Pêches et Océans Canada
Fisheries and Oceans Canada

Sciences des écosystèmes et des océans
Ecosystems and Oceans Science

Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS)

Document de recherche 2020/002

Région des Maritimes

Conditions océanographiques optiques, chimiques et biologiques du plateau néo-écossais et de l'est du golfe du Maine en 2017

C. Johnson, E. Devred, B. Casault, E. Head, A. Cogswell, et J. Spry

Pêches et Océans Canada
Institut océanographique de Bedford
C.P. 1006, 1, promenade Challenger
Dartmouth (Nouvelle-Écosse)
Canada B2Y 4A2

Juillet 2020

Avant-propos

Cette série de documents présente les fondements scientifiques des évaluations des ressources et des écosystèmes aquatiques du Canada. Elle traite des problèmes courants selon des échéanciers dictés. Les documents qu'elle contient ne doivent pas être considérés comme des énoncés définitifs sur les sujets traités, mais plutôt comme des rapports d'étape sur les études en cours.

Publié par :

Pêches et Océans Canada
Secrétariat canadien de consultation scientifique
200, rue Kent
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/
csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2020
ISSN 2292-4272

La présente publication doit être citée comme suit :

Johnson, C., Devred, E., Casault, B., Head, E., Cogswell, A., et Spry, J. 2020. Conditions océanographiques optiques, chimiques et biologiques du plateau néo-écossais et de l'est du golfe du Maine en 2017. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech. 2020/002. vi + 71 p.

Also available in English :

Johnson, C., Devred, E., Casault, B., Head, E., Cogswell, A., and Spry, J. 2020. Optical, Chemical, and Biological Oceanographic Conditions on the Scotian Shelf and in the Eastern Gulf of Maine During 2017. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2020/002. v + 66 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ v
INTRODUCTION 1
MÉTHODES 2
MISSIONS 2
Stations d'échantillonnage à haute fréquence 2
Section transversales du plateau néo-écossais 2
Relevés au chalut de l'écosystème 3
DÉPLOIEMENT DES ENGINS 3
Conductivité, température et profondeur 3
Traits de filet 4
MESURES DÉRIVÉES 4
Couche de mélange et indices de stratification 4
Propriétés optiques 4
Variables intégrées verticalement 4
Groupes taxonomiques de phytoplancton 5
TÉLÉDÉTECTION DE LA COULEUR DE L'OCÉAN 5
FEUILLES DE NOTATION DES ANOMALIES ANNUELLES 6
ACCÈS AUX PRODUITS DE DONNÉES 7
ENREGISTREMENT EN CONTINU DU PLANCTON 7
PROGRAMME DE SURVEILLANCE DU BASSIN DE BEDFORD 8
OBSERVATIONS 8
MÉLANGE ET PROPRIÉTÉS OPTIQUES 8
ÉLÉMENTS NUTRITIFS 10
Stations d'échantillonnage à haute fréquence 10
Relevés à vaste échelle 11
PHYTOPLANCTON 12
Stations d'échantillonnage à haute fréquence 12
Relevés à vaste échelle et télédétection 13
ZOOPLANCTON 14
Stations d'échantillonnage à haute fréquence 14
Relevés à vaste échelle 16
Espèces indicatrices 17
DISCUSSION 17
ENREGISTREMENT EN CONTINU DU PLANCTON 21
PHYTOPLANCTON 21
ZOOPLANCTON 22
ORGANISMES SENSIBLES À L'ACIDITÉ 22
PROGRAMME DE SURVEILLANCE DU BASSIN DE BEDFORD 23

CONDITIONS PHYSIQUES 23
ÉTAT DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS ET DU PLANCTON 23
SOMMAIRE 24
REMERCIEMENTS 25
RÉFÉRENCES CITÉES 25
TABLEAUX 28
FIGURES 29

RÉSUMÉ

L'état des éléments nutritifs des océans et du plancton sur le plateau néo-écossais et dans l'est du golfe du Maine a été évalué dans le contexte des températures de surface et de fond plus chaudes que la normale en 2017, une tendance ayant débuté en 2008, et en raison d'une stratification supérieure à la normale observée en été et en automne. Dans l'ensemble, en 2017, les concentrations d'éléments nutritifs en profondeur ont été inférieures à la normale dans toute la région d'intérêt. C'était la première fois que cette tendance était observée depuis le début des séries chronologiques en 1999. Les anomalies des nitrates et les silicates à la surface étaient positives dans l'est du plateau néo-écossais et négatives ou près de la normale ailleurs, tandis que les anomalies des phosphates à la surface étaient négatives dans toute la région. L'amplitude et l'ampleur de la floraison du phytoplancton ont été inférieures à la normale pour une deuxième année consécutive. Les observations enregistrées en 2017 ont fourni des preuves supplémentaires corroborant le changement persistant de la communauté du plancton au cours des dernières années. Les anomalies de la chlorophylle a intégrée à la colonne d'eau, un indicateur de la biomasse du phytoplancton, étaient négatives, comme en 2016. L'abondance des grandes espèces de phytoplancton, notamment les diatomées, est demeurée inférieure à la normale, particulièrement en été. La biomasse du zooplancton et l'abondance de *Calanus finmarchicus* sont également restées inférieures à la normale, contrairement à l'abondance des non-copépodes, qui était élevée. L'abondance de *Calanus* arctique, un indicateur de zooplancton d'eau froide, est demeurée inférieure à la normale sur le plateau néo-écossais, une tendance qui a débuté en 2013. L'abondance supérieure à la moyenne d'*Oithona atlantica* et des copépodes d'eau chaude extracôtière laisse croire à une incidence plus importante des eaux du large au cours des dernières années. Les changements dans les communautés de phytoplancton et de zooplancton observés au cours des dernières années laissent semblent indiquer des changements dans les sources alimentaires de plusieurs espèces de poissons, d'oiseaux et de mammifères planctonivores, et pourraient être associés à des changements futurs dans la production primaire de l'écosystème.

Les données recueillies à l'aide d'enregistreurs continus de plancton deviennent disponibles une année plus tard que les données recueillies par le Programme de monitorage de la zone Atlantique (PMZA). En 2016, les moyennes annuelles de deux indices du phytoplancton utilisés lors de l'enregistrement en continu du plancton (indice de couleur du phytoplancton et abondance des dinoflagellés) étaient proches des valeurs moyennes de 1992 à 2015 dans l'est et l'ouest du plateau néo-écossais, tandis que celles d'un troisième indice (abondance des diatomées) étaient inférieures à la moyenne dans les deux régions. Les valeurs mensuelles de l'abondance des diatomées et de l'indice de couleur du phytoplancton indiquent une courte floraison printanière précoce dans l'est du plateau néo-écossais et une courte floraison de faible intensité dans l'ouest du plateau néo-écossais, ce qui correspond aux observations par satellite de 2016. Les abondances moyennes annuelles de *Calanus* aux stades copépodites I à IV (CI à IV) et de *C. finmarchicus* aux stades V à VI (CV à VI) étaient proches des valeurs moyennes de 1992 à 2015 dans les deux régions. L'échantillonnage *in situ* à la station d'Halifax-2 a révélé des niveaux faibles de *C. finmarchicus* depuis 2011 (comparativement à la période de 1999 à 2010), les diminutions se produisant principalement dans les niveaux de CV en été. Les observations effectuées au cours de l'enregistrement en continu du plancton semblent indiquer que cette diminution touche la partie de la population de CV située à la subsurface. Parmi les autres taxons échantillonnés, les abondances de *C. glacialis* CV à VI (dans l'est du plateau néo-écossais) et des larves nauplius de copépode et d'*Oithona* spp. (tous deux dans l'ouest du plateau néo-écossais) étaient inhabituellement faibles, tandis que les amphipodes hypéridés et trois taxons sensibles à l'acidité (coccolithophores, foraminifères, ptéropodes) étaient inhabituellement abondants dans l'est du plateau néo-écossais.

Au cours de l’automne 2017, les conditions de surface à la station Compass du bassin de Bedford (octobre à décembre) ont été les plus chaudes jamais enregistrées pour cette série chronologique. Le ratio phosphates/nitrates à la station Compass a continué de correspondre à un nouveau régime qui a fait son apparition depuis 2011, probablement en raison de la diminution des apports de phosphates solubles associée aux avancées dans le traitement des eaux usées et aux lois fédérales contrôlant les concentrations acceptables de phosphates dans les détergents.

INTRODUCTION

Le Programme de monitorage de la zone Atlantique (PMZA) a été mis en œuvre en 1998 pour améliorer la capacité de Pêches et Océans Canada (MPO) de comprendre, de décrire et de prévoir l'état de l'écosystème marin (Therriault *et al.* 1998). Le PMZA tire ses renseignements sur le milieu et les écosystèmes marins de données recueillies dans un réseau d'emplacements d'échantillonnage (points fixes, stations d'échantillonnage à haute fréquence, section transversales traversant le plateau, relevés au chalut de l'écosystème) qui se trouvent dans chaque région du MPO (Québec, Golfe, Maritimes et Terre-Neuve-et-Labrador) et qui sont échantillonnés à une fréquence bimensuelle à annuelle. La conception de l'échantillonnage permet d'offrir des renseignements de base quant à la variabilité des propriétés physiques, chimiques et biologiques sur le plateau continental de l'Atlantique Nord-Ouest à des échelles annuelles et interannuelles. Les relevés au chalut de l'écosystème et les section transversales qui traversent le plateau continental nous offrent des renseignements à propos de la variabilité environnementale à vaste échelle (Harrison *et al.* 2005), mais sont limités en ce qui concerne la couverture saisonnière. Des stations d'échantillonnage à haute fréquence complètent l'échantillonnage effectué à vaste échelle en fournissant davantage de renseignements détaillés sur les changements annuels des propriétés de l'océan. De plus, le relevé de l'enregistrement en continu du plancton de l'Atlantique Nord fournit un échantillonnage mensuel le long des voies de navigation commerciale entre Reykjavik et la côte de la Nouvelle-Angleterre, en passant par le plateau néo-écossais. Cet échantillonnage enrichit un ensemble de données recueillies depuis 1960, qui permet d'établir des observations actuelles sur une période plus longue. Le présent rapport fournit une évaluation de la répartition et de la variabilité des éléments nutritifs et du plancton sur le plateau néo-écossais et dans l'est du golfe du Maine, et est axé sur les conditions qui prévalaient en 2017. Il complète des évaluations semblables menées sur l'environnement physique de la région des Maritimes (p. ex. Hebert *et al.* 2018) et sur l'état du système du plateau de l'Atlantique Nord-Ouest canadienne dans son ensemble (MPO 2018).

Le plateau néo-écossais se trouve dans une zone de transition qui est influencée par les eaux subpolaires, qui s'écoulent principalement dans la région à partir du golfe du Saint-Laurent et du plateau de Terre-Neuve, et par des eaux extracôtières plus chaudes. Les propriétés des eaux profondes de l'ouest du plateau néo-écossais affichent des changements importants de la température, lesquels reflètent des changements dans la source des eaux profondes du talus vers le plateau, entre des eaux froides et moins riches en éléments nutritifs de la pente du Labrador et des eaux chaudes plus riches en éléments nutritifs du talus, lesquels changements pourraient être déclenchés par des profils de pression atmosphérique à vaste échelle (Petrie 2007). Sur le plateau néo-écossais, la température et la salinité sont également influencées par des transferts de chaleur entre l'atmosphère et l'océan, par des mélanges locaux, par les précipitations et par les ruissellements à partir des terres. Les changements dans l'environnement pélagique physique ont une incidence sur la composition des communautés de plancton et sur les cycles annuels de production biologique, avec des répercussions sur le transfert d'énergie vers le niveau trophique supérieur. L'état des éléments nutritifs et du plancton dans la région en 2017 est traité dans le présent document dans le contexte des conditions plus chaudes observées ces dernières années dans le milieu marin.

MÉTHODES

Dans la mesure du possible, le prélèvement et le traitement des échantillons sont conformes aux protocoles standards établis (Mitchell *et al.* 2002). Les mesures non standards et les variables dérivées sont décrites ci-dessous.

MISSIONS

Le personnel navigant du PMZA pour la région des Maritimes du MPO a participé à six missions (relevés au chalut de l'écosystème et croisières saisonnières sur des section transversales du plateau) durant l'année civile de 2017, outre les sorties quotidiennes en mer vers les deux stations d'échantillonnage à haute fréquence. En 2017, le PMZA pour la région des Maritimes du MPO a exécuté un nombre total de 474 occupations de stations hydrographiques, dont 208 ont servi à prélever des échantillons à filet vertical (tableau 1).

Stations d'échantillonnage à haute fréquence

En 2017, les stations d'échantillonnage à haute fréquence d'Halifax-2 et de Prince-5 (figure 1) ont été échantillonnées à 17 et 11 reprises, respectivement, ce qui correspond aux fréquences d'échantillonnage utilisées ces dernières années. Cependant, la fréquence d'échantillonnage était faible à l'automne 2017 à la station d'Halifax-2, avec seulement 4 occupations après le 15 août.

La série standard de l'échantillonnage aux stations d'échantillonnage à haute fréquence comprend ce qui suit :

- un profil de la conductivité, de la température et de la profondeur (CTD; variables mesurées à l'aide d'un instrument de Sea-Bird Scientific), de pair avec l'oxygène dissous, la fluorescence et le rayonnement photosynthétiquement actif (RPA);
- des échantillons d'eau prélevés à l'aide de bouteilles Niskin à des profondeurs standards pour l'analyse des éléments nutritifs, l'étalonnage du dispositif de mesure de la salinité et du dispositif de mesure de l'oxygène ainsi que l'analyse de la chlorophylle et l'analyse des pigments accessoires;
- des échantillons d'eau prélevés à l'aide de bouteilles Niskin pour le dénombrement du phytoplancton;
- des traits effectués à l'aide d'un filet vertical (taille de maille de 202 µm) pour mesurer la biomasse (poids humide et sec) et l'abondance du zooplancton;
- des mesures de la profondeur à l'aide d'un disque de Secchi pour rendre compte de l'atténuation de la lumière, lorsque cela était possible.

Section transversales du plateau néo-écossais

Les quatre section transversales principales (banc de Browns, Halifax, Louisbourg, détroit de Cabot; figure 1) et un certain nombre de section transversales ou de stations connexes (marques grises, à la figure 2) ont été échantillonnées au printemps et en automne (tableau 1). En raison du manque de disponibilité des navires, la mission d'automne s'est déroulée de la fin novembre à la mi-décembre, soit environ 6 à 7 semaines plus tard que le calendrier habituel. Les résultats de l'échantillonnage aux section transversales ou stations connexes ne sont pas consignés dans le présent document.

La série standard d'échantillonnage pour les section transversales ou les stations est la même que pour les stations d'échantillonnage à haute fréquence, telle qu'énumérée ci-dessus, mais le

phytoplancton n'a pas été dénombré. Outre la série standard d'analyses réalisées à partir d'échantillons d'eau, une mesure du carbone organique particulaire a été prise à des profondeurs standards.

Relevés au chalut de l'écosystème

Le personnel du PMZA pour la région des Maritimes du MPO a participé à quatre principaux relevés au chalut de l'écosystème en 2017 : le relevé d'hiver en deux étapes (début mars) sur l'ouest du plateau néo-écossais, le relevé de la fin d'hiver (fin mars) sur le banc de Georges et le relevé d'été (juin, juillet, août) sur le plateau néo-écossais et dans l'est du golfe du Maine (figure 3). Ces relevés ont été effectués par la Division de l'écologie des populations du Secteur des sciences du MPO, avec la participation du personnel du PMZA.

La série des échantillonnages effectués aux stations des relevés au chalut de l'écosystème comprend les mesures énumérées ci-dessus pour les stations d'échantillonnage à haute fréquence, mais l'ensemble standard des profondeurs utilisées pour l'échantillonnage des bouteilles d'eau est plus limité, et les traits effectués à l'aide d'un filet vertical (taille des mailles de 202 µm) n'ont concerné qu'un sous-ensemble de stations (figure 3).

La somme des nitrates et des nitrites est consignée dans le présent document sous le terme de « nitrates ». Pour le relevé au chalut de l'écosystème effectué en été, les concentrations de nitrates au fond ont été interpolées sur une carte quadrillée de latitude-longitude de trois minutes en utilisant une estimation optimale (Petrie *et al.* 1996) pour produire des cartes des propriétés du fond au sein des strates des relevés au chalut de l'écosystème. La méthode d'interpolation utilise les trois valeurs voisines les plus proches, les données se trouvant près du point de la carte quadrillée d'interpolation étant pondérées proportionnellement plus que celles se trouvant plus loin. Le barème de pondération est décrit dans Petrie et Dean-Moore (1996), avec des échelles de longueur horizontale de 30 km, une échelle de longueur verticale de 15 m (profondeur < 50 m) ou de 25 m (profondeurs s'échelonnant entre 50 et 500 m). Les concentrations d'oxygène au fond étaient interpolées de façon optimale en utilisant la même technique que pour les nitrates. On a mesuré les concentrations d'oxygène en utilisant un capteur à oxygène configuré pour mesurer la conductivité, la température et la profondeur, lequel capteur a été étalonné par rapport aux concentrations d'oxygène mesurées par la titration de Winkler. Les anomalies afférentes à l'oxygène au fond ne sont pas consignées dans le présent document, car la qualité des données sur l'oxygène recueillies avant 2015 est en cours d'examen.

DÉPLOIEMENT DES ENGINS

Conductivité, température et profondeur

La mesure de la conductivité, de la température et de la profondeur (CTD) est prise à une profondeur cible qui se situe à deux mètres du fond.

Les profondeurs standards pour les échantillons d'eau comprennent les suivantes :

- Stations d'échantillonnage à haute fréquence :
  1. Halifax-2 : 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 140 m;
  2. Prince-5 : 1, 10, 25, 50, 95 m.
- Section transversale s saisonnières : près de la surface, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 250, 500, 1 000, 1 500, 2 000 m, près du fond (les profondeurs échantillonnées sont limitées par la profondeur du fond).

- Relevés au chalut de l'écosystème : 5, 25, 50 m, et près du fond lorsque cela est possible.

Traits de filet

Des bolinches d'une taille de maille standard de 202 µm sont hissées verticalement depuis la proximité du fond jusqu'à la surface à une vitesse d'environ 1 m/s. Dans les eaux profondes de mer ouverte, la profondeur maximale du trait est de 1 000 m. Les échantillons sont conservés dans du formol tamponné et analysés conformément au protocole énoncé dans Mitchell *et al.* (2002).

MESURES DÉRIVÉES

Couche de mélange et indices de stratification

On calcule deux indices simples de la structure physique verticale de la colonne d'eau.

1. On détermine la profondeur de la couche de mélange (PCM) à partir des observations de la conductivité, de la température et de la profondeur comme étant la profondeur minimale où le gradient de densité est égal ou supérieur à 0,01 kg/m^4.
2. L'indice de stratification ($Strat_{ind}$) est calculé comme suit :

$$Strat_{Ind}\ (kg/m^4) = (\sigma_{t\text{-}50} - \sigma_{t\text{-}zmin})/(50 - z_{min})$$

   où $\sigma_{t\text{-}50}$ et $\sigma_{t\text{-}zmin}$ sont les valeurs interpolées de la densité (σ_t) à 50 m et z_{min}, la profondeur minimum à laquelle on obtient des données fiables sur la CTD, qui oscille habituellement entre 1 et 2 m et qui est toujours inférieure à environ 5 m.

Propriétés optiques

Les propriétés optiques de l'eau de mer (coefficient d'atténuation, profondeur de la zone euphotique) sont dérivées de mesures *in situ* de l'extinction de la lumière reposant sur un compteur du RPA monté sur rosette et sur la profondeur d'après le disque de Secchi, conformément aux procédures suivantes.

1. On estime le coefficient d'atténuation verticale vers le bas pour le RPA ($K_{d\text{-}RPA}$) comme étant la pente de la régression linéaire de ln (E_d (z)) par rapport à la profondeur z (où E_d (z) est la valeur de l'éclairement énergétique vers le bas à une profondeur z) dans l'intervalle des profondeurs calculé à partir d'une profondeur minimale de 50 m. La profondeur minimale se situe habituellement autour de deux mètres, même si le calcul est parfois forcé en dessous de cette cible lorsque les mesures du RPA près de la surface semblent non fiables.
2. La valeur du coefficient d'atténuation de la lumière K_{d_Secchi} tirée des observations faites à l'aide d'un disque de Secchi est calculée en utilisant :

$$K_{d_secchi}\ (m^{-1}) = 1{,}44/Z_{ps}$$

   Où Z_{ps} est la profondeur (en m) à laquelle le disque de Secchi disparaît de la vue (Holmes 1970).

La profondeur de la zone euphotique (Z_{eu}) est estimée en utilisant l'expression suivante :

$$Z_{eu}\ (m) = 4{,}6 / K_d$$

Variables intégrées verticalement

Les inventaires intégrés de la chlorophylle et des éléments nutritifs sont calculés pour divers intervalles de profondeurs (p. ex. de 0 à 100 m pour la chlorophylle, et de 0 à 50 m et de 50 à

150 m pour les éléments nutritifs) en utilisant l'intégration numérique trapézoïdale. Lorsque la profondeur maximale à une station donnée est moins profonde que les limites de profondeur inférieures susmentionnées, les inventaires sont calculés en établissant la limite inférieure de l'intégration à la profondeur maximale à cette station (p. ex. 95 m pour Prince-5). Les données à la surface (0 m) sont la valeur échantillonnée le plus près de la surface. Les données à la profondeur la plus basse sont :

1. la valeur interpolée lorsque l'échantillonnage est effectué sous la limite inférieure d'intégration;
2. la valeur échantillonnée dans les eaux profondes les plus proches lorsque l'échantillonnage est effectué dans des eaux moins profondes que la limite inférieure de l'intégration.

Groupes taxonomiques de phytoplancton

L'abondance et la composition taxonomique du phytoplancton aux stations d'échantillonnage à haute fréquence sont estimées d'après des aliquotes regroupées d'eau prélevée dans la couche supérieure de 100 m en utilisant la technique de Utermöhl (Utermöhl 1931).

TÉLÉDÉTECTION DE LA COULEUR DE L'OCÉAN

La chlorophylle a près de la surface est également estimée à partir de données sur la couleur de l'océan recueillies par le capteur satellitaire Sea-viewing Wide Field-of-view (SeaWiFS)[1] lancé par la Aeronautics and Space Administration (NASA) à la fin de l'été 1997, le capteur « Aqua » du Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)[2] lancé par la NASA en juillet 2002 et le capteur de la Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS)[3] lancé par la NASA et la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) en octobre 2011. Dans le présent document, des données recueillies par le capteur SeaWiFS entre janvier 1998 et décembre 2007, des données recueillies par le capteur MODIS entre janvier 2008 et décembre 2011 et des données recueillies par le capteur de la VIIRS entre janvier 2012 et décembre 2017 sont combinées pour que l'on puisse construire une série chronologique composite de la chlorophylle à la surface dans des sous-régions choisies de la région des Maritimes (figure 4). Les algorithmes de rapport de bandes OCx (x = 4, 3M et 3V pour SeaWiFS, MODIS et VIIRS, respectivement) sont utilisés pour calculer la concentration de chlorophylle a à partir des réflectances de télédétection décrites dans O'Reilly *et al* (1998), les coefficients des algorithmes pour chaque capteur étant accessibles sur le site Web OceanColor Web chlorophylle a de la NASA [consulté le 17 août 2018]. Des statistiques de base (moyenne, écart-type) sont extraites des composites semi-mensuels à des fins de visualisation du cycle annuel et de la variabilité interannuelle de la chlorophylle à la surface pour les sous-régions. Les caractéristiques des floraisons printanières sont estimées à partir des données hebdomadaires recueillies par satellite reposant sur un modèle de la fonction de Gauss déplacée en fonction du temps (Zhai *et al* 2011). Quatre mesures sont calculées pour décrire les caractéristiques de la floraison printanière : la date de début (jour de l'année), la durée du

[1] Tandis que la mission du SeaWiFS a pris fin en décembre 2010, l'information à propos du capteur SeaWiFS peut être consultée en visitant la page Web OceanColor Web SeaWiFS de la NASA [visitée le 17 août 2018].

[2] De l'information supplémentaire à propos du capteur MODIS peut être consultée en visitant la page Web OceanColor Web MODIS de la NASA [visitée le 17 août 2018].

[3] De l'information supplémentaire à propos du capteur de la VIIRS peut être consultée en visitant la page Web OceanColor Web VIIRS-SNPP de la NASA [visitée le 17 août 2018].

cycle (en jours), l'ampleur (l'intégrale de la concentration en chlorophylle sous la courbe de Gauss) et l'amplitude (concentration de chlorophylle maximale moins la concentration de fond).

FEUILLES DE NOTATION DES ANOMALIES ANNUELLES

Des feuilles de notation des principaux indices, reposant sur des anomalies annuelles normalisées et rajustées pour tenir compte de la saison, représentent les observations physiques, chimiques et biologiques selon un format compact. Les estimations annuelles des inventaires des éléments nutritifs, de la chlorophylle et de l'abondance moyenne des principales espèces ou des principaux groupes de zooplancton dans la colonne d'eau aux stations d'échantillonnage à haute fréquence et en tant que moyenne globale le long de chacune des quatre section transversales standards reposent sur des modèles linéaires généraux (équipe de base R 2018) de la formule :

$Density = \alpha + \beta_{YEAR} + \delta_{MONTH} + \varepsilon$ pour les stations d'échantillonnage à haute fréquence,

$Density = \alpha + \beta_{YEAR} + \delta_{STATION} + \gamma_{SEASON} + \varepsilon$ pour les section transversales.

La *densité* est exprimée en unités de m^{-2} (ou L^{-1} pour l'abondance du microplancton), α est le point d'intersection et ε représente l'erreur. Pour les stations d'échantillonnage à haute fréquence, β et δ sont des effets catégoriques pour l'année et pour le mois, respectivement. Pour les section transversales, β, δ et γ tiennent compte de l'effet de l'année, de la station et de la saison, respectivement.

Cette méthode est également utilisée pour calculer les estimations saisonnières annuelles des indices de zooplancton (c.-à-d.la biomasse de zooplancton et l'abondance de *Calanus finmarchicus*) pour les section transversales individuelles (printemps et automne) et les relevés au chalut de l'écosystème (hiver et été) (p. ex. les figures 25, 26, 28 et 29). Dans ce cas, un modèle réduit comportant les effets liés à l'année et à la station est ajusté aux sous-ensembles de données saisonnières. Pour les données des relevés au chalut de l'écosystème, l'expression de la station correspond au sous-ensemble de strates qui ont été échantillonnées en au moins 10 ans depuis 1999.

La *densité*, ou l'abondance du zooplancton ou du phytoplancton, est transformée en logarithme pour normaliser la distribution asymétrique des observations, et une valeur unitaire est ajoutée à l'expression de la densité pour inclure les observations pour lesquelles la valeur est nulle. Les inventaires moyens intégrés des éléments nutritifs, de la chlorophylle et de la biomasse du zooplancton ne font pas l'objet de transformations logarithmiques. On utilise une estimation des moyennes des plus moindres carrés reposant sur des sommes de carrés de type III (Lenth 2018) comme mesure de l'effet global de l'année.

Les anomalies annuelles sont calculées comme l'écart d'une année donnée par rapport à la moyenne des estimations annuelles sur la période de 1999 à 2015 et exprimées soit en unités absolues, soit en quantités normalisées (c.-à-d. en divisant l'écart-type des estimations annuelles sur la même période).

Un ensemble standard d'indices représentant les anomalies dans la disponibilité des éléments nutritifs, la biomasse du phytoplancton et l'abondance des espèces et des groupes de copépodes dominants (*C. finmarchicus*, *Pseudocalanus* spp., copépodes totaux, non-copépodes totaux) est produit pour chacune des régions visées par le PMZA, y compris la région des Maritimes. Puisque la date tardive de la mission de l'automne 2017 pourrait influer sur les anomalies annuelles, des feuilles de notation des anomalies annuelles ont été produites avec et sans la mission de l'automne. Dans presque tous les cas, les profils d'anomalies qualitatives étaient semblables pour les deux méthodes, de sorte que les feuilles de notation présentées comprennent les observations de la mission de l'automne. Pour que l'on puisse

visualiser les profils de la variation environnementale à l'échelle du plateau de l'Atlantique Nord-Ouest, le document publié par le MPO en 2018 présente une feuille de notation par zone comprenant des observations provenant de toutes les régions visées par le PMZA.

ACCÈS AUX PRODUITS DE DONNÉES

Les produits de données présentés aux figures 6, 8, 10, 11, 15 à 18, 21 à 26 et 28 à 31 sont publiés sur le site Web du gouvernement du Canada; un lien vers les données est disponible sur demande auprès de l'auteur correspondant. Les estimations et les données climatologiques bimensuelles de la chlorophylle présentées à la figure 19 sont disponibles sur le site FTP SeaWiFS, le site FTP MODIS et le site FTP VIIRS de la Région des Maritimes du MPO [tous consultés le 17 août 2018].

ENREGISTREMENT EN CONTINU DU PLANCTON

L'enregistreur continu de plancton est un instrument remorqué par des navires commerciaux qui collecte du plancton à des profondeurs d'environ sept mètres sur un long ruban de soie continu (dont la taille de maille mesure environ 260 µm). La position sur la soie correspond à l'emplacement des différentes stations d'échantillonnage. Les données recueillies à l'aide de l'enregistreur continu de plancton sont analysées pour que l'on puisse détecter les différences dans les indices de surface du phytoplancton (couleur et abondance numérique relative des taxons de grande taille) et l'abondance relative du zooplancton pour différents mois, années ou décennies dans l'Atlantique Nord-Ouest. Les indices sont utilisés pour indiquer les changements relatifs de concentration au fil du temps (Richardson *et al* 2006). Les méthodes d'échantillonnage utilisées depuis les premiers relevés effectués dans l'Atlantique Nord-Ouest (1960 pour le plateau continental) et jusqu'à aujourd'hui sont exactement les mêmes, de sorte que l'on peut faire des comparaisons valides entre les années et les décennies.

Les routes suivies entre Reykjavik et le golfe du Maine sont divisées en huit régions : l'ouest du plateau néo-écossais (OPN), l'est du plateau néo-écossais (EPN), le sud de le plateau de Terre-Neuve , le plateau de Terre-Neuve (PT) et quatre régions dans la zone du tourbillon océanique subpolaire de l'Atlantique Nord-Ouest, lesquelles sont divisées en portions de cinq degrés de longitude (figure 5). Seules les données collectées à l'aide de l'enregistreur continu de plancton sur le plateau néo-écossais depuis 1992 sont consignées dans le présent document, car elles sont comparables aux résultats des relevés effectués dans le cadre du PMZA, qui remontent à 1999. Les données collectées lors de l'enregistrement en continu du plancton dans toutes les régions et pour toutes les décennies (notamment les quatre régions du tourbillon océanique subpolaire à l'est du 45e° O) sont présentées dans les rapports annuels du Programme de monitorage de la zone Atlantique au large du plateau continental (PMZAO) (p. ex. Yashayaev *et al.* 2016). La consignation des données collectées à l'aide de l'enregistreur continu de plancton accuse un an de retard par rapport aux rapports du PMZA. Les données collectées à l'aide de cet instrument entre les mois de janvier et de décembre 2016 ont été reçues en février 2018 et ajoutées à l'archive des données du MPO. En 2016, on a effectué un échantillonnage à l'aide de l'enregistreur continu de plancton continu pendant huit mois sur l'ouest et l'est du plateau néo-écossais.

Les abondances mensuelles de 14 taxons (transformées en log10 (N+1)) et l'indice de couleur du phytoplancton, une mesure semi-quantitative de l'abondance totale du phytoplancton, sont calculés en faisant la moyenne des valeurs pour tous les échantillons individuels prélevés dans les régions de l'ouest ou de l'est du plateau néo-écossais pour chaque mois et chaque année visés par l'échantillonnage. Précisons que cette année, le format des données en matière de temps d'échantillonnage fournies par la Sir Alister Hardy Foundation for Ocean Science (SAHFOS) a changé. Auparavant, les temps d'échantillonnage étaient ajustés pour tenir compte

des cycles solaires locaux. Aujourd'hui, ils sont présentés en tant que valeurs de temps universel coordonné (TUC). Dans les analyses actuelles et futures effectuées à l'aide de l'enregistreur continu de plancton, ces nouvelles valeurs TUC sont ou seront utilisées. En raison de ce changement, certains échantillons prélevés vers minuit le premier ou le dernier jour du mois ont parfois été inclus dans un mois différent par rapport aux rapports précédents. Ces différences sont toutefois très mineures. Les cycles saisonniers climatologiques sont obtenus en calculant la moyenne des normales mensuelles pour 1992 à 2015, lesquelles sont comparées aux valeurs des mois échantillonnés en 2016. Des détails sont présentés pour trois indices d'abondance du phytoplancton et pour les taxons *Calanus* aux stades I à IV et *C. finmarchicus* aux stades V à VI. Pour calculer les abondances annuelles et leurs anomalies, il faut un échantillonnage sur huit mois ou plus, sans lacunes d'échantillonnage de 3 mois consécutifs ou plus, conditions qui ont été remplies dans les deux régions en 2016.

PROGRAMME DE SURVEILLANCE DU BASSIN DE BEDFORD

La station Compass (44° 41' 37'' N, 63° 38' 25" O) a été occupée chaque semaine dans le cadre du Programme de surveillance du bassin de Bedford depuis 1999. Les occupations habituelles comprennent un capteur de CTD équipé d'un ensemble standard de capteurs [consulté le 17 août 2018] et d'un filet vertical pour l'identification et le dénombrement du zooplancton selon les protocoles du PMZA. Des échantillons d'eau sont prélevés dans des bouteilles Niskin pour diverses analyses [consulté le 17 août 2018] à 2, 5, 10 et 60 m de profondeur. Seuls les échantillons de zooplancton prélevés de 1999 à 2002 et de 2012 à 2017 ont été analysés et archivés dans une base de données locale; ainsi, seules les observations des capteurs de CTD et des bouteilles sont présentées dans ce résumé des conditions enregistrées en 2017.

Pour faciliter l'interprétation, les conditions de surface sont exprimées en conditions moyennes à 2, 5 et 10 m. Il y a une forte concordance saisonnière entre ces profondeurs pour les conditions physiques et chimiques mesurées et généralement une légère différence d'ampleur.

OBSERVATIONS

MÉLANGE ET PROPRIÉTÉS OPTIQUES

À la station d'Halifax-2, la profondeur de la couche de mélange (PCM) est plus importante et la stratification est moindre durant les mois d'hiver, lorsque la chaleur à la surface est faible et lorsque le mélange induit par le vent est important (figure 6). Au printemps, la profondeur de la couche de mélange sur les hauts-fonds affiche des valeurs minimales entre les mois de juin et d'août, et des valeurs plus élevées durant les quatre derniers mois de l'année. De façon semblable, la stratification augmente au printemps pour atteindre des valeurs maximales au mois d'août et au mois de septembre, puis décline durant les mois d'automne. Puisque l'indice de stratification est calculé en utilisant la profondeur de référence de 50 m, les faibles valeurs de l'indice de stratification concordent généralement avec les profondeurs de la couche mélange de plus de 50 m. Inversement, les PCM moindres (< 50 m) correspondent à des valeurs d'indice de stratification plus élevées qui sont déterminées par la force de la pycnocline sous la couche de mélange.

