



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS)

Document de recherche 2022/021

Région des Maritimes

Conditions océanographiques optiques, chimiques et biologiques dans la mer du Labrador entre 2014 et 2018

M. Ringuette, E. Devred, K. Azetsu-Scott, E. Head, S. Punshon, B. Casault, et S. Clay

Division des sciences des écosystèmes et des océans, Direction générale des sciences,
Pêches et Océans Canada,
Institut océanographique de Bedford
C.P. 1006,
1, promenade Challenger
Dartmouth (Nouvelle-Écosse) B2Y 4A2

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



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2022

ISSN 2292-4272

ISBN 978--0-660-42802-4 N° cat. Fs70-5/2022-021F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Ringuette, M., Devred, E., Azetsu-Scott, K., Head, E., Punshon, S., Casault, B., et Clay, S.
2022. Conditions océanographiques optiques, chimiques, et biologiques dans la mer du
Labrador entre 2014 et 2018. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2022/021.
v + 40 p.

Also available in English:

*Ringuette, M. Devred, E., Azetsu-Scott, K., Head, E., Punshon, S., Casault, B. and Clay, S.
2022. Optical, Chemical, and Biological Oceanographic Conditions in the Labrador Sea
between 2014 and 2018. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2022/021. v + 38 p.*

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	v
INTRODUCTION	1
SOURCES DE DONNÉES ET MÉTHODES D'ANALYSE	3
PRÉLÈVEMENT D'ÉCHANTILLONS <i>IN SITU</i>	3
Stations principales.....	3
Stations biologiques.....	4
MESURES DE VARIABLES DISCRÈTES ET COLLECTE DE DONNÉES.....	4
Gaz traces SF ₆ et CFC-12	4
Mesures du pH.....	4
Carbone inorganique dissous (TIC) et alcalinité totale (TA)	5
Mesures discrètes du pCO ₂	5
Température à la surface (de la surface à 100 m).....	5
Éléments nutritifs.....	6
Concentration de chlorophylle-a <i>in situ</i>	6
Concentration de chlorophylle-a obtenue par satellite	7
Mésozooplancton	7
Données des enregistreurs continus de plancton (CPR)	8
MÉTHODES DE CALCUL.....	9
Classification verticale.....	9
Tableaux de bord	9
Paramètres de la floraison printanière	10
Accès aux produits de données	11
RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	11
CARBONE INORGANIQUE TOTAL ET PH.....	11
GAZ TRACE - CFC-12 ET SF ₆	11
TEMPÉRATURE ENTRE 0 ET 100 M	12
ÉLÉMENTS NUTRITIFS	12
CONCENTRATION DE CHLOROPHYLLE-A <i>IN SITU</i>	13
INDICES DE LA FLORAISON PRINTANIÈRE DÉTERMINÉS PAR SATELLITE	13
MÉSOZOOPLANCTON	14
ENREGISTREUR CONTINU DE PLANCTON (CPR).....	15
Phytoplancton	15
Mésozooplancton	16
Macrozooplancton.....	16
Taxons sensibles aux acides	16
SOMMAIRE	17
REMERCIEMENTS	18
RÉFÉRENCES CITÉES	18

TABLEAUX	21
FIGURES	22
ANNEXE 1	37

RÉSUMÉ

Les caractéristiques chimiques et biologiques de la mer du Labrador et des plateaux adjacents ont subi des changements importants entre 2014 et 2018 par rapport aux années précédentes. Dans le cadre du Programme de monitoring de la zone Atlantique au large du plateau continental (PMZAO), on a observé une augmentation du carbone inorganique dissous et une baisse du pH; il s'agit d'une tendance qui remonte au début du programme, qui a été mis en œuvre au milieu des années 1990. Alors que la concentration moyenne de chlorofluorocarbone (CFC-12) dans la colonne d'eau est restée stable, la concentration d'hexafluorure de soufre (SF₆) augmente régulièrement depuis que nous avons commencé à la mesurer en 2011, ce qui reflète le passé atmosphérique de ces gaz. La température moyenne de la couche d'eau supérieure (de 0 à 100 m) est essentiellement inférieure à la normale depuis 2011, sauf pour le plateau du Labrador, où deux années plus chaudes que la normale ont été observées en 2015 et 2018. Les températures inférieures à la normale ont été associées à des concentrations d'éléments nutritifs supérieures à la normale dans la même couche. Le calendrier de la croisière, qui a tendance à devenir plus précoce que d'habitude en raison des contraintes liées aux dates de changement d'équipage, peut expliquer en partie ces résultats et souligne la nécessité d'avoir des dates cohérentes dans les expéditions en mer afin de supprimer les incertitudes liées au temps d'échantillonnage. Les nutriments profonds ont présenté des variations interannuelles jusqu'en 2014, et sont restés pour la plupart au-dessus de la moyenne jusqu'à aujourd'hui. Depuis 2014, les abondances du phytoplancton (indiquées par la concentration de chlorophylle-a) et du mésozooplancton sont restées inférieures à la moyenne de 1999 à 2010 dans les trois régions d'intérêt, soit le plateau du Labrador, le bassin central du Labrador et le plateau du Groenland. Le suivi du plancton au moyen du Continuous Plankton Recorder (CPR) est effectué dans l'Atlantique nord-ouest depuis le début des années 1960. En 2017 (les données les plus récentes disponibles), trois indicateurs de la biomasse du phytoplancton ont donné des valeurs élevées dans la région adjacente au plateau de Terre-Neuve (40 °O à 45 °O) comparativement aux années et décennies précédentes. C'était également le cas pour les abondances de six des sept taxons de mésozooplancton. Plus à l'est, l'un des indices de couleur du phytoplancton et six des sept taxons de mésozooplancton ont présenté des anomalies positives en 2017. L'abondance d'un taxon de macrozooplancton (les amphipodes hypéridés) a augmenté dans tout l'Atlantique Nord-Ouest durant toutes les décennies ou années échantillonnées tandis que celle d'un deuxième taxon (euphausiacés) a diminué. En 2017, les abondances de trois taxons sensibles aux acides étaient toutes supérieures à la moyenne de 1990 à 2009 dans l'ensemble du tourbillon subpolaire et sur le plateau de Terre-Neuve.

INTRODUCTION

La mer du Labrador est un bassin profond niché entre le Labrador et le Groenland. Elle est caractérisée par un régime de circulation cyclonique qui mélange les eaux de l'Arctique et de l'Atlantique Nord. Les courants de l'île de Baffin et du Labrador transportent les eaux de l'Arctique, froides et moins salées, vers le sud le long de la côte canadienne (Wang *et al.* 2016). Du côté est, le courant du Groenland occidental transporte des eaux plus chaudes et plus salées vers le nord, le long de la côte du Groenland, jusqu'à la baie de Baffin, où il rejoint le courant du Labrador (voir une description détaillée de la circulation dans la mer du Labrador dans les documents de Lozier *et al.* 2019 et de Yashayaev *et al.* 2017). À la fin de l'hiver, le refroidissement de la couche d'eau supérieure entraîne une augmentation de la densité à la surface, ce qui permet au mélange causé par le vent d'atteindre de plus grandes profondeurs (1 500 à 2 000 m) et de transporter des gaz atmosphériques vers des couches plus profondes de l'océan tout en pompant les éléments nutritifs des eaux profondes vers la surface. L'intensité de ce phénomène varie selon des facteurs environnementaux, comme le forçage atmosphérique, le ruissellement d'eau douce des glaciers adjacents, les précipitations, l'apport des eaux chaudes et salées de l'Atlantique Nord adjacent, et l'apport des eaux froides et douces de l'océan Arctique. À son tour, ce mélange avec les eaux profondes a une forte incidence sur le flux de chaleur, la stratification et, par conséquent, sur l'équilibre chimique et la productivité biologique de la mer du Labrador. Ainsi, les changements relatifs à l'environnement physique et chimique de la zone aphotique ont une incidence sur la composition de la communauté planctonique et les cycles annuels de production biologique, y compris sur les poissons et les organismes de niveaux trophiques supérieurs.

Les océans absorbent environ un quart du dioxyde de carbone (CO_2) rejeté par les activités humaines (Sabine *et al.* 2004), ce qui modifie la chimie des océans et, par conséquent, le système de carbonates marin. La mer du Labrador est dotée d'une bonne « pompe de solubilité », grâce à laquelle le CO_2 d'origine anthropique emprisonné dans l'atmosphère est transporté dans les fonds marins par des processus chimiques et physiques. La dissolution du CO_2 d'origine anthropique a fait baisser le pH des océans de 0,1 unité au cours des 200 dernières années, ce qui correspond à une augmentation de l'acidité de 30 % (Caldeira et Wickett 2003). Si les émissions mondiales de CO_2 demeurent à leur taux actuel, le pH des océans devrait baisser de 0,3 unité supplémentaire d'ici 2100. Les océans n'ont pas connu une diminution aussi rapide du pH (acidification des océans) ou une baisse d'une telle ampleur depuis au moins 20 millions d'années (Feely *et al.* 2004), ce qui soulève de graves préoccupations quant à la capacité d'adaptation des écosystèmes marins. Ce sont les organismes qui forment des coquilles et des squelettes à partir du carbonate de calcium (CaCO_3) qui ressentiront l'impact majeur de la baisse du pH, car l'acidification augmente la solubilité du CaCO_3 . Comme les coquilles et les squelettes de CaCO_3 sont naturellement plus solubles à des températures plus basses et à des pressions plus élevées, les écosystèmes des latitudes élevées et des eaux profondes, comme l'écosystème de la mer du Labrador, sont plus vulnérables au stress supplémentaire découlant de l'acidification des océans que ceux des latitudes intermédiaires. De plus, des changements environnementaux rapides, comme la réduction de l'étendue de la glace de mer et les cycles hydrologiques amplifiés, peuvent aggraver ces problèmes. On utilise des gaz inertes halogénés à l'état de trace d'origine anthropique qui se sont accumulés dans l'atmosphère, comme les chlorofluorocarbones (CFC) et l'hexafluorure de soufre (SF_6), pour étudier les processus de ventilation et de transport dans l'océan. Au cours des dernières décennies, on a utilisé ces gaz pour calculer la répartition des traceurs transitoires afin d'estimer le temps de déplacement des masses d'eau et du CO_2 d'origine anthropique dans l'eau (Haine et Hall 2002, Hall *et al.* 2002).

Depuis 1990, dans le cadre de l'Expérience sur la circulation océanique mondiale (WOCE), la Division des sciences de l'océan et des écosystèmes de l'Institut océanographique de Bedford (IOB) a occupé annuellement, habituellement au printemps, la section du transect AR7W (transect 7 ouest utilisé pour des observations hydrographiques répétées dans l'Atlantique) dans la mer du Labrador (figure 1). Peu de temps après sa création, le programme est devenu le Programme de monitoring de la zone Atlantique au large du plateau continental (PMZAO) de Pêches et Océans Canada (MPO). Ses objectifs sont les mêmes que les objectifs généraux de la Division des sciences de l'écosystème et de la mer (DSEM), soit : 1) caractériser et comprendre les causes de la variabilité océanique aux échelles saisonnière, interannuelle et interdécennale; 2) fournir des données adéquates pour suivre la santé de l'écosystème marin et appuyer la prise de décisions fondées sur des données scientifiques; 3) créer des bases de données historiques pour aborder les enjeux futurs. Ce programme contribue également à la composante internationale du Système mondial d'observation du climat (SMOC) et au volet sur la variabilité du climat (CLIVAR) du Programme mondial de recherche sur le climat (PMRC), et présente chaque année un sommaire environnemental à l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest (OPANO).

La section du transect AR7W s'étend sur environ 900 km dans les eaux de la limite sud de la mer du Labrador, depuis le plateau du Labrador (près de 53 °N) jusqu'au plateau du Groenland (près de 61 °N) (figure 1). Le relevé multidisciplinaire annuel du PMZAO visant la mer du Labrador consiste principalement à l'occupation du transect AR7W et aux activités de déploiement et de récupération des mouillages océanographiques et au déploiement de flotteurs Argo. Le moment idéal de l'expédition en mai permet de relever la diminution du signal de la convection hivernale profonde, floraison printanière et le début de la saison de productivité du phytoplancton, tout en évitant une éventuelle glace de mer sur le plateau du Labrador au début du printemps. La variabilité interannuelle de la floraison printanière rend son échantillonnage incertain. Au cours des dernières années, les dates des expéditions devançaient souvent celle des floraisons printanières (tableau 1; figure 2). Caractérisée par des mesures prises sur trois décennies, la série temporelle permet de dégager des tendances décennales de toutes les variables clés de l'écosystème (la température, l'abondance et la biomasse du plancton).

Dans le bassin du Labrador, la lumière limite la production primaire de plancton pendant la majeure partie de l'année (Harrison et Li 2008, Fragoso *et al.* 2016), alors que sur le plateau du Labrador, ce sont la couche mixte peu profonde et la concentration de nitrate relativement faible qui limitent la croissance du phytoplancton. La croissance du phytoplancton semblait également limitée par la disponibilité du silicate dans le bassin central du Labrador (Harrison et Li 2008). Ces conditions facilitent l'émergence de petits flagellés comme le *Phaeocystis pouchetii* dans le nord et l'est de la mer du Labrador, qui peuvent former des floraisons massives lorsque les conditions sont favorables (Fragoso *et al.* 2016). Le plateau du Labrador, sous l'influence des eaux de l'Arctique, est dominé par des espèces de diatomées polaires (*Thalassiosira* spp. et *Bacteriosira bathyomphala*) et des espèces associées à la glace de mer (*Porosira glacialis* et *Fossula arctica*). Les régimes de production primaire et les caractéristiques à mésoéchelle ont une incidence sur la répartition et l'abondance du mésozooplancton (Yebera *et al.* 2009). Une espèce de copépode, *Calanus finmarchicus*, domine la biomasse du mésozooplancton dans toute la région centrale de la mer du Labrador, tandis que sur les plateaux, deux espèces arctiques de *Calanus*, *C. glacialis* et *C. hyperboreus*, sont tout aussi importantes (Head *et al.* 2003). L'abondance de *C. finmarchicus* présente des variations régionales qui sont généralement constantes d'une année à l'autre et qui sont liées à des différences concernant le moment des événements du cycle vital qui dépendent des conditions environnementales, y compris la dynamique de la floraison printanière.

Ce rapport décrit l'état biogéochimique de la mer du Labrador de 2014 à 2018. Les données présentées dans le présent rapport proviennent de différentes sources : 1) les relevés annuels effectués sur des périodes de deux semaines, entre le début du mois de mai et le début du mois d'août; 2) la télédétection par satellite des observations quotidiennes de la couleur de l'océan, compilées en moyennes spatiales semi-mensuelles; 3) le relevé des enregistreurs continus de plancton (CPR), qui permet de recueillir des échantillons mensuels le long des routes de navigation commerciale à partir desquels on calcule ensuite une moyenne spatiale.

SOURCES DE DONNÉES ET MÉTHODES D'ANALYSE

La section suivante décrit les sources de données et les méthodes d'échantillonnage utilisées pour l'estimation des variables et des indices biogéochimiques présentés dans le présent rapport.

PRÉLÈVEMENT D'ÉCHANTILLONS *IN SITU*

Stations principales

Les stations principales demeurent la priorité du programme afin que l'on puisse assurer la cohérence géographique au fil du temps lors de la présentation des données. L'échantillonnage vise principalement à obtenir une série complète de mesures à certains emplacements, depuis la surface jusqu'au fond, pour permettre la caractérisation des propriétés physiques et chimiques de toute la colonne d'eau, et les propriétés biologiques dans les couches supérieures. Le système CTP-Rosette servant à prendre des mesures et à prélever des échantillons d'eau est composé de vingt-quatre bouteilles Niskin de 12 L et d'un ensemble de capteurs doubles mesurant la température, la salinité et l'oxygène, ainsi que des capteurs supplémentaires visant à mesurer la fluorescence, le pH, l'atténuation de la lumière, le rayonnement photosynthétiquement actif (PAR), l'absorption par la matière organique dissoute colorée (CDOM) et la vitesse des courants (LADCP). On prélève des échantillons d'eau dans les 150 m sous la surface, à des profondeurs de 5 m, 25 m, 50 m, 100 m et 150 m, pour mesurer les gaz transitoires (CFC et SF₆), l'oxygène, la pression partielle du dioxyde de carbone (pCO₂), le carbone inorganique total, l'alcalinité, le pH, les éléments nutritifs, la salinité, la chlorophylle-a et la concentration des pigments accessoires du phytoplancton. Lorsque le système CTP-Rosette est à bord, on effectue la collecte de l'eau des bouteilles Niskin comme indiqué précédemment (c.-à-d., les gaz en premier et le phytoplancton en dernier) afin de réduire la perte de traceurs transitoires et d'autres gaz pendant l'échantillonnage. Toutes les variables ont été échantillonnées et analysées conformément aux protocoles du Groupe mondial d'études hydrographiques de l'océan à partir de navires (GO-SHIP) (Hood *et al.* 2010, Mitchell *et al.* 2002). En plus de l'échantillonnage de l'eau des bouteilles Niskin, le mésozooplancton est collecté dans des filets verticaux dans les 100 m supérieurs à l'aide d'un filet conique de 0,75 m de diamètre avec un vide de maille de 200 µm et d'un filet conique de 0,5 m de diamètre avec un vide de maille de 76 µm. Yashayaev *et al.* (2020) donnent Une description détaillée du traitement des données océanographiques physiques sont présenté dans Yashayaev *et al.* (2020).

Lorsque le temps le permet, des stations supplémentaires sont ajoutées entre les stations principales afin d'augmenter la résolution spatiale de l'échantillonnage. Toutefois, à ces stations, on enregistre seulement les mesures des capteurs situés sur le système de CTP-Rosette. On ne prélève pas d'échantillon d'eau, à moins que des programmes autres que le programme de base en aient fait la demande. À ces stations, le système de CTP-Rosette est descendu jusqu'au fond de l'eau afin de décrire toute la colonne d'eau. Le présent rapport ne contient que les données recueillies aux stations principales et biologiques.

Stations biologiques

L'objectif de ces stations est d'augmenter la résolution verticale par rapport aux stations centrales et de réaliser des expériences d'absorption de ^{14}C par Photosynthèse-Irradiance (P-I) avec des échantillons de phytoplancton (eau). Dans le cadre de ces expériences, on incube 33 aliquotes de phytoplancton provenant de deux profondeurs (en surface et près du maximum de chlorophylle-a) avec du ^{14}C -bicarbonate à des températures *in situ* et à 30 niveaux d'intensité lumineuse (+ 3 bouteilles sans lumière) pendant environ 3 heures. Les mesures P-I sont utilisées pour estimer la production primaire selon la méthode décrite par Platt et Jassby (1976). L'emplacement réel des stations biologiques n'est pas déterminant, de sorte que le navire s'arrête au milieu de la matinée, quel que soit notre trajet d'une station à l'autre, afin que l'on puisse commencer les incubations vers midi, heure locale, pour assurer la cohérence de la méthode. Étant donné que les stations biologiques sont axées sur les couches supérieures de la colonne d'eau, le capteur de conductivité, de température et de profondeur (CTP) n'est abaissé qu'à 200 m, ce qui donne une meilleure résolution verticale pour tous les paramètres biogéochimiques. Les bouteilles sont fermées à 2 m, 10 m, 20 m, 30 m, 40 m, 50 m, 60 m, 80 m, 100 m et 150 m, et une bouteille supplémentaire est fermée à la profondeur du maximum de chlorophylle-a, tel que révélé par le capteur de fluorescence *in situ*. Au total, on échantillonne sept stations biologiques, réparties le long du transect AR7W : deux sur le plateau du Labrador, trois dans le bassin central du Labrador et deux sur le plateau du Groenland.

MESURES DE VARIABLES DISCRÈTES ET COLLECTE DE DONNÉES

Gaz traces SF_6 et CFC-12

Avant l'analyse, on a prélevé des échantillons d'eau de mer provenant de la rosette directement dans des seringues en verre de 250 mL et on les a conservés à environ 4 °C dans un incubateur à basse température pendant une période maximale de 12 heures. Immédiatement avant l'analyse, on réchauffe les échantillons à environ 20 °C dans un bain-marie puis injectés dans la cuve de purge d'un système de purge et de piégeage sur mesure qui permet d'extraire les gaz dissous de l'échantillon grâce à un jet d'azote extrêmement pur à un débit de 140 mL par minute. Le SF_6 et le CFC-12 ont été conservés quantitativement dans un piège composé de 30 cm de tubes en acier inoxydable de 1/16 po contenant un filtre en Carboxen 1000 caractérisé par un maillage de 100 à 120, maintenu à -70 °C sur de l'azote liquide. Après chaque cycle de purge de 7 minutes, le piège a été chauffé à 180 °C grâce à un courant électrique à basse tension et les gaz désorbés ont été envoyés dans un chromatographe en phase gazeuse Varian muni d'un détecteur à capture d'électrons. Le SF_6 et le CFC-12 ont été séparés sur une précolonne d'un mètre remplie de Porasil B et une colonne principale de trois mètres contenant un tamis moléculaire 5A, maintenue isothermiquement à 100 °C. La durée totale de l'analyse était de 11,5 minutes. Les pics des échantillons chromatographiques ont été quantifiés à l'aide du logiciel Varian Galaxie et le système d'analyse a été étalonné au moins une fois par jour à l'aide d'un étalon d'air fourni par le Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory de la National Oceanic and Atmospheric Administration (CMDL/NOAA), Boulder, Colorado. La précision analytique, déterminée par des injections répétées d'un étalon, est d'environ 2 % pour le SF_6 et de 0,7 % pour le CFC-12.

