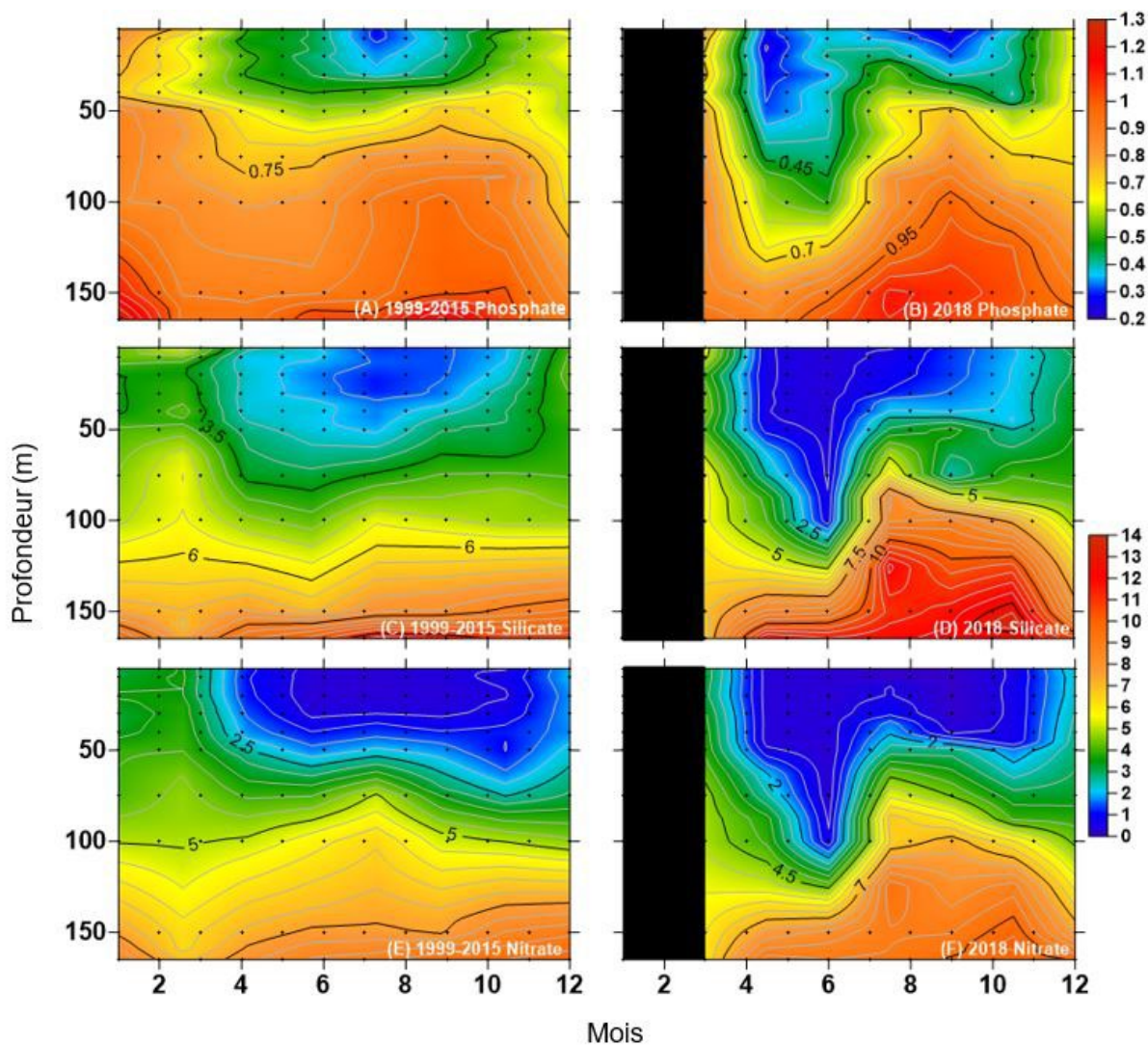


Figure 5. Comparaison de la structure verticale des phosphates (A, B), des silicates (C, D) et des nitrates (E, F) en mmol m^{-3} entre les moyennes climatologiques pour la période 1999–2015 (panneaux de gauche) et l'année 2018 (panneaux de droite) à la station de monitoring à haute fréquence S27. Les tracés de contours ont été générés par triangulation avec interpolation linéaire. Les points noirs indiquent la grille d'interpolation dérivée des profondeurs standards d'échantillonnage. Les rectangles noirs représentent les mois pour lesquels aucune donnée n'était disponible.

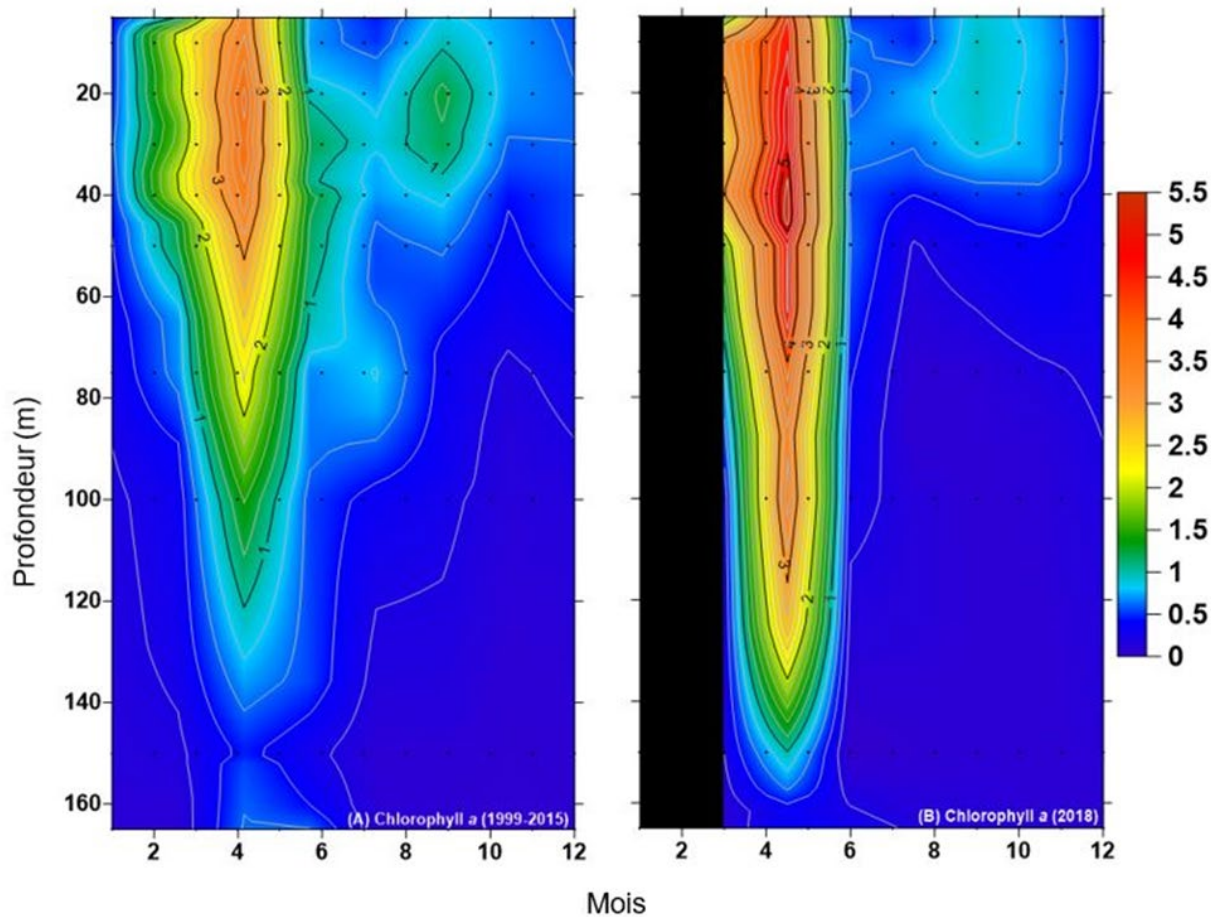


Figure 6. Comparaison de la structure verticale des concentrations en chlorophylle a en mg m^{-3} entre (A) les moyennes climatologiques pour la période 1999–2015 et (B) l'année 2018 à la station de monitoring à haute fréquence S27. Les tracés de contours ont été générés par triangulation avec interpolation linéaire. Les points noirs indiquent la grille d'interpolation dérivée des profondeurs standards d'échantillonnage. Les rectangles noirs représentent les mois pour lesquels aucune donnée n'était disponible.

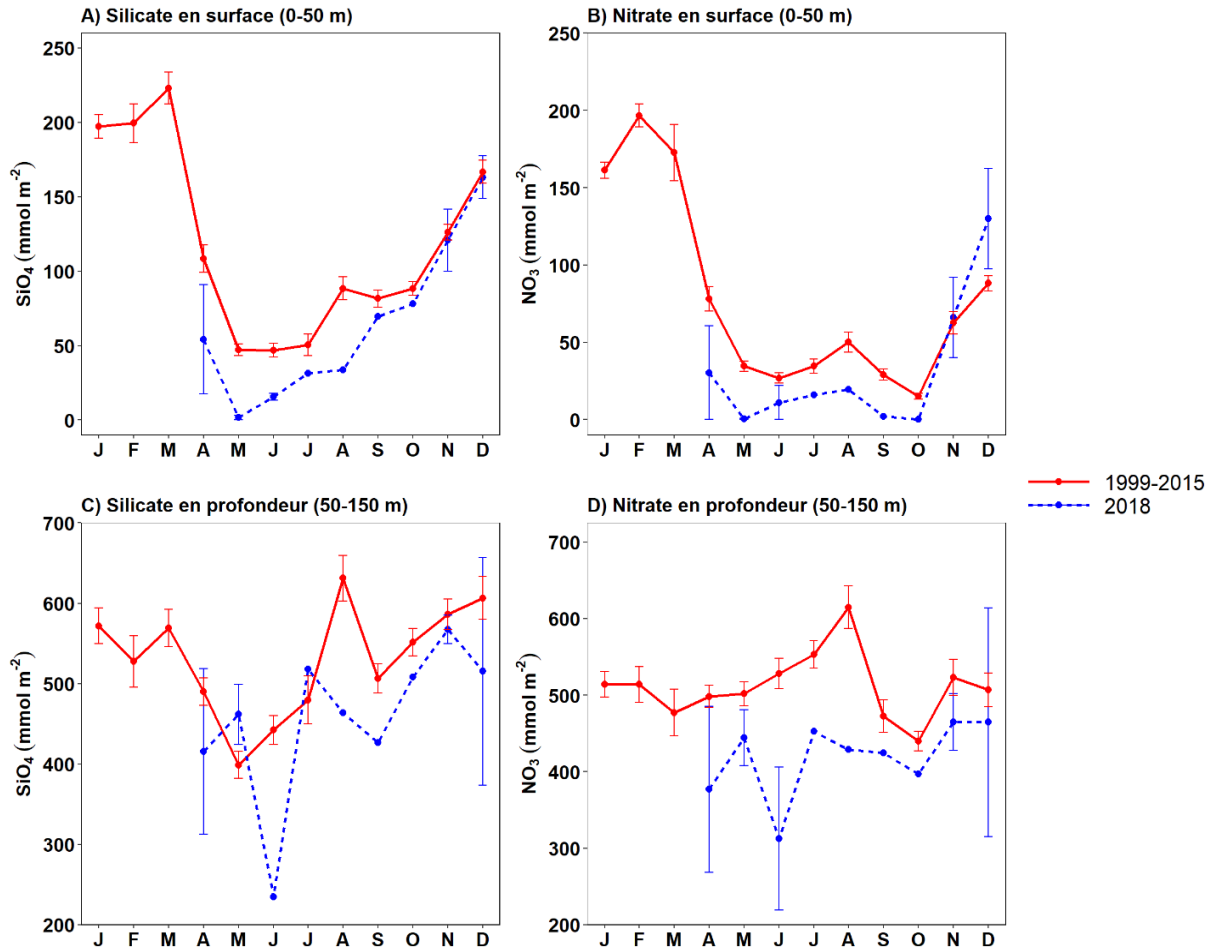


Figure 7. Comparaison des inventaires mensuels moyens (\pm SE) en surface (panneaux du haut) et en profondeur (panneaux du bas) de silicates (panneaux de gauche) et de nitrates (panneaux de droite) entre les moyennes climatologiques pour la période 1999–2015 et l’année 2018 à la station de monitoring à haute fréquence S27. Aucune données n’étaient disponibles de de janvier à mars 2018. Les lettres sous les axes des abscisses représentent les mois de l’année.