En 2017, les PCM à la station d'Halifax-2 ont suivi le profil annuel typique, mais les valeurs ont toujours été moins élevées (5 à 20 m) que la normale durant les mois d'hiver et de printemps. Les valeurs de PCM estivales et automnales étaient semblables aux données climatologiques, à l'exception de l'échantillonnage de novembre où une couche de mélange peu profonde a été observée (figure 6). Comme l'échantillonnage à la station d'Halifax-2 au cours de la deuxième

moitié de l'année a été limité et rare, il n'est pas possible de déduire si l'exhaussement de la couche de mélange en novembre a été maintenu pendant une longue période. En décembre, la PCM correspondait à la profondeur moyenne. La stratification a été variable à la station d'Halifax-2 durant l'hiver et au début du printemps 2017, avec des valeurs observées principalement supérieures ou près de la normale, associées à des PCM de moins de 50 m de profondeur au cours de ces mois. Les valeurs de stratification estivales et automnales étaient pour la plupart près de la normale, à l'exception de la fin août (inférieures) et, surtout, novembre (supérieures), ce qui correspond à l'exhaussement de la PCM mentionné ci-dessus.

À la station de Prince-5, la profondeur de la couche de mélange est habituellement plus importante et plus variable, et la stratification est inférieure à celle observée à la station d'Halifax-2 en raison d'un fort mélange dû aux marées. L'indice de stratification demeure normalement faible (en deçà de 0,01 kg/m^4) pour la plus grande partie de l'année, et la profondeur de la couche de mélange varie d'une profondeur quasi complète (90 m) en hiver, pour s'établir à environ 40 m en été (figure 6). En 2017, à l'exception de l'échantillonnage de mai, les PCM étaient proches de la moyenne climatologique pendant les mois d'hiver et d'été, mais plus profonds que la normale pendant les mois d'automne. De même, à l'exception de l'échantillonnage de mai, l'indice de stratification à la station de Prince-5 est demeuré à des niveaux généralement faibles en 2017 avec des valeurs proches des données climatologiques. L'échantillonnage de mai a été caractérisé par une salinité à la surface anormalement faible (figure 18 dans Hebert *et al.* 2018) probablement associée à un apport en eau douce. Encore une fois, il n'est pas possible de se prononcer sur l'ampleur de cet événement en raison de la fréquence mensuelle de l'échantillonnage à la station de Prince-5 et d'une occupation qui n'a pas eu lieu en avril.

En 2017, les observations du vent à l'aéroport d'Halifax, une zone servant d'indicateur pour la station d'Halifax-2, ont suivi le profil climatologique avec de multiples courtes variations au-dessus de la moyenne climatologique tout au long de l'année (figure 7). L'augmentation soudaine de la vitesse du vent observée vers la mi-avril (figure 7) pourrait avoir contribué à l'approfondissement transitoire de la couche de mélange observée le 23 avril (figure 6). Les observations du vent à Grand Manan, une zone servant d'indicateur pour la station de Prince-5, ont également suivi de près le profil climatologique tout au long de l'année avec des périodes ou des occurrences de vitesses de vent supérieures à la moyenne observées en hiver, correspondant à des PCM plus profondes que la normale et, inversement, une période estivale comportant des vitesses de vent presque normales correspondant à des PCM presque normales.

Les profondeurs de la zone euphotique sont généralement plus grandes pendant les mois d'hiver et après la diminution de la floraison printanière du phytoplancton et sont moindres pendant la période de floraison, lorsque l'atténuation de la lumière dans la colonne d'eau est maximale. Les profondeurs de la zone euphotique d'après les mesures du RPA et du disque de Secchi ont été pour la plupart proches des valeurs normales tout au long de l'année à la station d'Halifax-2 en 2017, sauf à la fin mars et au début avril, qui coïncidaient avec le moment de la floraison printanière (figure 8). Les estimations de la profondeur de la zone euphotique à la station d'Halifax-2 ont été limitées en raison de l'échantillonnage effectué à l'aube, au crépuscule ou pendant la nuit.

À la station de Prince-5, les profondeurs de la zone euphotique sont relativement constantes tout au long de l'année, car le facteur d'atténuation principal est la matière inerte suspendue résultant de l'action des marées et d'un apport en eau douce provenant du continent. En 2017, les profondeurs de la zone euphotique mesurées d'après le RPA et à l'aide du disque de Secchi étaient légèrement supérieures à la normale pendant les mois d'hiver, et particulièrement en mai, qui coïncidait avec la floraison printanière du phytoplancton (figure 8). Les valeurs de la

profondeur de la zone euphotique pour les mois d'été et d'automne étaient proches des valeurs climatologiques.

ÉLÉMENTS NUTRITIFS

Les principaux éléments nutritifs inorganiques dissous (nitrates, silicates, phosphates) mesurés dans le cadre du PMZA covarient fortement dans l'espace et dans le temps (Petrie *et al.* 1999). Pour cette raison, et comme la disponibilité de l'azote est le plus souvent associée avec des limitations de la croissance du phytoplancton dans les eaux côtières de la région des Maritimes (MPO 2000), le présent rapport met l'accent principalement sur les profils de variabilité des nitrates, l'information sur les concentrations de silicates et de phosphates étant présentée principalement pour aider à interpréter la succession des groupes taxonomiques de phytoplancton aux stations d'Halifax-2 et de Prince-5.

Stations d'échantillonnage à haute fréquence

À la station d'Halifax-2, les concentrations de nitrates à la surface les plus élevées sont observées en hiver, lorsque la colonne d'eau est bien mélangée et lorsque la production primaire est faible (figure 9). Des déclins dans les concentrations de nitrates à la surface sont observés au moment du début de la floraison printanière du phytoplancton, et les concentrations de nitrates à la surface les plus faibles sont observées entre la fin du printemps et le début de l'automne. Les concentrations de nitrates dans les eaux profondes sont les plus faibles à la fin de l'automne et au début de l'hiver, et augmentent entre les mois de février et d'août, reflétant peut-être l'enfoncement et la décomposition du phytoplancton ayant fleuri au printemps (Petrie et Yeats 2000).

L'inventaire des nitrates à la surface à la station d'Halifax-2 en 2017 affichait des valeurs proches de la normale tout au long de l'année (figure 10), sauf dans quelques cas au printemps, en été et au début de l'automne, où il était inférieur à la normale, ce qui correspond à des épisodes où l'eau appauvrie en nitrates (concentration inférieure à 1 mmol/m^3) a atteint environ 40 m (figure 9). La dynamique des éléments nutritifs à la station d'Halifax-2 en 2017 indique clairement la signature de la floraison printanière du phytoplancton à la fin de mars ou au début d'avril, avec la réduction des nitrates qui s'étend de la surface à environ 100 m (figure 9). L'épuisement des nitrates à la surface a duré environ un mois de plus que la normale, mais son effet sur l'inventaire des nitrates à la surface a été compensé par une poussée de nitrate à la mi-novembre qui a atteint environ 40 m de profondeur. L'inventaire de nitrates en profondeur à la station d'Halifax-2 en 2017 affichait des valeurs proches ou légèrement au-dessus de la normale au début de l'hiver et à la fin de l'automne (figure 10). Cela s'explique par des concentrations légèrement supérieures à la normale mesurées près du fond au cours de ces mois (figure 9). Toutefois, l'inventaire des nitrates en profondeur a été inférieur à la normale au printemps, à l'été et à l'automne, en raison d'une régénération plus faible que d'habitude des nitrates au fond qui commence habituellement au printemps et se termine au début de l'automne (figure 9). Une telle modification reflète vraisemblablement des changements dans les masses d'eau profondes présentes à la station, avec des concentrations en nitrates plus faibles associées avec les eaux plus froides et plus douces du talus du Labrador (Hebert *et al.* 2018). Dans l'ensemble, l'anomalie annuelle concernant les nitrates à la surface était légèrement négative et celle des nitrates en profondeur était également négative et plus importante (figure 11), en raison des concentrations inférieures à la normale pendant les mois de printemps, d'été et d'automne, tant en surface que dans les eaux profondes. Les anomalies annuelles concernant les phosphates et les silicates à la surface et en profondeur à la station d'Halifax-2 en 2017 étaient également négatives, tout comme les anomalie des nitrates (figure 11).

À la station de Prince-5, les concentrations de nitrates les plus élevées sont observées en hiver et à la fin de l'automne, lorsque la colonne d'eau est bien mélangée depuis la surface jusqu'au fond (figure 9). Les concentrations de nitrates commencent à décliner dans le haut de la colonne d'eau lorsque les floraisons printanières du phytoplancton débutent au mois d'avril, et les concentrations de nitrates à la surface les plus faibles sont observées en juin et en juillet. La dynamique des nitrates à la station de Prince-5 en 2017 a révélé de faibles concentrations de nitrates sur la majeure partie de la colonne d'eau pendant l'été et jusqu'au début de l'automne, environ un mois plus tard que d'habitude (figure 9). Les concentrations d'hiver et de fin d'automne, c'est-à-dire avant et après la période de croissance du phytoplancton, étaient également inférieures à la normale sur toute la colonne d'eau (figure 9). En 2017, les inventaires des nitrates à la surface et en profondeur ont été inférieurs à la normale tout au long de l'année, sauf pour l'échantillonnage de mai (figure 10) où, comme nous l'avons mentionné précédemment, un apport en eau douce à ce moment a peut-être également contribué à un apport en nitrates. Dans l'ensemble, les anomalies annuelles concernant les inventaires des nitrates à la surface et en profondeur étaient fortement négatives à la station de Prince-5 en 2017 (figure 11). Les anomalies des silicates et les phosphates à la surface et en profondeur étaient également négatives à la station de Prince-5 en 2017 (figure 11).

Relevés à vaste échelle

Les concentrations les plus élevées de nitrates dans les section transversales sont observées dans les eaux profondes du talus du plateau néo-écossais, dans le détroit de Cabot et dans les eaux profondes du bassin d'Émeraude au printemps et en automne (figure 12a, 12b). Les concentrations de nitrates à la surface dans les section transversales dépendent fortement du moment de l'échantillonnage par rapport au moment des floraisons printanière et automnale du phytoplancton. Au printemps 2017, des conditions d'appauvrissement en nitrates à la surface ont été observées à toutes les stations de chaque section transversale. Ces conditions reflètent l'échantillonnage des section transversales de façon à coïncider ou à retarder le moment du pic de la floraison du phytoplancton observée dans le détroit de Cabot et dans les régions est, centre et ouest du plateau néo-écossais (figure 12a). Par conséquent, les anomalies en nitrate à la surface étaient surtout négatives ou légèrement négatives pour la plupart des section transversales, à l'exception des stations au large des section transversales de Louisbourg et d'Halifax. La mission d'automne s'est déroulée beaucoup plus tard que d'habitude en 2017, de sorte que l'occupation des section transversales a eu lieu après la floraison automnale de phytoplancton observée dans le détroit de Cabot et les régions est et centre du plateau néo-écossais (figure 12b). Bien que des concentrations relativement faibles de nitrates près de la surface aient été mesurées, les anomalies correspondantes étaient positives ou seulement légèrement négatives à toutes les stations de chaque section transversale, ce qui indique probablement une régénération des nitrates à la surface après la floraison automnale du phytoplancton. Dans l'ensemble, les anomalies annuelles concernant l'inventaire des nitrates à la surface étaient positives (dans les section transversales du détroit de Cabot et de Louisbourg) ou légèrement négatives (dans les section transversales d'Halifax et du banc de Browns). De fortes anomalies négatives de l'inventaire des nitrates en profondeur (50 à 150 m) ont été observées dans toutes les section transversales en 2017 (figure 11). Les inventaires des silicates et des phosphates à la surface et en profondeur étaient également inférieurs à la normale dans la plupart des section transversales en 2017; les silicates suivent un profil plus proche de celui des nitrates en 2017 avec de faibles anomalies positives dans les section transversales du détroit de Cabot et de Louisbourg (figure 11).

Les anomalies des concentrations de nitrates de fond mesurées durant le relevé au chalut de l'écosystème effectué à l'été de 2017 (de la fin juin à la mi-août) étaient principalement négatives (figure 13). Des anomalies positives ont été observées dans un secteur plus restreint,

y compris en bordure du chenal Laurentien, sur les bancs Western et d'Émeraude (au large du centre du plateau néo-écossais), le banc de Browns, dans la partie orientale du chenal Nord-Est, des bassins Jordan et Crowell (golfe du Maine), et de l'intérieur de la baie de Fundy. Des concentrations de nitrates au fond plus élevées que la normale sur le banc de Browns sont attribuables à la température au fond beaucoup plus élevée que la normale observée dans la même région (Hebert *et al.* 2020), ce qui laisse supposer l'intrusion d'eau chaude riche en éléments nutritifs dans cette partie du plateau.

Les niveaux de saturation en oxygène les plus faibles sont habituellement observés dans les bassins profonds et les eaux profondes du talus, où les concentrations d'éléments nutritifs affichent les niveaux les plus élevés. En juillet et en août 2017, des valeurs de saturation en oxygène au fond proches ou inférieures à 60 % ont été observées principalement le long du chenal Laurentien, des bassins d'Émeraude et de LaHave, ainsi que dans le chenal Nord-Est et les bassins plus profonds dans l'est du golfe du Maine (bassins de Georges, Crowell et Jordan; figure 14).

PHYTOPLANCTON

Bien que la variabilité temporelle et spatiale du phytoplancton soit élevée dans les eaux côtières et les eaux du plateau, des profils annuels récurrents, y compris des floraisons printanières du phytoplancton prononcées et des floraisons de moindre importance en automne sont observées sur l'ensemble du plateau néo-écossais. On estime que le moment du début de la floraison printanière est régulé principalement par l'environnement lumineux, qui est déterminé par l'éclairement énergétique incident et le mélange dans la couche supérieure de l'océan. On pense que l'ampleur des floraisons est régulée en grande partie par l'apport en éléments nutritifs, et la durée des floraisons serait régulée par l'apport en éléments nutritifs et, secondairement, par des processus de perte comme l'enfoncement d'agrégations et le broutage par le zooplancton (Johnson *et al.* 2012).

Stations d'échantillonnage à haute fréquence

En 2017, la floraison printanière à la station d'Halifax-2 s'est caractérisée par un début légèrement retardé, une durée plus brève, mais avec une intensité maximale plus élevée et légèrement plus tôt que la normale (figure 15). La floraison s'étendait très profondément dans la colonne d'eau, avec des concentrations relativement élevées de chlorophylle mesurées à une profondeur de 120 m. La floraison printanière était essentiellement dominée par les diatomées (figure 16). Un niveau maximal de la chlorophylle à la subsurface durant l'été bien défini centré aux alentours de 20 à 25 m a été observé en juillet et en août (figure 15). Une floraison automnale relativement intense du phytoplancton a été observée en novembre. Cependant, la date de début et la durée de la floraison automnale sont incertaines en raison de l'absence d'échantillonnage entre la mi-octobre et la mi-novembre. Dans l'ensemble, l'anomalie annuelle de la chlorophylle intégrée à la station d'Halifax-2 était légèrement négative en 2017 (figure 17), bien que les concentrations plus élevées de chlorophylle associées à la floraison printanière, au niveau maximal à la subsurface durant l'été, et à la floraison automnale (figure 15) aient clairement entraîné des anomalies positives durant ces périodes (figure 15). Les anomalies de l'abondance des diatomées et des dinoflagellés étaient également négatives en 2017, ce qui est généralement cohérent avec une tendance qui a débuté en 2009, alors que les anomalies de l'abondance des ciliés (microzooplancton) et des flagellés étaient positives ou près des valeurs normales en 2017 (figure 18). L'abondance globale du phytoplancton est demeurée près de la normale pendant la majeure partie de l'année, à l'exception de valeurs inférieures à la normale immédiatement avant et après la floraison printanière, et légèrement supérieure à la normale pendant le pic de la floraison printanière (figure 16). La composition de la communauté de

phytoplancton estivale et automnale affichait des abondances relatives de diatomées et de dinoflagellés inférieures aux valeurs normales, à l'exception d'un pic de diatomées à la fin juin, et des abondances relatives de flagellés supérieures à la normale, ce qui est possiblement lié au maximum des niveaux de chlorophylle à la subsurface durant l'été (figure 15). Les ciliés ont également été relativement plus abondants que la normale pendant une courte période immédiatement après la floraison printanière du phytoplancton (figure 16).

Le pic de floraison printanière du phytoplancton à la station de Prince-5 en 2017 semble s'être produit à un moment normal avec une intensité supérieure à la normale à la surface (figure 15). Comme il n'y a pas eu d'occupation de la station en avril, il est impossible d'émettre des hypothèses sur le moment exact du début de la floraison et sur sa durée. Les concentrations élevées de chlorophylle observées durant la floraison printanière ont persisté pendant une durée relativement brève et étaient limitées à la couche supérieure d'environ 10 m de la colonne d'eau (figure 15). En raison de la floraison peu profonde, l'inventaire intégré de la chlorophylle de 0 à 95 m au moment de la floraison est demeuré à une valeur normale. Les concentrations de chlorophylle dans la couche supérieure d'environ 10 m de la colonne d'eau étaient près de la normale ou légèrement sous la normale pendant les mois d'été. Une floraison automnale plus tardive que la normale a été observée à la mi-octobre avec une intensité et une profondeur de pénétration supérieures aux valeurs normales à cette période de l'année (figure 15). Une caractéristique inhabituelle de la dynamique du phytoplancton à la station de Prince-5 en 2017 tenait aux concentrations de chlorophylle élevées au fond de la colonne d'eau observées en août et coïncidant avec des concentrations réduites de nitrates, ce qui indique peut-être une subduction récente de l'eau près de la surface sur le site. Les valeurs de l'abondance du phytoplancton étaient normales en hiver et en automne, mais plus variables au printemps et en été (figure 16). La communauté de phytoplancton à la station de Prince-5 a été dominée par les diatomées pendant la majeure partie de l'année, avec une abondance relative maximale en juin, correspondant à l'intensité maximale de la floraison printanière, et en août lorsque les concentrations de chlorophylle à la surface étaient encore élevées (figure 15). Des abondances relatives supérieures à la normale de dinoflagellés (été et automne), de ciliés (printemps) et de flagellés (automne) ont également été observées (figure 16). Dans l'ensemble, l'anomalie annuelle de la chlorophylle intégrée à la station de Prince-5 était légèrement au-dessus de la normale en 2017 (figure 17). L'anomalie concernant l'abondance des diatomées a également été faiblement positive en 2017, ce qui inverse la tendance observée au cours des huit années précédentes. Les anomalies de l'abondance des dinoflagellés, des ciliés et des flagellés étaient également positives ou près des valeurs normales en 2017 et correspondaient à la tendance observée en 2011 (figure 18).

Relevés à vaste échelle et télédétection

Les estimations de la chlorophylle reposant sur des données de télédétection indiquent une diminution de l'amplitude (l'intensité maximale) et de l'ampleur (la mesure de l'intensité et de la durée) de la floraison printanière par rapport aux valeurs normales dans toutes les sous-régions des Maritimes en 2017 (figure 19a, b). Ceci est également confirmé par les anomalies négatives des mêmes paramètres, comme ce qu'on a obtenu à partir des modèles rajustés (figure 20). Les modèles rajustés pour le début et la durée de la floraison printanière montrent des anomalies variables (figure 20) qui, dans certains cas (p. ex. le début de la floraison pour le centre du plateau néo-écossais, la durée de la floraison pour l'ouest du plateau néo-écossais), ne concordent pas vraiment avec les estimations de la chlorophylle en surface obtenues par télédétection (figure 19a, 19b). Cela pourrait indiquer une plus grande incertitude du modèle dans la détection de l'augmentation initiale et du déclin de la chlorophylle à la surface dans le contexte d'une floraison printanière faible et variable.

Le début tardif et la durée plus courte de la floraison printanière observés dans la sous-région du centre du plateau néo-écossais concordaient avec celles observées *in situ* à la station d'Halifax-2 en 2017 (figure 15, 19a). Toutefois, l'intensité et l'ampleur de la floraison estimées à partir des données de télédétection étaient considérablement plus faibles que celles obtenues *in situ* en raison de la pénétration profonde de la floraison printanière dans la colonne d'eau, qui contraste avec la couche superficielle observée par le capteur satellitaire. La floraison automnale observée *in situ* à la station d'Halifax-2 en 2017 a également été détectée à partir d'observations tirées de la télédétection dans la sous-région du centre du plateau néo-écossais (figure 15, 19a). Les observations tirées de la télédétection dans la sous-région du centre du plateau néo-écossais pourraient indiquer que les conditions de floraison d'automne observées *in situ* à la station d'Halifax-2 représentaient la fin de la floraison, ce qui, comme nous l'avons mentionné précédemment, ne pouvait être déduit des seules mesures *in situ*, en raison de l'absence d'échantillonnage entre la mi-octobre et la mi-novembre.

La faible variabilité annuelle de la chlorophylle à la surface dans la sous-région du Lurcher Shoal (LS), où les eaux sont mélangées par les marées, est telle qu'il est difficile de discerner les conditions de la floraison et, ainsi, les différentes mesures de la floraison doivent être interprétées avec précaution pour cette sous-région.

Les anomalies annuelles concernant la chlorophylle intégrée d'après les mesures *in situ* étaient négatives dans toutes les section transversales en 2017 (figure 17) et prolongent la tendance générale observée principalement au cours des trois dernières années.

ZOOPLANCTON

Stations d'échantillonnage à haute fréquence

À la station d'Halifax-2, la biomasse et l'abondance totale du zooplancton sont habituellement les plus faibles en janvier et en février puis augmentent jusqu'à atteindre des valeurs maximales au mois d'avril, au même moment que le pic de la floraison printanière du phytoplancton, avant de décliner de nouveau à l'automne à de faibles niveaux (figures 21 et 22). En 2017, la biomasse de zooplancton à la station d'Halifax-2 était principalement inférieure à la normale au printemps et au début de l'été, et supérieure à la normale à l'automne (figure 21). De même, l'abondance totale du zooplancton était principalement inférieure à la normale au printemps et supérieure à la normale à l'automne (figure 22). Au cours des années précédentes, les rapports sur la biomasse du zooplancton étaient établis en fonction de la biomasse totale exprimée en poids humide, alors qu'ici l'accent est mis sur la biomasse du zooplancton exprimée en poids sec dans une fourchette de 0,2 à 10 mm, représentant ainsi plus fidèlement la biomasse de la classe de taille du mésozooplancton et réduisant l'influence du plancton gélatineux sur les estimations de la biomasse. Comme le laisse entendre la figure 21, il existe une forte corrélation entre la biomasse du mésozooplancton exprimée en poids sec et la biomasse totale du zooplancton exprimée en poids humide à la station d'Halifax-2 et à la station de Prince-5. La communauté du zooplancton était fortement dominée par des copépodes tout au long de l'année, comme cela est habituel à la station d'Halifax-2 (figure 22), bien qu'une impulsion significative du groupe des cnidaires et des appendiculaires (constitué principalement de l'appendiculaire *Frittilaria*) ait été observée durant la période de floraison printanière du phytoplancton (à la fin du mois de mars et au début du mois d'avril).

L'abondance de *Calanus finmarchicus* à la station d'Halifax-2 a été principalement inférieure à la normale tout au long de 2017, sauf au début de l'hiver et à la fin de l'automne (figure 23). L'absence des stades copépodites II à V (CII à V) avant la floraison printanière du phytoplancton était atypique. La période automnale a été caractérisée par une abondance

relative supérieure à la normale du stade CV et une abondance relative inférieure des stades CIII et CIV, en particulier (figure 23).

L'abondance totale des copépodes à la station d'Halifax-2 en 2017 affichait des similitudes avec la biomasse du zooplancton et l'abondance totale, avec des valeurs inférieures aux valeurs normales au printemps et supérieures aux valeurs normales en automne (figure 24a). Le niveau anormalement élevé d'abondance des copépodes mesuré en juillet était dû à un nombre sans précédent de *Pseudocalanus* spp. et de *Temora longicornis* atteignant des niveaux respectivement 1,5 et 2,4 fois plus élevés que l'abondance maximale précédemment enregistrée pour ces espèces. La communauté des copépodes était caractérisée par une abondance relative plus faible que la normale de *C. finmarchicus* au printemps et à l'automne. L'abondance relative du copépode de mer ouverte *Oithona atlantica* a été supérieure à la normale tout au long de l'année et particulièrement à l'automne, et correspond aux abondances supérieures aux valeurs moyennes observées depuis 2009 pour cette espèce (non illustrée). D'autres anomalies notables dans la communauté des copépodes en 2017 étaient l'abondance relative inférieure à la normale de *Pseudocalanus* spp. et des copépodes d'eaux chaudes *Paracalanus* spp. et *Metridia lucens* et du copépode des eaux profondes *Microcalanus* spp. en automne, et l'abondance relative supérieure de *Temora longicornis* et des larves nauplius de copépode (« autres ») à la fin de l'été et en automne, respectivement. Dans l'ensemble, les anomalies annuelles de l'abondance de *C. finmarchicus* et de *Pseudocalanus* spp. ainsi que de la biomasse du mésozooplancton étaient légèrement négatives, et les anomalies d'abondance totale des copépodes et des non-copépodes étaient positives à la station d'Halifax-2, en 2017 (figure 17).

À la station de Prince-5, la biomasse et l'abondance totale du zooplancton étaient habituellement les plus faibles entre les mois de janvier et de mai et augmentaient jusqu'à atteindre des valeurs maximales entre les mois de juillet et de septembre, retardant la croissance du phytoplancton d'environ un mois, avant de décliner de nouveau à la fin de l'automne à de faibles niveaux (figures 21 et 22). En 2017, la biomasse du zooplancton était inférieure à la normale en hiver, au début du printemps et à l'automne, et près de la normale en été. L'abondance totale du zooplancton à la station de Prince-5 en 2017 était près de la normale en hiver, au printemps et à la fin de l'automne, et bien au-dessus de la normale en été et au début de l'automne (figure 22). La communauté du zooplancton était principalement dominée par les copépodes tout au long de l'année, à l'exception d'une abondance relative supérieure à la normale d'autres groupes de non-copépodes (principalement les cirripèdes) au printemps (figure 22).

L'abondance de *C. finmarchicus* à la station de Prince-5 était généralement faible tout au long de l'année, avec des valeurs inférieures à la normale en hiver et en automne, mais près de la normale en été (figure 23). L'abondance relative de *C. finmarchicus* au stade adulte CVI était particulièrement plus élevée que la normale en hiver. Un premier pic d'abondance relative de *C. finmarchicus* aux stades précoces CI à II a eu lieu en mai, un mois avant le moment où l'intensité maximale de la floraison printanière du phytoplancton était atteinte. Des impulsions subséquentes des stades précoces CI à III se sont produites en août et en octobre, probablement en réponse aux conditions modérées de floraison estivale et automnale du phytoplancton (figure 23 et figure 15). La relation entre la dynamique de *C. finmarchicus* et les floraisons printanières et estivales ou automnales du phytoplancton doit être interprétée avec prudence en raison de la faible fréquence d'échantillonnage à cette station (c.-à-d. une fois par mois) et des événements d'échantillonnage manquants comme ce fut le cas en avril 2017.

Le profil annuel de l'abondance totale des copépodes à la station de Prince-5 en 2017 était semblable à celui de l'abondance totale du zooplancton, car la communauté de zooplancton est dominée par les copépodes (figure 24b). La communauté des copépodes était caractérisée par

la prédominance des larves nauplius de copépode (« autres ») au printemps et par la prédominance des copépodes non identifiés et des *Pleuromamma borealis* (regroupés sous la rubrique « autres ») en novembre et en décembre. Une abondance relative supérieure à la normale d'*Eurytemora herdmani* a été observée pendant une courte période au cours de l'été, tandis que celle de *Paracalanus* spp. était inférieure à la normale à la fin de l'été et en automne. L'abondance relative de *C. finmarchicus* et de *Pseudocalanus* spp. est demeurée inférieure à la normale tout au long de 2017, sauf une abondance relative presque normale de *Pseudocalanus* spp. en hiver. Dans l'ensemble, à la station de Prince-5 en 2017, les anomalies d'abondance annuelle pour *C. finmarchicus* et *Pseudocalanus* spp. ainsi que la biomasse du mésozooplancton étaient négatives, tandis que les anomalies d'abondance des copépodes totaux et des non-copépodes étaient positives (figure 17).

Relevés à vaste échelle

La biomasse du zooplancton était inférieure à la normale au printemps et à l'automne 2017 dans toutes les section transversales, sauf dans la section transversale d'Halifax, où elle était près de la normale au printemps et supérieure à la normale à l'automne (figure 25). L'anomalie automnale positive dans la section transversale d'Halifax semble être attribuable à la biomasse élevée mesurée dans le bassin d'Émeraude. Les anomalies automnales négatives, à l'exception de la section transversale d'Halifax, pourraient être influencées par le moment de la mission d'automne qui a eu lieu à la fin de novembre ou au début de décembre lorsque la biomasse de zooplancton diminue habituellement avant d'atteindre les niveaux minimaux en hiver. Les anomalies annuelles principalement négatives de la biomasse du zooplancton en 2017 pour toutes les section transversales du plateau néo-écossais, à l'exception de la section transversale d'Halifax, prolongeaient un profil de faible biomasse du zooplancton observé au cours des dernières années (figure 17). Les niveaux de biomasse du zooplancton étaient légèrement au-dessus de la normale sur le banc de Georges (hiver) et légèrement sous la normale sur le plateau néo-écossais (été) pendant les relevés au chalut de l'écosystème de 2017 (figure 26). Il est à noter que les estimations de la biomasse annuelle du banc de Georges sont généralement fondées sur un nombre relativement faible d'échantillons (huit en 2017) comparativement aux estimations de l'été sur le plateau néo-écossais. Comme nous l'avons déjà mentionné, les rapports sur la biomasse du zooplancton des années précédentes pour les relevés à vaste échelle ont été établis par rapport à la biomasse totale en poids humide, tandis qu'ici l'accent est mis sur la biomasse en poids sec représentative de la communauté du mésozooplancton. Comme le montre la figure 27, il existe une forte corrélation entre la biomasse du mésozooplancton exprimée en poids sec et la biomasse totale du zooplancton exprimée en poids humide pour les données recueillies lors des relevés saisonniers du PMZA et des relevés au chalut de l'écosystème.

L'abondance de *C. finmarchicus* a été inférieure à la normale au printemps et à l'automne 2017 dans toutes les section transversales, sauf dans la section transversale d'Halifax, où elle a été supérieure à la normale au printemps et près de la normale en automne (figure 28). L'anomalie printanière positive dans le secteur d'Halifax est attribuable à l'abondance élevée mesurée dans le bassin d'Émeraude et aux stations situées près du rebord du plateau. Une abondance élevée a également été enregistrée dans le bassin d'Émeraude en automne (figure 28). Les anomalies annuelles principalement négatives concernant l'abondance de *C. finmarchicus* en 2017 dans toutes les sections du plateau néo-écossais, à l'exception de la section transversale d'Halifax, ont maintenu un profil de faible abondance de *C. finmarchicus* observé depuis 2011 (figure 17). L'abondance de *C. finmarchicus* était légèrement supérieure à la normale pendant le relevé au chalut de l'écosystème hivernal sur le banc de Georges, et légèrement inférieure à la normale pendant le relevé estival sur le plateau néo-écossais, un profil semblable à celui observé pour la biomasse du zooplancton (figure 29).

Les anomalies annuelles de l'abondance de *Pseudocalanus* spp. étaient négatives pour toutes les section transversales en 2017 (figure 17). Des anomalies annuelles négatives ont également été observées en 2017 concernant l'abondance totale des copépodes dans toutes les section transversales à l'exception de la section transversale du banc de Browns, tandis que les anomalies annuelles concernant l'abondance totale des non-copépodes étaient contrastées (négatives dans les section transversales du détroit de Cabot et de Louisbourg et positives dans les section transversales du banc de Browns et d'Halifax) (figure 17). Parmi les dix groupes de non-copépodes les plus abondants, les anomalies de l'abondance des appendiculaires, des polychètes, des bivalves et des cirripèdes étaient positives en 2017 et maintenaient la tendance observée ces dernières années (figure 30). Par contre, une forte anomalie négative de l'abondance a été observée en 2017 pour les ostracodes (crustacés d'eau profonde), maintenant également la tendance générale observée depuis environ 2009 (figure 30).

Espèces indicatrices

Les anomalies annuelles de l'abondance des espèces de *Calanus* arctiques (*C. hyperboreus* et *C. glacialis*) étaient négatives ou proches de la normale (Louisbourg, Prince-5) dans l'ensemble de la région en 2017, prolongeant ainsi une tendance qui a débuté en 2012 (figure 31). La plus forte anomalie négative de *Calanus* arctique dans le détroit de Cabot en 2017 était principalement causée par la faible abondance de *C. glacialis* dans les échantillons prélevés au printemps et à l'automne. Les anomalies d'abondance des espèces de copépodes pélagiques d'eaux chaudes de mer ouverte (*Clausocalanus* spp., *Mecynocera clausi* et *Pleuromamma borealis*) étaient positives ou presque normales dans toutes les section transversales et à la station d'Halifax-2, mais légèrement négatives à la station de Prince-5 en 2017. Encore une fois, la tendance observée depuis 2012 pour Halifax-2, le banc de Browns et les section transversales d'Halifax s'est poursuivie dans l'ensemble. Les anomalies de l'abondance des espèces de copépodes d'eaux chaudes du plateau (les copépodes d'été et d'automne *Paracalanus* spp. et *Centropages typicus*) étaient négatives dans toutes les section transversales et positives aux stations d'échantillonnage à haute fréquence en 2017. Les anomalies négatives concernant l'abondance dans la section transversale du détroit de Cabot, et les anomalies positives de l'abondance à la station de Prince-5 correspondaient bien avec la tendance observée au cours des cinq ou six dernières années à ces emplacements, tandis qu'aucun profil commun n'a émergé pour les autres section transversales du plateau et la station d'Halifax-2 au cours des dernières années.

DISCUSSION

Les températures océaniques sur le plateau néo-écossais et dans le golfe du Maine ont affiché une forte variabilité interdécennale depuis que l'on a commencé à surveiller la température au cours de la première moitié du 20e siècle, et l'on a enregistré des températures généralement plus chaudes que la moyenne durant les dernières années (2010–2017) (Hebert *et al.* 2019). L'indice composite de température pour la région des Maritimes en 2017, qui comprend 18 séries chronologiques sur la température océanique et couvre les eaux de la surface au fond, indique que 2017 est la troisième année la plus chaude depuis 1979, après 2012 et 2016. Les anomalies de la température de la surface de la mer étaient principalement positives sur le plateau néo-écossais et dans l'est du golfe du Maine, sauf pendant les mois d'été, les plus fortes anomalies positives de la température de la surface de la mer ayant été observées en avril sur le plateau néo-écossais et dans le golfe du Maine, et en automne dans le centre et l'ouest du plateau néo-écossais. La couverture de glace de mer était faible en 2017. Les températures au fond mesurées durant les relevés en juillet ont été supérieures à la moyenne sur presque toute le plateau néo-écossais. La stratification des océans, qui a affiché une

tendance à la hausse sur le plateau néo-écossais depuis les années 1950 attribuable à des températures plus chaudes et une salinité moindre, était au-dessus de la moyenne enregistrée entre 1981 à 2010, en 2017 (Hebert *et al.* 2020).

Dans le milieu océanique du plateau de la région des Maritimes, on observe une fréquence annuelle dominante vigoureuse de la variabilité de la température et de la stratification et un gradient environnemental latitudinal et en travers du plateau élevé, associé à la transition entre des eaux plus froides et plus douces affichant une advection dans les eaux côtières de l'est du plateau néo-écossais depuis le golfe du Saint-Laurent et des eaux plus chaudes et plus salées du talus affichant une advection sur l'ouest et le centre du plateau néo-écossais (Hebert *et al.* 2018). Dans les régions océaniques où la variabilité environnementale à l'échelle annuelle est une fréquence dominante, le cycle de vie, le comportement et la physiologie du plancton reflètent des adaptations qui sont axées sur l'effort de reproduction au cours de moments favorables de l'année et qui réduisent au minimum l'exposition au risque à des moments défavorables; cependant, des perturbations non prévisibles dans la plage de la saisonnalité environnementale et dans les saisons peuvent bouleverser ces adaptations (Greenan *et al.* 2008; Mackas *et al.* 2012). Des changements à vaste échelle des limites entre les masses d'eau ont également une incidence sur la composition des communautés locales de plancton (p. ex. Keister *et al.* 2011).

