



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 2020/037

Région des Maritimes

Conditions océanographiques optiques, chimiques et biologiques du plateau néo-écossais et de l'est du golfe du Maine en 2018

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

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

Avant-propos

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

Publié par :

Pêches et Océans Canada
Secrétariat canadien 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 :

Casault, B., Johnson, C., Devred, E., 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 2018. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech. 2020/037. vi + 70 p.

Also available in English:

Casault, B., Johnson, C., Devred, E., 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 2018. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2020/037. v + 66 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	V
INTRODUCTION	1
MÉTHODES	1
MISSIONS	2
Stations d'échantillonnage à haute fréquence	2
Sections du plateau néo-écossais	2
Relevés au chalut de l'écosystème	2
DÉPLOIEMENT DES ENGINs.....	4
Conductivité, température et profondeur	4
Traits de filet.....	4
MESURES DÉRIVÉES	4
Couche de mélange et indice de stratification	4
Propriétés optiques	4
Variables intégrées verticalement.....	5
Groupes taxonomiques de phytoplancton	5
TÉLÉDÉTECTION PAR SATELLITE DE LA COULEUR DE L'OCÉAN	5
TABLEAUX SYNOPTIQUES DES ANOMALIES ANNUELLES	6
ACCÈS AUX PRODUITS DE DONNÉES.....	7
PROGRAMME DE SURVEILLANCE DU BASSIN DE BEDFORD	7
ENREGISTREUR DE PLANCTON EN CONTINU.....	7
OBSERVATIONS.....	8
PROPRIÉTÉS OPTIQUES ET DE MÉLANGE	8
ÉLÉMENTS NUTRITIFS	10
Stations d'échantillonnage à haute fréquence	10
Relevés à vaste échelle.....	11
PHYTOPLANCTON	13
Stations d'échantillonnage à haute fréquence	13
Relevés à vaste échelle et télédétection par satellite.....	14
ZOOPLANCTON.....	15
Stations d'échantillonnage à haute fréquence	15
Relevés à vaste échelle.....	17
Espèces indicatrices.....	18
DISCUSSION.....	18
PROGRAMME DE MONITORAGE DU BASSIN DE BEDFORD	22
CONDITIONS PHYSIQUES	22
ÉTAT DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS ET DU PLANCTON	23
ENREGISTREUR DE PLANCTON EN CONTINU	23
PHYTOPLANCTON	23

ZOOPLANCTON.....	23
ORGANISMES SENSIBLES À L'ACIDIFICATION	24
SOMMAIRE	24
REMERCIEMENTS	25
RÉFÉRENCES CITÉES.....	25
FIGURES.....	28

RÉSUMÉ

L'état des éléments nutritifs et du plancton sur le plateau néo-écossais et dans l'est du golfe du Maine a été évalué dans le contexte des températures océaniques de surface et de fond essentiellement plus élevées que la normale en 2018, tendance ayant débuté en 2010, et à la lumière d'une stratification croissante. Dans l'ensemble, en 2018, les inventaires des éléments nutritifs en profondeur ont été inférieurs à la normale dans toute la région concernée, poursuivant une tendance qui a commencé il y a trois ans (pour le nitrate) à cinq ans (pour le phosphate et le silicate). Les anomalies de la concentration de nitrate à la surface étaient négatives aux stations d'échantillonnage à haute fréquence (Halifax-2 et Prince-5) et dans la partie est de la région (sections du détroit de Cabot et de Louisbourg) et positives dans la partie centrale (section d'Halifax) et ouest (section du banc de Browns). Les anomalies de la concentration de phosphate et de silicate à la surface étaient négatives dans toute la région. Les anomalies de l'amplitude et de la magnitude de la floraison printanière du phytoplancton ainsi que les anomalies de l'inventaire de chlorophylle *a* intégrée sur la colonne d'eau (indicateur de la biomasse du phytoplancton) étaient pour la plupart positives ou presque nulles dans l'est du plateau néo-écossais et le détroit de Cabot, alors qu'elles étaient négatives dans le centre et l'ouest du plateau néo-écossais. Les observations effectuées en 2018 fournissent des preuves supplémentaires d'un changement persistant de la communauté planctonique ces dernières années, où l'abondance du phytoplancton de grande taille (diatomées) est plus faible, en particulier l'été, comme il est observé à la station d'Halifax-2. La biomasse du zooplancton et l'abondance du *Calanus finmarchicus* sont également restées inférieures à la normale, contrairement à l'abondance des non-copépodes, qui était surtout élevée. L'abondance des *Calanus* arctiques, un indicateur de la biomasse de zooplancton d'eau froide, est demeurée inférieure à la normale sur le plateau néo-écossais, une tendance qui a débuté en 2013. Les abondances supérieures à la normale des copépodes d'eau chaude extracôtière, en particulier *Oithona atlantica*, observées à la station d'Halifax-2, laissent entrevoir une plus grande influence des eaux extracôtières ces dernières années. Les changements dans les communautés de phytoplancton et de zooplancton observés au cours des dernières années laissent supposer des changements dans les sources alimentaires des poissons, des oiseaux et des mammifères planctivores, et pourraient être associés à des changements futurs de la production primaire et secondaire dans l'écosystème.

Les températures de surface du bassin de Bedford étaient supérieures à la normale 8 mois sur 12 en 2018, le mois de septembre étant le plus chaud de la série chronologique. Inversement, novembre et décembre ont été les mois les plus froids depuis 2003 et 2007, respectivement. Le ratio phosphate/nitrate à la station Compass a continué la tendance associée à un nouveau régime observé depuis 2011, probablement en réponse à la diminution des apports en phosphate soluble associée aux avancées dans le traitement des eaux usées ainsi qu'à l'application de lois fédérales régissant les concentrations acceptables de phosphate dans les détergents.