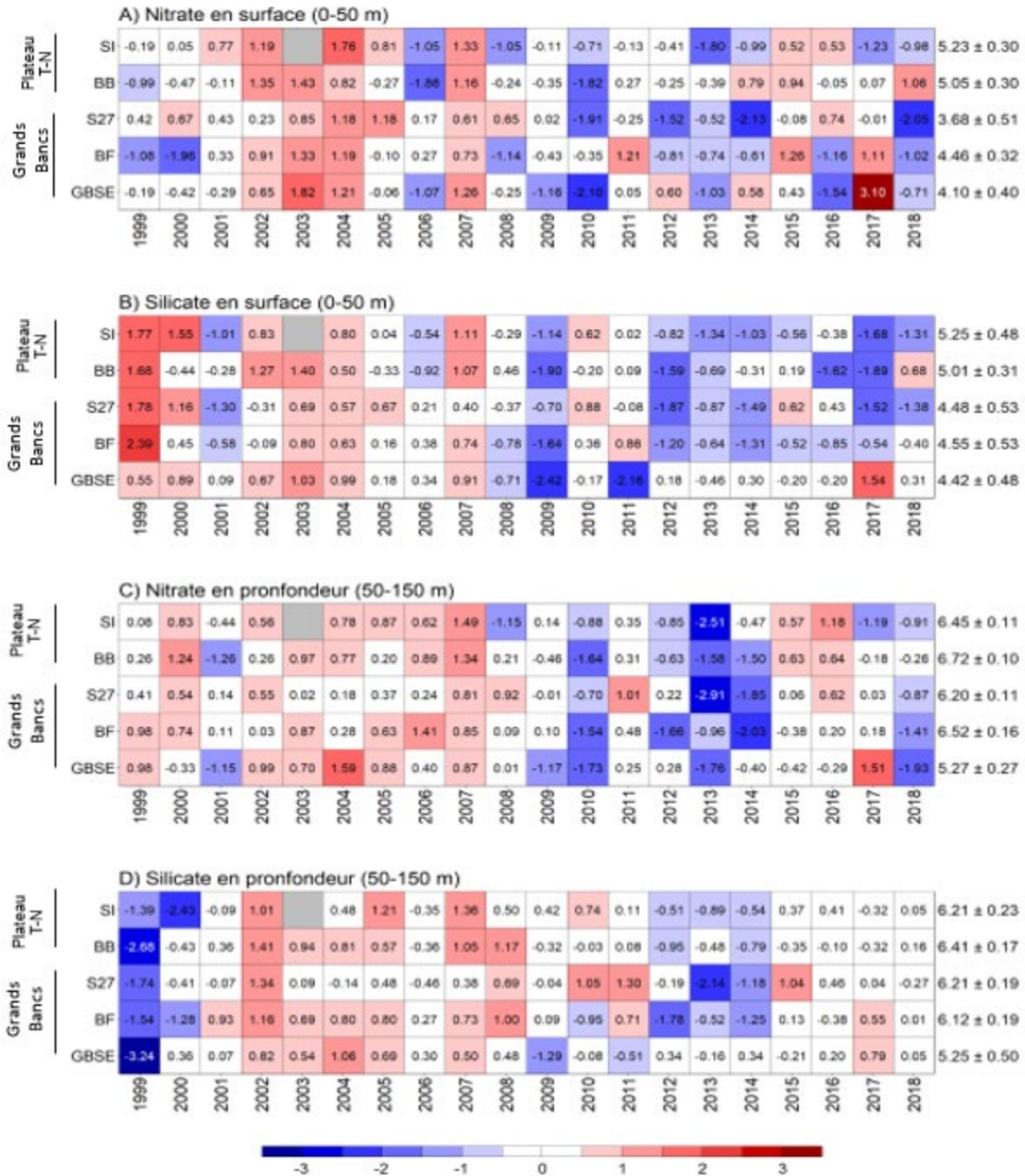


Figure 8. Tableaux synoptiques des anomalies annuelles standardisées des inventaires intégrés en surface (A-C) et en profondeur (B-D) de nitrates et de silicates. Les nombres à l'intérieur des cellules sont les anomalies par rapport à la moyenne climatologique pour la période de référence 1999–2015 en unité d'écart-type (moyenne [$\ln 1 + \text{concentration en mmol m}^{-2}$] et SD énumérés à la droite du tableau). Les cellules grises indiquent des données manquantes. Les cellules rouges (bleues) indiquent une concentration supérieure (inférieure) à la normale. Les cellules blanches indiquent une concentration près de la normale (± 0.5 SD). Les sections sont énumérées du nord (haut du tableau) au sud (bas du tableau). SI=Île Seal, BB=Baie de Bonavista, S27=Station 27, BF=Bonnet Flamand, GBSE=Grands Bancs sud-est. Voir les figures 1 et 2 pour l'emplacement géographique des sections océanographiques.

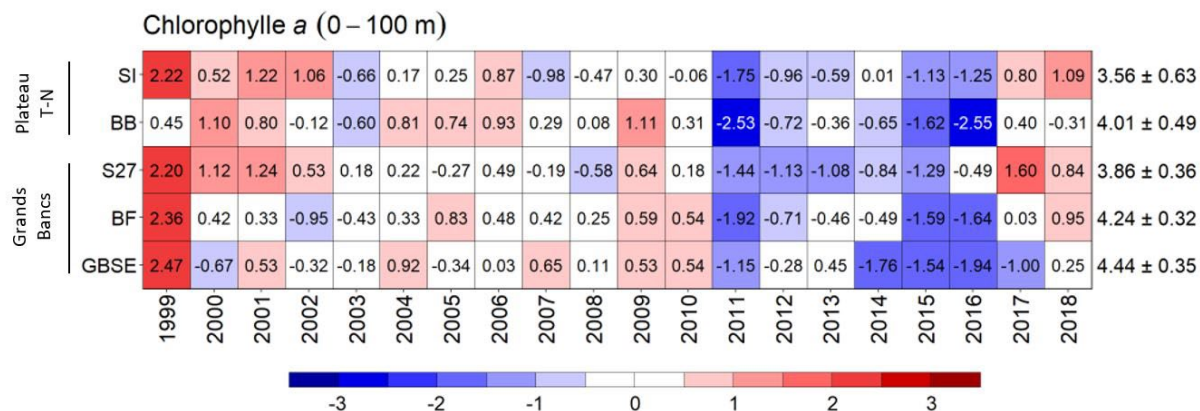


Figure 9. Tableau synoptique des anomalies annuelles standardisées des inventaires intégrés de chlorophylle a. Les nombres à l'intérieur des cellules sont les anomalies par rapport à la moyenne climatologique pour la période de référence 1999–2015 en unité d'écart-type (moyenne [$\ln 1 +$ concentration en mg m^{-2}] et SD énumérés à la droite du tableau). Les cellules rouges (bleues) indiquent une concentration supérieure (inférieure) à la normale. Les cellules blanches indiquent une concentration près de la normale (± 0.5 SD). Les sections sont énumérées du nord (haut du tableau) au sud (bas du tableau). SI=Île Seal, BB=Baie de Bonavista, S27=Station 27, BF=Bonnet Flamand, GBSE=Grands Bancs sud-est. Voir les figures 1 et 2 pour l'emplacement géographique des sections océanographiques.

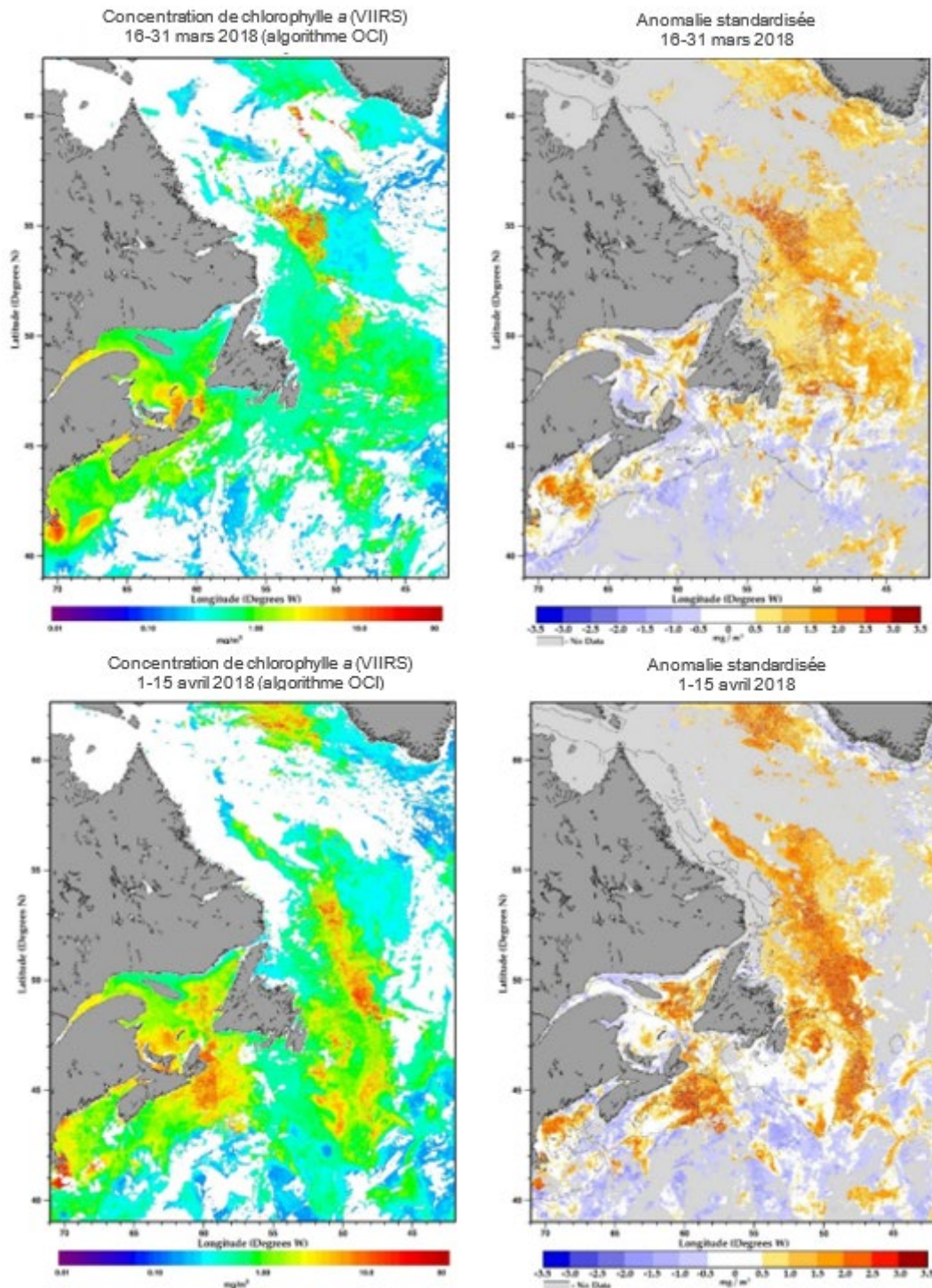


Figure 10. Concentrations bimensuelles de chlorophylle a en surface (panneaux de gauche) et anomalies standardisées calculées à partir des moyennes climatologiques pour la période de référence 1998–2015 (panneaux de droite) pour les données satellitaire VIIRS de la couleur de l’océan dans l’Atlantique Nord au printemps 2018. Les panneaux représentent des images composites bimensuelles de la fin mars (panneaux du haut) à la fin mai (panneaux du bas). Les endroits couverts en blanc (gris) dans les panneaux de gauche (droite) indiquent les emplacements où les données n’étaient pas disponibles en raison de la présence de glace ou de la couverture nuageuse.

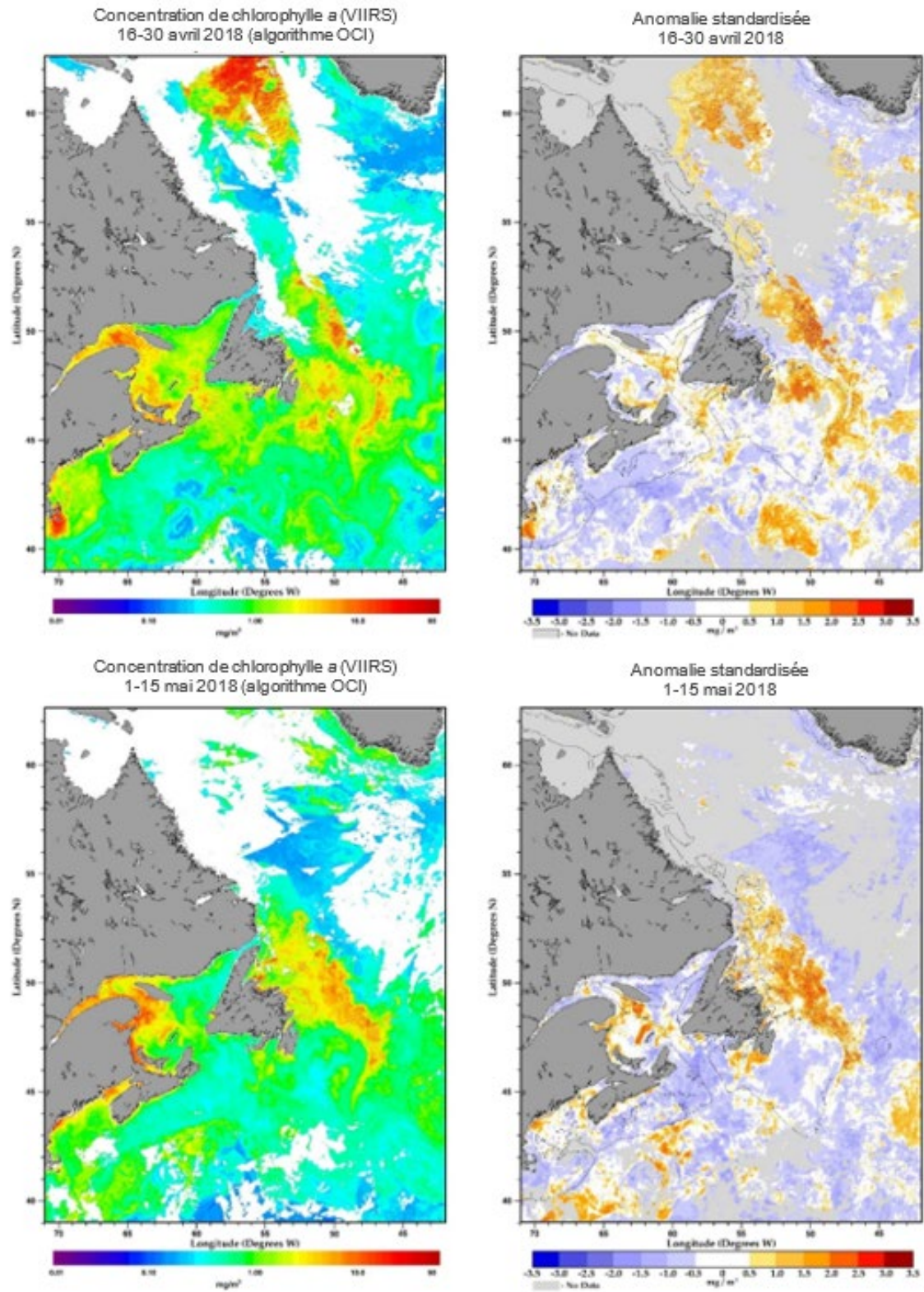


Figure 10 suite.

