



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 2024/074

Région de Terre-Neuve-et-Labrador

**Conditions océanographiques biogéochimiques sur le plateau continental de
Terre-Neuve-et-Labrador en 2019 et 2020**

D. Bélanger, G. Maillet, F. Cyr, G. Doyle, S. Rastin, D. Ramsay, B. Dalton, P. Pepin

Direction des sciences
Pêches et Océans Canada
Casier postal 5667
Saint-Jean-de-Terre-Neuve, Terre-Neuve, 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 des avis scientifiques
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, 2024

ISSN 2292-4272

ISBN 978-0-660-74111-6 N° cat. Fs70-5/2024-074F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Bélanger, D., Maillet, G., Cyr, F., Doyle, G., Rastin, S., Ramsay, D., Dalton, B., et Pepin, P.
2024. Conditions océanographiques biogéochimiques sur le plateau continental de Terre-
Neuve-et-Labrador en 2019 et 2020. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech.
2024/074. vii + 58 p.

Also available in English :

*Bélanger, D., Maillet, G., Cyr, F., Doyle, G., Rastin, S., Ramsay, D., Dalton, B., and Pepin, P.
2024. Biogeochemical Oceanographic Conditions on the Newfoundland and Labrador Shelf
during 2019 and 2020. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2024/074. vi + 55 p.*

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	vii
1. INTRODUCTION	1
2. MÉTHODES.....	2
2.1. TÉLÉDÉTECTION SATELLITAIRE DE LA COULEUR DE L'OCÉAN	2
2.2. ÉCHANTILLONNAGE.....	3
2.3. INTÉGRATION VERTICALE DES VARIABLES	3
2.4. TABLEAUX SYNOPTIQUES DES ANOMALIES ANNUELLES.....	3
2.5. OXYGÈNE DISSOUT, PH ET CHIMIE DES CARBONATES	4
3. OBSERVATIONS.....	4
3.1. COULEUR DE L'OCÉAN PAR SATELLITE.....	4
3.1.1. Concentration de chlorophylle <i>a</i> en surface.....	4
3.1.2. Phénologie de la floraison printanière.....	5
3.2. INVENTAIRES DE NUTRIMENTS ET DE CHLOROPHYLLE A.....	6
3.2.1. Station 27	7
3.2.2. Sections océanographiques.....	8
3.3. ZOOPLANCTON.....	9
3.3.1. Station 27	9
3.3.2. Sections océanographiques.....	12
3.4. OXYGÈNE DISSOUT.....	14
3.5. ACIDIFICATION DES OCÉANS	15
4. DISCUSSION.....	16
4.1. NUTRIMENTS ET PRODUCTION PRIMAIRE.....	16
4.2. ABUNDANCE, BIOMASSE ET COMPOSITION DU ZOOPLANCTON	17
4.3. OXYGÈNE DISSOUT.....	20
4.4. ACIDIFICATION DES OCÉANS	21
SOMMAIRE	21
REMERCIEMENTS	22
RÉFÉRENCES CITÉES	23
ANNEXE I - TABLEAUX.....	28
ANNEXE II - FIGURES.....	29

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Sommaire de l'effort d'échantillonnage des données biogéochimique dans la région de Terre-Neuve et Labrador en 2019 et 2020 lors des relevés saisonniers du Programme de monitoring de la zone atlantique (PMZA) le long des sections océanographiques de l'Île Seal (IS), du Bonnet Flamand (BF), de la Baie de Bonavista (BB) et du Grand Banc sud-est (GBSE) ainsi qu'à la station de monitoring à haute fréquence Station 27 (S27) par des navires auxiliaires occasionnels (SOO).....	28
--	----

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : A) Circulation océanique dans la région de de Terre-Neuve et Labrador. B) Emplacement des sections océanographiques standard du PMZA: IB=Île Beachy, BM=Banc Makkovik, IS=Île Seal, BBL=Baie Blanche, BB=Baie de Bonavista, BF=Bonnet Flamand, GBSE=Granc Banc sud-est, BSPSE=Banc Saint-Pierre sud-est, BSPSW=Banc Saint-Pierre sud-ouest) et la station d'échantillonnage à haute fréquence Station 27 (S27) occupées par le PMZA depuis 1999 dans la région de Terre-Neuve-et-Labrador. Les points noirs indiquent les stations d'échantillonnage le long de chacune des sections. C) Emplacement des sous-régions pour lesquels les indices de floraison printanière du phytoplancton (timing du début, durée et ampleur) ont été calculés à partir de données satellitaires de la couleur de l'océan (LABN=Labrador nord, LABC=Labrador centre, BH=Banc Hamilton, BSA=Bassin de Saint-Anthony, NETN=nord-est de Terre-Neuve, GBN= Grand Banc nord, PF=Passe Flamande, BF=Bonnet Flamand, HFSE=Haut-fond sud-est, BSP=Banc Saint-Pierre). Les unités de production écosystémiques de l'OPANO utilisées pour référer aux différentes sous-régions du plateau continental de Terre-Neuve-et-Labrador sont indiquées en blanc dans les panneaux B et C.	29
Figure 2 : Sommaire des activités d'échantillonnage hebdomadaire de données biogéochimiques à la station d'échantillonnage à haute fréquence Station 27 (S27) depuis le début du PMZA en 1999.	30
Figure 3 : Moyenne à long-terme (2003–20) de la température de surface de la mer (haut) et de la concentration de chlorophylle-a en surface (bas) durant la période des relevés océanographiques saisonniers du PMZA.	31
Figure 4 : Concentration Moyenne de chlorophylle-a en surface (haut) et anomalies standardisées (bas) durant les relevés saisonniers du PMZA en 2019.	32
Figure 5 : Concentration moyenne de chlorophylle-a en surface (haut) et anomalies standardisées (bas) durant les relevés saisonniers du PMZA en 2020.	33
Figure 6 : Tableau synoptique des anomalies annuelles pour les paramètres de la floraison printanière de phytoplancton.....	34
Figure 7 : Variations saisonnières de la distribution verticale des nitrates à la Station 27.....	35
Figure 8 : Variations saisonnières de la distribution verticale des silicates à la Station 27.....	36
Figure 9 : Variations saisonnières de la distribution verticale des phosphates à la Station 27... ..	37
Figure 10 : Variations saisonnières de la distribution verticale de la chlorophylle à la Station 27.	38
Figure 11 : Tableau synoptique des anomalies annuelles pour les inventaires de nutriments en surface.	39

Figure 12 : Tableau synoptique des anomalies annuelles pour les inventaires de nutriments en profondeur.....	40
Figure 13 : Tableau synoptique des anomalies annuelles pour les inventaires de chlorophylle-a.	41
Figure 14 : Régression linéaires entre les anomalies annuelles de nutriments en surface (panneaux du haut) et en profondeur décalée de 1 an (panneaux du bas) et de chlorophylle-a pour les sections océanographiques de l'Île Seal (IS), de la Baie de Bonavista (BB), du Bonnet Flamand (BF) et du Grand Banc sud-est (GBSE) ainsi qu'à la Station 27 (S27).....	42
Figure 15 : Abondances relatives de principaux groupes de mesozooplankton à la Station 27. 43	
Figure 16 : Variations saisonnières de l'abondance des copépodes et des non-copépodes ainsi que de la biomasse totale de zooplankton à la Station 27.....	44
Figure 17 : Variations saisonnières de l'abondance de taxa de copépodes d'importance écologique à la Station 27.....	45
Figure 18 : Variations saisonnières de l'abondance relative des stades copépodites de <i>Calanus finmarchicus</i> (panneaux du haut) et de <i>Pseudocalanus</i> spp. (panneaux du bas) à la Station 27 pour la période de référence 1999–2020 et pour les années 2019 et 2020.	46
Figure 19 : Tableau synoptique des anomalies annuelles de l'abondance des copépodes et des non-copépodes ainsi que de la biomasse totale de zooplankton.	47
Figure 20 : Tableau synoptique des anomalies annuelles d'abondance des copépodes calanoïdes de grande taille.	48
Figure 21 : Tableau synoptique des anomalies annuelles d'abondance des taxa dominant de copépodes de petite taille.	49
Figure 22 : Tableau synoptique des anomalies annuelles d'abondance des taxa dominant de zooplankton non-copépode.....	50
Figure 23 : Saturation en oxygène dissout en été (panneaux de gauche) et à l'automne (panneaux de droite) pour la région de T-N-L en 2019 (panneaux du haut) et 2020 (panneaux du bas) le long des sections océanographiques du Banc Makkovik (MB), de l'Île Seal (IS), de la Baie de Bonavista (BB), du Bonnet Flamand (BF) et du Grand Banc sud-est (GBSE).	52
Figure 24 : Observations estivales (panneaux du haut), climatologie (panneaux du centre) et anomalies standardisées (panneaux du bas) de la saturation en oxygène (O ₂) dissout le long de la section océanographique de l'Île Seal (IS) en 2019 et 2020.....	52
Figure 25 : Observations estivales (panneaux du haut), climatologie (panneaux du centre) et anomalies standardisées (panneaux du bas) de la saturation en oxygène (O ₂) dissout le long de la section océanographique du Bonnet Flamand (BF) en 2019 et 2020.....	53
Figure 26 : Observations estivales (panneaux de gauche) et automnales (panneaux de droite) du pH (panneaux du haut) et de l'état de saturation de l'aragonite (Ω) (panneaux du bas) au fond dans la région de T-N-L en 2019 (page précédente) et 2020 (ci-haut) le long des sections océanographiques du Banc Makkovik (BM), de l'Île Seal (IS), de la Baie de Bonavista (BB), du Bonnet Flamand (BF) et du Grand Banc sud-est (GBSE). $\Omega < 1$ correspond à un état de sous-saturation en aragonite.	54
Figure 27 : Observations estivales (panneaux du haut), climatologie (panneaux du centre) et anomalies standardisées (panneaux du bas) de pH le long de la section océanographique de l'Île Seal (IS) en 2019 et 2020.....	55

Figure 28 : Observations estivales (panneaux du haut), climatologie (panneaux du centre) et anomalies standardisées (panneaux du bas) de l'état de saturation en aragonite (Ω_a) le long de la section océanographique de l'Île Seal (IS) en 2019 et 2020.....56

Figure 29 : Observations estivales (panneaux du haut), climatologie (panneaux du centre) et anomalies standardisées (panneaux du bas) de pH le long de la section océanographique du Bonnet Flamand (BF) en 2019 et 2020.....57

Figure 30 : Observations estivales (panneaux du haut), climatologie (panneaux du centre) et anomalies standardisées (panneaux du bas) de l'état de saturation en aragonite (Ω_a) le long de la section océanographique du Bonnet Flamand (BF) en 2019 et 2020.....58

RÉSUMÉ

Les conditions océanographiques biogéochimiques dans la région de Terre-Neuve-et-Labrador (T-N-L) en 2019 et 2020 sont présentées et comparées aux conditions moyennes à long-terme. Les observations satellitaires de la couleur de l'océan indiquaient une tendance générale vers un début plus hâtif de la floraison printanière pour l'ensemble de la région par rapport au milieu et à la fin des années 2010 avec des effets partagés sur l'ampleur des floraisons. Les inventaires de nutriments en eaux profondes (50–150 m) étaient principalement près de, ou au-dessus de la normale ce qui représentait une hausse par rapport à 2017 et 2018. La biomasse intégrée (0–100 m) de chlorophylle a (Chl a) était majoritairement au-dessus de la normale en 2019, continuant une tendance qui a débuté en 2017, mais a décliné à des niveaux près de la normale dans l'ensemble de la région en 2020 à l'exception de la valeur au-dessus de la normale pour la section de l'Île Seal (IS). L'abondance totale des copépodes et du zooplancton non-copépode est demeurée principalement au-dessus de la normale en 2019 et en 2020 avec des maximums records sur le plateau terre-neuvien en 2020. La biomasse totale de zooplancton était sous la normale pour le Grand Banc sud-est (GBSE) en 2019, au-dessus de la normale sur le plateau terre-neuvien en 2020, et près de la normale ailleurs pour les deux années. L'abondance des copépodes de grande taille *Calanus finmarchicus* a diminué à des niveaux sous la normale sur la majeure partie du Grand Banc en 2020 après être demeurée principalement près de, ou au-dessus de la normale de 2017 à 2019. Par contre, l'abondance des copépodes de petite taille est demeurée élevée avec plusieurs maximums records pour *Pseudocalanus* spp. et *Oithona* spp. continuant une tendance ayant débuté au milieu des années 2010. La saturation en oxygène dissout des eaux de fond sur le plateau terre-neuvien était au-dessus de la moyenne pour les deux années et, de façon générale, plus élevés en 2019 qu'en 2020. Des niveaux localisés de sous-saturation en aragonite ($\Omega < 1$) ont été observés sur le Grand Banc et dans les eaux profondes du talus continental du plateau terre-neuvien, du Bonnet Flamand et de la pointe sud du Grand Banc en été et/ou à l'automne pour les deux années.

1. INTRODUCTION

Le programme de monitoring de la zone Atlantique (PMZA) a été fondé en 1998 afin d'augmenter la capacité de Pêches et Océans Canada (MPO) à décrire, comprendre, et prévoir l'état de l'écosystème marin ainsi qu'à quantifier les changements dans les propriétés physiques, chimiques et biologiques de l'océan (Therriault *et al.* 1998). Un des éléments-clés du PMZA consiste à évaluer la variabilité des nutriments, du phytoplancton (producteurs primaires microscopiques) et du zooplancton dans le but d'identifier les liens fondamentaux entre les principales composantes de l'écosystème planctonique et de comprendre comment ces liens évoluent face aux changements dans le milieu marin.

La variabilité des conditions océanographiques biogéochimiques est en partie liée aux propriétés physiques des masses d'eau. Le courant du Labrador (CL), qui s'écoule vers le sud, est le principal élément caractérisant la circulation océanique dans la région de Terre-Neuve-et-Labrador (T-N-L). La branche interne du CL apporte de l'eau froide et relativement peu salée en provenance de la baie de Baffin et du détroit d'Hudson sur le plateau continental (Wang *et al.* 2015; Florindo-López *et al.* 2020). La branche dominante externe du CL apporte une eau plus chaude et plus saline s'écoulant le long du talus et du glacis continental à travers la Passe Flamande où elle se mélange avec les eaux chaudes et salines de la dérive nord-atlantique (Krauss *et al.* 1990; Townsend *et al.* 2004) (Fig. 1A). Un important front de densité sépare les eaux subarctiques froides et relativement douces baignant le plateau continental des eaux chaudes et salines du talus (Townsend *et al.* 2004). Une autre caractéristique dominante du plateau de T-N-L est la couche intermédiaire froide (CIF), c.à.d., une masse d'eau froide formée au-dessus du plateau au cours du printemps lorsque la stratification saisonnière des eaux de surface isole la couche mélangée froide formée en hiver de l'atmosphère plus chaude (Petrie *et al.* 1988; Cyr *et al.* 2011). La CIF est présente durant la majeure partie de l'année, maintenant les températures de fond près de, ou au-dessous de 0°C sur la majeure partie du plateau. (voir Cyr *et al.* 2021 pour une description détaillée de l'environnement marin physique).

Le PMZA utilise la télédétection par satellite et les observations *in situ* provenant d'un réseau de stations d'échantillonnage distribuées à travers quatre régions opérationnelles du MPO (Québec, Golfe, Maritimes et Terre-Neuve-et-Labrador) pour obtenir ses informations sur l'état de l'écosystème marin. Dans la région de T-N-L, des sections océanographiques transversales du plateau sont échantillonnées de une à trois fois par année au printemps, à l'été et à l'automne au cours de relevés océanographiques saisonniers (Fig. 1B, C). De plus, une station côtière de monitoring à haute fréquence (Station 27) située à environ quatre miles marins de l'entrée du port de Saint-Jean de Terre-Neuve est occupée de façon opportuniste d'avril à décembre à une fréquence variant d'hebdomadaire à mensuelle avec le plus grand nombre d'occupations ayant lieu au printemps et à l'automne durant les relevés multi-espèces de MPO (Fig. 2). Les sections océanographiques procurent de l'information sur la variabilité environnementale à grande échelle bien qu'avec une résolution temporelle limitée à leur couverture saisonnière. La station de monitoring à haute fréquence permet quant à elle une description plus détaillée des patrons saisonniers de variabilité. La Figure 3 détaille l'emplacement géographique des différentes stations d'échantillonnage et sections océanographiques occupées en 2019 et 2020.

La description de la distribution spatiale et temporelle des nutriments ainsi que du phytoplancton et du zooplancton fournit de l'information importante sur les organismes à la base du réseau trophique marin et leur liens avec l'environnement biogéochimique. La compréhension des cycles saisonniers de production du plancton et de leur variabilité annuelle et décennale est essentielle à la mise en place d'une approche écosystémique de la gestion des pêches. Ce rapport fournit un compte rendu des conditions océanographiques biogéochimiques des eaux du

plateau continental et du talus pour la région de T-N-L en 2019 et 2020 en lien avec les conditions moyennes à long-terme basées sur des données d'archive et vient compléter des ouvrages similaires détaillant les conditions océanographiques physiques et biogéochimiques pour les régions de T-N-L (Cyr *et al.* 2021), du Golfe du Saint-Laurent (Blais *et al.*, 2021^{1,2}), du plateau néo-écossais et du golfe du Maine (Casault *et al.* 2020, 2022) ainsi que pour l'ensemble de l'Atlantique Nord-Ouest (MPO 2020, 2021).

2. MÉTHODES

Sauf exception, la collecte et le traitement des échantillons s'effectuent conformément aux protocoles standards du PMZA décrits dans Mitchell *et al.* (2002). Les procédures utilisées pour les mesures non-standard et le calcul des variables dérivées sont décrites ci-dessous. Ce rapport utilise les unités de production écosystémiques (UPE) tel que définies par l'Organisation des pêches de l'Atlantique nord-ouest (OPANO) (Koen-Alonso *et al.* 2019) pour référer aux différentes sous-régions du plateau et du talus continental de T-N-L (Fig. 1C).

2.1. TÉLÉDÉTECTION SATELLITAIRE DE LA COULEUR DE L'OCÉAN

La concentration de surface de Chl *a*, utilisée ici comme indice de la biomasse de phytoplancton, a été estimée à partir d'images satellitaires de la couleur de l'océan collectées par le capteur MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) Aqua pour les différentes sous-régions couvrant les eaux du plateau continental de la région T-N-L (Fig. 1C). Des statistiques de base (moyenne et écart-type) ont été extraites à partir d'images composites bimensuelles afin de créer des produits de visualisation de la variabilité spatio-temporelle des concentrations de surface de Chl *a*.

L'application Shiny PhytoFit (Clay *et al.* 2021) a été utilisée pour caractériser la phénologie de la floraison printanière du phytoplancton en fonction de trois paramètres: le début, la durée, et l'ampleur de la floraison. Ces paramètres ont été calculés pour chacune des années et des sous-régions en utilisant une méthode adaptée de Zhai *et al.* (2011). Dans un premier temps, les moyennes quotidiennes de concentrations en Chl *a* dérivées de données de télédétection de réflectance ont été calculées à l'aide de l'algorithme de bande spectrale régional POLY4 (Clay *et al.* 2019). Ensuite, pour chaque année, une régression loess (span=0.2) pondérée en fonction du pourcentage de couverture satellitaire est appliquée aux séries chronologiques de moyennes quotidiennes de concentrations de Chl *a*. Enfin, les valeurs ajustées de la régression loess sont modélisées à l'aide d'une fonction Gaussienne du temps décalé et les paramètres phénologiques de la floraison printanière sont calculés de la façon suivante:

- **Début de la floraison** = jour de l'année (JA) où la concentration en Chl *a* atteint 20% de l'amplitude de la floraison (c.à.d., valeur ajustée maximum);
- **Durée de la floraison** = nombre de jours séparant le début et la fin de la floraison (c.à.d., JA où la concentration en Chl *a* décroît à 20% de l'amplitude);
- **Ampleur de la floraison** = aire sous la courbe Gaussienne.

L'ampleur est un indice de la production printanière de phytoplancton. Seuls les jours compris dans la période allant des basses valeurs hivernales de Chl *a* jusqu'aux concentrations minimums précédant la floraison automnale et dont la couverture satellitaire était $\geq 20\%$ ont été utilisés pour la modélisation de la phénologie de la floraison printanière.

2.2. ÉCHANTILLONNAGE

Des relevés océanographiques saisonniers ont été effectués le long de sections transversales du plateau dans la région T-N-L en 2019 (trois relevés: printemps, été, automne) et 2020 (deux relevés: été, automne) en plus des occupations de Station 27 par le PMZA ou par des navires occasionnels durant les relevés multi-espèces (Tableau 1, Fig. 1B). Au total 190 et 159 stations hydrographiques ont été échantillonnées en 2019 et 2020, respectivement. L'échantillonnage comprenait des profils verticaux de la colonne d'eau à l'aide d'une rosette-CTD (instrument de mesure de la conductivité, de la température et de la profondeur) (SBE-9plus, Sea-Bird Electronics) équipée de capteurs d'oxygène dissout, de fluorescence, de rayonnement photosynthétiquement actif (RPA), de pH, de matière organique dissoute colorée (CDOM), et d'un transmissiomètre. Des échantillons d'eau ont été collectés à l'aide de bouteilles Niskin à la plupart des stations à des profondeurs standards de 5, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 250, 500 et 1000 m ainsi que près du fond en fonction de la bathymétrie des stations. La concentration en nutriments (nitrates, silicates et phosphates) a été mesurée pour chacun des échantillons collectés tandis que la concentration en Chl *a* a été mesurée jusqu'à une profondeur maximum de 100 m le long des sections océanographique PMZA, et pour l'ensemble de la colonne d'eau (175 m) à Station 27. L'alcalinité totale (AT) et le carbone inorganique dissout (CID) ont également été mesurés pour un sous-ensemble de stations et de profondeurs afin de monitorer l'état d'acidification des océans. Des échantillons de zooplancton ont été collectés à l'aide d'un filet conique à ouverture circulaire (75 cm de diamètre, maille de 200 µm) remorqué verticalement à une vitesse d'environ 1 m s⁻¹ à partir de près du fond (profondeur maximale de 1000 m) jusqu'à la surface. Les échantillons ont été préservés dans une solution tamponnée de formaldéhyde 2% et analysés afin de déterminer la biomasse totale ainsi que l'abondance du zooplancton. Les individus ont été identifiés à un niveau taxonomique adapté aux objectifs du programme en mettant l'emphase sur les copépodes en ce qui a trait à la résolution taxonomique (espèce ou genre) et le stade de développement (stade copépodites CI-CVI).

2.3. INTÉGRATION VERTICALE DES VARIABLES

Les inventaires intégrés de Chl *a* (0–100 m) et de nutriments en surface (0–50 m) et en profondeur (50–150 m) ont été calculés en utilisant la méthode d'intégration numérique des trapèzes. Les valeurs de surface (0 m) correspondent aux mesures effectuées le plus près de la surface. Lorsque la profondeur maximale pour une station donnée est moindre que la limite inférieure d'intégration, cette limite correspond à la profondeur du fond. Lorsque les valeurs inférieures d'intégration ne sont pas disponibles, cette limite inférieure correspond à

1. la valeur interpolée dans les cas où l'échantillonnage a lieu à une profondeur supérieure à la limite d'intégration, ou
2. la valeur à la profondeur la plus près de la limite inférieure d'intégration lorsque la profondeur de la station est inférieure à cette limite.

2.4. TABLEAUX SYNOPTIQUES DES ANOMALIES ANNUELLES

Les tendances spatiales et temporelles des principaux indices biogéochimiques sont synthétisées à l'aide de tableaux synoptiques d'anomalies standardisées. Dans un premier temps, les séries chronologiques des inventaires intégrés de nutriments, de Chl *a* et de zooplancton ont été modélisées à l'aide d'un modèle linéaire de la forme:

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

pour les sections océanographiques où *la Densité* est exprimée en mmol m⁻³ (nutriments), mg m⁻³ (Chl *a*), g m⁻² (biomasse de zooplancton) ou d'individus·m⁻² (abondance de zooplancton),

α est l'intercepte, ε est l'erreur, et β , δ et γ représentent l'effet des facteurs année, station et saison, respectivement.

Pour les séries chronologiques à Station 27, le modèle était de la forme:

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

où β et δ représentent l'effet des facteurs année et mois, respectivement. Dans les deux cas, une transformation logarithmique (\ln) a été appliquée aux données afin de normaliser la distribution asymétrique des observations. Dans le cas du zooplancton, les valeurs de densité sont augmentées de un (1) avant la transformation ($\ln [Densité + 1]$) afin d'inclure les observations où la densité est égale à zéro. 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. Pour chacun des indices, les anomalies annuelles représentent l'écart entre la moyenne annuelle pour une année donnée et la moyenne pour la période de référence, soit 2003–20 pour les données satellitaires de la couleur de l'océan et 1999–2020 pour les inventaires de nutriments, de Chl *a* et de zooplancton. Les anomalies sont exprimées en quantités normalisées, c'est-à-dire en divisant chacune des anomalies par l'écart-type des moyennes climatologiques.

2.5. OXYGÈNE DISSOUT, PH ET CHIMIE DES CARBONATES

Les résultats des analyses d'oxygène dissout (OD) effectuées selon la méthode Winkler (Winkler 1888) pour un sous-groupe de stations ont été utilisées pour calibrer la sonde d'OD montée sur la rosette. La saturation en oxygène (O_2 sat) en pourcentage (%) correspond au ratio entre la concentration en OD mesurée et la solubilité en surface calculée à l'aide de la *toolbox* TEOS-10 (McDougall et Barker 2011) et des observations de température et de salinité correspondantes.

Le pH (échelle totale) et l'état de saturation en aragonite (Ω_a) ont été calculés à l'aide de la version Python (Humphreys *et al.* 2022) du programme PyCO2SYS (Lewis *et al.* 1998). Les constantes de dissociation (K_1 , K_2) de Mehrbach *et al.* (1973) ajustées par Dickson et Millero (1987), la constante totale de bore d'Uppstrom (1974) et la constante de $KHSO_4$ de Dickson (1990) ont été utilisées tel que recommandé pour une procédure optimale (Dickson *et al.* 2007; Chen *et al.* 2015; Orr *et al.* 2015).

3. OBSERVATIONS

3.1. COULEUR DE L'OCÉAN PAR SATELLITE

Les observations satellitaires de la couleur de l'océan fournissent une perspective à grande échelle de l'état de la biomasse du phytoplancton dans les eaux de surface de l'Atlantique nord-ouest. Elles sont utilisées dans le présent rapport pour compléter les observations effectuées à bord des navires de recherche et fournir un contexte pour l'interprétation des données recueillies durant les relevés du PMZA. Cependant, les observations satellitaires ne renseignent pas sur la distribution verticale des producteurs primaires à travers la colonne d'eau. Les informations sur les conditions plus en profondeur sont obtenues à partir de l'échantillonnage *in situ* à Station 27 et le long des sections océanographiques durant les relevés saisonniers du PMZA.

3.1.1. Concentration de chlorophylle *a* en surface

La concentration en Chl *a* dans les eaux de surface de la région de T-N-L est maximum au printemps, minimum en été et intermédiaire à l'automne. Durant les relevés du PMZA du printemps, les températures de surface de la mer (TSM) sont normalement $\leq 0^\circ\text{C}$ sur les plateaux de T-N-L

et varie entre $\sim 2\text{--}4^\circ\text{C}$ sur la majorité du Grand Banc et dans le sud de Terre-Neuve où la floraison printanière de phytoplancton est déjà bien développée (Fig. 3). La couverture de glace de mer le long des côtes du Labrador et du nord de Terre-Neuve au printemps limite la disponibilité des données satellites pour cette région. Pendant les relevés d'été, la TSM sur le Grand Banc et dans le sud de Terre-Neuve est généralement $>10^\circ\text{C}$ et la floraison printanière est en grande partie terminée. Une biomasse notable de phytoplancton est cependant présente au début du mois de juillet dans les eaux côtières du nord de Terre-Neuve et du Labrador ainsi que dans la mer du Labrador où la TSM varie entre 6 et 8°C (Fig. 3). Durant les relevés d'automne, la TSM se situe normalement en-dessous de 0°C sur le plateau du Labrador et varie entre $\sim 2\text{--}4^\circ\text{C}$ sur le plateau terre-neuvien et entre $\sim 6\text{--}8^\circ\text{C}$ sur le Grand Banc et dans le sud de Terre-Neuve. La concentration de Chl *a* en surface est généralement au-dessus des valeurs estivales sur le Grand Banc et est maximum dans les eaux côtières et dans le sud (Fig. 3). Les estimés satellitaires de Chl *a* au nord du 50°N ne sont pas disponibles en automne en raison du nombre limité d'heures d'ensoleillement à un angle d'incidence approprié.

En 2019, la concentration en Chl *a* au printemps était au-dessus de la normale dans le sud de Terre-Neuve, le sud du Grand Banc ainsi que dans les eaux du talus entre le nord du Labrador et la pointe sud du Grand Banc (Fig. 4). En revanche, la concentration de Chl *a* était majoritairement près de, ou en-dessous de la normale sur le centre et le nord du Grand Banc, sur le plateau terre-neuvien ainsi que dans la région du Bonnet Flamand (Fig. 4). La concentration de Chl *a* en été était au-dessus de la normale pour le nord du Grand Banc et dans les eaux du talus plus à l'est tandis que des anomalies négatives étaient présentes sur la majeure partie du plateau du Labrador, au large de la Grande Péninsule du Nord et dans le sud de Terre-Neuve (Fig. 4). Les données étaient plutôt limitées en automne, mais montraient néanmoins des concentrations de Chl *a* au-dessus de la normale dans la région du Bonnet Flamand durant les deux dernières semaines de novembre (Fig. 4).