Mesures du pH

Le pH de l'eau de mer a été analysé selon la procédure opérationnelle normalisée de spectrophotométrie 6b (PON 6b) décrite dans le *Guide to best practices for ocean CO_2 measurements* (guide des pratiques exemplaires pour la mesure du CO_2 océanique) (Dickson *et al.* 2007). On a prélevé de l'eau de la rosette dans des tubes en verre borosilicaté de 60 mL,

ce qui a permis à chaque échantillon de déborder d'au moins un volume. On a conservé les échantillons dans un incubateur à basse température à 4 °C avant l'analyse. La durée maximale entre l'échantillonnage et l'analyse est d'environ 4 heures. On a ensuite plongé les tubes placés sur des râteliers dans un bain-marie à 25 °C et on les laisse s'équilibrer thermiquement pendant 30 minutes. Puis, on a introduit chaque échantillon dans une cellule de quartz de 10 cm à chemise d'eau et on a ajouté 30 µL du colorant indicateur violet de m-crésol purifié avant de bien mélanger. On a mesuré l'absorbance de la lumière aux longueurs d'onde de 434 et de 578 nm à l'aide d'un spectrophotomètre à matrice de photodiodes Agilent et on a utilisé les coefficients d'extinction obtenus à ces longueurs d'onde pour déterminer le pH de l'échantillon. On a suivi la performance du spectrophotomètre grâce à des mesures quotidiennes d'une solution tampon de trisaminométhane (Tris) dont on connaît le pH.

Carbone inorganique dissous (TIC) et alcalinité totale (TA)

Des échantillons d'eau de mer ont été prélevés dans des bouteilles en verre borosilicaté de 500 mL et conservés avec du chlorure de mercure selon la méthode décrite dans le *Guide to best practices for ocean CO₂ measurements* (Dickson *et al.* 2007). Par la suite, on a déterminé le carbone inorganique total par extraction de gaz et titrage coulométrique avec une détection photométrique du point final (Johnson *et al.* 1987). On a mesuré l'alcalinité totale grâce à un titrage potentiométrique à cellules ouvertes associé à une détermination par graphe complet de Gran au moyen d'un Titrando Dosimat et du logiciel Tiamo, combinés à un système de distribution des échantillons construit à l'interne. On a analysé le matériau de référence certifié (fourni par le professeur Andrew Dickson, Scripps Institution of Oceanography, San Diego, États-Unis) deux fois, à intervalles réguliers, afin de vérifier l'exactitude de l'étalonnage.

Mesures discrètes du pCO₂

Les échantillons d'eau pour les mesures de pCO₂ ont été prélevés de la rosette (après l'oxygène dissous) dans des flacons à sertir d'un volume de 160 mL, en laissant chaque flacon d'échantillon déborder d'environ 3 volumes avant de le conserver immédiatement avec 50 µL de solution saturée de chlorure mercurique et de le sertir avec des septums en caoutchouc butyle. On a conservé les échantillons à une température de 4 °C, puis on les a analysés au laboratoire chimique de l'IOB au retour de l'expédition. On a prélevé des échantillons de surface à chaque station pendant toute l'expédition ainsi que deux profils sur toute la profondeur aux stations 17 et 18 du transect AR7W. On a ensuite déterminé la pCO₂ par chromatographie en phase gazeuse de l'équilibre de l'espace de tête avec détection à ionisation de flamme, selon la méthode décrite dans le document de Neill *et al.* (1997).

Température à la surface (de la surface à 100 m)

Les profils CTD (Conductivity, Temperature, Profondeur) sont recueillis entre la surface et la zone située près du fond (souvent à plusieurs milliers de mètres de profondeur). Cependant, dans la présente section, nous ne présentons que les températures recueillies dans la plage de profondeurs de 0 à 100 m, qui sont les plus pertinentes pour notre échantillonnage biologique (voir une description détaillée de l'hydrographie sur toute la profondeur dans le document de Yashayaev *et al.* 2020). Les profils CTD sont regroupés à une résolution de 1 m et la moyenne arithmétique est calculée pour fournir les valeurs uniques de température pour la couche 0–100 m. Les premiers mètres des profils descendant ne sont généralement pas enregistrés, en raison de la nécessité d'une période d'acclimatation sous-marine pour les capteurs en profondeur, qui est effectuée en premier. Après cette période, on ramène l'instrument le plus près possible de la surface, mais, en partie à cause des mouvements du navire, les capteurs n'atteignent pas la profondeur théorique de 0 m. On obtient les valeurs en surface par

extrapolation linéaire des températures aux deux profondeurs les plus proches de la surface, puis on inclut cette valeur dans la température moyenne.

Éléments nutritifs

Les mesures des éléments nutritifs ont été effectuées à l'aide d'un analyseur automatique de débit continu AutoAnalyzer 3 (AA3) de SEAL; les concentrations sont exprimées en micromoles par litre. On a modifié les méthodes d'analyse par rapport aux méthodes utilisées par le passé, soit Technicon II : Technicon for Seawater Analysis (méthode n° 186 72W pour les silicates, méthode n° 155 71W pour les phosphates, méthode n° 158 71W pour les nitrates/nitrites) (Kérouel et Aminot 1997) afin de conserver la compatibilité avec les méthodes décrites dans la section sur les éléments nutritifs du manuel *The GO-SHIP Repeat Hydrography Manual* (Becker *et al.* 2019). On a prélevé des échantillons d'éléments nutritifs en double directement depuis la rosette, sans utiliser de tube, directement dans des tubes de 10 mL; les techniciens portaient des gants en vinyle pour éviter la contamination. Les échantillons ont été conservés à 4 °C et analysés dans les 12 heures. éléments nutritifs inorganiques dissous sont analysé : nitrate plus nitrite ($\text{NO}_3 + \text{NO}_2$), nitrite (NO_2), phosphate (PO_4), silicate (SiO_4) et ammonium (NH_4).

L'instrument est étalonné à chaque analyse, à l'aide d'une courbe d'étalonnage en six points déterminée à partir de solutions préfabriquées diluées avec de l'eau de mer artificielle de la même salinité que les échantillons, réparties sur la plage de concentrations de chaque élément nutritif. Ensuite, on a mené une analyse des étalons de dérive et d'échantillons témoins pour déterminer les limites de détection de la méthode. On a réévalué la base de référence pour tous les 12 échantillons en double (c.-à-d. tous les 6 échantillons). On a surveillé le pH du tampon d'imidazole afin de garantir des pH optimaux pour les analyses de nitrate et de nitrite, et on l'a ajusté au besoin à l'aide d'acide chlorhydrique, améliorant ainsi la durée de vie et la stabilité de la colonne de réduction du cadmium. En fin de compte, on a pu réduire les problèmes de dérive observés entre les analyses par le passé.

On a validé la qualité de ces analyses en analysant un matériau de référence certifié pour les éléments nutritifs, produit par l'entreprise KANSO Co. Ltd., au Japon. Il n'existe pas de matériau de référence pour l'ammonium dans l'eau de mer, mais on a suivi les valeurs du matériau de référence certifié par souci d'uniformité. En plus de la validation externe du contrôle de la qualité, l'utilisation d'un échantillon témoin (suivi) composé de deux litres d'eau recueillis près du fond (à une profondeur d'environ 500 m) du chenal Laurentien dans le golfe du Saint-Laurent (LC_01/station de transit) et conservé avec du chlorure de mercure (200 μL) a permis de procéder à une validation interne. On a mesuré les aliquotes de cet échantillon à plusieurs reprises pendant les analyses tout au long de l'expédition et on a normalisé les résultats à la fin de celle-ci. On a ajusté les résultats de chaque analyse selon le rapport de la valeur pour la validation interne de l'analyse en question et de la valeur moyenne pour l'ensemble de l'expédition.

Concentration de chlorophylle-a *in situ*

La biomasse du phytoplancton est représentée par la concentration de son pigment principal, la chlorophylle-a, mesurée à l'aide d'un fluorimètre Turner (Yentsch et Menzel 1963). Des détails du protocole et de la méthode se trouvent dans le document de Mitchell *et al.* (2002). En bref, deux aliquotes de 100 mL d'eau de mer ont été prélevés à chaque profondeur d'échantillonnage et filtrés à vide sur des filtres en fibre de verre GF/F de 25 mm. On a immédiatement déposé ces filtres dans des flacons à scintillation séparés contenant 10 mL d'acétone à 90 %, qui ont été conservés à -20 °C pendant au moins 24 heures pour assurer l'extraction de tous les pigments de la chlorophylle-a. Après la période d'extraction, les aliquotes ont été réchauffées à température ambiante et transférées dans des cuves de fluorimètre (tubes à essai en verre).

Les extraits ont été exposés à la lumière bleue (longueurs d'onde d'excitation) du fluorimètre, ce qui fait en sorte qu'ils émettent de la lumière rouge. Cette lumière rouge est détectée et quantifiée par un photomultiplicateur (Holm-Hansen *et al.* 1965). Les chloropigments autres que la chlorophylle-a (p. ex., chlorophylle-b, chlorophylle-c1, -c2 et -c3) peuvent contribuer au signal global de fluorescence, mais leur contribution est généralement mineure. Des produits de la dégradation de la chlorophylle-a (phéopigments de type a associés au phytoplancton sénescant ou aux pelotes fécales de zooplancton) peuvent parfois être présents dans un échantillon et contribuer au signal fluorescent. Pour tenir compte de leur contribution, après la première mesure de fluorescence, on a acidifié les échantillons, ce qui a converti la chlorophylle-a en phéophytine-a. On a ensuite appliqué un facteur de conversion pour calculer les concentrations de chlorophylle-a et des phéopigments de type a (Welschmeyer 1994).

Concentration de chlorophylle-a obtenue par satellite

En plus des mesures *in situ*, les concentrations de chlorophylle-a ont été calculées à partir de la couleur de l'océan observée par satellite. Ce mode d'observation fournit des renseignements sur la biomasse du phytoplancton à des échelles synoptiques et à une fréquence quotidienne (lorsque le ciel est dégagé). Ces données obtenues par satellite viennent compléter les observations *in situ* parce qu'elles fournissent le contexte des expéditions en mer, y compris une série de paramètres visant à caractériser la floraison printanière du phytoplancton (voir la section 4.12). Les données satellitaires présentées dans ce document ont été extraites à l'aide du spectroradiomètre imageur à résolution moyenne (MODIS) sur la plateforme Aqua lancée par la National Aeronautic Space Administration (NASA) en 2002. La NASA a lancé plusieurs satellites depuis 1998, mais dans le présent rapport, nous présentons uniquement les données du capteur MODIS afin d'avoir une série chronologique cohérente et adapter au climat sur les concentrations de chlorophylle-a, sans problème d'étalonnage entre les satellites. Le MODIS est le satellite offrant la plus longue série chronologique continue; la première année complète de données est 2003 et il est toujours en service.

Pour le présent rapport, nous avons téléchargé des données mondiales quotidiennes de niveau 3 à une résolution de 4 km provenant du [Ocean Biology Processing Group de la NASA](#) (groupe de traitement de la biologie océanique de la NASA), puis nous avons extrait les données relatives aux trois régions d'intérêt : le plateau du Labrador (-55,7 °E à -53,7 °E et 53,6 °N à 55,5 °N), le bassin central (-53,7 °E à -48,8 °E et 55,5 °N à 60,1 °N) et le plateau du Groenland (-48,8 °E à -48,1 °E et 60,1 °N à 60,7 °N) (figure 1). Nous avons calculé la concentration de chlorophylle-a à l'aide d'un algorithme utilisant un rapport de bandes (OC3M), modifié pour corriger un biais connu à une faible concentration de chlorophylle-a (< 0,15 mg m⁻³, [OceanColor Web](#) [en anglais seulement]). Toutes les données sont stockées à l'IOB sur un serveur FTP et sont à la disposition du public sur demande présentée par courriel, à l'adresse emmanuel.devred@dfo-mpo.gc.ca.

Mésozooplancton

Le mésozooplancton a été collecté dans des filets tirés verticalement dans les 100 m supérieurs de la colonne d'eau, où l'on trouve 95% de la biomasse au printemps-été (Astthorsson et Gislason 2003), à l'aide d'un filet conique de 0,75 m de diamètre équipé d'une maille de 200 µm et d'un filet conique de 0,5 m de diamètre équipé d'une maille de 76 µm. Le cul de chalut était attaché par une pince à un câble d'acier lesté et la bride de remorquage était attachée à une arbalète montée sur le fil, à une hauteur au-dessus du cul de chalut telle que le filet était maintenu verticalement. Grâce à cette configuration, le zooplancton n'est recueilli que lorsque le filet est remonté. La vitesse de remorquage est d'environ 0,5 m s⁻¹. On a présumé que le volume d'eau échantillonné correspondait au volume du cylindre échantillonné par le filet,

jusqu'en 2010, lorsqu'on a commencé à mesurer les volumes filtrés à l'aide d'un débitmètre de Danemark KC. Le débitmètre était équipé d'une contre-goupille visant à empêcher l'hélice de tourner pendant la descente du filet, de sorte qu'il ne mesure le débit que pendant la remontée. Les échantillons ont été conservés dans une solution de formaline à 2 %. Dans le cas de *C. finmarchicus*, de *C. hyperboreus* et de *C. glacialis*, on a identifié et dénombré les spécimens selon les espèces et le stade du cycle vital. À chaque station, on a calculé les distributions des fréquences des tailles selon le stade, et ce, pour tous les stades. Les autres taxons ont été identifiés à l'échelle de l'espèce (parfois jusqu'au stade), du genre ou du groupe, selon leur abondance dans les échantillons. On a considéré que les abondances étaient importantes lorsqu'au moins 300 organismes et au moins 200 *Calanus* spp. avaient été dénombrés pour permettre l'évaluation de la structure de la communauté et de la croissance/le développement de la population de *Calanus*, respectivement.

Données des enregistreurs continus de plancton (CPR)

Un enregistreur continu de plancton (CPR) est un instrument remorqué par des navires commerciaux qui recueille le plancton à une profondeur d'environ 7 m à l'aide d'un long ruban de soie continu (maillage d'environ 260 µm). La position sur la soie, ainsi que les données sur le moment et la position du déploiement de l'enregistreur, fournissent des renseignements sur l'emplacement de l'échantillon. On a analysé les données CPR pour détecter les changements dans les indices de la concentration du phytoplancton (couleur et abondance numérique relative) et de l'abondance relative du zooplancton pour différents mois, années ou décennies. Ces indices ont révélé des changements relatifs de la concentration (Richardson *et al.* 2006). Les méthodes d'échantillonnage sont demeurées identiques depuis les premiers relevés menés dans l'Atlantique Nord-Ouest (début des années 1960) jusqu'à aujourd'hui, de sorte qu'il est possible de faire des comparaisons valides entre des mois, des années et des décennies. Les données des enregistreurs continus de plancton recueillies de janvier à décembre pendant une année donnée sont mises à la disposition des archives du MPO deux ans plus tard (en janvier de cette année-là).

Les trajets de remorquage entre Reykjavik et le Golfe du Maine ont été divisés en huit régions : l'ouest du plateau néo-écossais, l'est du plateau néo-écossais, le sud du plateau de Terre-Neuve, le plateau de Terre-Neuve et quatre régions du tourbillon subpolaire dans l'Atlantique Nord-Ouest, divisées en cellules de 5 degrés de longitude (figure 3). Dans le présent rapport, on donne une comparaison à grande échelle des données CPR recueillies dans toutes les régions et toutes les décennies d'échantillonnage. Des analyses plus détaillées des régions du plateau néo-écossais et du plateau de Terre-Neuve sont présentées dans les rapports annuels du PMZA des régions des Maritimes et de Terre-Neuve-et-Labrador.

On a calculé les abondances moyennes mensuelles ($\log_{10}[N+1]$) transformées pour tous les indices (15 taxons), sauf l'indice de couleur du phytoplancton, en faisant la moyenne des valeurs pour tous les échantillons individuels prélevés dans chaque région, pour chaque mois et chaque année. On a également calculé la moyenne de ces abondances moyennes mensuelles régionales par mois pour les échantillons prélevés au cours de chaque décennie avant 2009 (1960 à 1969, 1970 à 1979, 1980 à 1989, 1990 à 1999 et 2000 à 2009) afin de fournir des abondances mensuelles décennales. On a ensuite calculé la moyenne de ces dernières sur chaque décennie pour obtenir les abondances moyennes annuelles décennales. Pendant les années 1980, l'échantillonnage était trop rare pour que l'on puisse calculer les abondances moyennes annuelles décennales, sauf pour les trois régions situées entre 30° O et 45° O, bien que ces régions n'aient pas non plus été échantillonnées en janvier et décembre. On a utilisé les moyennes des valeurs mensuelles des années 1970 et 1990 pour combler ces mois manquants, afin de pouvoir calculer les abondances moyennes annuelles décennales pour

toutes les décennies. Les moyennes des abondances annuelles-moyennes décennales sur les quatre ou cinq décennies d'échantillonnage représentent les abondances annuelles climatologiques. Les abondances moyennes annuelles sur quatre ans ont été calculées pour 2010 à 2016, à l'aide des moyennes mensuelles, et les abondances moyennes annuelles ont été calculées pour 2017, dans la mesure du possible. Dans la présente analyse, les moyennes annuelles pour des années individuelles n'ont été calculées que si l'échantillonnage a eu lieu pendant plus de 8 mois, sans écart de plus de 2 mois consécutifs (interpolation linéaire pour combler les mois manquants). Ces critères ont été respectés dans sept des huit régions en 2017; aucune abondance moyenne annuelle n'a pu être calculée pour la région du sud du plateau de Terre-Neuve.

On a calculé les anomalies de l'abondance normalisées pour les abondances moyennes décennales (1960, 1970, 1980, 1990, 2000), sur sept ans (2010 à 2016) et annuelles (2017), en soustrayant les abondances annuelles moyennes climatologiques pour chaque période et en divisant par les écarts-types calculés pour les abondances moyennes annuelles disponibles pour les différentes années entre 1992 et 2009. Grâce à la bonne couverture de l'échantillonnage durant cette période, on a pu calculer les moyennes annuelles pour 13 à 15 années sur 18 dans toutes les régions. L'hypothèse sous-jacente de cette approche pour le calcul des anomalies de l'abondance normalisées était que la variabilité interannuelle est semblable pour toutes les décennies.

MÉTHODES DE CALCUL

Classification verticale

On a calculé la moyenne de toutes les températures, de tous les éléments nutritifs et de toutes les concentrations de chlorophylle-a sur certaines plages de profondeurs données : de 0 à 100 m pour la chlorophylle-a, de 0 à 100 m pour les éléments nutritifs en surface et de la première profondeur sous 100 m jusqu'au fond pour les éléments nutritifs en profondeur. On a préféré utiliser la moyenne de ces propriétés plutôt que l'intégration afin d'éviter la dominance des grands nombres des éléments nutritifs en profondeur, puisqu'ils sont présents à des profondeurs allant jusqu'à 3 000 m. Les valeurs du zooplancton correspondent aux abondances intégrées dans la colonne d'eau (0 à 100 m), la collecte ayant été effectuée à l'aide de traits de filet vertical (voir la section 4.9).

Tableaux de bord

Les anomalies annuelles ont été calculées comme l'écart d'une année donnée par rapport à la moyenne des estimations annuelles sur une période de référence (1999 à 2010), et exprimées en unités absolues ou en quantités normalisées (c.-à-d. en les divisant par l'écart-type des estimations annuelles sur la même période).

On a calculé les tableaux de bord pour la température, les éléments nutritifs à la surface (de 0 à 100 m) et en profondeur (de plus de 100 m jusqu'au fond), la concentration de chlorophylle-a et l'abondance du mésozooplancton, pour chaque région, en soustrayant la moyenne de référence pour cette région (c.-à-d., la moyenne entre 1999 et 2010 pour toutes les variables, sauf de 2003 à 2010 pour les paramètres mesurés par satellite) de la valeur pour une année donnée (c.-à-d., la moyenne annuelle) et en divisant par l'écart-type pour la méthode de référence :

$$A_y = (M_y - M_r) / (\sigma_r)$$

où A_y est l'anomalie pour une propriété donnée, une année donnée (y) et une région donnée, M_y est la moyenne annuelle, M_r est la moyenne de la période de référence et σ_r est l'écart-type pour la période de référence. Cette méthode a été choisie parce qu'elle produit de bonnes

estimations des anomalies et des tendances pour les données présentant des gradients et des écarts importants (Jones et Hulme 1996).