Les observations dérivées de la surveillance de l'océan au cours de 2017 indiquent que les changements de la communauté du plancton du plateau néo-écossais qui ont commencé vers 2010 se poursuivent, associés à des températures océaniques supérieures à la moyenne, à une stratification plus élevée et à une forte variabilité subannuelle de l'environnement physique. Les changements dans l'environnement pélagique et la communauté de plancton ont été caractérisés par des anomalies principalement négatives des concentrations de silicates et de phosphates en profondeur depuis 2013 et des concentrations de nitrates en profondeur depuis 2016, et des anomalies négatives dans les abondances des diatomées et d'autres grandes espèces de phytoplancton depuis 2009, de la biomasse du zooplancton depuis 2010, de *C. finmarchicus* depuis 2011 et de *Calanus* arctique depuis 2012, tandis que les anomalies de l'abondance de copépodes et de non-copépodes des eaux chaudes de mer ouverte ont été principalement positives dans les parties centrales et occidentales de la région depuis 2012.

Le profil annuel habituel de la variabilité de la biomasse du phytoplancton sur le plateau néo-écossais comprend une floraison printanière dominée par les diatomées, et une floraison secondaire, de moindre ampleur, en été et en automne. La dynamique de la floraison du phytoplancton dans l'Atlantique tempéré subit l'influence du cycle de stratification annuel de la colonne d'eau. On pense que le début de la floraison printanière est régulé par l'environnement lumineux du phytoplancton et par la température, et survient lorsque la colonne d'eau se stabilise à la fin de l'hiver et au début du printemps (Sverdrup 1953). Une floraison survient lorsque la croissance du phytoplancton dépasse de façon considérable les pertes, comme celles qui sont dues au broutage et à l'enfoncement (Behrenfeld et Boss 2014). La biomasse du phytoplancton décline après le pic de la floraison, lorsque le broutage augmente ou que la croissance devient limitée par les éléments nutritifs. En été, la présence sporadique de maximums de chlorophylle a en profondeur indique l'intrusion d'eau profonde riche en éléments nutritifs résultant d'un forçage physique.

En 2017, la biomasse du phytoplancton intégrée à la colonne d'eau (0 à 100 m) était inférieure à la normale sur l'ensemble du plateau néo-écossais et du golfe du Maine, sauf à la station de Prince-5 (figure 17, panneau supérieur) pour la deuxième année de suite. Bien que la biomasse du phytoplancton annuelle moyenne soit probablement influencée par la croisière d'automne plus tardive que d'habitude, ces résultats concordent avec les observations par satellite qui ont montré une teneur en chlorophylle a inférieure à la normale dans les six régions (figure 4), et

une floraison plus faible et plus courte que la normale en particulier. La diminution de la biomasse du phytoplancton concorde avec la diminution récente des inventaires des éléments nutritifs à la surface et en profondeur, à l'exception des éléments nutritifs à la surface dans la section transversale du détroit de Cabot (DCL) et la section transversale de Louisbourg (LL), qui ont affiché des anomalies positives. Alors que les éléments nutritifs présentent un gradient négatif nord-est–sud-ouest (c.-à-d. d'anomalies positives à anomalies négatives), la concentration de chlorophylle a montre la tendance inverse. Cela pourrait s'expliquer par des changements dans les rapports d'éléments nutritifs. De plus, le déclin prononcé des inventaires de silicates et de phosphates sur l'ensemble de la colonne d'eau pourrait avoir influencé la structure de la communauté de phytoplancton : pour la troisième année consécutive à la station d'Halifax-2, l'abondance des diatomées était inférieure à la moyenne, tandis que les abondances des petits flagellés et des ciliés étaient supérieures à la moyenne. La réponse de la biomasse et de la structure de la communauté de phytoplancton aux tendances des éléments nutritifs à la station d'Halifax-2 diffère de celle de la station de Prince-5 (voir la discussion ci-dessous), peut-être en raison de conditions environnementales différentes et des caractéristiques inhabituelles de la floraison printanière en 2017. La floraison printanière plus courte et l'abondance des diatomées inférieure à la normale au printemps et en été ont entraîné l'anomalie négative concernant les diatomées à la station d'Halifax-2. En plus de l'épuisement des éléments nutritifs, la profondeur de la couche de mélange (PCM) est demeurée inférieure (10 à 40 m) à la normale pendant la majeure partie de l'année, avec une grande variabilité de la stratification autour de la moyenne. La variabilité de la PCM au printemps correspond aux épisodes de vents qui se sont produits au cours de cette période (figure 7); notamment, un épisode de vent violent au début de mars suivi d'une période de vents relativement calmes peut avoir déclenché l'apparition de la floraison inhabituellement profonde (jusqu'à 140 m) et brève du phytoplancton. Cette floraison courte mais intense a provoqué l'épuisement des nitrates à la surface et en profondeur pendant 2 à 3 mois après la floraison. L'effet combiné de la PCM moindre et des faibles inventaires des éléments nutritifs en profondeur a probablement contribué à la faible biomasse de phytoplancton observée pendant la majeure partie de l'année. La profondeur de la zone euphotique, mesurée selon le coefficient d'atténuation du RPA et la profondeur d'après le disque de Secchi a été inférieure à la normale pendant la floraison printanière du phytoplancton, mais est demeurée généralement proche des données climatologiques.

À la station de Prince-5, les inventaires des éléments nutritifs affichaient un profil interannuel semblable à celui de la station d'Halifax-2 et des section transversales saisonniers, avec des anomalies annuelles négatives dans les eaux proches de la surface et les eaux profondes. Des anomalies négatives concernant les nitrates en hiver et en automne laissent supposer un apport inférieur de nitrates en amont à la station. Bien que la PCM ait été plus grande que d'habitude au printemps (lorsque les mesures étaient disponibles), elle a été exceptionnellement faible en mai, coïncidant avec la floraison peu profonde et forte du phytoplancton. Cette floraison peu profonde a été associée à la dessalure des eaux superficielles en raison de fortes précipitations (notamment 55,9 mm le 6 mai à Saint John, avec une inondation importante du fleuve Saint-Jean) qui ont déversé des éléments nutritifs terrigènes dans la baie de Fundy, comme on peut le constater dans le profil de salinité (Hebert *et al.* 2018). La floraison a duré jusqu'en octobre et a été associée à un épuisement des nitrates plus important que la normale au début de l'automne. La structure de la communauté du phytoplancton de la station de Prince-5 est essentiellement dominée par les diatomées en raison de l'influence d'un fort mélange dû aux marées, qui constituent une source d'éléments nutritifs à la surface tout au long de l'année. Ces dernières années, les anomalies de l'abondance des diatomées ont été négatives, et les anomalies de les dinoflagellés, les flagellés et les ciliés étaient toutes positives. Les facteurs déterminants de ces changements ne sont pas clairs, car ils sont antérieurs au passage à des

anomalies négatives concernant les silicates et n'ont pas été associés à une stratification plus forte que d'habitude à la station. En 2017, les anomalies annuelles moyennes concernant l'abondance des diatomées sont revenues près de la normale, mais les abondances des autres groupes sont demeurées supérieures à la moyenne.

Les données satellitaires sur la couleur des océans montrent une forte variabilité spatiale et interannuelle en ce qui a trait au moment et à la durée de la floraison printanière. Une évaluation récente de la méthode de rajustement des floraisons indique que la formulation mathématique de la méthode de rajustement des floraisons pourrait ne pas donner de bons résultats en ce qui concerne les mesures temporelles pendant les années de courtes floraisons de faible amplitude; une nouvelle analyse est donc prévue. Cependant, les mesures de l'ampleur et de l'amplitude de la floraison sont représentatives des observations et montrent une diminution constante de la biomasse de la chlorophylle a à la surface sur l'ensemble de la région d'intérêt.

La biomasse du zooplancton sur le plateau néo-écossais et dans l'est du golfe du Maine est normalement dominée par de grands copépodes riches en énergie, principalement *C. finmarchicus*, qui sont des proies importantes pour des poissons planctonivores comme le hareng et le maquereau, pour la baleine noire de l'Atlantique Nord et pour d'autres espèces pélagiques. En 2017, la communauté du zooplancton a continué d'être caractérisée par des abondances inférieures à la normale de *C. finmarchicus* et une faible biomasse de zooplancton, tandis que l'abondance des non-copépodes et l'abondance des copépodes totaux étaient supérieures à la normale sur le centre et l'ouest du plateau néo-écossais, indiquant un changement de communauté vers une dominance inférieure de *C. finmarchicus*. Des changements dans l'abondance des groupes de copépodes qui sont des indicateurs de la répartition des masses d'eau dans la région, y compris les espèces de *Calanus* arctiques (principalement inférieure) et les copépodes des eaux chaudes de mer ouverte (principalement supérieure) au cours des dernières années sont compatibles avec une influence accrue des eaux de mer ouverte sur le centre et l'ouest du plateau néo-écossais.

La réponse des populations de *C. finmarchicus* aux changements environnementaux est complexe en raison des interactions entre le transport par la circulation océanique, les cycles de production primaire annuels et le cycle biologique des espèces de *Calanus*, qui axent leur effort de reproduction sur la production de diatomées lors de la floraison printanière et peuvent afficher une période de dormance dans des eaux profondes durant des saisons moins productives aux stades juvéniles tardifs. Le niveau d'abondance en hiver de *C. finmarchicus* est un indicateur des conditions initiales de production, tandis que le niveau d'abondance à la fin de l'automne est un indicateur du stock hivernant pour la production de l'année suivante. Aux deux stations à haute fréquence visées par les séries chronologiques, *Calanus finmarchicus* présentait des profils d'anomalies de production annuelle contrastés en 2017. À la station d'Halifax-2, l'abondance hivernale de *C. finmarchicus* était près de la normale, mais inférieure à l'abondance moyenne pendant la saison de production active au printemps et en été, et la courte durée du cycle de production printanière de *C. finmarchicus* laisse entendre que l'abondance de *C. finmarchicus* pourrait avoir été négativement touchée par de faibles ampleurs des floraisons printanières et des abondances de diatomées plus faibles que la moyenne. Néanmoins, l'abondance à la fin de l'automne était au-dessus de la normale à la station. Ce rétablissement pourrait être attribuable à une forte production estivale ou à un repeuplement à partir de sources en amont; cette dernière situation semble plus probable, puisque les faibles abondances relatives des premiers stades de copépodites après juin laissent supposer une faible production estivale. Contrairement à la station d'Halifax-2, les niveaux d'abondance de *C. finmarchicus* à la station de Prince-5 étaient nettement inférieurs à la normale, près de zéro, en hiver et à la fin de l'automne 2017, mais près de la normale pendant la période de production

active à la fin du printemps et au début de l'été. Dans cette région, le rétablissement à des niveaux d'abondance normaux pourrait être attribuable à la forte production de diatomées à la fin du printemps et en été. Malgré ce rétablissement, l'abondance de *C. finmarchicus* a fortement chuté en septembre, et le stock hivernant était faible. Les populations de *C. finmarchicus* peuvent être touchées négativement par des températures des eaux profondes plus élevées que la moyenne, ce qui peut limiter la longueur de la période de dormance et entraîner une émergence hors de la dormance précoce et une désynchronisation avec le moment de la floraison printanière (Saumweber et Durbin 2006). Les abondances relatives élevées de *C. finmarchicus* adulte en hiver aux deux stations à haute fréquence visées par les séries chronologiques et une impulsion précoce de CI à la station d'Halifax-2 laissent supposer une sortie précoce de dormance et une reprise de la production active, avant la floraison printanière, comme on l'a observé dans le golfe du Maine (Durbin *et al.* 1997). Contrairement aux régions plus septentrionales du plateau de l'Atlantique Nord-Ouest canadienne où les abondances de *Pseudocalanus* spp., des copépodes de plus faible taille du printemps et de l'été qui sont également d'importantes proies pour les petits poissons, ont augmenté, ce qui coïncide avec le déclin de l'abondance de *C. finmarchicus* (MPO 2018), les abondances des diverses espèces de *Pseudocalanus* ont été variées dans la région des Maritimes, avec de faibles abondances sur le centre et l'ouest du plateau néo-écossais.

Tandis que des conditions océaniques chaudes persistent dans la région des Maritimes, on dispose de plus en plus d'éléments probants faisant état d'un changement dans les communautés du phytoplancton et du zooplancton, passant de la dominance de grandes cellules de phytoplancton et de grands copépodes riches en énergie comme *C. finmarchicus* à la présence d'espèces de phytoplancton et de copépodes plus petites et des espèces de non-copépodes se nourrissant de particules de façon opportuniste, comme les appendiculaires, les gastropodes pélagiques et les thaliacés. Comme les réseaux trophiques de type « classique » dominés par les diatomées et *C. finmarchicus* sont associés avec une efficacité plus élevée du transfert de l'énergie vers des animaux pélagiques de niveau trophique supérieur que l'efficacité enregistrée pour niveaux trophiques qui sont dominés par de petites cellules de phytoplancton et de petits taxons de zooplancton, ce changement pourrait indiquer un changement vers des conditions moins productives pour des poissons planctonivores, la baleine noire de l'Atlantique Nord et les oiseaux de mer se nourrissant de poissons pélagiques dans la région des Maritimes.

ENREGISTREMENT EN CONTINU DU PLANCTON

PHYTOPLANCTON

Sur l'est et sur l'ouest du plateau néo-écossais, les cycles saisonniers climatologiques de l'indice de couleur du phytoplancton et de l'abondance des diatomées affichent des pics au printemps (mars et avril) et de faibles valeurs en été (figure 32). En automne et en hiver, l'indice la couleur du phytoplancton est faible, mais l'abondance des diatomées augmente à l'automne et demeure relativement élevée en hiver. L'abondance des dinoflagellés ne présente pas de cycle saisonnier clair, quelle que soit la région. En 2016, les valeurs de l'indice de couleur du phytoplancton dans les huit mois échantillonnés étaient généralement proches des moyennes mensuelles dans les deux régions, mais ont quelque peu diminué pendant la période de floraison sur l'ouest du plateau néo-écossais et ont augmenté entre janvier et mars sur l'est du plateau néo-écossais. L'abondance des diatomées était anormalement faible en janvier et avril sur l'ouest du plateau néo-écossais, et légèrement élevée en janvier-mars sur l'est du plateau néo-écossais, pour chuter à des niveaux très bas en juin dans les deux régions. Ces observations semblent indiquer une floraison printanière précoce et courte sur l'est du plateau

néo-écossais et une floraison courte et de faible intensité sur l'ouest du plateau néo-écossais, ce qui correspond aux observations par satellite publiées dans le rapport 2017 du PMZA (Johnson *et al.* 2018). L'abondance des dinoflagellés a été exceptionnellement faible en janvier et en avril sur l'ouest du plateau néo-écossais et en juin sur l'est du plateau néo-écossais, et exceptionnellement élevée en janvier à mars et en octobre sur l'est du plateau néo-écossais. Dans les deux régions, les anomalies annuelles moyennes de l'abondance des diatomées en 2016 étaient négatives par rapport à la période de référence de 1992 à 2015, et les anomalies annuelles de l'indice de couleur du phytoplancton et les dinoflagellés étaient proches de la normale (figure 33).

ZOOPLANCTON

Les cycles climatologiques saisonniers dérivés de l'enregistreur continu de plancton pour *Calanus* aux stades I à IV (principalement *C. finmarchicus*) et *C. finmarchicus* aux stades CV à VI ont des pics d'abondance importants au printemps et en été (avril à juillet) sur l'ouest du plateau néo-écossais. Sur l'est du plateau néo-écossais, on observe un petit pic printanier pour *Calanus* aux stades CI à IV, mais pas pour *C. finmarchicus* aux stades CV à VI (figure 34). En 2016, les abondances mensuelles de *Calanus* aux stades CI à IV étaient généralement proches des moyennes mensuelles de 1992 à 2015 dans les deux régions, mais supérieures en avril et juin sur l'est du plateau néo-écossais. Les abondances mensuelles de *C. finmarchicus* aux stades CV à VI étaient aussi généralement proches des moyennes de 1992 à 2015 dans les deux régions, mais supérieures en juin et juillet sur l'est du plateau néo-écossais. Dans les deux régions, les anomalies annuelles moyennes de l'abondance pour *Calanus* aux stades CI à IV et *C. finmarchicus* aux stades CV à VI étaient près de la normale (figure 33). Par contre, l'échantillonnage effectué à l'aide d'un filet vertical *in situ* tout au long de l'année de *C. finmarchicus* à la station d'Halifax-2 a révélé de faibles abondances depuis 2011, comparativement aux valeurs moyennes de 1999 à 2010 (Johnson *et al.* 2018). Cette diminution est attribuable à la diminution de l'abondance des CV, et le fait qu'on n'observe pas une telle diminution aux stades CV à CVI à l'aide de l'enregistreur continu de plancton, laisser à entendre qu'elle se produit dans la population de CV à la subsurface (Head *et al.* en prép.[4]). Parmi les autres taxons, sur l'est du plateau néo-écossais, les anomalies de l'abondance moyenne annuelle en 2016 étaient négatives pour *C. glacialis* aux stades CV à VI et positives pour les amphipodes hypéridés, tandis que sur l'ouest du plateau néo-écossais, les anomalies annuelles moyennes de l'abondance étaient négatives pour les larves nauplius de copépode et *Oithona* spp.

ORGANISMES SENSIBLES À L'ACIDITÉ

En 2016, les anomalies annuelles moyennes concernant l'abondance des trois taxons sensibles à l'acidité (coccolithophores, foraminifères et ptéropodes, principalement *Limacina* spp.) étaient positives sur l'est du plateau néo-écossais et presque normales sur l'ouest du plateau néo-écossais (figure 33), ce qui laisse supposer que les changements de pH à ce jour n'ont pas touché ces organismes.

[4] Hebert, D., R. Pettipas et D. Brickman. 2019. Conditions météorologiques, de la glace de mer et de l'océanographie physique sur le plateau néo-écossais et dans le golfe du Maine en 2017. MPO En Preparation.

PROGRAMME DE SURVEILLANCE DU BASSIN DE BEDFORD

CONDITIONS PHYSIQUES

Les conditions à la surface en 2017 ont été légèrement plus chaudes que la normale (écart-type : +0,70) par rapport à la période de référence de 2000 à 2015, et 2017 a été la septième année la plus chaude de la série chronologique des températures (1992 à 2017) et la cinquième anomalie positive au-dessus d'un écart-type de +0,50 depuis 2010 (figure 35). Les anomalies annuelles concernant la salinité, la densité et la stratification de l'eau de surface étaient près de la normale. Les anomalies mensuelles des températures de surface en 2017 ont été plus chaudes que la normale en hiver (janvier et février), suivies d'un retour à la normale ou à des températures plus fraîches que la normale au printemps et en été (figure 36). Viennent ensuite des conditions beaucoup plus chaudes à la fin de l'été et à l'automne, avec des records de températures chaudes à la surface d'octobre à décembre (écarts-types : +2,75, +3,02 et +1,62). Il s'agit des conditions à la surface les plus chaudes de l'automne pour les séries chronologiques à la station Compass.

Les conditions au fond sont généralement stables dans le bassin, à moins qu'elles ne soient perturbées par des intrusions périodiques des eaux du plateau (Kerrigan *et al.* 2017). En 2017, les températures à 60 m sont demeurées proches des données climatologiques ou légèrement inférieures à celles-ci à long terme tout au long de l'année (figure 38), alors que la salinité et la densité étaient constamment sous la normale. Cette tendance s'est poursuivie avec des anomalies de salinité et de stratification au fond négatives ou près de la normale depuis 2010 (figure 37). Cependant, à la fin de 2017, une intrusion importante des eaux du plateau continental a entraîné un retour à des conditions plus salines que la normale qui ont persisté jusqu'au début de 2018 (figure 38).

ÉTAT DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS ET DU PLANCTON

Les anomalies annuelles concernant le carbone organique et l'azote organique en particules, ainsi que la chlorophylle, à la surface et à 60 m, étaient près de la normale. Les anomalies concernant des éléments nutritifs à la surface (nitrates, nitrites, ammoniac, phosphates et silicates) ont poursuivi leur tendance à des valeurs négatives ou presque normales en 2017 (35). En particulier, les concentrations de phosphates à la surface et au fond sont inférieures à la moyenne depuis 2010 (figures 35, 37 et 39). Cette diminution de concentration est probablement attribuable à trois facteurs contributifs : 1) les concentrations de phosphates sur le plateau sont actuellement anormalement inférieures à la normale (figure 11); 2) deux installations de traitement primaire de l'eau ont commencé leurs activités en 2008; 3) en 2010, de nouvelles règles sont entrées en vigueur pour réduire la concentration en phosphates des détergents de 2,2 % à 0,5 %. Cela soulève la question de la contribution relative de ces facteurs. Les premières recherches de Petrie et Yeats (1990) laissent entendre que l'influence relative des eaux du plateau sur les concentrations de phosphates dans le bassin est à peu près équivalente à l'effet des phosphates solubles dans les effluents municipaux. Cela contraste avec les nitrates, qui sont environ 30 à 40 fois plus influencés par les eaux du plateau que les effluents. Il va donc de soi qu'une diminution des phosphates causée par les effluents traités (par suite de l'élimination des solides en suspension contenant environ 25 à 30 % des phosphates totaux) ne correspondrait pas nécessairement à une diminution des nitrates et que leurs concentrations relatives, si elles étaient entièrement attribuables aux processus de stockage, ne changeraient probablement pas rapidement avec le temps. Le rapport phosphates/nitrates dans les eaux de surface demeure relativement constant puisque leurs concentrations varient tout au long de l'année en raison de la production de phytoplancton (figure 40). Par conséquent, l'analyse graphique de la relation entre les phosphates et les

nitrates au fil du temps peut être utilisée pour démontrer les périodes où des écarts dans le rapport indiquent des changements dans l'apport de phosphates en raison du traitement des eaux usées ou des changements dans la teneur en phosphates des détergents. En 2017, les concentrations correspondent aux concentrations saisonnières relatives de phosphates et de nitrates observées depuis 2011, ce qui correspond à l'hypothèse selon laquelle les changements dans les sources locales de phosphates sont les principaux responsables de la réduction des phosphates qui a débuté en 2011 (figure 40).

SOMMAIRE

- Les observations enregistrées en 2017 offrent des éléments probants attestant le fait que les changements dans la communauté de plancton observés durant les dernières années ont persisté. Ces changements modifieront vraisemblablement le devenir de la production dans l'écosystème, avec des répercussions négatives qui sont déjà observées dans les habitats d'alimentation des planctonivores spécialisés comme la baleine noire de l'Atlantique Nord.
- En 2017, les inventaires des silicates et des phosphates à la surface et en profondeur étaient principalement inférieurs à la normale. Cette tendance se poursuit depuis 2013 sur le plateau néo-écossais et depuis 2016 dans la section transversale du détroit de Cabot. Les inventaires des nitrates en profondeur étaient nettement inférieurs à la moyenne dans l'ensemble de la région.
- Les floraisons printanières du phytoplancton observées à l'aide de la télédétection étaient faibles; cependant, une très profonde et courte floraison printanière, qui ne serait pas visible par les satellites, a encore été observée à la station d'Halifax-2.
- La biomasse du zooplancton et l'abondance de *C. finmarchicus* étaient inférieures à la moyenne, tandis que l'abondance des non-copépodes était principalement plus élevée que la normale, prolongeant ainsi une tendance qui a débuté durant les années 2010 à 2012.
- Les profils de l'abondance des espèces de copépodes indicatrices ont poursuivi une tendance amorcée en 2012 : les espèces des eaux chaudes de mer ouverte étaient principalement plus abondantes que la moyenne et les espèces migrant dans les eaux froides principalement moins abondantes sur le plateau néo-écossais en 2017.
- En 2016, les moyennes annuelles de deux indices du phytoplancton (indice de couleur du phytoplancton et abondance des dinoflagellés) observés à l'aide de l'enregistreur continu de plancton se situaient près des valeurs normales sur l'ouest et l'est du plateau néo-écossais, tandis que l'abondance des diatomées était sous la normale.
- En 2016, les abondances annuelles moyennes des taxons de zooplancton à biomasse dominante *Calanus* aux stades CI à IV et *C. finmarchicus* aux stades CV à VI, observées à l'aide de l'enregistreur continu de plancton, étaient près de la normale sur l'ouest et l'est du plateau néo-écossais. Parmi les autres taxons, *C. glacialis* aux stades CV à VI (est du plateau néo-écossais), les larves nauplius de copépode (ouest du plateau néo-écossais) et *Oithona* spp (ouest du plateau néo-écossais) étaient exceptionnellement peu abondants, tandis que les amphipodes hypéridés et trois taxons sensibles à l'acidité (coccolithophores, foraminifères, ptéropodes) étaient exceptionnellement abondants sur l'est du plateau néo-écossais.
- À la station Compass du bassin de Bedford, les températures de la surface de l'automne 2017 (octobre à décembre) ont été les plus chaudes enregistrées depuis que la série chronologique a commencé en 1992.

- Le rapport phosphates/nitrates de 2017 à la station Compass concorde avec le rapport observé depuis 2011, ce qui correspond à la mise en place d'installations de traitement des eaux et à la nouvelle réglementation fédérale concernant la concentration des phosphates solubles dans les détergents.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le personnel navigant de l'Institut océanographique de Bedford et de la Station biologique de St. Andrews, les scientifiques en chef des missions de relevé au chalut de l'écosystème, Don Clark et Heath Stone, ainsi que les officiers et l'équipage des navires de la Garde côtière canadienne *Alfred Needler*, *Coriolis II, Sigma-T*, *Teleost*, *Viola M. Davidson*, du navire *RV Endeavor*, de la National Research Foundation des États-Unis ainsi que des navires de recherche et sauvetage pour leur aide dans l'exécution du programme sur le terrain de 2017 de la région des Maritimes. Carol Anstey, Jay Barthelotte, Mélany Belzile, Robert Benjamin, Shelley Bond, Jay Bugden, Carla Caverhill, Terry Cormier, Jack Fife, Jennifer Hackett, Adam Hartling, Gordana Lazin, Kevin MacIsaac, Kevin Pauley, Cathy Porter, Tim Perry, Marc Ringuette, Shawn Roach, Sarah Scouten, Jackie Spry et Peter Thamer ont apporté leur contribution au prélèvement et à l'analyse des échantillons ainsi qu'à l'analyse, à la gestion et au partage des données. Pierre Pepin, Marjolaine Blais et Stéphane Plourde ont passé en revue et amélioré le manuscrit.

RÉFÉRENCES CITÉES

Behrenfeld, M.J., and Boss, E.S. 2014. Resurrecting the Ecological Underpinnings of Ocean Plankton Blooms. Annu. Rev. Mar. Sci. 6: 167–194.

DFO. 2000. Conditions chimiques et biologiques de l'océan en 1998 et 1999 – Région de Maritimes. MPO – Sciences, Rapport sur l'état des stocks G3-03 (2000).

DFO. 2018. Oceanographic Conditions in the Atlantic Zone in 2017. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2017/039.

Durbin, E.G., Runge, J.A., Campbell, R.G., Garrahan, P.R., Casas, M.C., and Plourde, S. 1997. Late Fall- early Winter Recruitment of *Calanus finmarchicus* on Georges Bank. Mar. Ecol. Progr. Ser. 151: 103–114.

Greenan, B.J.W., Petrie, B.D., Harrison, W.G., and Strain, P.M. 2008. The Onset and Evolution of a Spring Bloom on the Scotian Shelf, Limnol. Oceanogr. 53, doi:10.4319/lo.2008.53.5.1759.

Harrison, G., Colbourne, E., Gilbert, D., and Petrie, B. 2005. Oceanographic Observations and Data Products Derived from Large-scale Fisheries Resource Assessment and Environmental Surveys in the Atlantic Zone. AZMP/PMZA Bull. 4: 17–23.

Hebert, D., Pettipas, R., Brickman, D., and Dever, M. 2018. Meteorological, Sea Ice and Physical Oceanographic Conditions on the Scotian Shelf and in the Gulf of Maine During 2016. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2018/016. v + 53 p.

Hebert, D., R. Pettipas et D. Brickman. 2019. Conditions météorologiques, de la glace de mer et de l'océanographie physique sur la plate-forme Néo-Écossaise et dans le golfe du Maine en 2017. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2020/022. Sous presse.

Holmes, R.W. 1970. The Secchi Disk in Turbid Coastal Waters. Limnol. Oceanogr. 15(5): 688–694.

Johnson, C., Devred, E., Casault, B., Head, E., and Spry, J. 2018. Conditions océanographiques optiques, chimiques et biologiques sur le plateau néo-écossais et dans l'est du golfe du Maine en 2016. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech. 2018/017. v + 63 p.

Johnson, C., Harrison, G., Head, E., Casault, B., Spry, J., Porter, C., and Yashayaeva, I. 2012. Optical, Chemical, and Biological Oceanographic Conditions in the Maritimes Region in 2011. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2012/071.

Keister, J.E., Di Lorenzo, E., Morgan, C.A., Combes, V., and Peterson, W.T. 2011. Zooplankton Species Composition is Linked to Ocean Transport in the Northern California Current. Global Change Biol. 17: 2498–2511, doi: 10.111/j.1365-2486.2010.02383.x.

Kerrigan, E.A., Kienast, M., Thomas, H., and Wallace, D.W.R. 2017. Using Oxygen Isotopes to Establish Freshwater Sources in Bedford Basin, Nova Scotia, a Northwestern Atlantic Fjord. Estuar. Coast. Shelf. Sci. 199: 96–104.

Lenth, R. 2018. lsmeans: Least-Squares Means. R Package Version 2.27-62.

Mackas, D.L., Greve, W., Edwards, M., Chiba, S., Tadokoro, K., Eloire, D., Mazzocchi, M.G., Batten, S., Richardson, A.J., Johnson, C., Head, E., Conversi, A., and Pelosi, T. 2012. Changing Zooplankton Seasonality in a Changing Ocean: Comparing Time Series of Zooplankton Phenology. Progr. Oceanogr. 97–100: 31–62.

Mitchell, M., Harrison, G., Pauley, K., Gagné, A., Maillet, G., and Strain, P. 2002. Atlantic Zonal Monitoring Program Sampling Protocol. Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 223.

O'Reilly, J.E., Maritorena, S., Mitchell, B.G., Siegel, D.A., Carder, K.L., Garver, S.A., Kahru, M., and McClain, C.R. 1998. Ocean Color Chlorophyll Algorithms for SeaWiFS, J. Geophys. Res. 103, 24937-24953, doi: 10.1029/98JC02160.

Petrie, B. 2007. Does the North Atlantic Oscillation Affect Hydrographic Properties on the Canadian Atlantic Continental Shelf? Atmos. Ocean 45(3): 141–151.

Petrie, B., and Dean-Moore, J. 1996. Temporal and Spatial Scales of Temperature and Salinity on the Scotian Shelf. Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 203.

Petrie, B., and Yeats, P. 1990. Simple Models of the Circulation, Dissolved Metals, Suspended Solids and Nutrients in Halifax Harbour. Water Poll. Res. J. Canada, 25(3): 325–349.

Petrie, B., and Yeats, P. 2000. Annual and Interannual Variability of Nutrients and Their Estimated Fluxes in the Scotian Shelf – Gulf of Maine Region. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 57: 2536–2546.

Petrie, B., Yeats, P., and Strain, P. 1999. Nitrate, Silicate and Phosphate Atlas for the Scotian Shelf and the Gulf of Maine. Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 203.

Petrie, B., Drinkwater, K., Gregory, D., Pettipas, R., and Sandström, A. 1996. Temperature and Salinity Atlas for the Scotian Shelf and the Gulf of Maine. Can. Data. Rep. Hydrog. Ocean Sci. 171.

R Core Team. 2018. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

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. Progr. Oceanogr. 68: 27–74.

Saumweber, W.J., and Durbin, E.G. 2006. Estimating Potential Diapause Duration in *Calanus finmarchicus*. Deep-Sea Res. II. 52: 2597–2617.

Sverdrup, H.U. 1953. On Conditions for the Vernal Blooming of Phytoplankton. J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer. 18: 287–295.

Therriault, J.-C., Petrie, B., Pepin, P., Gagnon, J., Gregory, D., Helbig, J., Herman, A., Lefaivre, D., Mitchell, M., Pelchat, B., Runge, J., and Sameoto, D. 1998. Proposal for a Northwest Atlantic Zonal Monitoring Program. Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 194.

Utermöhl, von H. 1931. Neue Wege in der quantitativen Erfassung des Planktons. (Mit besondere Beriicksichtigung des Ultraplanktons). Verh. Int. Verein. Theor. Angew. Limnol., 5**,** 567–595.

Yashayaev, I., Head, E.J.H., Azetsu-Scott, K., Devred, E., Ringuette, M, Wang, Z., and Punshon, S. 2016. Environmental Conditions in the Labrador Sea during 2015. NAFO SCR Doc. 16/018. Serial N6559. 34 p.

Zhai, L., Platt, T., Tang, C., Sathyendranath, S., and Hernández Walls, R. 2011. Phytoplankton Phenology on the Scotian Shelf. ICES J. Mar. Sci. 68: 781–791.

TABLEAUX

Tableau 1. Missions d'échantillonnage dans le cadre du Programme de monitorage de la zone Atlantique (PMZA) dans la région des Maritimes en 2017.

Groupe	Emplacement	ID de la mission	Dates	Numéro de station hydrologique	Numéro de filet Station
Relevés au chalut de l'écosystème	Ouest du plateau néo-écossais	NED2017-102	2–3 mars	3	0
	Ouest du plateau néo-écossais	NED2017-002	4–8 mars	9	1
	Banc de Georges	TEL2017-002	21–29 mars	36	7
	Plateau néo-écossais	NED2017-020	28 juin–5 août	200	36
Section transversales saisonnières	Plateau néo-écossais	COR2017-001	17–27 avril	102	58
	Plateau néo-écossais	EN2017-606	26 nov.–16 déc.	106	88
Stations à haute fréquence	Halifax-2	BCD2017-666	1er janv.–31 déc.	17(7)[1]	15(7)[1]
	Prince-5	BCD2017-669	1er janv.–31 déc.	11	11
			Total :	*474*	*208*

[1] Occupations totales des stations, y compris les occupations durant les relevés au chalut et dans les section transversales saisonnières (les occupations dédiées comportant des identifications [ID] de missions telles qu'énumérées à gauche figurent entre parenthèses).