En 2020, la concentration de Chl *a* en surface au printemps était au-dessus de la normale dans les eaux du talus du plateau terre-neuvien (Fig. 5). Des anomalies positives ont également été observées dans les eaux du talus du Labrador et du grand Banc ainsi que dans le sud de Terre-Neuve et le sud du Grand Banc tandis que les conditions étaient principalement en-dessous, ou près de la normale pour le nord et le centre du Grand Banc (Fig. 5). En été, la concentration en Chl *a* était au-dessus de la normale dans le nord du Grand Banc et dans le nord-est de Terre-Neuve (Bassin de St. Anthony) ainsi que dans les eaux du talus plus au nord tandis que des anomalies négatives étaient observées sur la majeure partie des plateaux de Terre-Neuve et du Labrador ainsi que dans la mer du Labrador (Fig. 5). L'importante couverture nuageuse et/ou de brouillard au-dessus du Grand Banc et du Bonnet Flamand durant les deux premières semaines de juillet limitait la disponibilité des données pour ces régions. En automne, les niveaux de Chl *a* étaient au-dessus de la normale sur l'ensemble du nord du Grand Banc et dans le sud de Terre-Neuve, et près de, ou au-dessus de la normale dans le sud du Grand Banc et dans les eaux du talus plus à l'est (Fig. 5).

3.1.2. Phénologie de la floraison printanière

Les concentrations quotidiennes de Chl *a* de surface provenant de l'imagerie satellitaire ont été utilisées pour estimer le timing du début, la durée et l'ampleur de la floraison printanière de phytoplancton pour dix sous-régions couvrant la région de T-N-L du plateau du Labrador jusqu'au sud de Terre-Neuve (Fig. 1C). Les anomalies de timing du bloom indiquent des périodes de floraisons hâtives et tardives pour 2005–06 et 2014–17, respectivement, sans toutefois montrer de tendances spatiales ou temporelles claires entre ces périodes à l'exception des floraisons tardives observées pour le Bonnet Flamand/la Passe Flamande et l'ensemble des Grands Bancs

en 2003 et des floraisons particulièrement hâtives sur le plateau terre-neuvien, le Bonnet Flamand/la Passe Flamande et les Grands Bancs en 2010 (Fig. 6A).

Les floraisons hâtives sont généralement de plus longue durée, et vice versa (Fig. 6A, B). L'ampleur de la floraison n'a montré aucune tendance spatiale ou temporelle claire entre 2003 et 2011 (Fig. 6C). L'ampleur de la floraison est demeurée principalement près de, ou sous la normale de 2012 à 2017 avant d'augmenter à des niveaux au-dessus de la normale au cours des dernières années, particulièrement sur le Grand Banc, dans la Passe Flamande et sur l'ensemble du plateau terre-neuvien où plusieurs niveaux records ont été observés (Fig. 6C).

En 2019 le début de la floraison était de retour à des valeurs près de la normale presque partout à l'exception des floraisons hâtives observées dans le bassin de St. Anthony et sur le Banc de Saint-Pierre, et de la floraison tardive dans les eaux du nord-est de Terre-Neuve (Fig. 6A). Les floraisons étaient plus courtes que la normale dans le nord-est de Terre-Neuve et sur le Bonnet Flamand/la Passe Flamande, et plus longues que la normale sur le Grand Banc, le Banc Saint-Pierre et dans le bassin de St. Anthony où la floraison la plus longue depuis 2003 a été observée pour cette sous-région (Fig. 6B). L'ampleur de la floraison est demeurée au-dessus de la normale sur le nord du Grand Banc, dans la Passe Flamande et sur la majorité du plateau terre-neuvien avec un maximum record pour la sous-région du nord-est de Terre-Neuve (Fig. 6C). L'ampleur de la floraison printanière a atteint un minimum record sur le Banc Hamilton, était sous la normale sur le Bonnet Flamand, et près de la normale ailleurs (Fig. 6C).

En 2020, le début de la floraison printanière était près de la normale pour le Bonnet Flamand et les Grands Bancs à l'exception du Haut-fond du sud-est où la floraison était légèrement tardive (Fig. 6A). La floraison a débuté plus tôt que la normale sur la majeure partie du plateau terre-neuvien et au centre du Labrador, et plus tard que la normale pour le nord du Labrador (Fig. 6A). La durée de la floraison était plus courte que la normale sur l'ensemble de la région à l'exception des floraisons légèrement plus longues que la normale sur le Banc Hamilton et pour les sous-régions du nord-est de Terre-Neuve (Fig. 6B). Des minimums records de durée ont été observés pour les sous-régions du nord du Labrador et du Bassin St. Anthony (Fig. 6B). L'ampleur de la floraison était au-dessus de la normale sur le Haut-fond du sud-est, le Banc Saint-Pierre et le Banc Hamilton incluant un maximum record pour cette dernière sous-région, et en-dessous, ou près de la normale ailleurs (Fig. 6C).

3.2. INVENTAIRES DE NUTRIMENTS ET DE CHLOROPHYLLE A

Les concentrations de nitrate, silicate et phosphate montrent des patrons de variation saisonnières similaires caractérisés par d'important gradient verticaux durant la majeure partie de l'année. Les concentrations en nutriments sont généralement plus faibles dans la partie supérieure de la colonne d'eau où la photosynthèse, alimentée par le rayonnement solaire et les nutriments, se produit à des taux plus élevés qu'à des profondeurs supérieures. Dans l'Atlantique nord-ouest, les concentrations en nutriments dans la partie supérieure de la colonne d'eau sont maximums durant l'hiver lorsque les basses températures de surface et le vent favorisent le mélange vertical (Figs. 7, 8 et 9). Au printemps, l'amorce de la stratification de la colonne d'eau et l'accroissement de la longueur du jour déclenchent le début de la floraison printanière de phytoplancton. L'augmentation du taux d'absorption des nutriments par une biomasse de phytoplancton se développant rapidement dans les eaux de surfaces mène à la formation de nutriclines (c.-à-d. , un important gradient vertical de concentrations de nutriment caractérisé par de faibles niveaux en surface) qui persistent tout au long de l'été. En automne, l'affaiblissement de la stratification de la colonne d'eau permet la reconstitution des stocks de nutriments en surface via le mélange vertical des eaux plus profondes et riches en nutriments avec les eaux de surface (Figs. 7, 8 et 9).

3.2.1. Station 27

La climatologie des nutriments à Station 27 montre que d'importantes baisses de concentrations surviennent normalement en avril dans les premiers 100 m de la colonne d'eau pour les nitrates et des silicates, et dans les premiers 50 m pour les phosphates. Les concentrations de nutriments en surface demeurent ensuite faibles durant tout l'été jusqu'à ce qu'elles commencent à augmenter à nouveau en octobre-novembre (Figs. 7A, 8A et 9A). Les nitrates sont généralement presque entièrement épuisés en juin dans les eaux de surfaces, marquant ainsi généralement la fin de la floraison printanière (Figs. 7A et 10A). De légères augmentations de nitrates et de silicates en surface sont normalement observées en août avant que les concentrations en surface diminuent à nouveau en septembre et octobre durant la floraison automnale (Figs. 7A, 8A, et 10A). Les phosphates sont généralement au plus bas dans les eaux de surface de juin à septembre sans pour autant être complètement épuisés (Fig. 9A). Les inventaires de nutriments dans les eaux profondes sont moins variables. Les concentrations de fond sont généralement minimums en février et en mars lorsque la colonne d'eau est bien mélangée. Les concentrations augmentent ensuite au cours de l'été et de l'automne à mesure que la matière organique produite dans les eaux de surface s'accumule sur le fond où elle est reminéralisée par l'activité microbienne (Figs. 7A, 8A et 9A).

La concentration de Chl *a* à Station 27 augmente normalement rapidement en mars, atteint un maximum en avril, puis décline jusqu'à la fin de la floraison printanière en juin (Fig. 10A). Au printemps, la majeure partie de la production phytoplanctonique a lieu dans les premiers 100 m de la colonne d'eau, ce qui correspond également à la profondeur de la nutricline pour les nitrates et les silicates. L'absorption limitée des nutriments à des profondeurs >100 m durant la floraison printanière suggère que les concentrations élevées de Chl *a* à ces profondeurs à cette époque de l'année sont le résultat du transport vertical du phytoplancton produit dans la partie supérieure de la colonne d'eau (Figs. 7A, 8A et 10A). Une deuxième période de prolifération du phytoplancton a généralement lieu entre les mois d'août et octobre. Cette floraison automnale est cependant moins intense que celle du printemps et se limite à la partie supérieure de la colonne d'eau étant donnée que la stratification verticale demeure considérable à cette époque de l'année (Fig. 10A).

En 2019, la floraison printanière était particulièrement intense à Station 27 avec des concentrations maximums de Chl *a* en surface environ deux fois plus élevées que les moyennes climatologiques (Fig. 10B). Les faibles concentrations de nutriment à travers la colonne d'eau en mai suggèrent un croissance active du phytoplancton à des profondeurs supérieures à la normale (Figs. 7B, 8B et 9B). La floraison automnale était également plus intense qu'à l'habitude mais son timing, sa durée ainsi que son étendue verticale étaient comparable à la climatologie (Fig. 10A). Les nitrates dans les premiers 40 m de la colonne d'eau étaient presque entièrement épuisés de mai à octobre (Fig. 7B). Une importante absorption de silicates a été observée jusqu'à 150 m de profondeur en mai avec de faibles niveaux persistant jusqu'en août dans les premiers 80 m (Fig. 8B). La concentration en surface des phosphates était à son minimum durant la floraison automnale avec des absorptions notables jusqu'à 60 m, soit approximativement deux fois plus profond que la normale (Fig. 9B). Les concentrations de fond étaient plus élevées qu'à l'habitude pour les nitrates et les silicates en été et en automne (Figs. 7AB et 8B) tandis que celles des phosphates étaient au-dessus de la normale en été et sous la normale en automne (Fig. 9B).

En 2020, aucune donnée n'a été collectée à Station 27 avant juillet, empêchant ainsi le suivi de l'évolution de la floraison printanière. La floraison automnale était plus tôt et plus intense qu'à l'habitude avec des concentrations élevées de Chl *a* sous la surface en juillet et septembre (Fig. 10C). Des intrusions éphémères de nitrates et de phosphates dans les eaux de surface en octobre suggèrent un mélange de la couche de surface par le vent en début d'automne

(Figs. 7C et 9C). Les concentrations de nutriments au fond en automne, particulièrement celles de nitrates et de phosphates, étaient au-dessus des moyennes saisonnières (Figs. 7C, 8C et 9C).

3.2.2. Sections océanographiques

Les séries chronologiques d'anomalies annuelles pour les inventaires de nitrates, phosphates et silicates en surface (0–50 m) et en profondeur (50–150 m) le long des sections océanographiques ainsi qu'à Station 27 sont utilisées pour évaluer les tendances spatiales et temporelles à long terme pour la région de T-N-L. La variabilité est généralement plus élevée dans la partie supérieure de la colonne d'eau où la majeure partie de la production phytoplanctonique a lieu. Les inventaires en eaux profondes sont moins affectés par la croissance du phytoplancton et sont donc un meilleur indicateur des stocks de nutriments potentiellement disponibles pour les producteurs primaires. Les inventaires de surface et en eaux profondes montrent néanmoins une cohérence générale dans les patrons de variabilité spatiale et temporelle au cours des deux dernières décennies à l'exception des patrons d'anomalies divergeant durant les premières années du programme (Figs. 11 et 12).

Les inventaires intégrés de nitrates et de silicates en surface étaient principalement au-dessus de la normale durant le début et le milieu des années 2000, et variables mais principalement en-dessous, ou près de la normale après 2007 à l'exception de plusieurs anomalies positives de nitrates entre 2015 et 2017 incluant un maximum record pour Grand Banc sud-est (GBSE) en 2017 (Fig. 11A, B). Les inventaires de phosphates en surface montraient une tendance temporelle à la baisse passant de principalement près de, ou au-dessus de la normale entre 1999 et 2011, à principalement près de, ou en-dessous de la normale au cours des années 2010 avec des anomalies positives en 2015 et 2016 (Fig. 11C).

En 2019 et 2020, les inventaires de nitrates en surface étaient principalement sous la normale à l'exception des anomalies positives observées pour l'Île Seal (IS) en 2019 ainsi qu'à Station 27 en 2020 (Fig. 11A). Les inventaires de silicates étaient en-dessous, ou près de la normale en 2019 et respectivement près de, et au-dessus de la normale sur le plateau terre-neuvien et le Grand Banc en 2020 (Fig. 11B). Les inventaires de phosphates en surface étaient principalement sous la normale en 2019 et 2020 prolongeant ainsi une tendance qui a débuté en 2017 (Fig. 11C).

Les inventaires de nutriments en profondeur montraient également une tendance générale à la baisse pour l'ensemble des séries chronologiques (Fig. 12A–C). Les inventaires de nitrates et de silicates sont passés de principalement au-dessus de la normale à principalement sous la normale autour de 2010 et 2011, respectivement (Fig. 12A, B). Les inventaires de phosphates en profondeur sont passés d'au-dessus de la normale au début des années 2000 où des minimums records ont été enregistrés sur chacune des sections océanographiques et à Station 27, à près de la normale entre le milieu des années 2000 et le début des années 2010, puis à principalement sous la normale par la suite (Fig. 12C). Les moyennes climatologiques plus faibles observées pour la section GBSE découlent principalement de la faible profondeur des stations pour cette section qui, dans la majorité des cas, est considérablement moindre que la limite inférieure d'intégration de 150 m (Fig. 12A–C).

En 2019, les inventaires de nutriments en surface étaient soit en-dessous, ou près de la normale à l'exception des niveaux légèrement au-dessus de la normale pour IS. En 2020, les inventaires de nitrates et de phosphates étaient principalement sous la normale, alors que ceux des silicates étaient au-dessus de la normale sur le Grand Banc et près de la normale sur le plateau terre-neuvien (Fig. 11). Les anomalies de phosphates en surface sont demeurées majoritairement négatives sur pour l'ensemble de la région T-N-L depuis 2017 (Fig. 11C).

Les inventaires de nitrates et de silicates en eaux profondes montraient des patrons de variation spatiale similaires en 2019 avec des niveaux sous la normale à Station 27, près de la normale pour GBSE, et au-dessus de la normale sur le plateau terre-neuvien (Baie Bonavista [BB] et IS) et le nord du Grand Banc (section du Bonnet Flamand) incluant un maximum record pour les nitrates pour IS (Fig. 12A, B). En 2020, les inventaires de nitrates en eaux profondes étaient principalement près de la normale tandis que les silicates étaient principalement au-dessus de la normale. Les inventaires de phosphates en profondeurs étaient près de la normale pour l'ensemble des sections océanographiques en 2019 et 2020, mais respectivement en-dessous et au-dessus de la normale en 2019 et 2020 pour Station 27 (Fig. 12C).

Il y a eu une diminution généralisée des inventaires de Chl *a* entre 1999 et le milieu des années 2010 avec des niveaux passant de principalement au-dessus de la normale de 1999 à 2001, à près de la normale de 2002 à 2020, puis à sous de la normale de 2011 à 2016 (Fig. 13). Les inventaires de Chl *a* sont ensuite remontés à des niveaux majoritairement au-dessus de la normale de 2017 à 2019 à l'exception des faibles niveaux observés pour GBSE en 2017 et pour le Bonnet Flamand en 2019. En 2020, les inventaires de Chl *a* étaient de retour à des niveaux près de la normale à l'exception de l'IS où la concentration de Chl *a* est demeurée au-dessus de la normale pour une 4^e année consécutive (Fig. 13).

Les inventaires de Chl *a* n'étaient pas reliés aux inventaires de nutriments en surface ni à ceux des silicates et des phosphates en eaux profondes mais étaient positivement corrélés ($p < 0.001$) avec les inventaires de nitrates en profondeur décalés d'un an (Fig. 14) supportant ainsi l'utilisation des inventaires de nitrates en eaux profondes comme indicateur du potentiel de production phytoplanctonique à l'échelle régionale. En général, les inventaires de nutriments et de Chl *a* montraient des tendances cohérentes pour le Grand Banc et le plateau terre-neuvien suggérant que les inventaires de nutriments dans les eaux côtières de T-N-L sont régulés par la circulation océanique à grande échelle pour l'ensemble de la région.

3.3. ZOOPLANCTON

3.3.1. Station 27

3.3.1.1. Composition de la communauté

La communauté du mesozooplancton dans l'Atlantique Nord est dominée par les copépodes tant au niveau de l'abondance que de la biomasse. À Station 27, les copépodes comptent normalement pour $\geq 80\%$ de l'abondance totale du zooplancton avec une abondance relative minimum au printemps et maximum en hiver (Fig. 15A). La grande majorité des copépodes à Station 27 peuvent être regroupés en 11 espèces ou genres dont la proportion varie de façon saisonnière (Fig. 15B). Les petits copépodes *Oithona* spp. sont les plus abondants tout au long de l'année, suivis par *Pseudocalanus* spp. (Fig. 15B). Les gros copépodes à haute teneur énergétique *Calanus finmarchicus* sont également bien représentés de juin à novembre tandis que la proportion des petits copépodes *Temora longicornis* augmente significativement de août à décembre (Fig. 15B). *Calanus glacialis* et *Calanus hyperboreus* comptent parmi les plus gros copépodes dans l'Atlantique nord-ouest et leur abondance à Station 27 est généralement maximum de mai à juillet (Fig. 15B). Les autres taxa sont normalement présents toute l'année mais dans des proportions dépassant rarement 5% de l'abondance totale de copépodes (Fig. 15B).

La communauté du zooplancton non-copépoïde à Station 27 est dominée par les appendiculaires (e.g., *Frittilaria* spp., *Oikopleura* spp.), les ptéropodes (e.g., *Limacina helicina*, *Limacina retroversa*), les larves de bivalves et les cladocères (Fig. 15C). La proportion des appendiculaires est maximum de mai à juillet, tandis que celle des ptéropodes demeure élevée de septembre à avril (Fig. 15C). Les larves de bivalves sont présentes toute l'année et comptent jusqu'à

20% de la communauté des non-copépodes d'août à la fin janvier (Fig. 15C). Les cladocères sont présents dans une moindre proportion au printemps et à l'automne, mais deviennent généralement plus abondant pendant les mois d'été (Fig. 15C). Les chaetognathes, les malacostracés (principalement des amphipodes hypérides, des euphausiacées, des crevettes et des mysidacées), et les cnidaires/cténophores sont présents à Station 27 durant la majeure partie de l'année, mais dans des proportions généralement inférieures à 5% de l'abondance totale des non-copépodes (Fig. 15C). La catégorie "autres" contient principalement des larves et des poissons juvéniles ainsi que des stades larvaires d'autres invertébrés comme des polychètes, des échinodermes et des bryozoaires (Fig. 15C).

En 2019, la proportion du zooplancton non-copépo­de était près de deux fois supérieure à la moyenne au printemps, et environ 20% plus faible que la moyenne à l'automne (Fig. 15D). Les principales différences entre 2019 et la climatologie en ce qui a trait à la composition et la saisonnalité de la communauté zooplanctonique étaient la proportion environ 3x plus élevée de *Calanus hyperboreus* au printemps et en été, le retard d'un mois dans l'émergence de *T. longicornis* à l'automne, et la plus grande proportion d'*Oithona* spp. en novembre et décembre (Fig. 15E). La proportion de *C. finmarchicus* était deux fois plus élevée que la moyenne en août 2019, mais environ 50% plus faible que la moyenne de septembre à décembre (Fig. 15E). La communauté des non-copépodes montrait des écarts importants par rapport à la climatologie en 2019. La proportion des appendiculaires était de 15 à 40% supérieure à la moyenne au printemps, tandis que celle des ptéropodes était en baisse d'environ 20%, et jusqu'à 30% supérieure à la moyenne en septembre (Fig. 15F). Les cladocères, qui comptent normalement entre 5 et 20% des non-copépodes en été et à l'automne, étaient presque absent en 2019 (Fig. 15F).

En 2020, l'abondance relative des copépodes et des non-copépodes était similaire à la climatologie de juillet à décembre (Fig. 15G). La proportion des copépodes *Oithona* spp. était de 15 à 25% supérieure à la moyenne de septembre à novembre tandis que celle des *Pseudocalanus* spp. était environ 30% plus faible que la moyenne en octobre, et de 25 à 45% plus élevée que la moyenne de novembre à décembre (Fig. 15H). La proportion de *T. longicornis* à la fin de l'été est demeurée relativement faible avant d'atteindre un maximum d'environ 20% en octobre (Fig. 16H). De même qu'en 2019, la proportion de *C. finmarchicus* était en moyenne environ 50% plus faible que la climatologie à l'automne (Fig. 15H). La communauté des non-copépodes en 2020 s'écartait de la climatologie principalement par une plus forte proportion de ptéropodes à l'automne, et une diminution d'environ 40% des appendiculaires d'octobre à décembre (Fig. 15I).

3.3.1.2. Abondance et biomasse du zooplancton

L'abondance total des copépodes à Station 27 est normalement minimum au printemps, puis augmente tout au long de l'été jusqu'à un maximum en septembre. L'abondance des copépodes demeure généralement relativement stable durant l'automne et commence à diminuer en février (Fig. 16A). L'abondance du zooplancton non-copépo­de augmente généralement au cours du printemps et de l'été avec une légère baisse en juin, atteint un maximum en septembre, puis diminue durant l'automne jusqu'à un minimum durant les mois d'hiver (Fig. 16B).

La biomasse totale de zooplancton à Station 27 commence à augmenter vers la fin de l'hiver, puis atteint un maximum en avril suivi d'un deuxième pic, plus modeste, en juin (Fig. 16C). La biomasse diminue ensuite au cours de l'été jusqu'à un minimum en août avant de se stabiliser à un niveau légèrement supérieur durant l'automne (Fig. 16C). Il est à noter que, malgré le fait que le filet à plancton utilisé cible le mésozooplancton (c.à.d., $\geq 200 \mu\text{m}$), certaines formes coloniales de phytoplancton peuvent être retenues dans le filet. Ceci est particulièrement vrai au printemps alors que les diatomées de grande taille formant des chaînes viennent gonfler les vateurs de biomasse contribuant ainsi au pic observé en avril.

En 2019, l'abondance totale des copépodes était en-dessous, ou près de la normale au printemps, près de la normale en été, et principalement au-dessus de la normale en automne (Fig. 16A). L'abondance du zooplancton non-copéode était près de la normale au printemps, et près de, ou au-dessus de la normale en été et en automne (Fig. 16B). La biomasse totale de zooplancton était sous la normale au printemps, et majoritairement au-dessus de la normale en été et au début de l'automne avant de revenir à des niveaux près de la normale en novembre et décembre (Fig. 16C). La valeur élevée de biomasse en décembre était due aux abondances élevées de copépodes et de non-copépodes (Fig. 16C).

En 2020, l'abondance des copépodes était principalement au-dessus de la normale en été, et près de la normale en automne à l'exception de l'abondance particulièrement élevée observée à la mi-décembre (Fig. 16A). L'abondance totale des non-copépodes était majoritairement près de la normale en été, et au-dessus de la normale en automne avec quelques valeurs particulièrement élevées en novembre et décembre (Fig. 16B). La biomasse de zooplancton était en-dessous, ou près de la normale en été et au début de l'automne, et près de la normale en novembre avec une valeur particulièrement élevée en décembre (Fig. 16C).

3.3.1.3. Espèces dominantes et dynamique des population

Les copépodes calanoïdes de grande taille *C. finmarchicus*, *C. glacialis*, et *C. hyperboreus* affichent des patrons saisonniers de variation similaires avec une augmentation de l'abondance au printemps jusqu'à un maximum en début d'été (Fig. 17A–C). L'abondance de *C. finmarchicus* diminue cependant graduellement au cours de l'été, de l'automne et de l'hiver tandis que celles de *C. glacialis* et *C. hyperboreus* décline rapidement après les maximums de juin et juillet, respectivement (Fig. 17A–C). *C. finmarchicus* est l'espèce la plus abondante avec une abondance maximum moyenne environ 1.5 et 5 fois supérieure à celle de *C. glacialis* et *C. hyperboreus*, respectivement (Fig. 17A–C).

Les patrons saisonniers d'abondance des petits copépodes à Station 27 contrastent avec ceux des grands calanoïdes. L'abondance d'*Oithona* spp. est normalement minimum à la fin du printemps et augmente graduellement au cours de l'été et de l'automne jusqu'à un maximum en décembre et janvier (Fig. 17D). L'abondance des calanoïdes de petite taille *Pseudocalanus* spp. et *Temora longicornis* est généralement minimum au printemps, augmente en été jusqu'à un maximum en septembre, puis diminue graduellement durant l'automne et l'hiver (Fig. 17E, F). Contrairement à *Oithona* et *Pseudocalanus* qui dominent numériquement la communauté de copépodes tout au long de l'année, *T. longicornis* n'est présent qu'en faible abondance de février à juin à Station 27 (Figs. 15B et 17F).

En 2019, l'abondance printanière des trois espèces de grands calanoïdes était principalement en-dessous, ou près de la normale à l'exception de quelques valeurs au-dessus de la normale en avril et en mai (Fig. 17A–C). L'abondance était plus variable en été avec des valeurs en-dessous, et au-dessus de la normale de juin à août, mais était néanmoins majoritairement près de la normale pour *C. hyperboreus* (Fig. 17A–C). Les abondances automnales étaient en-dessous, ou près de la normale pour *C. finmarchicus*, et près de la normale pour *C. glacialis* et *C. hyperboreus* (Fig. 17A–C). Les abondances de petits copépodes *Oithona* spp. et *Pseudocalanus* spp. étaient en-dessous, ou près de la normale au printemps et en été, et principalement au-dessus de la normale à l'automne avec plusieurs valeurs deux à trois fois supérieures aux moyennes climatologiques pour les mois de septembre et novembre (Fig. 17D, E). Comme à l'habitude, l'abondance de *T. longicornis* était faible au printemps mais, de même que pour les autres copépodes de petite tailles, leur abondance était beaucoup plus élevée que la normale en septembre et octobre (Fig. 17F).

En 2020 l'abondance de *C. finmarchicus* était principalement sous la normale d'août à décembre, tandis que celles de *C. glacialis* et de *C. hyperboreus* étaient près de la normale durant

la même période (Fig. 17A–C). Pour ce qui est des copépodes de petite taille, les abondances d'*Oithona* spp. et de *Pseudocalanus* spp. étaient principalement au-dessus de la normale vers la fin de l'été, et près de la normale en automne à l'exception de quelques valeurs élevées de *Pseudocalanus* à la fin novembre et en décembre (Fig. 17D, E). L'abondance de *T. longicornis* était principalement en-dessous, ou près de la normale d'août à décembre malgré quelques valeurs remarquablement élevées en octobre et décembre (Fig. 17F).

Les copépodes sont une importante source de nourriture pour les stades larvaires, juvéniles et adultes de plusieurs espèces de poissons. En raison de leur abondance et de leur haute teneur énergétique, *C. finmarchicus* et *Pseudocalanus* spp. sont fréquemment ciblés par des poissons sélectionnant de façon préférentielle certains stades copépodites (CI-CVI) en fonction de leur taille. La proportion des *C. finmarchicus* adultes (CVI) à Station 27 augmente normalement en janvier et atteint en maximum en avril à près 50%, avant de diminuer rapidement alors que la nouvelle génération se développe (Fig. 18A). Les jeunes stades copépodites CI-CIV comptent pour 75% à 90% de la population entre les mois de mai et août, alors que les subadultes (CV) comptent pour 40% à 50% de septembre à décembre (Fig. 18A).

La structure de la population de *Pseudocalanus* spp. est similaire à celle de *C. finmarchicus* avec une proportion maximum d'adultes (~50%) en avril, et 55 à 75% de jeunes stades CI-CIV de mai à août avec une proportion maximum en août plutôt qu'en juillet comme c'est le cas pour *C. finmarchicus* (Fig. 18B). La population d'automne est également plus uniformément répartie entre les stades CIII (~20%), CIV (~30%), et CV (~25%) de septembre à décembre (Fig. 18B). Malgré des patrons saisonniers marqués dans la structure de la population de ces deux espèces, l'ensemble les stades copépodites sont présents à l'année à Station 27.

En 2019, le patron saisonnier de variation de la structure de la communauté pour *C. finmarchicus* était similaire à la climatologie d'avril à décembre malgré un certain délai dans le cycle de production des jeunes stades copépodites. La proportion des stades CI-CIV en mai était 15% inférieure à la moyenne et les stades CI et CII ont atteint leur maximum en juin, soit environ un mois plus tard qu'à l'habitude (Fig. 18C). Pour *Pseudocalanus* spp., la proportion des stades CI-CII était en moyenne 30% plus élevée que la moyenne de mai à juillet tandis que la structure de la population était similaire à la climatologie durant le reste de l'année (Fig. 18D).

En 2020, la proportion de *C. finmarchicus* ayant atteint le stade subadulte CV en automne (octobre-décembre) était ~30% plus élevée qu'à l'habitude (Fig. 18E). La structure de la population de *Pseudocalanus* spp. ne s'éloignait pas beaucoup des moyennes à long-terme durant la période de juillet à décembre pour laquelle les données étaient disponibles (Fig. 18F).

3.3.2. Sections océanographiques

3.3.2.1. Abondance et biomasse du zooplancton

Les tableaux synoptiques d'anomalies annuelles montrent que l'abondance des copépodes et des non-copépodes était à son plus bas à la fin des années 1990 et au début des années 2000 lorsque plusieurs minimums records ont été observés (Fig. 19A, B). Sur le Grand Banc, l'abondance du zooplancton a augmenté de façon graduelle depuis 1999 avec des anomalies passant de principalement négatives à principalement positive aux alentours de 2010 (Fig. 19A, B). L'abondance du zooplancton était plus variable sur le plateau terre-neuvien où des périodes d'abondances faibles et élevées alternent tout au long de la série chronologique (Fig. 19A, B). L'abondance des copépodes et des non-copépodes est demeurée majoritairement au-dessus de la normale sur l'ensemble de la région de T-N-L depuis le milieu des années 2010 (Fig. 19A, B).

La biomasse totale de zooplancton était minimum au début du programme le long des sections océanographiques, mais principalement au-dessus de la normale à Station 27 durant la même période (Fig. 19C). La biomasse de zooplancton a ensuite augmenté à des niveaux près de, ou au-dessus de la normale de 2002 à 2011, avant de diminuer à des niveaux près de, ou en dessous de la normale de 2012 à 2015 (Fig. 19C). La biomasse de zooplancton est demeurée principalement près de, ou au-dessus de la normale sur l'ensemble de la région depuis 2016 (Fig. 19C).