Paramètres de la floraison printanière

On a calculé la moyenne arithmétique, la médiane et l'écart-type de la concentration de chlorophylle-a pour chaque image L3 quotidienne, et ce, pour les trois régions d'intérêt. Ces statistiques de base ont été calculées à partir de données brutes sans aucune transformation. Bien que plusieurs méthodes aient été élaborées pour caractériser la floraison printanière, on a privilégié l'approche de la fonction gaussienne décalée (Zhai *et al.* 2011) en raison de sa capacité à traiter les données manquantes; c'était également celle qui a fourni la plus forte proportion d'ajustements réussis comparativement à d'autres méthodes comme le seuil ou le taux de changement¹. Les indices de la floraison ont été calculés à l'aide d'une version modifiée du modèle décrit dans Zhai *et al.* (2011). Dans ce modèle, on applique une fonction gaussienne décalée à la série chronologique quotidienne pour chaque année afin d'extraire quatre paramètres qui décrivent le début, la durée, l'ampleur (superficie sous la courbe gaussienne) et l'amplitude de la floraison (concentration maximale de chlorophylle-a moins la valeur de fond). Le temps était exprimé en jours, appelé jour de l'année, et compté à partir du 1^{er} janvier de chaque année. On a effectué la procédure de manière automatique à l'aide d'une fonction d'optimisation, `nls()`, codée en R, et on a inspecté visuellement chaque ajustement pour chaque année et chaque région afin de déterminer les résultats anormaux (p. ex., très forte concentration de chlorophylle-a, c.-à-d., > 30 mg m⁻³ à la fin du printemps, qui donne un début très tardif de la floraison). Des floraisons épisodiques de phytoplancton se produisent à divers moments de l'année, y compris l'hiver et l'été. Ces floraisons « secondaires » peuvent avoir une incidence sur la capacité d'estimer le pic de la floraison printanière, d'ajuster la courbe gaussienne et d'estimer les paramètres de la floraison printanière du phytoplancton, en particulier lorsque plus de données sont disponibles en été qu'au printemps. Pour nous assurer de bien caractériser la première grande floraison soutenue définie comme la « floraison printanière », nous avons limité la première moitié de la courbe gaussienne décalée (c.-à-d., depuis l'initiation jusqu'au pic) aux jours de l'année 110 à 205 pour une année donnée. La croissance du phytoplancton est de courte durée (de quelques jours à une semaine) et sa répartition spatiale est inégale (Denman et Platt 1975), ce qui peut rendre difficile l'estimation de la dynamique printemps-floraison à l'aide d'observations par satellite dans des régions comme la mer du Labrador, où le ciel est souvent nuageux. La définition des régions d'intérêt pour les observations par satellite représente donc un compromis entre la sélection de petites zones qui peuvent fournir des renseignements sur un écosystème particulier, mais qui seront plus touchées par la couverture nuageuse, et de vastes zones qui pourraient englober différents écosystèmes ou dynamiques de la floraison du phytoplancton, mais pour lesquelles on aura sans aucun doute un plus grand nombre d'observations satellitaires valides. Dans ce dernier cas, plusieurs floraisons successives pourraient entraîner des observations faites dans différentes parties de la région, à différents moments.

Enfin, on a préféré les images quotidiennes à des composites de huit jours, car elles fournissent le plus de convergences (c.-à-d., le plus grand nombre d'ajustements) et sont plus appropriées pour refléter les changements rapides de la biomasse du phytoplancton pendant une floraison.

¹ Layton, C, Devred, E and B DeTracey. A comparison of phytoplankton spring bloom fitting methods using MODIS satellite-derived chlorophyll-a concentration for the Maritimes region, Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. En Presse.

L'annexe 1 (figure A1 à A4) montre les séries chronologiques annuelles à une résolution quotidienne et les ajustements correspondants.

Accès aux produits de données

Les données présentés dans les figures du présent document sont publiés sur le site Web du gouvernement ouvert; un lien vers les données est disponible sur demande auprès de l'auteur concerné. La concentration quotidienne de chlorophylle-a visant à estimer les paramètres de la floraison dans chacune des trois régions présentées à la figure 10 peut être demandée à la région Maritimes du MPO. Toutes les données chimiques sont disponibles dans l'Ocean Carbon Data System ([OCADS](#) [en anglais seulement]).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

CARBONE INORGANIQUE TOTAL ET PH

La mer du Labrador est dotée d'une forte « pompe de solubilité » grâce à laquelle le CO₂ atmosphérique d'origine anthropique est emprisonné dans les grands fonds par des processus chimiques et physiques. La profondeur de l'eau de la mer du Labrador nouvellement ventilée qui est emprisonnée par la convection hivernale varie d'une année à l'autre, allant de 500 m à plus de 2 000 m. Les concentrations moyennes de TIC et de pH, entre 150 et 500 m pour les stations situées dans la partie centrale du bassin du Labrador, ont été utilisées comme concentrations représentatives pour le NV-LSW. La concentration de carbone inorganique total a augmenté de 18,52 µmol kg⁻¹ de 1996 à 2018, atteignant un maximum de 2 166,5 µmol kg⁻¹ en 2018, en réaction à l'absorption locale de CO₂ d'origine anthropique (figure 4). De ce fait, le pH a diminué de 0,07 unité durant la même période (figure 4), ce qui correspond à un taux de diminution de 0,003 par an. Les tendances entre 1996 et 2018 étaient très significatives; elles étaient associées à un coefficient de corrélation, r², qui expliquait respectivement 91 % et 79 % de la variance du carbone inorganique total et du pH. Le débit sortant de l'Arctique et l'absorption locale de CO₂ d'origine anthropique dans la région de convection en profondeur de la mer du Labrador sont les mécanismes de contrôle majeurs de l'état d'acidification des océans dans l'Atlantique Nord-Ouest, et la tendance continue observée dans notre ensemble de données pourrait avoir une incidence sur tout l'Atlantique Nord-Ouest. L'eau de l'Arctique s'écoule vers les régions très productives de l'Atlantique Nord-Ouest, qui abritent d'importantes pêcheries commerciales et rendent ces régions plus sensibles à l'acidification future des océans que d'autres régions (Azetsu-Scott *et al.* 2010). L'acidification a également une incidence sur la capacité de l'océan à absorber le CO₂ atmosphérique.

GAZ TRACE - CFC-12 ET SF₆

Dans la deuxième moitié du XX^e siècle, la charge atmosphérique des CFC a augmenté constamment, principalement en raison de l'utilisation répandue des CFC comme réfrigérants et propulseurs d'aérosol. Le flux atmosphérique envahissant de ces gaz essentiellement inertes a fourni un excellent enregistrement de la circulation océanique, et les profils des concentrations du CFC-12 dissous sont mesurés chaque année le long du transect AR7W depuis 1991 (figure 5). En raison des restrictions imposées en 1989 sur la fabrication et l'utilisation des substances appauvrissant la couche d'ozone, le rapport du mélange atmosphérique de CFC-12 diminue depuis 2003 et sa capacité de suivre les récents épisodes de ventilation devient limitée (figure 5). En 2011, on a commencé à mesurer un autre traceur, le SF₆. Comparativement au CFC-12, le SF₆ atmosphérique connaît une augmentation rapide et quasi linéaire depuis 2011, qui se reflète dans les profils de la concentration dissoute de l'eau récemment ventilée,

représentée par la couche du bassin central de la mer du Labrador entre 150 et 500 m (figure 5).

TEMPÉRATURE ENTRE 0 ET 100 M

Nous avons calculé la moyenne des températures enregistrées par le CTD pendant l'occupation entre 0 et 100 m, qui correspond approximativement au régime de température de la couche échantillonnée pour le phytoplancton et le mésozooplancton. Bien que la période de l'expédition ait une incidence sur la température moyenne pour une région et une année données, l'élimination des années 2003 et 2004 (en raison de dates d'échantillonnage plus tardives que la normale, figure 2) de la période de référence a abaissé la température d'environ 0,2 °C et a eu peu d'effet sur les anomalies (pas représentées ici). Le plateau du Labrador présentait une température inférieure (moyenne d'environ 1,1 °C) à celle du centre de la mer du Labrador (environ 4,2 °C) et du plateau du Groenland (moyenne d'environ 3 °C) en raison de l'apport d'eau de l'Arctique (figure 6, graphiques du haut).

L'année la plus chaude pour le centre de la mer du Labrador et le plateau du Groenland était 2003, et l'anomalie la plus chaude pour le plateau du Labrador s'est produite en 2009 (figure 6, graphique du bas). Bien que les températures du centre de la mer du Labrador et du plateau du Groenland soient continuellement plus basses que la moyenne depuis 2013, le plateau du Labrador affiche une succession de valeurs supérieures et inférieures à la normale (figure 6). Le courant du Labrador qui s'écoule vers le sud est généralement beaucoup plus froid que le centre de la mer du Labrador et sa limite est se déplace longitudinalement. La présence de glace nous empêche parfois d'échantillonner la zone du plateau, ce qui nous ramène à une température moyenne supérieure à la normale.

ÉLÉMENTS NUTRITIFS

Toutes les concentrations d'éléments nutritifs à proximité de la surface (c.-à-d., nitrates, phosphates et silicates de 0 à 100 m) présentaient des variations interannuelles entre 1999 et 2013 et affichaient une tendance à la hausse générale au fil du temps (figure 7). Dans la plupart des cas, la variation des anomalies des concentrations d'éléments nutritifs à la surface était uniforme dans les trois régions d'intérêt. Dans une région donnée, les concentrations de différents éléments nutritifs ne suivaient pas toujours la même tendance, ce qui signifie, par exemple, qu'une concentration de nitrates supérieure à la moyenne pendant une année donnée ne correspond pas nécessairement à des concentrations de phosphates ou de silicates supérieures à la moyenne (voir l'année 2008 sur le plateau du Groenland). Depuis 2014, les anomalies dans les trois régions sont constamment positives, c'est-à-dire que les stocks d'éléments nutritifs à la surface sont demeurés supérieurs à la moyenne pendant cette période. Les éléments nutritifs en profondeur (de plus de 100 m jusqu'au fond) présentaient un profil différent de celui des éléments nutritifs à la surface, ce qui concorde avec l'hydrodynamique de la mer du Labrador et l'activité biologique de la couche de surface (figure 8). Comme prévu, les concentrations moyennes d'éléments nutritifs en profondeur étaient plus élevées que les concentrations à la surface parce que ces derniers n'étaient pas consommés par le phytoplancton et que la reminéralisation en profondeur reconstitue le bassin d'éléments nutritifs. Les concentrations moyennes de 100 à 3 000 m ou moins (selon la bathymétrie) donnent des estimations très approximatives du bassin d'éléments nutritifs en profondeur, mais ne fournissent pas de renseignements sur les variations à l'intérieur des masses d'eau du profond bassin du centre de la mer du Labrador et entre celles-ci. Les nitrates en profondeur sur le plateau du Groenland et le plateau du Labrador affichaient une variabilité interannuelle élevée comparativement aux nitrates en profondeur du centre de la mer du Labrador, qui sont demeurés proches de la concentration moyenne depuis 2010, à l'exception d'une baisse en

2016. Une tendance similaire a également été observée pour les silicates en profondeur dans le centre de la mer du Labrador; leur concentration est restée près de la moyenne depuis 2011 (Hátún, H. *et al.* 2017). Sur le plateau du Labrador, les concentrations de nitrates et de phosphates oscillaient autour des valeurs de référence, tandis que les concentrations moyennes de silicates demeurent inférieures à la normale depuis 2007. Il n'y a pas eu de tendances émergentes dans la variabilité interannuelle des éléments nutritifs de 2014 à 2018.

CONCENTRATION DE CHLOROPHYLLE-A *IN SITU*

En général, la région du plateau du Groenland présente des concentrations élevées de chlorophylle-a (figure 9). Elle est dominée par le nanophytoplancton et présente de faibles concentrations de picophytoplancton. À l'inverse, le centre de la mer du Labrador est une région où les concentrations de chlorophylle-a et la proportion de nanophytoplancton sont faibles et les concentrations de picophytoplancton sont élevées. La région du plateau du Labrador affiche les plus faibles concentrations de chlorophylle-a et de nanophytoplancton. Les concentrations de picophytoplancton sont moyennes. Le phytoplancton de la couche supérieure de l'océan (< 100 m de profondeur) échantillonné dans le transect AR7W au printemps et au début de l'été entre 1999 et 2015 présentait des caractéristiques propres à la région (Fragoso *et al.* 2016; Li et Harrison 2014).

Les profils de la concentration de chlorophylle-a *in situ* mesurée pendant l'occupation du transect AR7W concordaient généralement avec les observations de la concentration de chlorophylle-a déterminée par satellite; la concentration était faible sur le plateau du Labrador et dans le centre de la mer du Labrador, et relativement élevée sur le plateau du Groenland (figure 9). Ces concentrations s'expliquent par l'apport d'éléments nutritifs et la stratification découlant de l'eau issue de la fonte des glaciers, qui offrent des conditions favorables à la croissance du phytoplancton. Au début des années 2000 (de 1999 à 2007), les concentrations de chlorophylle-a étaient généralement inférieures à la moyenne pour la période de référence, et ce, pour les trois régions (figure 9), ce qui peut s'expliquer en partie par le fait que les floraisons printanières ont eu lieu plus tôt que les dates de l'expédition (figures 2 et 10). De 2008 à 2014, les concentrations de chlorophylle-a étaient supérieures à la moyenne pour la période de référence, encore une fois dans les trois régions.

Depuis 2014, elles sont inférieures à la normale dans les trois régions, sauf dans le centre de la mer du Labrador en 2015, où elles étaient supérieures à la normale. Ces concentrations élevées étaient associées à une floraison intense de phytoplancton dominée par *Phaeocystis* sp., qui a été observée directement à partir des échantillons prélevés sur le navire et analysés par microscopie optique, la floraison entraînant le colmatage des filets à zooplancton.

INDICES DE LA FLORAISON PRINTANIÈRE DÉTERMINÉS PAR SATELLITE

En général, les quatre paramètres qui décrivent la floraison printanière étaient très variables d'une année à l'autre et d'une région à l'autre, de sorte qu'aucune tendance claire ne s'est dégagée (figure 10). Ces observations sont conformes à la nature éphémère des floraisons de phytoplancton qui réagissent rapidement aux conditions favorables des environnements chimiques et physiques. Toutefois, les résultats des observations par satellite ont également été influencés par la couverture nuageuse, ce qui a entraîné des lacunes dans les données. Par conséquent, des pics de floraison ont peut-être été manqués pour une année et une région données. Il n'y avait pas de preuve statistique d'une corrélation entre les paramètres; de ce fait, une floraison précoce ne se traduit pas nécessairement par une durée plus longue ou une amplitude plus grande. Par exemple, la floraison a débuté plus tard que la moyenne en 2003 et 2018, mais elle a duré plus longtemps que la normale en 2018, et moins longtemps que la normale en 2003.

En moyenne, la floraison printanière annuelle du phytoplancton commençait plus tôt sur le plateau du Groenland (jour de l'année 123) que dans le centre de la mer du Labrador (jour de l'année 126) et sur le plateau du Labrador (jour de l'année 136) (figure 10). De 2003 à 2013, les paramètres de la floraison n'ont pas suivi de tendance et chaque région avait sa propre tendance. L'ampleur et l'amplitude de la floraison étaient plus importantes sur le plateau du Groenland que sur le plateau du Labrador et dans le centre de la mer du Labrador (figure 10). On s'attendait à ce résultat, car cette région reçoit les apports d'eau douce du glacier adjacent, qui augmentent la stratification et l'apport en éléments nutritifs (Gillard *et al.* 2016, Luo *et al.* 2016) et créent des conditions favorables pour les floraisons de phytoplancton et une production primaire élevée et soutenue. Un événement exceptionnel s'est produit au printemps 2015, avec la période de la floraison particulièrement précoce dans le centre de la mer du Labrador (à partir de la mi-avril, le début le plus précoce enregistré depuis 2003), associée à l'ampleur la plus élevée jamais consignée. De plus, ces observations par satellite concordaient avec les mesures *in situ* de la concentration de chlorophylle-a (voir la section 5.4). Les caractéristiques de la floraison sur le plateau du Groenland ont suivi la même tendance que celles du centre de la mer du Labrador, tandis que le début et la durée de la floraison sur le plateau du Labrador étaient à peu près moyens, avec une amplitude et une ampleur supérieures à la normale (figure 10). Depuis 2016, les dates de début de la floraison sont retardées par rapport aux moyennes de la période de référence pour le centre de la mer du Labrador et le plateau du Groenland, et aucune tendance évidente n'est ressortie pour l'ampleur. L'ampleur de la floraison dans le centre de la mer du Labrador a toutefois toujours été supérieure à la moyenne.

MÉSOZOOPLANCTON

Les copépodes *Calanus finmarchicus* dominent la biomasse du mésozooplancton dans le centre de la mer du Labrador; avec leurs congénères *C. glacialis* et *C. hyperboreus*, ils contribuent chacun à environ un tiers de la biomasse sur les plateaux (Head *et al.* 2003). Les abondances totales de *C. finmarchicus* sont fortement influencées par l'abondance des jeune stade copépodites. Ces derniers se développent à partir des œufs pondus par des femelles qui ont passé l'hiver au stade de pré-adulte dans le bassin central profond et qui remontent en surface au printemps. La floraison printanière fournit la nourriture qui alimente la ponte et le développement subséquent de la population, de sorte que les différences régionales dans la dynamique de la floraison printanière produisent également des différences dans le moment du développement des populations de *C. finmarchicus*. Comme les floraisons printanières sont généralement plus précoces et plus intenses sur le plateau du Groenland qu'ailleurs, les populations de *C. finmarchicus* y sont habituellement plus abondantes qu'ailleurs au moment de l'échantillonnage *in situ* (figure 11).

Sur le plateau du Labrador, de 1995 à 2018, *C. finmarchicus* a été exceptionnellement abondant pendant deux années, soit 1999 (juin) et 2011 (mai), pour des raisons inconnues (figure 11). Autrement, les abondances ont été variables, avec deux valeurs supérieures à la moyenne (juin 2001 et juillet 2002) et une période soutenue d'abondance relativement faible entre 2004 et 2008. Depuis 2013, l'abondance est légèrement inférieure à la moyenne.

Dans le centre de la mer du Labrador, en raison de la floraison printanière et du développement relativement tardif de *C. finmarchicus*, l'échantillonnage *in situ* en été a généralement donné des abondances plus élevées qu'au printemps, comme l'indiquent les anomalies positives de 1995, 1999, 2002 et 2003 (figure 11). Les individus au stade de jeune étaient rarement très abondants, peut-être en raison d'une mortalité élevée (Head *et al.* 2015), sauf pour l'été 1995, année pendant laquelle l'abondance totale a été exceptionnellement élevée. Aucune tendance de l'abondance totale printanière pour *C. finmarchicus* ne s'est dégagée entre 1996 et 2014.

Toutefois, depuis 2015, les abondances sont exceptionnellement faibles, peut-être en raison d'un échantillonnage plus précoce que les années précédentes (figures 2 et 11).

Sur le plateau du Groenland, l'abondance de *C. finmarchicus* exceptionnellement élevée en mai 2006, mais la cause est incertaine. Autrement, on associe généralement les valeurs plus élevées que la moyenne à des dates d'échantillonnage plus tardives (p. ex., 1995, 1999, 2001 à 2003 et 2012), et les valeurs d'abondance relativement faibles à des dates d'échantillonnage précoces depuis 2012.

La grande abondance de *C. glacialis* et de *C. hyperboreus* sur les plateaux peut être causée par le transport d'individus dans les débits entrants, parce qu'aucune des deux espèces n'a de population source qui hiverne localement. Les abondances des deux espèces affichent généralement une variabilité considérable d'une année à l'autre, mais elles sont associées à des périodes soutenues de faible abondance de *C. glacialis* sur les deux plateaux depuis 2014, et à des périodes soutenues de forte abondance de *C. hyperboreus* sur le plateau du Groenland entre 2009 et 2012 et de faible abondance sur le plateau du Labrador depuis 2014. L'abondance de *C. hyperboreus* sur le plateau du Groenland était également faible en 2018 (figure 11).

Les Clausocalanidés, principalement représentés ici par le genre *Pseudocalanidae* spp, ont été constamment plus abondants que la moyenne dans le centre de la mer du Labrador au cours des 10 dernières années, mais on observe une tendance générale à la baisse sur le plateau du Labrador et le plateau du Groenland depuis 2014 (figure 12). Contrairement aux *Pseudocalanidea*, les *Oithonidae* sont constamment moins abondants dans le centre de la mer du Labrador depuis plus de 10 ans, mais la diminution de leur abondance sur les deux plateaux est devenue plus prévalente vers 2014 (figure 12). Depuis 2014, les abondances des euphausiacés sont toujours inférieures à la moyenne dans toutes les régions (figure 13). Les amphipodes, principalement représentés ici par *Parathemisto libellula*, étaient plus abondants que la moyenne dans le centre de la mer du Labrador en 2018. Comme cette espèce est associée aux masses d'eau de l'Arctique, ce phénomène correspond aux températures plus froides que la moyenne dans la mer du Labrador centrale cette année-là (figure 13).

ENREGISTREUR CONTINU DE PLANCTON (CPR)

Rappelons que les résultats des séries chronologiques dans la présente section s'arrêtent en 2017, car la manipulation des échantillons prend du temps et les données ne sont diffusées qu'un an plus tard.