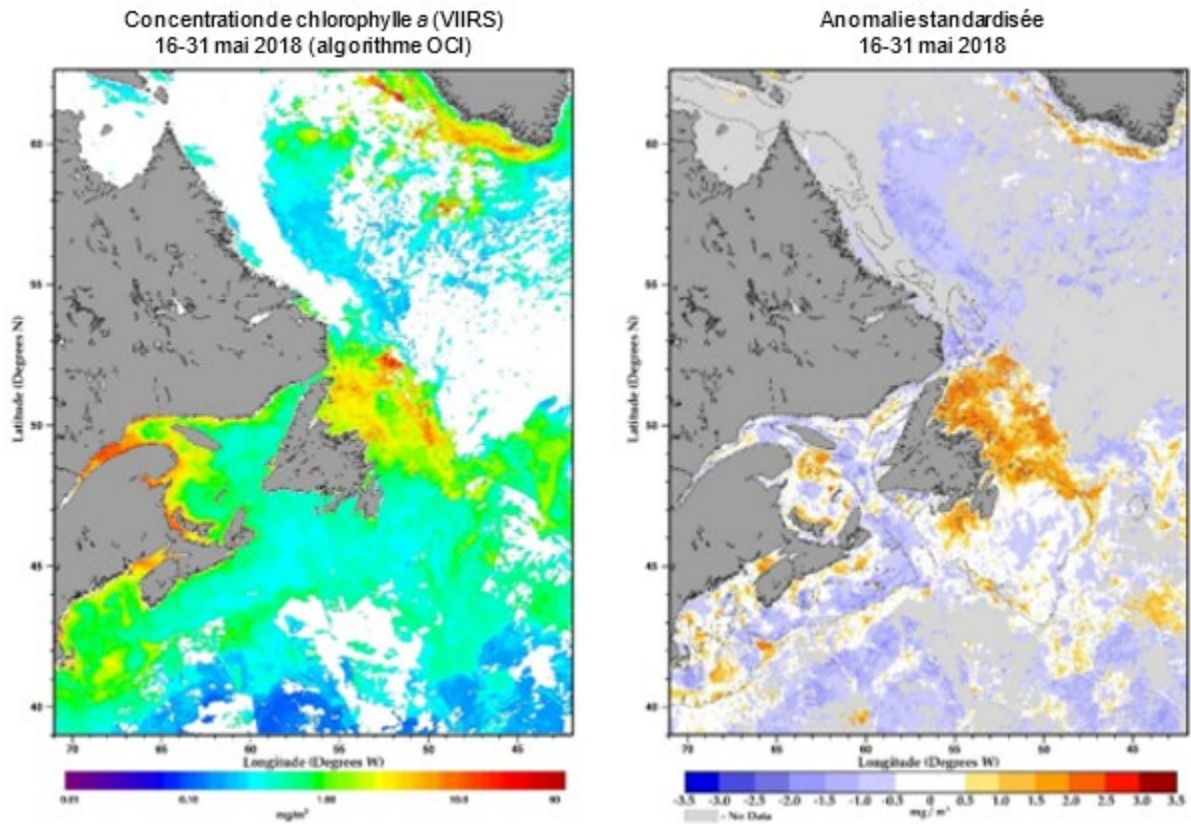


Figure 10 suite.

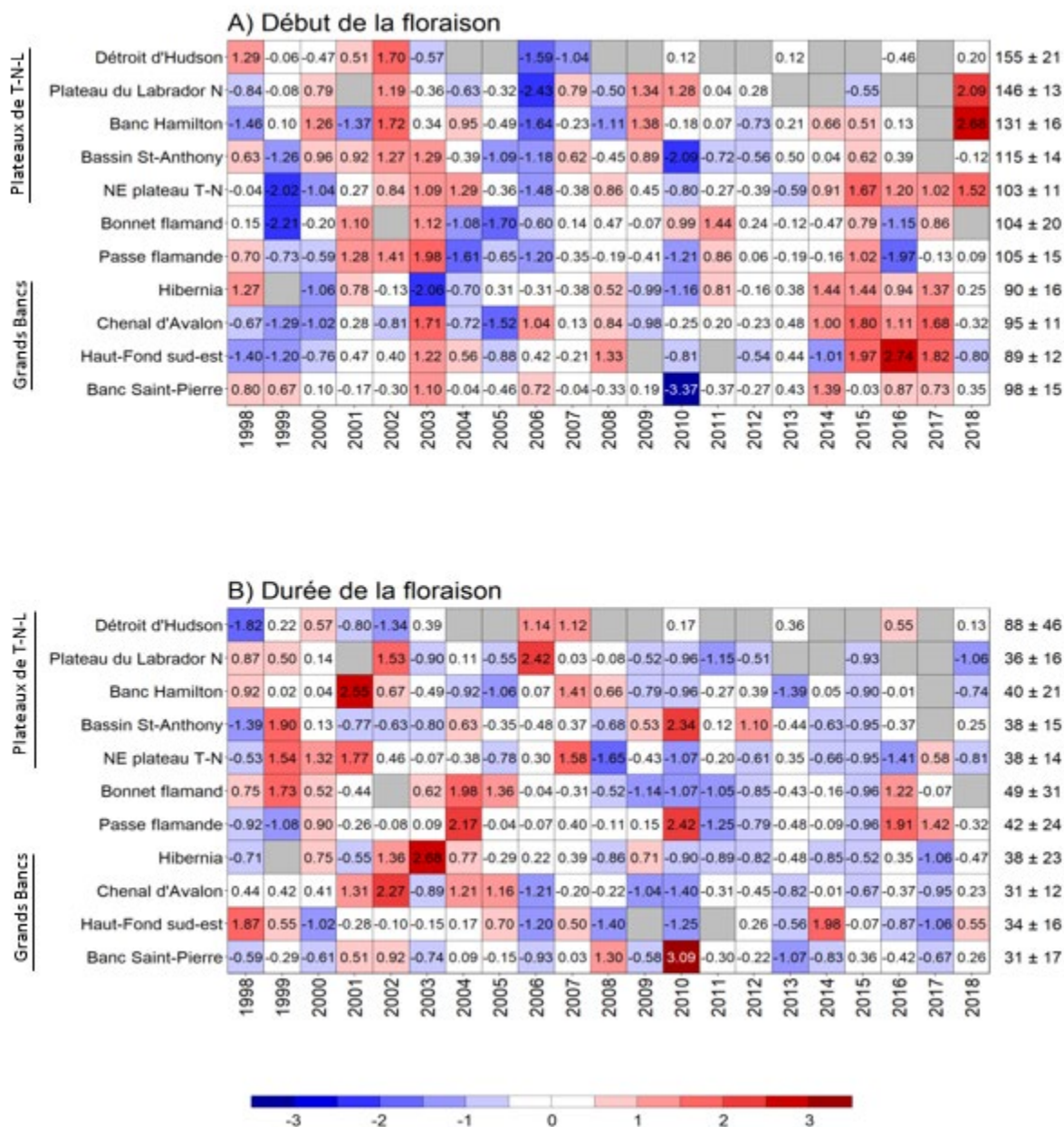


Figure 11. Tableaux synoptiques des anomalies annuelles standardisées des paramètres de la floraison printanière. Les nombres à l'intérieur des cellules sont les anomalies par rapport à la moyenne climatologique pour la période de référence 1998–2015 en unité d'écart-type (moyenne [$\ln 1 +$ concentration] et SD énumérés à la droite du tableau). Les cellules grises indiquent des données manquantes. Les cellules rouges (bleues) indiquent une date de début tardive (hâtive), une durée de floraison prolongée (écourcée), ou une amplitude/ampleur supérieure (inférieure) à la normale. Les cellules blanches indiquent des conditions près de la normale (± 0.5 SD). Les moyennes climatologiques sont exprimées en jours de l'année pour la date de début de la floraison, en jours pour la durée de la floraison, en mg m^{-3} pour l'amplitude et en $\text{mg m}^{-2} \text{d}^{-1}$ pour l'ampleur de la floraison. Les sections sont énumérées du nord (haut du tableau) au sud (bas du tableau). Voir figures 2 et 3 pour l'emplacement géographique des sous-régions.

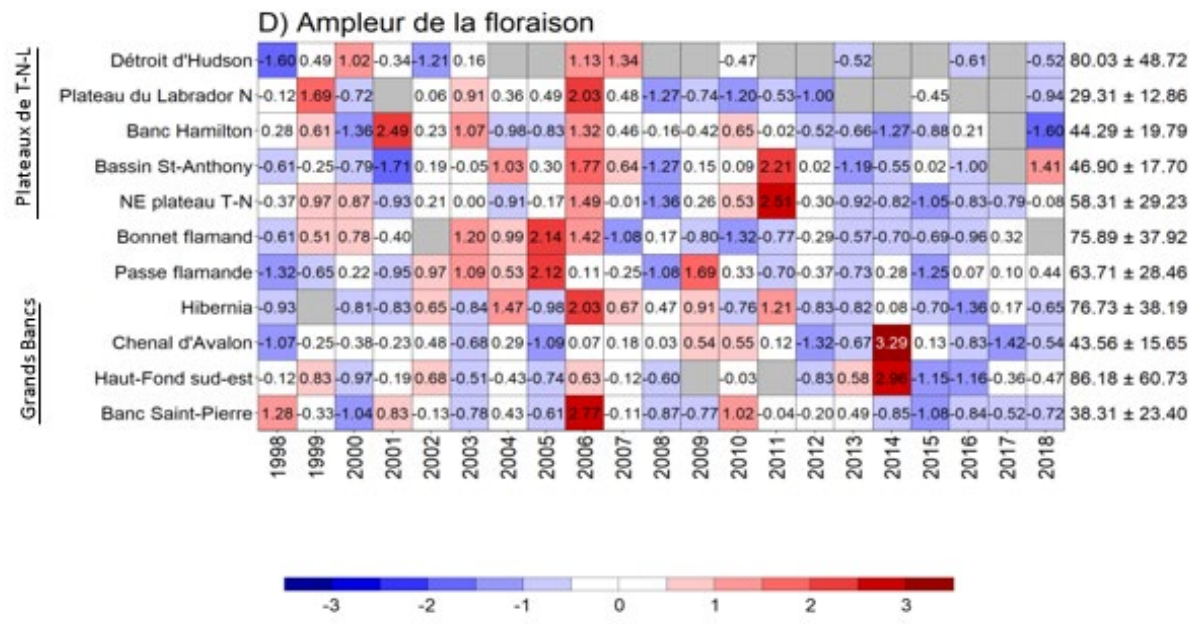
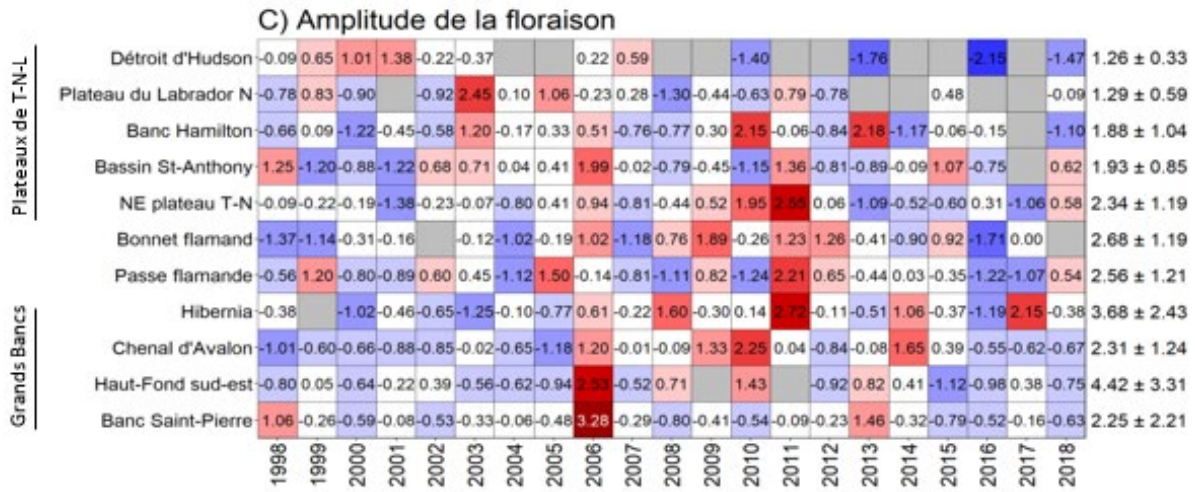


Figure 11 suite.

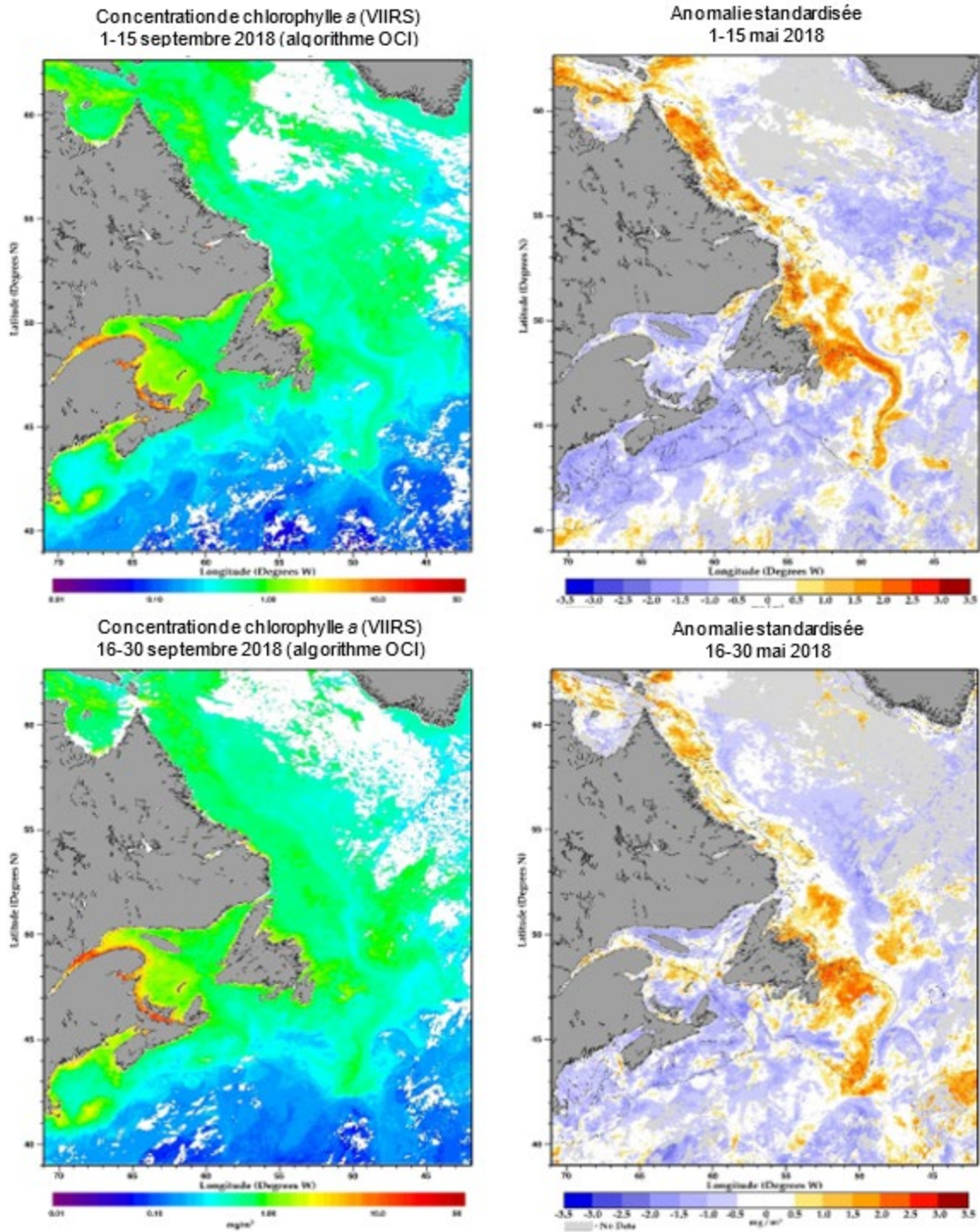


Figure 12. Concentrations bimensuelles de chlorophylle a en surface (mg m^{-3}) et anomalies standardisées calculées à partir des moyennes climatologiques pour la période de référence 1998–2015 pour les données satellitaire VIIRS de la couleur de l’océan dans l’Atlantique Nord à l’automne 2018. Les panneaux représentent des images composites bimensuelles pour la première (panneaux du haut) et la deuxième (panneaux du bas) moitié du mois de septembre. Les endroits couverts en blanc (gris) dans les panneaux de gauche (droite) indiquent les emplacements où les données n’étaient pas disponibles en raison de la présence de glace ou de la couverture nuageuse.