En 2019, le patron d'abondance des copépodes était identique à celui de l'année précédente avec des abondances près de la normale sur le plateau terre-neuvien (IS et BB) et pour BF, et au-dessus de la normale pour GBSE et Station 27 (Fig. 19A). L'abondance des non-copépodes a diminué comparativement à l'année précédente tout en demeurant majoritairement au-dessus de la normale dans l'ensemble de la région (Fig. 19B). La biomasse de zooplancton a également diminuée comparativement à l'année précédente et se situait à des niveaux près de la normale sauf pour GBSE où la biomasse a atteint son deuxième niveau le plus bas depuis le début du programme (Fig. 19C).

En 2020, l'abondance des copépodes était au-dessus de la normale sur la plus grande partie de la région avec des maximums records pour le plateau terre-neuvien (IS et BB) et à Station 27 où l'abondance est demeurée au-dessus de la normale pour une septième année consécutive (Fig. 19A). Le patron d'abondance des non-copépodes était similaire à celui des copépodes avec des niveaux au-dessus de la normale partout sauf pour BF, et un maximum record pour IS (Fig. 19B). La biomasse de zooplancton était près de la normale sur le Grand Banc (BF et GBSE), mais a augmenté à des niveaux au-dessus de la normale sur le plateau terre-neuvien (IS et BB; Fig. 19C).

3.3.2.2. Espèces dominantes de copépodes

L'abondance des trois espèces de *Calanus* varie de façon similaire dans l'espace et dans le temps depuis 1999. L'abondance était généralement près de, ou au-dessus de la normale pour l'ensemble des années 2000, et était maximum au alentour de 2009–11 pour *C. glacialis* et *C. hyperboreus* (Fig. 20A–C). L'abondance des trois espèces de *Calanus* a diminué à des niveaux principalement près de, ou en-dessous de la normale du début au milieu des années 2000, puis étaient variables, mais principalement près de la normale, durant la deuxième moitié des années 2010 (Fig. 20A–C).

En 2019, l'abondance de *C. finmarchicus* et de *C. glacialis* était variable sur l'ensemble de la région sans toutefois s'écarter de façon importante des valeurs normales, à l'exception des fortes anomalies négatives (Station 27) et positives (BB) de *C. glacialis* (Fig. 20A, B). L'abondance de *C. hyperboreus* était principalement près de, ou sous la normale continuant une tendance qui a débuté en 2016 (Fig. 20C).

En 2020, l'abondance de *C. finmarchicus* était sous la normale sur l'ensemble du Grand Banc, près de la normale sur BB et au-dessus de la normale sur l'IS incluant un maximum record pour l'IS et un minimum record pour BF (Fig. 20A). L'abondance de *C. glacialis* et de *C. hyperboreus* était près de, ou au-dessus de la normale à l'exception de l'anomalie négative observée pour BF (Fig. 20C, D).

L'abondance des copépodes calanoïdes (*Pseudocalanus* spp., *T. longicornis*) et cyclopoïdes (*Oithona* spp.) de petite taille sur le Grand Banc montre une augmentation graduelle tout au long de la série chronologique avec des anomalies passant de majoritairement négatives à majoritairement positives aux alentours de 2009 pour *Oithona* et *Pseudocalanus*, et autour de 2011 pour *T. longicornis* (Fig. 21A–C). Les patrons de variation étaient différents pour le plateau terre-neuvien où des abondances au-dessus de la normale ont été observées entre 2003 et 2010, en

particulier pour *Pseudocalanus* et *Oithona* (Fig. 21A, B). L'abondance des trois espèces de copépodes de petite taille est demeurée principalement au-dessus de la normale dans l'ensemble de la région de T-N-L depuis le milieu des années 2010, à l'exception de l'IS où l'abondance de *T. longicornis* est demeurée sous la normale depuis 2017 (Fig. 21A–C).

En 2019, l'abondance de *Pseudocalanus* spp. était près de la normale sur l'ensemble de la région à l'exception de GBSE où elle était légèrement au-dessus de la normale (Fig. 21A).

L'abondance d'*Oithona* spp. était au-dessus de la normale à Station 27 et pour GBSE, et près de la normale ailleurs, tandis que celle de *T. longicornis* était près de la normale sur le Grand Banc et sous la normale sur le plateau terre-neuvien (Fig. 21B, C).

En 2020, l'abondance de *Pseudocalanus* spp. et d'*Oithona* spp. était au-dessus de la normale sur le plateau terre-neuvien et à Station 27 avec des maximums records sur l'IS pour *Oithona*, et sur BB ainsi qu'à Station 27 pour les deux espèces (Fig. 21A, B). L'abondance de *T. longicornis* était au-dessus de la normale sur BB et à Station 27, près de la normale sur BF et sous la normale pour GBSE et l'IS (Fig. 21C).

3.3.2.3. Zooplancton non-copépode

La communauté de zooplancton non-copépodes dans la région de T-N-L est dominée, au niveau de l'abondance, par les appendiculaires, les ptéropodes et les larves de bivalves. L'abondance des appendiculaires et des ptéropodes est plus variable sur le plateau terre-neuvien que sur le Grand Banc où les anomalies sont passées de majoritairement négatives à majoritairement positives aux alentours de 2010 (Fig. 22A, B). L'abondance des larves de bivalves montre moins de variabilité spatiale. Elle était à son plus haut à la fin des années 1990 et au début des années 2000, puis a décliné sous les moyennes à long-terme dans l'ensemble de la région durant la majeure partie des années 2000 avant de remonter à nouveau à des niveaux près de, ou au-dessus de la normale au début des années 2010 où elle est demeurée depuis (Fig. 22C).

En 2019, l'abondance des appendiculaires et des larves de bivalves était près de, ou au-dessus de la normale sur l'ensemble de la région avec un maximum record pour les bivalves sur l'IS (Fig. 22A, C). L'abondance des ptéropodes était près de la normale sauf sur GBSE où elle est demeurée au-dessus de la normale pour une quatrième année consécutive (Fig. 22B).

En 2020, l'abondance des appendiculaires était au-dessus de la normale sur le plateau terre-neuvien, mais est descendue sous la normale sur le Grand Banc après une période de huit ans durant laquelle les niveaux se sont maintenus majoritairement au-dessus de la normale (Fig. 22A). L'abondance des ptéropodes est passée de près de, à au-dessus de la normale sur le plateau terre-neuvien et à Station 27 avec des maximums records pour l'IS et Station 27, mais est demeurée près de la normale sur BF pour une troisième année consécutive, et au-dessus de la normale sur GBSE pour une cinquième année consécutive (Fig. 22B). L'abondance des larves de bivalves était près de la normale partout à l'exception de BB où elle était légèrement au-dessus de la normale (Fig. 22C).

3.4. OXYGÈNE DISSOUT

La saturation en O₂ varie entre 60% et 100% dans les eaux de fond du plateau terre-neuvien et du Grand Banc avec des niveaux saturation généralement plus élevés en 2019 qu'en 2020, ainsi qu'en été comparativement à l'automne (Fig. 23). En 2019, la saturation en O₂ dissout se situait au-dessus de la moyenne à long-terme pour la période 2014–20 sur le plateau terre-neuvien (section de l'IS), le nord du Grand Banc et le Bonnet Flamand (section du BF) avec des taux de saturation >95% dans l'ensemble de la colonne d'eau pour l'IS, et >80% pour BF (Fig. 25).

Les taux de saturation en O₂ dissout pour 2020 étaient moins éloignés des conditions moyennes des années 2014–20 qu’au cours de l’année précédente. La saturation était principalement au-dessus de la moyenne dans les eaux de surface de l’IS avec quelques poches de niveaux de saturation sous la moyenne près du fond pour les zones moins profondes du plateau (Fig. 24). Sur la section du BF, la saturation en O₂ était particulièrement élevée dans les eaux internes du plateau ainsi qu’autour du BF avec quelques poches de niveau de saturation sous la moyenne à des profondeurs intermédiaires (Fig. 25).

3.5. ACIDIFICATION DES OCÉANS

Plusieurs organismes marins produisent des squelettes et des coquilles principalement composés d’aragonite — une des principale formes de carbonate de calcium (CaCO₃). L’état de saturation de l’aragonite (Ω_a) est une mesure de la facilité avec laquelle l’aragonite peut être dissous dans l’eau de mer. Plus le niveau de saturation est bas, plus il est difficile pour un organisme de construire et d’entretenir ses structures protectrices. Lorsque $\Omega_a > 1$, l’eau de mer est sursaturée en CaCO₃ et les conditions sont favorables pour la formation de squelettes et de coquilles. À $\Omega_a < 1$, l’eau de mer est sous-saturée en CaCO₃ et les conditions sont alors corrosives pour les structures à base d’aragonite.

Au cours de l’été 2019, les conditions au fond étaient sursaturées en aragonite sur le plateau terre-neuvien (BM, IS et BB), mais principalement sous-saturées sur le nord du Grand Banc (Station 27 et portion interne de la section BF, Fig. 26). En automne, les conditions au fond étaient sursaturées sur la majorité du plateau-terre-neuvien, le BF et dans le sud de Terre-Neuve, mais les valeurs d’ Ω_a était près d’un pour la majeure partie du Grand Banc et dans les eaux plus profondes du talus à l’est du BF (Fig. 26).

Sur la section IS, le pH en été variait entre 8.1 et 8.2 dans les eaux de surface et à des profondeurs >200 m dans les eaux du talus, et entre 8.0 et 8.1 sous la couche de surface et jusqu’au fond sur le plateau continental (Fig. 27). La colonne d’eau était sursaturée en CaCO₃ ($\Omega_a > 1$) à l’été malgré la présence de petites zones près du seuil de saturation sur le plateau à des profondeurs intermédiaires (Fig. 28). Pour les deux indicateurs, ceci correspond à des conditions sous la moyenne par rapport à la période 2014–20 pour les profondeurs intermédiaires près des côtes et sur la partie externe du plateau, au-dessus de la moyenne dans les eaux de surface et du fond sur les portions interne et externe du plateau et près de la moyenne à travers la colonne d’eau sur la partie centrale du plateau et sur le talus (Figs. 27 et 28).

Sur la section BF, le pH en été variait principalement entre 8.0 et 8.1 avec des valeurs plus élevées (8.1–8.2) pour la couche sous la surface et des condition plus acides (7.8–8.0) pour les eaux de fond des portions interne et externe du BF (Fig. 29). Les conditions étaient sous-saturées en CaCO₃ près du fond dans les régions plus profondes de la partie interne du plateau avec des valeurs d’ Ω_a variant entre 0.8–1.0 (Fig. 30). Pour les deux indicateurs, ceci correspond à des conditions au-dessus de la moyenne pour les eaux de surface et les profondeurs intermédiaires sur le plateau continental et pour l’ensemble de la colonne d’eau dans la Passe Flammante et au large du BF vers l’est, et à des conditions sous la moyenne près du fond pour la portion interne du plateau et au-dessus du BF (Figs. 29 et 30).

En 2020, les valeurs de pH près du fond étaient généralement plus élevées sur le plateau terre-neuvien (BM, IS et BB) que sur le Grand Banc (Station 27, BF, GBSE) et, malgré que le pH ne variait pas de façon saisonnière sur BB, les conditions sur le nord du Grand Banc (BF) étaient plus acides en été qu’en automne (Fig. 26). Les conditions de fond étaient sous-saturées en CaCO₃ sur plusieurs portions du Grand Banc en été et en automne mais également dans les eaux plus profondes du talus au large du BF et au sud du Grand Banc à l’automne (Fig. 26).

Sur la section de l'IS, le pH en été diminuait avec la profondeur et se situait entre 8.1 et 8.2 dans les eaux de surfaces, entre 8.0 et 8.1 à des profondeurs intermédiaires et près du fond sur le plateau continental, et entre 7.9 et 8.0 dans les eaux plus profondes du talus (Fig. 27). Ces valeurs étaient principalement sous la moyenne à long-terme pour les eaux de surface au-dessus du plateau, les eaux de fond de la partie externe du plateau, et les eaux sous la surface jusqu'à une profondeur de 500 m dans les eaux du talus, et à des conditions au-dessus de la normale à des profondeurs intermédiaires et près du fond pour la partie interne du plateau et les eaux de surface du talus (Fig. 27). Les conditions étaient sursaturées en CaCO_3 à travers la colonne d'eau avec des valeurs d' Ω_a entre 1.2 et 2.4 diminuant plus rapidement avec la profondeur dans les eaux du plateau que dans celles du talus (Fig. 28). Ces valeurs étaient principalement au-dessus de la moyenne pour les eaux de surface et du fond sur le plateau continental et pour l'ensemble de la colonne d'eau pour les portions interne et externe du plateau, et sous la normale à des profondeurs intermédiaires pour la portion centrale du plateau et de sous la surface jusqu'à une profondeur de 500 m sur le talus (Fig. 28).

Sur la section BF, le pH en été variait principalement entre 8.0 et 8.1 dans les eaux de surface et à des profondeurs intermédiaires, et entre 7.9 et 8.0 près du fond sur le plateau et dans les eaux sous la surface autour et au-dessus du Bonnet Flamand (Fig. 29). Des conditions légèrement plus acides (pH 7.8–7.9) étaient présentes dans les régions les moins profondes du plateau (Fig. 29). Les conditions étaient majoritairement sursaturées en CaCO_3 avec des valeurs d' Ω_a variant entre 1.4 et 2.2 dans les eaux de surface, et entre 1.0 et 1.2 à des profondeurs intermédiaires et près du fond à l'exception de quelques poches de sous-saturation dans la portion la moins profonde du plateau (Fig. 30). Pour les deux indicateurs, ceci correspond à des conditions principalement au-dessus de la moyenne pour les eaux de surface et près du fond sur le plateau, et à des conditions sous la moyenne à des profondeurs intermédiaires sur le plateau et dans les eaux sous la surface jusqu'à une profondeur de 500 m dans la Passe Flamande et autour du Bonnet Flamand (Figs. 29 et 30).

4. DISCUSSION

4.1. NUTRIMENTS ET PRODUCTION PRIMAIRE

La production phytoplanctonique a lieu dans la zone euphotique — la couche supérieure et bien éclairée des océans — et est principalement contrôlée par l'irradiance et la disponibilité en nutriments. Dans les eaux côtières de l'Atlantique nord-ouest, la profondeur euphotique est généralement <80 m (Casault *et al.* 2022; Maillet *et al.* 2022). L'azote est le principal agent limitant la croissance du phytoplancton dans l'océan, mais le phosphore peut également devenir limitant, particulièrement à l'automne (Howarth 1988). Les assemblages de phytoplancton sont normalement dominés par les diatomées — phytoplancton de grande taille possédant un exosquelette en silice — au printemps et à l'automne lorsque les concentrations en nitrates sont élevées, et par les flagellés et les dinoflagellés de petite taille en été lorsque les concentrations en nitrates sont faibles (Horwood *et al.* 1982; Dauchez *et al.* 1996; Casault *et al.* 2022). Les profils verticaux de distribution des nutriments et de la chlorophylle *a* à la Station 27 montrent que l'épuisement des nitrates marque généralement la fin de la floraison printanière. Cependant, durant les années où la production est intense comme en 2019, les silicates peuvent également limiter la production printanière de diatomées (Krause *et al.* 2019).

Les inventaires de nutriments sont affectés par les processus de production primaire et sont par conséquent plus variables dans les eaux de surface qu'en eau plus profonde. De plus, le timing et l'intensité des périodes de productivité accrue, comme les floraisons printanière et automnale, varient d'une année à l'autre en fonction de facteurs environnementaux tels que la température, la salinité, la lumière et la glace de mer (Townsend *et al.* 1994; Wu *et al.* 2007). Chacun

des relevés saisonniers du PMZA couvrent une large portion du plateau de T-N-L sur une période d'environ 3 semaines. Par conséquent, la synchronicité entre les dates des relevés et le cycle de production affecte les observations *in situ* et peuvent expliquer partiellement l'absence de lien significatif entre les anomalies de nutriments et de chlorophylle dans les eaux de surface. Les inventaires de nutriments en eaux profondes sont moins affectés par l'activité biologique en surface et sont par conséquent moins variables et plus représentatifs des caractéristiques biogéochimiques des masses d'eau de la région (Joyce *et al.* 2001). La relation significative ($p < 0.001$) observée entre les anomalies des inventaires de nitrates décalés d'un an et de Chl *a* souligne la relation entre les inventaires de nutriments en eaux profondes et la production phytoplanctonique à l'échelle régionale ainsi que le rôle fondamental des nitrates dans le contrôle de la production primaire océanique.

Dans les mers tempérées la floraison printanière de phytoplancton est un événement critique avec des implications importantes pour la productivité générale de l'écosystème. Le timing, la durée, ainsi que l'ampleur de la floraison printanière influencent de manière directe ou indirecte la reproduction, la croissance et le recrutement de plusieurs espèces de zooplancton (Head *et al.* 2000), de poissons (Cushing 1990; Kristiansen *et al.* 2011; Buren *et al.* 2014; Mullaney *et al.* 2016), d'oiseaux de mer (Durant *et al.* 2003; Regular *et al.* 2014) et de mammifères marins (Hlista *et al.* 2009). Les indices phénologiques de la floraison printanière calculés à partir des observations satellitaires montraient une transition vers un début de floraison plus hâtif sur la plus grande partie de la région de T-N-L en 2019 et en 2020 par rapport à la période 2014–18. Les inventaires de silicate supérieurs à la normale (50–150 m) observés sur la majeure partie du plateau terre-neuvien et du Grand Banc en 2019 et 2020 ont peut-être favorisé le développement plus rapide des grandes cellules de diatomées qui dominent les assemblages de phytoplancton au printemps.

La section océanographique de l'IS n'est pas échantillonnée au printemps et, par conséquent, les indices biogéochimiques pour les observations *in situ*, incluant l'indice de biomasse de Chl *a*, sont calculés à partir des données d'été et d'automne seulement. Une biomasse phytoplanctonique printanière modérée n'est pas nécessairement incompatible avec une production estivale et/ou automnale relativement plus élevée. Ceci peut partiellement expliquer le contraste entre l'indice élevé de biomasse de Chl *a* pour l'IS et la faible ampleur de la floraison printanière pour la sous-région correspondante du Banc Hamilton en 2019. En revanche, les BB et BF sont généralement échantillonnées au printemps, à l'été et à l'automne, et les moyennes climatologiques utilisées dans le calcul des anomalies annuelles pour ces sections incluent des données provenant des trois saisons. La biomasse de phytoplancton dans l'eau de mer est maximum durant la floraison printanière (Dauchez *et al.* 1996; Craig *et al.* 2015) et, bien que le modèle linéaire utilisé pour le calcul de la biomasse intégrée de Chl *a* prenne en compte la saison à laquelle les données sont collectées, l'absence de données pour le printemps est susceptible de générer des valeurs moyennes annuelles moindres. Par conséquent, les inventaires près de la normale pour les sections BB en 2019 et 2020, et pour FC en 2020, représentent vraisemblablement, bien qu'il soit difficile de savoir dans quelle mesure, une sous-estimation de la production annuelle réelle de phytoplancton. Il en va de même pour les inventaires de Chl *a* en 2019 (au-dessus de la normale) et en 2020 (près de la normale) pour GBSE où il n'y a pas eu de relevé printanier alors que le calcul des valeurs annuelles et la climatologie est basé sur les données du printemps et de l'automne.

4.2. ABUNDANCE, BIOMASSE ET COMPOSITION DU ZOOPLANCTON

Les indices d'abondance et de biomasse du zooplancton indiquent un changement dans la structure de taille de la communauté vers une plus grande abondance d'individus de petite taille

aux alentours du début des années 2000, ainsi qu'au milieu des années 2010. Ceci était particulièrement apparent sur le Grand Banc où l'augmentation de l'abondance était plus constante, et où les anomalies d'abondance sont passées de principalement négatives à principalement positives vers 2010, alors que la biomasse totale du zooplancton est passée de principalement au-dessus de la normale à principalement sous la normale durant la même période. L'augmentation de l'abondance totale des copépodes sur le Grand Banc était principalement due aux taxa de petites taille *Pseudocalanus* spp. et *Oithona* spp. qui dominent en nombre les assemblages de mésozooplancton tout au long de l'année, mais aussi par *Temora longicornis* qui devient normalement abondant à l'automne (Pepin *et al.* 2011). Contrairement aux taxa de petite taille, l'abondance des copépodes calanoïdes de grande taille *C. finmarchicus*, *C. glacialis*, et *C. hyperboreus* a diminué entre le début et le milieu des années 2010. Les calanoïdes de grande taille sont considérablement moins abondants que les copépodes de petites tailles et une réduction de leur abondance a un impact limité sur la tendance générale à la hausse pour l'abondance totale du zooplancton. Cependant, leur déclin est directement responsable de la diminution de la biomasse totale de zooplancton observée durant cette période puisque les calanoïdes de grande taille, et plus spécifiquement *C. finmarchicus*, comptent généralement pour plus de la moitié de la biomasse totale de zooplancton dans l'Atlantique Nord (Planque et Batten 2000; Head *et al.* 2003).

Les tendances à long-terme d'abondance de copépodes étaient plus variables sur le plateau terre-neuvien, avec des abondances élevées durant les années 2000 liées aux niveaux au-dessus de la normale pour les copépodes de petite taille. En 2019 et 2020, l'abondance de copépodes a atteint des niveaux records sur les sections IS et BB. Il se peut que l'absence du relevé de printemps pour BB en 2020 ait légèrement gonflé les mesures d'abondance pour cette année puisque l'abondance des copépodes est généralement maximum en été et en automne. L'absence du relevé de printemps en 2020 n'a pas eu d'impact sur les indices d'abondance de zooplancton sur l'IS étant que cette section n'est jamais occupée au printemps. La valeur record pour les copépodes sur l'IS en 2020 vient donc supporter les autres observations soulignant la forte abondance des copépodes sur l'ensemble du plateau terre-neuvien.

Les copépodes sont des organismes principalement herbivores, et ils jouent un rôle clé dans la chaîne alimentaire marine en transférant l'énergie produite par les producteurs primaires vers les niveaux trophiques supérieurs. Les copépodes calanoïdes de grande taille emmagasinent de l'énergie sous la forme de lipides en prévision de la diapause — une période de dormance hivernale — ce qui en font une source de nourriture de qualité préférentiellement sélectionnée par les stades juvénile et adulte de plusieurs espèces de poissons (Sameoto *et al.* 1994; O'Driscoll *et al.* 2001). Les copépodes de petite taille à plus faible teneur énergétique sont également des proies importantes pour les stades larvaire et juvénile de poissons en raison de leur plus petite taille, de leur abondance élevée, et de leur vaste répartition. Cependant, bien que les copépodes calanoïdes de petite taille tel que *Pseudocalanus* spp. et *Temora longicornis* soient souvent ciblés par les poissons, les copépodes cyclopoïdes *Oithona* spp. sont quant à eux généralement évités, c'est-à-dire consommés dans une proportion beaucoup moindre que leur abondance dans l'environnement (Pepin et Penney 1997; Heath et Lough 2007). Un changement dans la communauté de zooplancton vers une plus grande abondance de copépodes de petite taille augmente les contraintes visuelles et réduit l'efficacité dans la recherche de nourriture par les prédateurs, même lorsque la biomasse totale de proie demeure la même (Van Deurs *et al.* 2015; Ljungström *et al.* 2020). Par conséquent, la diminution générale de la biomasse de zooplancton et de la taille moyenne des copépodes observée durant les années 2010 peut avoir eu un impact négatif sur le transfert d'énergie vers les niveaux trophiques supérieurs, et ainsi contribuer à la faible productivité de certains stocks commerciaux dans la région au cours de la dernière décennie.

Les appendiculaires et des ptéropodes présentent des patrons à long-terme d'abondance similaires à ceux des copépodes de petite taille, avec des niveaux passant de sous la normale à au-dessus de la normale vers 2010 sur le Grand Banc, et une plus grande variabilité sur le plateau terre-neuvien. L'augmentation de l'abondance des larves de bivalves au début des années 2010 était généralisée à travers la région. Les données collectées par le programme d'enregistrement en continu du plancton (CPR) indiquent également une augmentation de l'abondance relative des dinoflagellés, des coccolithophores et des foraminifères dans les eaux du Grand Banc et du sud de Terre-Neuve à partir de 2010 (Maillet *et al.* 2022). Les coccolithophores sont une importante source de nourriture pour les larves de bivalves (Lindeque *et al.* 2015) et les protistes (e.g., flagellés, dinoflagellés, ciliés) peuvent représenter une partie importante de la diète des copépodes (Calbet et Saiz 2005; Castellani *et al.* 2005). L'année 2010–11 fut anormalement chaude dans la région de T-N-L avec plusieurs valeurs records pour les indices de température de l'eau de mer (Cyr et Galbraith 2021; Cyr *et al.* 2021). Cette brève mais intense augmentation de la température de l'eau peut avoir provoqué des changements à plus long terme dans la communauté phytoplanctonique avec des effets ascendants sur les assemblages de mésozooplancton. Cependant, le peu de données disponibles sur la variabilité à long-terme de la communauté de phytoplancton dans les eaux de T-N-L rend cette hypothèse difficile à confirmer. Davantage de recherche sont nécessaires afin de comprendre les causes des changements observés dans l'environnement planctonique au tournant des années 2010.

En plus des changements à plus long terme dans la structure de taille de la communauté zooplanctonique discutés ci-haut, les patrons saisonniers d'abondance des copépodes pour 2019 et 2020 s'écartaient également des moyennes climatologiques. Des abondances printanières près de, ou sous la normale pour les grands *Calanus* à Station 27 en 2019 (aucune données disponibles pour le printemps 2020) ont entraîné une réduction de la biomasse de zooplancton pour les mois d'avril et mai. Par contre, des abondances de copépodes de petite taille deux à trois fois plus élevées que la normale à la fin de l'été et à l'automne ont eu peu d'impact sur la biomasse. La synchronicité des cycles biogéochimiques et de reproduction des organismes prédateurs est un mécanisme clé affectant les interactions trophiques dans les environnements tempérés et un décalage trophique peut avoir des effets en cascades sur les communautés à l'intérieur de l'écosystème (Edwards et Richardson 2004). Par exemple, le timing de la production saisonnière du plancton peut avoir des conséquences sur la croissance, la reproduction et le recrutement des poissons (Cushing 1990). Davantage de recherches sont nécessaires afin de comprendre comment les récentes tendances de faible biomasse printanière de zooplancton et d'abondances élevées des petits copépodes à l'automne observées depuis le milieu des années 2010 (Maillet *et al.* 2019, 2022) peuvent avoir affecté la productivité de l'écosystème dans la région.

Le timing du cycle de production des copépodes *C. finmarchicus* et *Pseudocalanus* spp. à Station 27 en 2019 ne s'écartait pas fortement des conditions normales. La proportion des stades adultes (CVI) était maximum en avril (bien qu'aucune donnée n'était disponible pour les mois antérieurs) tandis que celle des stades CI-CIV nouvellement produit était maximum entre les mois de juin et août pour les deux espèces. Ceci cadre avec les valeurs près de la normale du début et de la durée de la floraison printanière à Station 27 (Head *et al.* 2000; Broms et Melle 2007). Cependant, la forte intensité du bloom à Station 27 en mai peut avoir favorisé le développement rapide des jeunes stades de *C. finmarchicus* (c.-à-d., la plus forte proportion des stades CIII et CIV en juillet et août) et la plus forte production et/ou survie des stades CI de *Pseudocalanus* spp. en mai (Pierson *et al.* 2005). L'absence de données pour la période de janvier à juillet ne permettait pas de caractériser le cycle de production des jeunes stades copépodites au printemps et au début de l'été 2020. Le patron de distribution des différents stades copépodites pour *Pseudocalanus* spp. était similaire à celui de la climatologie pour la période de juillet à décembre tandis que la floraison automnale relativement intense enregistrée à Station 27 peut

avoir favorisé la survie des subadultes (CV) de *C. finmarchicus* contribuant ainsi à leur proportion élevée observée d'octobre à décembre.

Les changements dans la composition de la communauté de copépodes qui ont eu lieu au début des années 2010 étaient accompagnés par une augmentation notable de l'abondance de certains taxa dominant de zooplancton non-copépoïde comme les appendiculaires, les ptéropodes et les larves de bivalves. Ces changements observés pour l'ensemble de la communauté mésozooplanctonique suggèrent que des changements ont également eu lieu au niveau de la communauté planctonique à plus petite échelle (e.g., pico-, nano-, microplancton), qui représente la principale source de nourriture pour le plancton de plus grande taille. Cependant, la rareté de séries chronologiques exhaustives décrivant la composition de la communauté phytoplanctonique et autres organismes hétérotrophes et mixotrophes de petite taille dans la région de T-N-L limite notre capacité à identifier avec certitudes les causes de ces changements importants.

4.3. OXYGÈNE DISSOUT

La concentration en O₂ dissout varie dans l'espace et de façon saisonnière, particulièrement dans les eaux moins profondes du plateau continental. La solubilité en O₂ dans l'eau de mer diminue avec l'augmentation de la température et de la salinité et, bien que la photosynthèse par les producteurs primaires contribue à augmenter la concentration en O₂ dans les eaux de surface, les processus aérobiques utilisent également l'O₂ pour décomposer de la matière organique produite. Dans certaines régions, l'effet combiné de la température élevée de l'eau et des taux élevés de décomposition de la matière organique peuvent engendrer des conditions hypoxiques, c.-à-d., un niveau de saturation en O₂ inférieur à 20–30%.

La saturation en O₂ dissout dans les eaux du plateau de T-N-L est généralement au-dessus de 80%. Contrairement à d'autres endroits dans la Zone Atlantique, comme les cheneaux profonds du Golfe du Saint-Laurent où l'oxygène dissout peut descendre sous la barre des 20%, un niveau considéré comme néfaste pour plusieurs espèces marines (Blais *et al.* 2021a, 2021b), l'hypoxie ne représente pas un enjeu majeur dans les eaux de T-N-L. Alors que les faibles concentrations en O₂ dans les eaux de fond du Golfe du Saint-Laurent sont associées à des masses d'eaux chaudes et salines remontant le chenal Laurentien (Galbraith *et al.* 2021), les eaux subarctiques, s'écoulant vers le sud le long de la côte de T-N-L et sur les Grands Bancs, sont composées d'un mélange de masses d'eaux froides, moins salines et riches en oxygène en provenance de l'Arctique (détroit de Davis, mer d'Irminger), de la mer du Labrador et du détroit d'Hudson. En outre, la ventilation annuelle résultant du mélange vertical de la colonne d'eau durant les mois d'hiver assure des niveaux élevés de saturation en oxygène dissout tout au long de l'année, particulièrement dans les eaux moins profondes du plateau.