Phytoplancton

Les valeurs de l'indice de couleur du phytoplancton (PCI) représentent le stock permanent moyen de chlorophylle-a pendant la période de référence, de 1960 à 2009 (figure 14). Dans la gyre subpolaire, les valeurs moyennes décennales de l'indice PCI sont passées de faibles à élevées dans toutes les régions entre les années 1980 et 1990, et ces tendances persistent encore aujourd'hui. En 2017, les indices PCI étaient les plus élevés dans les régions à l'est du plateau de Terre-Neuve et ils étaient encore relativement élevés plus à l'ouest. Les mêmes tendances de valeur et d'abondance ont été observées pour les PCI, les diatomées et les dinoflagellés pendant les décennies précédant les années 2010. Depuis, les abondances des diatomées et des dinoflagellés sont demeurées élevées dans la région des grands fonds adjacente au plateau de Terre-Neuve, entre 40 °O et 45 °O (40 à 45). Plus à l'est et sur le plateau de Terre-Neuve et le plateau néo-écossais, les abondances des diatomées ont diminué quelque peu après 2009 et on a observé une tendance semblable pour les dinoflagellés, mais avec des baisses d'abondance plus prononcées à l'est de 40 à 45 °O. On pense que

l'incohérence apparente entre les augmentations récentes de la PCI et la diminution des abondances des diatomées et des dinoflagellés sur le plateau néo-écossais est liée à l'inclusion de formes de petite taille (p. ex., des nanoflagellés) qui sont de plus en plus abondantes, tandis que l'abondance des formes plus grandes (diatomées, dinoflagellés) diminue.

Mésozooplancton

Depuis les années 1990, les abondances annuelles de *Calanus* I à IV (surtout de *Calanus finmarchicus*) et de *C. finmarchicus* V à VI) sont supérieures à la moyenne pour les régions de 40 à 45 °O et plus à l'est; elles ont diminué entre 2010 et 2016 sur le plateau néo-écossais, puis augmenté de nouveau en 2017 (figure 15). Les abondances annuelles de *C. glacialis* étaient faibles dans la plupart des régions, les valeurs les plus élevées ayant été observées dans les années 1990 et 2000, diminuant dans toutes les régions par la suite, en particulier dans l'ouest du plateau néo-écossais et à l'exception de la région de 40 à 45 °O, où les abondances sont demeurées élevées (figure 15). Les abondances annuelles moyennes de *C. hyperboreus* étaient élevées dans toutes les régions en 2017, ce qui pourrait être lié à la récente convection intense dans les eaux profondes et à l'augmentation de la production primaire dans les mers du Labrador et d'Irmingier.

En 2017, les abondances moyennes annuelles des trois groupes de petits copépodes (nauplius de copépodes, *Para/Pseudocalanus* et *Oithona*) présentaient toutes des anomalies positives dans toutes les régions, sauf sur le plateau néo-écossais, où les abondances *Para/Pseudocalanus* et *Oithona* étaient très faibles ou proches de la moyenne, respectivement (figure 16). Dans la gyre subpolaire, les anomalies décennales annuelles pour les nauplius de copépodes et *Paracalanus/Pseudocalanus* sont plus élevées depuis les années 1990 qu'elles ne l'étaient durant les décennies précédentes. Toutefois, pour les régions des plateaux, alors que les anomalies décennales annuelles de l'abondance pour les nauplius de copépodes suivaient la même tendance, on a observé la tendance inverse pour *Para/Pseudocalanus*, avec des anomalies relativement plus fortes jusqu'aux années 1990 et de faibles abondances depuis 2017. Les abondances annuelles décennales des *Oithona* spp. étaient généralement proches de la moyenne dans toutes les régions jusqu'aux années 2000. Par la suite, elles sont demeurées proches de la moyenne dans la plupart des régions, mais étaient plus élevées dans la région de 40 à 45° O de 2010 à 2013 et sur le plateau de Terre-Neuve en 2014.

Macrozooplancton

Les abondances annuelles moyennes des euphausiacés et des amphipodes hypéridés étaient généralement plus élevées dans les régions profondes de la gyre subpolaire que sur les plateaux, et elles sont les plus élevées dans la région de 40 à 45° O (figure 17). Dans la gyre subpolaire, les anomalies décennales de l'abondance des euphausiacés étaient généralement proches de la moyenne dans les années 1960 à 1990, mais elles ont diminué dans les années 2000 et sont demeurées faibles par la suite. Dans les régions des plateaux, les anomalies de l'abondance des euphausiacés affichent une tendance à la baisse depuis les années 1970. Les anomalies de l'abondance pour les amphipodes hypéridés sont généralement à la hausse dans toutes les régions depuis les années 1960, mais ont présenté des valeurs faibles dans la région du plateau de Terre-Neuve dans les années 2000 et dans la région des 25 à 30° O de 2010 à 2016.

Taxons sensibles aux acides

Les coccolithophores (phytoplancton) et les foraminifères (microzooplancton) ne sont dénombrés systématiquement dans les échantillons de CPR que depuis 1991, tandis que les ptéropodes du genre *Limacina* le sont depuis la création du relevé CPR. Les abondances

annuelles moyennes des coccolithophores et des foraminifères ont augmenté dans toutes les régions entre 2010 et 2016 et sont demeurées élevées en 2017, sauf dans le cas des coccolithophores sur le plateau néo-écossais, qui ont chuté à des valeurs inférieures à la moyenne en 2017 (figure 18). L'abondance des *Limacina* a augmenté dans les années 1990 comparativement aux décennies précédentes, et elle est généralement demeurée proche de la moyenne ou au-dessus de celle-ci depuis.

SOMMAIRE

Le Programme de monitoring de la zone Atlantique au large du plateau continental fournit des observations sur le climat océanique et la variabilité du plancton dans la mer du Labrador et les plateaux adjacents, qui ont une incidence sur les écosystèmes du Canada atlantique et le climat aux échelles régionale à mondiale. Dans la mer du Labrador, les pertes de chaleur à la surface pendant l'hiver entraînent la formation d'une masse d'eau dense, qui se répand dans l'océan. Elle ventile les couches d'eau profondes, ce qui contribue à la circulation de retournement océanique globale. Depuis 2014, les eaux de l'Atlantique Nord situées à des latitudes moyennes à élevées affichent une perte de chaleur à la surface modérée à forte, ce qui provoque un mélange convectif élevé pendant la période hivernale et l'une des formations les plus importantes d'eau de la mer du Labrador en termes de volume et de profondeur.

Une forte variabilité interannuelle a été observée dans les concentrations d'éléments nutritifs à la surface, qui sont uniformes d'une région à l'autre. Depuis 2014, on a relevé des anomalies positives dans toutes les régions ainsi qu'une tendance qui a commencé en 2013 dans le centre de la mer du Labrador pour les nitrates, les phosphates et les silicates. Toutefois, la concentration de nitrates correspondait à la moyenne dans le centre de la mer du Labrador en 2015, ce qui a probablement mis fin à la tendance des anomalies élevées en raison d'une baisse du prélèvement d'éléments nutritifs causée par la floraison de plancton anormalement importante observée cette année-là. Les concentrations de chlorophylle-a ont suivi une tendance semblable; on a observé des concentrations inférieures à la normale dans les trois régions depuis 2014, à l'exception de la concentration anormalement élevée de 2015. Ces concentrations étaient associées à une floraison de phytoplancton intense composée principalement de *Phaeocystis sp.*, qui a été identifiée à partir des observations à bord de navires. Les paramètres de la couleur de l'océan relatifs à la floraison printanière du phytoplancton (début, durée, ampleur et étendue) n'ont affiché aucune tendance évidente au fil du temps, et la courbe était différente pour chaque région. Les observations par satellite sont influencées par la couverture nuageuse, ce qui entraîne des lacunes dans les données faisant en sorte qu'il manque peut-être des pics de floraison pour une année et une région données. La récurrence de dates d'échantillonnage plus hâtives d'une année à l'autre peut expliquer en partie les tendances à la baisse des abondances du phytoplancton *in situ*, puisqu'il est possible que l'échantillonnage ait eu lieu avant le début de la floraison printanière saisonnière.

Les abondances de plusieurs taxons de mésozooplancton dans la plage de profondeurs de 0 à 100 m ont suivi une tendance semblable à celle de la concentration de phytoplancton (chlorophylle-a); les abondances sont inférieures à la moyenne depuis 2014. Pour certains taxons, cette tendance peut être liée en partie à leur cycle vital saisonnier, puisque l'échantillonnage effectué plus tôt au cours des dernières années signifie que les populations étaient moins développées (c.-à-d., comptaient moins de membres de la nouvelle génération). Il est intéressant de noter que la floraison inhabituellement intense de 2015 n'a pas semblé avoir d'effet sur l'abondance des taxons de mésozooplancton.

Enfin, les observations à long terme de l'abondance moyenne annuelle du phytoplancton réalisées au moyen du CPR indiquent que l'abondance de toutes les formes de phytoplancton a

augmenté depuis les années 1990. Cependant, plus récemment, l'abondance des formes de petite taille a continué d'augmenter, tandis que celle des formes de grande taille a diminué. Dans l'gyre subpolaire, l'abondance du copépode *Calanus finmarchicus*, qui est important sur le plan écologique, est plus élevée depuis les années 1990, tout comme l'abondance de trois taxons de petits copépodes. De même, l'abondance des amphipodes hypéridés a augmenté dans le tourbillon subpolaire après les années 1990, tandis que l'abondance des euphausiacés a diminué. Aucun des trois taxons sensibles aux acides ne semble avoir été touché par les baisses récentes du pH, étant donné que les changements sont encore faibles.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le personnel navigant de l'Institut océanographique de Bedford, ainsi que les officiers et l'équipage du NGCC *Hudson*. Jay Barthelotte, Robert Benjamin, Jay Bugden, Diana Cardoso, Carla Caverhill, Terry Cormier, Jennifer Field, Adam Hartling, Flo Hum, Jeff Jackson, Matt Lawson, Dave Levy, Kevin MacIsaac, Cathy Porter, Tim Perry, Peter Thamer, Richard Nelson, Melissa Falkner et Darlene Childs ont contribué à la collecte d'échantillons, à l'analyse des échantillons, à l'analyse des données, à la gestion des données et à la diffusion des données. Les auteurs souhaitent aussi remercier les réviseurs, David Bélanger et David Brickman, qui ont formulé des commentaires ayant vraiment amélioré la version initiale du présent rapport.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Astthorsson, O.S. and Gislason, A. 2003. [Seasonal variations in abundance, development and vertical distribution of *Calanus finmarchicus*, *C. hyperboreus* and *C. glacialis* in the East Icelandic Current](#). *Journal of Plankton Research* 25(7): 843–854.
- Azetsu-Scott, K., Clarke, A., Falkner, K., Hamilton, J., Jones, E.P., Lee, C., Petrie, B., Prinsenberg, S., Starr, M., and Yeats, P. 2010. [Calcium Carbonate Saturation States in the waters of the Canadian Arctic Archipelago and the Labrador Sea](#). *Journal of Geophysical Research* 115: C11021.
- Becker, S., Aoyama, M., Woodward, E.M.S., Bakker, K., Coverly, S., Mahaffey, C., and Tanhua, T. 2019. [GO-SHIP Repeat Hydrography Nutrient Manual: The precise and accurate determination of dissolved inorganic nutrients in seawater, using Continuous Flow Analysis methods](#). In: *The GO-SHIP Repeat Hydrography Manual: A Collection of Expert Reports and Guidelines*.
- Caldeira, K. and Wickett, M.E. 2003. [Anthropogenic carbon and ocean pH](#). *Nature* 425: 365
- Denman, K. L. and Platt, T. 1975. Coherences in the horizontal distributions of phytoplankton and temperature in the upper ocean. *Mem. Soc. r. Sci. Liège 6e série* 7: 19–30.
- Dickson, A.G., Sabine, C.L., and Christian, J.R. (Eds.) 2007. [Guide to Best Practices for Ocean CO₂ Measurements](#). PICES Special Publication 3. 191 pp.
- Feely, R.A., Sabine, C.L., Lee, K., Berelson, W., Kleypas, J., Fabry, V.J., and Millero, F.J. 2004. [Impact of Anthropogenic CO₂ on the CaCO₃ System in the Oceans](#). *Science*. 305(5682): 362–366.
- Fragoso, G.M., Poulton, A.J., Yashayaev, I.M., Head, E.J.H., Stinchcombe, M.C., and Purdie, D.A. 2016. [Biogeographical patterns and environmental controls of phytoplankton communities from contrasting hydrographical zones of the Labrador Sea](#). *Progress in Oceanography* 141: 212–226.

-
- Gillard, L. C., Hu, X., Myers, P. G., and Bamber, J. L. 2016. [Meltwater pathways from marine terminating glaciers of the Greenland ice sheet](#). *Geophysical Research Letters*. 43:10,873–10,882.
- Haine, T. W. N., and Hall, T.M. 2002. [A generalized transport theory: Water mass composition and age](#). *Journal Physical Oceanography*. 32:1932–1946.
- Hall, T. M., Haine, T. W. N., and Waugh, D. W. 2002. [Inferring the concentration of anthropogenic carbon in the ocean from tracers](#). *Global Biogeochemical Cycles*. 16(4):1131. doi:10.1029/2001GB001835
- Harrison, W.G. and Li, W.K.W. 2008. [Phytoplankton growth and regulation in the Labrador Sea: light and nutrient limitation](#). *J. Northwest. Atl. Fish.* 39:71–82.
- Hátún, H., Azetsu-Scott, K., Somavilla, R., Rey, F., Johnson, C., Mathis, M., Mikolajewicz, U., Coupel, P., Tremblay, J.-É., Hartman, S., Pacariz, S.V., Salter, I., and Ólafsson, J. 2017. [The subpolar gyre regulates silicate concentrations in the North Atlantic](#). *Scientific Reports* 7(1): 14576.
- 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 \(1995–2000\)](#). *Progress in Oceanography* 59(1): 1–30.
- Head, E.J.H., Gentleman, W.C., and Ringuette, M. 2015. [Variability of mortality rates for *Calanus finmarchicus* early life stages in the Labrador Sea and the significance of egg viability](#). *Journal of Plankton Research* 37(6): 1149–1165.
- Holm-Hansen, O., Lorenzen, C.J., Holmes, R.W., and Strickland, J.D.H. 1965. [Fluorometric Determination of Chlorophyll](#). *ICES Journal of Marine Science* 30(1): 3–15.
- Hood, E.M., Sabine, C.L., and Sloyan, B.M. (eds) 2010. [The GO-SHIP Repeat Hydrography Manual: a collection of expert reports and guidelines, Version 1](#). (IOCCP Report 14), (ICPO Publication Series 134).
- Johnson, K.M., Sieburth, J.M., Williams, P.J. leB., and Brändström, L. 1987. [Coulometric total carbon dioxide analysis for marine studies: Automation and calibration](#). *Marine Chemistry* 21(2): 117–133.
- Jones, P.D. and Hulme, M. 1996. [Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations](#). *International Journal of Climatology* 16(4): 361–377. John Wiley & Sons, Ltd.
- Kérouel, R. and Aminot, A. 1997. [Fluorometric determination of ammonia in sea and estuarine waters by direct segmented flow analysis](#). *Marine Chemistry* 57(3): 265–275.
- Li, W.K.W. and Harisson, W.G. 2014. [The state of phytoplankton and bacterioplankton in the Labrador Sea: Atlantic Zone Off-Shelf Monitoring Program 1994–2013](#). *Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean. Sci.* 302:xviii+181p.
- Lozier, M. S., Li, F., Bacon, S., Bahr, F., Bower, A.S., Cunningham, S.A., De Jong, M.F., De Steur, L., DeYoung, B., Fischer, J., Gary, S.F., Greenan, B.J.W., Holliday, N.P., Houk, A., Houpert, L., Inall, M.E., Johns, W.E., Johnson, H.L., Johnson, C., Karstensen, J., Koman, G., Le Bras, I.A., Lin, X., MacKay, N., Marshall, D.P., Mercier, H., Oltmanns, M., Pickart, R.S., Ramsey, A.L., Rayner, D., Straneo, F., Thierry, V., Torres, D.J., Williams, R.G., Wilson, C., Yang, J., Yashayaev, I., and Zhao, J. 2019. [A sea change in our view of overturning in the subpolar North Atlantic](#). *Science* 363(6426): 516.
-

-
- Luo, H., Castelao, R.M., Rennermalm, A.K., Tedesco, M., Bracco, A., Yager, P.L., and Mote, T.L. 2016. [Oceanic transport of surface meltwater from the southern Greenland ice sheet](#). *Nature Geoscience* 9(7): 528–532.
- Mitchell, M.R., Harrison, G., Pauley, K., Gagné, A., Maillet, G., and Stain, P. 2002. [Atlantic zonal monitoring program sampling protocol](#). *Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci.* 223: iv + 23p.
- Neill, C., Johnson, K.M., Lewis, E., and Wallace, D.W.R. 1997. [Accurate headspace analysis of fCO₂ in discrete water samples using batch equilibration](#). *Limnology and Oceanography* 42(8): 1774–1783.
- Platt, T. and Jassby, A.D. (1976), [The relationship between photosynthesis and light for natural assemblages of coastal marine phytoplankton](#). *Journal of Phycology* 12: 421–430.
- Richardson, A.J., Walne, A.W., John, A.W.G., Jonas, T.D., Lindley, J.A., Sims, D.W., Stevens, D., and Witt, M. 2006. [Using continuous plankton recorder data](#). *Progress in Oceanography* 68(1): 27–74.
- Sabine, C.L., Feely, R.A., Gruber, N., Key, R.M., Lee, K., Bullister, J.L., Wanninkhof, R., Wong, C.S., Wallace, D.W.R., Tilbrook, B., Millero, F.J., Peng, T.-H., Kozyr, A., Ono, T., and Rios, A.F. 2004. [The Oceanic Sink for Anthropogenic CO₂](#). *Science* 305(5682): 367.
- Wang, Z., Brickman, D., Greenan, B.J.W., and Yashayaev, I. 2016. [An abrupt shift in the Labrador Current System in relation to winter NAO events](#). *Journal of Geophysical Research: Oceans* 121(7): 5338–5349.
- Welschmeyer, N.A. 1994. [Fluorometric analysis of chlorophyll a in the presence of chlorophyll b and pheopigments](#). *Limnology and Oceanography* 39(8): 1985–1992.
- Yashayaev, I. and Loder, J.W. 2017. [Further intensification of deep convection in the Labrador Sea in 2016](#). *Geophysical Research Letters* 44(3): 1429–1438.
- Yashayaev, I., Peterson, I., et Wang, Z. 2021. [Conditions météorologiques, état de la glace de mer et propriétés physiques de l'eau dans la mer du Labrador en 2018](#). *Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech.* 2021/042. iv + 30 p.
- Yebra, L., Harris, R.P., Head, E.J.H., Yashayaev, I., Harris, L.R., and Hirst, A.G. 2009. [Mesoscale physical variability affects zooplankton production in the Labrador Sea](#). *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 56(5): 703–715.
- Yentsch, C. and Menzel, D. 1963. [A Method for the Determination of Phytoplankton Chlorophyll and Phaeophytin by Fluorescence](#). *Deep-Sea Research* 10(3): 221–231.
- Zhai, L., Platt, T., Tang, C., Sathyendranath, S., and Walls, R.H. 2011. [Phytoplankton phenology on the Scotian Shelf](#). *ICES J. Mar. Sci.* 68(4): 781–791.

TABLEAUX

Tableau 1. Expéditions d'échantillonnage du Programme de monitoring de la zone Atlantique au large du plateau continental entre 2014 et 2018.

Année	Expédition	Dates	Nombre de stations hydrologiques	Nombre de stations biologiques	Nombre net de stations
2014	HUD2014-007	6 au 15 mai	32	7	27
2015	HUD2015-006	6 au 18 mai	30	7	29
2016	HUD2016-006	5 au 15 mai	24	7	27
2017	Aucune expédition	-	-	-	-
2018	HUD2018-008	3 au 9 mai	23	7	22

FIGURES

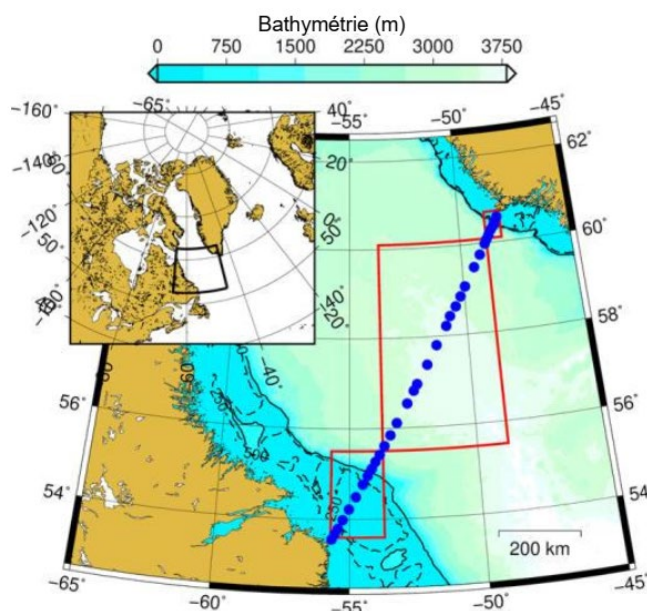


Figure 1. Transect AR7W dans la mer du Labrador. Les points bleus représentent l'emplacement des stations principales. Les boîtes rouges correspondent aux régions pour lesquelles on a extrait la concentration de chlorophylle-a observée par satellite (plateau du Labrador, centre de la mer du Labrador et plateau du Groenland). Les lignes noires pleine et tiretée correspondent aux isobathes de 500 et 250 m, respectivement.