FIGURES

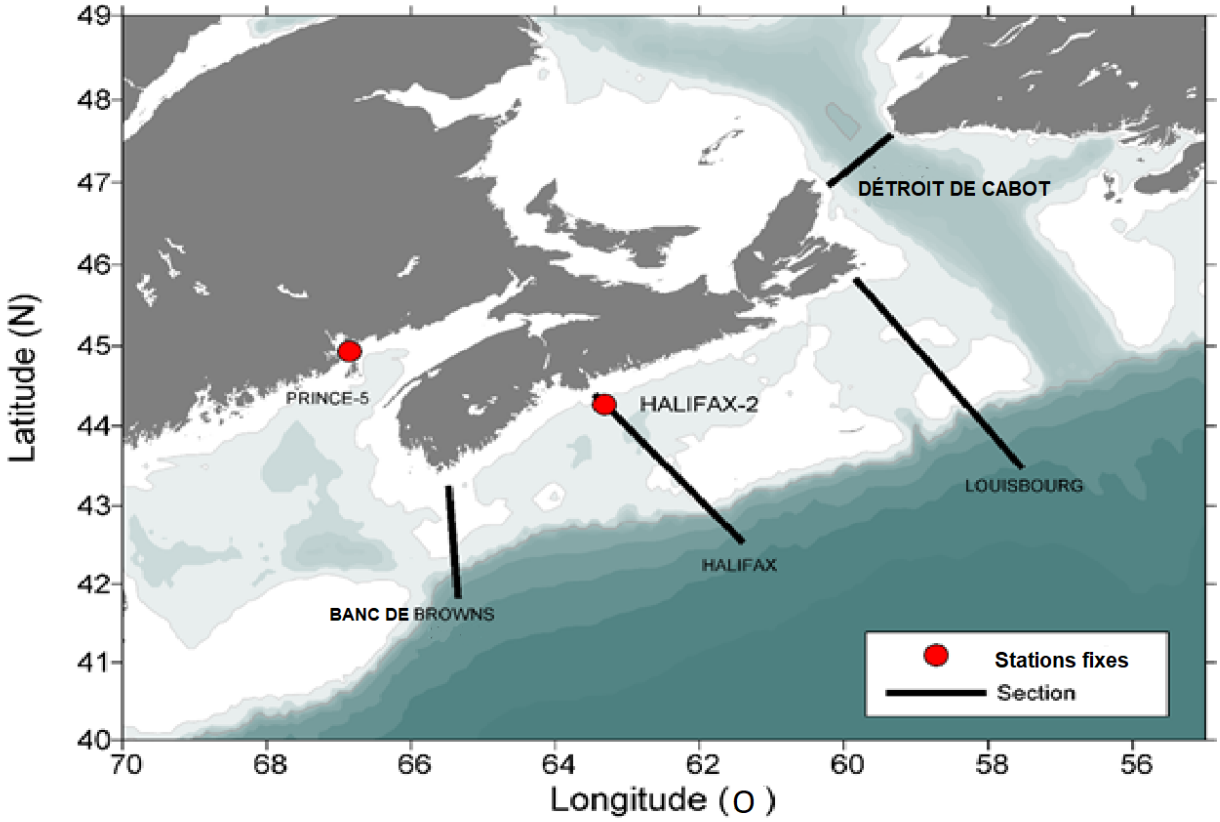

Figure 1. Carte des section transversales primaires (détroit de Cabot, Louisbourg, Halifax et banc de Browns) et des stations d'échantillonnage à haute fréquence (Halifax-2 et Prince-5) échantillonnées dans la région des Maritimes du MPO.

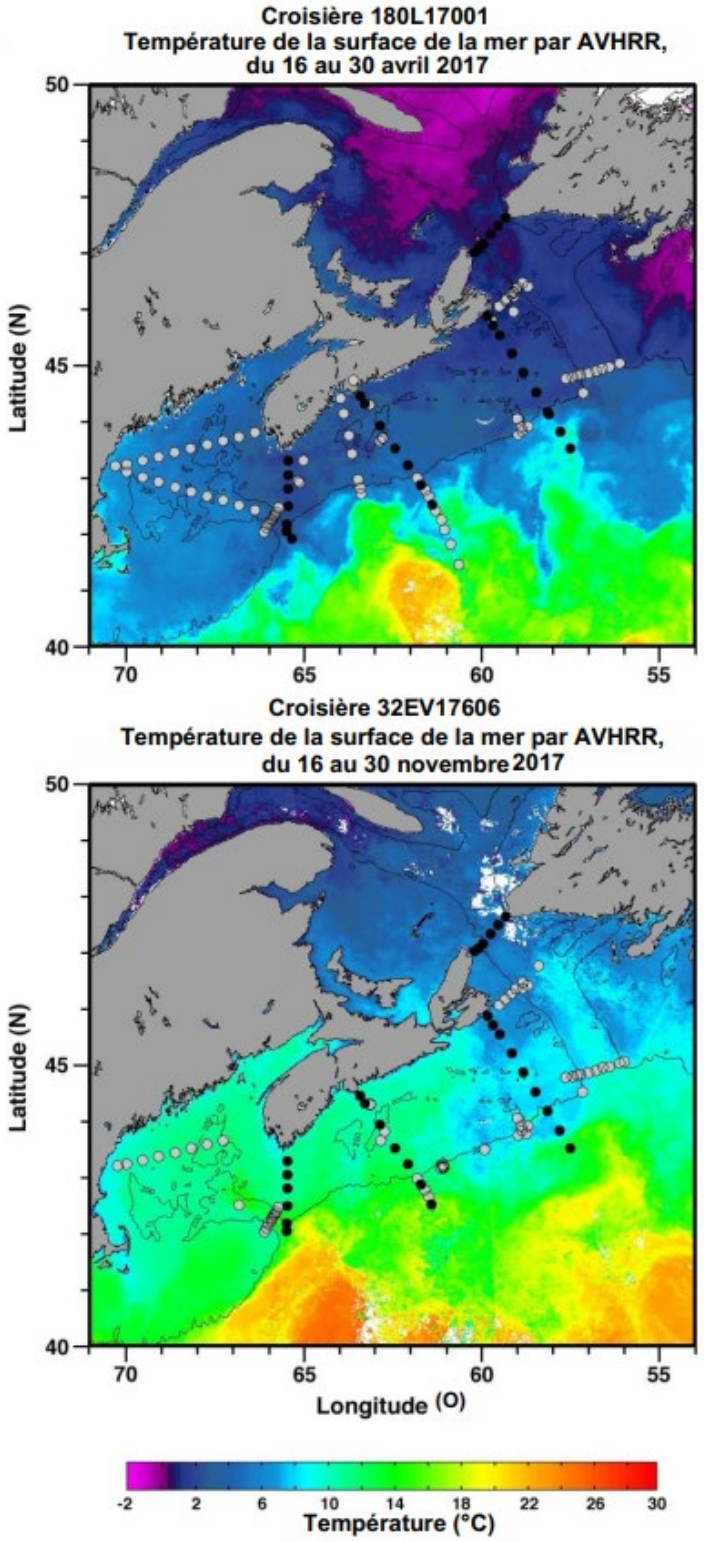

Figure 2. Stations échantillonnées durant les relevés de printemps et d'automne de 2017. Les emplacements des stations sont superposés sur les images composites de la température de la surface de la mer pour les dates qui sont près des dates de missions. Les marques noires indiquent les stations de base, et les marques grises indiquent les stations échantillonnées dans le cadre de programmes connexes.

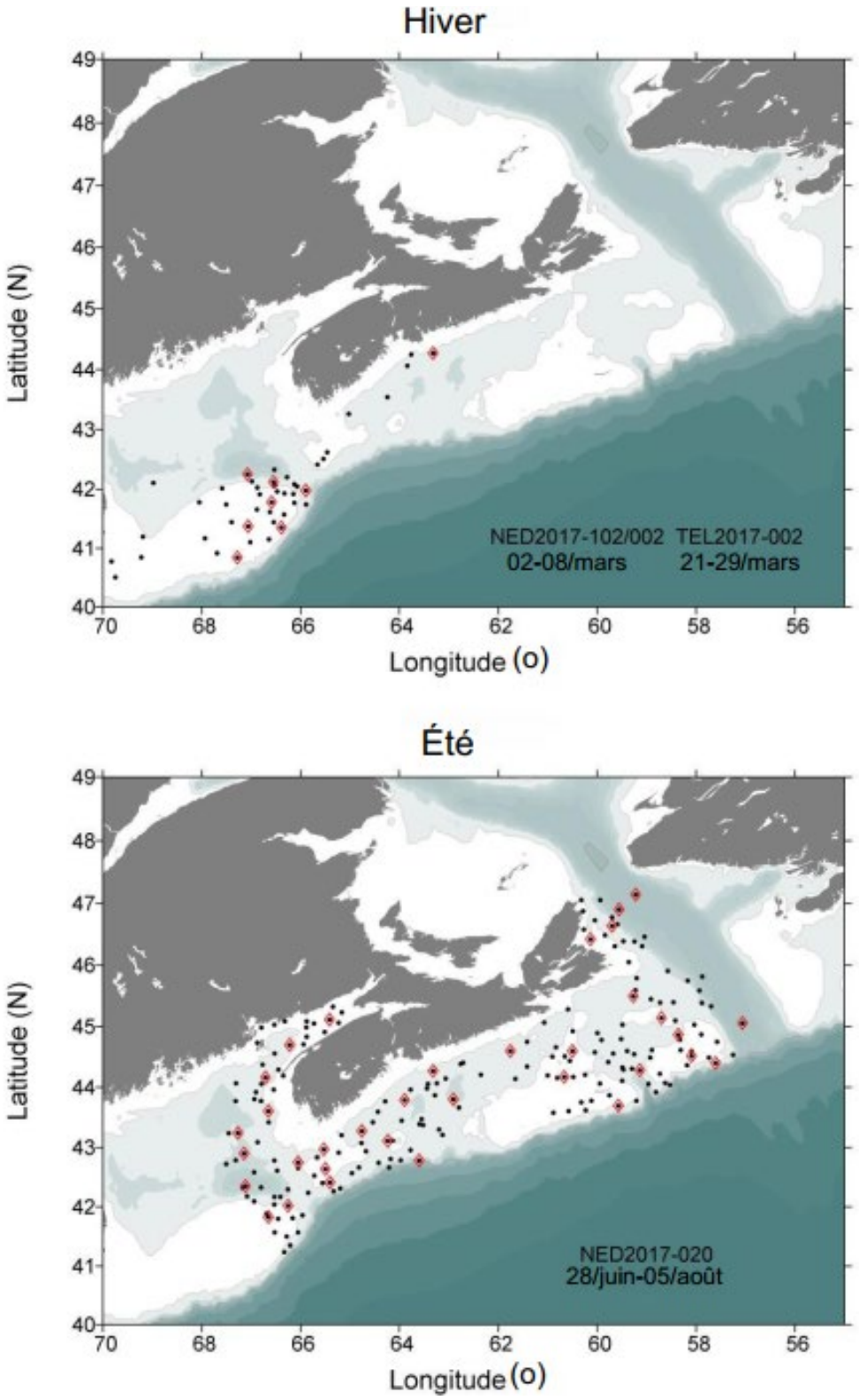

Figure 3. Stations échantillonnées durant les relevés au chalut de l'écosystème primaires dans la région des Maritimes en 2017. Les marques pleines noires indiquent les stations hydrographiques; les losanges ouverts rouges indiquent les stations où l'on a hissé des filets verticaux en plus des mesures hydrographiques.CP

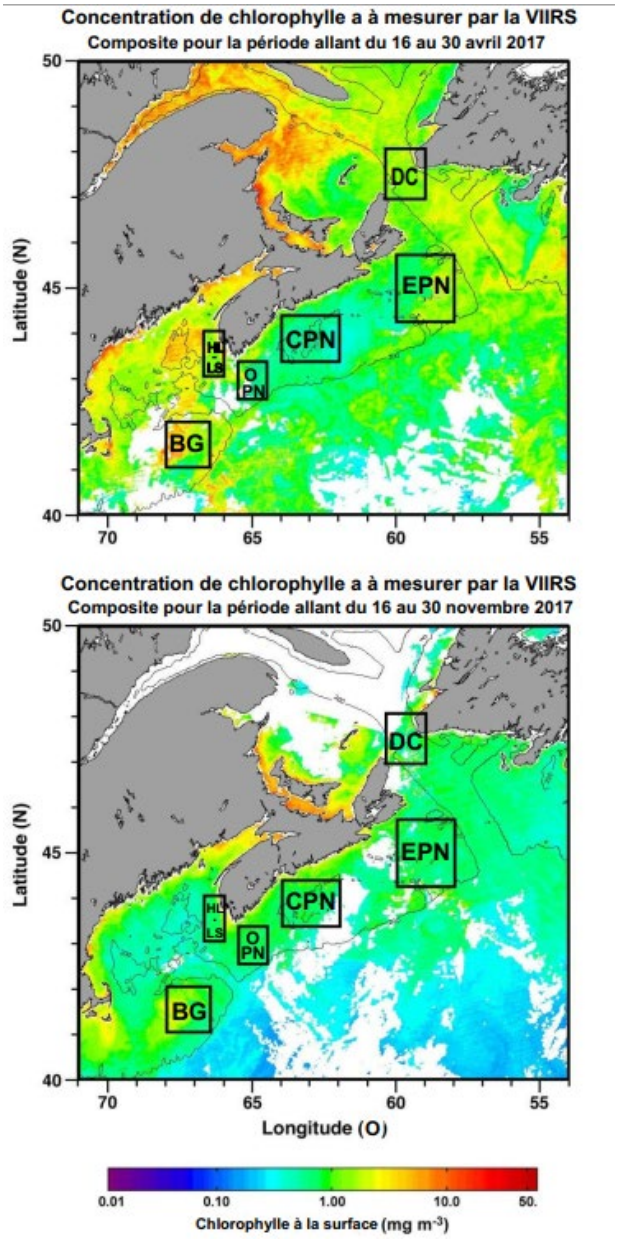

Figure 4. Sous-régions statistiques de la région des Maritimes déterminées pour l'analyse spatiotemporelle des données sur la couleur de l'océan collectées par satellite. Les sous-régions sont superposées sur les images composites de la chlorophylle à la surface de la mer pour les dates qui sont près des dates de missions. DC – détroit de Cabot; CPN – centre du plateau néo-écossais; EPN – est du plateau néo-écossais; BG – banc de Georges; HL – LS – Lurcher Shoal; OPN – ouest du plateau néo-écossais.

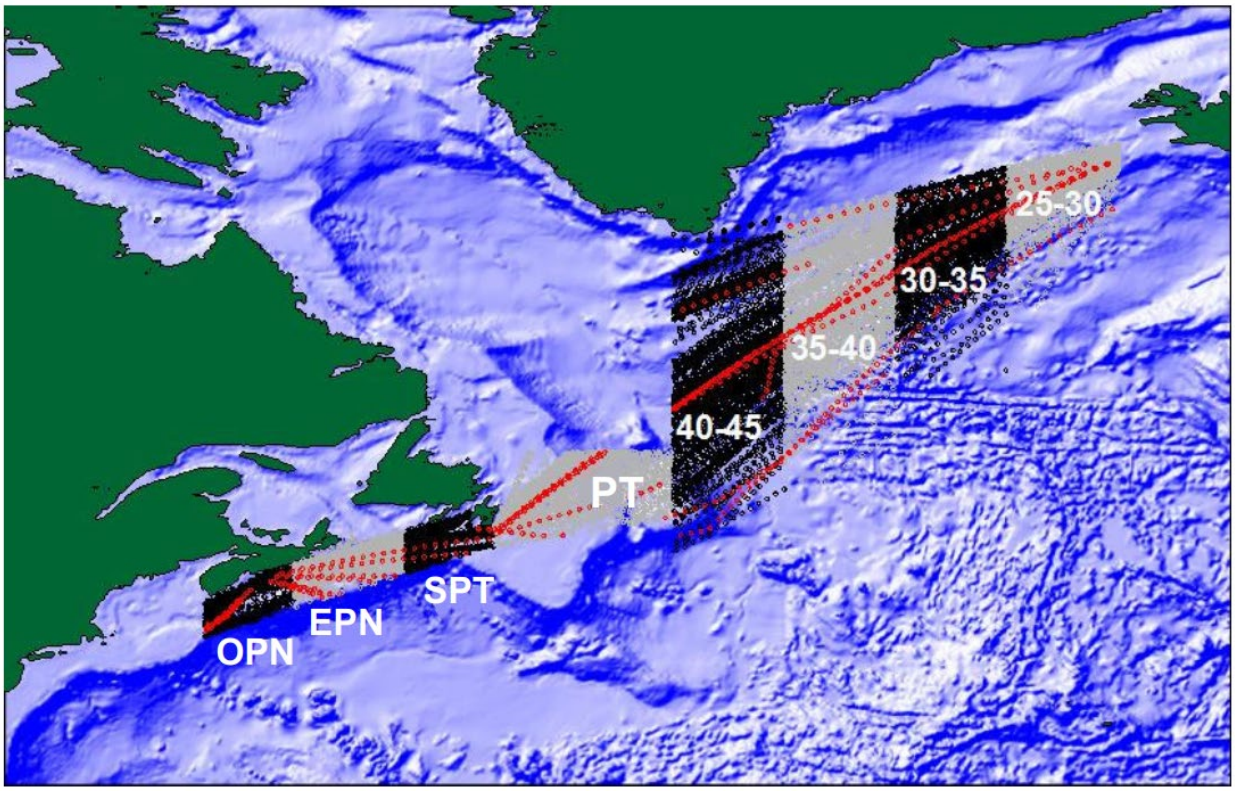

Figure 5. Lignes et stations pour l'enregistrement continu du plancton entre 1957 et 2016. Les stations échantillonnées en 2016 sont indiquées en rouge. Les données sont analysées par région. Les régions sont les suivantes : ouest du plateau néo-écossais (OPN), est du plateau néo-écossais (EPN), sud du plateau de Terre-Neuve (SPT), plateforme de Terre-Neuve (PT) et régions situées entre les longitudes 40–45° O, 35–40° O, 30–35° O, 25–30° O.

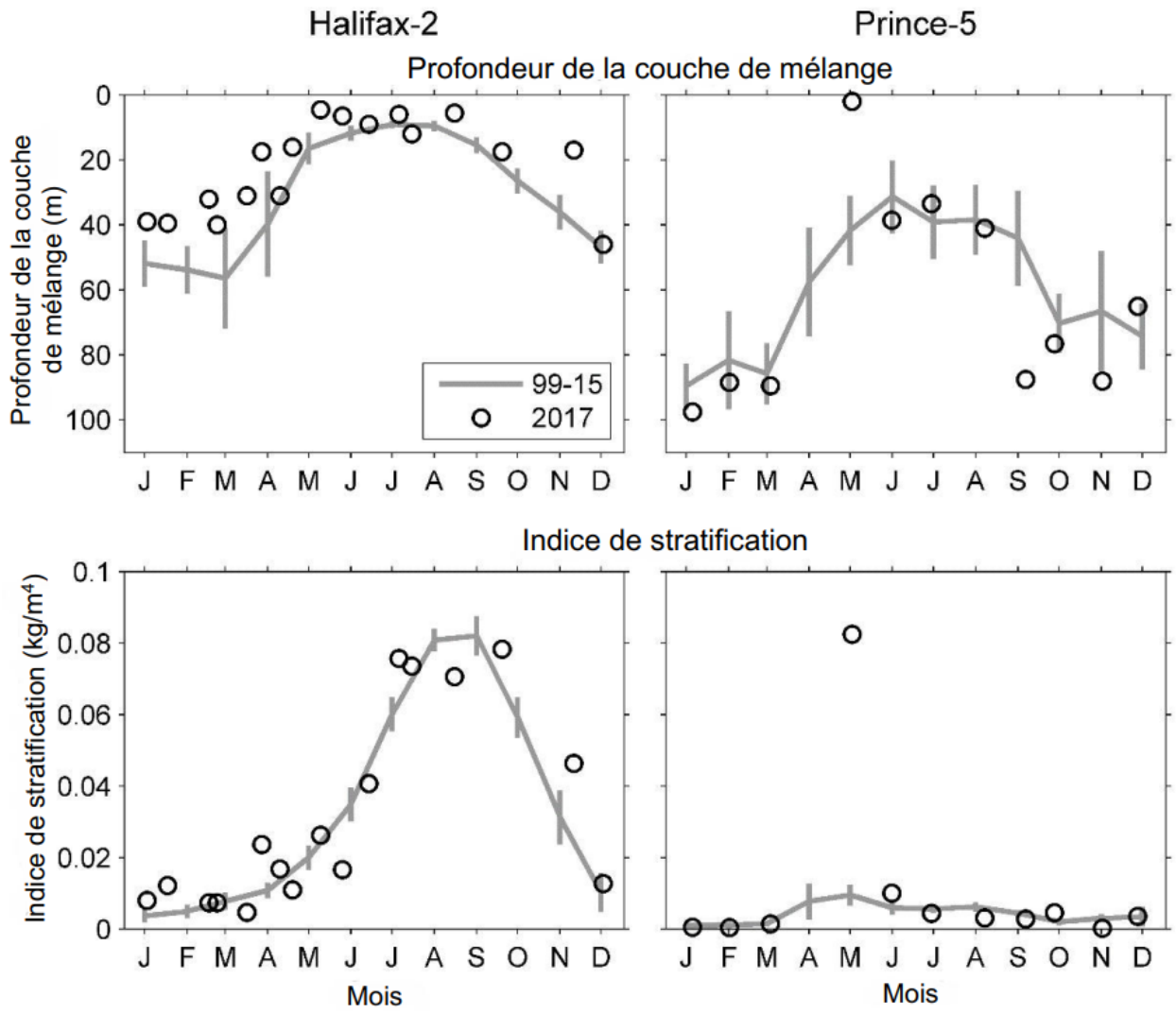

Figure 6. Propriétés du mélange (profondeur de la couche de mélange, indice de stratification) aux stations d'échantillonnage à haute fréquence des Maritimes comparant les données recueillies en 2017 (cercles ouverts) avec les conditions moyennes enregistrées entre 1999 et 2015 (ligne pleine). Les lignes verticales illustrent les intervalles de confiance à 95 % des moyennes mensuelles.

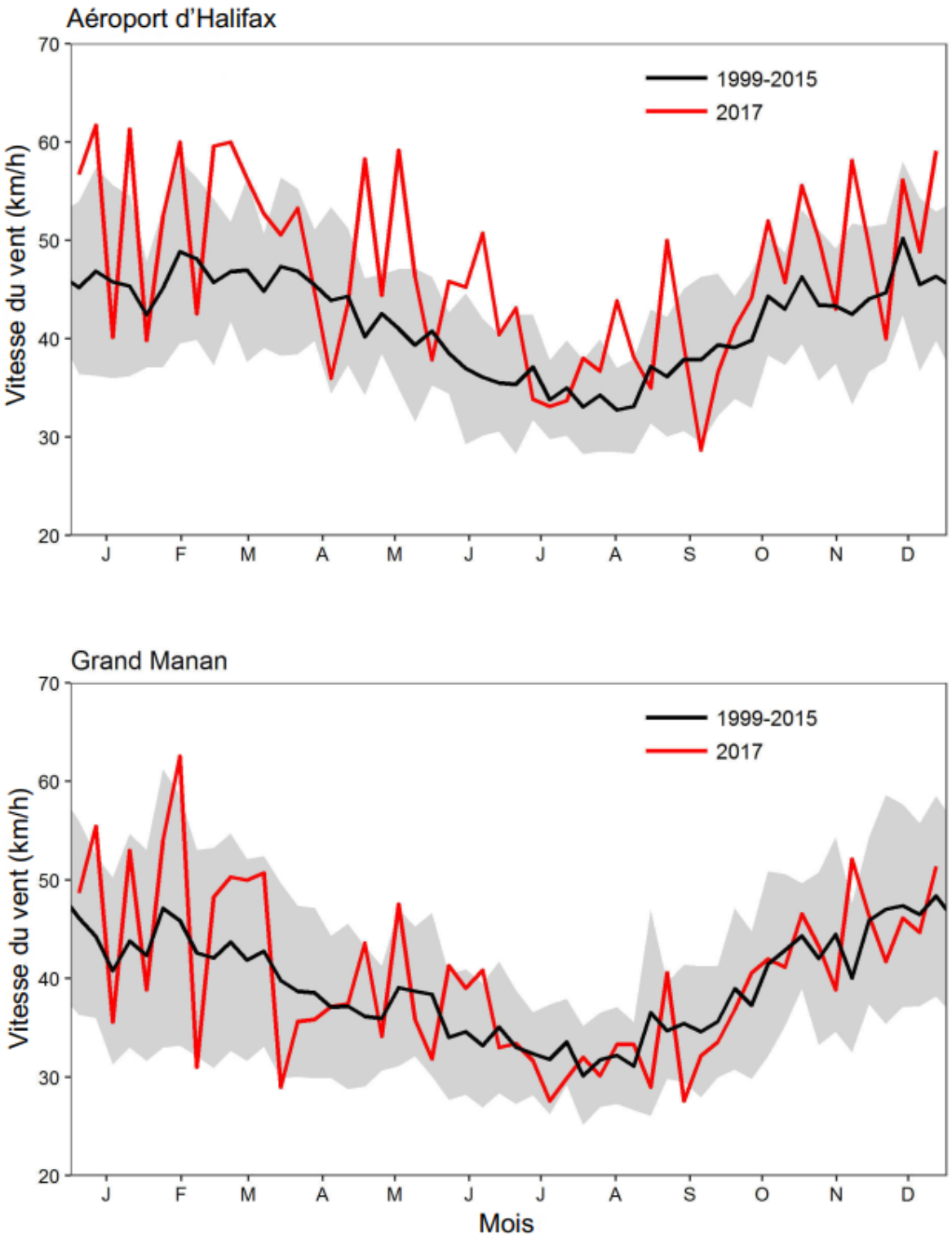

Figure 7. Rafales de vent quotidiennes moyennes maximales à l'île de Grand Manan (représentatives des conditions du vent enregistrées à la station de Prince-5) et à l'aéroport international d'Halifax (représentatif des conditions du vent à la station d'Halifax-2) pour l'année 2017 (ligne rouge) et données climatologiques enregistrées entre 1999 et 2015 (ligne noire). La zone ombrée grise représente l'écart-type des données climatologiques calculées sur 17 ans.

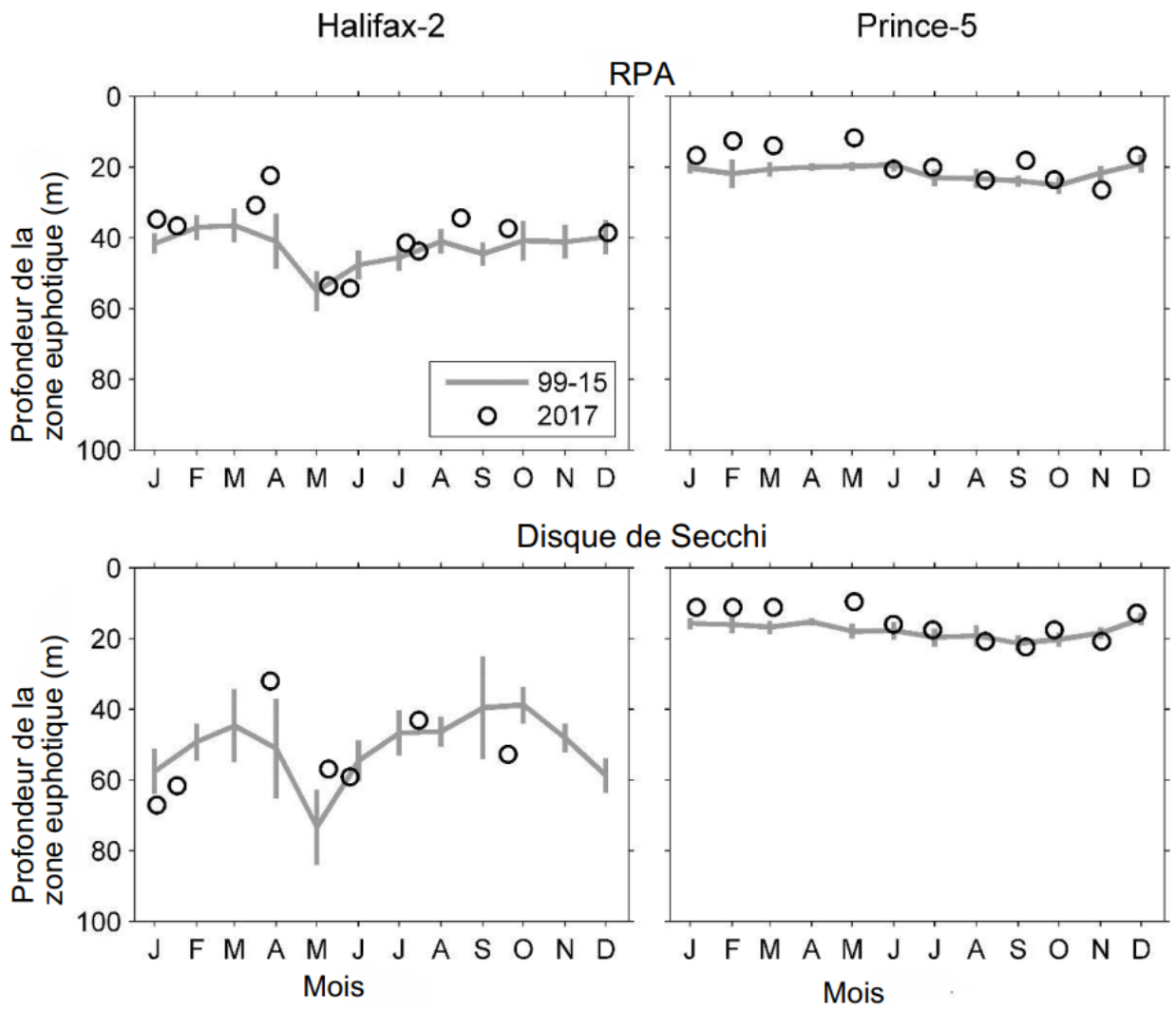

Figure 8. Propriétés optiques (profondeur de la zone euphotique mesurée grâce au dispositif de mesure de l'éclairement énergétique, au RPA et au disque de Secchi) aux stations d'échantillonnage à haute fréquence de la région des Maritimes. Les données recueillies en 2017 (cercles) sont comparées avec les conditions moyennes enregistrées entre 1999 et 2015 (ligne pleine), sauf pour la profondeur de la zone euphotique calculée grâce au RPA à la station de Prince-5 entre 2001 et 2015. Les lignes verticales illustrent les intervalles de confiance à 95 % des moyennes mensuelles.

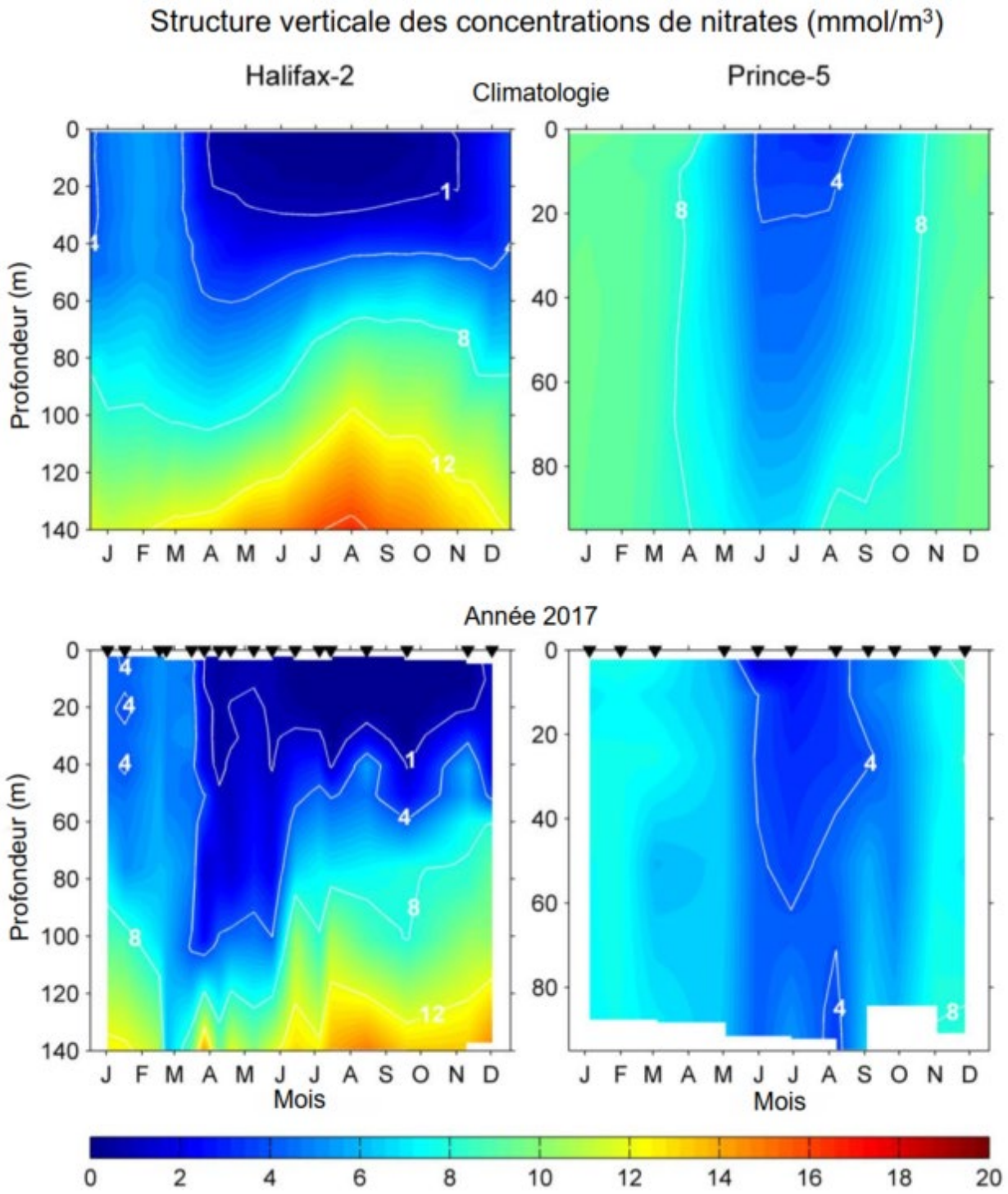

Figure 9. Comparaison des changements annuels dans la structure verticale des concentrations de nitrates (mmol/m³) en 2017 (panneaux du bas) avec les conditions climatologiques moyennes enregistrées entre 1999 et 2015 (panneaux du haut) aux stations d'échantillonnage à haute fréquence de la région des Maritimes. Les triangles noirs dans les panneaux du bas indiquent les dates d'échantillonnage.

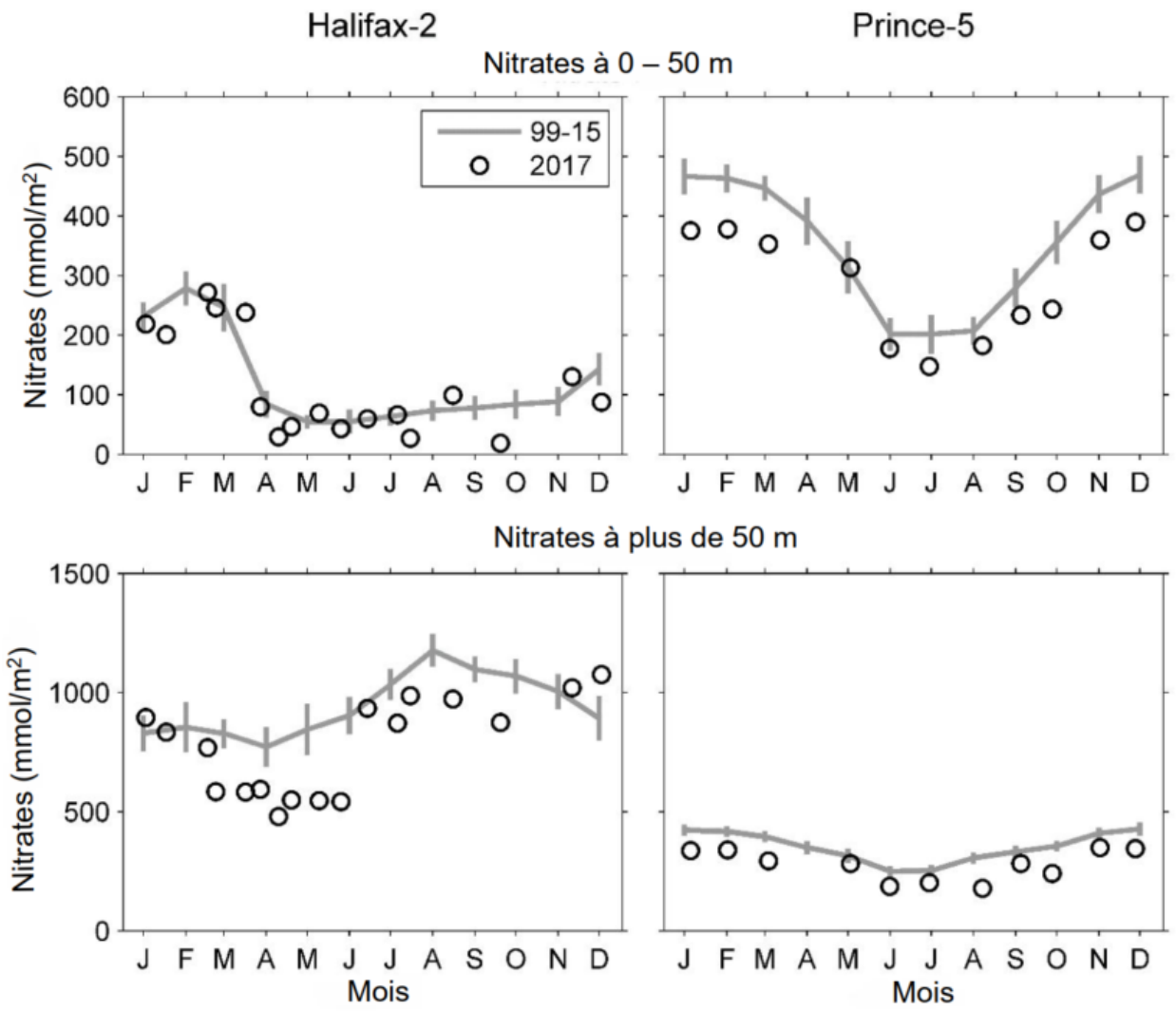

Figure 10. Comparaison des données recueillies en 2017 (cercle ouvert) avec les conditions moyennes enregistrées entre 1999 et 2015 (ligne pleine) aux stations d'échantillonnage à haute fréquence de la région des Maritimes. Panneaux du haut : inventaire des nitrates à la surface (0 à 50 m). Panneaux du bas : inventaire des nitrates en profondeur (50 à 150 m pour la station d'Halifax-2 et 50 à 95 m pour la station de Prince-5). Les lignes verticales illustrent les intervalles de confiance à 95 % des moyennes mensuelles.