Bien que certains indicateurs (température de surface de la mer, couche intermédiaire froide) suggéraient des conditions légèrement plus froides que la normale pour la section BF (nord du Grand Banc) en 2019, les conditions étaient généralement plus chaudes que la normale sur le plateau terre-neuvien en 2019 et dans l'ensemble de la région en 2020 (Cyr et Galbraith 2021; Cyr *et al.* 2021). Par conséquent, les fortes anomalies positives de saturation en O₂ observées à travers la majeure partie de la colonne d'eau pour IS et BF en 2019 et, dans une moindre mesure, en 2020, n'étaient vraisemblablement pas entièrement liées à la température de l'eau. Des changements dans la contribution relative des différentes sources formant les eaux du plateau de T-N-L et des Grands Bancs peuvent influencer les niveaux de saturation en O₂. Davantage de recherches sont nécessaires afin de mieux comprendre les effets de la circulation océanique sur la variabilité de l'O₂ dissout à l'échelle régionale.

4.4. ACIDIFICATION DES OCÉANS

Les océans ont absorbé environ 30% des émissions anthropogéniques de CO₂ depuis la révolution industrielle, ce qui en font d'importants modérateurs du réchauffement global. À mesure que le CO₂ est dissout, celui-ci réagit avec l'eau de mer et forme de l'acide carbonique qui vient acidifier les océans. L'acidification des océans (AO) peut, à terme, avoir de profonds impacts sur les cycles biogéochimiques et la vie marine en général. Le pH et le taux de saturation en carbonates des océans sont parmi les principaux indicateurs de l'AO. Dans les mers froides tempérées, ces deux indicateurs sont normalement en phase, mais varient de façon saisonnière en fonction de la température et de la quantité de carbone inorganique dissout et de l'alcalinité qui, elle-même, est affectée par les processus biologiques comme la production primaire (Kwiatkowski et Orr 2018).

Les mesures saisonnières des paramètres du carbone océanique (AT et CID) par le PMZA commencent à identifier des changements dans les niveaux de pH et de saturation en l'aragonite dans les eaux du Canada Atlantique. Les observations rapportées ici et dans le rapport précédent par Maillet *et al.* (2019) indiquent une sous-saturation en aragonite pour les eaux près du fond et à des profondeurs intermédiaires sur le Grand Banc en été et à l'automne, ainsi que dans les eaux plus profondes du talus continental au large du plateau terre-neuvien (section BB), du BF et du sud du Grand Banc (section GBSE) en automne. Des études antérieures ont également identifiées différents degrés de sous-saturation en aragonite dans les eaux du plateau néo-écossais (Shadwick et Thomas 2014) et de l'estuaire du Saint-Laurent (Mucci *et al.* 2011).

Les conditions plus acides observées sur le nord du Grand Banc correspondent généralement aux régions moins profondes du plateau continental où la CIF interagit fortement avec le fond (Cyr *et al.* 2021). Les eaux plus froides sont normalement associées à des valeurs de pH plus faibles ce qui peut en parti expliquer la plus grande vulnérabilité du nord du Grand Banc à l'acidification des océans. La plus grande profondeur et la température légèrement sous la normale de la CIF sur le nord du Grand Banc durant l'été 2019 (Cyr *et al.* 2021) peut également expliquer les conditions plus acides observées en été comparativement à l'automne pour cette année.

Avec l'augmentation prévue des émissions de CO₂ anthropogénique, les changements dans l'environnement physique marin comme le réchauffement des océans et l'augmentation de la stratification, en plus de la variabilité saisonnière dans la productivité biologique, vont continuer à influencer l'acidité des océans et le niveau de saturation des carbonates dans le future. Les abondances élevées d'espèces planctoniques sensibles à l'acidification comme les coccolithophores, les foraminifères, les ptéropodes et les larves de bivalves depuis le début des années 2010s (Maillet *et al.* 2022; présent rapport) ne suggèrent pas une menace imminente de l'acidification des océans pour la communauté planctonique dans la région de T-N-L. Cependant, des recherches ont démontré que des effets négatifs non-léthaux sur les processus de calcification peuvent subvenir à des niveaux au-dessus du seuil de saturation de $\Omega_a=1$ (Loucaides *et al.* 2012; Ries 2012). Les effets à long-terme de ces changements pour un certain nombre d'organismes ainsi que leurs impact sur la communauté planctonique et le transfert d'énergie le long de la chaîne alimentaire restent à définir. Entre-temps, le PMZA continue son suivi de la chimie des carbonates et des espèces sensibles à l'acidification.

SOMMAIRE

- Le timing du début de la floraison printanière de phytoplancton en 2019 et 2020 était près de, ou plus tôt que la normale pour l'ensemble de la région après 4–5 années de floraison majoritairement tardives.

-
- Il y a eu une augmentation générale des inventaires de nutriments en eaux profondes en 2019 et 2020 comparativement aux deux années précédentes avec des valeurs près de, ou au-dessus de la normale pour les nitrates et les silicates, et des valeurs près de la normale pour les phosphates.
 - Les inventaires de chlorophylle *a* sont demeurés majoritairement au-dessus de la normale sur l'ensemble de la région de T-N-L en 2019 pour une troisième année consécutive. Les niveaux près de la normale pour 2020 peuvent être partiellement expliqués par l'absence du relevé du printemps pour cette année.
 - L'abondance des copépodes et du zooplancton non-copépoïde est demeurée relativement élevée en 2019 et 2020, prolongeant la tendance d'abondance au-dessus de la normale qui a débuté au début/milieu des années 2010.
 - Les abondances records de copépodes pour les sections de l'Île Seal et de la Baie de Bonnavista ainsi qu'à la Station 27 en 2020 étaient principalement liées à aux abondances élevées des copépodes de petite taille *Pseudocalanus* spp. et *Oithona* spp.
 - L'abondance des copépodes calanoïdes de grande taille *Calanus finmarchicus* était variable pour les deux années avec un minimum record pour la section Bonnet Flamand en 2020, et un maximum record pour la section Île Seal pour la même année.
 - Des abondance records ont été observées pour les de larves de bivalves sur la section IS en 2019, et pour les ptéropodes sur la section IS et à la Station 27 en 2020.
 - La biomasse totale de zooplancton était majoritairement près de la normale pour l'ensemble de la région de T-N-L pour les deux années, à l'exception du deuxième niveau le plus faible de la série chronologique pour la section du Grand Banc sud-est en 2019, et des anomalies positives observées sur le plateau terre-neuvien en 2020.
 - Les taux de saturation en oxygène dissout était principalement supérieurs à 80% pour l'ensemble de la région de T-N-L, et bien au-dessus de la normale dans l'ensemble de la colonne d'eau le long des sections Île Seal et Bonnet Flamand en 2019.
 - Des zones de sous-saturations en aragonite ($\Omega_a < 1$) ont été observées dans les eaux de fond sur le Grand Banc en été pour 2019, ainsi qu'en été et en automne pour 2020.

REMERCIEMENTS

Nous remercions les nombreux scientifiques et techniciens du Centre des pêches de l'Atlantique nord-ouest pour la collecte et l'analyse des échantillons et le traitement des données présentées dans ce rapport ainsi que l'équipe du Centre de télédétection opérationnelle de l'Institut océanographique de Bedford pour l'accès aux produits de données satellitaires de la température de surface de la mer et de la couleur de l'océan. Ce travail n'aurait pas été possible sans la contribution et l'expertise des techniciens de l'Institut Maurice-Lamontagne pour l'identification taxonomique du zooplancton. Nous remercions également les capitaines et les équipages des navires de la Garde côtière canadienne *Teleost*, *Hudson*, *Alfred Needler*, *Vladykov*, *Amundsen* et *Earl Grey* ainsi que l'équipage du navire de recherche britannique *RRS James Cook* pour la collecte de données océanographiques en 2019 et 2020. Nous remercions Marjolaine Blais, Benoit Casault et Catherine Johnson pour la révision interne du document.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Blais, M., Galbraith, P.S., Plourde, S., Devred, E., Clay, S., Lehoux, C. et Devine, L. 2021. [Les conditions océanographiques chimiques et biologiques dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent en 2020](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2021/060. iv + 70 p.
- Blais, M., Galbraith, P.S., Plourde, S., Devine, L. et Lehoux, C. 2021. [Les conditions océanographiques chimiques et biologiques dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent en 2019](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2021/002. iv + 68 p.
- Broms, C., and Melle, W. 2007. [Seasonal development of *Calanus finmarchicus* in relation to phytoplankton bloom dynamics in the Norwegian Sea](#). Deep. Res. Part II: Top. Stud. Oceanogr. 54(23–26): 2760–2775.
- Buren, A.D., Koen-Alonso, M., Pepin, P., Mowbray, F., Nakashima, B., Stenson, G., Ollerhead, N., and Montevicchi, W.A. 2014. [Bottom-Up Regulation of Capelin, a Keystone Forage Species](#). PLoS One 9(2): 1–11.
- Calbet, A., and Saiz, E. 2005. The ciliate-copepod link in marine ecosystems. Aquat. Microb. Ecol. 38(2): 157–167.
- Casault, B., Johnson, C., Devred, E., Head, E., Cogswell, A., et Spry, J. 2020. [Conditions océanographiques optiques, chimiques et biologiques sur le plateau néo-écossais et dans l'est du golfe du Maine en 2019](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech. 2020/071. v + 67 p.
- Casault, B., Johnson, C., Devred, E., Head, E., Beazley, L., et Spry, J. 2022. [Conditions océanographiques optiques, chimiques et biologiques sur le plateau néo-écossais et dans l'est du golfe du Maine en 2020](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2022/018. v + 86 p.
- Castellani, C., Irigoien, X., Harris, R.P., and Lampitt, R.S. 2005. [Feeding and egg production of *Oithona similis* in the North Atlantic](#). Mar. Ecol. Prog. Ser. 288: 173–182.
- Chen, B., Cai, W.-J., and Chen, L. 2015. [The marine carbonate system of the Arctic Ocean: Assessment of internal consistency and sampling considerations, summer 2010](#). Mar. Chem. 176: 174–188.
- Clay, S., Layton, C., and Devred, E. 2021. [BIO-RSG/PhytoFit: First release](#). v1.0.0. Zenodo.
- Clay, S., Peña, A., DeTracey, B., and Devred, E. 2019. [Evaluation of Satellite-Based Algorithms to Retrieve Chlorophyll-a Concentration in the Canadian Atlantic and Pacific Oceans](#). Remote Sens. 11(22): 1–29.
- Craig, S.E., Thomas, H., Jones, C.T., Li, W.K.W., Greenan, B.J.W., Shadwick, E.H., and Burt, W.J. 2015. [The effect of seasonality in phytoplankton community composition on CO₂ uptake on the Scotian Shelf](#). J. Mar. Syst. 147: 52–60.
- Cushing, D.H. 1990. [Plankton Production and Year-class Strength in Fish Populations: an Update of the Match/Mismatch Hypothesis](#). Advances Mar. Biol. 26: 249–293.
- Cyr, F., Bourgault, D., and Galbraith, P.S. 2011. [Interior versus boundary mixing of a cold intermediate layer](#). J. Geophys. Res. Oceans. 116(C12): 12 p.
- Cyr, F., and Galbraith, P.S. 2021. [A climate index for the Newfoundland and Labrador shelf](#). Earth Syst. Sci. Data. 13(5): 1807–1828.

-
- Cyr, F., Snook, S., Bishop, Galbraith, P.S., Pye, B., Chen, N., et Han, G. 2021. [Conditions océanographiques physiques sur le plateau continental de Terre-Neuve-et-Labrador en 2019](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2021/017. iv + 54 p.
- Dauchez, S., Legendre, L., Fortier, L., and Levasseur, M. 1996. [Nitrate uptake by size-fractionated phytoplankton on the Scotian Shelf \(Northwest Atlantic\): spatial and temporal variability](#). J. Plankton Res. 18(4): 577–595.
- Dickson, A.G. 1990. [Standard potential of the reaction: \$\text{AgCl\(s\)} + 1.2\text{H}_2\(\text{g}\) = \text{Ag\(s\)} + \text{HCl\(aq\)}\$, and the standard acidity constant of the ion \$\text{HSO}_4^-\$ in synthetic sea water from 273.15 to 318.15 K](#). J. Chem. Thermodynamics. 22(2): 113–127.
- Dickson, A.G., and Millero, F.J. 1987. [A comparison of the equilibrium constants for the dissociation of carbonic acid in seawater media](#). Deep Sea Res. Part A. Oceanogr. Res. Papers. 34(10): 1733–1743.
- Dickson, A.G., Sabine, C.L., and Christian, J.R. (Eds.). 2007. [Guide to best practices for ocean \$\text{CO}_2\$ measurements](#). PICES Spec. Pub. 3: 191 pp.
- Durant, J.M., Anker-Nilssen, T., and Stenseth, N.C. 2003. [Trophic interactions under climate fluctuations: the Atlantic puffin as an example](#). Proc. R. Soc. Lond. B. 270(1523): 1461–1466.
- Edwards, M., and Richardson, A.J. 2004. [Impact of climate change on marine pelagic phenology an trophic mismatch](#). Nature. 430: 881–884.
- Florindo-López, C., Bacon, S., Aksenov, Y., Chafik, L., Colbourne, E., and Penny Holliday, N.P. 2020. [Arctic Ocean and Hudson Bay Freshwater Exports: New Estimates from Seven Decades of Hydrographic Surveys on the Labrador Shelf](#). J. Clim. 33(20): 8849–8868.
- Galbraith, P.S., Chassé, J., Shaw, J.-L., Dumas, J., Caverhill, C., Lefavre, D. et Lafleur, C. 2021. [Conditions océanographiques physiques dans le golfe du Saint-Laurent en 2020](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2021/045. iv + 84 p.
- Head, E.J.H., Harris, L.R., and Campbell, R.W. 2000. [Investigations on the ecology of *Calanus* spp. in the Labrador Sea. I. Relationship between the phytoplankton bloom and reproduction and development of *Calanus finmarchicus* in spring](#). Mar. Ecol. Prog. Ser. 193: 53–73.
- Head, E.J.H., Harris, L.R., and Yashayaev, I. 2003. [Distributions of *Calanus* spp. and other mesozooplankton in the Labrador Sea in relation to hydrography in spring and summer \(1995–2000\)](#). Prog. Oceanogr. 59(1): 1–30.
- Heath, M.R., and Lough, R.G. 2007. [A synthesis of large-scale patterns in the planktonic prey of larval and juvenile cod \(*Gadus morhua*\)](#). Fish. Oceanogr. 16(2): 169–185.
- Hlista, B.L., Sosik, H.M., Traykovski, L.V.M., Kenney, R.D., and Moore, M.J. 2009. [Seasonal and interannual correlations between right-whale distribution and calving success and chlorophyll concentrations in the Gulf of Maine, USA](#). Mar. Ecol. Prog. Ser. 394: 289–302.
- Horwood, J.W., Nichols, J.H., and Harrop, R. 1982. Seasonal Changes in Net Phytoplankton of the West-Central North Sea. J. Mar. Biol. Assoc. UK. 62(1): 15–23.
- Howarth, R.W. 1988. [Nutrient Limitation of Net Primary Production in Marine Ecosystems](#). 19: 89–110.
- Humphreys, M.P., Lewis, E.R., Sharp, J.D., and Pierrot, D. 2022. [PyCO2SYS v1.8: marine carbonate system calculations in Python](#). Geosci. Model Devel. 15(1): 15–43.
-

-
- Joyce, T.M., Hernandez-Guerra, A., and Smethie, W.M. 2001. [Zonal circulation in the NW Atlantic and Caribbean from a meridional World Ocean Circulation Experiment hydrographic section at 66°W](#). J. Geophys. Res. Oceans. 106(C10): 22095–22113.
- 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.
- Krause, J.W., Schulz, I.K., Rowe, K.A., Dobbins, W., Winding, M.H.S., Sejr, M.K., Duarte, C.M., and Agustí, S. 2019. [Silicic acid limitation drives bloom termination and potential carbon sequestration in an Arctic bloom](#). Sci. Rep. 9(8149): 1–11.
- Krauss, W., Käse, R.H., and Hinrichsen, H.-H. 1990. [The branching of the Gulf Stream southeast of the Grand Banks](#). J. Geophys. Res. Oceans. 95(C8): 13089–13103.
- Kristiansen, T., Drinkwater, K.F., Lough, R.G., and Sundby, S. 2011. [Recruitment Variability in North Atlantic Cod And Match-Mismatch Dynamics](#). PLoS One 6(3): e17456.
- Kwiatkowski, L., and Orr, J.C. 2018. [Diverging seasonal extremes for ocean acidification during the twenty-first century](#). Nat. Clim. Change. 8(2): 141–145.
- Lewis, E., Wallace, D., and Allison, L.J. 1998. Program developed for CO₂ system calculations. United States.
- Lindeque, P.K., Dimond, A., Harmer, R.A., Parry, H.E., Pemberton, K.L., and Fileman, E.S. 2015. [Feeding selectivity of bivalve larvae on natural plankton assemblages in the Western English Channel](#). Mar. Biol. 162(2): 291–308.
- 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.
- Loucaides, S., Poulton, A.J., Bellerby, R., and Tyrrell, T. 2012. Coccolithophore community composition and calcification rates in the Norwegian and Greenland seas as a function of carbonate chemistry and other environmental parameters. EGU General Assembly 2012, held 22-27 April 2012 in Vienna, Austria. 11407.
- Maillet, G., Bélanger, D., Doyle, G., Robar, A., Fraser, S., Higdon, J., Ramsay, D. et P. Pepin. 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.
- 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.
- McDougall, T.J., and Barker, P.M. 2011. Getting started with TEOS-10 and the Gibbs Seawater (GSW) Oceanographic Toolbox. SCOR/IAPSO WG.127. 1–28.
- Mehrbach, C., Culbertson, C.H., Hawley, J.E., and Pytkowicz, R.M. 1973. [Measurement of the Apparent Dissociation Constants of Carbonic Acid in Seawater At Atmospheric Pressure](#). Limnol. Oceanogr. 18(6): 897–907.
- Mitchell, M.R., G. Harrison, K. Pauley, A. Gagné, G. Maillet, and P. Strain. 2002. [Atlantic Zonal Monitoring Program Sampling Protocol](#). Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 223: iv + 23 pp.
-

-
- MPO. 2020. [Conditions océanographiques dans la zone Atlantique en 2019](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2020/028.
- MPO. 2021. [Conditions océanographiques dans la zone atlantique en 2020](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Avis sci. 2021/026.
- Mucci, A., Starr, M., Gilbert, D., and Sundby, B. 2011. [Acidification of Lower St. Lawrence Estuary Bottom Waters](#). Atmos. – Ocean. 49(3): 206–218.
- Mullowney, D., Maillet, G., Dawe, E., Rose, G., and Rowe, S. 2016. [Spawning delays of northern capelin \(*Mallotus villosus*\) and recovery dynamics: A mismatch with ice-mediated spring bloom?](#) Prog. Oceanogr. 141: 144–152.
- O’Driscoll, R.L., Parsons, M.J.D., and Rose, G.A. 2001. [Feeding of capelin \(*Mallotus villosus*\) in Newfoundland waters](#). Sarsia. 86(3): 165–176.
- Orr, J.C., J.-M., E., and Gattuso, J.-P. 2015. [Comparison of ten packages that compute ocean carbonate chemistry](#). Biogeosciences. 12: 1483–1510.
- Pepin, P., Colbourne, E., and Maillet, G. 2011. [Seasonal patterns in zooplankton community structure on the Newfoundland and Labrador Shelf](#). Prog. Oceanogr. 91(3): 273–285.
- Pepin, P. and Penney, R.W. 1997. [Patterns of prey size and taxonomic composition in larval fish: Are there general size-dependent models?](#) J. Fish Biol. 51: 84–100.
- Petrie, B., Akenhead, B., Lazier, J., and Loder, J. 1988. The cold intermediate layer on the Labrador and Northeast Newfoundland shelves, 1978-1986. NAFO Sci. Coun. Stud. 12: 57–69.
- Pierson, J.J., Leising, A.W., Halsband-Lenk, C., and Ferm, N. 2005. [Vertical distribution and abundance of *Calanus pacificus* and *Pseudocalanus newmani* in relation to chlorophyll a concentrations in Dabob Bay, Washington](#). Prog. Oceanogr. 67: 349–365.
- Planque, B., and Batten, S.D. 2000. [Calanus finmarchicus in the North Atlantic: The year of Calanus in the context of interdecadal change](#). ICES J. Mar. Sci. 57(6): 1528–1535.
- Regular, P.M., Hedd, A., Montevecchi, W.A., Robertson, G.J., Storey, A.E., and Walsh, C.J. 2014. [Why timing is everything: Energetic costs and reproductive consequences of resource mismatch for a chick-rearing seabird](#). Ecosphere. 5(12): 1–13.
- Ries, J.B. 2012. [A sea butterfly flaps its wings](#). Nat. Geosci. 5(12): 845–846.
- Sameoto, D., Neilson, J., and Waldron, D. 1994. [Zooplankton prey selection by juvenile fish in Nova Scotian Shelf basins](#). J. Plankton Res. 16(8): 1003–1019.
- 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., B. Petrie, P. Pepin, J. Gagnon, D. Gregory, J. Helbig, A. Herrnan, D. Lefavre, M. Mitchell, B. Pelchat, J. Runge, and D. Sarneoto. 1998. [Proposal for a northwest Atlantic zonal monitoring program](#). Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 194: vii+57 p.
- Townsend, D.W., Cammen, L.M., Holligan, P.M., Campbell, D.E., and Pettigrew, N.R. 1994. [Causes and consequences of variability in the timing of spring phytoplankton blooms](#). Deep. Res. Part I 41(5–6): 747–765.
- Townsend, D.W., Thomas, A.C., Mayer, L.M., Thomas, M., and Quinlan, J. 2004. Oceanography of the northwest Atlantic continental shelf. Sea Glob. Coast. Ocean Interdiscip. Reg. Stud. Synth. (June): 119–168.
-

-
- Uppstrom, L.R. 1974. [The boron/chlorinity ratio of deep-sea water from the Pacific Ocean](#). Deep. Res. 21: 161–162.
- Van Deurs, M., Jorgensen, C., and Fiksen, O. 2015. [Effects of copepod size on fish growth: a model based on data for North Sea sandeel](#). Mar. Ecol. Prog. Ser. 520: 235–243.
- Wang, Z., Yashayaev, I., and Greenan, B. 2015. [Seasonality of the inshore Labrador current over the Newfoundland shelf](#). Cont. Shelf Res. 100: 1–10.
- Winkler, L. 1888. [Die Bestimmung des im Wasser gelosten Sauerstoffes](#). Berichte der Dtsch. Chem. Gesellschaft 21(2): 2843–2854.
- Wu, Y., Peterson, I.K., Tang, C.C.L., Platt, T., Sathyendranath, S., and Fuentes-Yaco, C. 2007. [The impact of sea ice on the initiation of the spring bloom on the Newfoundland and Labrador Shelves](#). J. Plankton Res. 29(6): 509–514.
- Zhai, L., Platt, T., Tang, C., Sathyendranath, S., and Hernández Walls, R. 2011. [Phytoplankton phenology on the Scotian Shelf](#). ICES J. Mar. Sci. 68(4): 781–791.

ANNEXE I - TABLEAUX

Tableau 1 : Sommaire de l'effort d'échantillonnage des données biogéochimique dans la région de Terre-Neuve et Labrador en 2019 et 2020 lors des relevés saisonniers du Programme de monitoring de la zone atlantique (PMZA) le long des sections océanographiques de l'Île Seal (IS), du Bonnet Flamand (BF), de la Baie de Bonavista (BB) et du Grand Banc sud-est (GBSE) ainsi qu'à la station de monitoring à haute fréquence Station 27 (S27) par des navires auxiliaires occasionnels (SOO).

Année	Relevé	Section	Stations occupées	Échantillons collectés				
				Nutriments	Chl a	Zooplancton	O ₂ dissout	Carbonates
2019	Printemps	FC	31	225	187	24	58	93
	Été	IS	14	109	86	11	32	87
	-	BB	15	136	102	13	39	84
	-	BF	33	225	187	23	59	135
	Automne	BB	14	139	111	14	44	73
	-	BG	24	227	185	24	49	95
	-	GBSE	15	130	111	15	36	50
	SOO	S27	44	202	212	32	-	57
	Total	-	190	1 393	1 181	156	317	674
2020	Été	IS	14	110	84	11	32	55
	-	BB	14	138	100	13	40	71
	-	BF	33	229	186	23	59	91
	Automne	BB	15	149	107	14	40	80
	-	BF	35	230	187	24	59	93
	-	GBSE	21	122	106	15	36	47
		SOO	S27	27	181	173	21	-
	Total	-	159	1 159	943	121	266	485

ANNEXE II - FIGURES

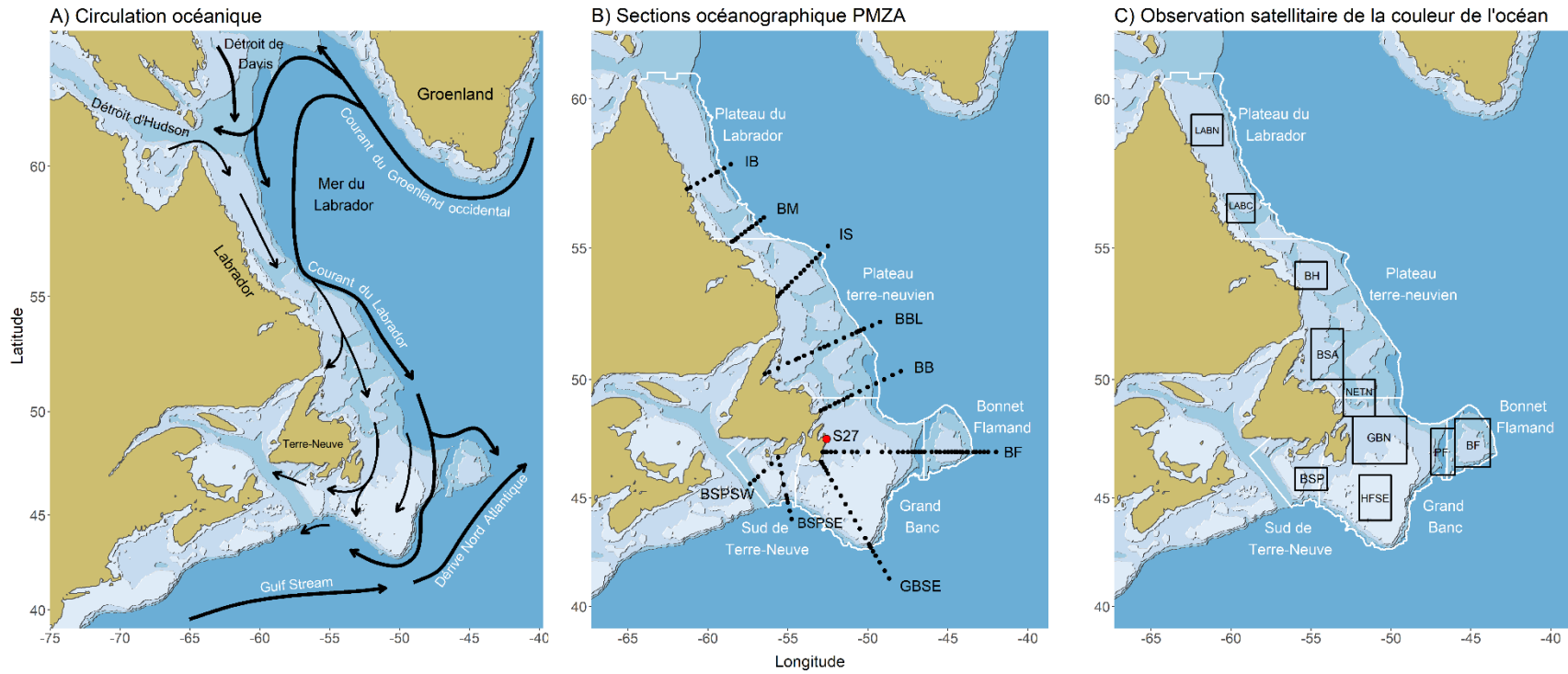


Figure 1 : A) Circulation océanique dans la région de de Terre-Neuve et Labrador. B) Emplacement des sections océanographiques standard du PMZA: IB=Île Beachy, BM=Banc Makkovik, IS=Île Seal, BBL=Baie Blanche, BB=Baie de Bonavista, BF=Bonnet Flamand, GBSE=Granc Banc sud-est, BSPSE=Banc Saint-Pierre sud-est, BSPSW=Banc Saint-Pierre sud-ouest) et la station d'échantillonnage à haute fréquence Station 27 (S27) occupées par le PMZA depuis 1999 dans la région de Terre-Neuve-et-Labrador. Les points noirs indiquent les stations d'échantillonnage le long de chacune des sections. C) Emplacement des sous-régions pour lesquels les indices de floraison printanière du phytoplancton (timing du début, durée et ampleur) ont été calculés à partir de données satellitaires de la couleur de l'océan (LABN=Labrador nord, LABC=Labrador centre, BH=Banc Hamilton, BSA=Bassin de Saint-Anthony, NETN=nord-est de Terre-Neuve, GBN= Grand Banc nord, PF=Passé Flamande, BF=Bonnet Flamand, HFSE=Haut-fond sud-est, BSP=Banc Saint-Pierre). Les unités de production écosystémiques de l'OPANO utilisées pour référer aux différentes sous-régions du plateau continental de Terre-Neuve-et-Labrador sont indiquées en blanc dans les panneaux B et C.