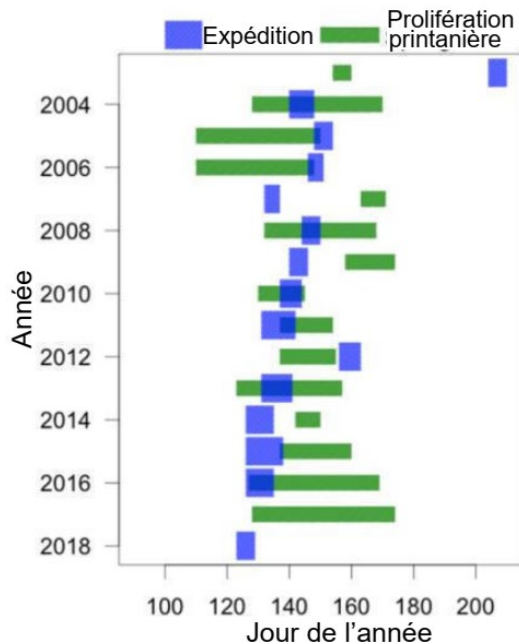


Figure 2. Paramètres de la floraison pour le centre de la mer du Labrador. Les rectangles bleus représentent la période d'échantillonnage (occupation réelle du transect AR7W) et les rectangles verts correspondent à la durée de la floraison printanière dans le centre de la mer du Labrador, selon la couleur de l'océan déterminée par satellite. Toutes les dates sont exprimées en jours juliens. La disponibilité des navires n'a pas permis de mener d'expédition en 2017 et la présence de nuages épais en 2018 a empêché la formulation d'une description fiable de la floraison du phytoplancton.

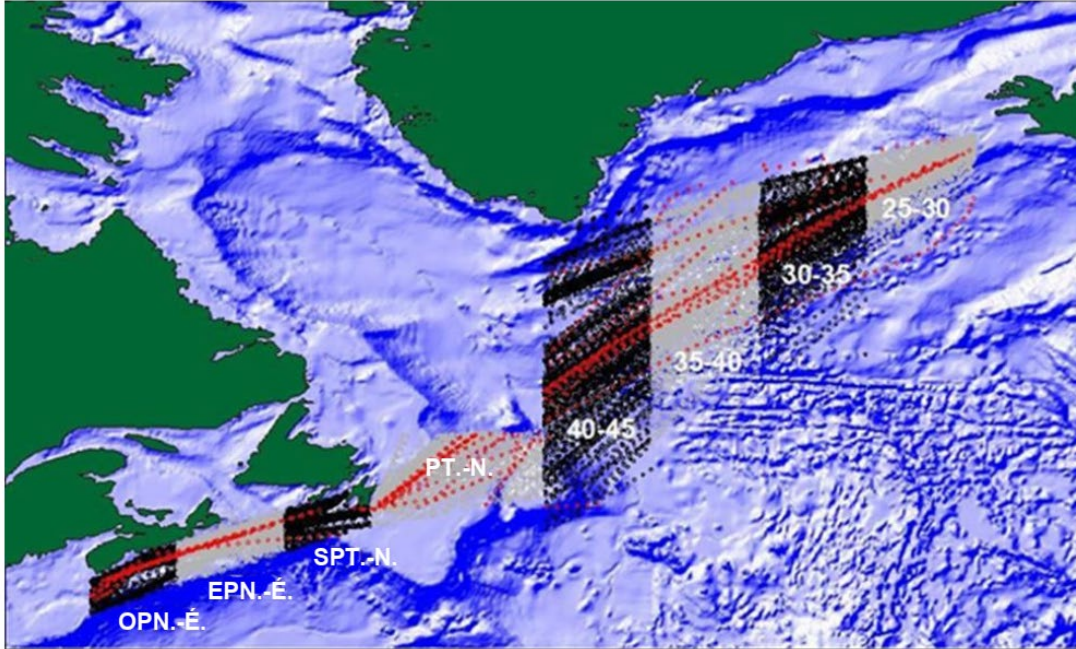


Figure 3. Lignes et stations correspondant aux lignes CPR de 1957 à 2017. Les lignes échantillonnées en 2017 sont indiquées en rouge. Les données sont analysées par région. Les régions sont les suivantes : ouest du plateau néo-écossais (OPN.-É.), est du plateau néo-écossais (EPN.-É.), sud du plateau de Terre-Neuve (SPT.-N.), plateau de Terre-Neuve (PT.-N.), et entre les longitudes de 40 à 45 °O, de 35 à 40 °O, de 30 à 35 °O et de 25 à 30 °O.

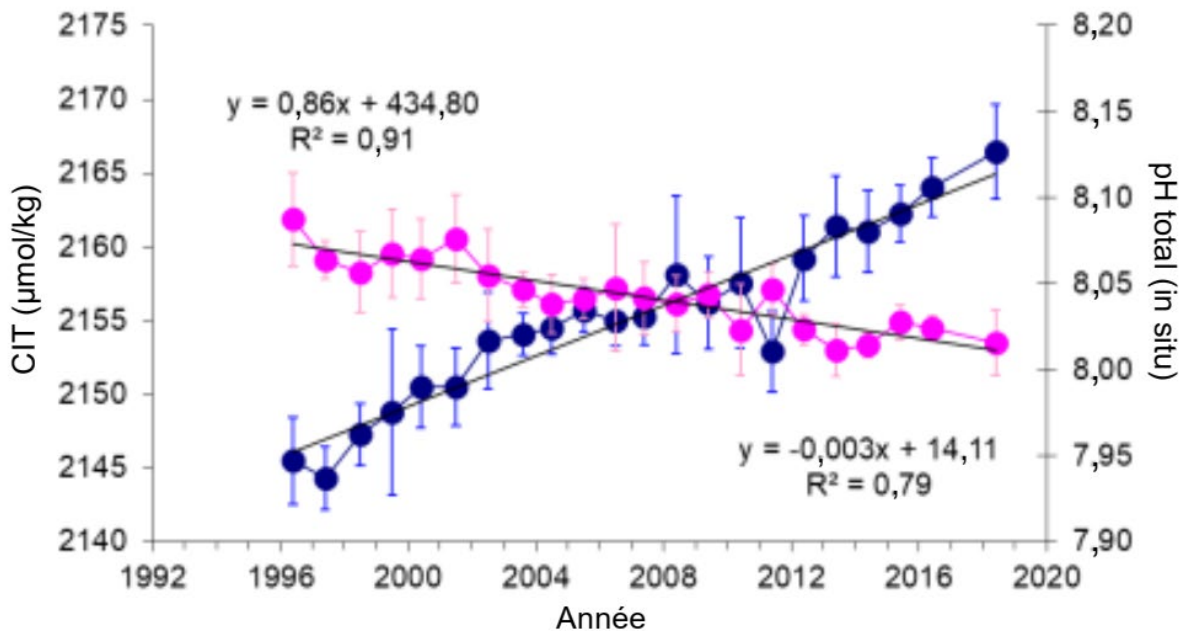


Figure 4. Séries chronologiques du carbone inorganique total (CIT) (cercles pleins bleus) et du pH (cercles pleins roses) dans la couche d'eau nouvellement ventilée de la mer du Labrador, définie comme étant la plage de profondeurs de 150 à 500 m dans le centre de la mer du Labrador. Les barres verticales indiquent un écart-type et les lignes pleines noires correspondent à la régression linéaire du carbone inorganique total et du pH par rapport à la période de l'année pour les stations situées dans le centre de la mer du Labrador entre 1996 et 2018.

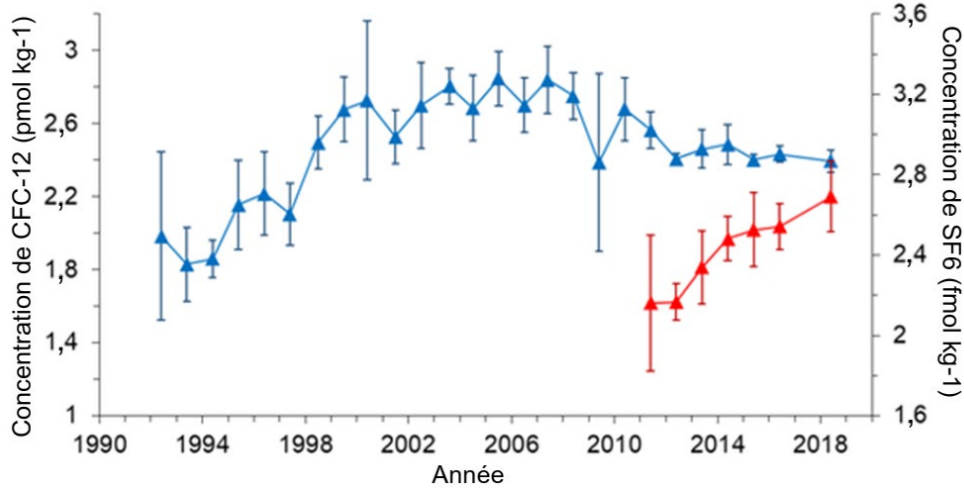


Figure 5. Concentrations moyennes annuelles de CFC-12 (triangles pleins bleus) et de SF₆ (triangles pleins rouges) dans la couche d'eau nouvellement ventilée de la mer du Labrador, définie comme étant la plage de profondeurs de 150 à 500 m dans le centre de la mer du Labrador entre 1991 et 2018. Les barres verticales indiquent un écart-type.

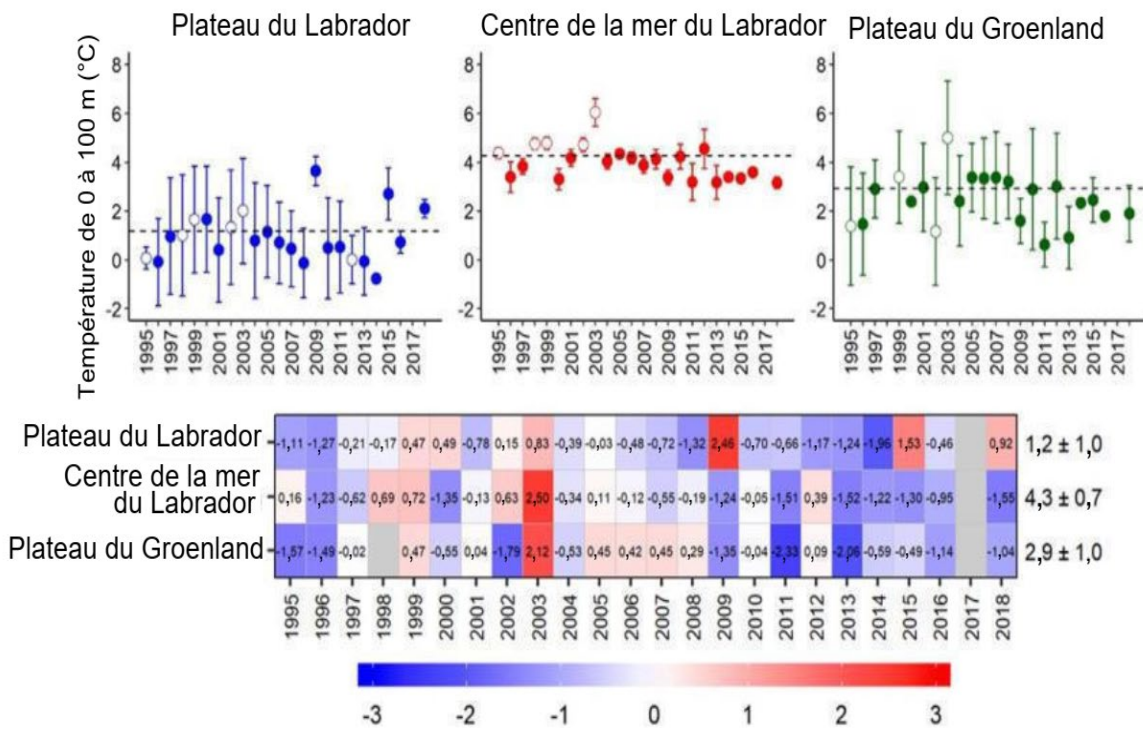


Figure 6. Trois graphiques du haut : Température annuelle moyenne à la surface (en °C) mesurée par le profil descendant de CTD de la surface jusqu'à 100 m pour le plateau du Labrador (en bleu), le centre de la mer du Labrador (en rouge) et le plateau du Groenland (en vert). Les cercles vides correspondent aux années où l'échantillonnage a eu lieu plus tard que d'habitude (c.-à-d., fin juin/début juillet). Les lignes tiretées indiquent la valeur moyenne de la période de référence (1999 à 2010) et les barres verticales indiquent un écart-type. Le graphique du bas présente les mêmes données, exprimées en anomalies normalisées (sans dimension) pendant la même période de référence. Les nombres dans les cellules des tableaux de bord représentent les anomalies normalisées annuelles. Les nombres à droite indiquent les valeurs moyennes de 1999 à 2010 (c.-à-d., référence) pour une région donnée ainsi que l'écart-type (c.-à-d., moyenne ± écart-type).

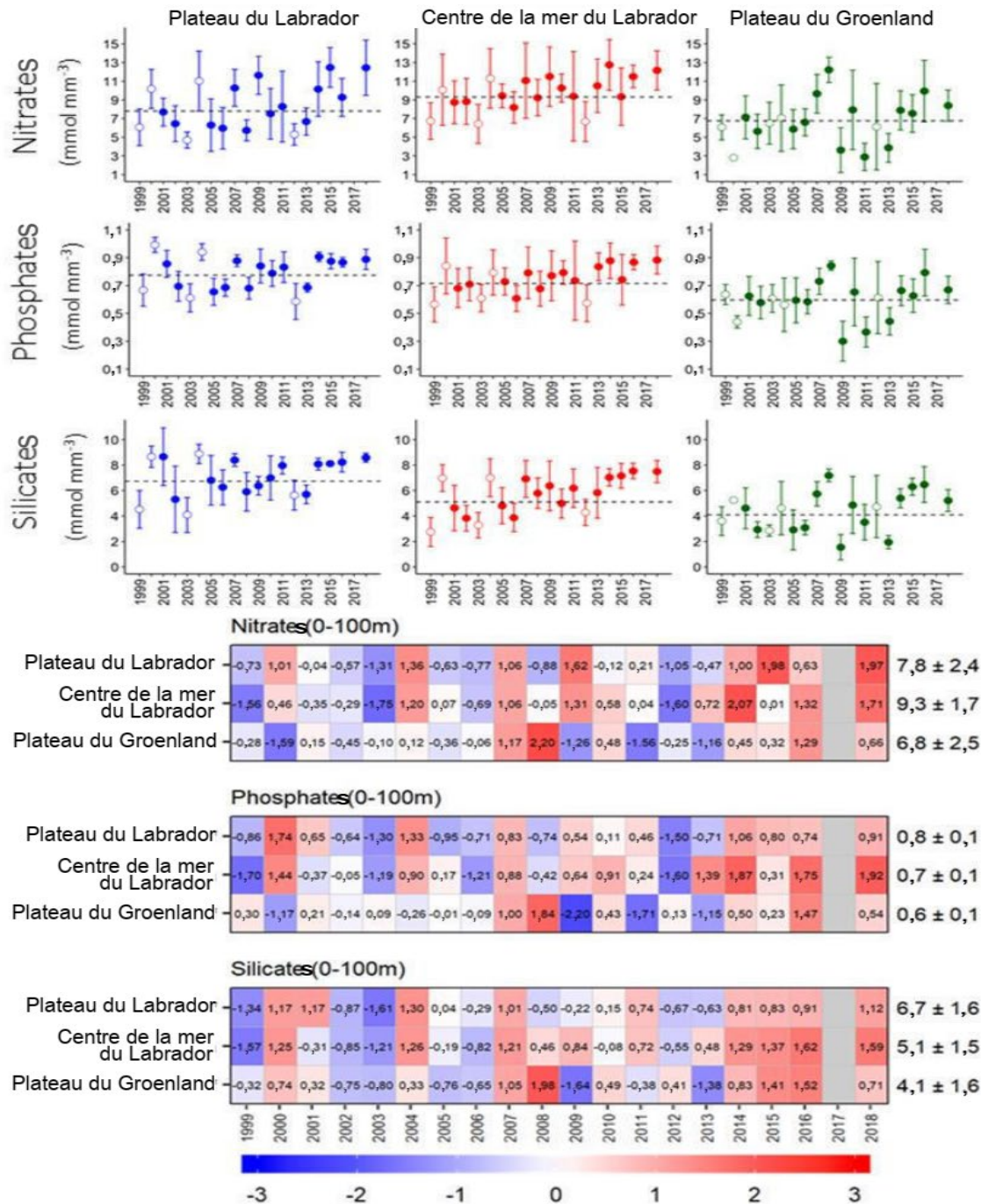


Figure 7. Graphiques du haut : Moyenne annuelle des concentrations moyennes des éléments nutritifs à la surface (< 100 m de profondeur) pour le plateau du Labrador (en bleu), le centre de la mer du Labrador (en rouge) et le plateau du Groenland (en vert). Les cercles vides correspondent aux années où l'échantillonnage a eu lieu plus tard que d'habitude (c.-à-d., fin juin/début juillet). Les lignes tirées indiquent la valeur moyenne de la période de référence (1999 à 2010) et les barres verticales indiquent un écart-type. Graphiques du bas : Anomalies annuelles des éléments nutritifs à la surface de 1999 à 2018 pour le plateau du Labrador, le centre de la mer du Labrador et le plateau du Groenland. Les cases grisées indiquent qu'il n'existe aucune donnée. Les nombres dans les cellules des tableaux de bord représentent les anomalies normalisées annuelles. Les nombres à droite indiquent les valeurs moyennes de 1999 à 2010 (c.-à-d., référence) pour une région donnée ainsi que l'écart-type (c.-à-d., moyenne ± écart-type).

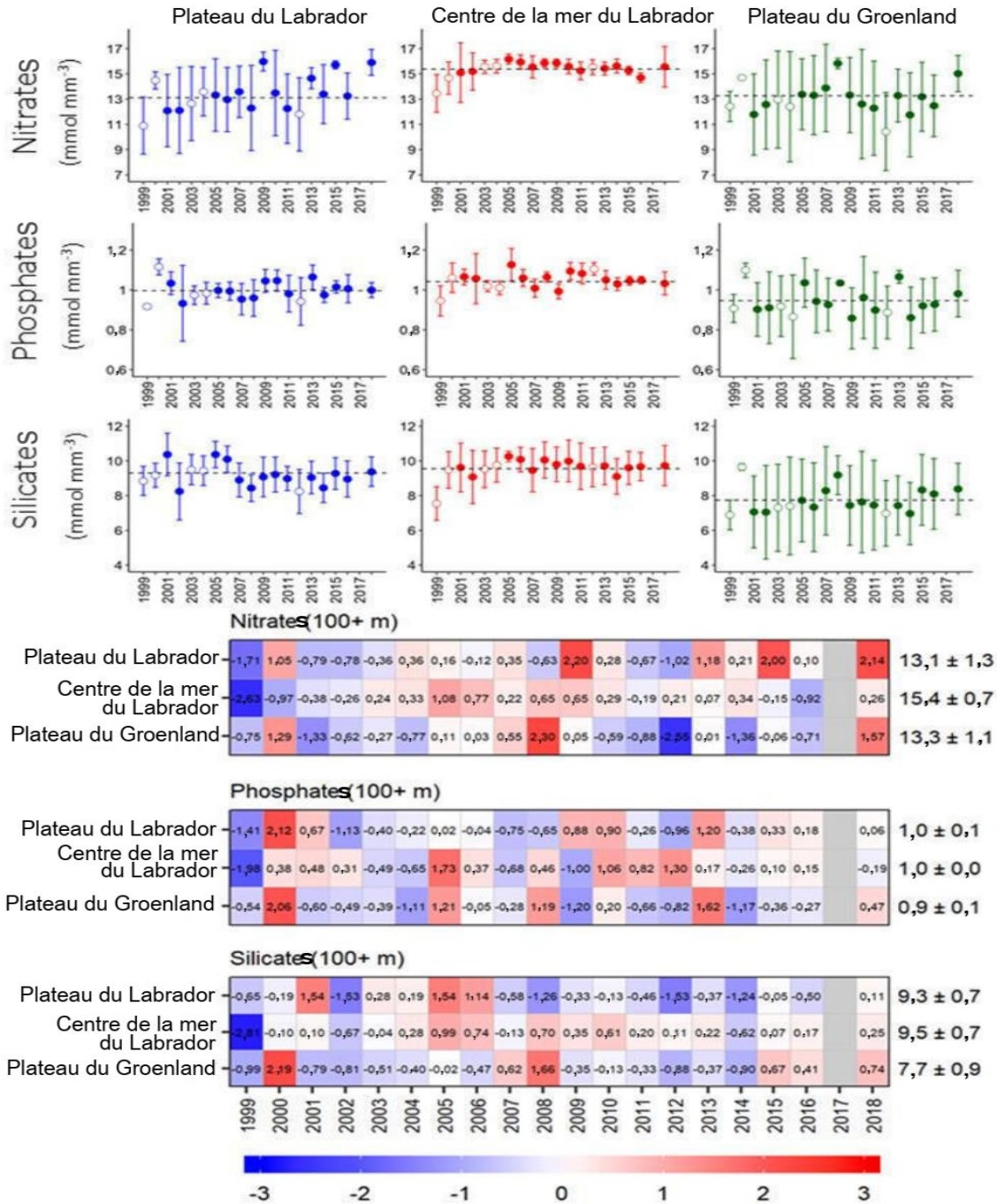


Figure 8. Graphiques du haut : Moyenne annuelle des concentrations moyennes des éléments nutritifs en profondeur (plus de 100 m) pour le plateau du Labrador (en bleu), le centre de la mer du Labrador (en rouge) et le plateau du Groenland (en vert). Les cercles vides correspondent aux années où l'échantillonnage a eu lieu plus tard que d'habitude (c.-à-d., fin juin/début juillet). Les lignes tirées indiquent la valeur moyenne de la période de référence (1999 à 2010) et les barres verticales indiquent un écart-type. Graphiques du bas : Anomalies annuelles des éléments nutritifs en profondeur de 1999 à 2018 pour le plateau du Labrador, le centre de la mer du Labrador et le plateau du Groenland. Les cases grisées indiquent qu'il n'existe aucune donnée. Les nombres dans les cellules des tableaux de bord représentent les anomalies normalisées annuelles. Les nombres à droite indiquent les valeurs moyennes de 1999 à 2010 (c.-à-d., référence) pour une région donnée ainsi que l'écart-type (c.-à-d., moyenne ± écart-type).