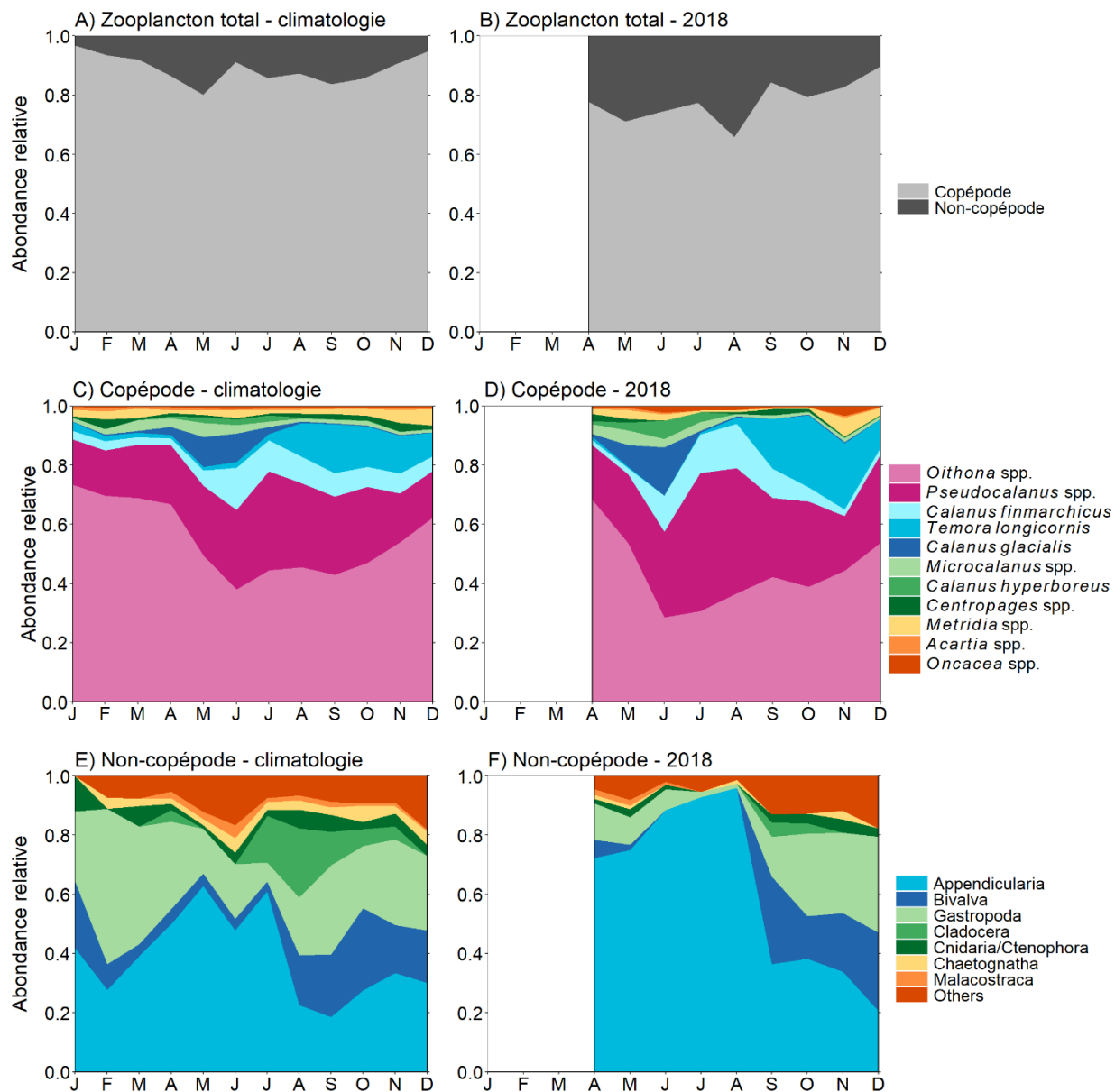


Figure 13. Abondance relative des copépodes et des organismes mésozooplanctoniques non-copépodes (A, B) ainsi que des principaux taxa de copépodes (C, D) et d'organismes non-copépodes (E, F) pour la période de référence 1999–2015 (panneaux de gauche) et pour 2018 (panneaux de droite) à la station de monitoring à haute fréquence S27. Les abondances relatives ont été calculées à partir des concentrations mensuelles moyennes des différents groupes ou taxa. Les lettres sous l'axe des abscisses représentent les mois de l'année.

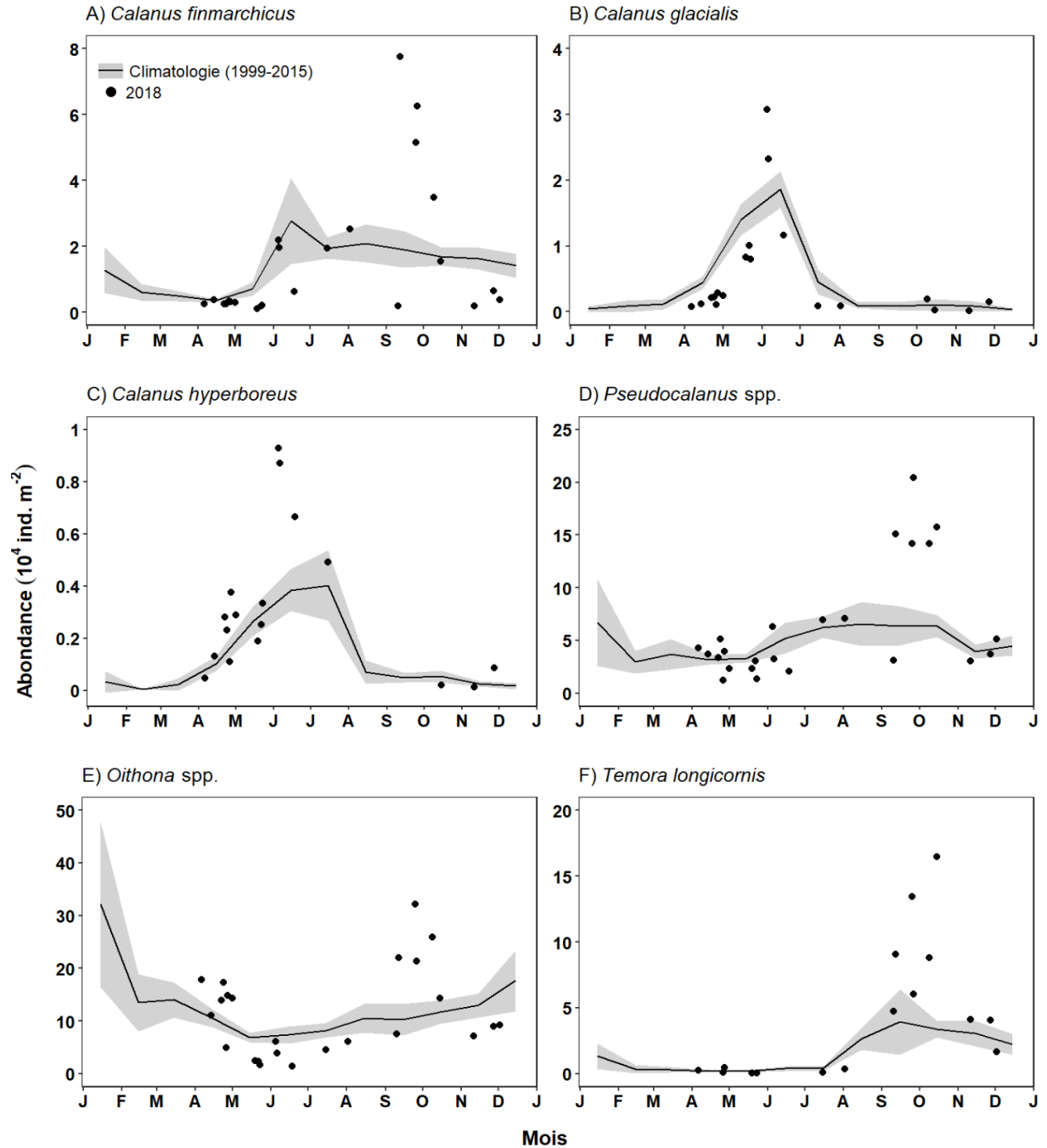


Figure 14. Variation saisonnière de l'abondance de taxa de copépodes d'importance écologique à la station de monitoring à haute fréquence S27. Les lignes noires et les bandes grises représentent les moyennes climatologiques mensuelles ($\pm 95\%$ IC) d'abondance pour la période de référence 1999–2015. Les points noirs indiquent la l'abondance lors de chacune des occupations de la station en 2018. Les lettres sous l'axe des abscisses représentent les mois de l'année.

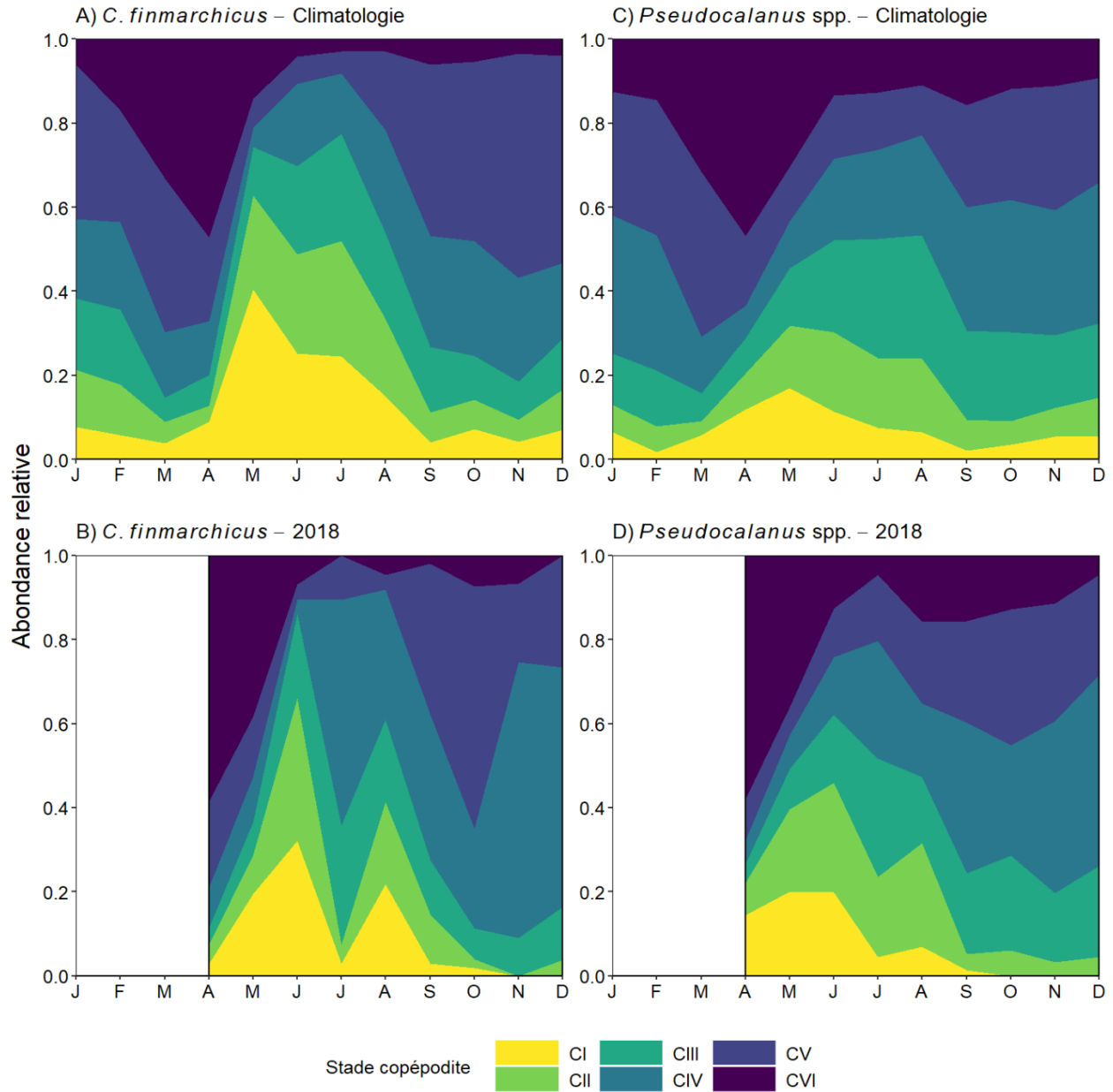


Figure 15. Variations saisonnières de l'abondance relative des stades copépodites de *Calanus finmarchicus* (A, B) et *Pseudocalanus* spp. (C, D) pour les moyennes climatologiques de la période de référence 1999–2015 (panneaux de gauche) et pour l'année 2018 (panneaux de droite) à la station de monitoring à haute fréquence S27. Les abondances relatives ont été calculées à partir des concentrations mensuelles moyennes des différents stades copépodites. Les lettres sous l'axe des abscisses représentent les mois de l'année.