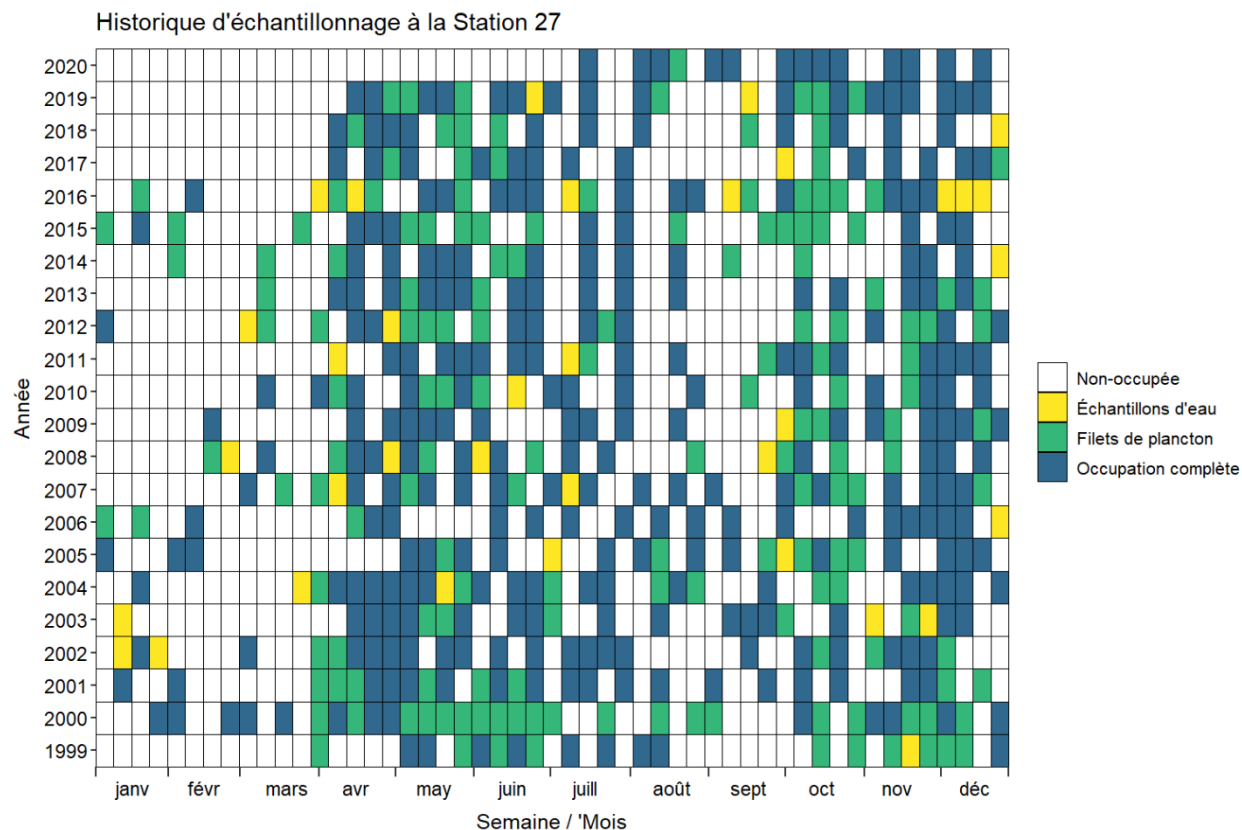


Figure 2 : Sommaire des activités d'échantillonnage hebdomadaire de données biogéochimiques à la station d'échantillonnage à haute fréquence Station 27 (S27) depuis le début du PMZA en 1999. Les cellules colorées indiquent les semaines où au moins une occupation a été effectuée et au cours de laquelle des échantillons d'eau (cellules jaunes), de plancton (cellules vertes) ou d'eau et de plancton (cellules bleues) ont été collectés. Des profils CTD ont été effectués lors de chaque occupation.

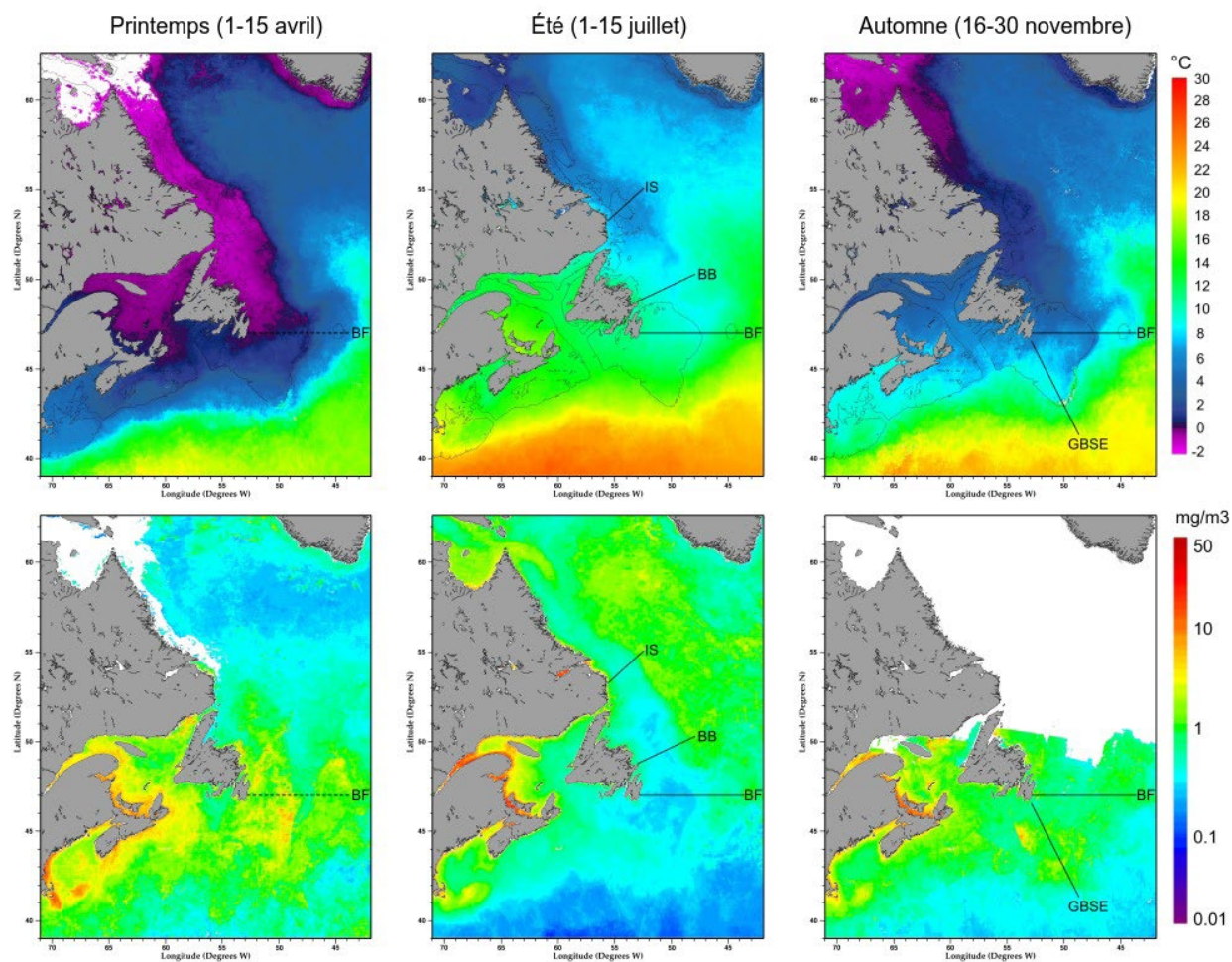


Figure 3 : Moyenne à long-terme (2003–20) de la température de surface de la mer (haut) et de la concentration de chlorophylle-a en surface (bas) durant la période des relevés océanographiques saisonniers du PMZA. Les lignes pointillées indiquent les sections océanographiques occupées en 2019 uniquement. Les lignes noires indiquent les sections occupées en 2019 et en 2020. Les zones en blanc indiquent des endroits où les données satellites n'étaient pas disponibles en raison de la couverture nuageuse ou de glace de mer ou, dans le cas de la chlorophylle à l'automne, du nombre limité d'heures d'ensoleillement à un angle d'incidence approprié.

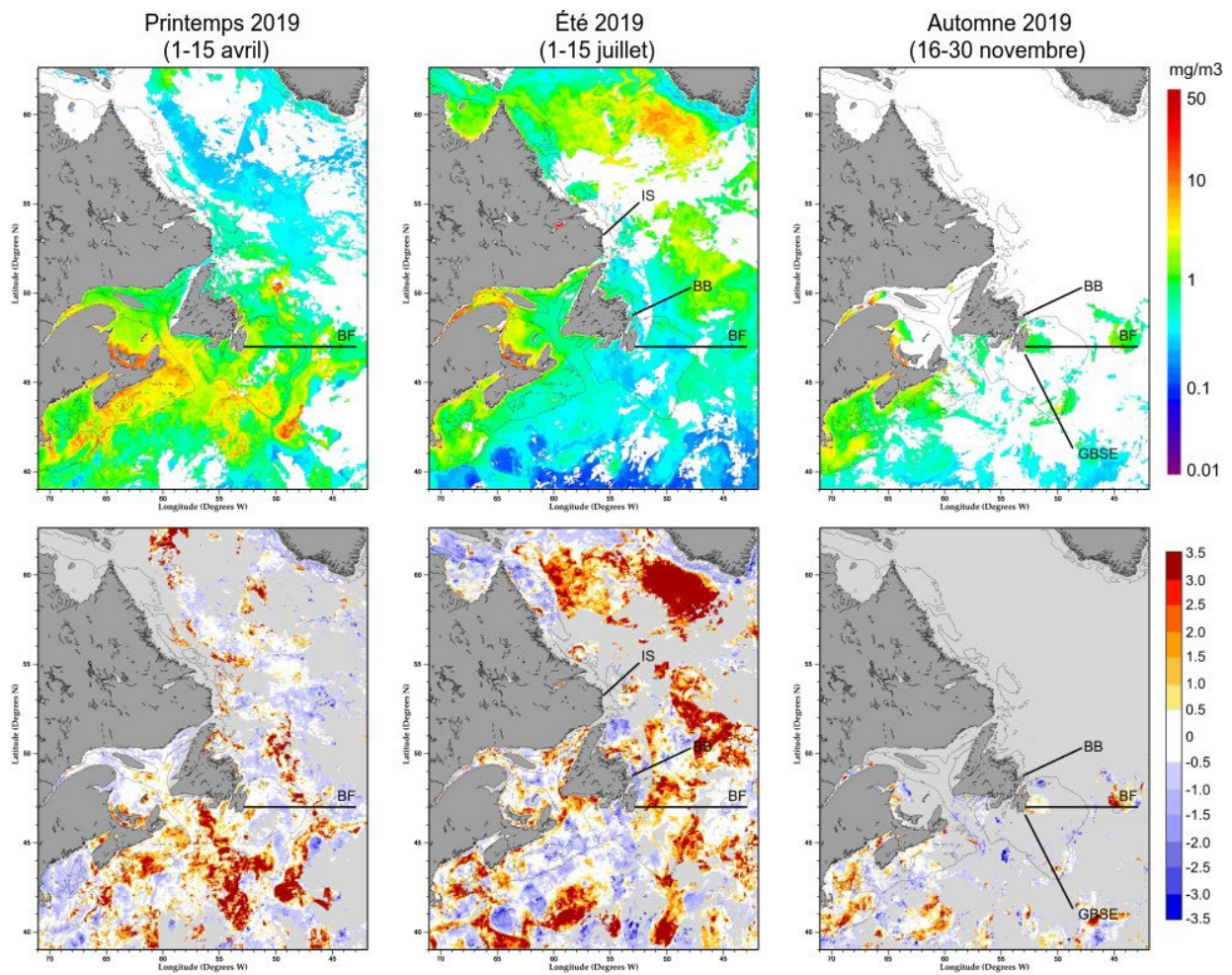


Figure 4 : Concentration Moyenne de chlorophylle-a en surface (haut) et anomalies standardisées (bas) durant les relevés saisonniers du PMZA en 2019. Les lignes noires indiquent les sections océanographiques occupées en 2019. Dans les panneaux du bas, le blanc indique des conditions près de la normale (c.à.d., ± 0.5 écart-type (ÉT) par rapport à la moyenne climatologique) et les tons de bleu (rouge) indiquent des conditions en-dessous (au-dessus) de la normale. Le gris pâle indique les endroits où les données satellites n'étaient pas disponibles en raison de la couverture nuageuse ou de glace de mer, ou du nombre limité d'heures d'ensoleillement à un angle d'incidence approprié. Les anomalies ont été calculées par rapport à une climatologie de 2003–20.

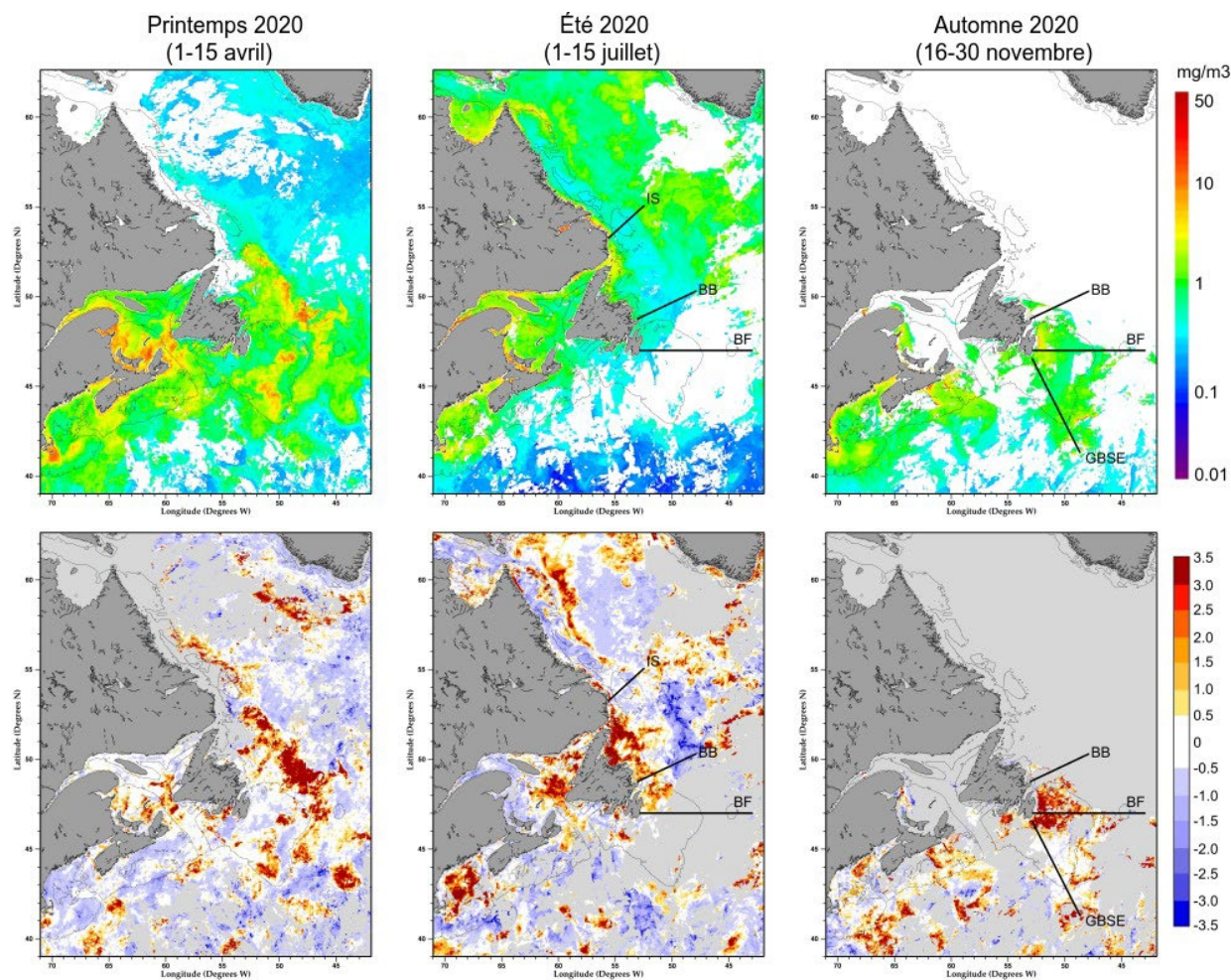


Figure 5 : Concentration moyenne de chlorophylle-a en surface (haut) et anomalies standardisées (bas) durant les relevés saisonniers du PMZA en 2020. Dans les panneaux du bas, le blanc indique des conditions près de la normale (c.à.d., ± 0.5 ÉT par rapport à la moyenne climatologique) et les tons de bleu (rouge) indiquent des conditions en-dessous (au-dessus) de la normale. Le gris pâle indique les endroits où les données satellites n'étaient pas disponibles en raison de la couverture nuageuse ou de glace de mer, ou du nombre limité d'heures d'ensoleillement à un angle d'incidence approprié. Les anomalies ont été calculées par rapport à une climatologie de 2003–20.

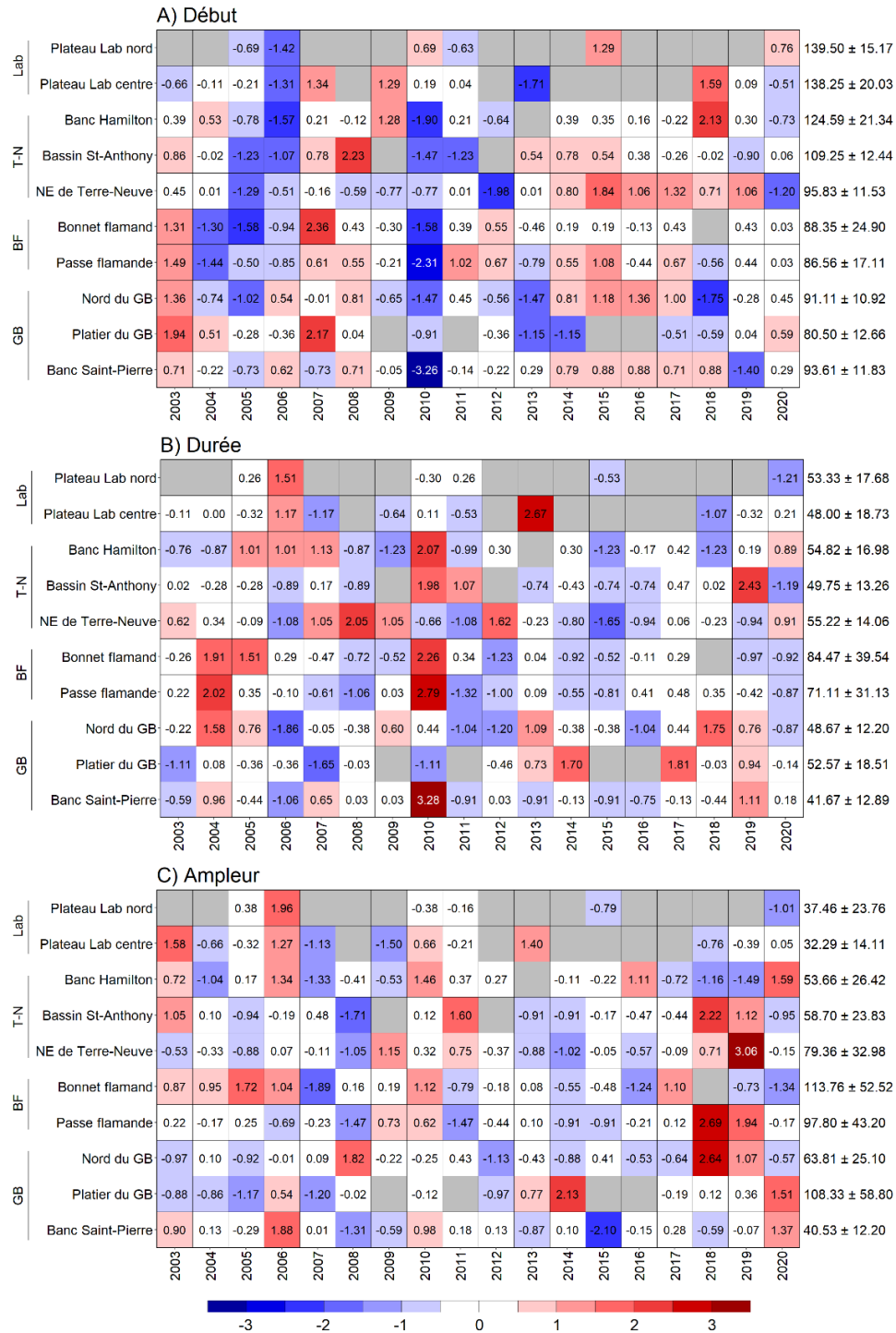


Figure 6 : Tableau synoptique des anomalies annuelles pour les paramètres de la floraison printanière de phytoplancton. Les nombres à l'intérieur des cellules sont les anomalies standardisées en unité d'écart-type (ÉT). Les cellules en blanc indiquent des conditions près de la normale, c.à.d., ± 0.5 ÉT par rapport à la moyenne climatologique. Les cellules en bleu (rouge) indiquent des un début hâtif (tardif), une durée plus courte (longue) ou une ampleur inférieure (supérieure) à la normale. Les cellules en gris indiquent des données manquantes. Les moyennes climatologiques et l'écart-type pour la période de référence 2003–20 sont énumérés à la droite en unités de jour de l'année (début), nombre de jours (durée) et en $mg \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ (ampleur).

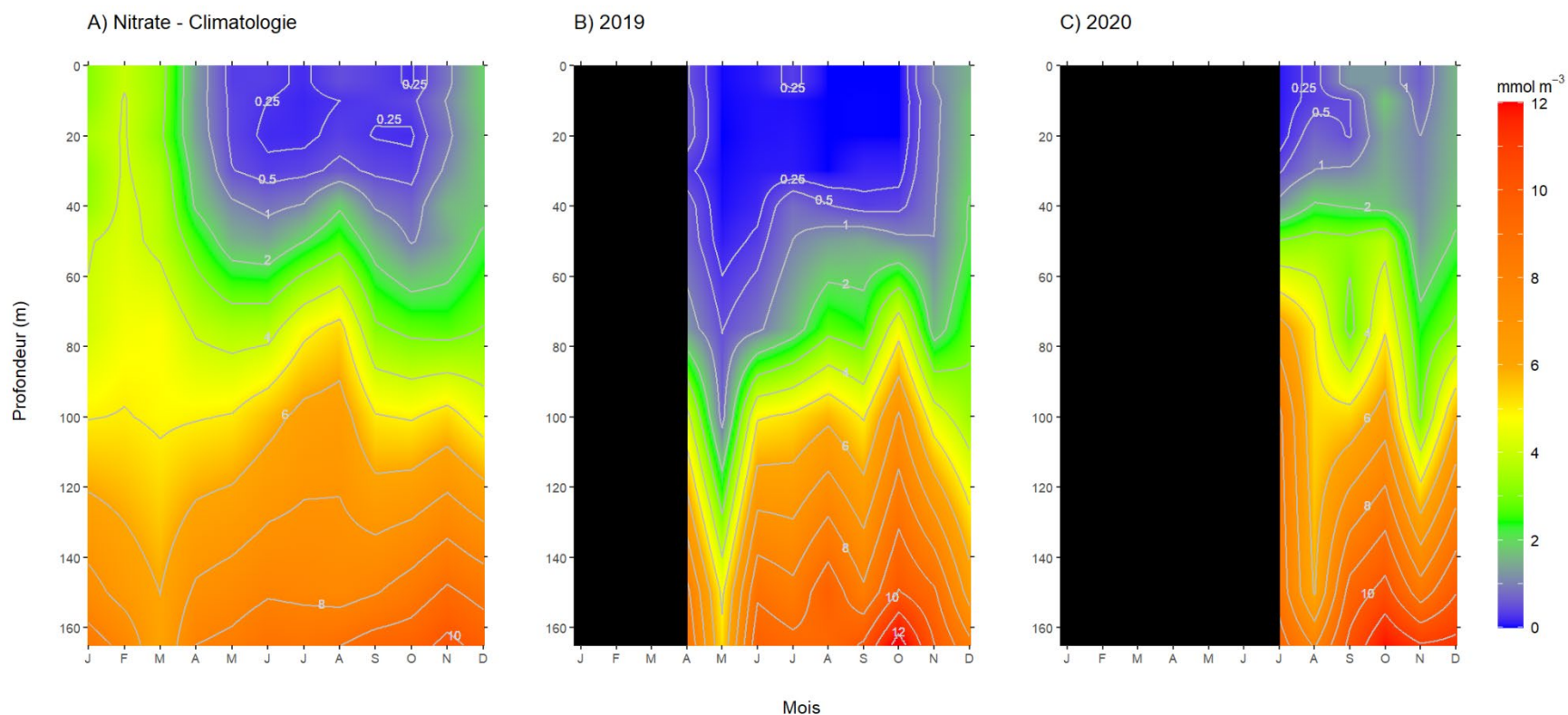


Figure 7 : Variations saisonnières de la distribution verticale des nitrates à la Station 27. Les concentrations mensuelles moyennes ont été calculés pour chacune des profondeurs à laquelle des échantillons d'eau ont été collectés (5, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150 m, fond) puis interpolés horizontalement (temps) et verticalement (profondeur). Les moyennes climatologique ont été calculé en utilisant la période de référence 1999–2020. Les rectangles noirs indiquent les périodes de l'année où aucune donnée n'étaient disponibles.

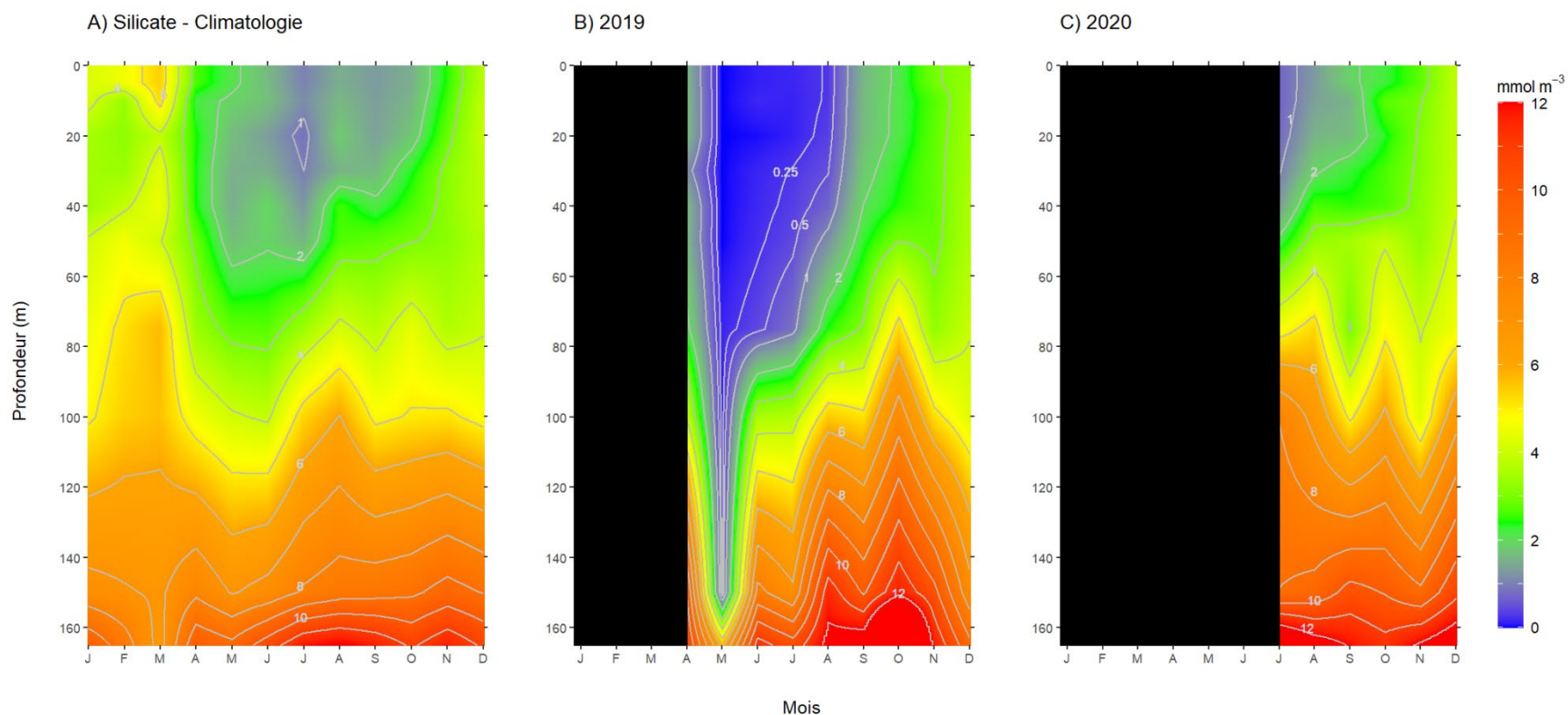


Figure 8 : Variations saisonnières de la distribution verticale des silicates à la Station 27. Les concentrations mensuelles moyennes ont été calculés pour chacune des profondeurs à laquelle des échantillons d'eau ont été collectés (5, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150 m, fond) puis interpolés horizontalement (temps) et verticalement (profondeur). Les moyennes climatologique ont été calculé en utilisant la période de référence 1999–2020. Les rectangles noirs indiquent les périodes de l'année où aucune donnée n'étaient disponibles.