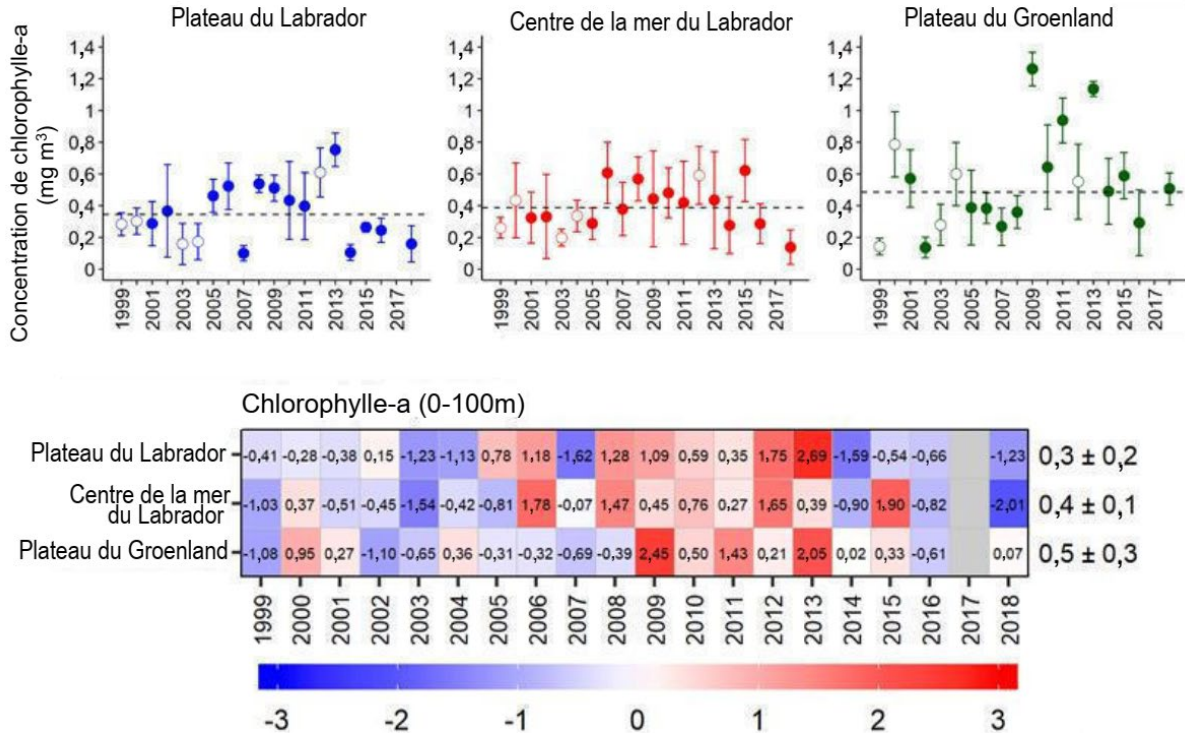


Figure 9. Trois graphiques du haut : Moyenne annuelle des concentrations moyennes de chlorophylle-a à la surface (< 100 m de profondeur) pour le plateau du Labrador (en bleu), le centre de la mer du Labrador (en rouge) et le plateau du Groenland (en vert). Les cercles vides correspondent aux années où l'échantillonnage était plus tardif que la normale (c.-à-d., fin juin/début juillet). Les lignes tiretées indiquent la valeur moyenne de la période de référence (1999 à 2010) et les barres verticales indiquent un écart-type. Graphique du bas : Anomalies annuelles de 1999 à 2018 pour le plateau du Labrador, le centre de la mer du Labrador et le plateau du Groenland. Les cases grisées indiquent qu'il n'existe aucune donnée. Les nombres dans les cellules représentent les anomalies normalisées annuelles. Les nombres à droite indiquent les valeurs moyennes de 1999 à 2010 (c.-à-d., référence) pour une région donnée ainsi que l'écart-type (c.-à-d., moyenne ± écart-type).

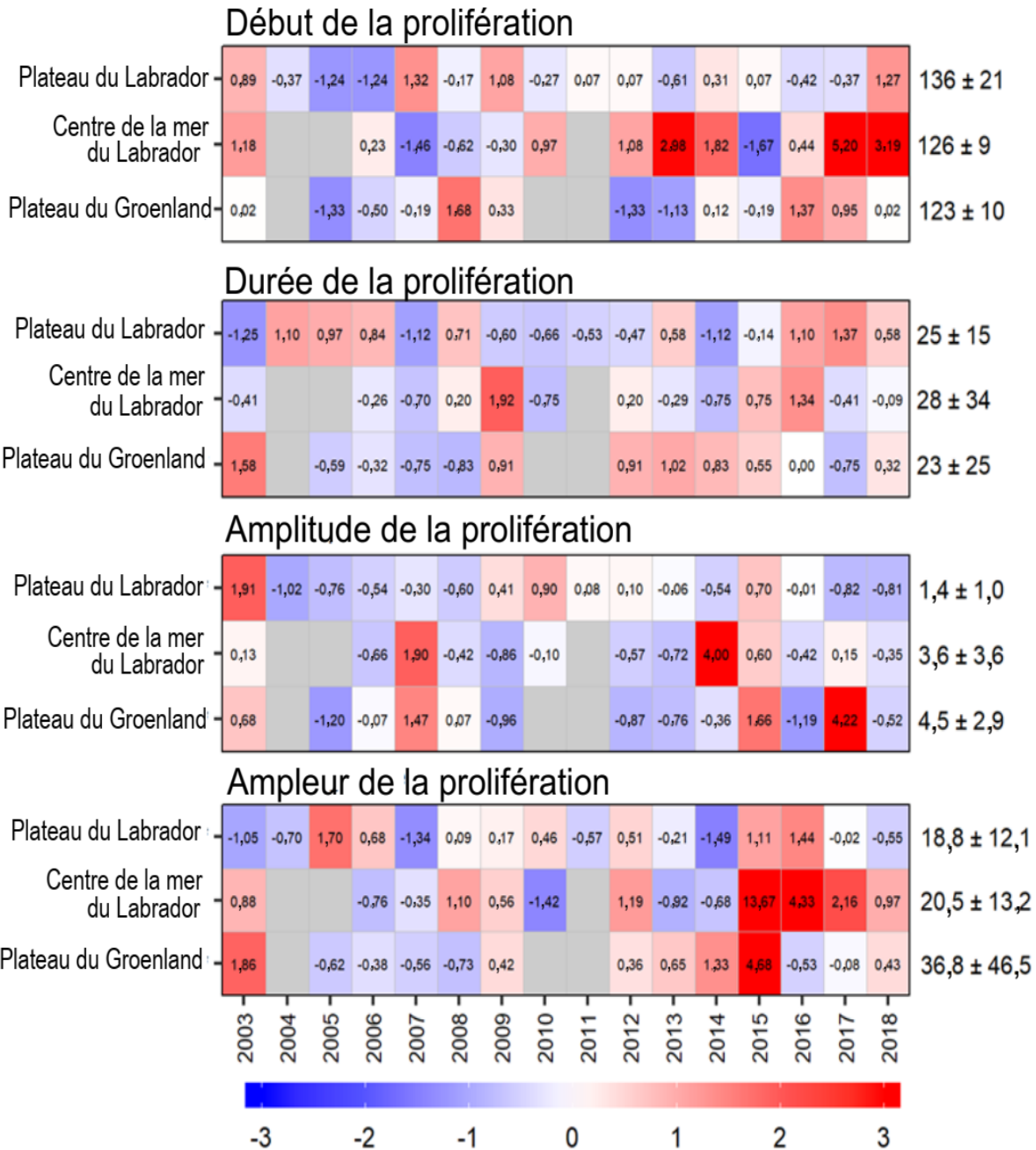


Figure 10. Anomalies annuelles pour les paramètres de la floraison (sans dimension) de 2003 à 2018 pour le plateau du Labrador, le centre de la mer du Labrador et le plateau du Groenland. Les cases grisées indiquent qu'il n'existe aucune donnée. Les nombres dans les cellules représentent les anomalies normalisées annuelles. Les nombres à droite indiquent les valeurs moyennes de 1999 à 2010 (c.-à-d., référence) pour une région donnée ainsi que l'écart-type (c.-à-d., moyenne ± écart-type).

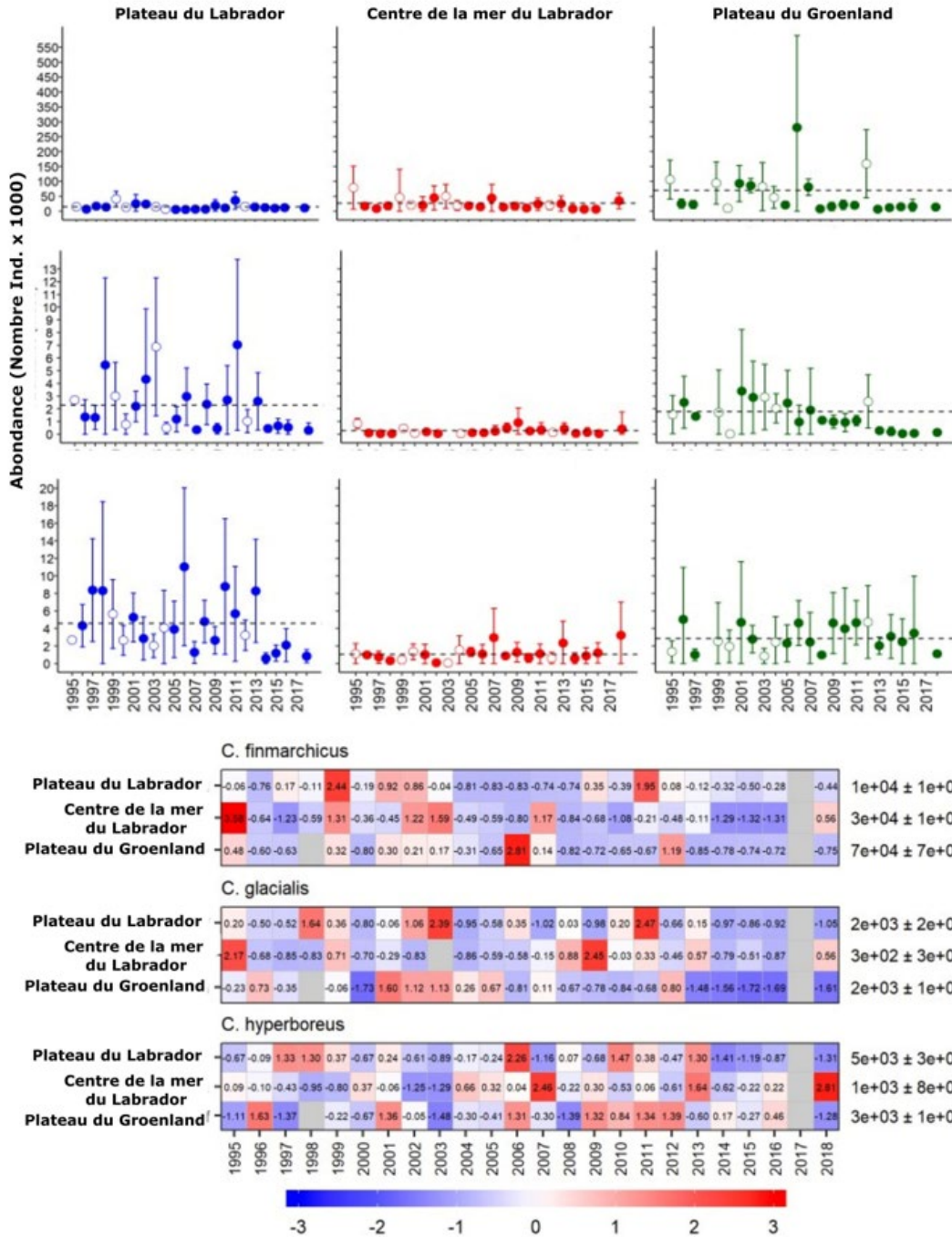


Figure 11. Abondances de *Calanus finmarchicus*, de *C. glacialis* et de *C. hyperboreus* de 1995 à 2018 pour le plateau du Labrador (en bleu), le centre de la mer du Labrador (en rouge) et le plateau du Groenland (en vert). Les cercles vides correspondent aux années où l'échantillonnage était plus tardif que la normale (c.-à-d., fin juin/début juillet). Les lignes tiretées indiquent la valeur moyenne de la période de référence (1999 à 2010) et les barres verticales indiquent un écart-type. Le graphique du bas présente les mêmes données, exprimées en anomalies normalisées (sans dimension) pendant la même période de référence. Les cases grisées indiquent qu'il n'existe aucune donnée. Les nombres dans les cellules représentent les anomalies normalisées annuelles. Les nombres à droite indiquent les valeurs moyennes de 1999 à 2010 (c.-à-d., référence) pour une région donnée ainsi que l'écart-type (c.-à-d., moyenne ± écart-type).

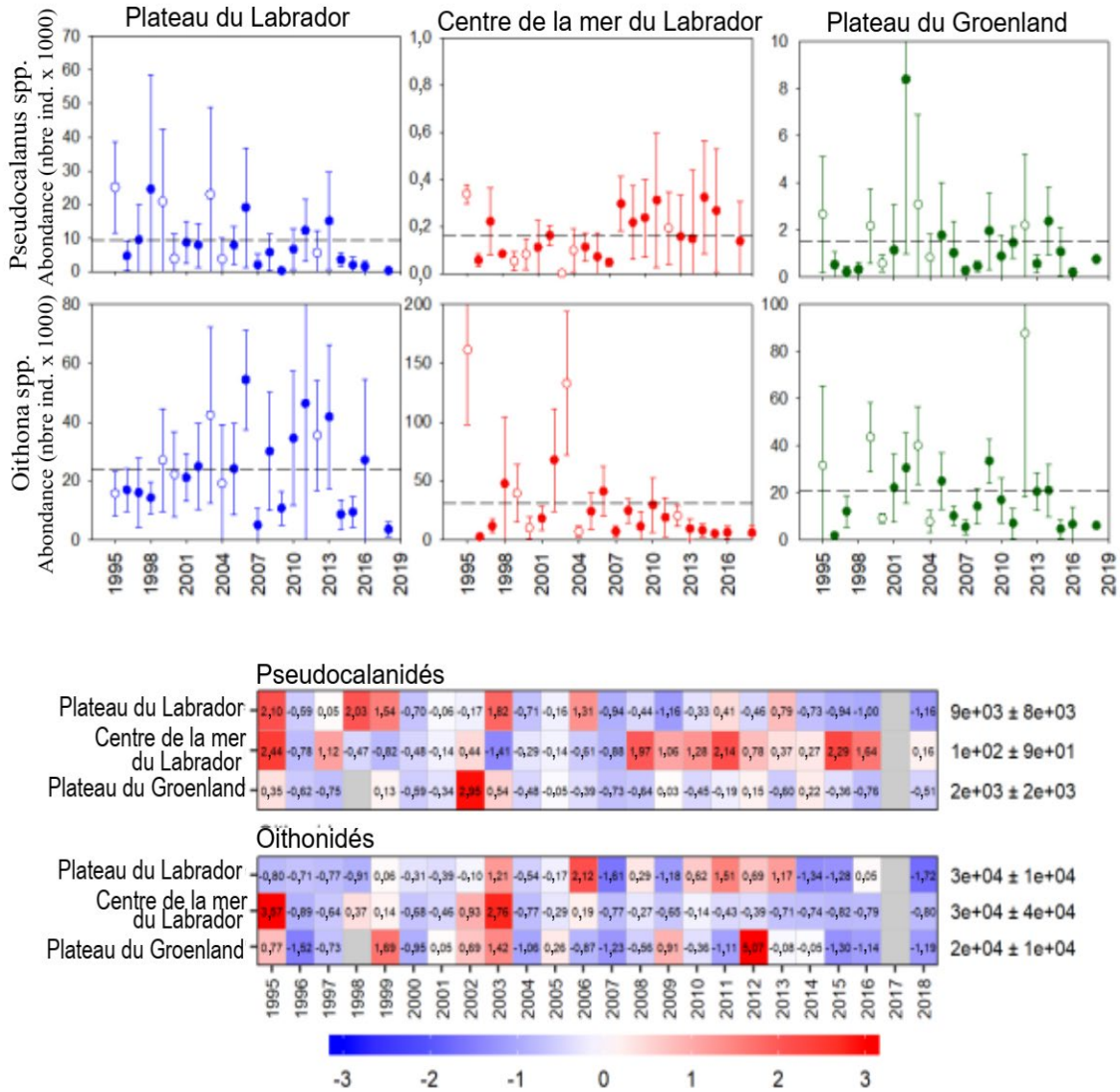


Figure 12. Anomalies de l'abondance de *Pseudocalanus* spp. et de *Oithona* spp. de 1995 à 2018 pour le plateau du Labrador (en bleu), le centre de la mer du Labrador (en rouge) et le plateau du Groenland (en vert). Les cercles vides correspondent aux années où l'échantillonnage était plus tardif que la normale (c.-à-d., fin juin/début juillet). Les lignes tirées indiquent la valeur moyenne de la période de référence (1999 à 2010) et les barres verticales indiquent un écart-type. Le graphique du bas présente les mêmes données, exprimées en anomalies normalisées (sans dimension) pendant la même période de référence. Les cases grisées indiquent qu'il n'existe aucune donnée. Les nombres à droite indiquent les valeurs moyennes de 1999 à 2010 (c.-à-d., référence) pour une région donnée ainsi que l'écart-type (c.-à-d., moyenne ± écart-type).