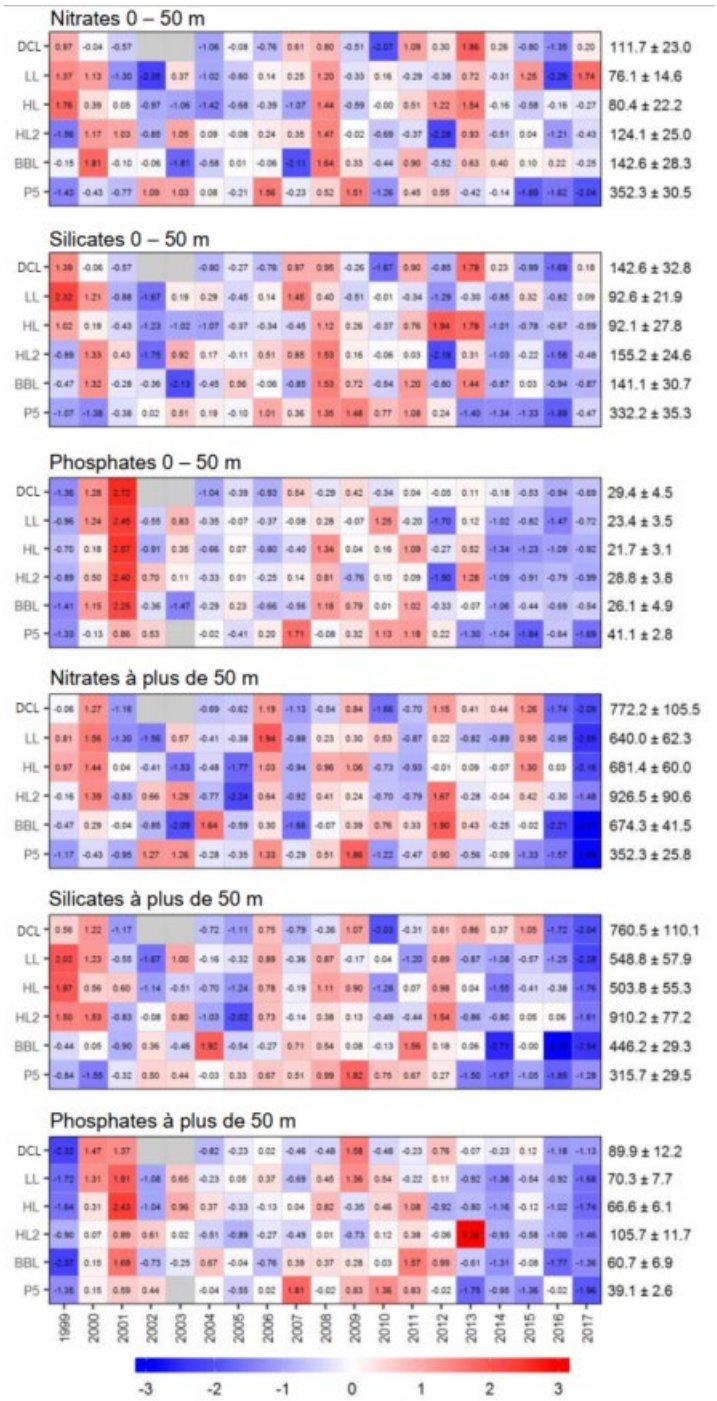

Figure 11. Tableau synoptique de l'anomalie annuelle pour les inventaires des nitrates, des silicates et des phosphates à la surface (0 à 50 m) et en profondeur (> 50 m). Les valeurs figurant dans chaque cellule sont les anomalies par rapport à la moyenne pour la période de référence (1999–2015), en unités d'écart-type (les moyennes et les écarts-types sont présentés à droite). Une cellule grise indique des données manquantes. Les cellules rouges (bleues) indiquent des niveaux d'éléments nutritifs supérieurs (inférieurs) à la normale. DCL : section transversale du détroit de Cabot; LL : section transversale de Louisbourg; HL : section transversale d'Halifax; HL2 : Halifax-2, BBL : section transversale du banc de Browns, P5 : Prince-5.

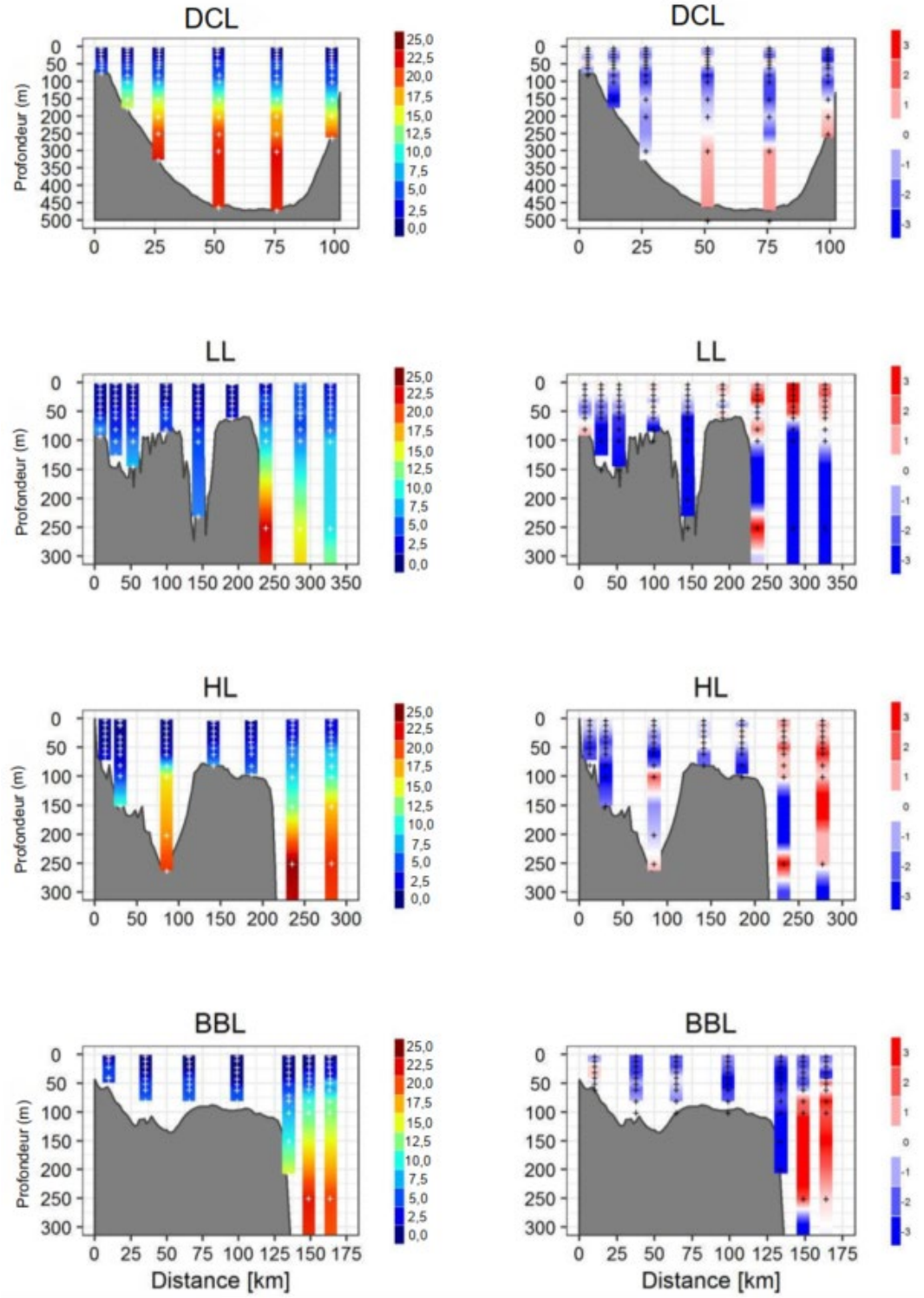

Figure 12a. Profils verticaux des concentrations en nitrates (mmol/m³) (panneaux de gauche) et leurs anomalies (mmol/m³) par rapport aux conditions de référence (1999–2015) (panneaux de droite) dans les section transversales du plateau néo-écossais au printemps 2017. Les marques blanches figurant sur les panneaux de gauche indiquent les profondeurs réelles de l'échantillonnage pour 2017. Les marques noires figurant sur les panneaux de droite indiquent les profondeurs pour lesquelles les valeurs climatologiques propres à chaque station ont été calculées.

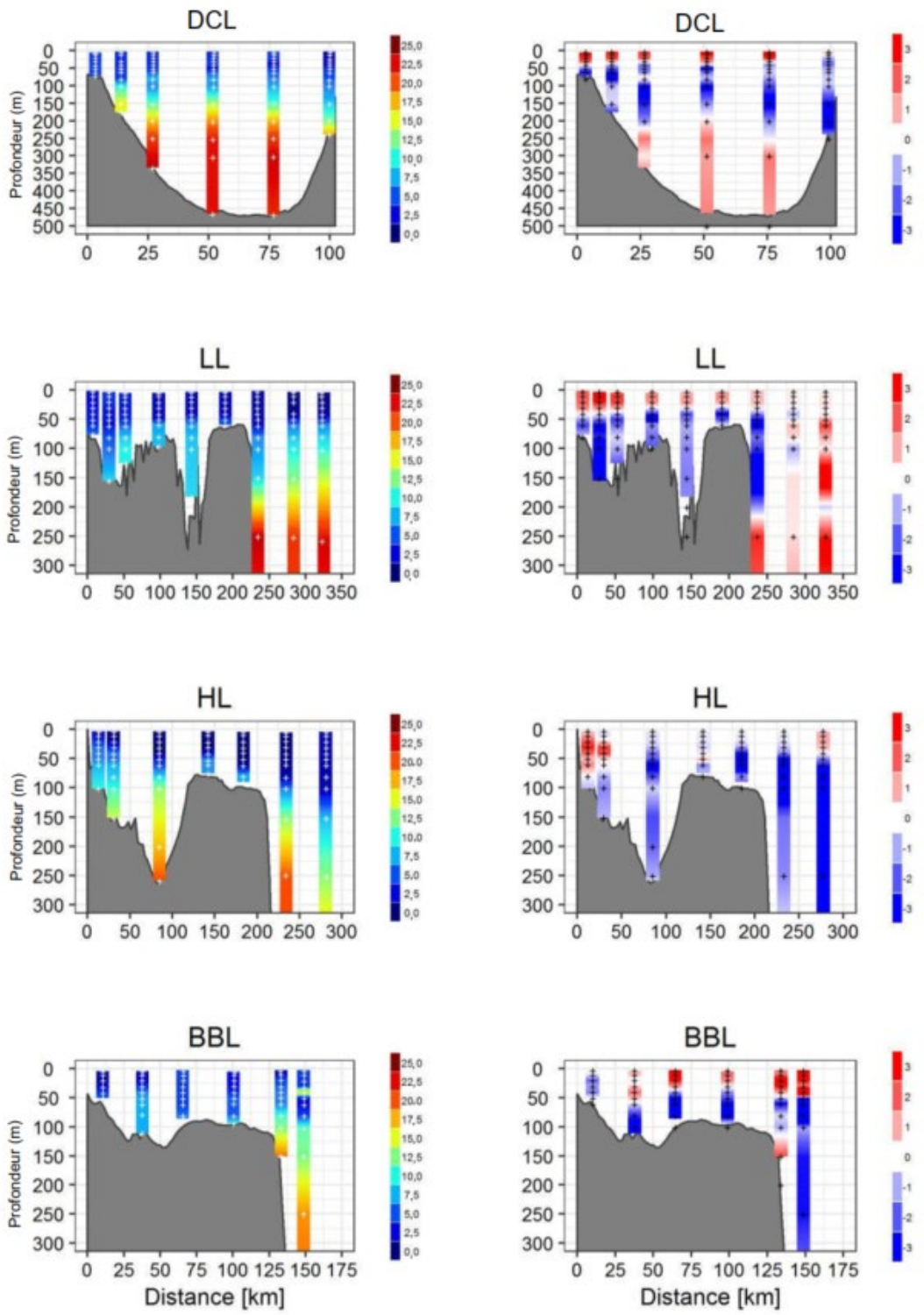

Figure 12b. Profils verticaux des concentrations en nitrates (mmol/m³) (panneaux de gauche) et leurs anomalies (mmol/m³) par rapport aux conditions de référence (1999–2015) (panneaux de droite) dans les section transversales du plateau néo-écossais à l'automne 2017. Les marques blanches figurant sur les panneaux de gauche indiquent les profondeurs réelles de l'échantillonnage pour 2017. Les marques noires figurant sur les panneaux de droite indiquent les profondeurs pour lesquelles les valeurs climatologiques propres à chaque station ont été calculées.

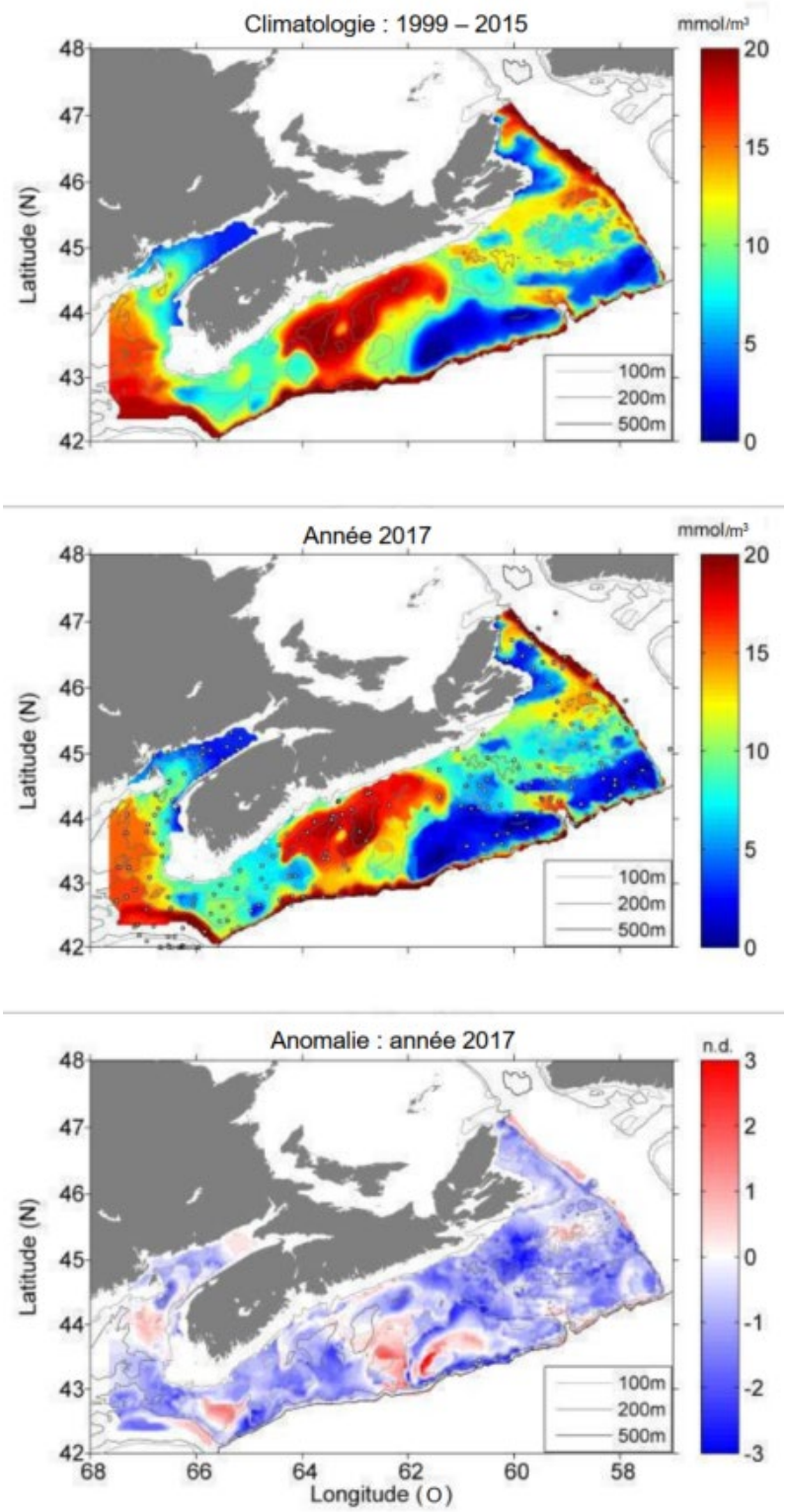

Figure 13. Concentrations en nitrates au fond sur le plateau néo-écossais durant le relevé au chalut de l'écosystème annuel (juillet) : données climatologiques entre 1999 et 2015 (panneau du haut), conditions enregistrées en 2017 (panneau du milieu) et anomalies normalisées en fonction des données climatologiques (panneau du bas). Les marques figurant dans le panneau du milieu représentent les emplacements d'échantillonnage en 2017; p.d. = pas de dimensions.

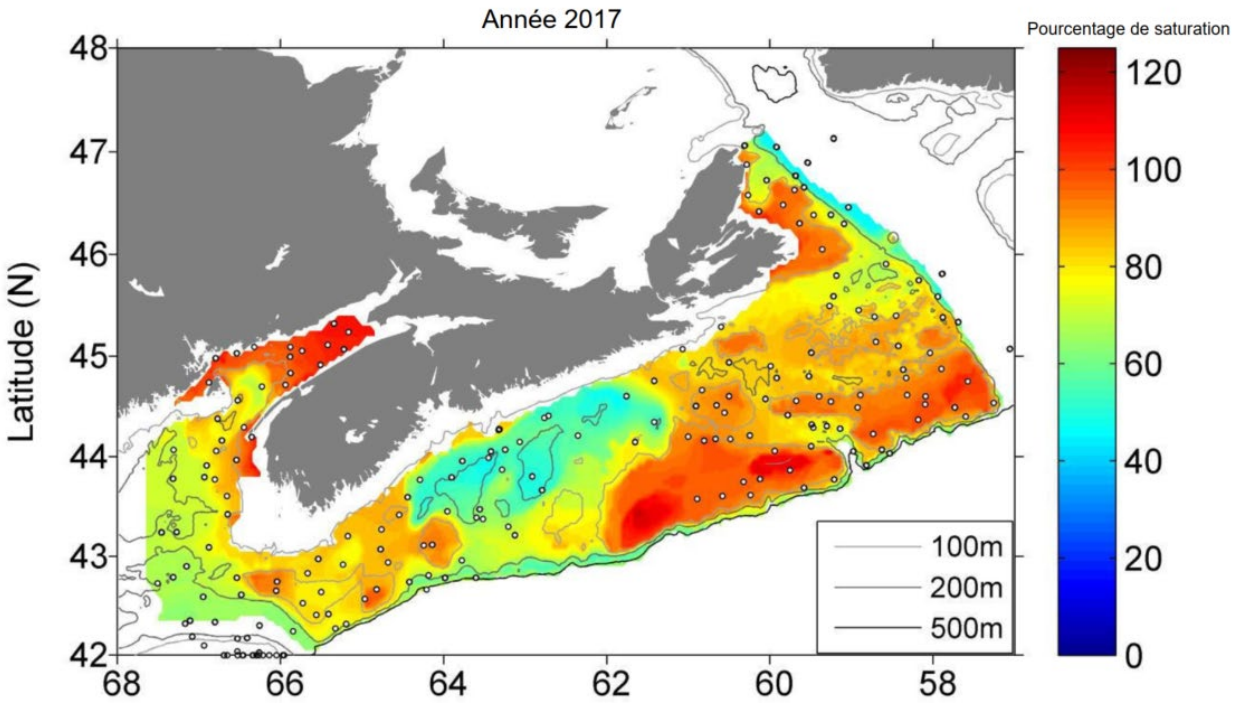

Figure 14. Niveau de saturation en oxygène au fond sur le plateau néo-écossais durant le relevé au chalut de l'écosystème effectué à l'été 2017. Les marques représentent les emplacements d'échantillonnage en 2017.

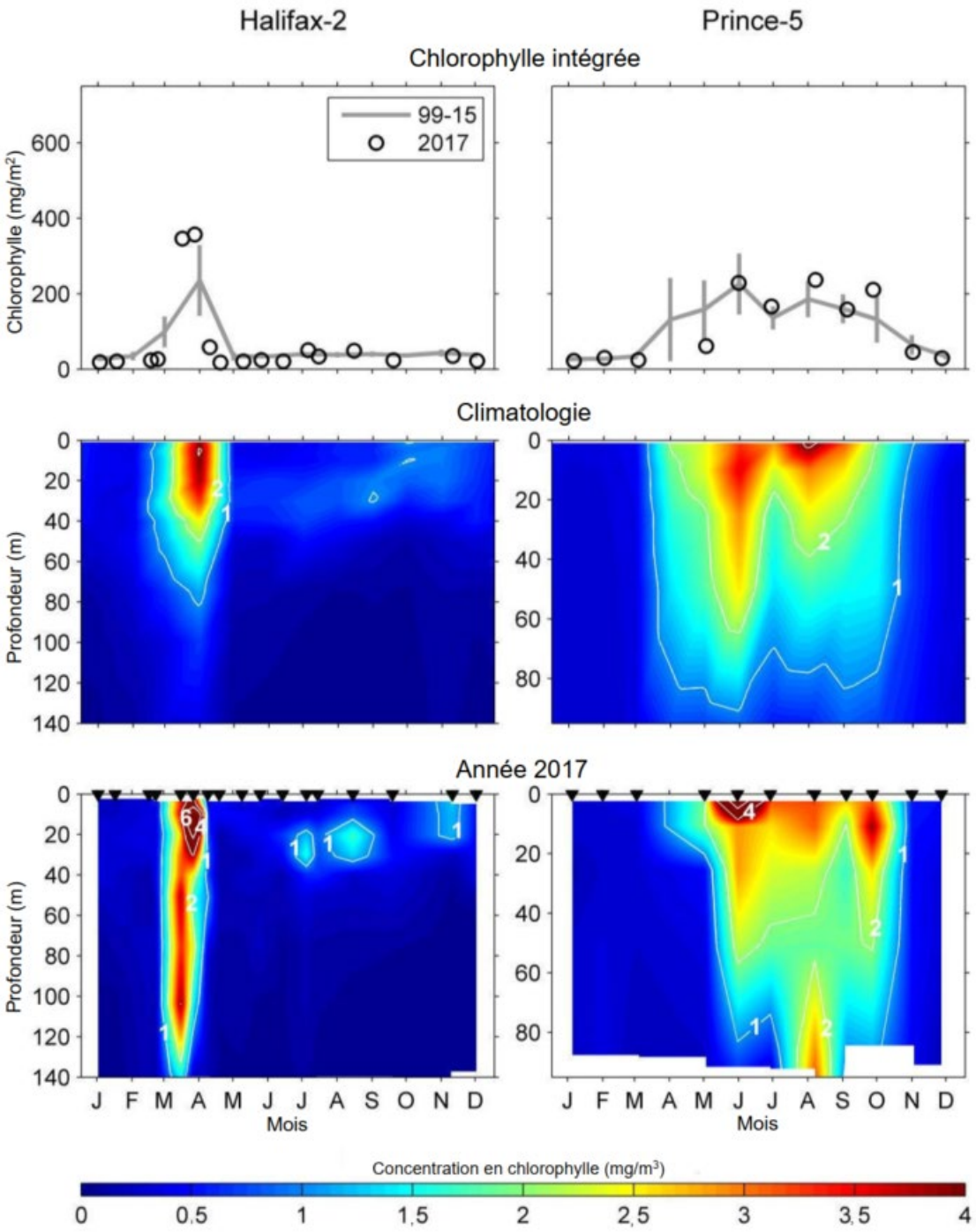

Figure 15. Variabilité annuelle des concentrations de chlorophylle aux stations des Maritimes utilisées pour les séries chronologiques (colonne de gauche : Halifax-2, colonne de droite : Prince-5). Ligne du haut : inventaires de la chlorophylle (0 à 100 m à la station d'Halifax-2, 0 à 95 m à la station de Prince-5) en 2017 (cercles ouverts) et valeurs moyennes enregistrées entre 1999 et 2015 (ligne pleine). Les lignes verticales illustrent les intervalles de confiance à 95 % des moyennes mensuelles. Ligne du milieu : cycle saisonnier moyen (1999–2015) de la structure verticale des concentrations en chlorophylle (mg/m³). Ligne du bas : cycle saisonnier de la structure verticale des concentrations en chlorophylle en 2017. L'échelle de couleur a été choisie pour que l'on puisse mettre l'accent sur les changements qui se produisent près des niveaux estimés de saturation de la nourriture pour les grands copépodes. Les triangles noirs dans les panneaux du bas indiquent les dates d'échantillonnage.

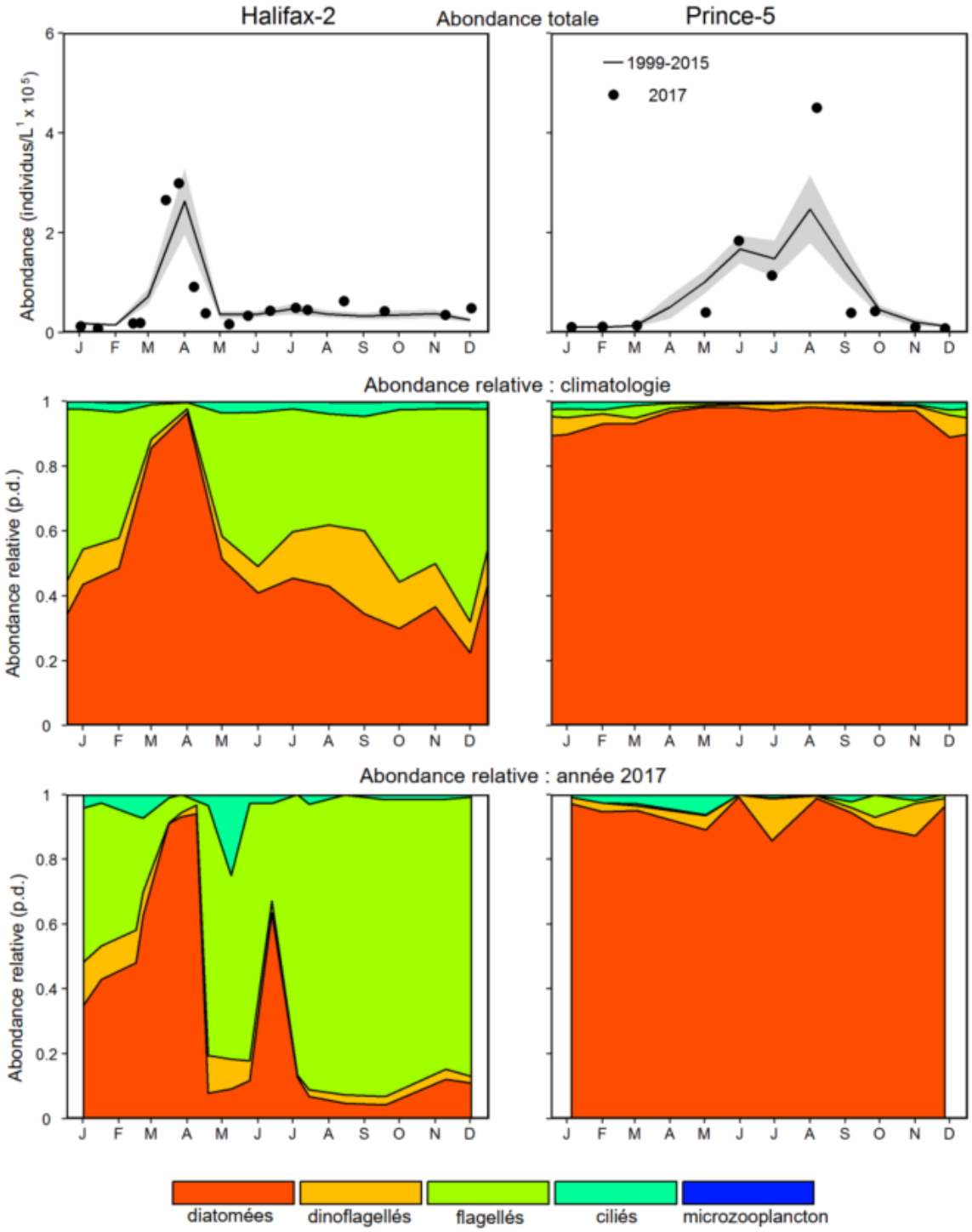

Figure 16. Comparaison de l'abondance et de la composition des communautés de microplancton (phytoplancton et protistes) en 2017 avec les conditions moyennes enregistrées entre 1999 et 2015 aux stations d'échantillonnage à haute fréquence de la région des Maritimes (Halifax-2 : panneaux de droite; Prince-5 : panneaux de gauche). Panneaux du haut : abondance du microplancton en 2017 (cercle ouvert) et conditions moyennes enregistrées entre 1999 et 2015 (ligne pleine). Le ruban gris illustre les intervalles de confiance à 95 % des moyennes mensuelles. Panneaux du milieu : abondance relative climatologique du microplancton enregistrée entre 1999 et 2015. Panneaux du bas : abondance relative du microplancton en 2017; p.d. = pas de dimensions.

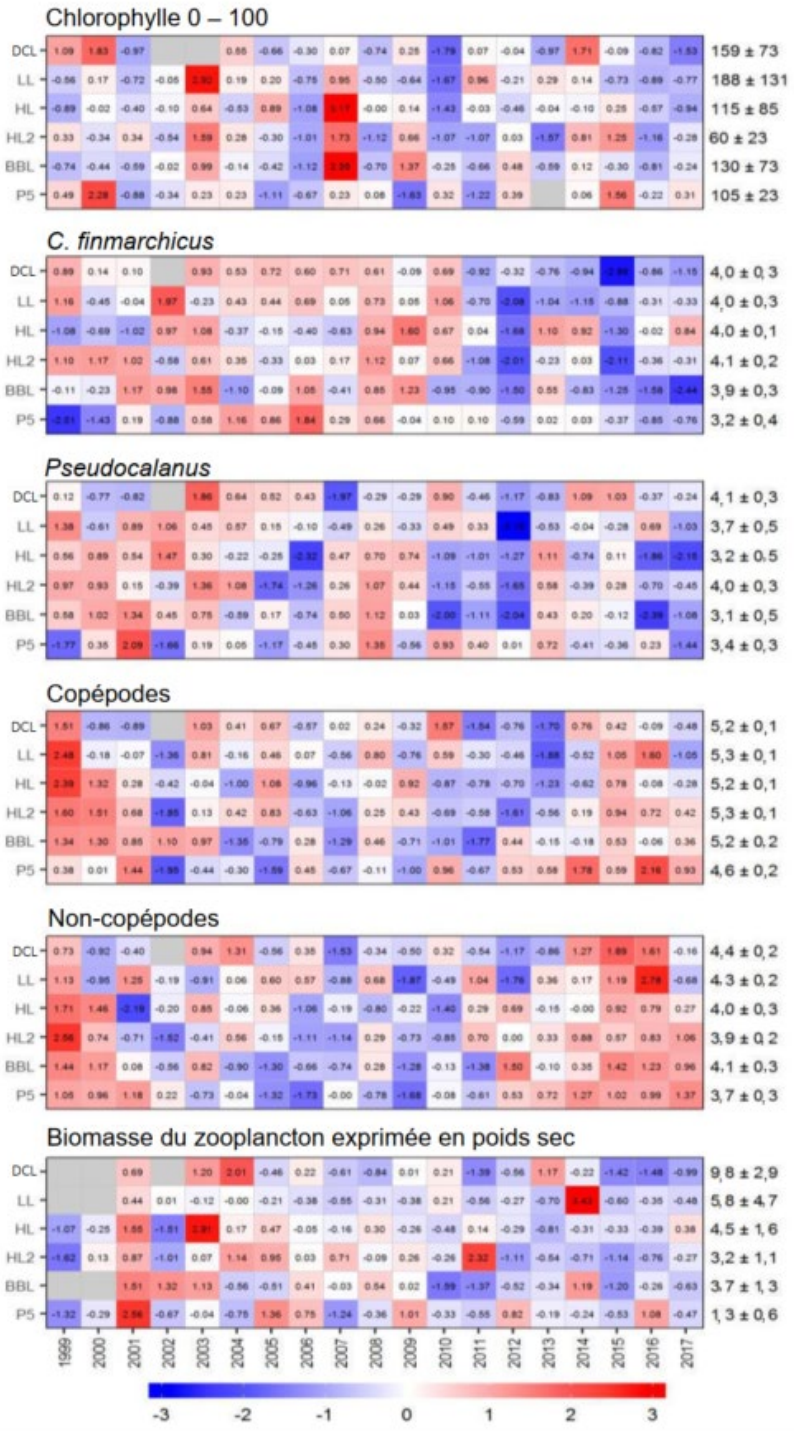

Figure 17. Tableau synoptique de l'anomalie annuelle de l'abondance et de la biomasse du phytoplancton (chlorophylle) et du zooplancton. Les valeurs figurant dans chaque cellule sont les anomalies par rapport à la moyenne pour la période de référence (1999–2015), en unités d'écart-type (les moyennes et les écarts-types sont présentés à droite). Une cellule grise indique des données manquantes. Les cellules rouges (bleues) indiquent des niveaux de la variable supérieurs (inférieurs) à la normale. DCL : section transversale du détroit de Cabot; LL : section transversale de Louisbourg; HL : section transversale d'Halifax; HL2 : Halifax-2, BBL : section transversale du banc de Browns, P5 : Prince-5.