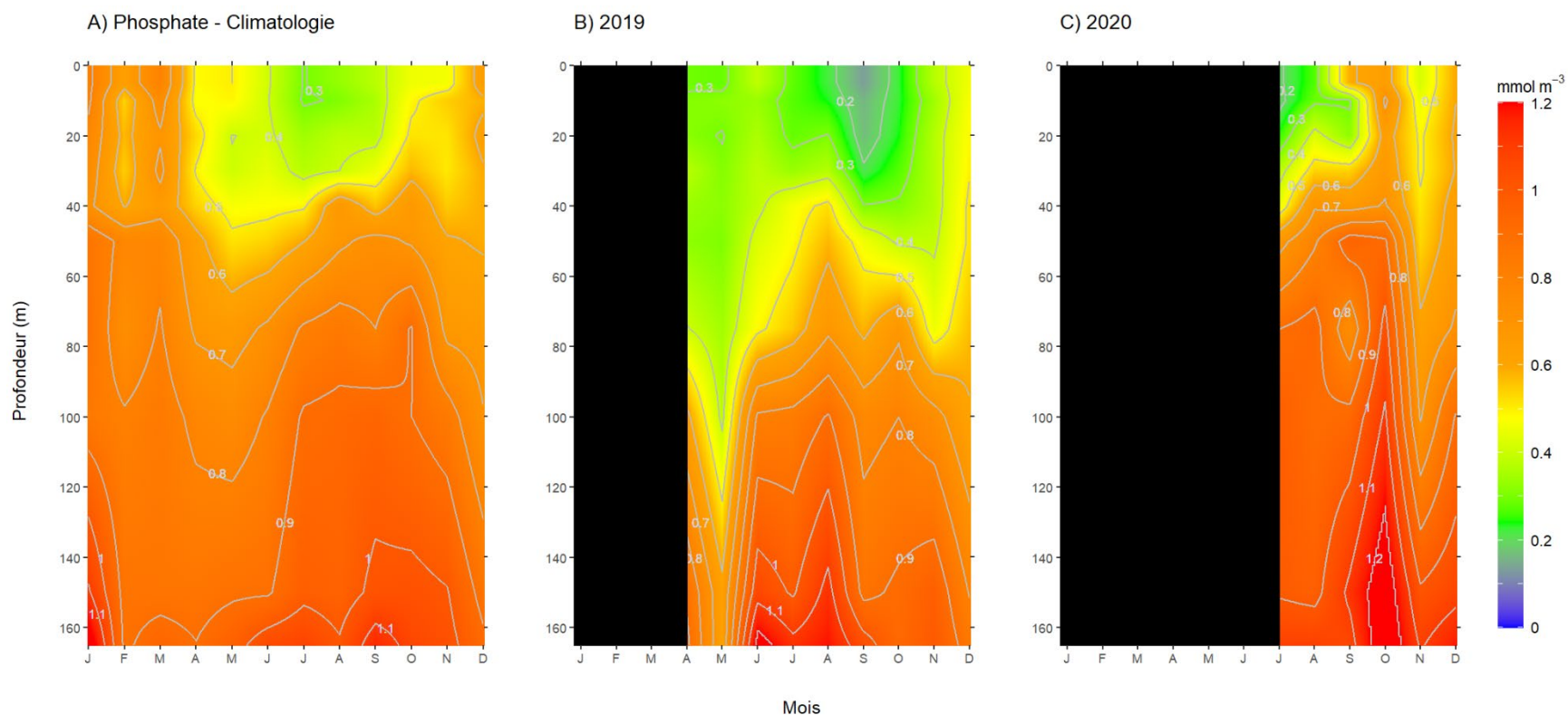


Figure 9 : Variations saisonnières de la distribution verticale des phosphates à la Station 27. Les concentrations mensuelles moyennes ont été calculés pour chacune des profondeurs à laquelle des échantillons d'eau ont été collectés (5, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150 m, fond) puis interpolés horizontalement (temps) et verticalement (profondeur). Les moyennes climatologique ont été calculé en utilisant la période de référence 1999–2020. Les rectangles noirs indiquent les périodes de l'année où aucune donnée n'étaient disponibles.

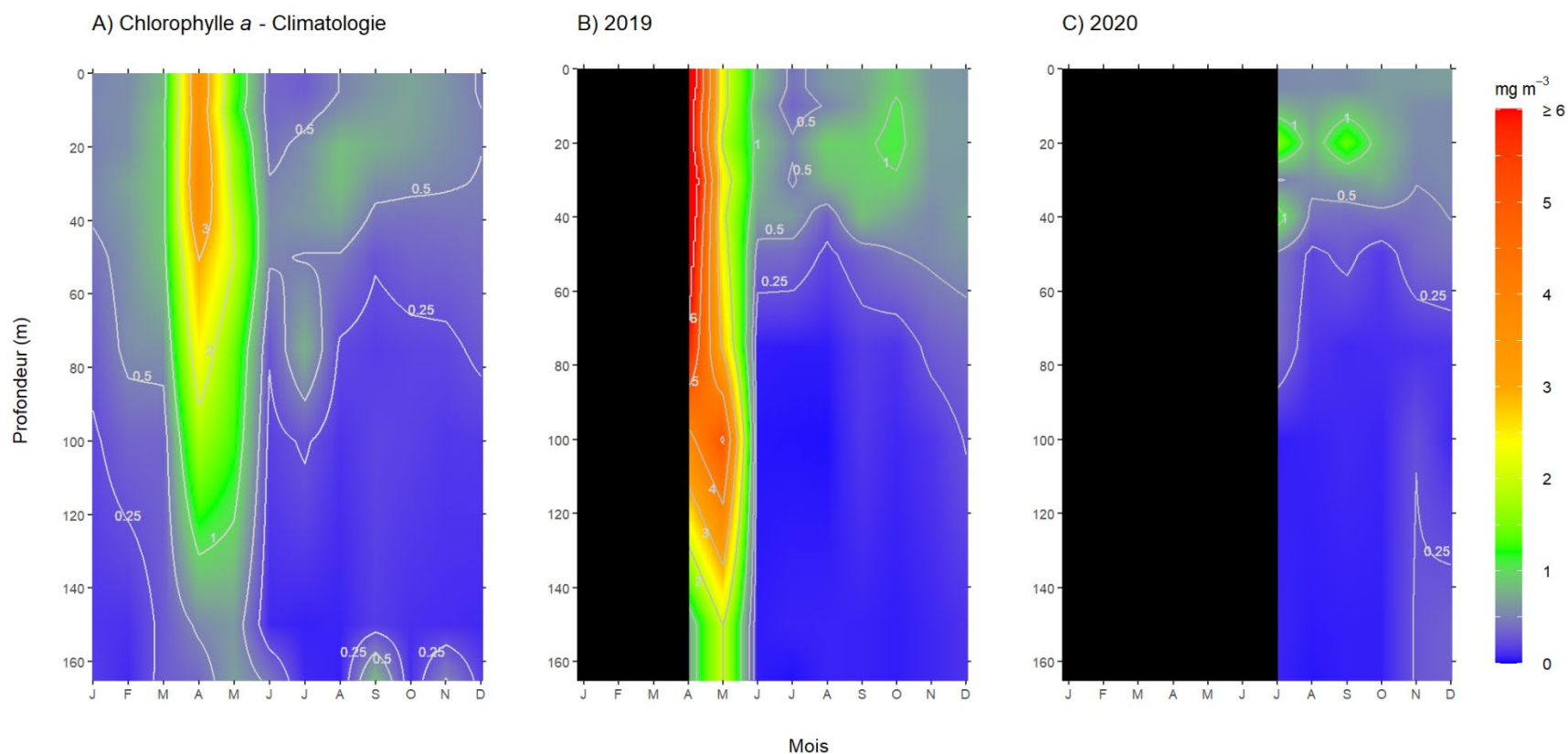


Figure 10 : Variations saisonnières de la distribution verticale de la chlorophylle à la Station 27. Les concentrations mensuelles moyennes ont été calculés pour chacune des profondeurs à laquelle des échantillons d'eau ont été collectés (5, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150 m, fond) puis interpolés horizontalement (temps) et verticalement (profondeur). Les moyennes climatologique ont été calculé en utilisant la période de référence 1999–2020. Les rectangles noirs indiquent les périodes de l'année où aucune donnée n'étaient disponibles.

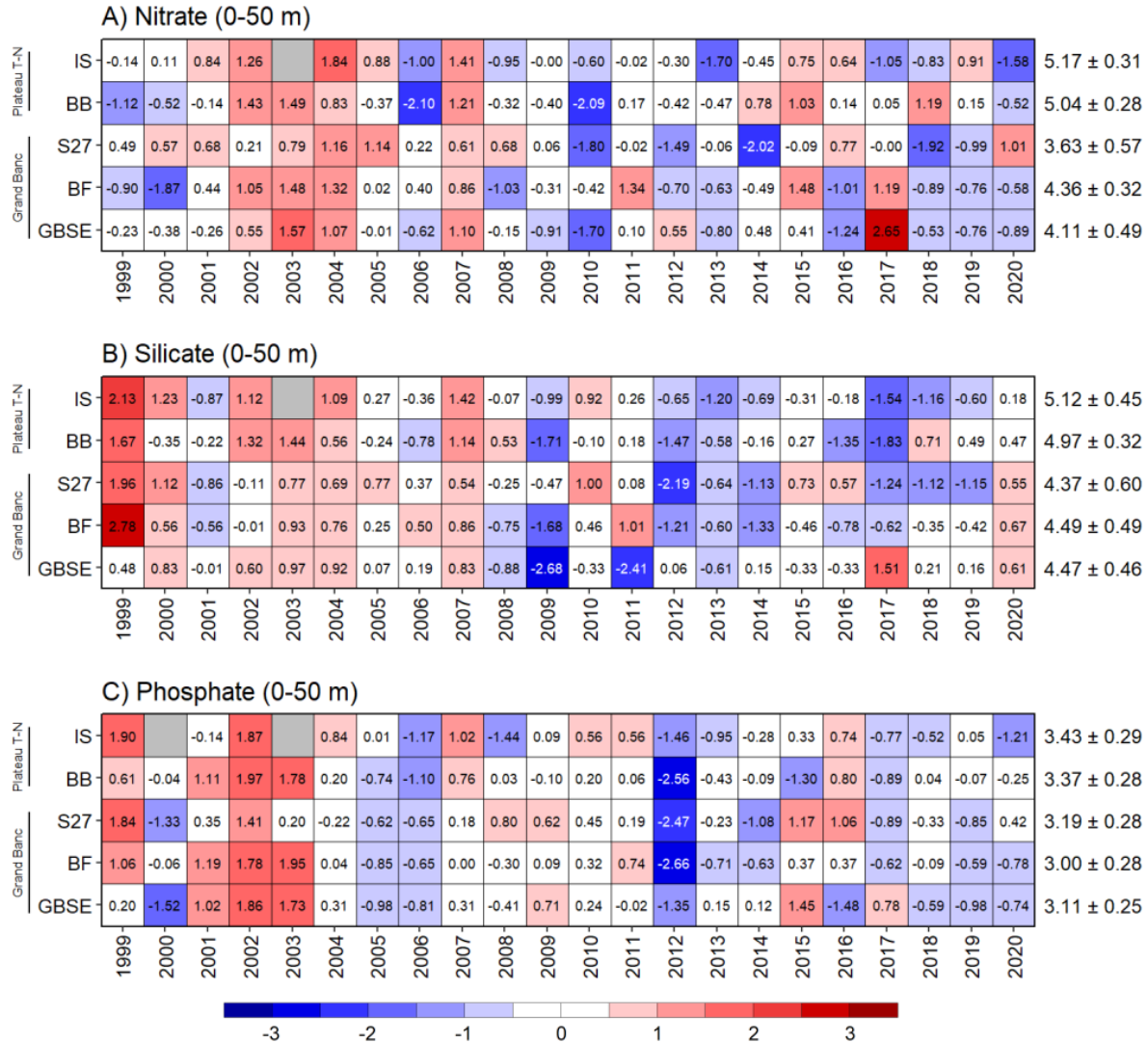


Figure 11 : Tableau synoptique des anomalies annuelles pour les inventaires de nutriments en surface. Les nombres à l'intérieur des cellules sont les anomalies standardisées en unité d'écart-type (ÉT). Les cellules en blanc indiquent des conditions près de la normale, c.à.d., ± 0.5 ÉT par rapport à la moyenne climatologique. Les cellules en bleu (rouge) indiquent des un début hâtif (tardif), une durée plus courte (longue) ou une ampleur inférieure (supérieure) à la normale. Les cellules en gris indiquent des données manquantes. Les moyennes climatologiques et l'écart-type pour la période de référence 1999–2020 sont énumérés à droite en unités de $\ln(1+\text{concentration en mmol}\cdot\text{m}^{-2})$.

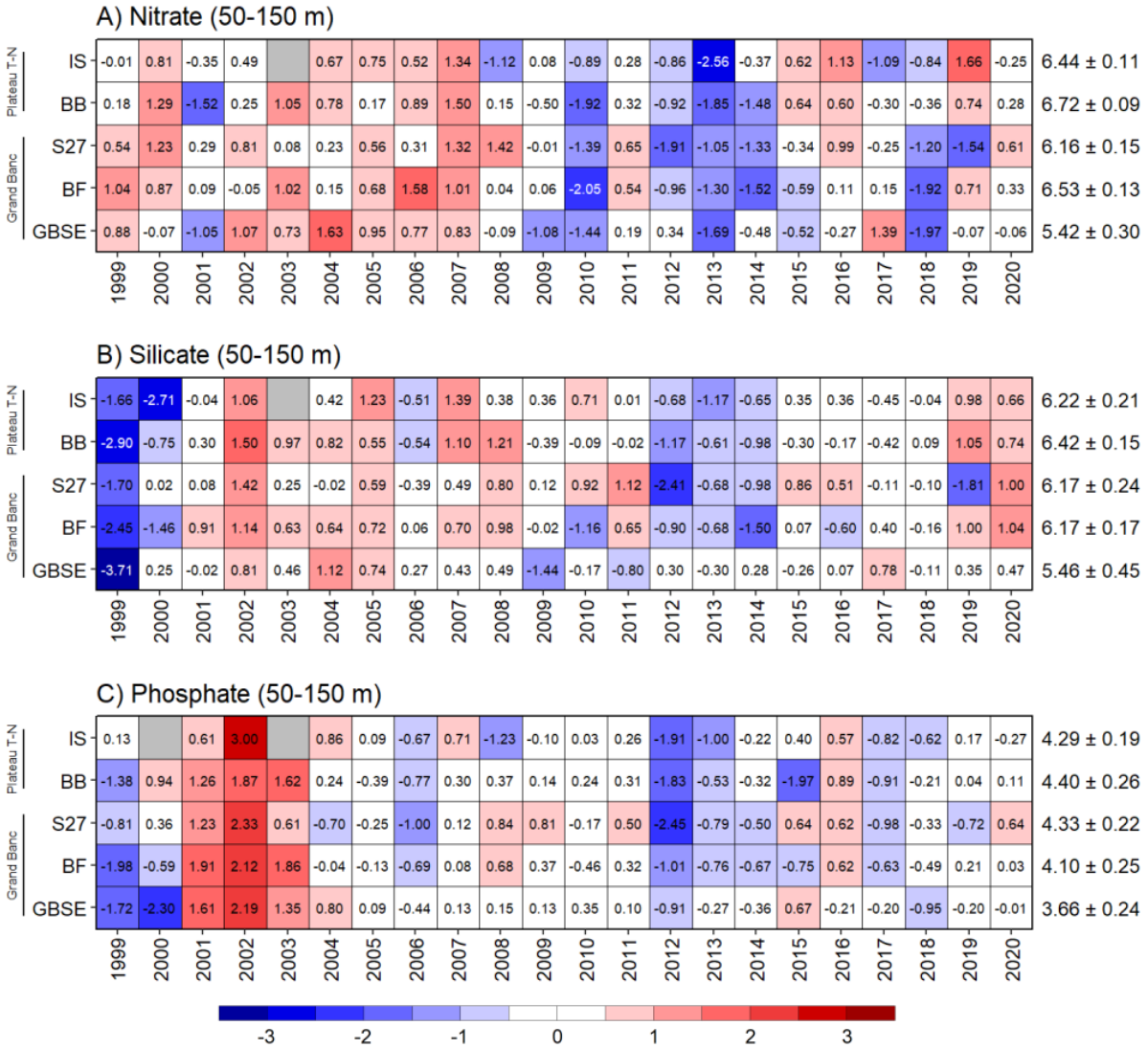


Figure 12 : Tableau synoptique des anomalies annuelles pour les inventaires de nutriments en profondeur. Les nombres à l'intérieur des cellules sont les anomalies standardisées en unité d'écart-type (ÉT). Les cellules en blanc indiquent des conditions près de la normale, c.à.d., ± 0.5 ÉT par rapport à la moyenne climatologique. Les cellules en bleu (rouge) indiquent des un début hâtif (tardif), une durée plus courte (longue) ou une ampleur inférieure (supérieure) à la normale. Les cellules en gris indiquent des données manquantes. Les moyennes climatologiques et l'écart-type pour la période de référence 1999–2020 sont énumérés à droite en unités de $\ln(1+\text{concentration en } \text{mmol}\cdot\text{m}^{-2})$.

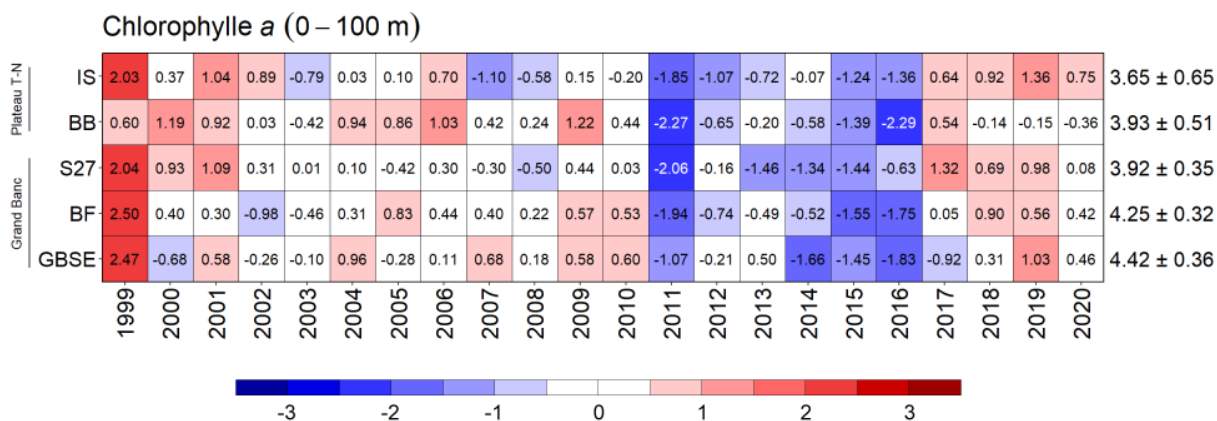


Figure 13 : Tableau synoptique des anomalies annuelles pour les inventaires de chlorophylle-a. Les nombres à l'intérieur des cellules sont les anomalies standardisées en unité d'écart-type (ÉT). Les cellules en blanc indiquent des conditions près de la normale, c.à.d., ± 0.5 ÉT par rapport à la moyenne climatologique. Les cellules en bleu (rouge) indiquent des un début hâtif (tardif), une durée plus courte (longue) ou une ampleur inférieure (supérieure) à la normale. Les cellules en gris indiquent des données manquantes. Les moyennes climatologiques et l'écart-type pour la période de référence 1999–2020 sont énumérés à droite en unités de $\ln(1 + \text{biomasse de Chl a en mg}\cdot\text{m}^{-2})$.

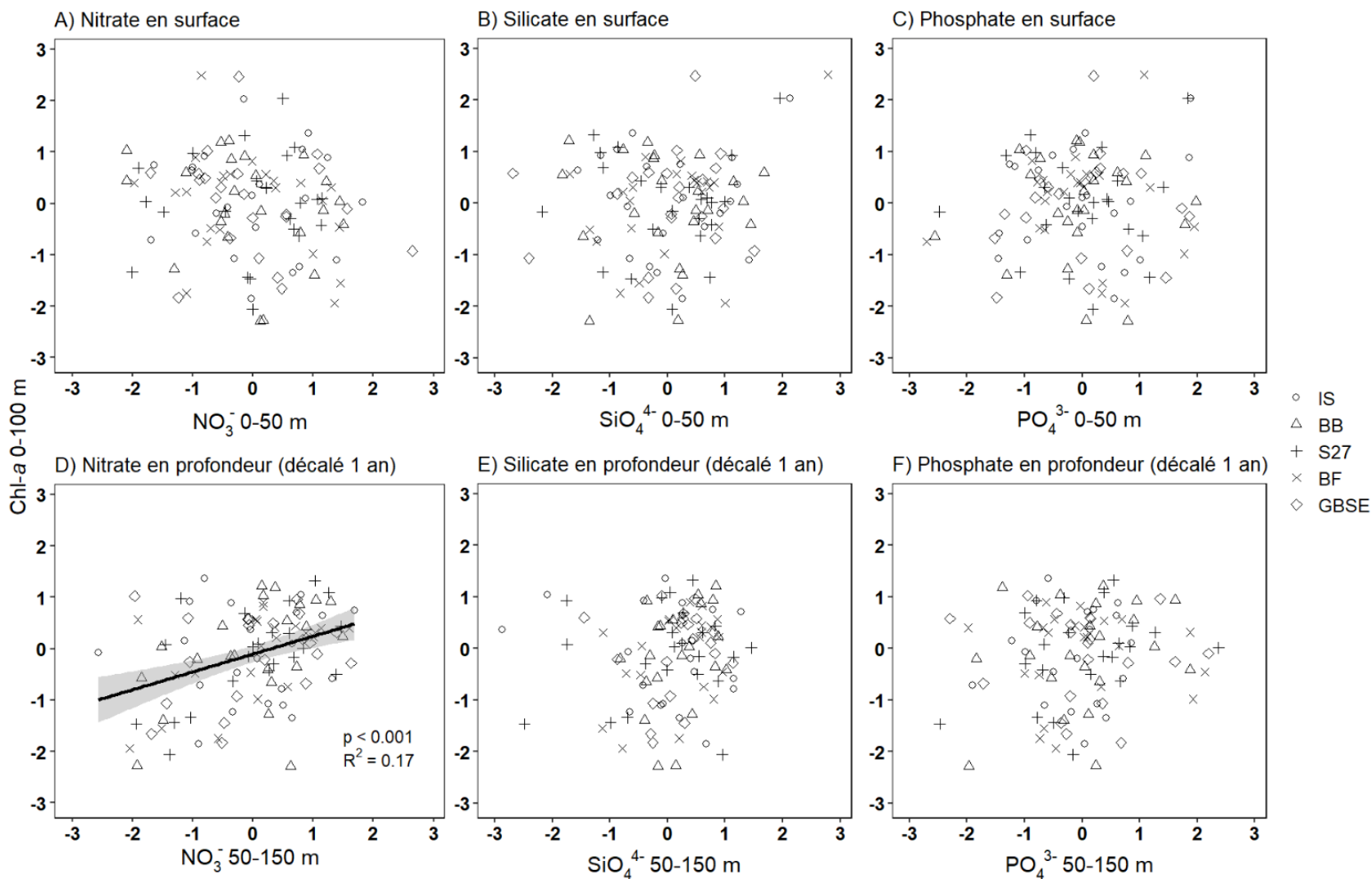


Figure 14 : Régression linéaires entre les anomalies annuelles de nutriments en surface (panneaux du haut) et en profondeur décalée de 1 an (panneaux du bas) et de chlorophylle-a pour les sections océanographiques de l'Île Seal (IS), de la Baie de Bonavista (BB), du Bonnet Flamand (BF) et du Grand Banc sud-est (GBSE) ainsi qu'à la Station 27 (S27). La droite de tendance ($\pm 95\%$ CL) indique une relation significative ($\alpha = 0.05$). Voir la Figure 1B pour la localisation géographique des sections océanographiques et du site de monitoring à haute fréquence.

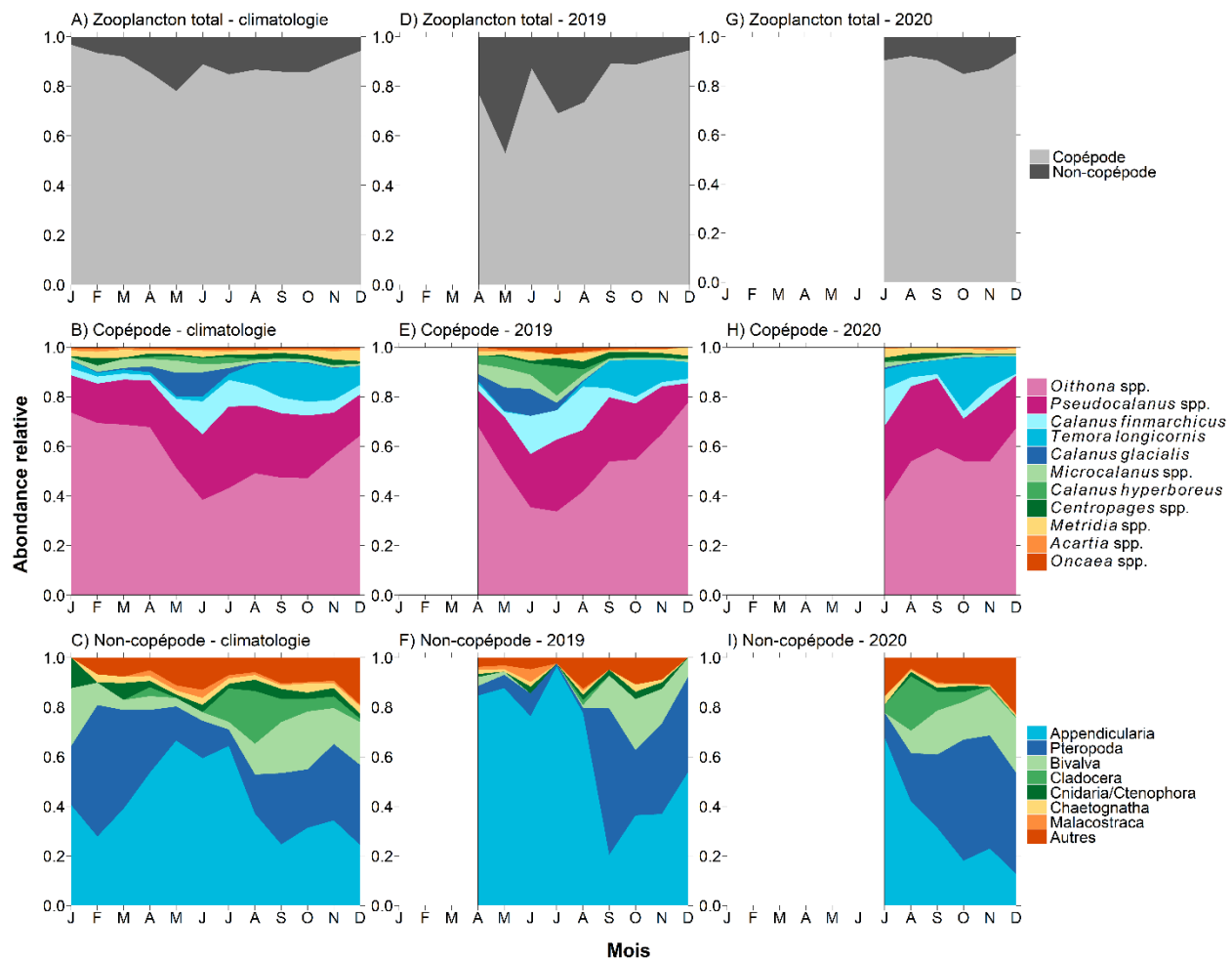


Figure 15 : Abondances relatives de principaux groupes de mesozooplankton à la Station 27. Les abondances relatives ont été calculées à partir des concentration mensuelles moyennes des différents taxa. Les moyennes climatologiques ont été calculées en utilisant 1999–2020 comme période de référence.

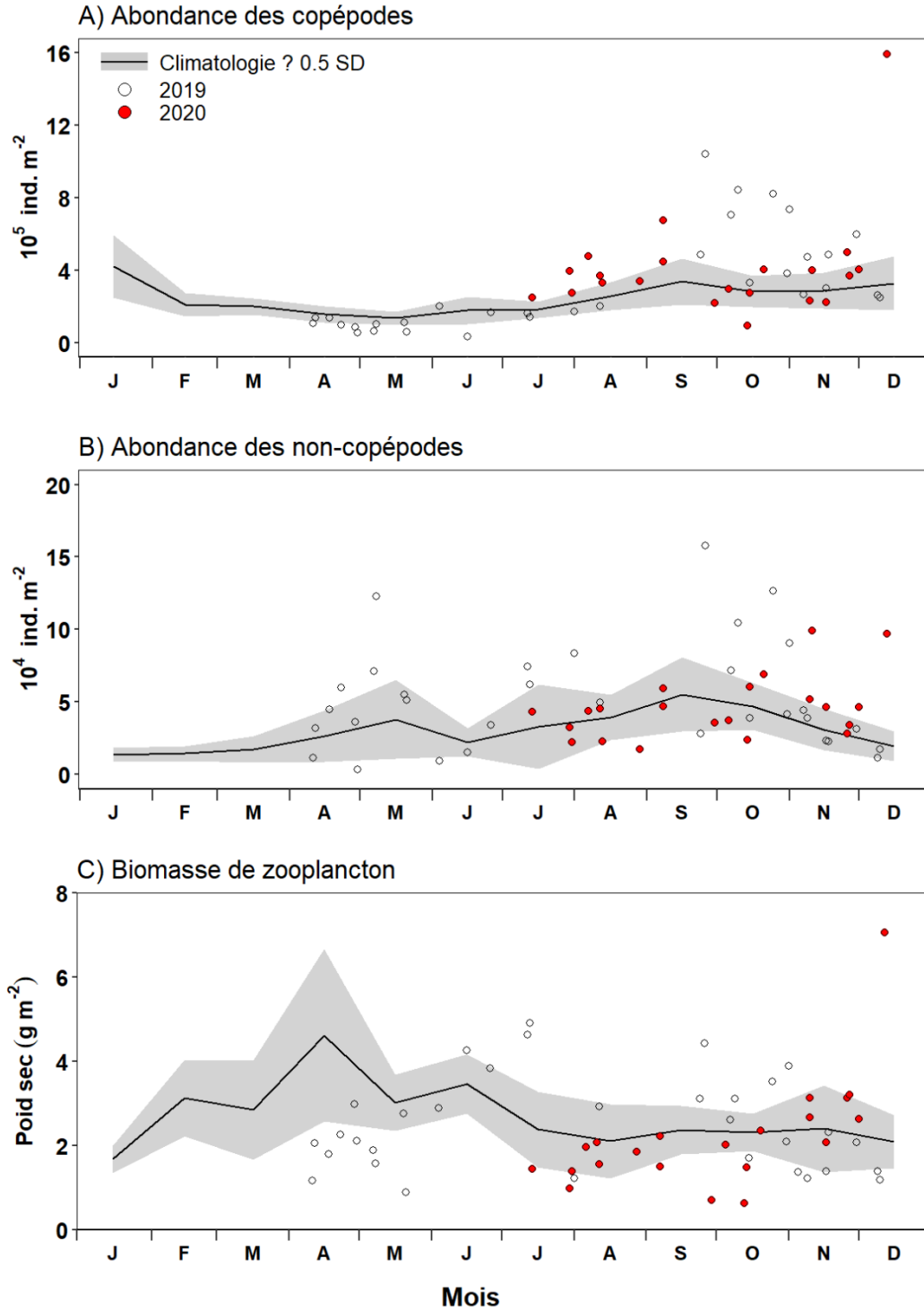


Figure 16 : Variations saisonnières de l'abondance des copépodes et des non-copépodes ainsi que de la biomasse totale de zooplancton à la Station 27. Les lignes noires indiquent les moyennes mensuelles (± 0.5 ÉT) pour la période de référence 1999–2020. Les cercles blancs et rouges représentent les abondances lors de chacune des occupations de Station 27 pour une année donnée. Les abondances comprises dans un intervalle de ± 0.5 ÉT des moyennes climatologiques sont considérées comme des conditions près de la normale.