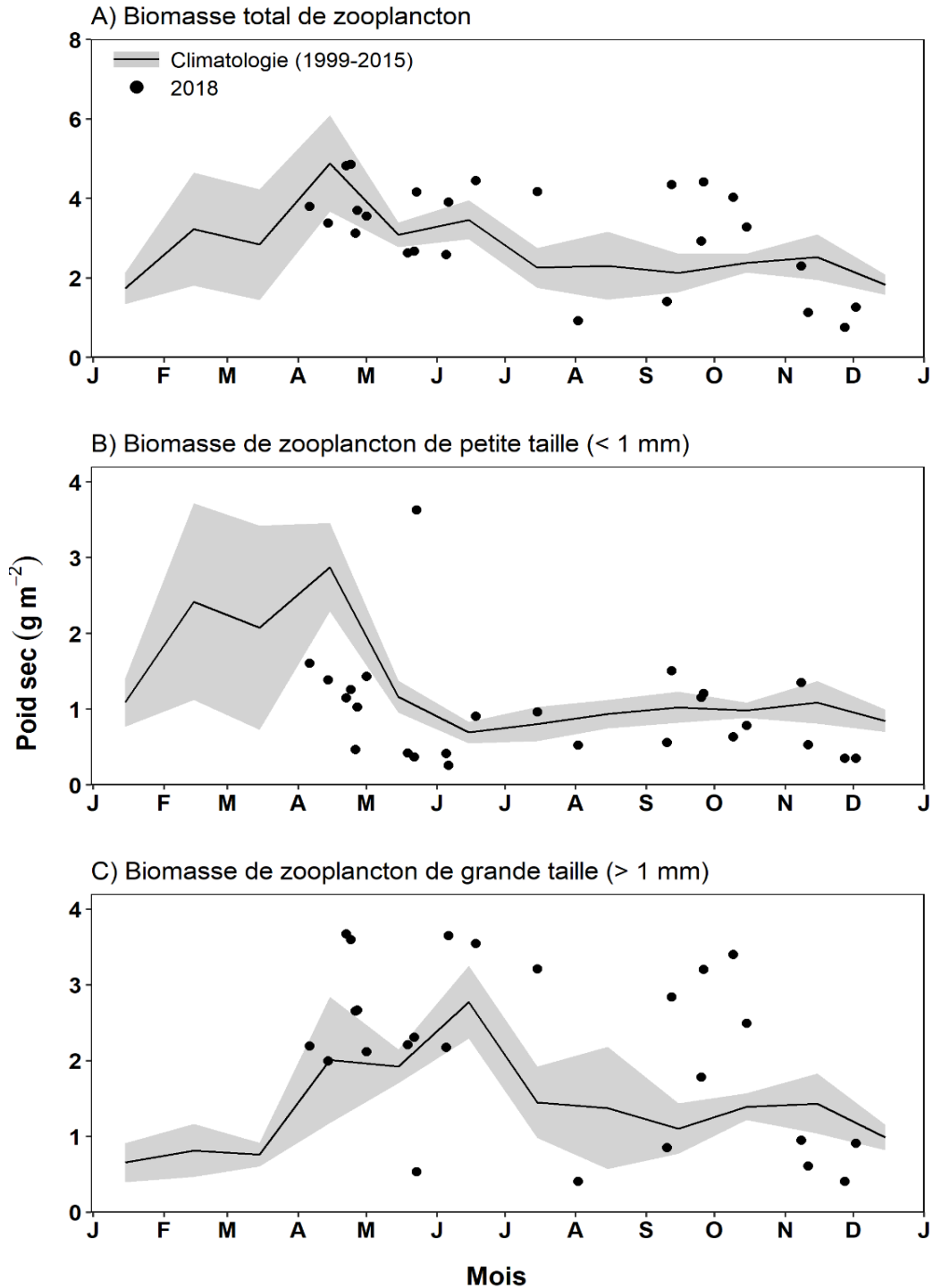


Figure 16. Variation saisonnière de la biomasse de zooplancton pour (A) l'ensemble du zooplancton (<10 mm), (B) le zooplancton de petite taille (≤ 1 mm) et (C) le zooplancton de grande taille (1–10 mm) à la station de monitoring à haute fréquence S27. Les lignes noires et les bandes grises représentent les moyennes climatologiques mensuelles ($\pm 95\%$ IC) de biomasse pour la période de référence 1999–2015. Les points noirs indiquent la biomasse lors de chacune des occupations de la station en 2018.

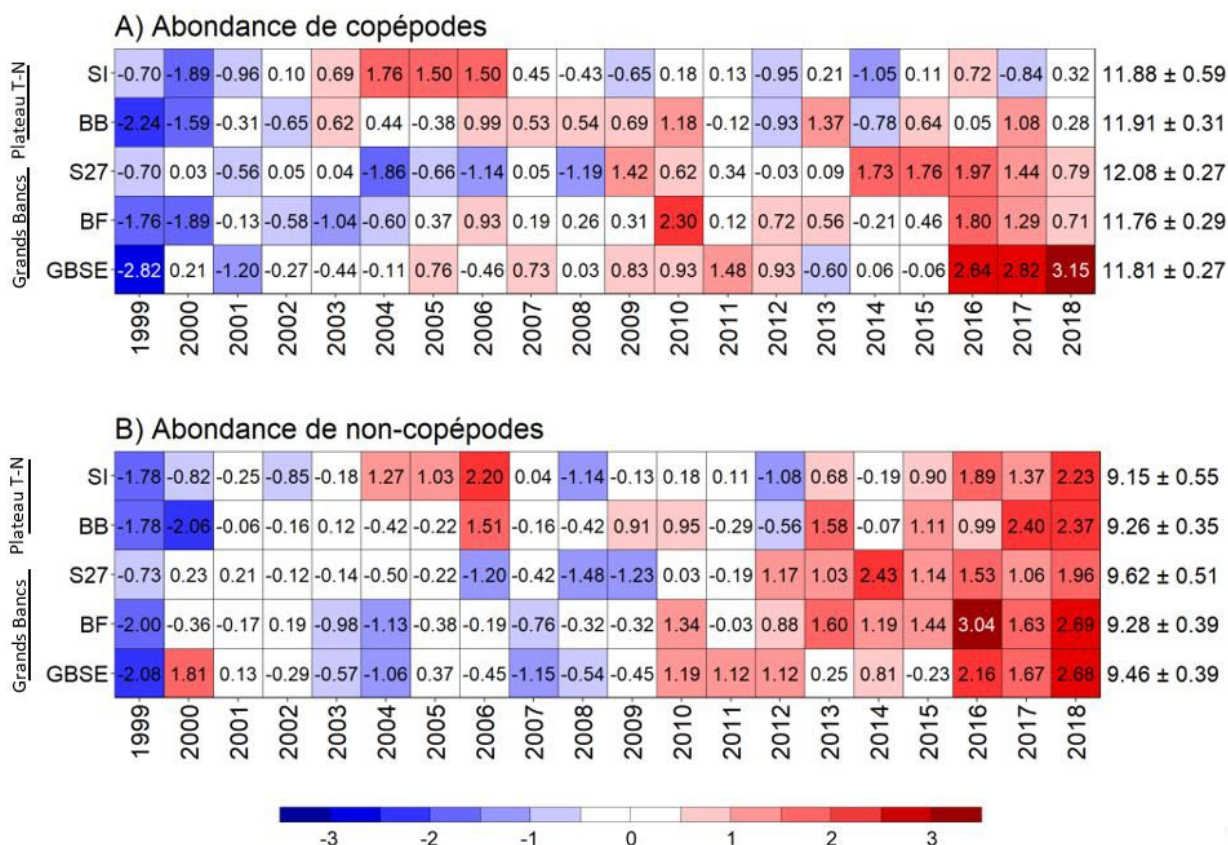


Figure 17. Tableaux synoptiques des anomalies annuelles de l'abondance (A) des copépodes et (B) des non-copépodes. Les nombres à l'intérieur des cellules sont les anomalies par rapport à la moyenne climatologique pour la période de référence 1999–2015 en unité d'écart-type (moyenne climatologique [$\ln 1 + \text{concentration en ind. m}^{-2}$] et SD énumérés à la droite du tableau). Les cellules rouges (bleues) indiquent une abondance supérieure (inférieure) à la normale. Les cellules blanches indiquent une abondance près de la normale (± 0.5 SD). Les sections sont énumérées du nord (haut du tableau) au sud (bas du tableau). SI=Île Seal, BB=Baie de Bonavista, S27=Station 27, BF=Bonnet Flamand, GBSE=Grands Bancs sud-est. Voir figures 1 et 2 pour l'emplacement géographique des sections océanographiques.

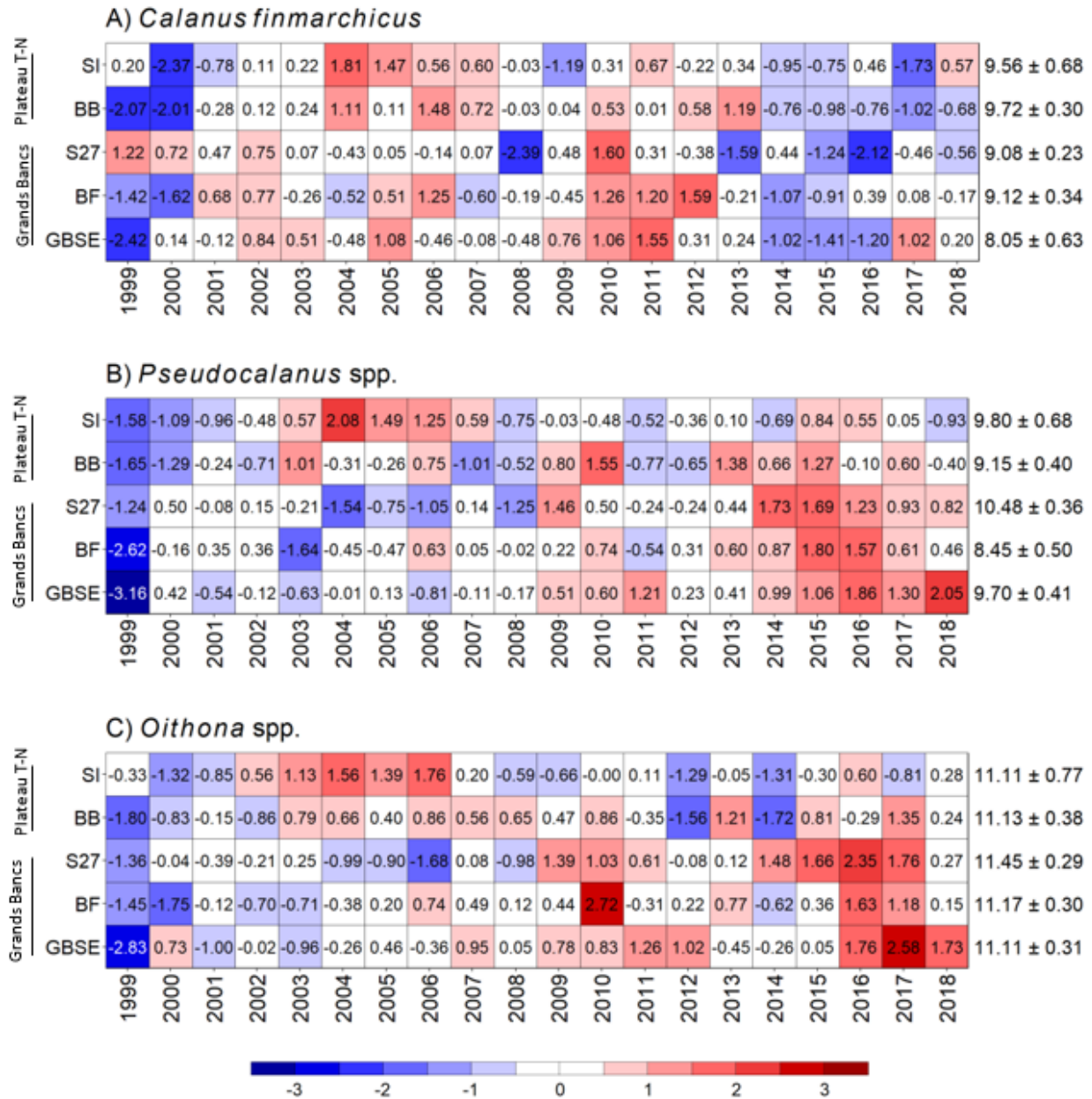


Figure 18. Tableaux synoptiques des anomalies annuelles de l'abondance des taxa de copépodes de grande (A) et de petite (B, C) taille. Les nombres à l'intérieur des cellules sont les anomalies par rapport à la moyenne climatologique pour la période de référence 1999–2015 en unité d'écart-type (moyenne climatologique [$\ln 1 + \text{concentration en ind. m}^{-2}$] et SD énumérés à la droite du tableau). Les cellules rouges (bleues) indiquent une abondance supérieure (inférieure) à la normale. Les cellules blanches indiquent une abondance près de la normale (± 0.5 SD). Les sections sont énumérées du nord (haut du tableau) au sud (bas du tableau). SI=Île Seal, BB=Baie de Bonavista, S27=Station 27, BF=Bonnet Flamand, GBSE=Grands Bancs sud-est. Voir les figures 1 et 2 pour l'emplacement géographique des sections océanographiques.