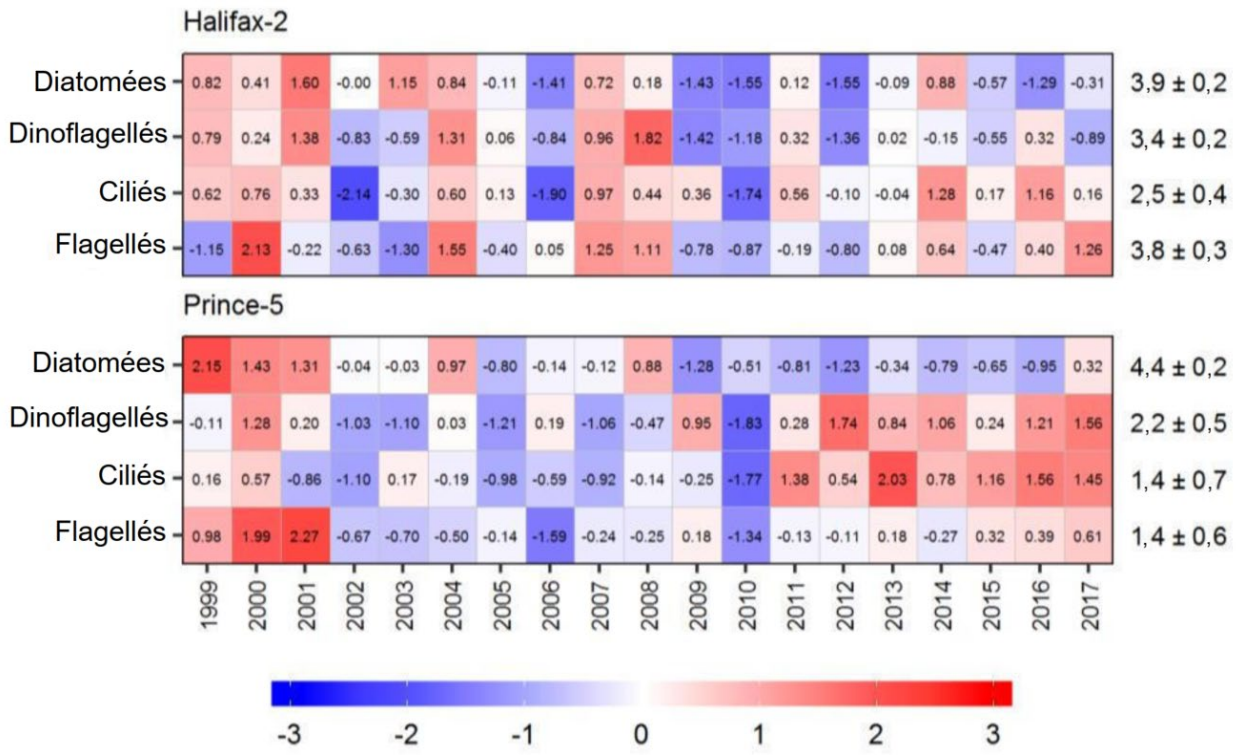

Figure 18. Tableau synoptique de l'anomalie annuelle de l'abondance du microplancton aux stations d'échantillonnage à haute fréquence de la région des Maritimes. Les valeurs figurant dans chaque cellule sont les anomalies par rapport à la moyenne pour la période de référence (1999–2015), en unités d'écart-type (les moyennes et les écarts-types sont présentés à droite). Les cellules rouges (bleues) indiquent des niveaux d'abondance du microplancton supérieurs (inférieurs) à la normale.

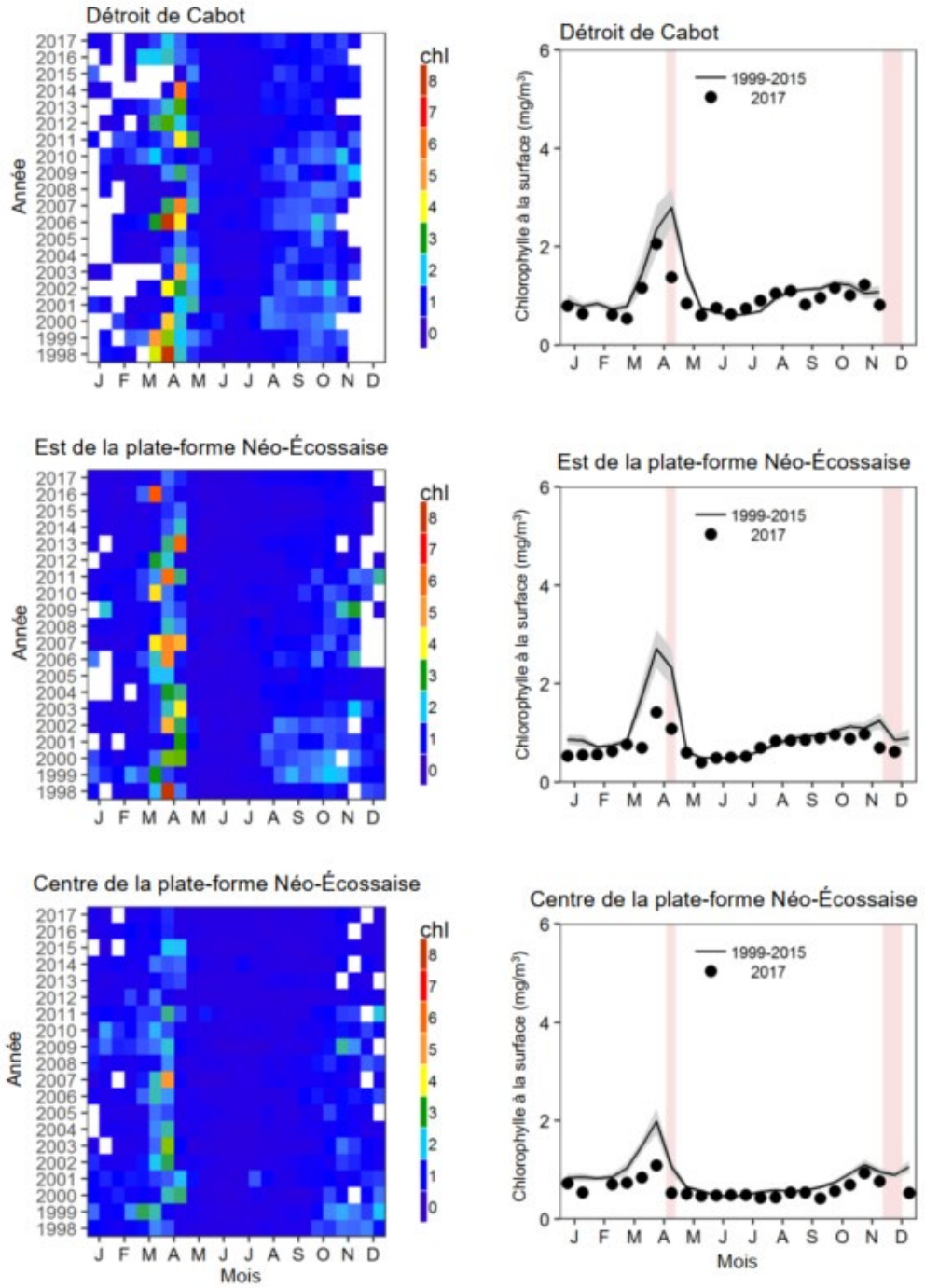

Figure 19a. Estimations des concentrations de chlorophylle à la surface grâce aux données bimensuelles sur la couleur de l'océan recueillies par télédétection dans les sous-régions statistiques du détroit de Cabot (en haut), de l'est du plateau néo-écossais (au milieu) et du centre du plateau néo-écossais (en bas) (voir la figure 4). Les données sont recueillies à l'aide des technologies SeaWiFS (1998–2007); MODIS (2008–2011); VIIRS (2012–2017). Panneaux de gauche : série chronologique de la variation annuelle des concentrations de chlorophylle. Panneaux de droite : comparaison des estimations de la chlorophylle à la surface en 2017 (cercle ouvert) avec les conditions moyennes enregistrées entre 1999 et 2015 (ligne pleine) dans les mêmes sous-régions. Le ruban gris illustre les intervalles de confiance à 95 % des moyennes bimensuelles. Les bandes verticales roses indiquent le moment des missions saisonnières.

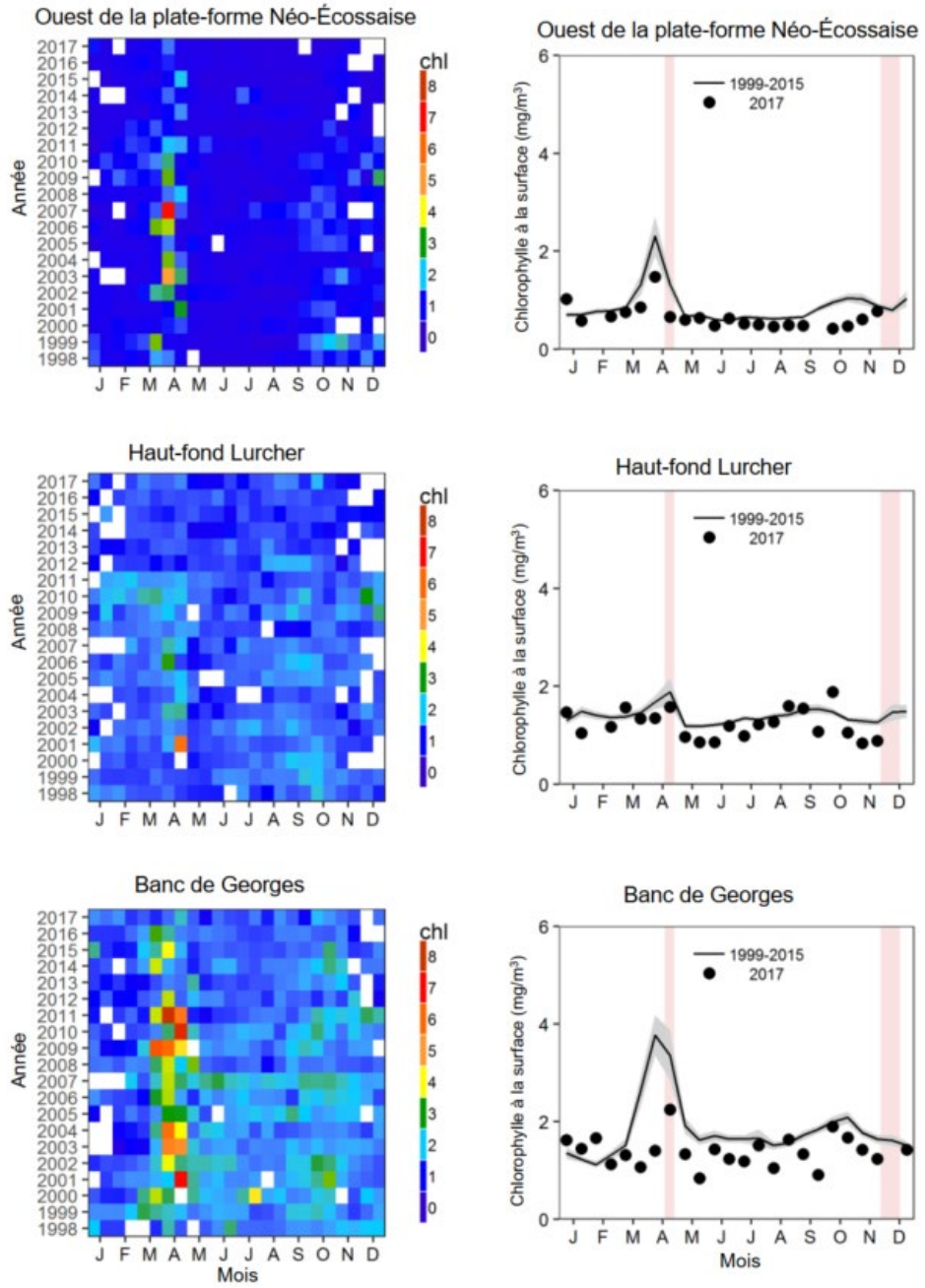

Figure 19b. Estimations des concentrations de chlorophylle à la surface grâce aux données bimensuelles sur la couleur de l'océan recueillies par télédétection dans les sous-régions statistiques de l'ouest du plateau néo-écossais (en haut), du Lurcher Shoal (LS) [haut-fond Lurcher] (au milieu) et du banc de Georges (en bas) (voir la figure 4). Les données sont recueillies à l'aide des technologies SeaWiFS (1998–2007); MODIS (2008–2011); VIIRS (2012–2017). Panneaux de gauche : série chronologique de la variation annuelle des concentrations de chlorophylle. Panneaux de droite : comparaison des estimations de la chlorophylle à la surface en 2017 (cercle ouvert) avec les conditions moyennes enregistrées entre 1999 et 2015 (ligne pleine) dans les mêmes sous-régions. Le ruban gris illustre les intervalles de confiance à 95 % des moyennes bimensuelles. Les bandes verticales roses indiquent le moment des missions saisonnières.

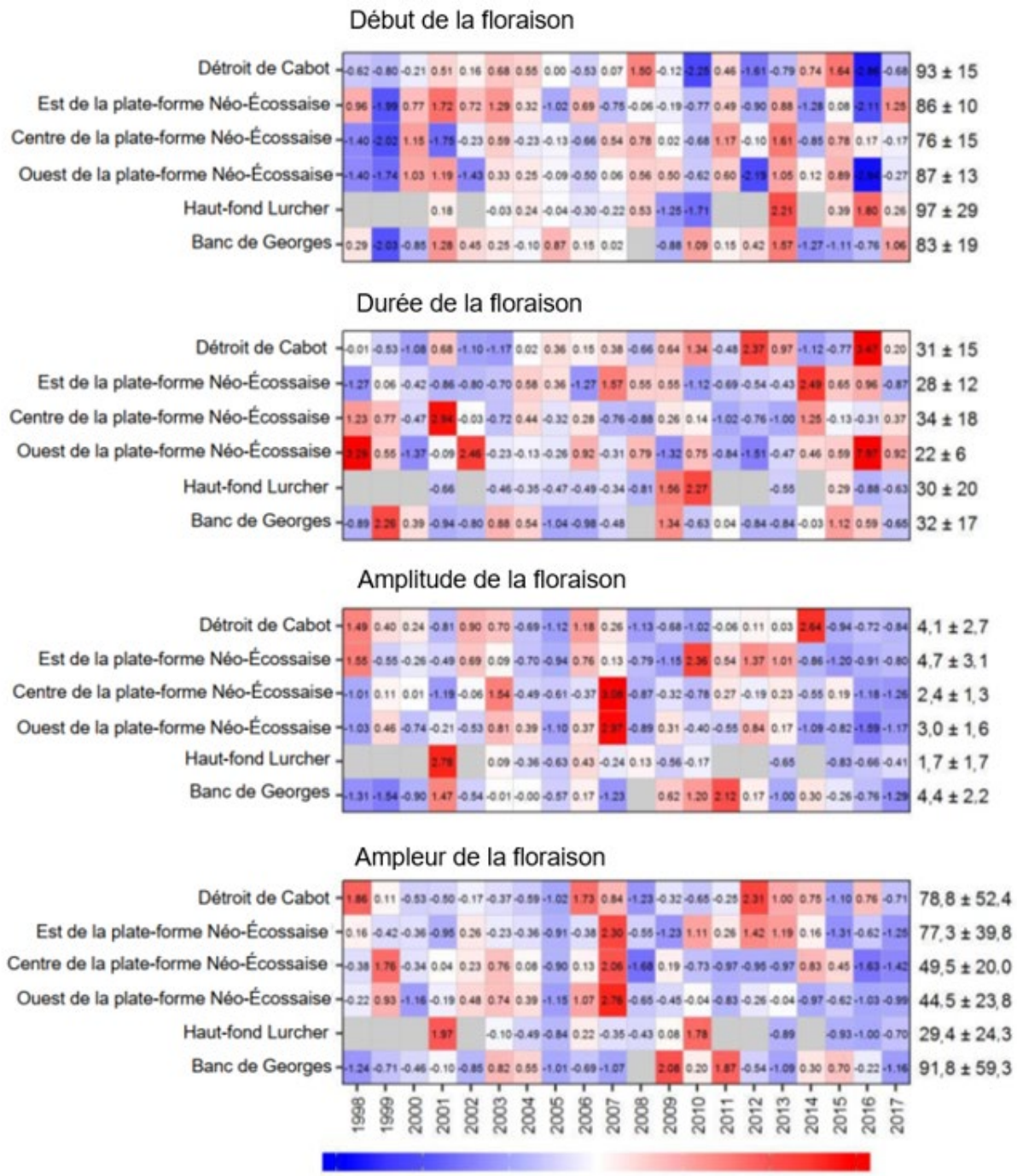

Figure 20. Tableau synoptique de l'anomalie annuelle pour les paramètres de la floraison printanière. Les valeurs figurant dans chaque cellule sont les anomalies par rapport à la moyenne pour la période de référence (1999–2015), en unités d'écart-type (les moyennes et les écarts-types sont présentés à droite). Une cellule grise indique des données manquantes. Les cellules rouges (bleues) indiquent un début plus tardif (plus précoce), une durée plus longue (plus courte) ou une amplitude ou une ampleur supérieure (inférieure) à la normale.

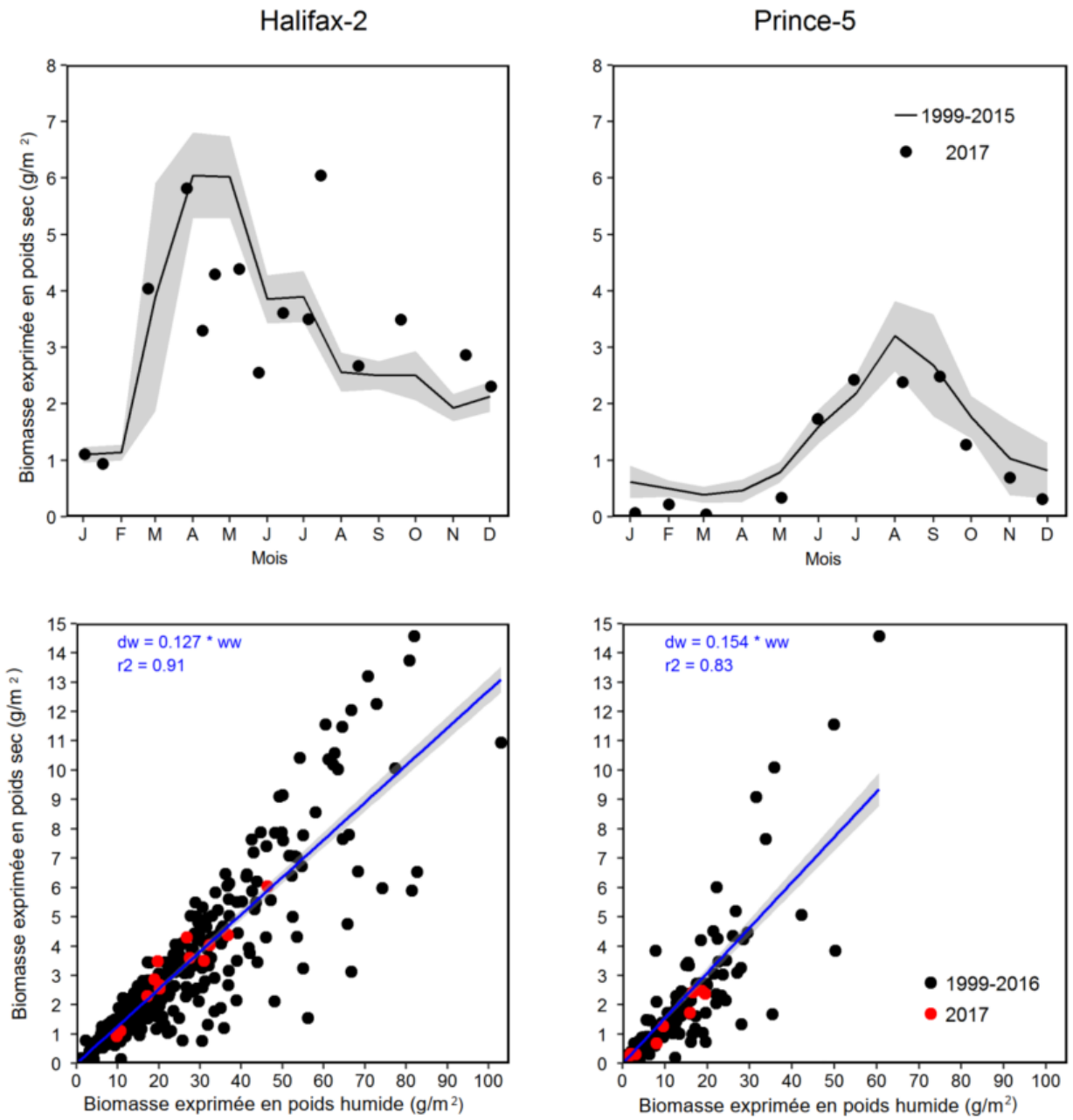

Figure 21. Biomasse du zooplancton (intégrée de la surface vers le fond) en 2017 (cercle ouvert) et conditions moyennes enregistrées entre 1999 et 2015 (ligne pleine) aux stations d'échantillonnage à haute fréquence de la région des Maritimes (panneaux du bas). Le ruban gris illustre des intervalles de confiance à 95 % des moyennes mensuelles. Corrélation entre la biomasse totale du zooplancton exprimée en poids humide et la biomasse du mésozooplancton exprimée en poids sec du mésozooplancton pour les stations d'échantillonnage à haute fréquence des Maritimes (panneaux du bas). Les points noirs représentent tous les échantillons prélevés entre 1999 et 2016 et les points rouges représentent les échantillons de 2017 pour les stations respectives. La ligne bleue représente le rajustement du modèle linéaire des valeurs de biomasse exprimées en poids humide et sec. Panneaux de gauche : Halifax-2; panneaux de droite : Prince-5.

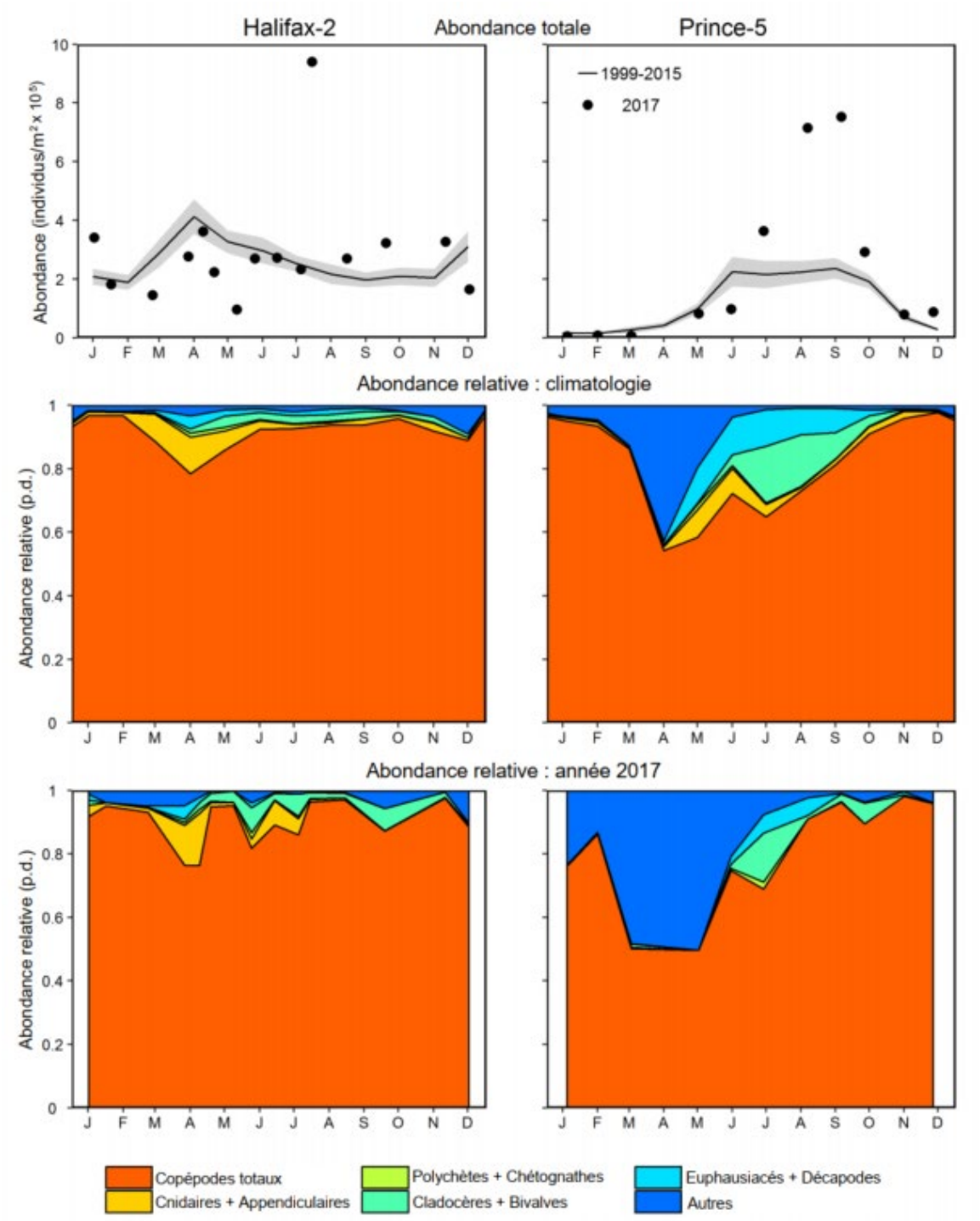

Figure 22. Abondance et composition de la communauté de zooplancton (> 200 µm) en 2017 et conditions moyennes enregistrées entre 1999 et 2015 aux stations d'échantillonnage à haute fréquence de la région des Maritimes (panneaux de gauche : Halifax-2; panneaux de droite : Prince-5). Panneaux du haut : abondance du zooplancton en 2017 (cercle plein) et conditions moyennes enregistrées entre 1999 et 2015 (ligne pleine). Le ruban gris illustre l'intervalle de confiance à 95 % des moyennes mensuelles. Panneaux du milieu : climatologie des abondances relatives de chacun des grands groupes entre 1999 et 2015. Panneaux du bas : abondances des grands groupes en 2017; p.d. = pas de dimensions.

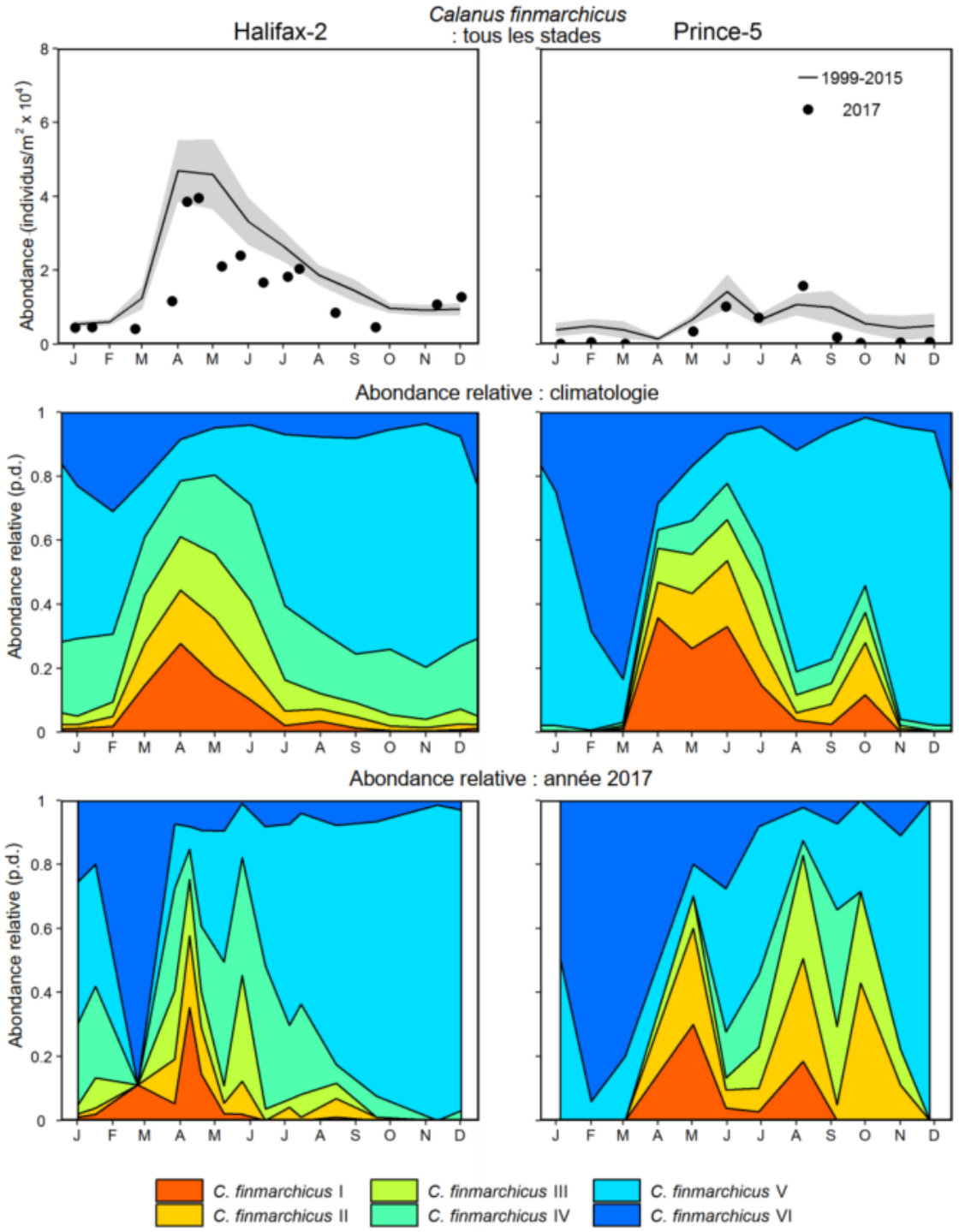

Figure 23. Abondance et répartition des stades de développement de Calanus finmarchicus en 2017 et conditions moyennes enregistrées entre 1999 et 2015 aux stations d'échantillonnage à haute fréquence de la région des Maritimes (panneaux de gauche : Halifax-2; panneaux de droite : Prince-5). Panneaux du haut : abondance de C. finmarchicus en 2017 (cercle plein) et conditions moyennes enregistrées entre 1999 et 2015 (ligne pleine). Le ruban gris illustre l'intervalle de confiance à 95 % des moyennes mensuelles. Panneaux du milieu : abondances relatives des stades de C. finmarchicus climatologiques entre 1999 et 2015. Panneaux du bas : abondance relative des stades de C. finmarchicus en 2017; p.d. = pas de dimensions.

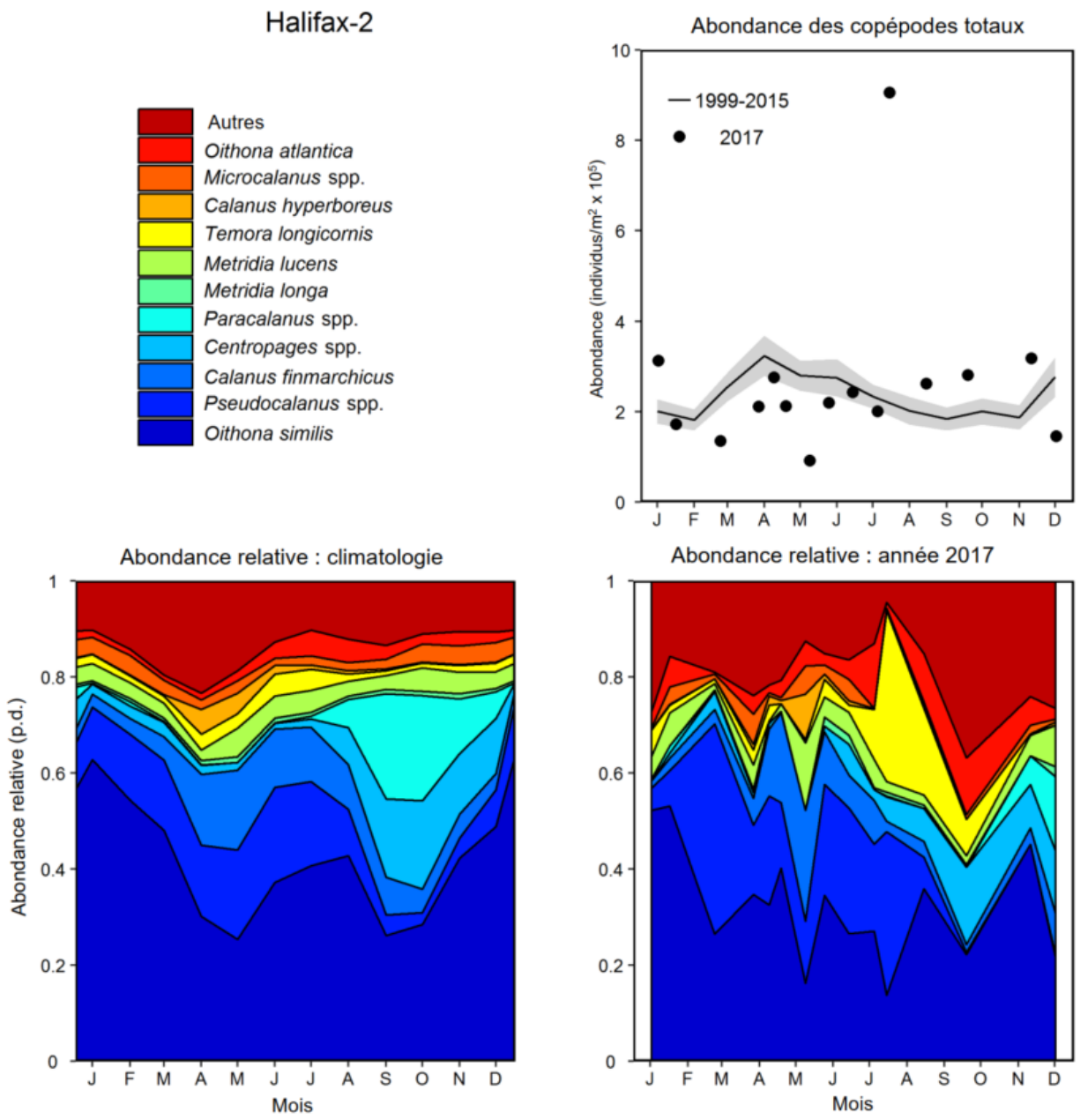

Figure 24a. Variabilité saisonnière des copépodes dominants à la station d'Halifax-2. Les taxons de copépodes identifiés occupant la tranche supérieure de 95 % par abondance, entre 1999 et 2015, sont montrés de façon individuelle; les autres, comprenant les copépodes non identifiés (principalement des larves nauplius), font partie du groupe « autres ». Panneaux du haut à droite : abondance des copépodes en 2017 (cercle plein) et conditions moyennes enregistrées entre 1999 et 2015 (ligne pleine). Le ruban gris illustre l'intervalle de confiance des moyennes mensuelles. Panneaux du bas à gauche : climatologie des abondances relatives des copépodes entre 1999 et 2015. Panneaux du bas à droite : abondance relative des copépodes en 2017; p.d. = pas de dimensions.