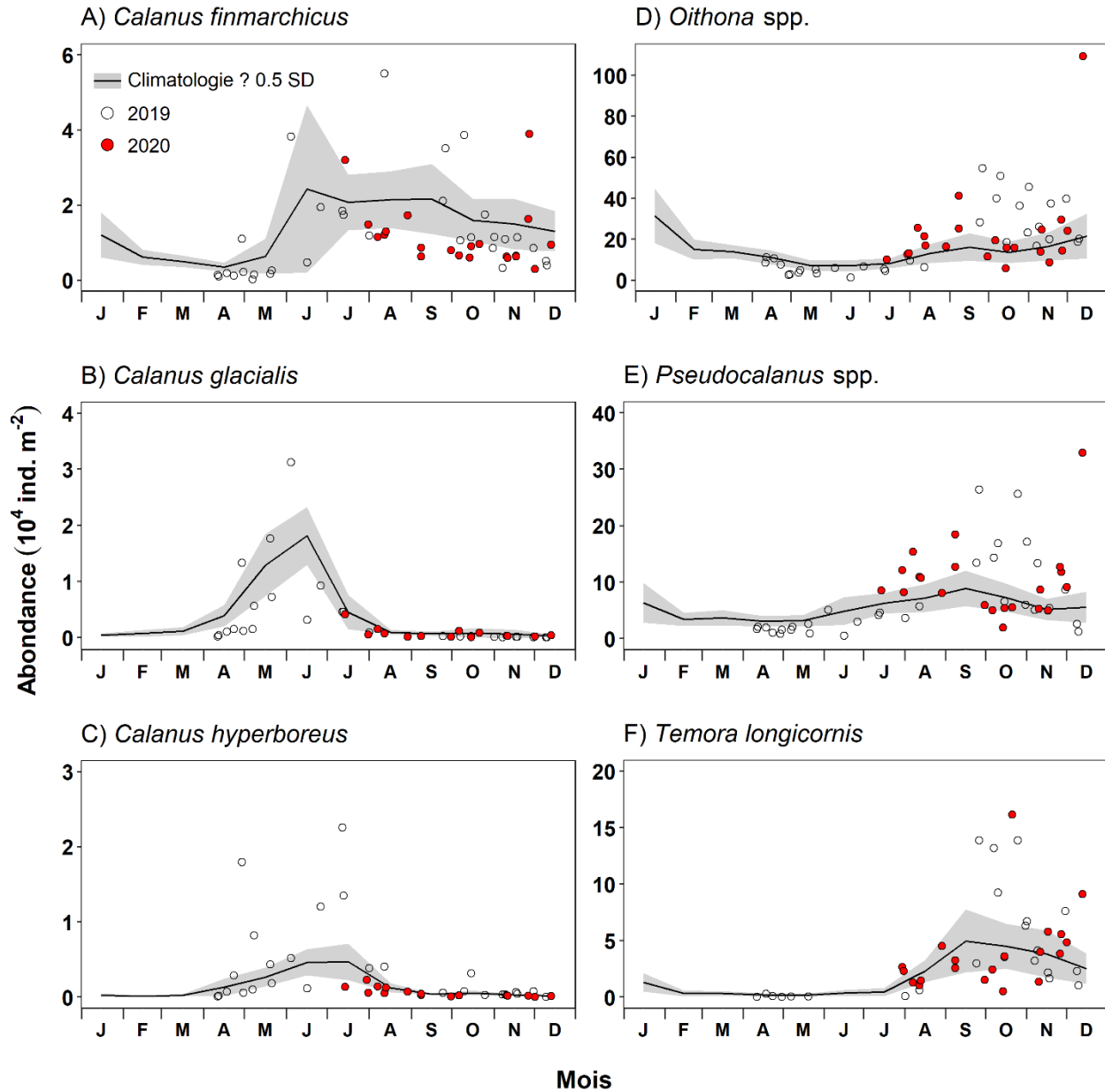


Figure 17 : Variations saisonnières de l'abondance de taxa de copépodes d'importance écologique à la Station 27. Les lignes noires indiquent les moyennes mensuelles (± 0.5 ÉT) pour la période de référence 1999–2020. Les cercles blancs et rouges représentent les abondances lors de chacune des occupations des stations pour une année donnée. Les abondances comprises dans un intervalle de ± 0.5 ÉT des moyennes climatologiques sont considérées comme des conditions près de la normale.

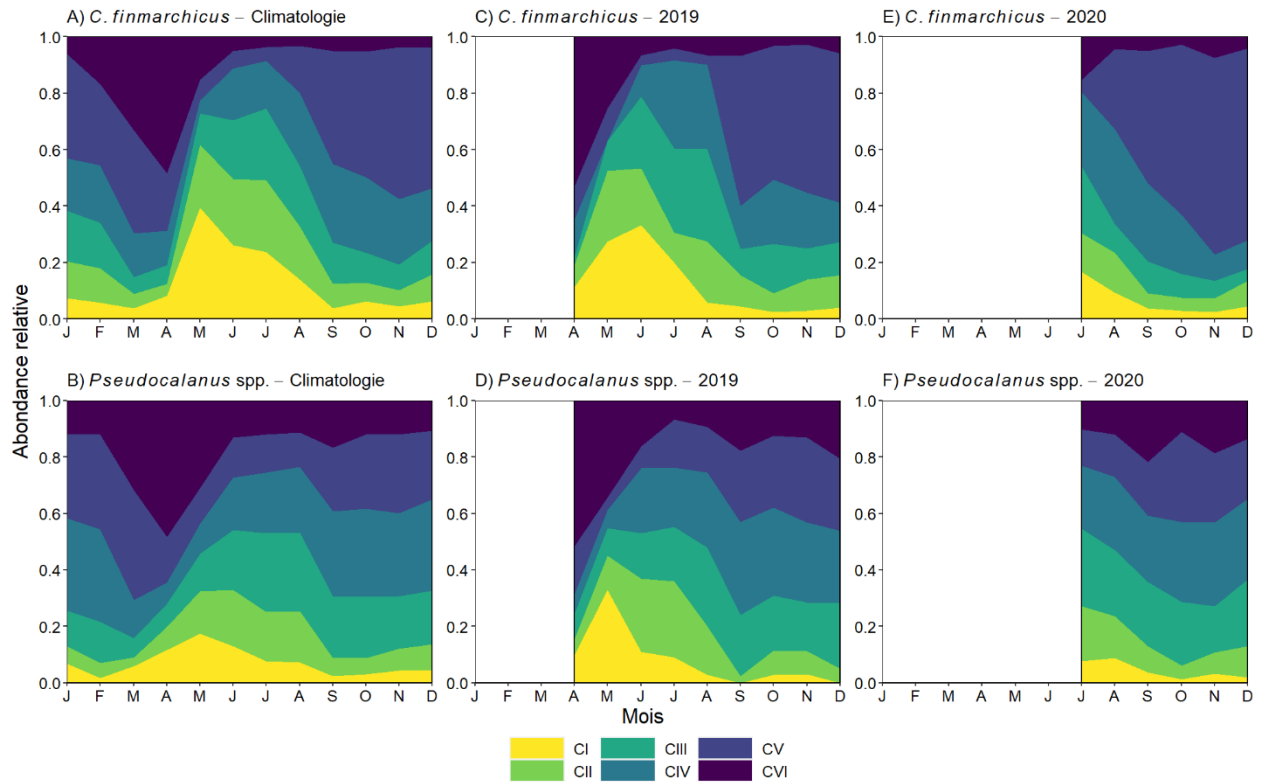


Figure 18 : Variations saisonnières de l'abondance relative des stades copépodites de *Calanus finmarchicus* (panneaux du haut) et de *Pseudocalanus* spp. (panneaux du bas) à la Station 27 pour la période de référence 1999–2020 et pour les années 2019 et 2020. Les abondances relatives ont été calculées à partir des concentrations mensuelles moyennes des différents stades copépodites.

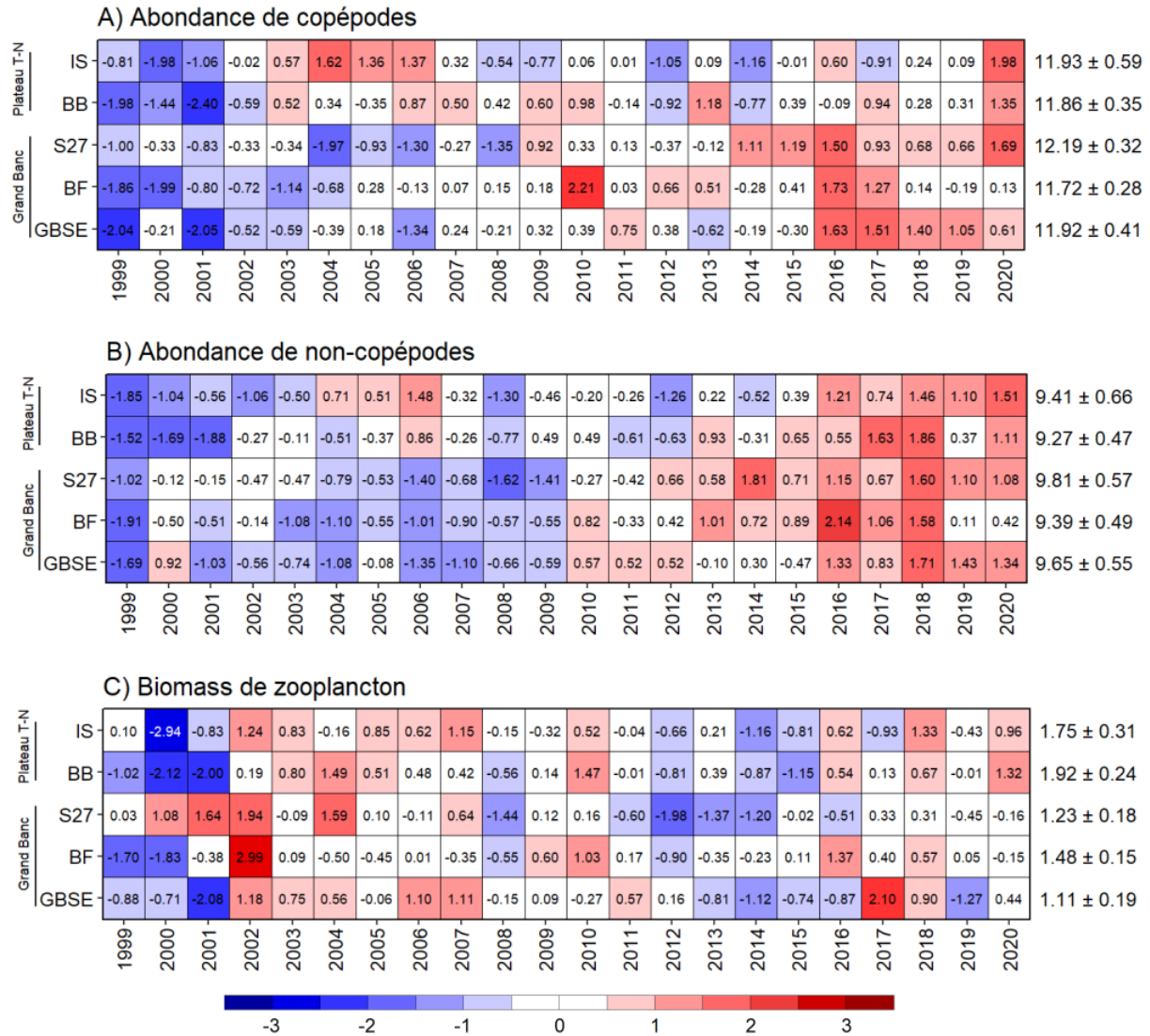


Figure 19 : Tableau synoptique des anomalies annuelles de l'abondance des copépodes et des non-copépodes ainsi que de la biomasse totale de zooplancton. Les nombres à l'intérieur des cellules sont les anomalies standardisées en unité d'écart-type (ÉT). Les cellules en blanc indiquent des conditions près de la normale, c.à.d., ± 0.5 ÉT par rapport à la moyenne climatologique. Les cellules en bleu (rouge) indiquent des abondances ou une biomasse inférieures (supérieures) à la normale. Les cellules en gris indiquent des données manquantes. Les moyennes climatologiques et l'ÉT pour la période de référence 1999–2020 sont énumérés à droite en unités de $\ln(1+\text{abondance en individus}\cdot\text{m}^{-2})$ pour les copépodes et les non-copépodes, et $\ln(1+\text{biomasse en g}\cdot\text{m}^{-2})$.

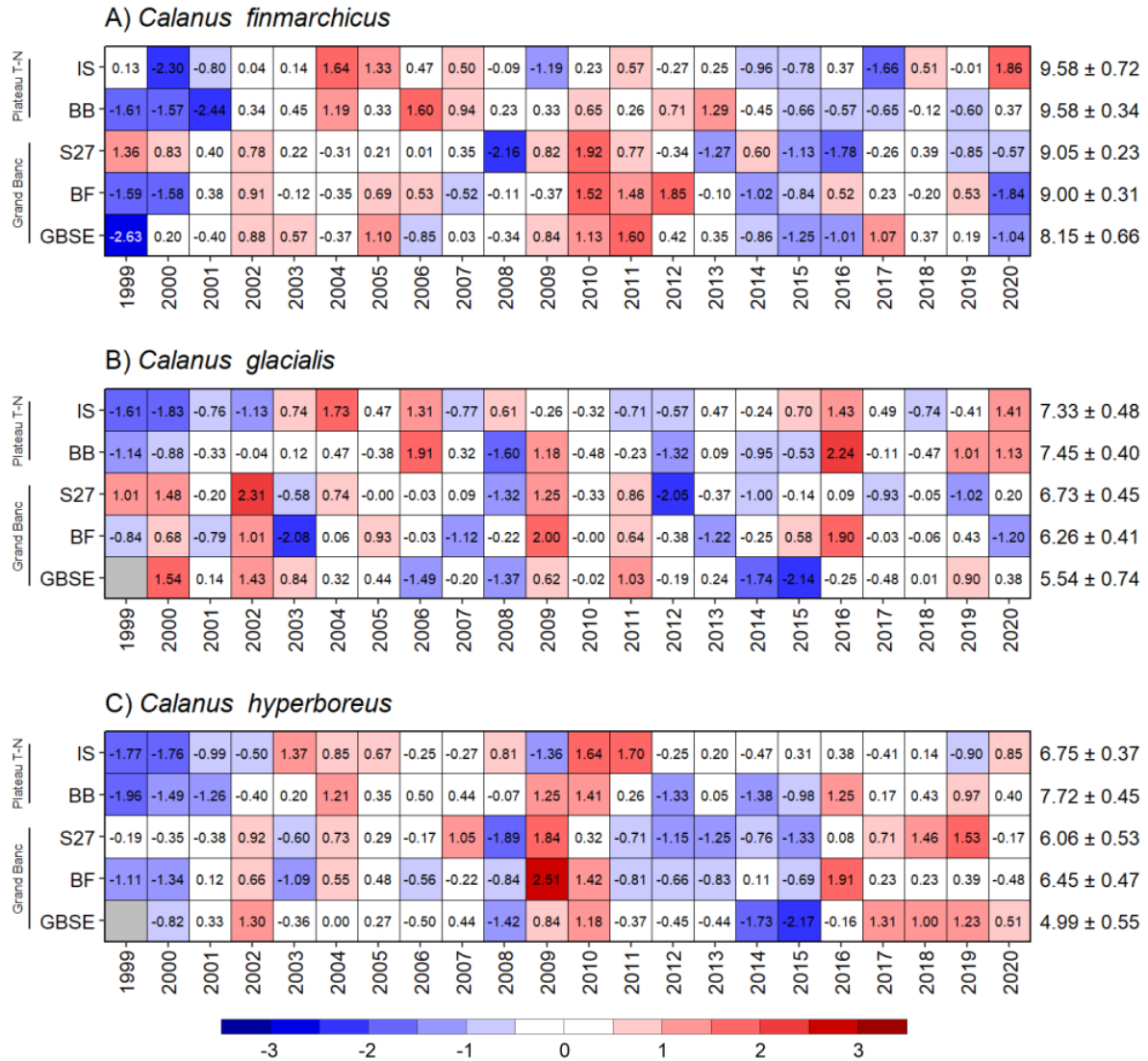


Figure 20 : Tableau synoptique des anomalies annuelles d'abondance des copépodes calanoïdes de grande taille. Les nombres à l'intérieur des cellules sont les anomalies standardisées en unité d'écart-type (ÉT). Les cellules en blanc indiquent des conditions près de la normale, c.à.d., ± 0.5 ÉT par rapport à la moyenne climatologique. Les cellules en bleu (rouge) indiquent des abondances inférieures (supérieures) à la normale. Les cellules en gris indiquent des données manquantes. Les moyennes climatologiques et l'ÉT pour la période de référence 1999–2020 sont énumérés à droite en unités de $\ln(1+\text{abondance en individus}\cdot m^{-2})$.

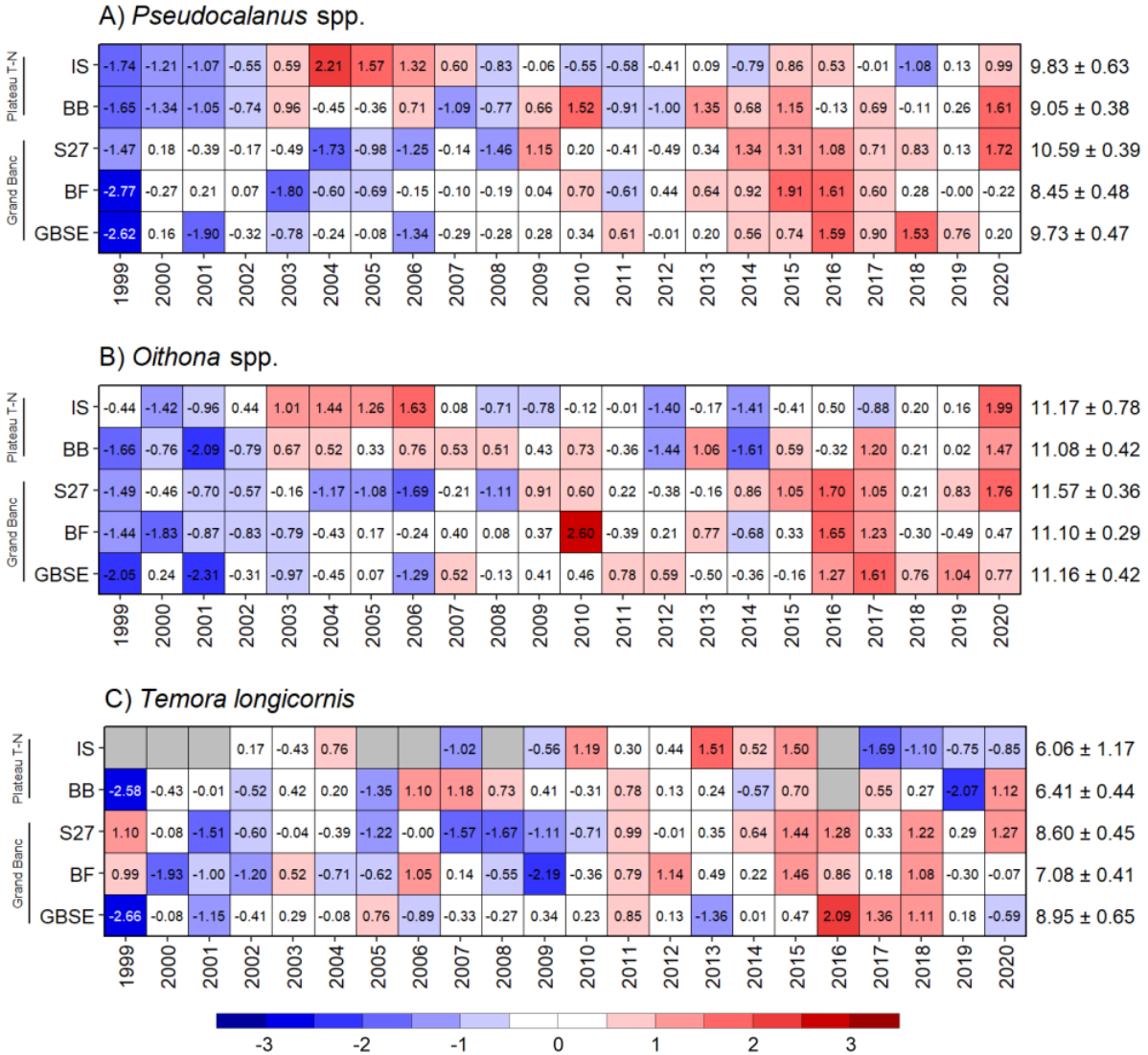


Figure 21 : Tableau synoptique des anomalies annuelles d'abondance des taxa dominant de copépodes de petite taille. Les nombres à l'intérieur des cellules sont les anomalies standardisées en unité d'écart-type (ÉT). Les cellules en blanc indiquent des conditions près de la normale, c.à.d., ± 0.5 ÉT par rapport à la moyenne climatologique. Les cellules en bleu (rouge) indiquent des abondances inférieures (supérieures) à la normale. Les cellules en gris indiquent des données manquantes. Les moyennes climatologiques et l'ÉT pour la période de référence 1999–2020 sont énumérés à droite en unités de $\ln(1+\text{abondance en individus}\cdot m^{-2})$.

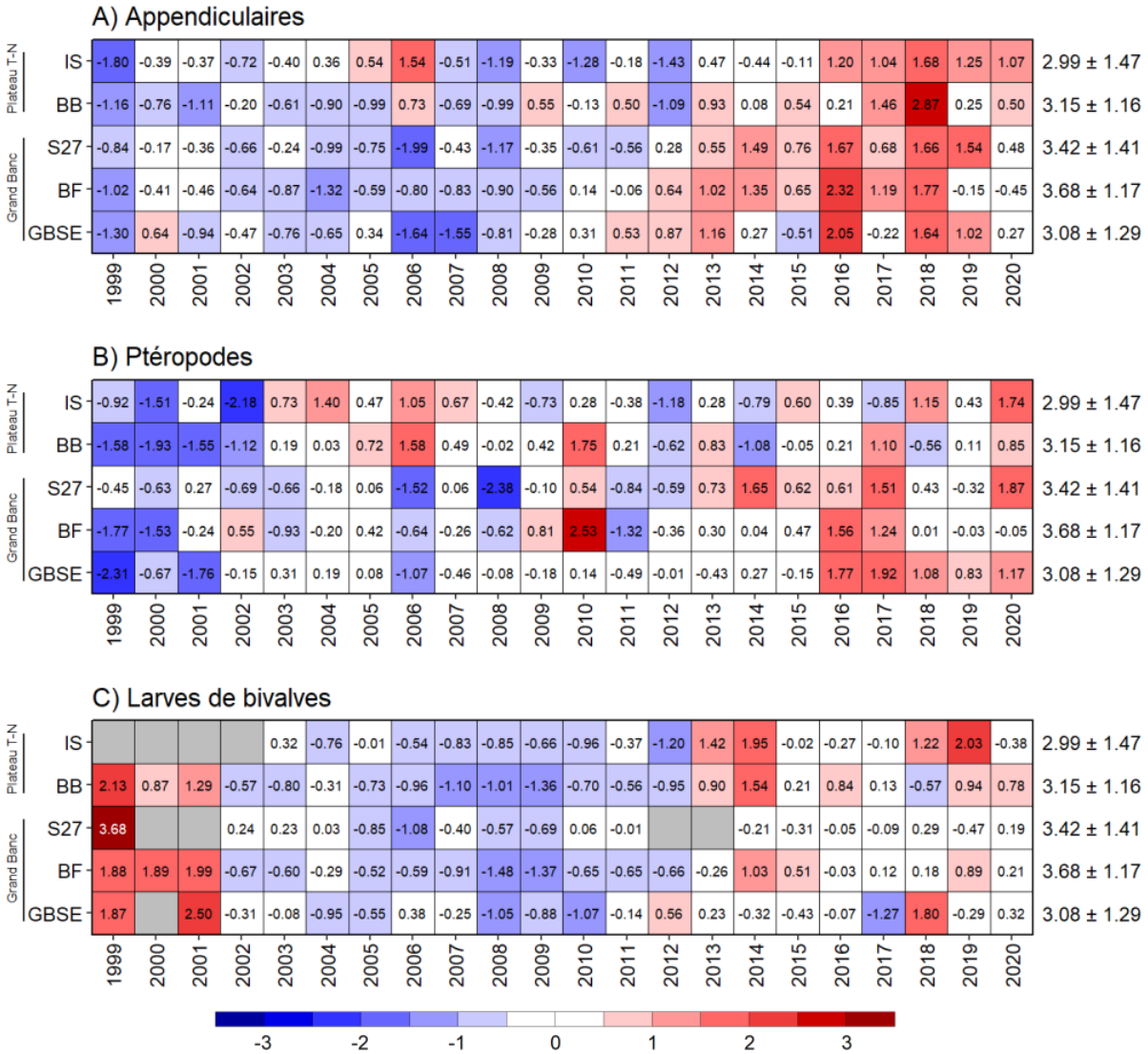


Figure 22 : Tableau synoptique des anomalies annuelles d'abondance des taxa dominant de zooplancton non-copépode. Les nombres à l'intérieur des cellules sont les anomalies standardisées en unité d'écart-type (ÉT). Les cellules en blanc indiquent des conditions près de la normale, c.à.d., ± 0.5 ÉT par rapport à la moyenne climatologique. Les cellules en bleu (rouge) indiquent des abondances inférieures (supérieures) à la normale. Les cellules en gris indiquent des données manquantes. Les moyennes climatologiques et l'ÉT pour la période de référence 1999–2020 sont énumérés à droite en unités de $\ln(1+\text{abondance en individus}\cdot m^{-2})$.

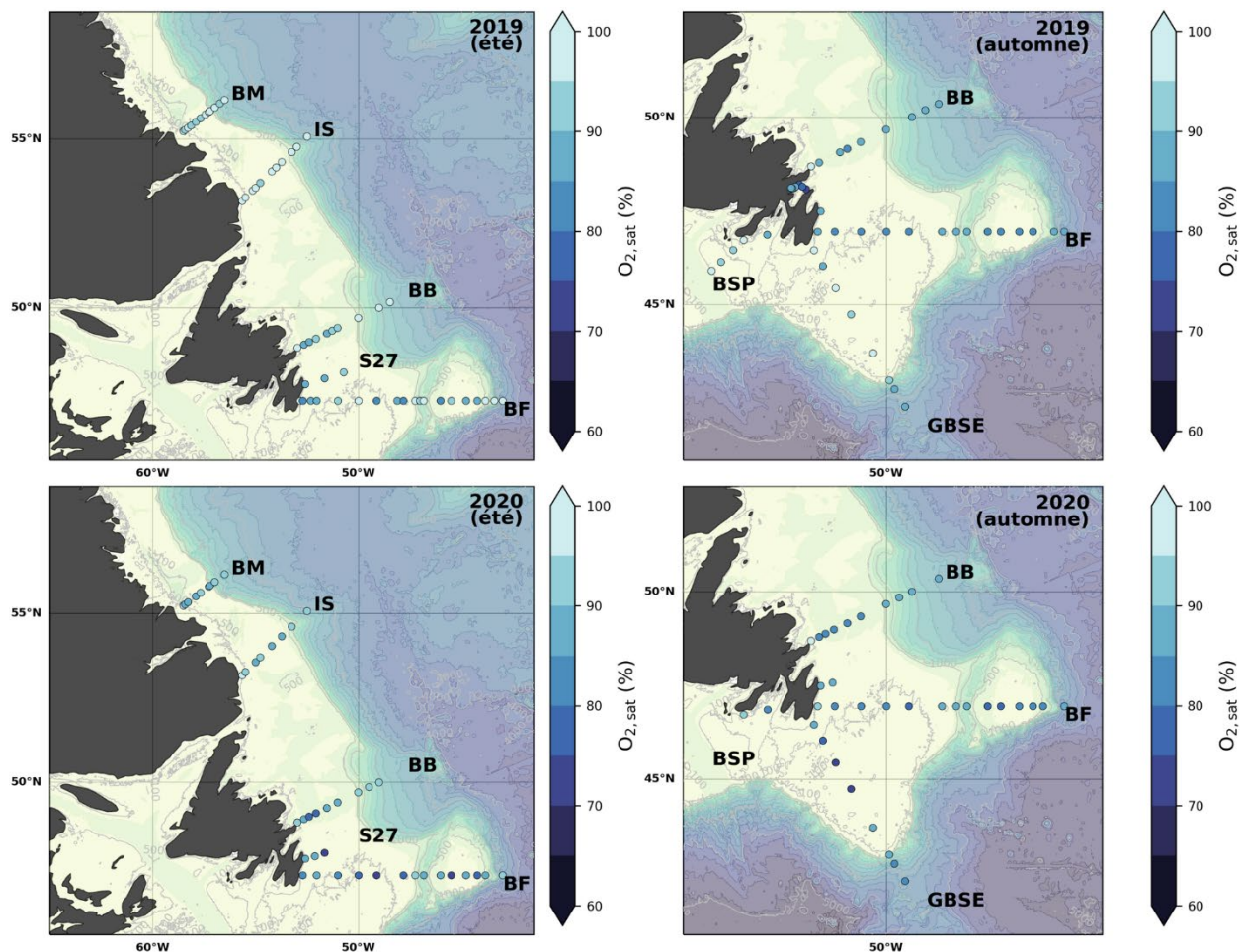


Figure 23 : Saturation en oxygène dissout en été (panneaux de gauche) et à l'automne (panneaux de droite) pour la région de T-N-L en 2019 (panneaux du haut) et 2020 (panneaux du bas) le long des sections océanographiques du Banc Makkovik (MB), de l'Île Seal (IS), de la Baie de Bonavista (BB), du Bonnet Flamand (BF) et du Grand Banc sud-est (GBSE).