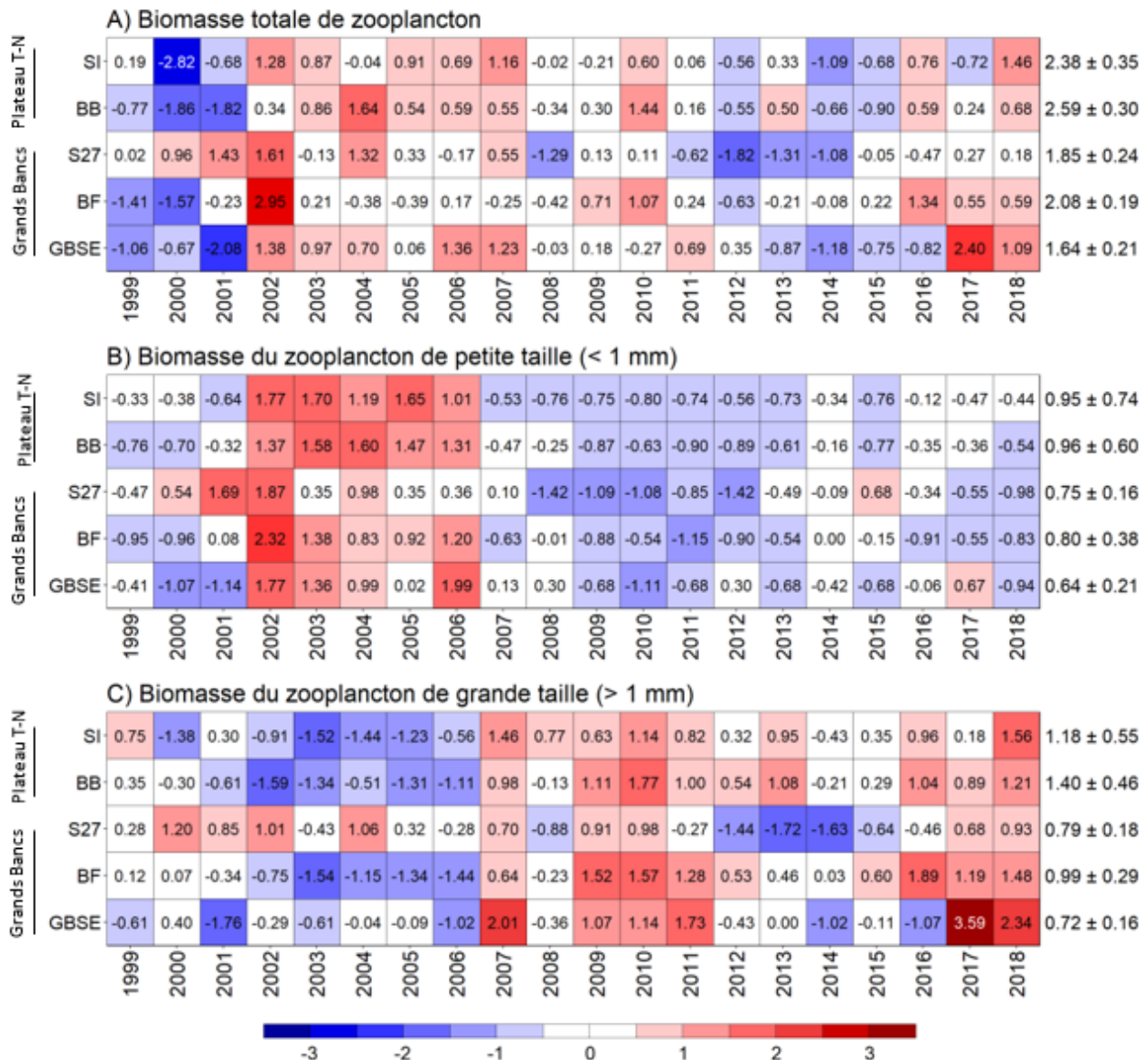


Figure 19. Tableaux synoptiques des anomalies annuelles de biomasse totale de zooplancton (A) et de biomasse de zooplancton de petite (B) et de grande (C) taille. Les nombres à l'intérieur des cellules sont les anomalies par rapport à la moyenne climatologique pour la période de référence 1999–2015 en unité d'écart-type (moyenne climatologique [$\ln 1 + \text{biomasse en g m}^{-2}$] et SD énumérés à la droite du tableau). Les cellules rouges (bleues) indiquent une biomasses supérieure (inférieure) à la normale. Les cellules blanches indiquent une biomasse près de la normale (± 0.5 SD). Les sections sont énumérées du nord (haut du tableau) au sud (bas du tableau). SI=Île Seal, BB=Baie de Bonavista, S27=Station 27, BF=Bonnet Flamand, GBSE=Grands Bancs sud-est. Voir les figures 1 et 2 pour l'emplacement géographique des sections océanographiques.

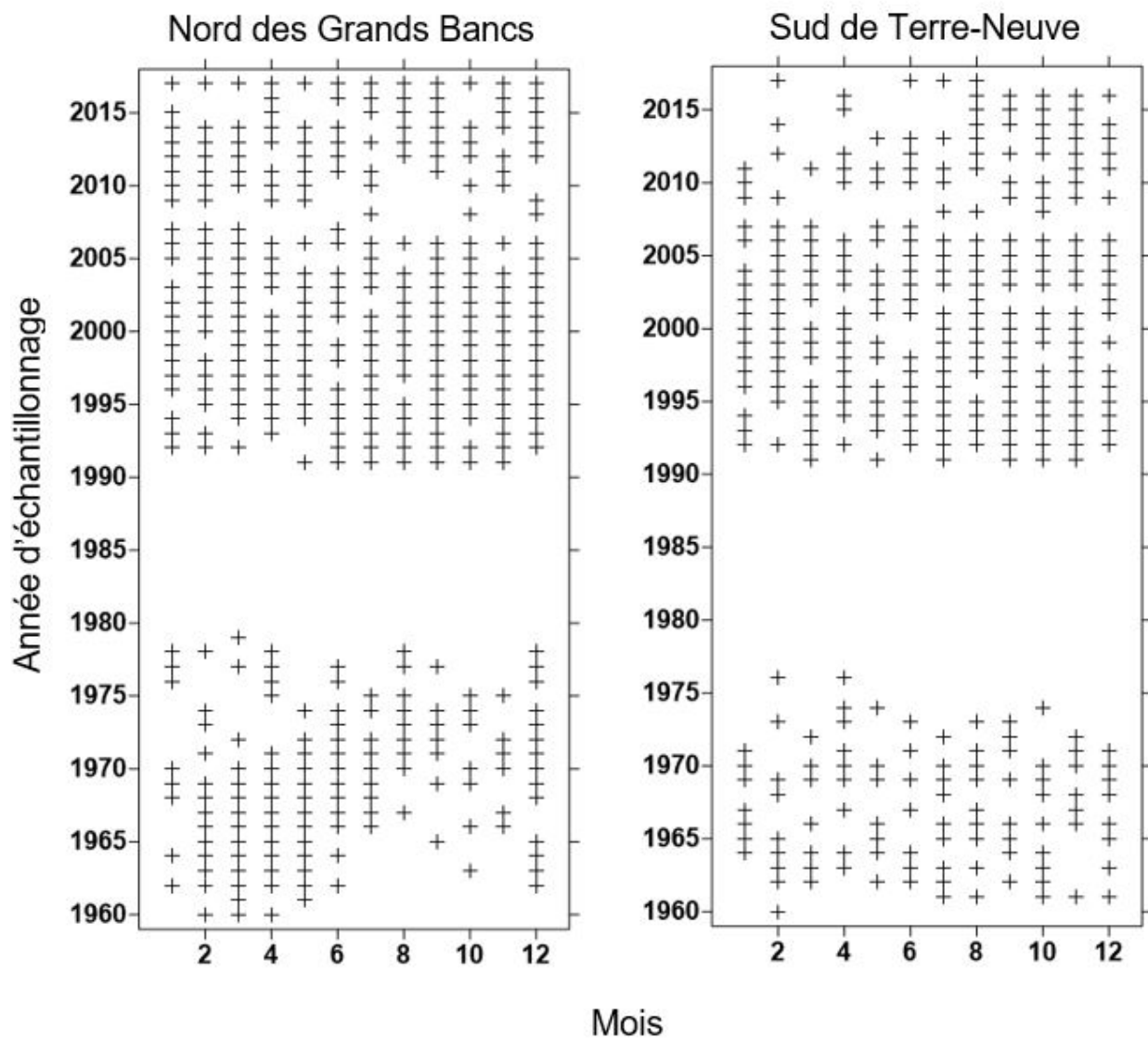


Figure 20. Fréquence d'échantillonnage mensuel du programme d'enregistrement du plancton en continu (EPC) sur le nord des Grands Bancs (panneau de gauche) et le sud de Terre-Neuve (panneau de droite). Notez l'importante interruption dans l'échantillonnage entre le milieu des années 1970 et 1991.

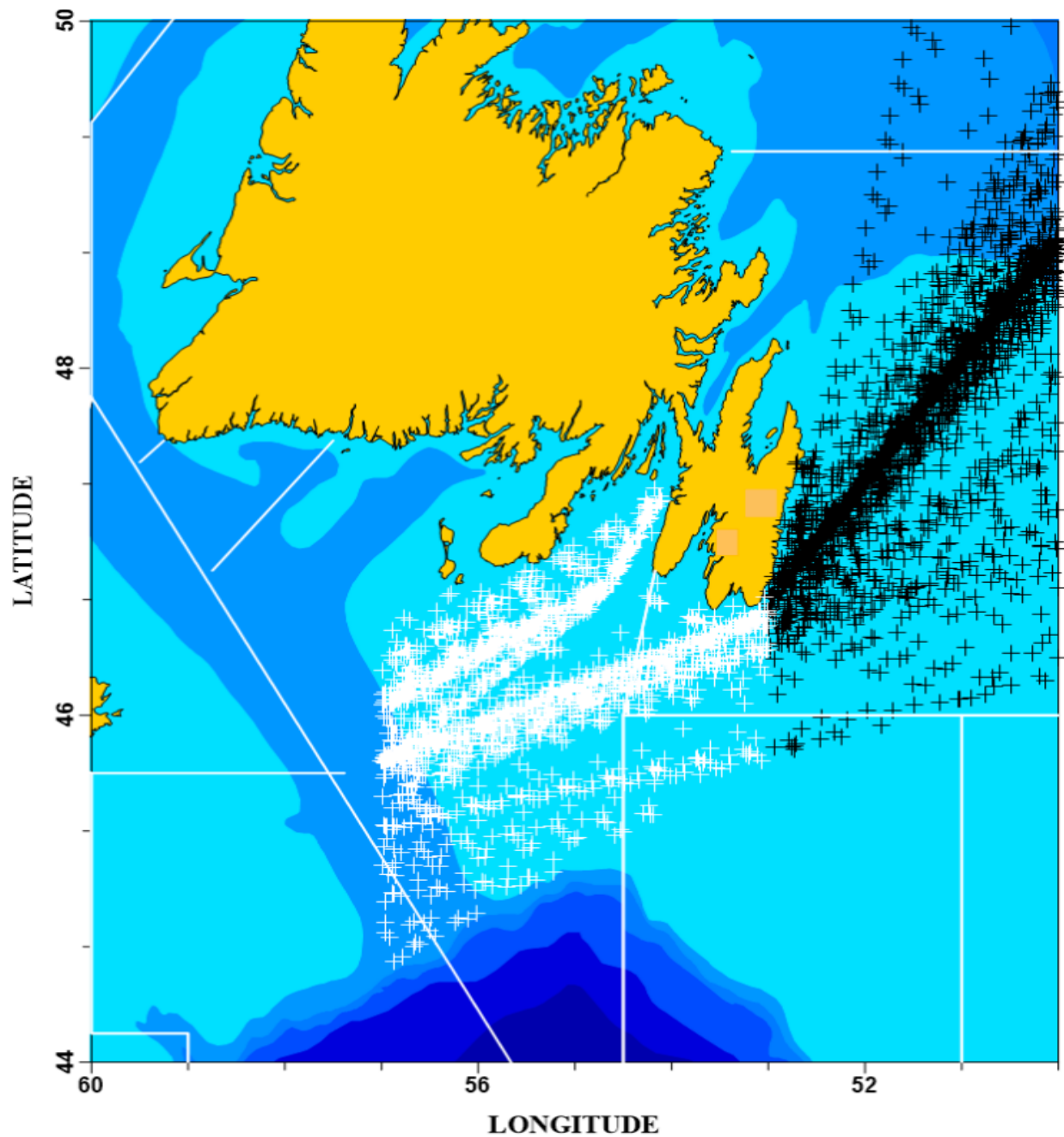


Figure 21. Routes des navires commerciaux et stations d'échantillonnage du programme d'enregistrement du plancton en continue (EPC) dans les eaux du plateau continental et du talus de 1961–2017. Les croix noires indiquent les stations d'échantillonnage pour le nord des Grands Bancs. Les croix blanches indiquent les stations d'échantillonnage pour le sud de Terre-Neuve.