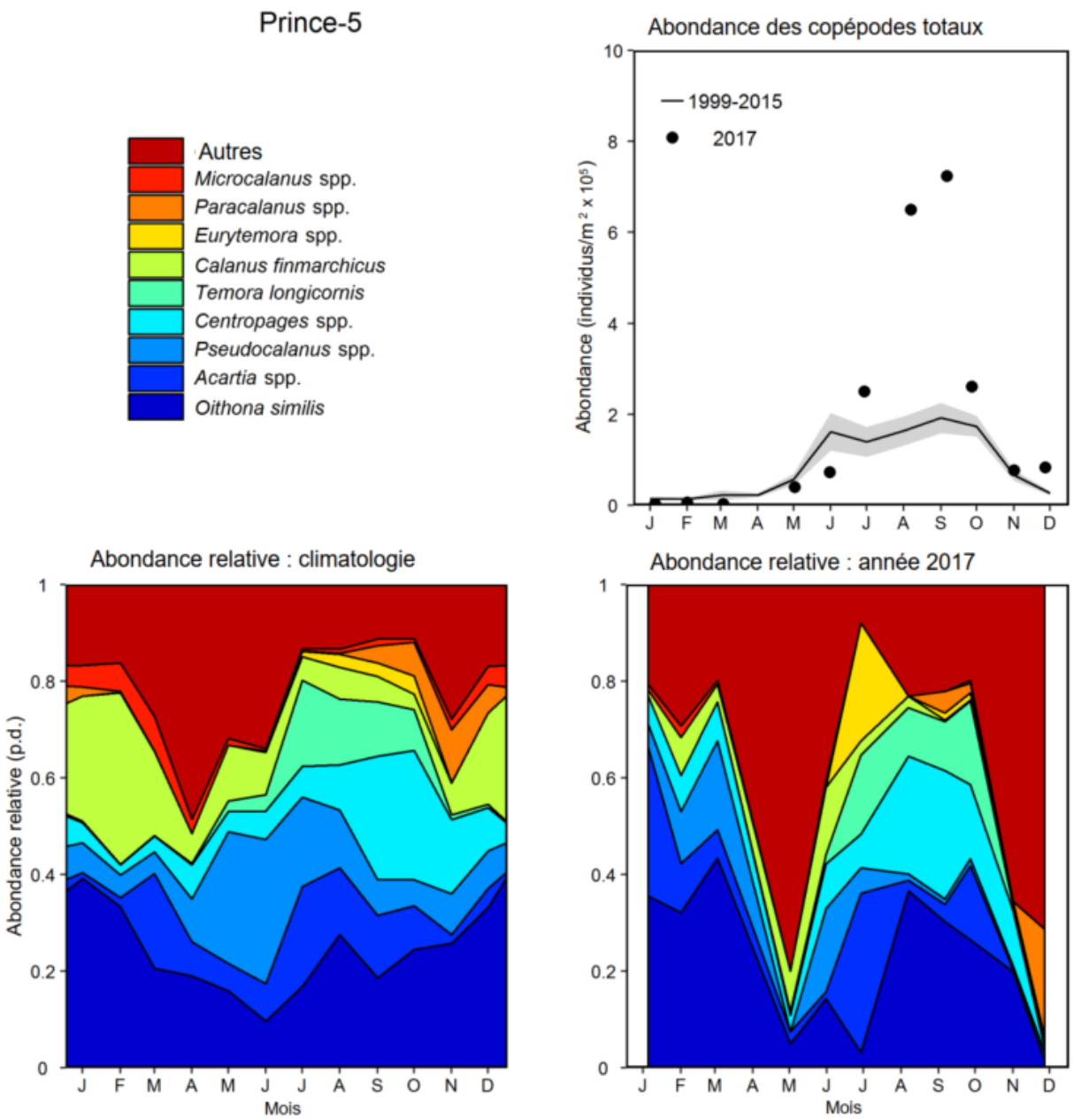

Figure 24b. Variabilité saisonnière des copépodes dominants à la station de Prince-5. Les taxons de copépodes identifiés occupant la tranche supérieure de 95 % par abondance, entre 1999 et 2015, sont montrés de façon individuelle; les autres, comprenant les copépodes non identifiés (principalement des larves nauplius), font partie du groupe « autres ». Panneaux du haut à droite : abondance des copépodes en 2017 (cercle plein) et conditions moyennes enregistrées entre 1999 et 2015 (ligne pleine). Le ruban gris illustre l'intervalle de confiance à 95 % des moyennes mensuelles. Panneaux du bas à gauche : climatologie des abondances relatives des copépodes entre 1999 et 2015. Panneaux du bas à droite : abondances relatives des copépodes en 2017; p.d. = pas de dimensions.

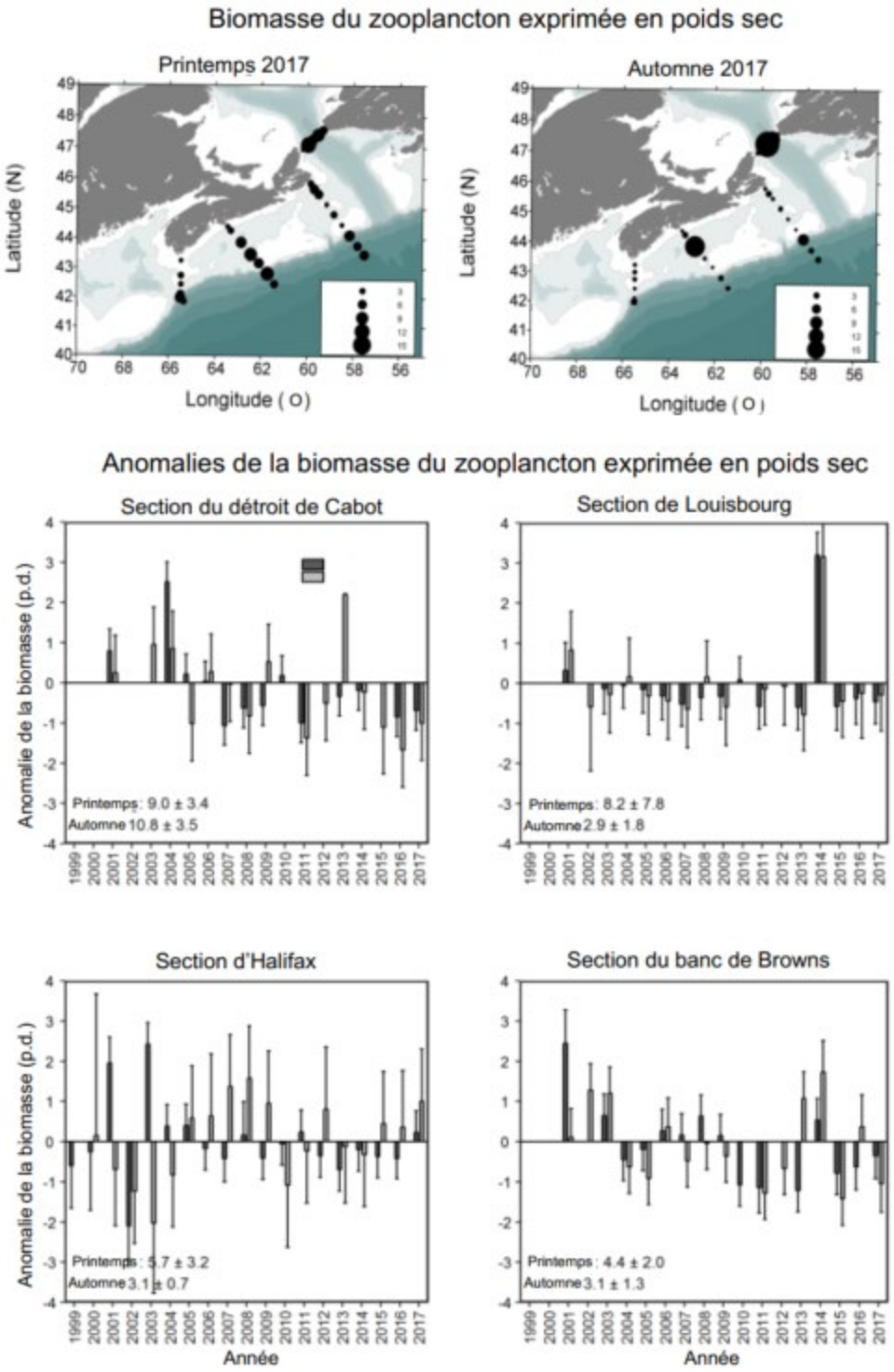

Figure 25. Répartition spatiale de la biomasse du zooplancton exprimée en poids sec en 2017 (panneaux du haut) et séries chronologiques des anomalies de la biomasse du zooplancton en poids sec dans les section transversales du plateau néo-écossais (panneaux du milieu et du bas) au printemps et en automne entre 1999 et 2017. Les lignes verticales dans les panneaux du bas représentent les écarts-types.

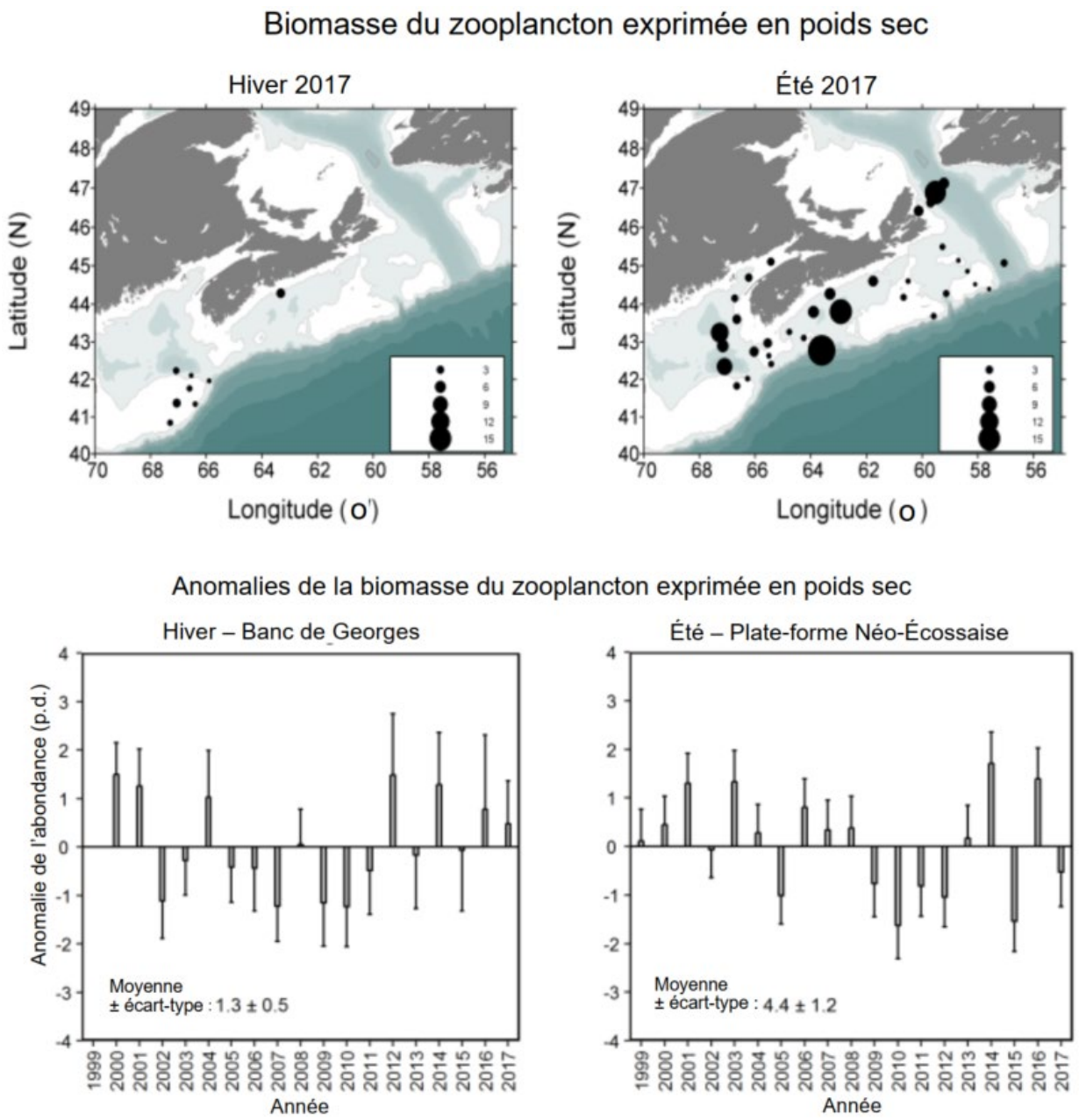

Figure 26. La biomasse du zooplancton exprimée en poids sec provenant des relevés au chalut de l'écosystème sur le banc de Georges (mars) et sur le plateau néo-écossais et l'est du golfe du Maine (été) : les panneaux du haut montrent la répartition spatiale en 2017, les panneaux du bas montrent les anomalies par rapport à la biomasse moyenne pour la période s'échelonnant entre 1999 et 2015 (les lignes verticales représentent les erreurs types).

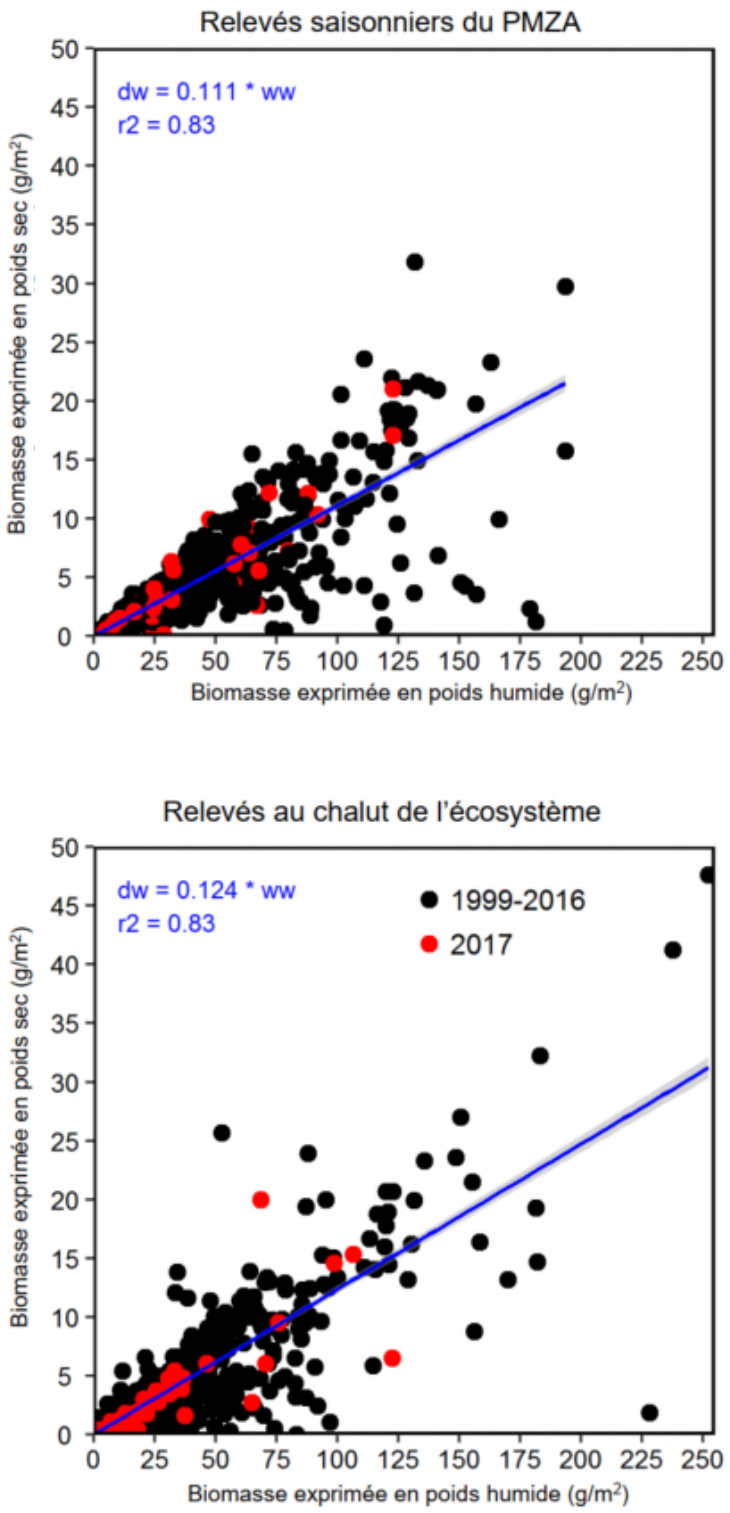

Figure 27 : Corrélation entre la biomasse totale du zooplancton exprimée en poids humide et la biomasse du mésozooplancton exprimée en poids sec pour les relevés saisonniers du PMZA (panneau du haut) et les relevés au chalut de l'écosystème (panneau du bas). Les points noirs représentent tous les échantillons prélevés entre 1999 et 2016 et les points rouges représentent les échantillons de 2017 pour les relevés respectifs. La ligne bleue représente le rajustement du modèle linéaire des valeurs de biomasse exprimées en poids humide et sec.

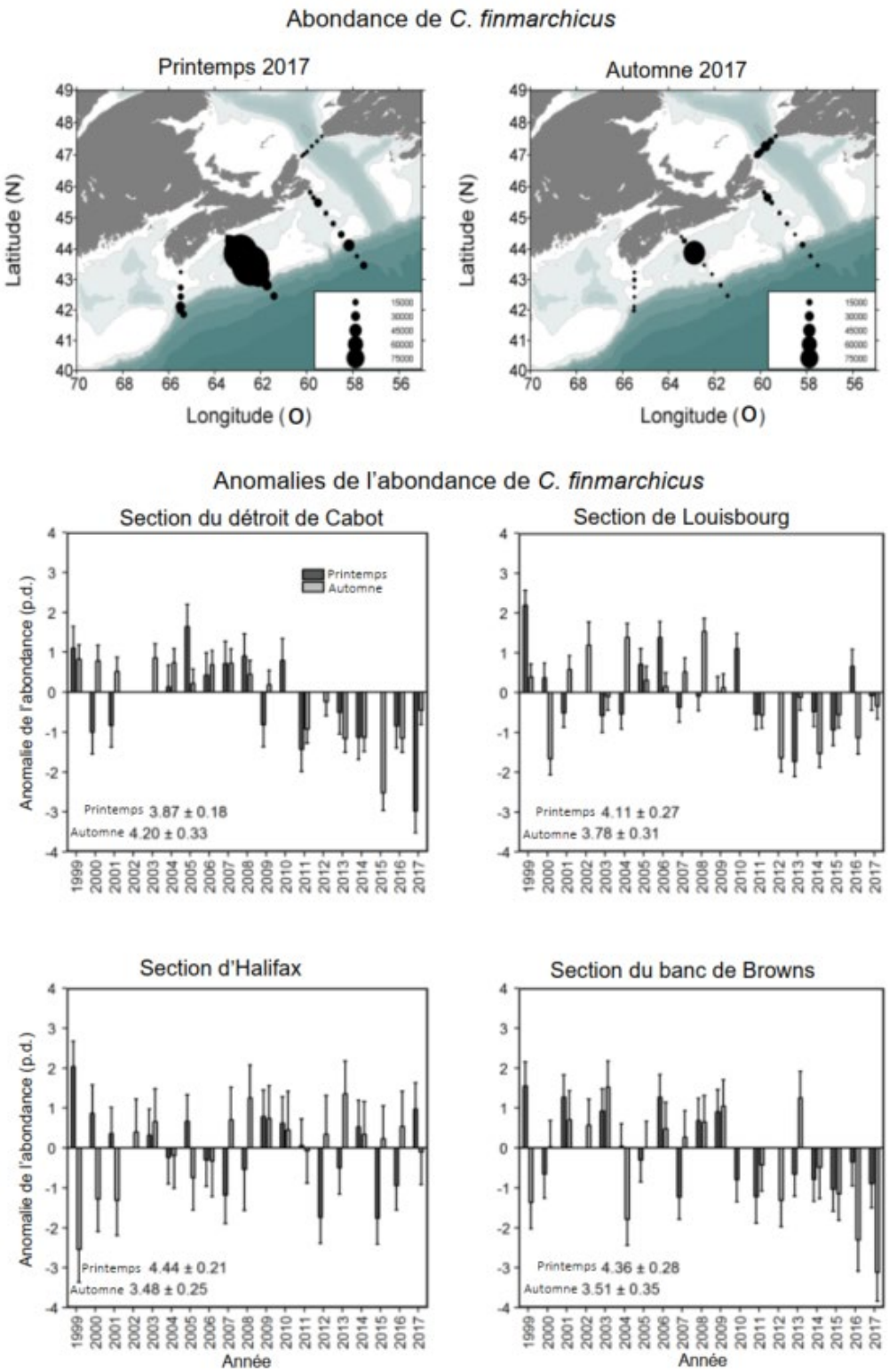

Figure 28. Répartition spatiale de l'abondance de Calanus finmarchicus en 2017 (panneaux du haut) et séries chronologiques des anomalies de l'abondance moyenne de C. finmarchicus dans les section transversales du plateau néo-écossais (panneaux du milieu et du bas) au printemps et en automne pour la période s'échelonnant entre 1999 et 2017. Les lignes verticales dans les panneaux du bas représentent les écarts-types.

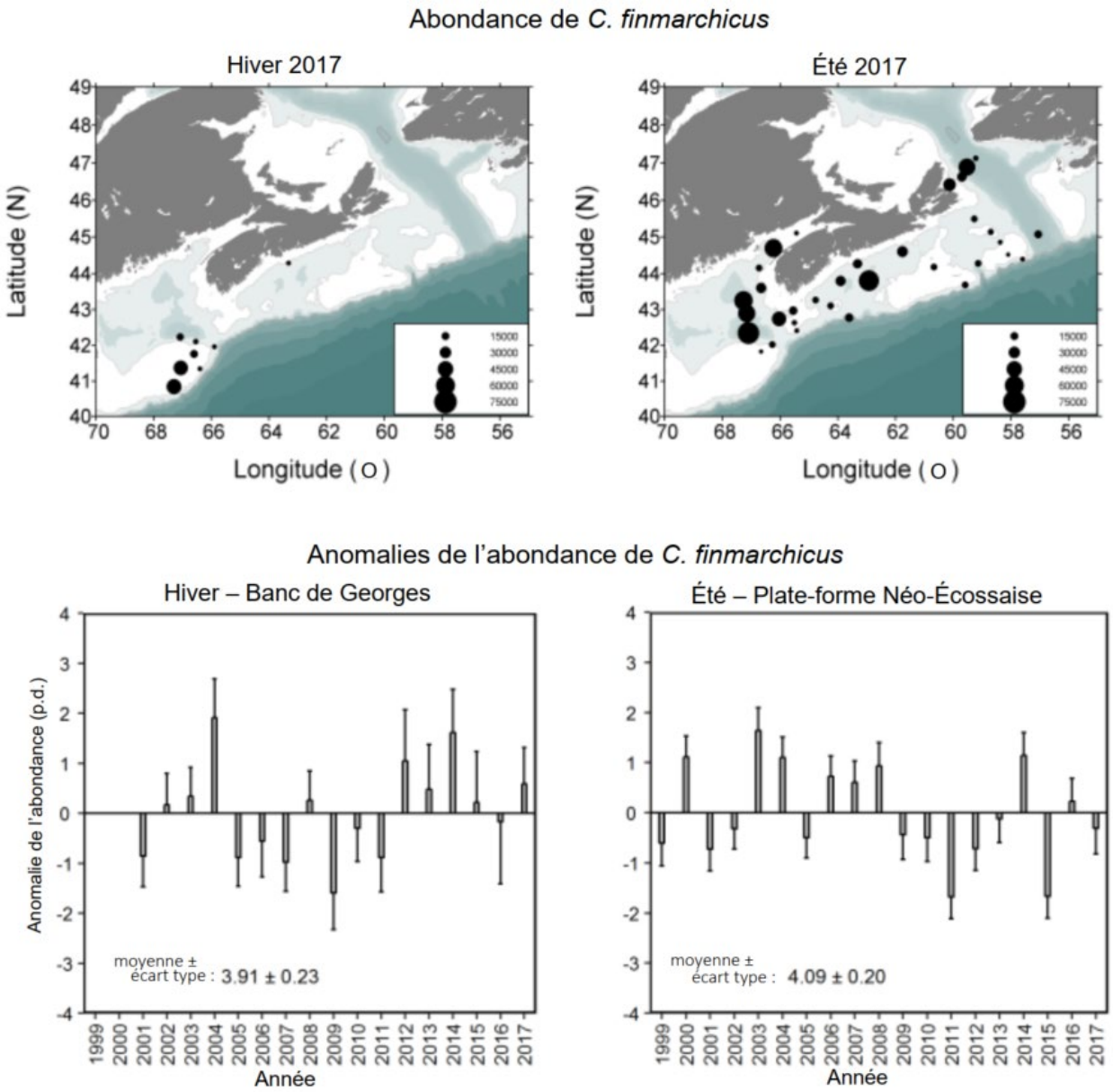

Figure 29. Abondance de Calanus finmarchicus provenant des relevés au chalut de l'écosystème sur le banc de Georges (mars) ainsi que sur le plateau néo-écossais et l'est du golfe du Maine (été) : les panneaux du haut montrent la répartition spatiale en 2017, et les panneaux du bas montrent l'abondance moyenne pour la période s'échelonnant entre 1999 et 2017 (les lignes verticales représentent les écarts-types).

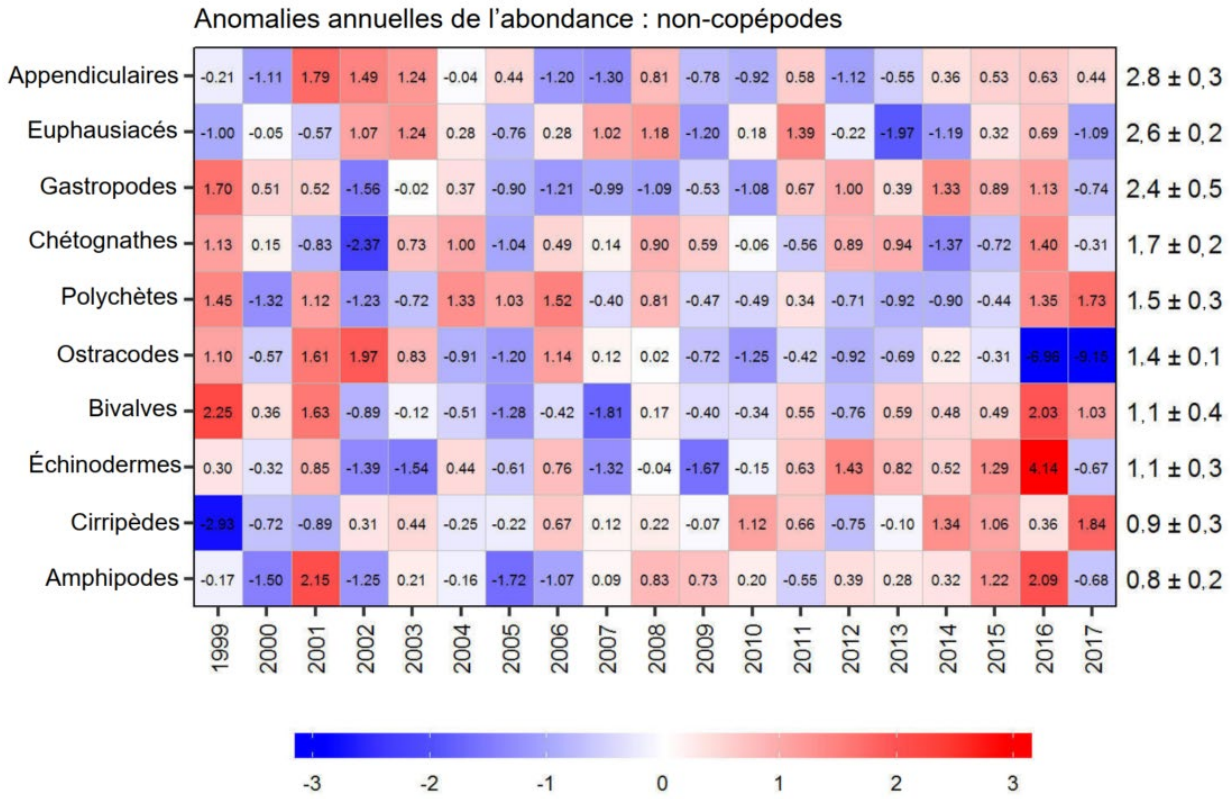

Figure 30. Tableau synoptique de l'anomalie annuelle des abondances des espèces du groupe des non-copépodes dans les section transversales du plateau néo-écossais classées depuis les groupes affichant l'abondance la plus élevée jusqu'à ceux affichant l'abondance la plus faible. Les valeurs figurant dans chaque cellule sont les anomalies par rapport à la moyenne pour la période de référence (1999–2015), en unités d'écart-type (les moyennes et les écarts-types sont présentés à droite). Une cellule grise indique des données manquantes. Les cellules rouges (bleues) indiquent des niveaux d'abondance supérieurs (inférieurs) à la normale.

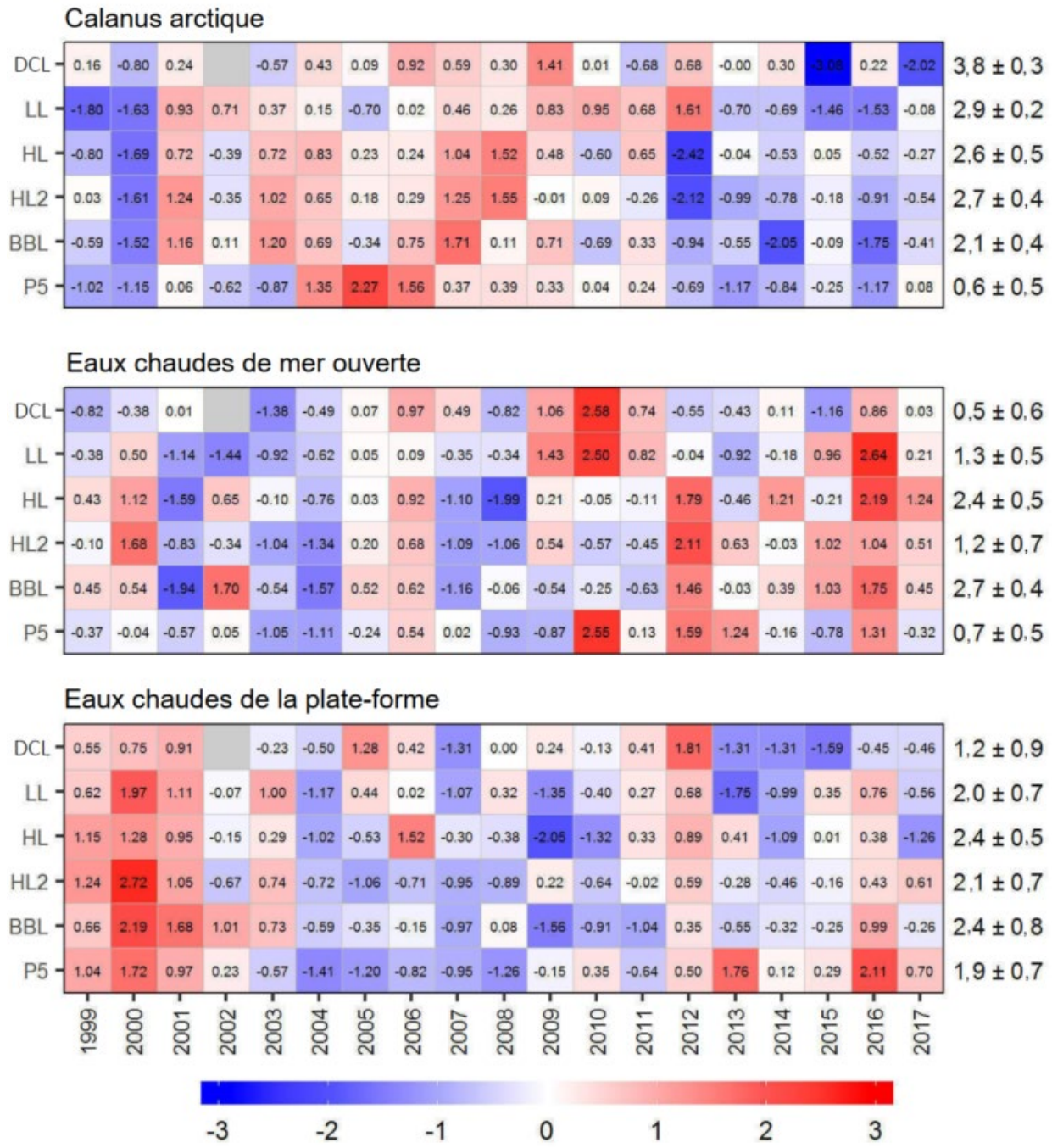

Figure 31. Tableau synoptique de l'anomalie annuelle pour les abondances du groupe des espèces de copépodes indicatrices. Les valeurs figurant dans chaque cellule sont les anomalies par rapport à la moyenne pour la période de référence (1999–2015), en unités d'écart-type (les moyennes et les écarts-types sont présentés à droite). Une cellule grise indique des données manquantes. Les cellules rouges (bleues) indiquent des niveaux d'abondance supérieurs (inférieurs) à la normale. DCL : section transversale du détroit de Cabot; LL : section transversale de Louisbourg; HL : section transversale d'Halifax; HL2 : Halifax-2, BBL : section transversale du banc de Browns, P5 : Prince-5.

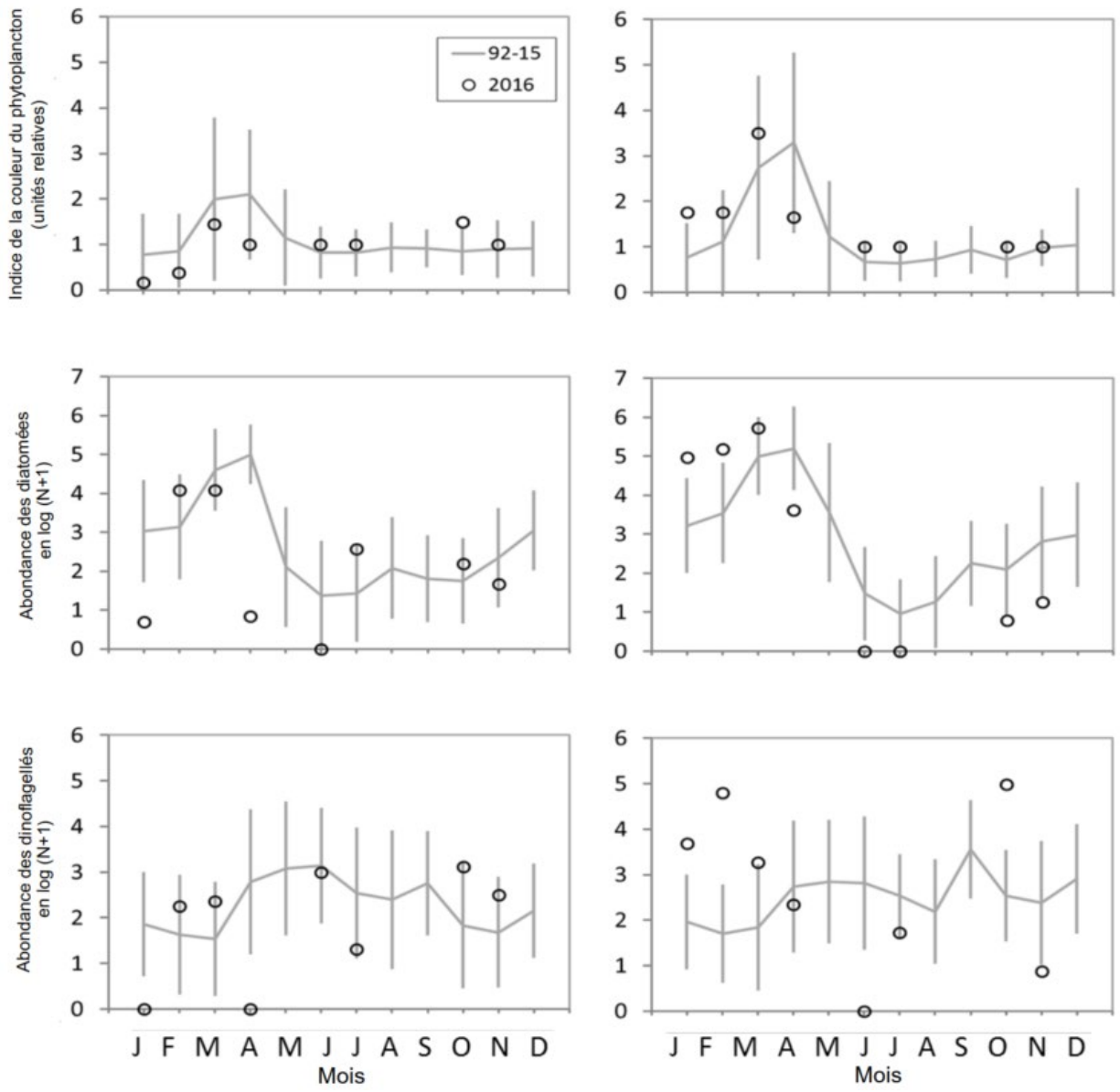

Figure 32. Indices de l'abondance du phytoplancton reposant sur l'enregistrement continu du plancton en 2016 et conditions moyennes enregistrées entre 1992 et 2015 (ligne pleine) sur l'ouest du plateau néo-écossais (colonne de gauche) et sur l'est du plateau néo-écossais (colonne de droite). Les lignes verticales représentent les écarts-types des moyennes mensuelles.