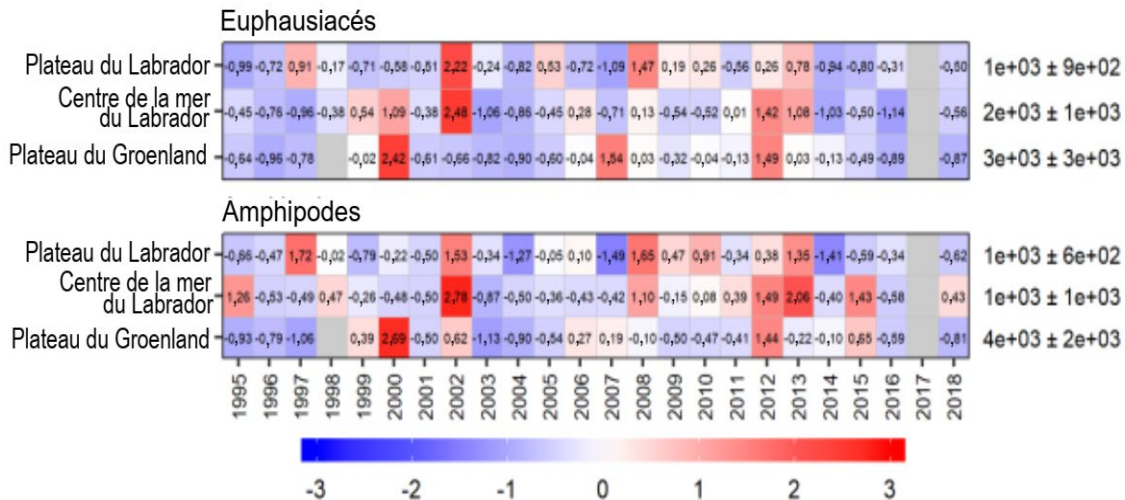
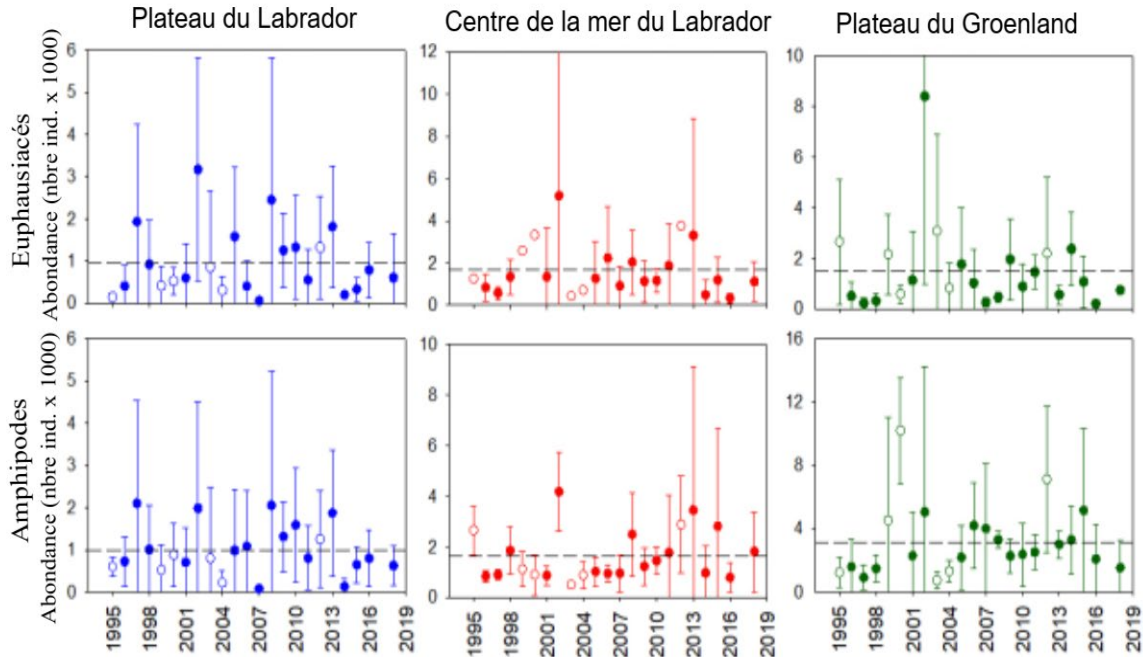


Figure 13. Anomalies des abondances des euphausiacés et des hypéridés (amphipodes) de 1995 à 2018 pour le plateau du Labrador (en bleu), le centre de la mer du Labrador (en rouge) et le plateau du Groenland (en vert). Les cercles vides correspondent aux années où l'échantillonnage était plus tardif que la normale (c.-à-d., fin juin/début juillet). Les lignes tiretées indiquent la valeur moyenne de la période de référence (1999 à 2010) et les barres verticales indiquent un écart-type. Le graphique du bas présente les mêmes données, exprimées en anomalies normalisées (sans dimension) pendant la même période de référence. Les cases grisées indiquent qu'il n'existe aucune donnée. Les nombres à droite indiquent les valeurs moyennes de 1999 à 2010 (c.-à-d., référence) pour une région donnée ainsi que l'écart-type (c.-à-d., moyenne \pm écart-type).

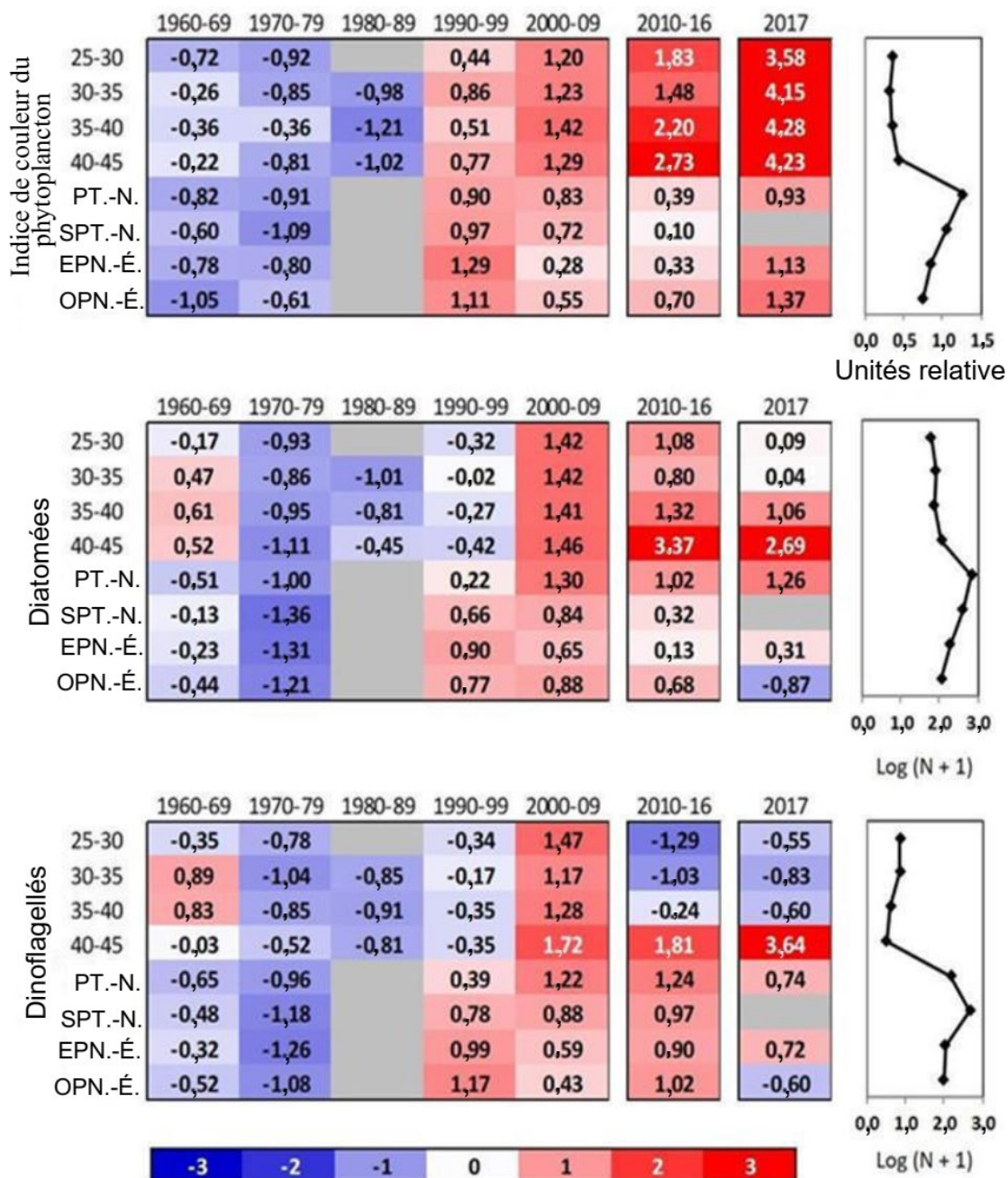


Figure 14. Tableaux de bord pour les séries chronologiques à long terme (1960 à 2017) des enregistreurs continus de plancton pour trois indices de la concentration du phytoplancton dans huit régions de l'Atlantique Nord-Ouest. Les anomalies normalisées ont été tirées des moyennes annuelles calculées à partir des moyennes mensuelles sur des périodes décennales (1960 à 2009), de 7 ans (2010 à 2016) ou annuelles (2017), d'après les moyennes climatiques calculées pour les moyennes décennales annuelles entre 1960 et 2009 (indiquées dans les graphiques de droite) et les écarts-types calculés pour les années 1992 à 2009. Les cellules vides correspondent aux années (décennies) où l'échantillonnage était trop éparé pour donner des valeurs annuelles (décennales). Les cellules rouges indiquent des valeurs supérieures à la normale et les cellules bleues, des valeurs inférieures à la normale. Les nombres dans les cellules sont les anomalies normalisées. Les régions sont les suivantes : ouest du plateau néo-écossais (OPN.-É.), est du plateau néo-écossais (EPN.-É.), sud du plateau de Terre-Neuve (SPT.-N.), plateau de Terre-Neuve (PT.-N.), et entre les longitudes de 40 à 45 °O, de 35 à 40 °O, de 30 à 35 °O et de 25 à 30 °O.

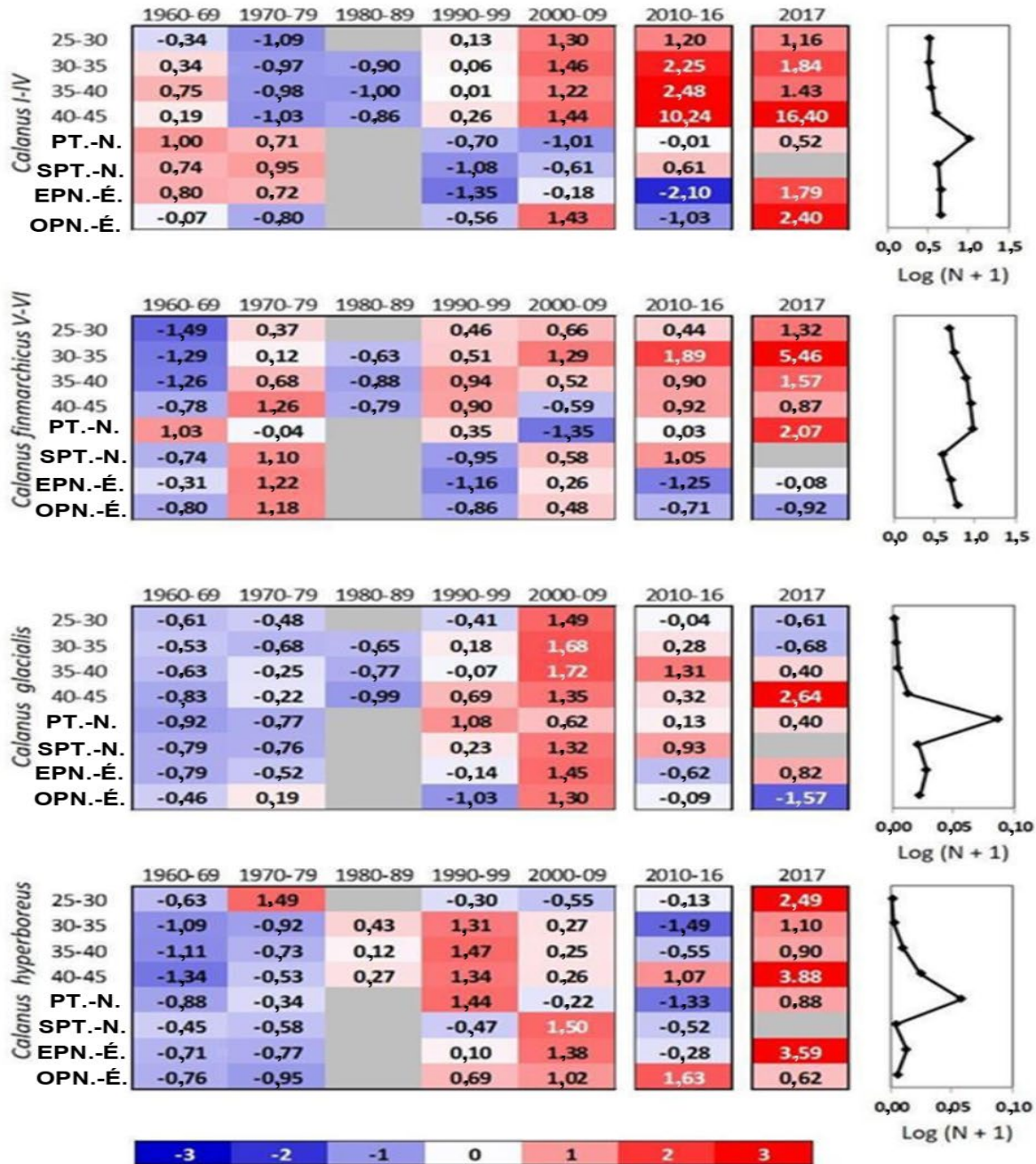


Figure 15. Tableaux de bord pour les séries chronologiques à long terme (1960 à 2016) des enregistreurs continus de plancton pour quatre taxons de *Calanus* dans huit régions de l'Atlantique Nord-Ouest. Les anomalies normalisées ont été tirées des moyennes annuelles calculées à partir des moyennes mensuelles sur des périodes décennales (1960 à 2009), de 7 ans (2010 à 2016) ou annuelles (2017), d'après les moyennes climatologiques calculées pour les moyennes décennales annuelles entre 1960 et 2009 (indiquées dans les graphiques de droite) et les écarts-types calculés pour les années 1992 à 2009. Les cellules vides correspondent aux années (décennies) où l'échantillonnage était trop éparé pour donner des valeurs annuelles (décennales). Les cellules rouges indiquent des valeurs supérieures à la normale et les cellules bleues, des valeurs inférieures à la normale. Les nombres dans les cellules sont les anomalies normalisées. Les régions sont les suivantes : ouest du plateau néo-écossais (OPN.-É.), est du plateau néo-écossais (EPN.-É.), sud du plateau de Terre-Neuve (SPT.-N.), plateau de Terre-Neuve (PT.-N.), et entre les longitudes de 40 à 45 °O, de 35 à 40 °O, de 30 à 35 °O et de 25 à 30 °O.

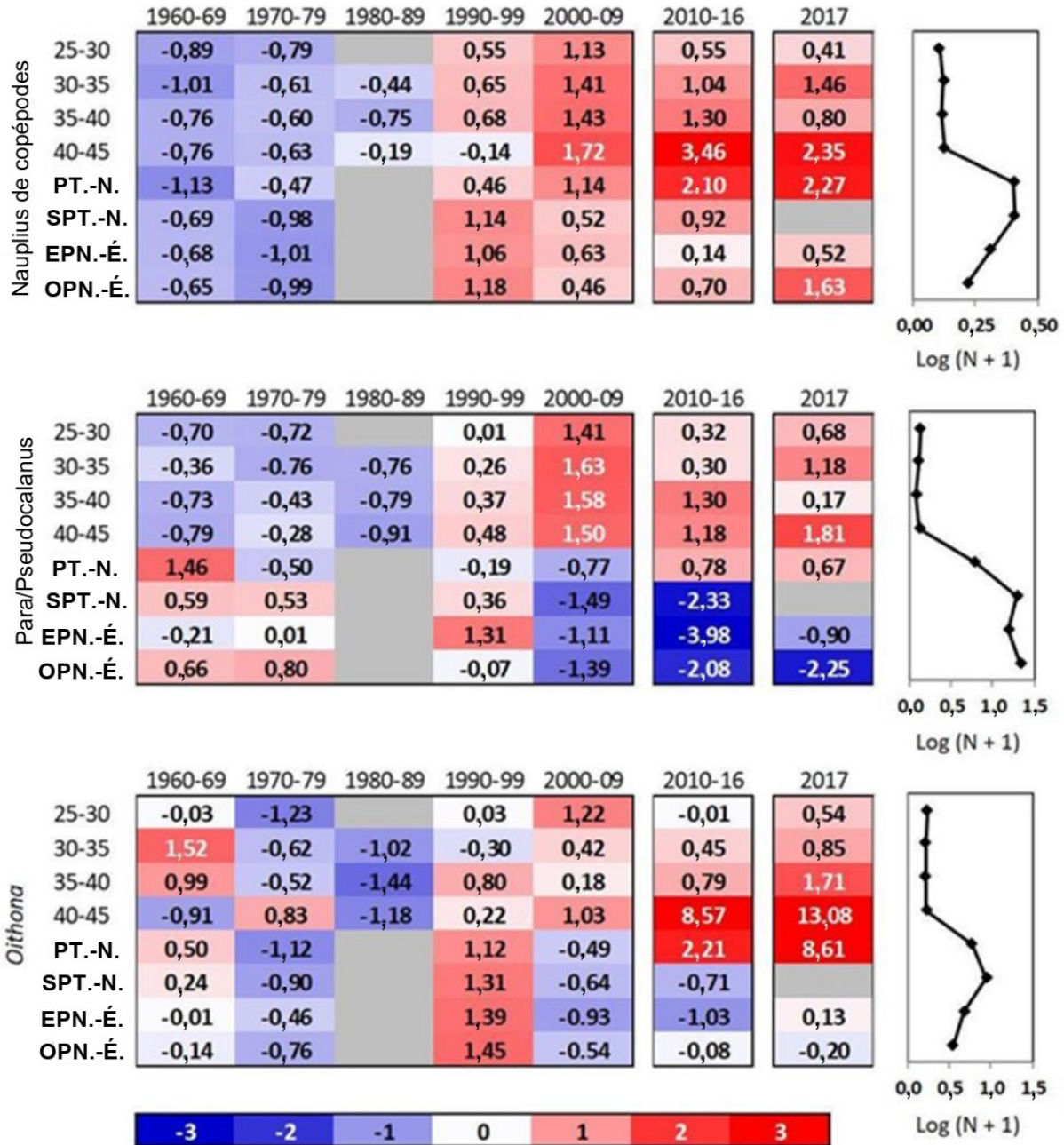


Figure 16. Anomalies annuelles pour les séries chronologiques à long terme (1960 à 2016) du CPR pour trois taxons de petits copépodes dans huit régions de l'Atlantique Nord-Ouest. Les anomalies normalisées ont été tirées des moyennes annuelles calculées à partir des moyennes mensuelles sur des périodes décennales (1960 à 2009), de 7 ans (2010 à 2016) ou annuelles (2017), d'après les moyennes climatologiques calculées pour les moyennes décennales annuelles entre 1960 et 2009 (indiquées dans les graphiques de droite) et les écarts-types calculés pour les années 1992 à 2009. Les cellules vides correspondent aux années (décennies) où l'échantillonnage était trop épars pour donner des valeurs annuelles (décennales). Les cellules rouges indiquent des valeurs supérieures à la normale et les cellules bleues, des valeurs inférieures à la normale. Les nombres dans les cellules sont les anomalies normalisées. Les régions sont les suivantes : ouest du plateau néo-écossais (OPN.-É.), est du plateau néo-écossais (EPN.-É.), sud du plateau de Terre-Neuve (SPT.-N.), plateau de Terre-Neuve (PT.-N.), et entre les longitudes de 40 à 45 °O, de 35 à 40 °O, de 30 à 35 °O et de 25 à 30 °O.

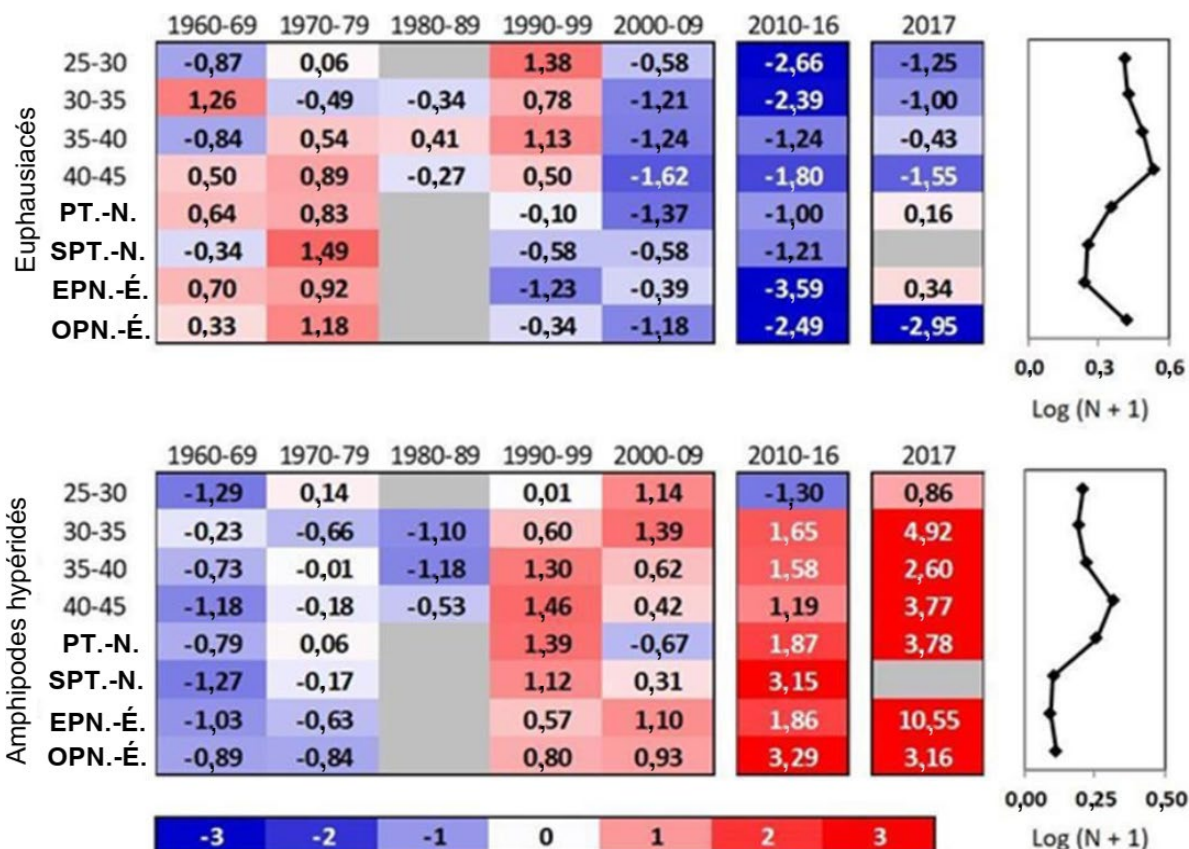


Figure 17. Anomalies annuelles pour les séries chronologiques à long terme (1960 à 2016) du CPR pour deux taxons de macrozooplancton dans huit régions de l'Atlantique Nord-Ouest. Les anomalies normalisées ont été tirées des moyennes annuelles calculées à partir des moyennes mensuelles sur des périodes décennales (1960 à 2009), de 7 ans (2010 à 2016) ou annuelles (2017), d'après les moyennes climatologiques calculées pour les moyennes décennales annuelles entre 1960 et 2009 (indiquées dans les graphiques de droite) et les écarts-types calculés pour les années 1992 à 2009. Les cellules vides correspondent aux années (décennies) où l'échantillonnage était trop éparé pour donner des valeurs annuelles (décennales). Les cellules rouges indiquent des valeurs supérieures à la normale et les cellules bleues, des valeurs inférieures à la normale. Les nombres dans les cellules sont les anomalies normalisées. Les régions sont les suivantes : ouest du plateau néo-écossais (OPN.-É.), est du plateau néo-écossais (EPN.-É.), sud du plateau de Terre-Neuve (SPT.-N.), plateau de Terre-Neuve (PT.-N.), et entre les longitudes de 40 à 45 °O, de 35 à 40 °O, de 30 à 35 °O et de 25 à 30 °O.