B) Sud de Terre-Neuve

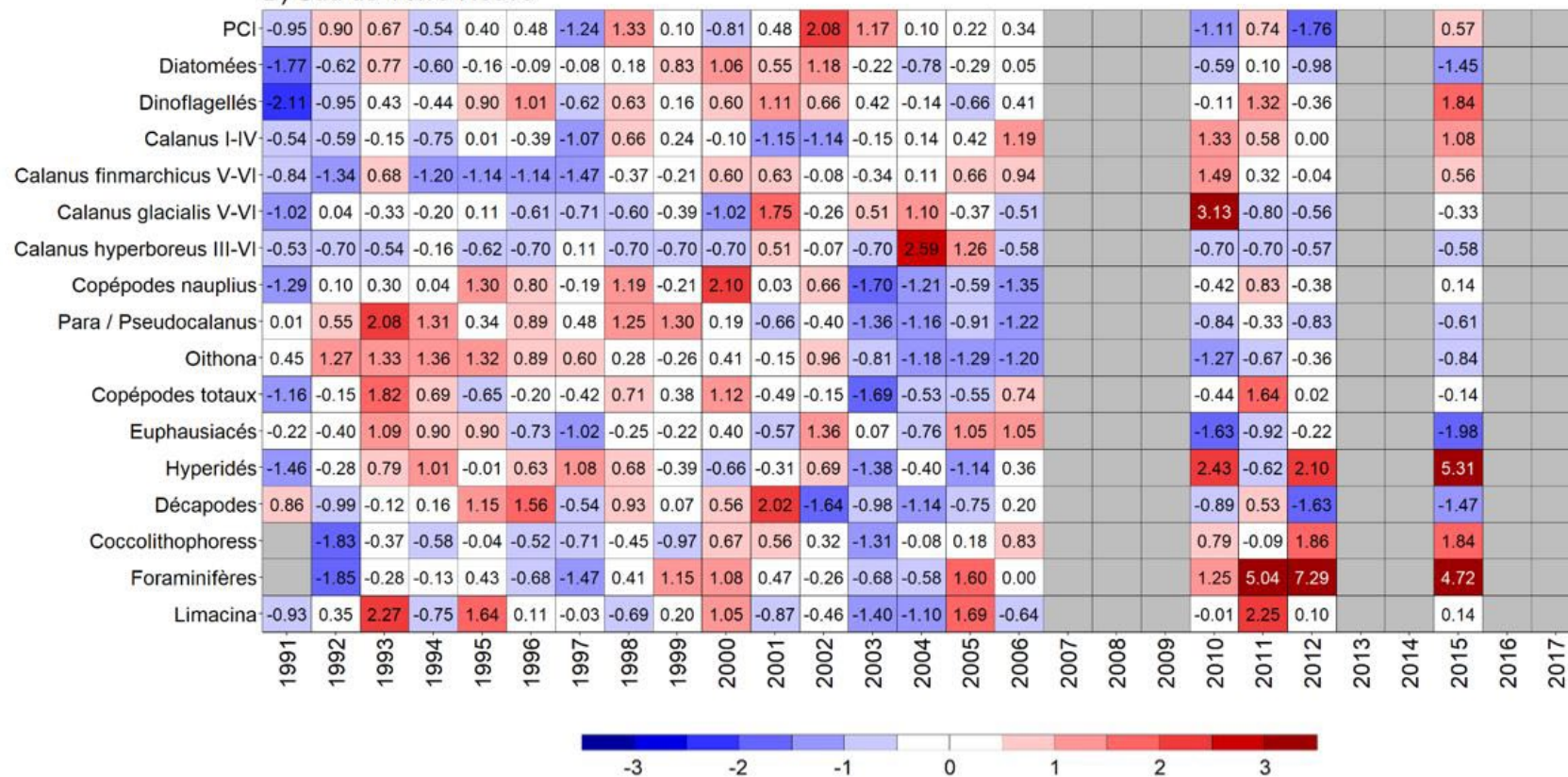


Figure 22 suite.

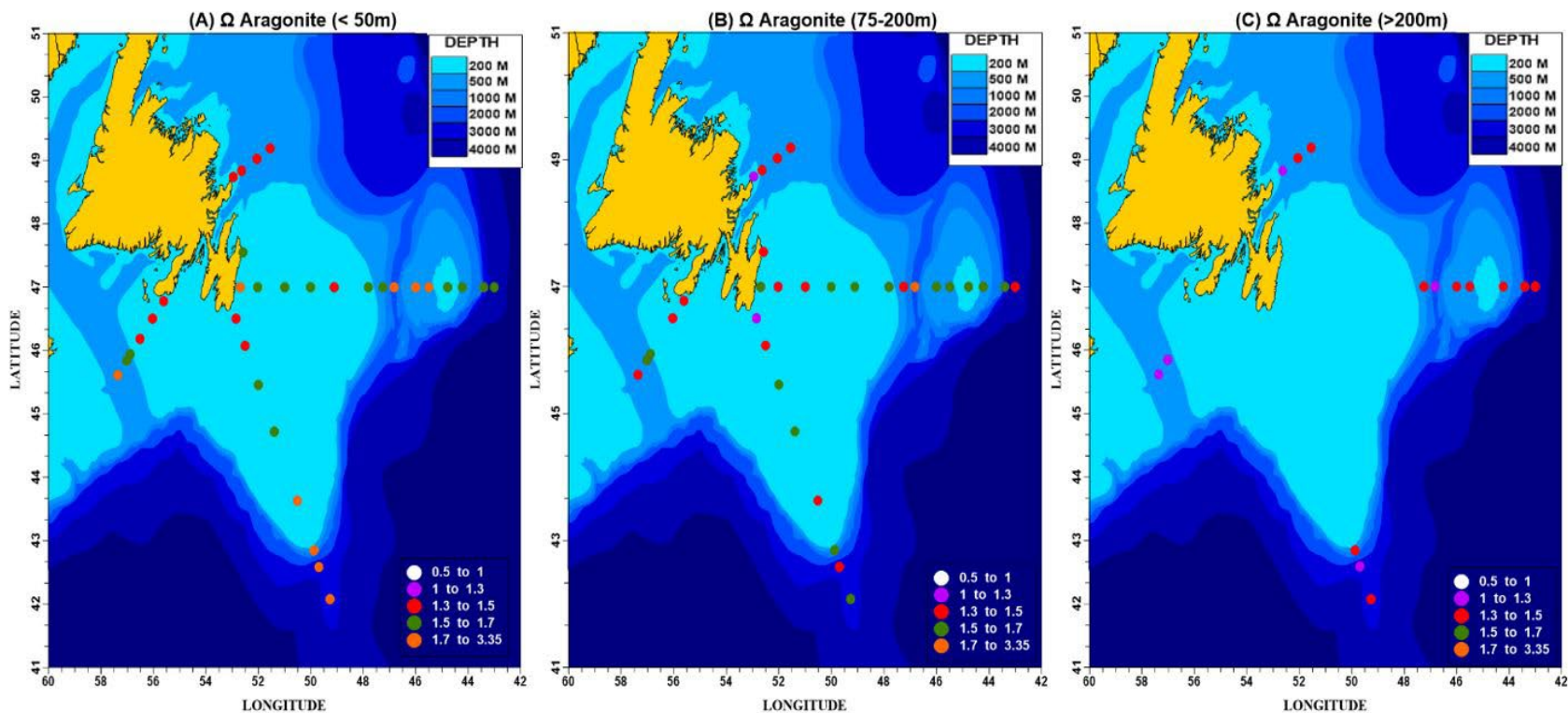


Figure 23. État de saturation de l'aragonite (Ω) pour (A) les premiers 50 m, (B) les eaux intermédiaires (75–200 m), et (C) >200 m (profondeur maximale de 3700 m) durant la mission PMZA du printemps (mars-avril) 2018. Les valeurs correspondantes de pH (échelle totale) son présentées dans les panneaux D-F. $\Omega < 1$ indique une sous-saturation en aragonite, et $\Omega > 1$ indique une sursaturation en aragonite.

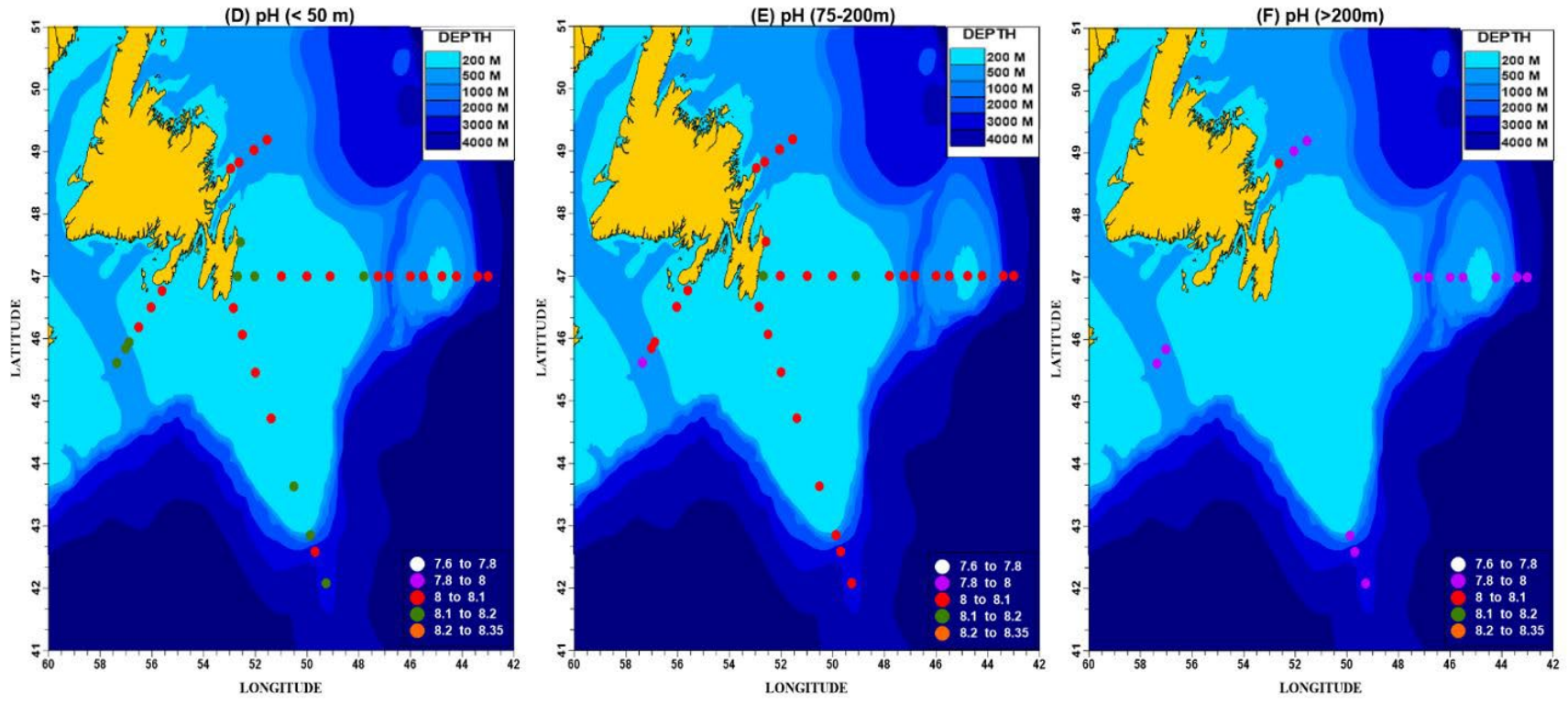


Figure 23 suite.

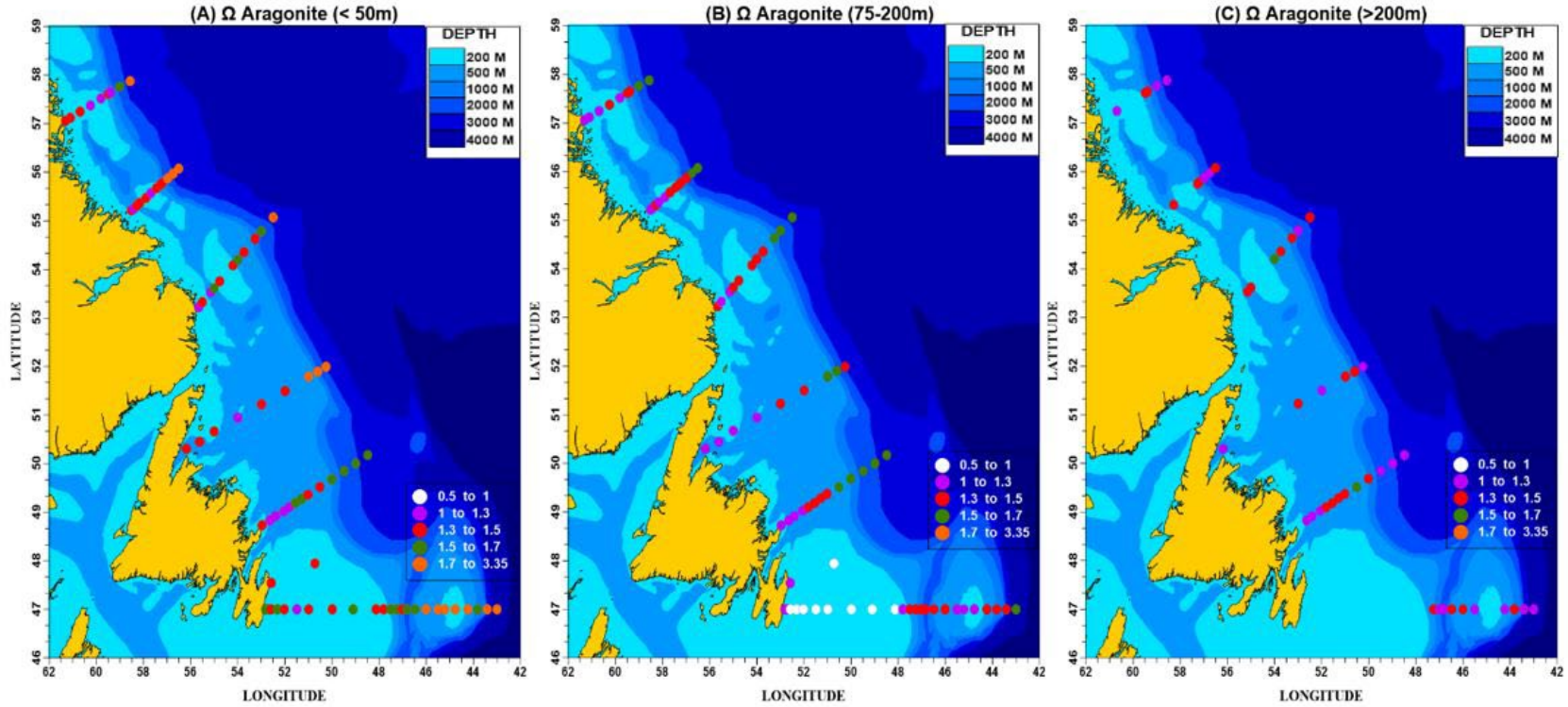


Figure 24. État de saturation de l'aragonite (Ω) pour (A) les premiers 50 m, (B) les eaux intermédiaires (75–200 m), et (C) >200 m (profondeur maximale de 3700 m) durant la mission PMZA d'été (juillet) 2018. Les valeurs correspondantes de pH (échelle totale) sont présentées dans les panneaux D-F. $\Omega < 1$ indique une sous-saturation en aragonite et $\Omega > 1$ indique une sursaturation en aragonite.