Taxon/année	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016			
ICP	1.00	0.36	-0.71	1.30	2.13	0.49	1.78	0.00	-1.09	-0.31	0.13	0.33	0.06	-0.45	-1.08				-1.28	-0.67	-1.80	-0.53	0.13		0.29	1,26	±	0,45
Diatomées	-0.04	-0.73	-0.31	0.80	1.07	-0.22	1.53	1.74	0.01	-0.05	1.21	-0.09	0.37	0.63	-0.88				0.04	-0.42	-1.28	-1.02	-2.36		-1.15	2,89	±	0,59
Dinoflagellés	0.78	-0.15	0.53	0.20	-0.20	-1.18	2.42	0.10	-0.02	0.07	1.48	0.26	-1.00	0.93	-1.60				-0.81	0.68	-1.45	-0.18	-0.87		0.42	2,53	±	0,36
Calanus I-IV	0.73	0.89	-0.40	-1.02	0.22	-0.91	-0.60	-0.23	0.07	-0.29	-0.13	-0.14	1.39	1.99	0.85				0.78	-1.29	-2.39	0.62	-0.13		0.49	0,56	±	0,17
C. finmarchicus V-VI	-0.11	0.77	-0.88	-1.00	-1.16	-0.56	-0.82	-0.63	0.95	0.72	0.76	0.99	1.09	0.92	1.66				0.65	-1.18	-1.68	0.61	-1.06		0.23	0,59	±	0,18
C. glacialis V-VI	-0.26	0.94	0.12	-0.54	-0.96	0.15	-1.30	-1.00	0.82	1.23	2.71	0.17	0.19	0.69	-0.47				0.57	-0.44	-1.30	-0.06	-1.26		-1.29	0,04	±	0,03
C. hyperboreus III-VI	-0.80	-0.08	0.20	-0.62	-0.84	-0.78	-0.95	-0.22	0.56	2.29	0.05	-0.60	2.17	1.00	-0.47				1.16	-0.71	-0.95	0.50	-0.89		-0.93	0,02	±	0,02
Copépode nauplius	1.18	0.80	0.05	1.25	0.61	-1.21	1.85	-0.12	1.02	0.20	-0.38	0.10	-0.69	1.01	-0.29				-1.53	-0.64	-0.78	-0.50	-1.92		0.80	0,45	±	0,13
Para/Pseudocalanus	1.24	1.92	0.38	0.77	0.70	-0.71	0.76	0.82	0.73	0.33	-0.78	-0.48	-0.54	0.85	0.01				-0.70	-0.97	-1.74	-0.79	-1.79		-0.12	1,11	±	0,34
Oithana	1.66	1.21	1.00	2.26	0.55	-0.35	0.78	0.60	0.23	-0.66	-0.25	-0.09	-0.78	-0.53	-1.38				-1.25	-0.90	-0.48	-0.87	-0.75		-0.49	0,68	±	0,27
Euphausiacés	0.62	1.01	0.62	-0.09	-0.58	-0.85	-0.23	1.11	0.36	0.53	-0.47	1.04	-0.20	1.03	1.99				-1.62	-0.96	-1.56	-0.35	-1.40		-0.73	0,17	±	0,09
Hypéridés	-0.62	-0.06	-0.96	-0.33	0.15	0.01	-0.19	0.93	-0.65	-0.41	-0.78	-0.16	1.19	-0.71	-0.44				-0.70	-0.81	-0.21	1.70	3.04		2.64	0,11	±	0,05
Coccolithophores	-1.25	0.14	-1.12	-0.65	-0.21	-1.14	0.34	0.12	1.76	0.64	2.14	-0.84	-1.33	-0.02	-0.57				0.69	-0.53	0.32	-0.08	1.59		1.37	0,38	±	0,17
Foraminifères	-1.01	-0.69	-0.41	0.29	0.40	-0.67	0.66	1.09	0.43	-0.48	-0.12	-0.95	-1.16	-0.48	-0.32				-0.69	1.43	1.79	-1.26	2.17		4.95	0,25	±	0,16
Limacina	2.25	0.49	0.74	0.07	-0.36	-0.45	-0.19	-0.19	0.42	-0.87	-0.80	-0.68	-0.75	-0.56	-0.19				-1.11	2.90	-0.13	-0.32	-0.27		1.22	0,16	±	0,11

Taxon/année	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016			
ICP	-0.40	0.25	-0.38	1.70	1.44	-1.63	-0.35	2.47	-0.45	0.87	-0.53	-0.04	-0.65	-0.32	-0.34			-0.87	-1.12	-0.86	-0.17	1.01	0.37		-0.36	1,11	±	0,30
Diatomées	-0.68	-0.08	-1.14	0.37	-0.38	-1.05	-0.75	2.99	0.28	0.96	1.88	-0.59	-0.01	-0.60	0.19			-0.67	-0.47	-0.67	0.89	-0.03	-0.44		-1.17	2,62	±	0,55
Dinoflagellés	0.74	0.81	0.44	-0.66	-0.49	-1.37	0.27	0.91	1.68	0.75	-0.11	-1.73	-1.23	-0.01	-0.06			-0.07	-2.18	-0.32	0.63	1.15	0.84		-0.96	2,33	±	0,48
Calanus I-IV	-0.13	0.76	0.25	-0.57	-0.37	-0.48	-1.46	-1.08	0.56	-0.75	-0.24	-0.70	0.97	2.02	0.46			1.06	-0.59	-1.09	-1.17	2.12	0.41		-0.20	0,65	±	0,17
C. finmarchicus V-VI	-0.38	0.22	-1.26	-1.07	-0.20	-0.60	-1.49	-1.06	0.44	0.32	-0.25	0.80	1.02	0.85	1.36			1.06	-0.67	-0.02	-1.11	2.41	-0.35		0.10	0,74	±	0,17
C. glacialis V-VI	-1.05	0.65	-0.96	-0.03	-1.20	-0.03	-0.83	-1.20	-0.19	0.87	1.11	1.61	1.34	0.41	0.79			-1.02	-1.20	1.64	-0.95	-0.44	0.68		-0.85	0,02	±	0,02
C. hyperboreus III-VI	-0.87	0.15	0.44	-0.20	-0.87	0.24	-0.87	-0.87	0.47	0.79	-0.87	-0.87	1.72	0.98	-0.87			-0.87	-0.87	1.71	-0.87	0.39	2.05		-0.87	0,01	±	0,01
Copépode nauplius	0.42	2.63	-0.37	1.08	0.97	-0.40	0.64	-0.08	1.06	1.06	-0.38	-1.22	-0.58	-0.89	-0.57			-1.04	-1.37	-1.15	-0.17	-0.29	0.62		-1.08	0,35	±	0,13
Para/Pseudocalanus	0.93	2.63	0.68	0.15	-1.04	-1.00	-0.97	0.70	1.79	-0.11	-0.77	-0.92	-0.10	0.28	0.22			-0.43	-1.21	-0.94	0.02	0.71	-0.63		0.13	1,17	±	0,40
Oithana	1.15	2.53	0.97	1.14	-0.12	-0.49	0.19	0.31	1.34	-0.47	-0.57	-0.98	-0.94	-0.59	-0.80			-0.95	-1.26	-1.26	0.15	0.61	0.02		-1.22	0,62	±	0,32
Euphausiacés	0.84	-0.24	0.55	0.33	1.83	0.80	2.17	-1.06	0.52	-0.14	-0.94	0.62	-0.12	-0.63	0.15			0.77	-0.42	-1.38	-1.05	-1.24	-1.31		-0.55	0,31	±	0,11
Hypéridés	-0.67	-0.07	-1.45	-0.73	0.44	0.67	-0.54	-0.70	-0.39	-0.75	-0.89	-0.76	0.39	-0.69	-0.32			1.43	-0.28	-0.27	1.97	1.59	2.02		0.77	0,18	±	0,09
Coccolithophores	-1.16	-0.56	-1.33	-0.62	-0.17	-0.01	0.63	1.55	0.69	-0.15	-0.61	-0.62	-0.50	-1.27	-0.51			2.25	-0.20	-0.06	1.64	1.42	-0.42		0.62	0,37	±	0,25
Foraminifères	-1.23	0.57	-0.28	-0.15	0.82	-0.26	0.37	1.02	0.95	-0.94	-1.05	-1.01	-1.11	-0.89	-0.39			0.47	-1.24	-0.45	1.67	2.02	1.11		0.66	0,40	±	0,27
Limacina	-0.14	1.15	1.35	-0.66	-0.80	-0.17	-1.02	1.29	1.98	-0.83	-0.93	-1.06	-0.70	-0.87	-1.11			0.56	-0.67	0.71	1.07	1.19	-0.33		0.22	0,27	±	0,20

-3	-2	-1	0	1	2	3

Figure 33. Tableau synoptique de l'anomalie annuelle de l'abondance des taxons de phytoplancton et de zooplancton observés grâce à l'enregistrement continu du plancton sur l'est du plateau néo-écossais (panneau du haut) et sur l'ouest du plateau néo-écossais (panneau du bas). Les cellules vides correspondent aux années durant lesquelles l'échantillonnage a été effectué durant huit mois ou moins, ou les années durant lesquelles on a enregistré une lacune dans l'échantillonnage d'au moins trois mois consécutifs. Les cellules rouges (bleues) indiquent des valeurs supérieures (inférieures) à la normale. La période de référence est celle qui s'échelonne entre 1992 et 2015. Les nombres qui figurent dans les cellules sont les anomalies normalisées.

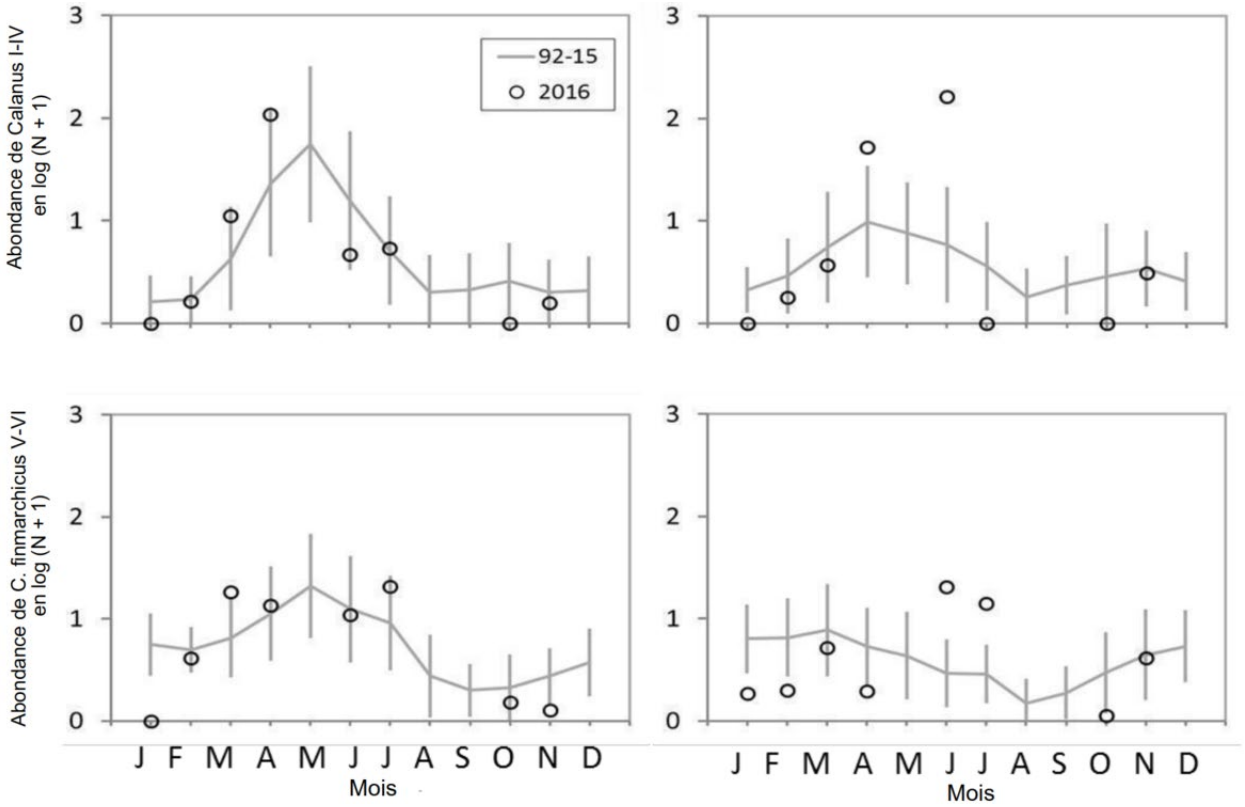

Figure 34. Indices de l'abondance des espèces de Calanus aux stades I à IV (principalement C. finmarchicus, ligne du haut) reposant sur l'enregistrement continu du plancton et de C. finmarchicus aux stades V et VI (ligne du bas) en 2016 et conditions moyennes enregistrées entre 1992 et 2015 (ligne pleine) sur l'ouest du plateau néo-écossais (colonne de gauche) et sur l'est du plateau néo-écossais (colonne de droite). Les lignes verticales représentent les écarts-types des moyennes mensuelles.

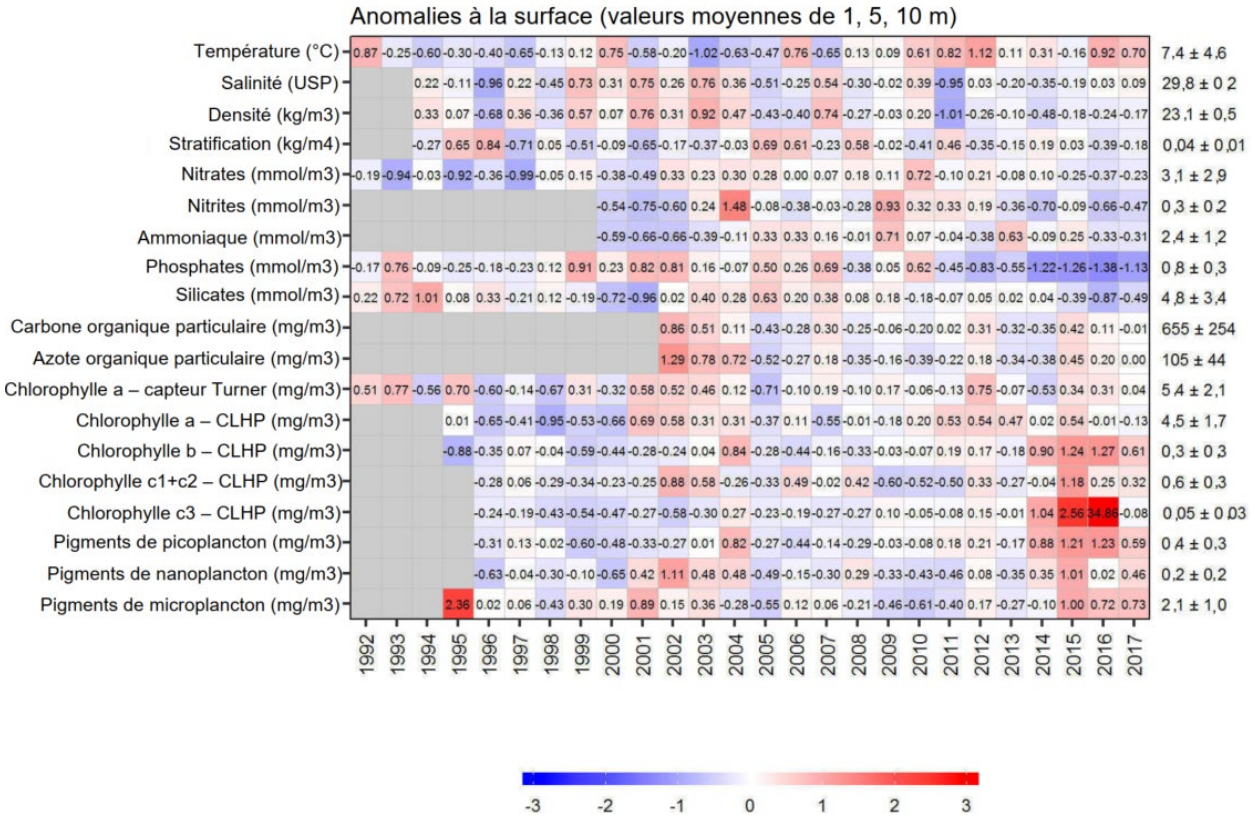

Figure 35. Tableau synoptique des anomalies annuelles pour les conditions environnementales et l'état du phytoplancton à 2, 5 et 10 m dans le bassin de Bedford. Les valeurs figurant dans chaque cellule sont les anomalies par rapport à la moyenne pour la période de référence (entre 2000 et 2015), en unités d'écart-type (les moyennes et les écarts-types sont présentés à droite). Une cellule grise indique des données manquantes. Les cellules rouges (bleues) indiquent des niveaux d'abondance supérieurs (inférieurs) à la normale.

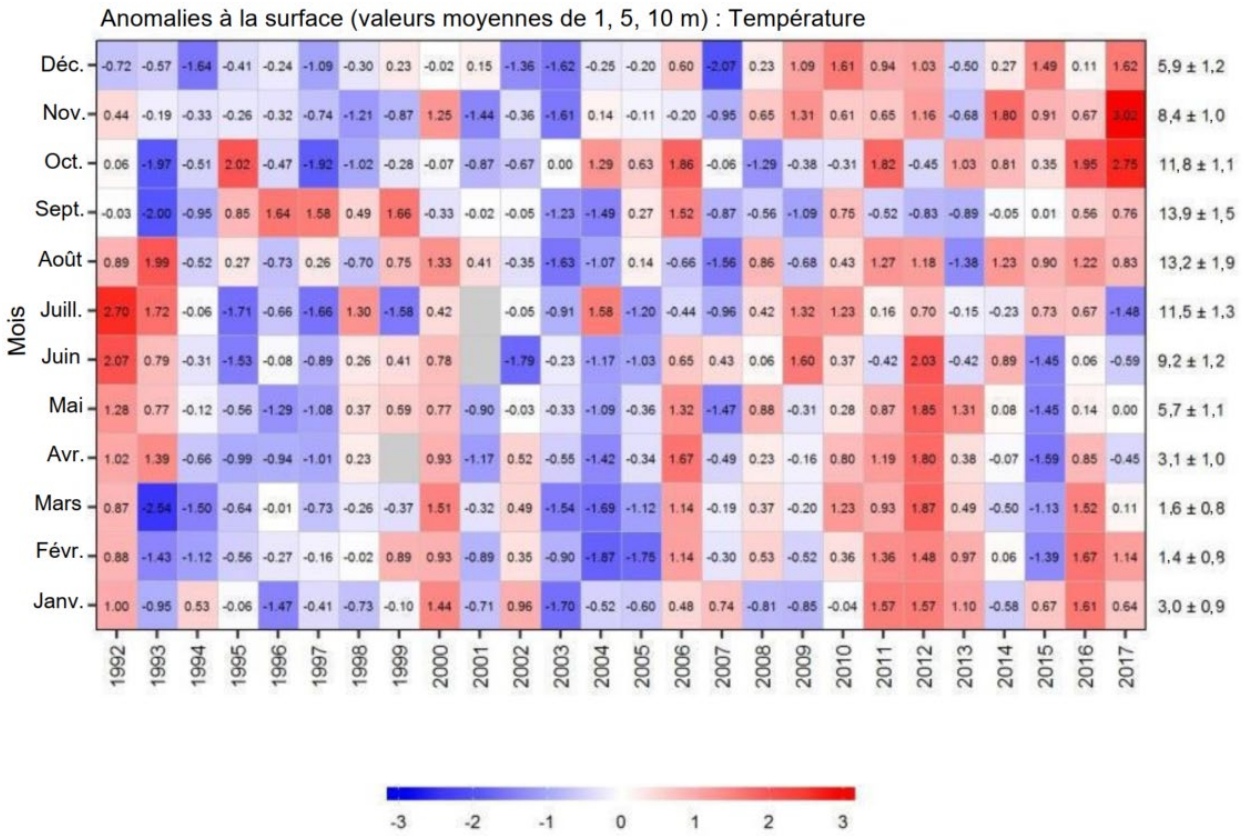

Figure 36. Moyenne mensuelle des anomalies de température à 2, 5 et 10 m dans le bassin de Bedford. Les valeurs figurant dans chaque cellule sont les anomalies par rapport à la moyenne mensuelle pour la période de référence (entre 2000 et 2015), en unités d'écart-type (les moyennes et les écarts-types sont présentés à droite). Une cellule grise indique des données manquantes. Les cellules rouges (bleues) indiquent des niveaux d'abondance supérieurs (inférieurs) à la normale.

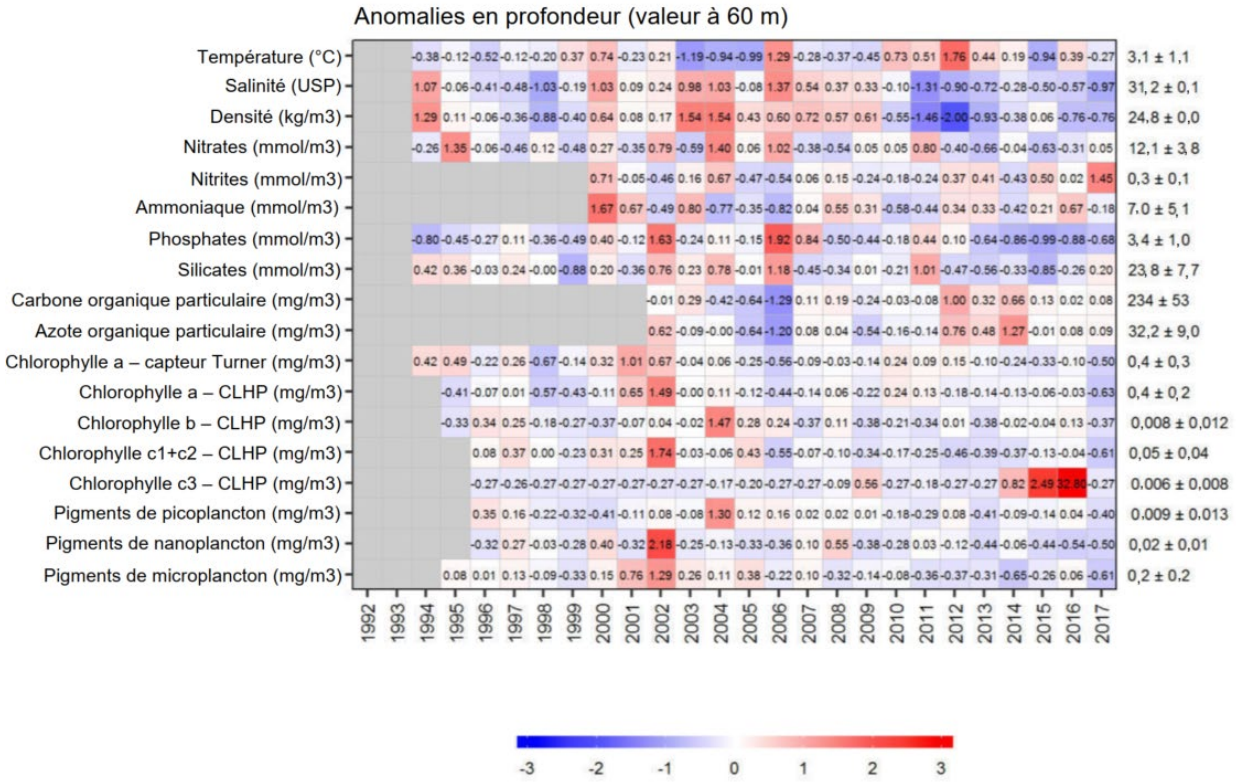

Figure 37. Tableau synoptique annuelle des anomalies pour les conditions environnementales et l'état du phytoplancton à 60 m dans le bassin de Bedford. Les valeurs figurant dans chaque cellule sont les anomalies par rapport à la moyenne pour la période de référence (entre 2000 et 2015), en unités d'écart-type (les moyennes et les écarts-types sont présentés à droite). Une cellule grise indique des données manquantes. Les cellules rouges (bleues) indiquent des niveaux d'abondance supérieurs (inférieurs) à la normale.

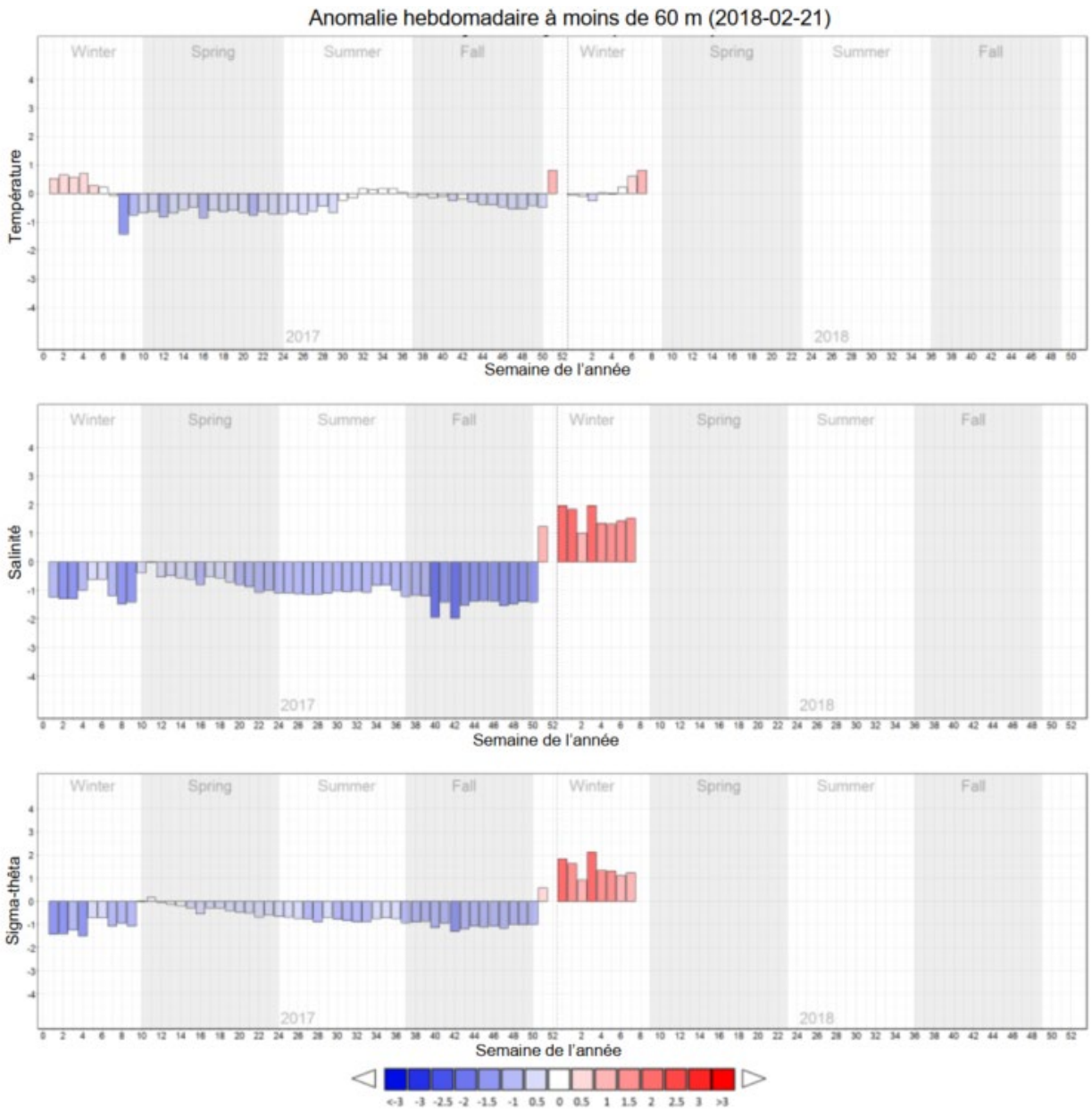

Figure 38. Anomalies hebdomadaires de température, de salinité et de stratification au fond du bassin de Bedford. Les valeurs sont les anomalies par rapport à la moyenne hebdomadaire pour la période de référence (entre 2000 et 2015), en unités d'écart-type (les moyennes et les écarts-types sont présentés à droite). Une cellule grise indique des données manquantes. Les cellules rouges (bleues) indiquent des niveaux d'abondance supérieurs (inférieurs) à la normale.

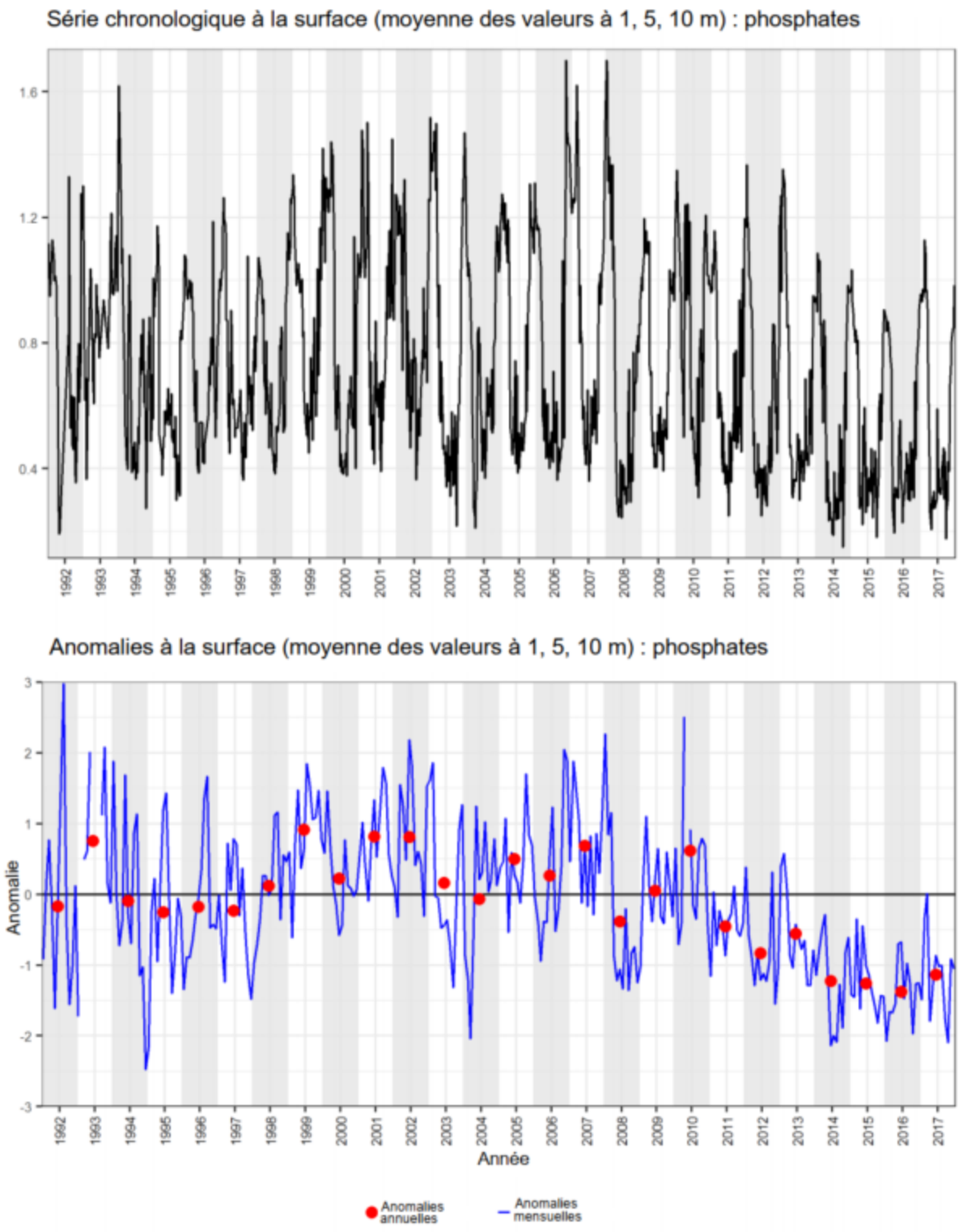

Figure 39. Série chronologique des concentrations moyennes de phosphates (1, 5 et 10 m) dans la couche superficielle (panneau du haut) du bassin de Bedford et des anomalies mensuelles et annuelles (panneau du bas) de 1992 à 2017.

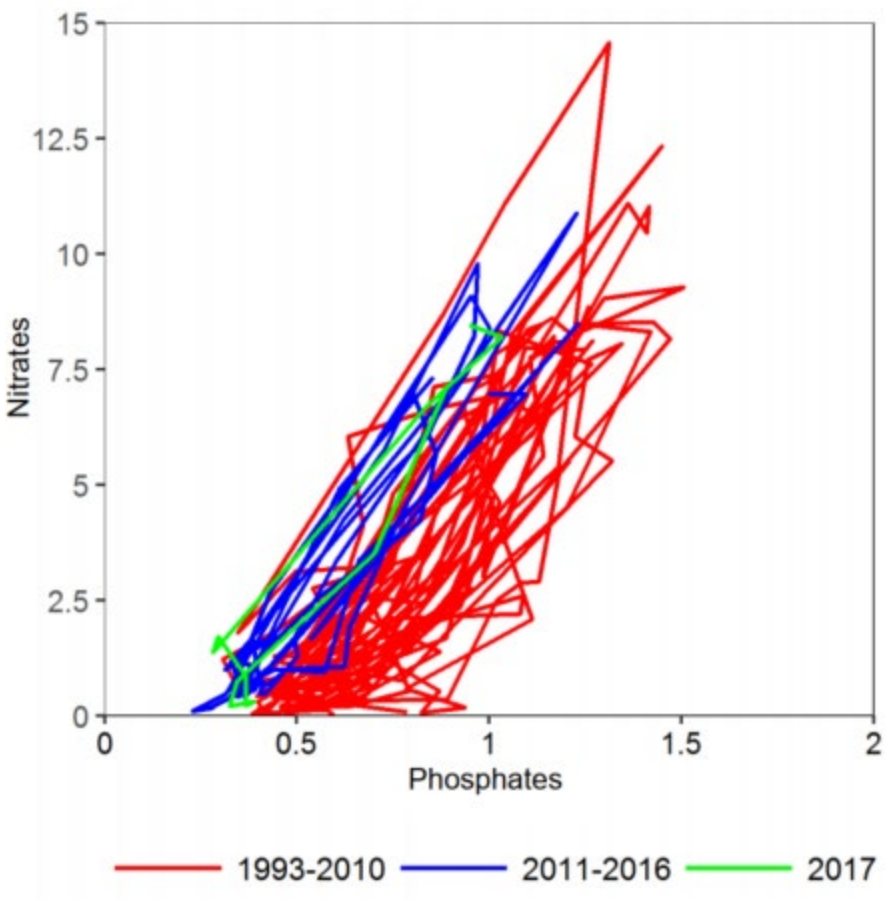

Figure 40. Relation saisonnière entre les concentrations de nitrates et de phosphates (mmol/m^3) dans la couche superficielle du bassin de Bedford.