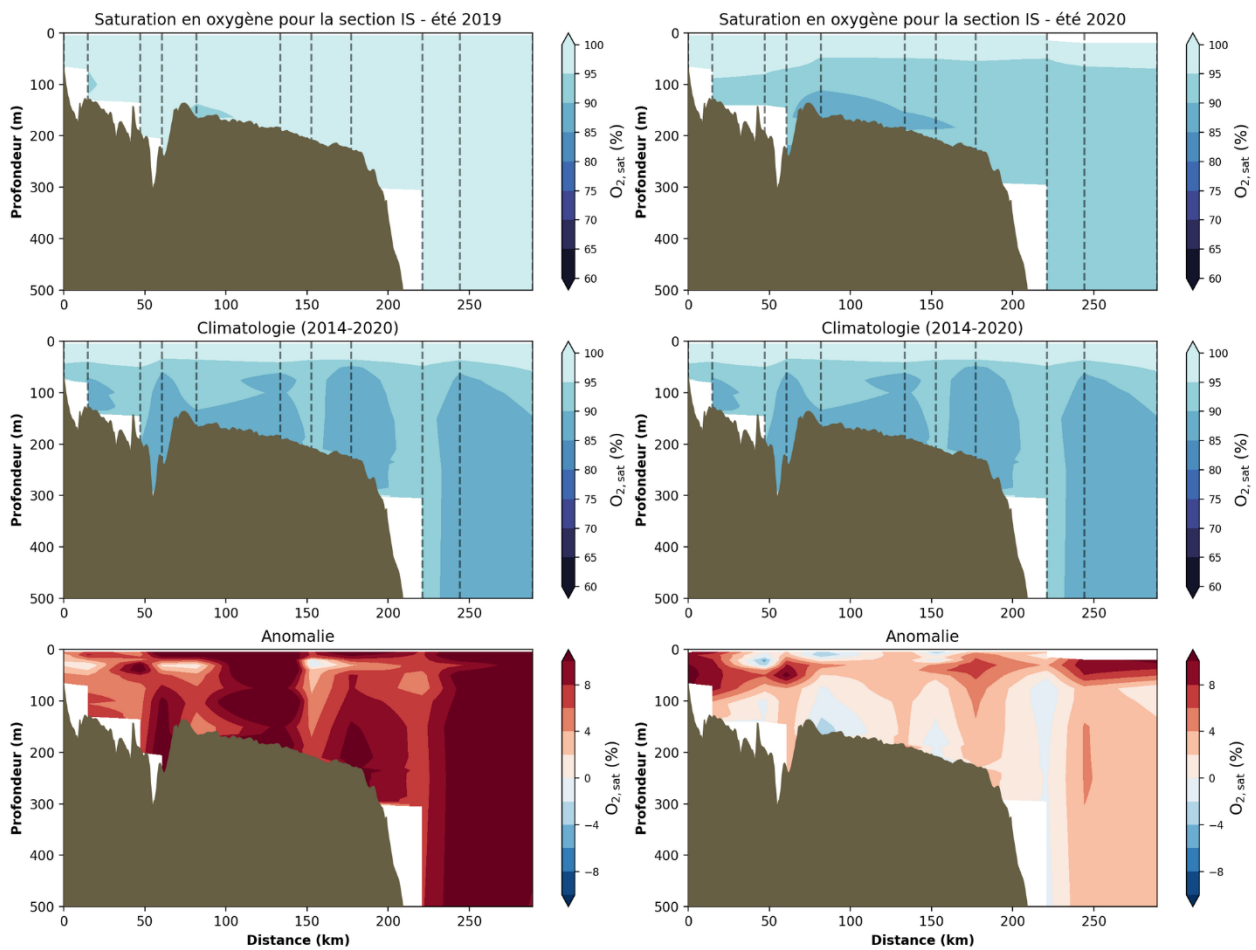


Figure 24 : Observations estivales (panneaux du haut), climatologie (panneaux du centre) et anomalies standardisées (panneaux du bas) de la saturation en oxygène (O_2) dissout le long de la section océanographique de l'Île Seal (IS) en 2019 et 2020. Les cellules en bleu (rouge) indique des taux de saturation en O_2 inférieurs (supérieurs) aux moyennes climatologiques pour la période de référence 2014–20. Les lignes pointillées indiquent l'emplacement des stations d'échantillonnage et leur distance par rapport à la côte.

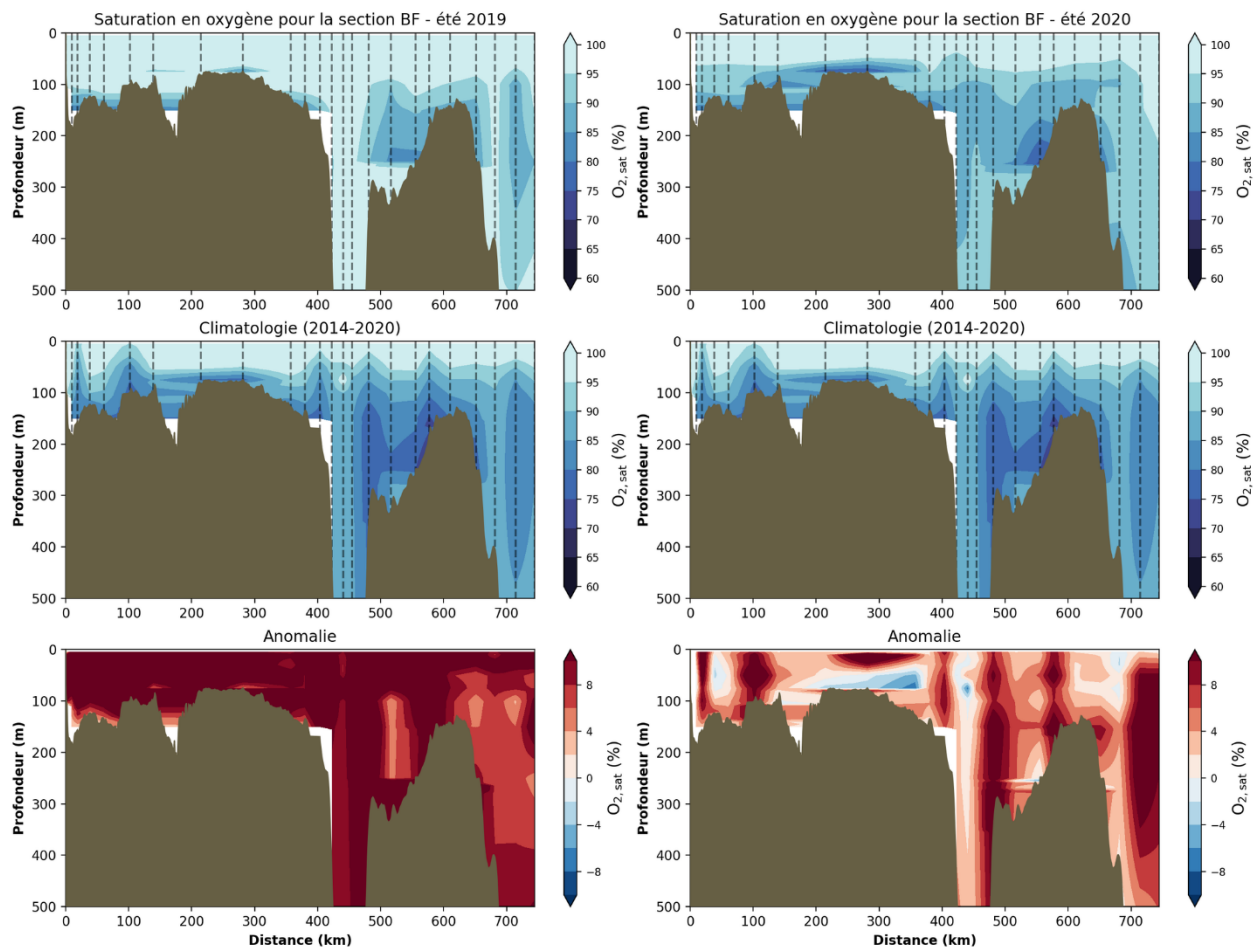


Figure 25 : Observations estivales (panneaux du haut), climatologie (panneaux du centre) et anomalies standardisées (panneaux du bas) de la saturation en oxygène (O_2) dissout le long de la section océanographique du Bonnet Flamand (BF) en 2019 et 2020. Les tons de bleu (rouge) indique des taux de saturation en O_2 inférieurs (supérieurs) aux moyennes climatologiques pour la période de référence 2014–20. Les lignes pointillées indiquent l'emplacement des stations d'échantillonnage et leur distance par rapport à la côte.

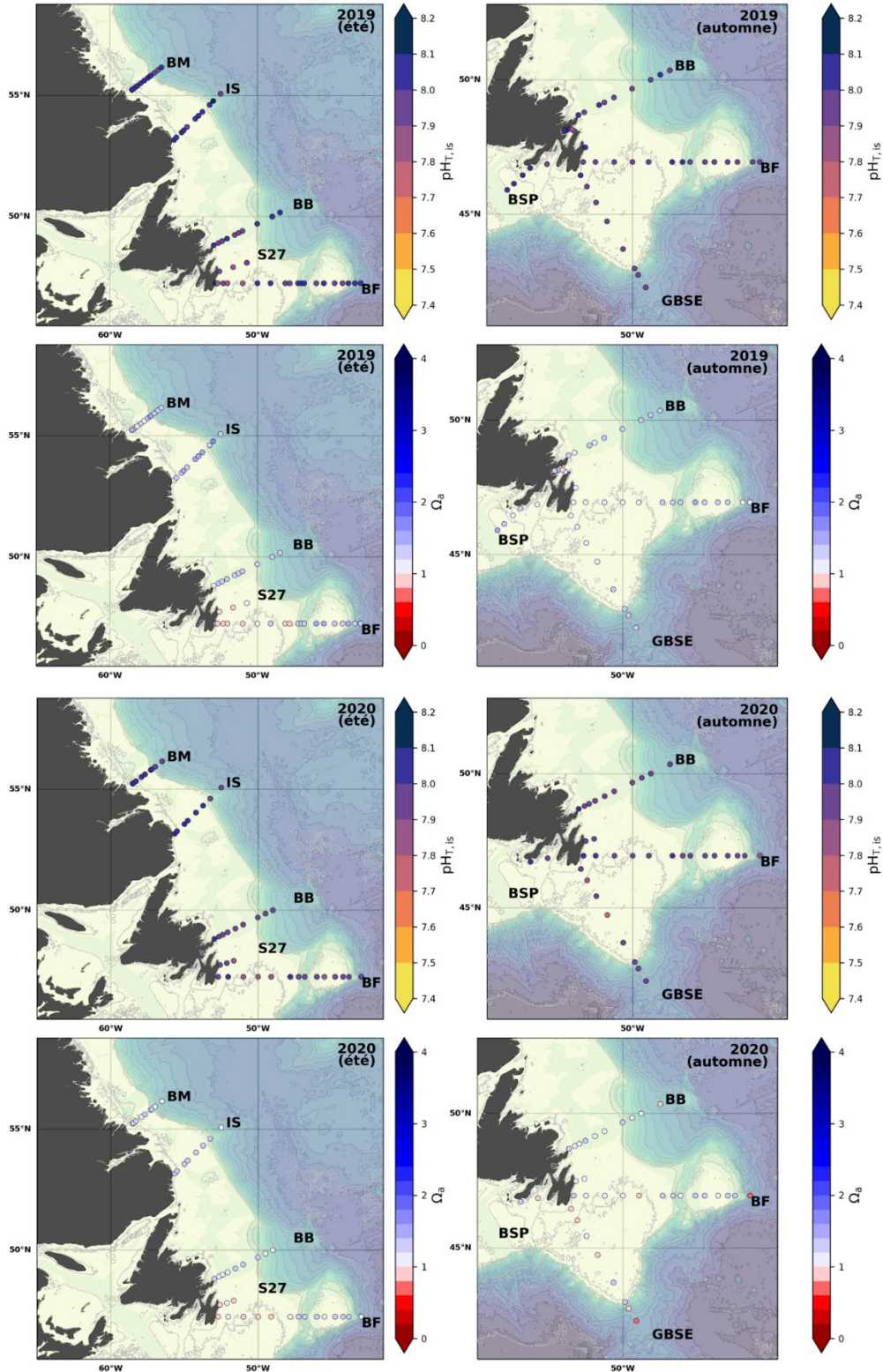


Figure 26 : Observations estivales (panneaux de gauche) et automnales (panneaux de droite) du pH (panneaux du haut) et de l'état de saturation de l'aragonite (Ω) (panneaux du bas) au fond dans la région de T-N-L en 2019 (page précédente) et 2020 (ci-haut) le long des sections océanographiques du Banc Makkovik (BM), de l'île Seal (IS), de la Baie de Bonavista (BB), du Bonnet Flamand (BF) et du Grand Banc sud-est (GBSE). $\Omega < 1$ correspond à un état de sous-saturation en aragonite.

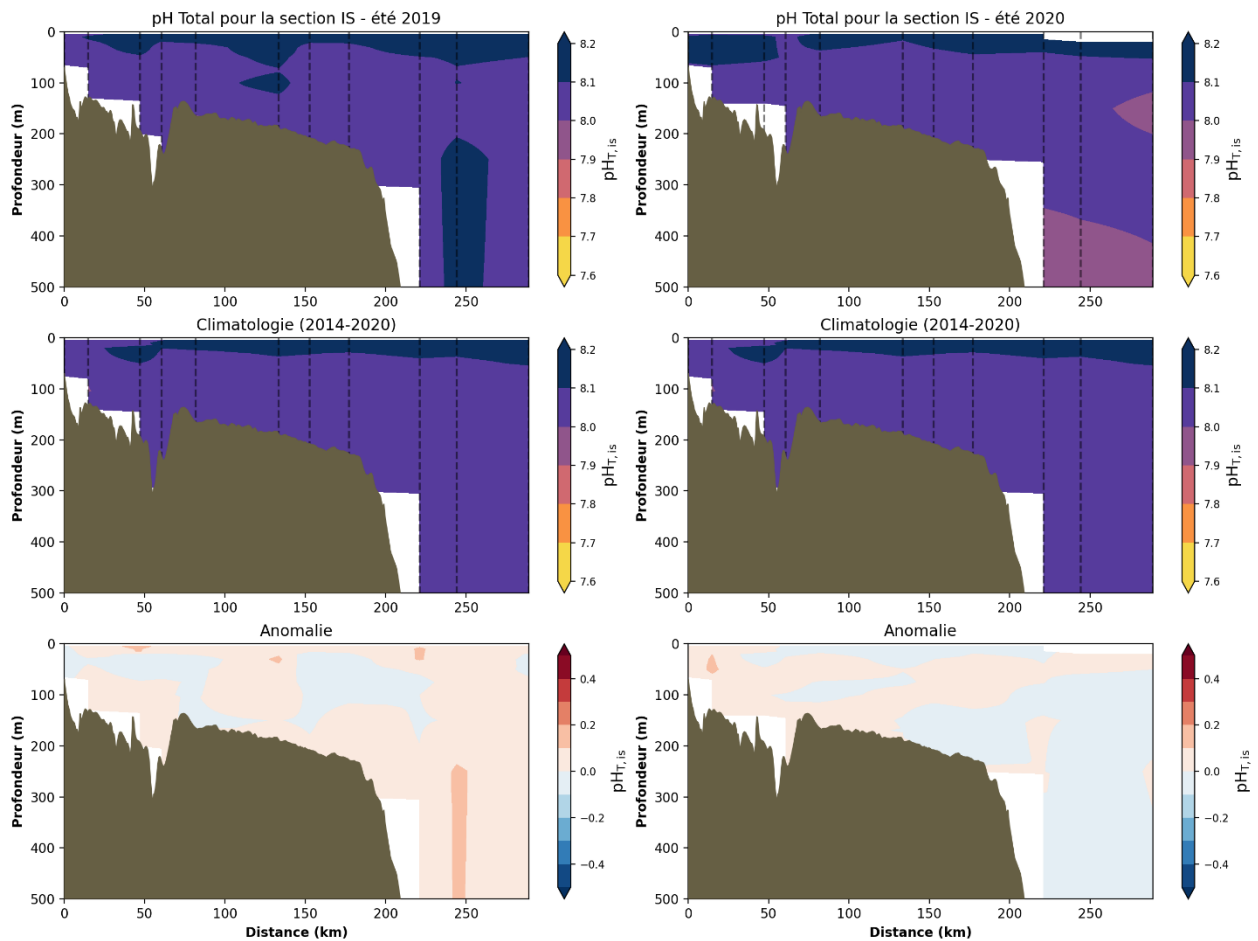


Figure 27 : Observations estivales (panneaux du haut), climatologie (panneaux du centre) et anomalies standardisées (panneaux du bas) de pH le long de la section océanographique de l'Île Seal (IS) en 2019 et 2020. Les tons de bleu (rouge) indique des valeurs de pH inférieures (supérieures) aux moyennes climatologiques pour la période de référence 2014–20. Les lignes pointillées indiquent l'emplacement des stations d'échantillonnage et leur distance par rapport à la côte.

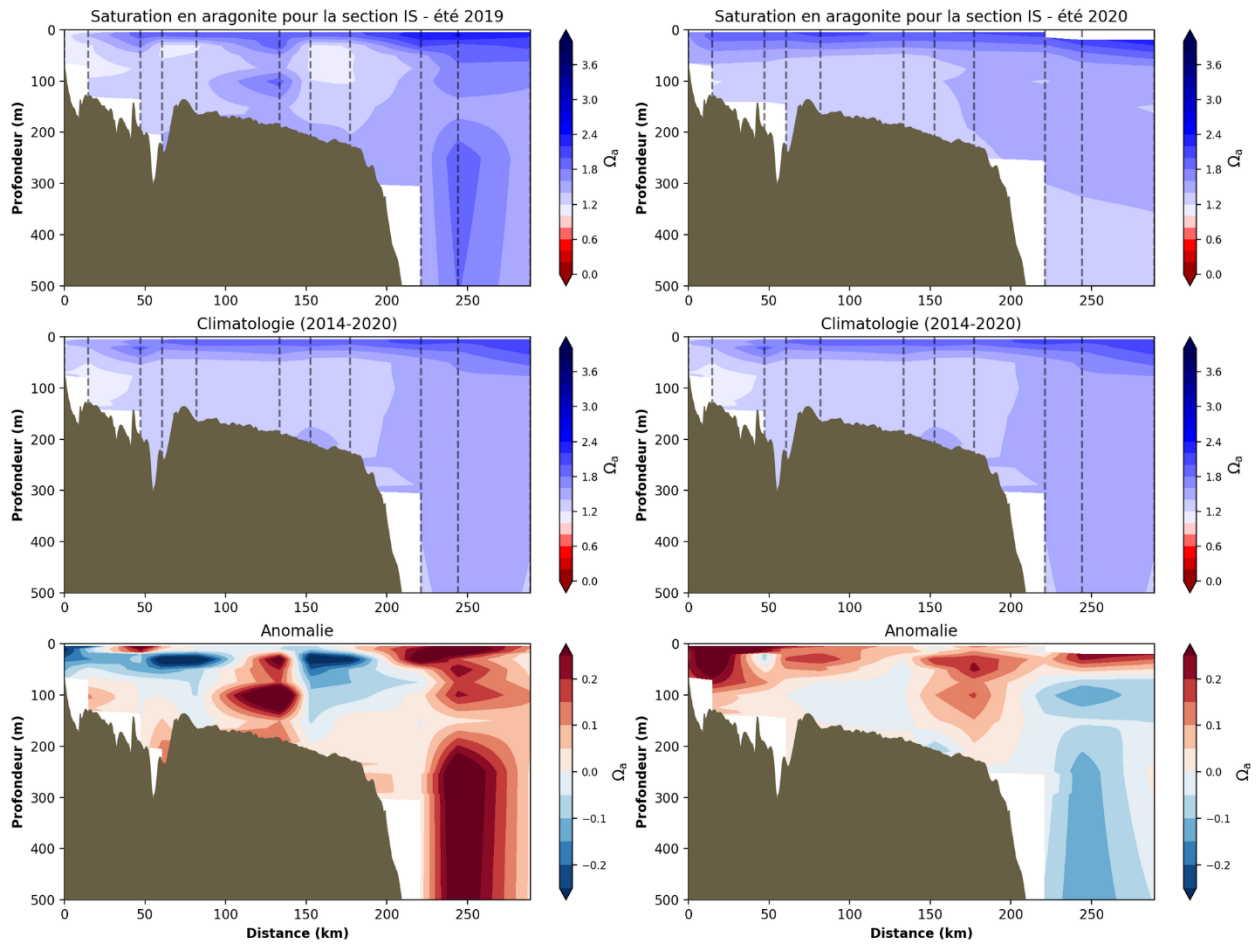


Figure 28 : Observations estivales (panneaux du haut), climatologie (panneaux du centre) et anomalies standardisées (panneaux du bas) de l'état de saturation en aragonite (Ω_a) le long de la section océanographique de l'Île Seal (IS) en 2019 et 2020. Les tons de bleu (rouge) indique des valeurs d' Ω_a inférieures (supérieures) aux moyennes climatologiques pour la période de référence 2014–20. Les lignes pointillées indiquent l'emplacement des stations d'échantillonnage et leur distance par rapport à la côte.

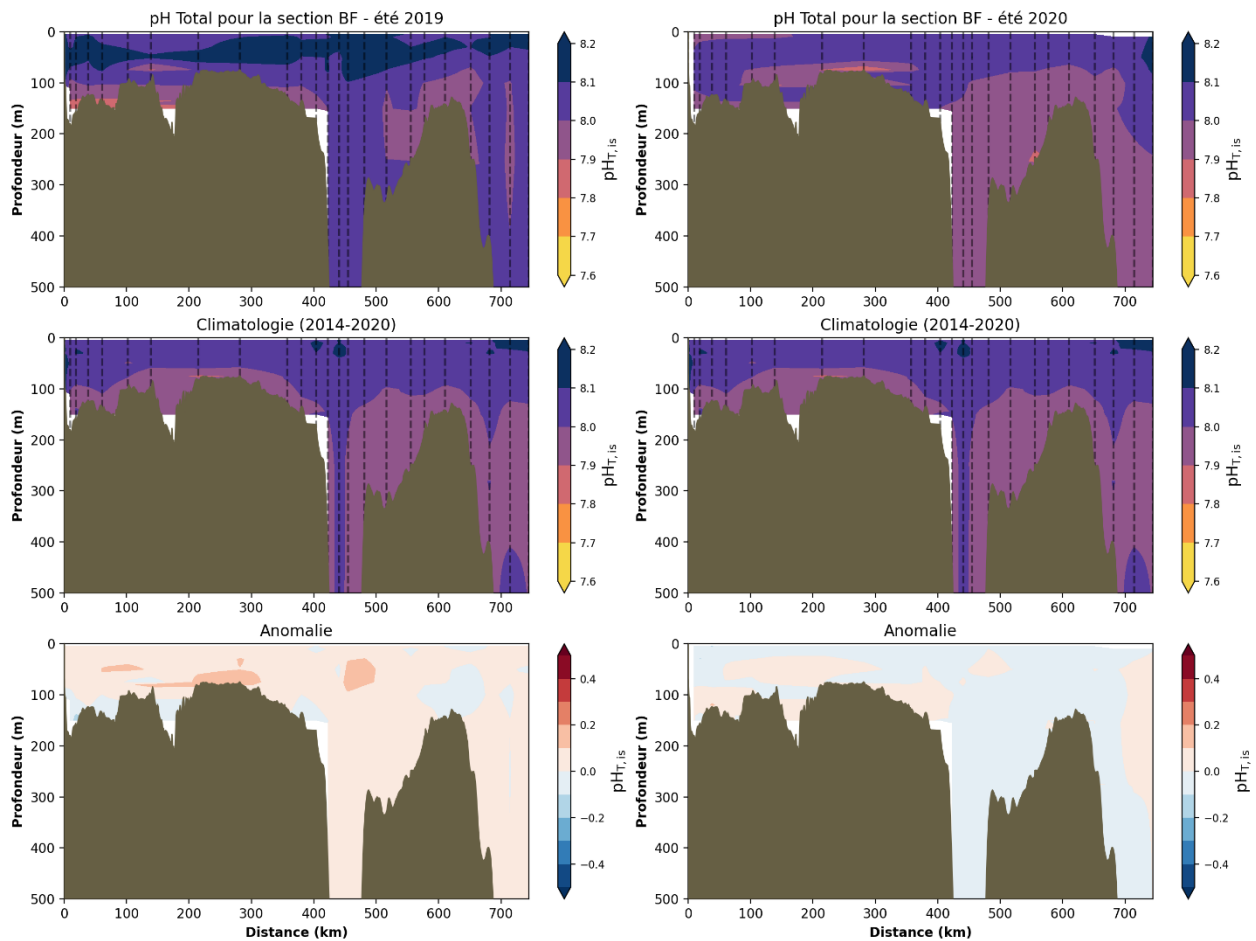


Figure 29 : Observations estivales (panneaux du haut), climatologie (panneaux du centre) et anomalies standardisées (panneaux du bas) de pH le long de la section océanographique du Bonnet Flamand (BF) en 2019 et 2020. Les tons de bleu (rouge) indique des valeurs de pH inférieures (supérieures) aux moyennes climatologiques pour la période de référence 2014–20. Les lignes pointillées indiquent l'emplacement des stations d'échantillonnage. Les numéros sur les abscisses indiquent la distance par rapport à la première station côtière de la section.

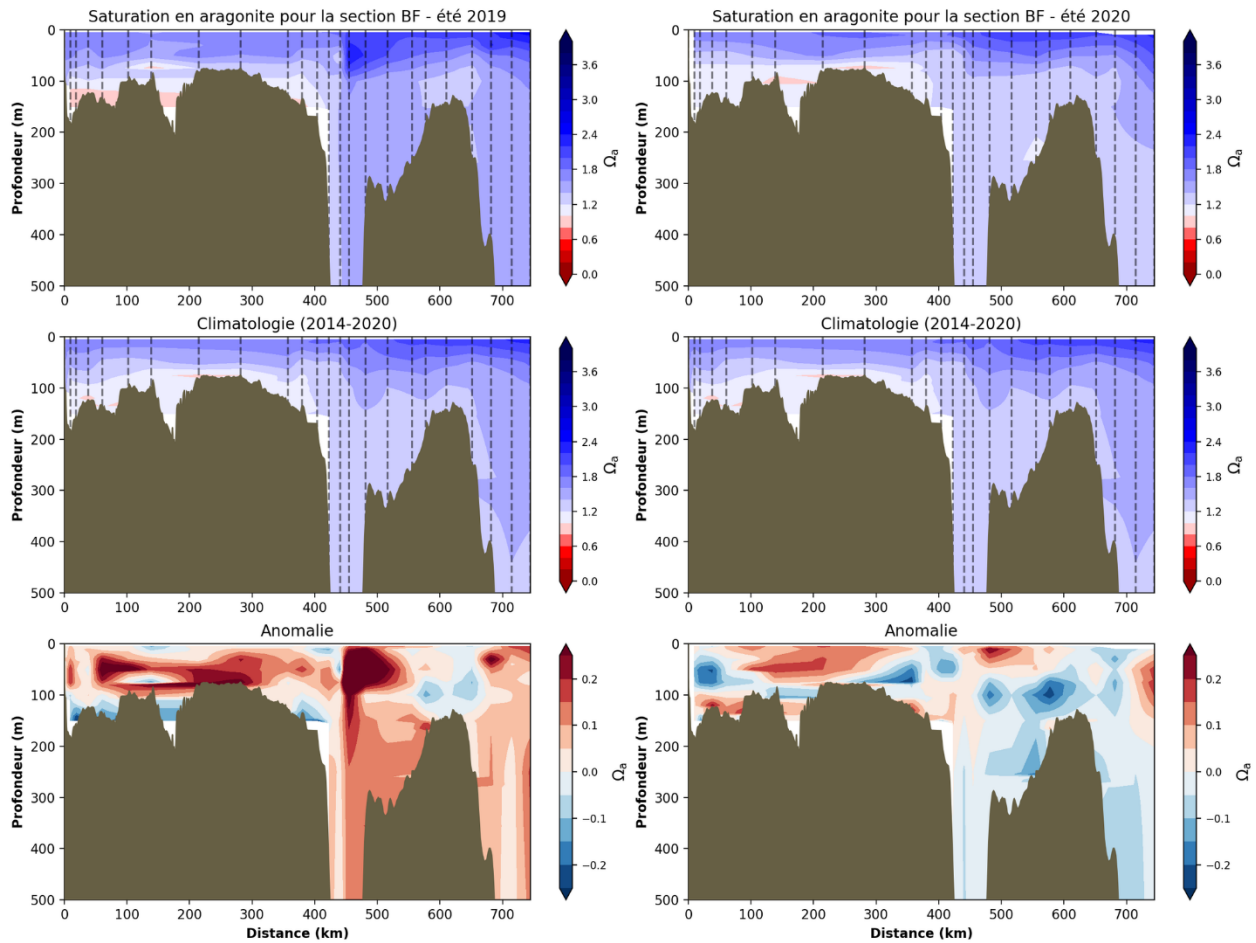


Figure 30 : Observations estivales (panneaux du haut), climatologie (panneaux du centre) et anomalies standardisées (panneaux du bas) de l'état de saturation en aragonite (Ω_a) le long de la section océanographique du Bonnet Flamand (BF) en 2019 et 2020. Les tons de bleu (rouge) indique des valeurs d' Ω_a inférieures (supérieures) aux moyennes climatologiques pour la période de référence 2014–20. Les lignes pointillées indiquent l'emplacement des stations d'échantillonnage. Les numéros sur les abscisses indiquent la distance par rapport à la première station côtière de la section.