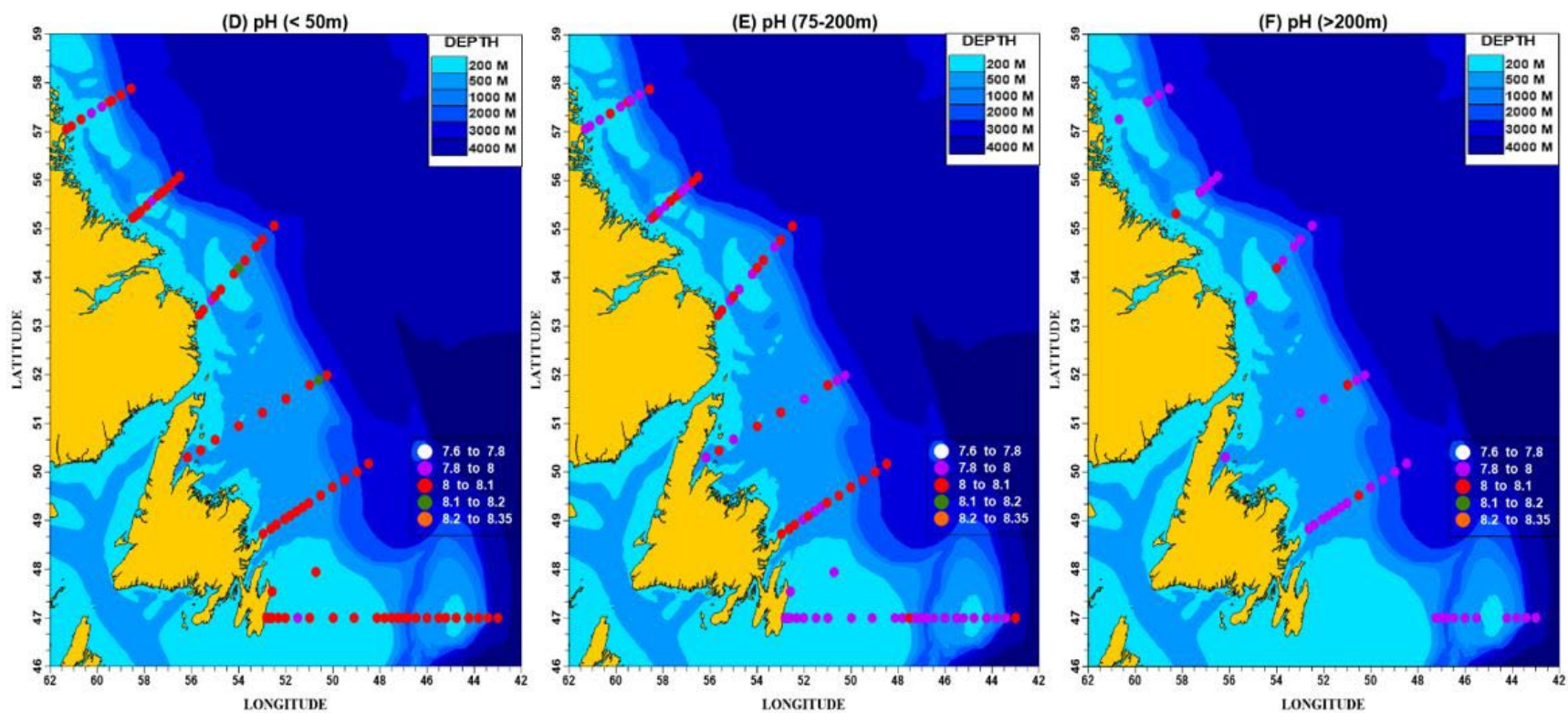


Figure 24 suite.

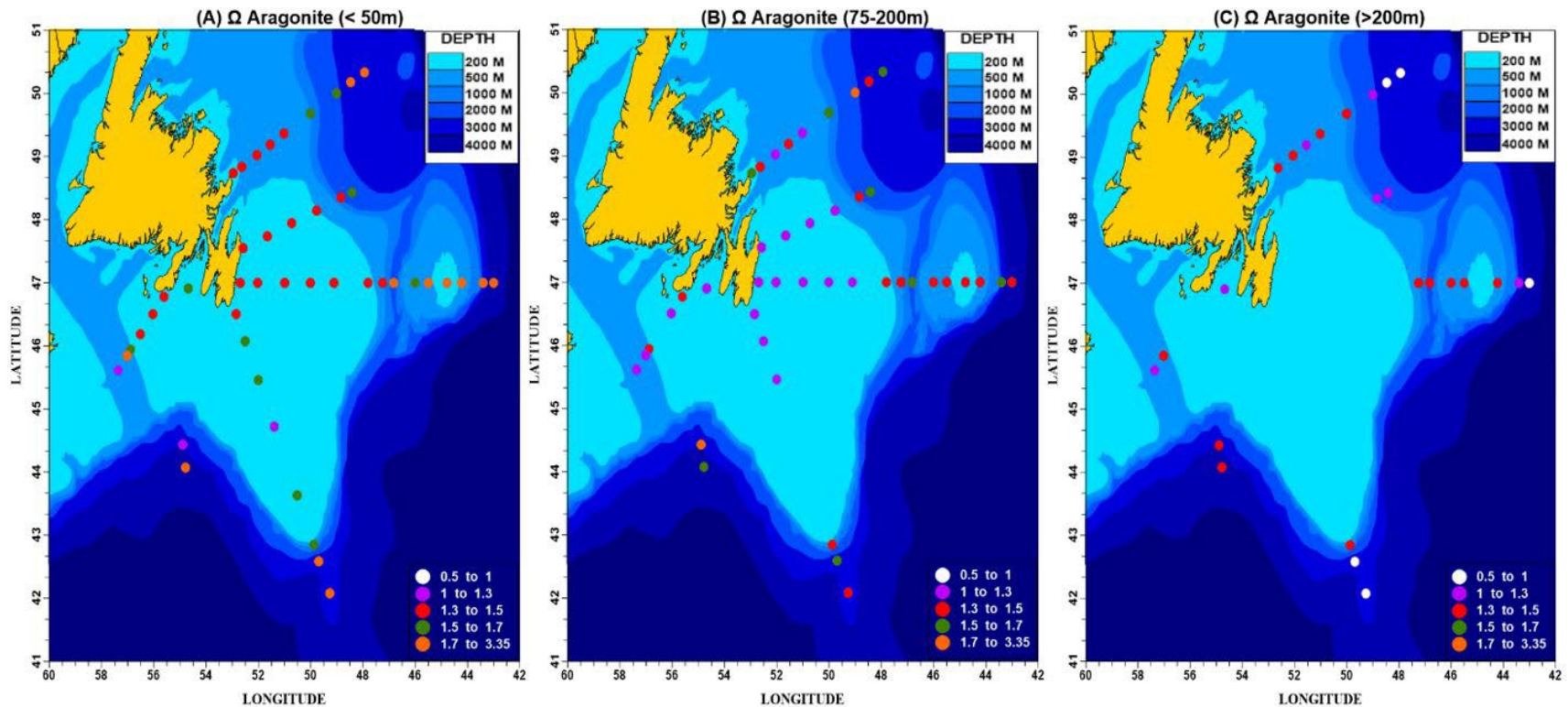


Figure 25. État de saturation de l'aragonite (Ω) pour (A) les premiers 50 m, (B) les eaux intermédiaires (75–200 m), et (C) >200 m (profondeur maximale de 3700 m) durant la mission PMZA d'automne (novembre-décembre) 2018. Les valeurs correspondantes de pH (échelle totale) sont présentées dans les panneaux D-F. $\Omega < 1$ indique une sous-saturation en aragonite et $\Omega > 1$ indique une sursaturation en aragonite.

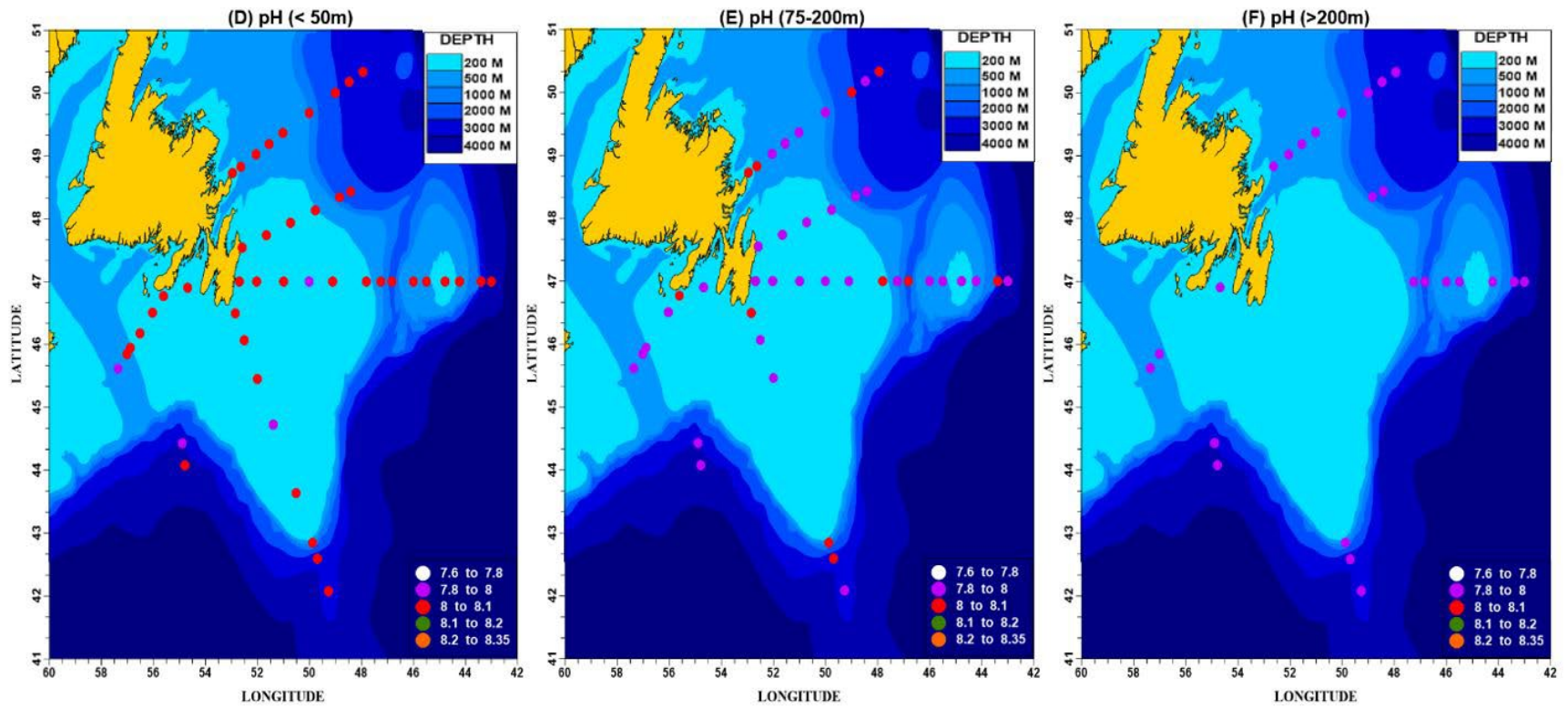


Figure 25 suite.

ANNEXE

ANNEXE 1. BIOMASSE DE ZOOPLANCTON CORRIGÉE

Des erreurs d'archivage dans la base de données de zooplancton de MPO T-N-L ont été découvertes en 2019. La biomasse de zooplancton pour des échantillons collectés entre 2015 et 2018 à la station de monitoring à haute fréquence (S27) et durant le long de sections océanographiques durant les relevés saisonniers n'a pas été corrigées de façon adéquate pour tenir compte du degré de fractionnement des sous-échantillons utilisés pour quantifier la biomasse. Cette erreur a mené à une sous-estimation de la biomasse durant cette période. De plus, une révision complète de la base de données de biomasse a révélé l'absence de 205 échantillons de biomasse collectés entre 2013 et 2015 à S27 (n=3) et le long des sections océanographiques Île Seal (n=20), Baie de Bonavista (n=52), Bonnet flamand (n=98) et Grands Bancs sud-est (n=32). Les échantillons manquant et les erreurs de correction de la biomasse ont affecté les moyennes climatologiques et les valeurs de biomasse moyenne pour la période de référence 1999–2015 et, par conséquent, les anomalies reportées dans le rapport précédent par Maillet et al. (2019).

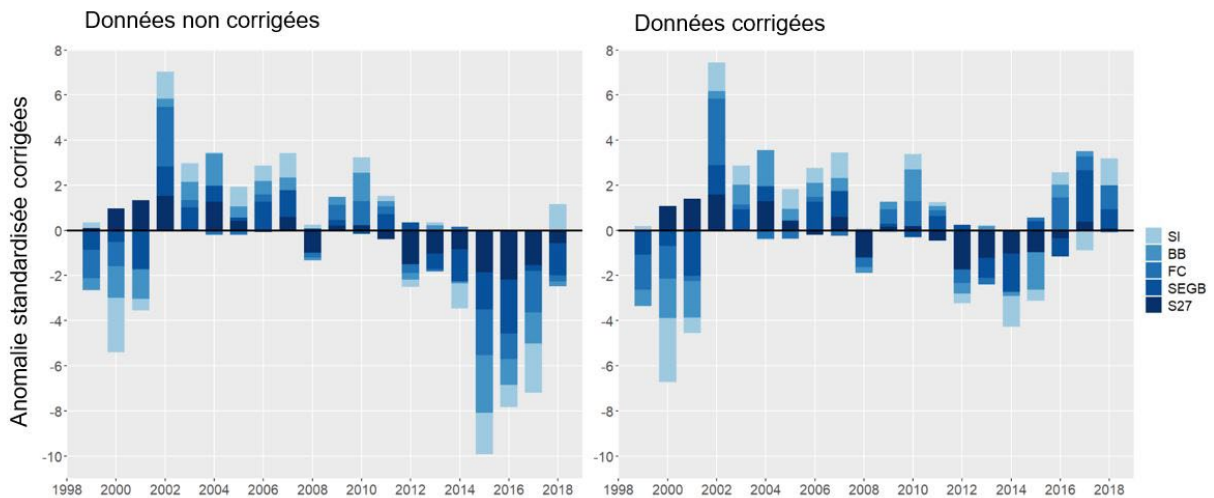


Figure A.1. Comparaison des anomalies annuelles de zooplancton calculées à partir des données non corrigées (panneau de gauche) et corrigées (panneau de droite) de biomasse pour la station de monitoring à haute fréquence (S27) et les sections océanographiques (SI: Île Seal, BB: Baie de Bonavista, FC: Bonnet Flamand, SEGB: Grands Bancs sud-est). Voir figure 1 pour l'emplacement de la station de monitoring à haute fréquence et des sections océanographiques.