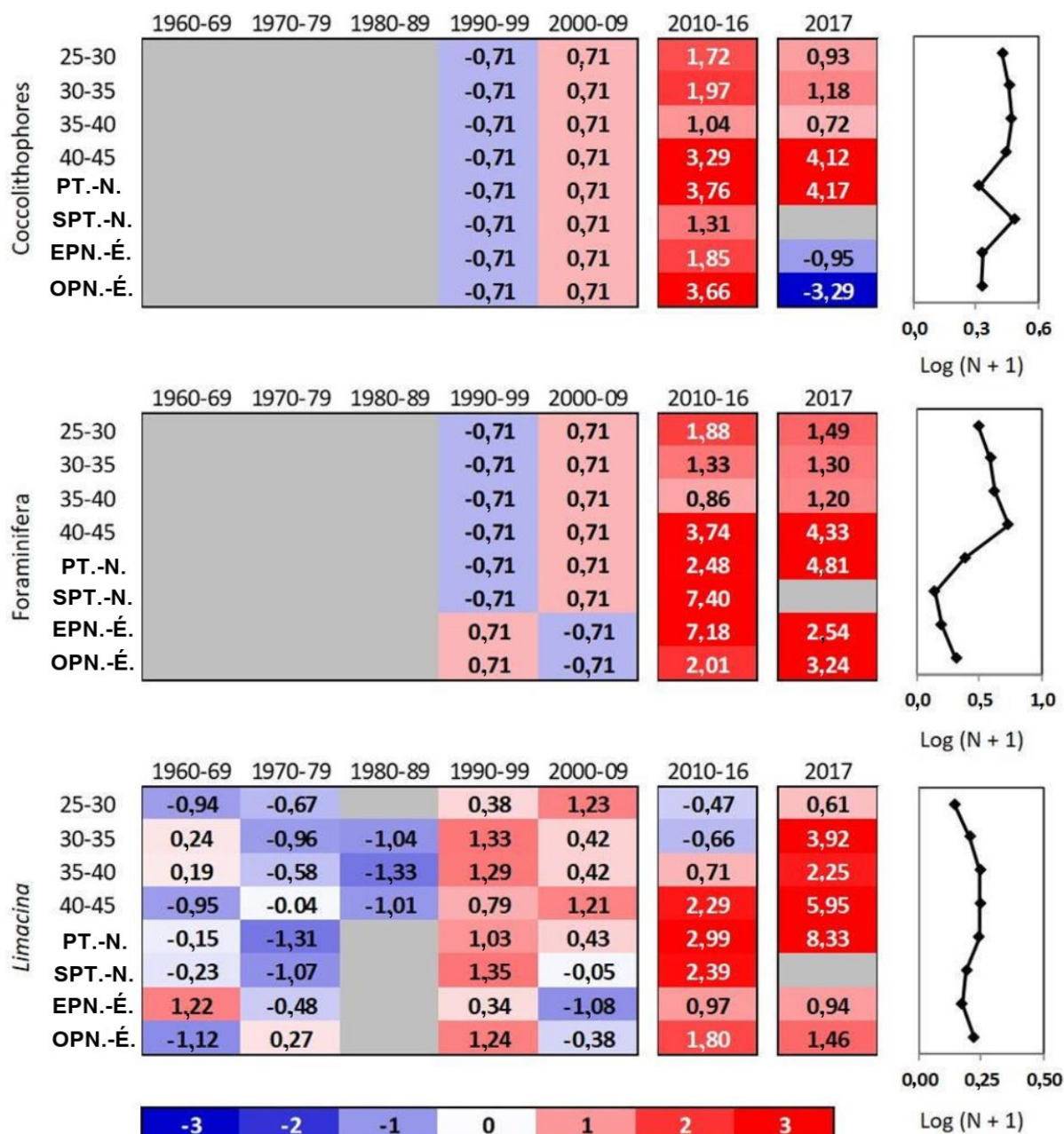


Figure 18. Anomalies annuelles pour les séries chronologiques à long terme (1960 à 2016) CPR pour les taxons sensibles aux acides dans huit régions de l'Atlantique Nord-Ouest. Les anomalies normalisées ont été tirées des moyennes annuelles calculées à partir des moyennes mensuelles sur des périodes décennales (1960 à 2009), de 7 ans (2010 à 2016) ou annuelles (2017), d'après les moyennes climatologiques calculées pour les moyennes décennales annuelles entre 1960 et 2009 (indiquées dans les graphiques de droite) et les écarts-types calculés pour les années 1992 à 2009. Les cellules vides correspondent aux années (décennies) où l'échantillonnage était trop épars pour donner des valeurs annuelles (décennales). Les cellules rouges indiquent des valeurs supérieures à la normale et les cellules bleues, des valeurs inférieures à la normale. Les nombres dans les cellules sont les anomalies normalisées. Les régions sont les suivantes : ouest du plateau néo-écossais (OPN.-É.), est du plateau néo-écossais (EPN.-É.), sud du plateau de Terre-Neuve (SPT.-N.), plateau de Terre-Neuve (PT.-N.), et entre les longitudes de 40 à 45 °O, de 35 à 40 °O, de 30 à 35 °O et de 25 à 30 °O.

ANNEXE 1

Pourcentage de couverture ● 25 ● 50 ● 75 ● 100

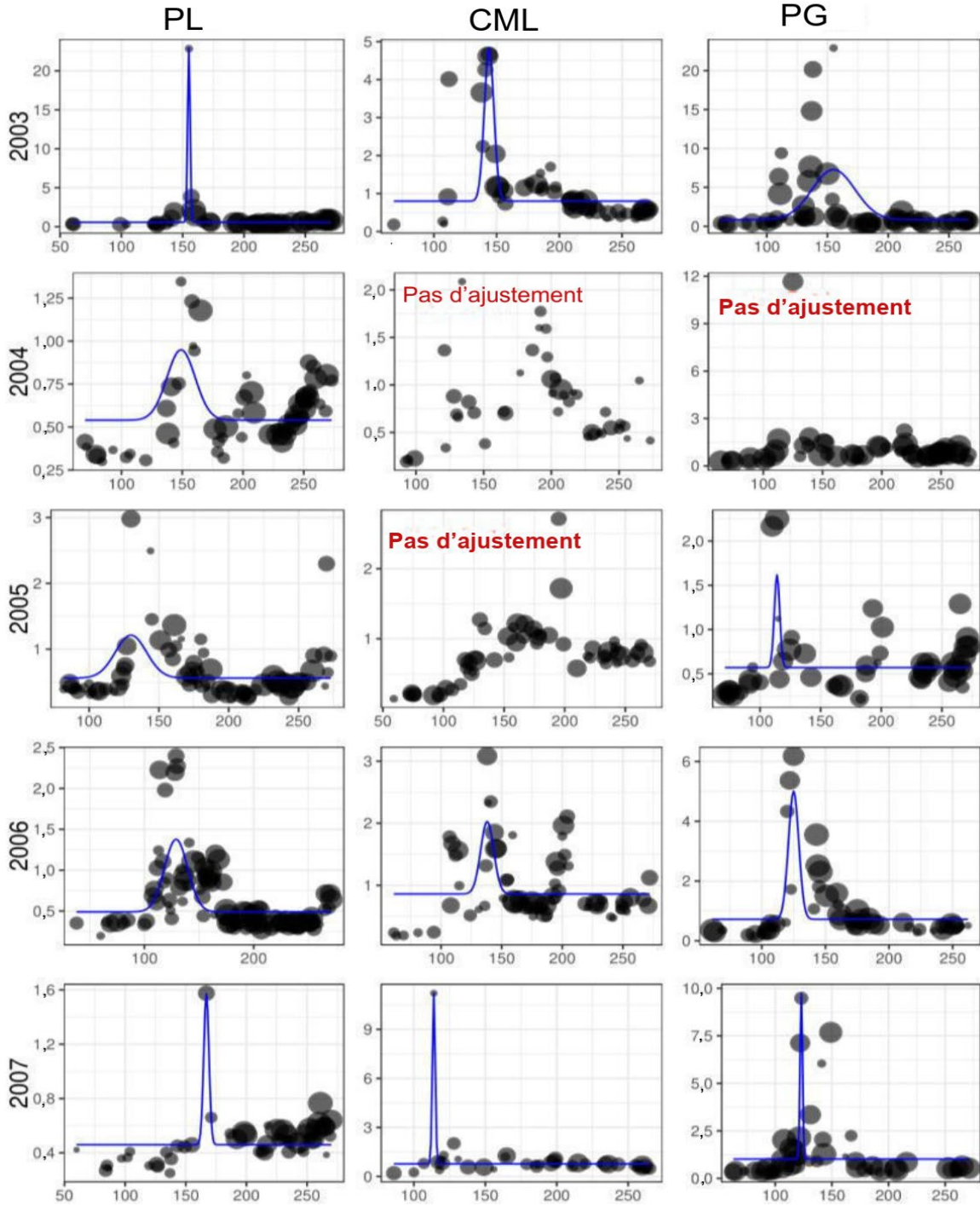


Figure A1. Moyenne de la concentration quotidienne de chlorophylle-a d'après MODIS-Aqua (cercles pleins) pour le plateau du Labrador, le centre de la mer du Labrador et le plateau du Groenland entre 2003 et 2007. Les lignes pleines bleues correspondent à l'ajustement de la floraison printanière du phytoplancton selon l'approche de la fonction gaussienne décalée. La taille des cercles pleins correspond au pourcentage de données disponibles un jour donné dans les régions.

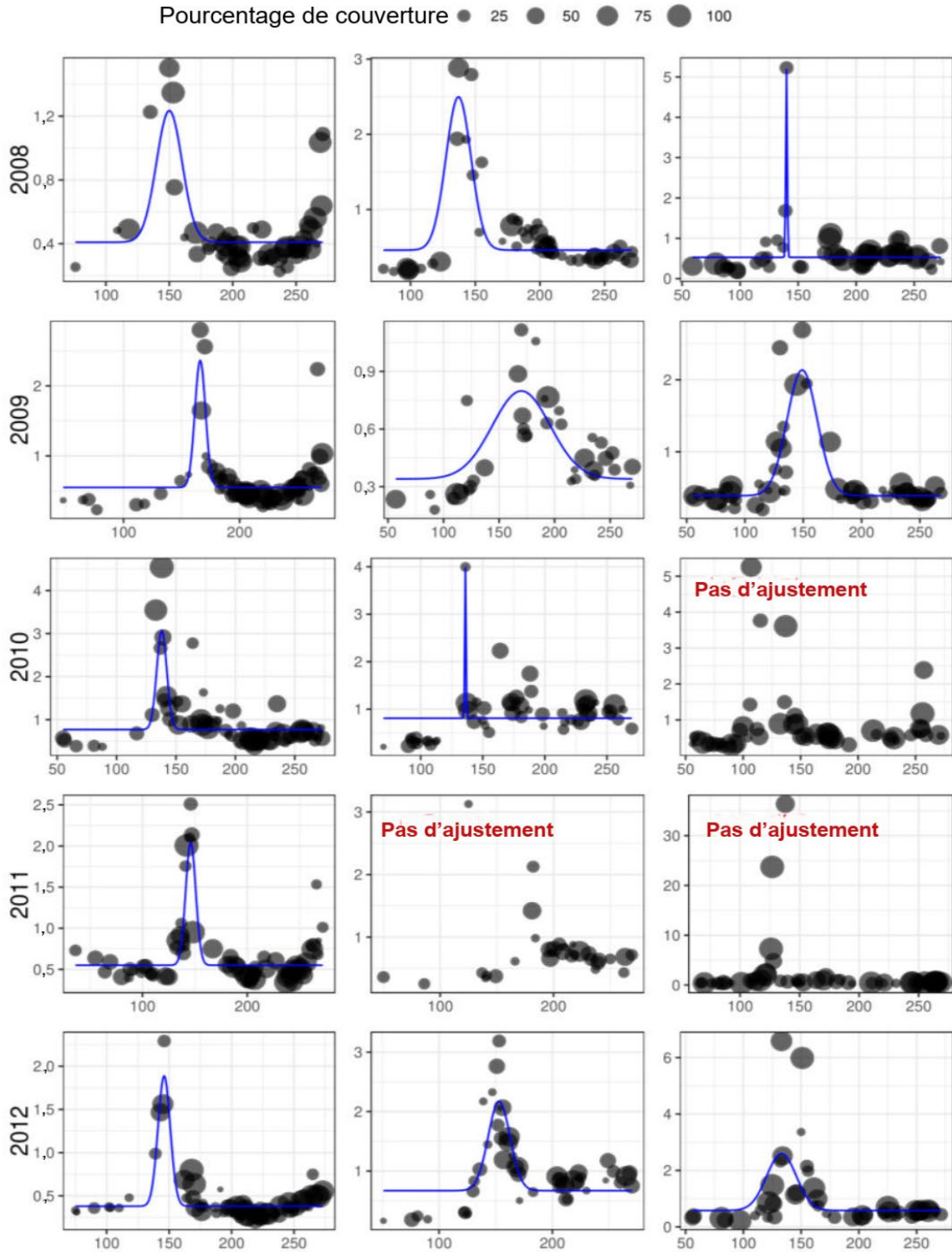


Figure A2. Moyenne de la concentration quotidienne de chlorophylle-a d'après MODIS-Aqua (cercles pleins) pour le plateau du Labrador, le centre de la mer du Labrador et le plateau du Groenland entre 2008 et 2012. Les lignes pleines bleues correspondent à l'ajustement de la floraison printanière du phytoplancton selon l'approche de la fonction gaussienne décalée. La taille des cercles pleins correspond au pourcentage de données disponibles un jour donné dans les régions.

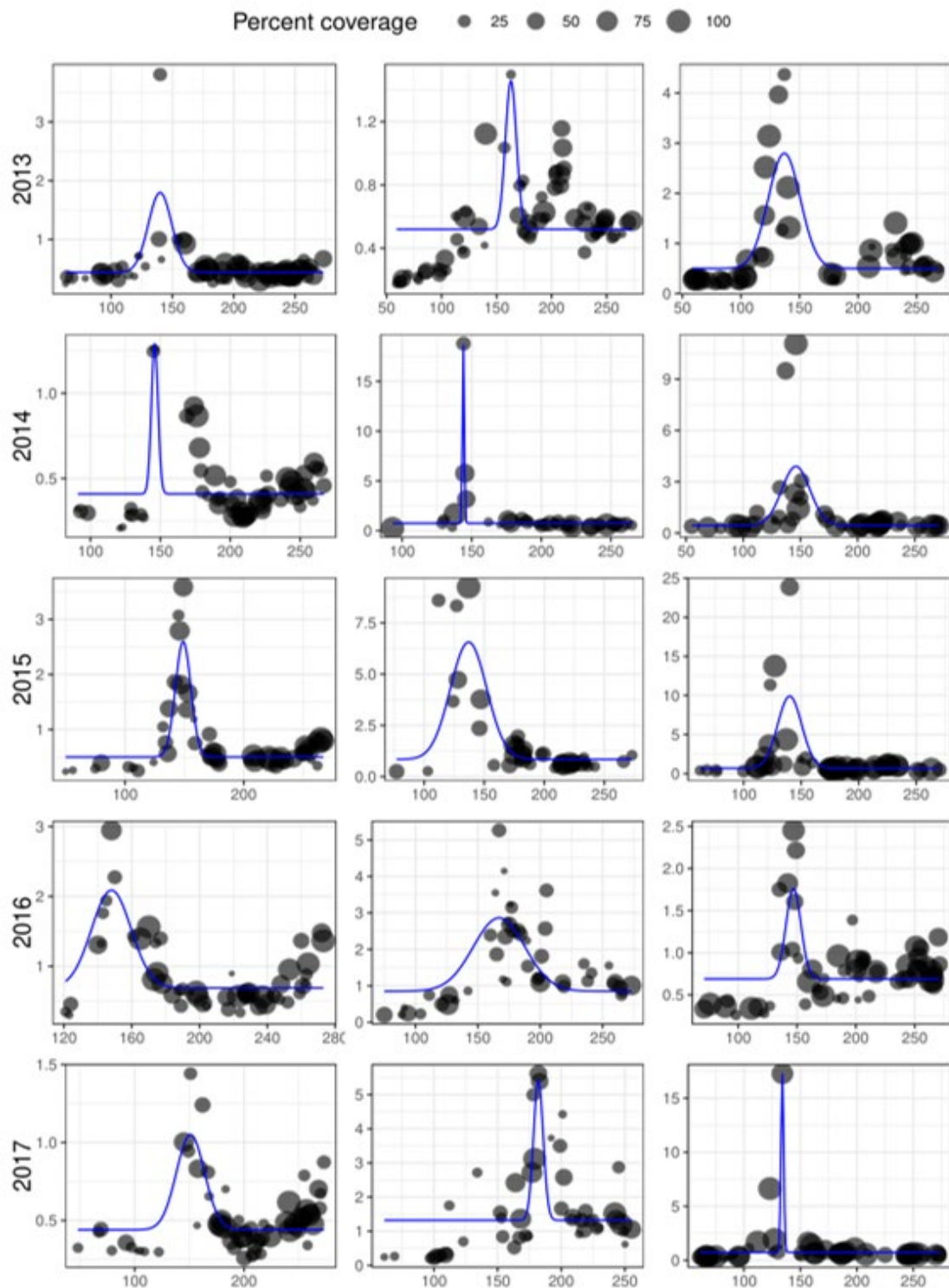


Figure A3. Moyenne de la concentration quotidienne de chlorophylle-a d'après MODIS-Aqua (cercles pleins) pour le plateau du Labrador, le centre de la mer du Labrador et le plateau du Groenland entre 2013 et 2017. Les lignes pleines bleues correspondent à l'ajustement de la floraison printanière du phytoplancton selon l'approche de la fonction gaussienne décalée. La taille des cercles pleins correspond au pourcentage de données disponibles un jour donné dans les régions.

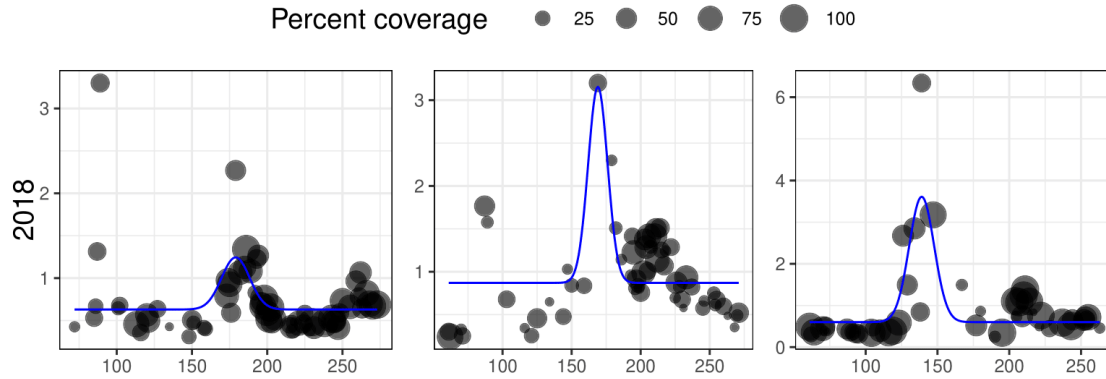


Figure A4. Moyenne de la concentration quotidienne de chlorophylle-a d'après MODIS-Aqua (cercles pleins) pour le plateau du Labrador, le centre de la mer du Labrador et le plateau du Groenland en 2018. Les lignes pleines bleues correspondent à l'ajustement de la floraison printanière du phytoplancton selon l'approche de la fonction gaussienne décalée. La taille des cercles pleins correspond au pourcentage de données disponibles un jour donné dans les régions.