Les données de l'enregistreur de plancton en continu (de l'anglais *Continuous Plankton Recorder* (CPR)) de 2017, telles que rapportées ici, indiquent que les moyennes annuelles de l'indice de couleur du phytoplancton (IPC) étaient proches de la normale pour l'est (EPN) et l'ouest (OPN) du plateau néo-écossais, tandis que les abondances de diatomées et de dinoflagellés étaient plus faibles, comme on l'a vu à la station d'Halifax-2. Les valeurs mensuelles ont indiqué une floraison printanière courte, tardive et intense (OPN), comme on l'a également observé à la station d'Halifax-2 en 2017. L'abondance des *Calanus* I-IV (principalement *C. finmarchicus*) était supérieure à la normale (EPN) ou proches de la normale (OPN), tandis que celle de *C. finmarchicus* CV-VI étaient proches de la normale (EPN, OPN). Les abondances annuelles de *C. finmarchicus* sont faibles depuis 2011 à la station d'Halifax-2.

On observe des diminutions de l'abondance des CV en été/automne, les données du CPR suggèrent qu'elles représentent la population sous la surface. Pour les autres taxons, la plupart des abondances moyennes annuelles de 2017 étaient proches des moyennes de 1992 à 2015, à l'exception des *C. hyperboreus* CIII-VI et des amphipodes hypéridés (plus élevées sur l'EPN) et des euphausiacés (plus faibles sur l'OPN).

INTRODUCTION

Le Programme de monitoring de la zone atlantique (PMZA) a été mis en œuvre en 1998 pour améliorer la capacité de Pêches et Océans Canada (MPO) à comprendre, à décrire et à prévoir l'état de l'écosystème marin (Therriault *et al.*, 1998). Le PMZA tire ses renseignements sur le milieu et les écosystèmes marins à partir de données recueillies dans un réseau d'échantillonnage (points fixes, stations d'échantillonnage à haute fréquence, sections du plateau continental, relevés au chalut de l'écosystème) dans chaque Région du MPO (Québec, Golfe, Maritimes et Terre-Neuve-et-Labrador) et qui sont échantillonnées à une fréquence bimensuelle à annuelle. Le plan d'échantillonnage fournit des renseignements de base sur la variabilité des propriétés physiques, chimiques et biologiques du plateau continental de l'Atlantique Nord-Ouest à des échelles annuelles et interannuelles. Les relevés au chalut de l'écosystème et les sections du plateau continental renseignent sur la variabilité environnementale à vaste échelle (Harrison *et al.*, 2005), mais ont une couverture saisonnière limitée. Les 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'enregistreur de plancton en continu (CPR, pour « Continuous Plankton Recorder ») de l'Atlantique Nord assure 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 (PN). L'échantillonnage du CPR enrichit un ensemble de données recueillies depuis 1960, qui permet d'établir les 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 dans le PN et l'est du golfe du Maine (GM), et il est axé sur les conditions observées en 2018. Il vient compléter des évaluations de l'environnement physique de la Région des Maritimes (e.g. Hebert *et al.*, 2020) et de l'état du système du plateau continental de l'Atlantique Nord-Ouest canadien dans son ensemble (MPO, 2019).

Le PN se trouve dans une zone de transition influencée à la fois 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 PN affichent des changements de température importants, lesquels reflètent des changements de la source des eaux profondes du talus du plateau (source qui varie entre les eaux froides et moins riches en éléments nutritifs du talus du Labrador et les eaux chaudes plus riches en éléments nutritifs du talus du plateau), ces changements de source pouvant être déclenchés par des changements de la répartition de la pression atmosphérique à vaste échelle (Petrie, 2007). Dans le PN, 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 le ruissellement 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 les niveaux trophiques supérieurs. L'état des éléments nutritifs et du plancton dans la région en 2018 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 normalisés établis (Mitchell *et al.*, 2002). Des mesures non standards ou des variables dérivées sont décrites ci-dessous.

MISSIONS

Le personnel navigant du PMZA du MPO pour la Région des Maritimes a participé à trois missions (un relevé au chalut de l'écosystème et deux relevés océanographiques saisonniers sur les sections du plateau) durant l'année civile 2018, lesquelles s'ajoutent aux sorties quotidiennes en mer vers les deux stations d'échantillonnage à haute fréquence. Au total, 292 occupations de stations hydrographiques ont été effectuées avec des échantillons prélevés au filet dans 215 des stations (tableau 1).

Stations d'échantillonnage à haute fréquence

Les stations d'échantillonnage à haute fréquence d'Halifax-2 (HL2) et de Prince-5 (P5) ont été échantillonnées à 20 et 12 reprises, respectivement, en 2018, ce qui ressemble aux fréquences d'échantillonnage utilisées ces dernières années. Il n'y a pas eu d'échantillonnage en janvier à la station HL2.

La série standard de prélèvements aux stations d'échantillonnage à haute fréquence comprend :

- un profil de conductivité-température-profondeur (CTD pour « conductivity, temperature, depth »; variables mesurées à l'aide d'un instrument de Sea-Bird Scientific), de pair avec la mesure de la teneur en oxygène dissous, de la fluorescence et du rayonnement photosynthétique actif (RPA);
- des échantillons d'eau prélevés à des profondeurs standards à l'aide de bouteilles Niskin pour l'analyse des éléments nutritifs, l'étalonnage de la salinité et de l'oxygène ainsi que l'analyse de la chlorophylle et 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 à plancton (mailles de 202 µm) pour mesurer la biomasse (poids humide et sec) et l'abondance du zooplancton;
- des mesures de l'atténuation de la lumière, lorsque possible, à l'aide d'un disque de Secchi.

Sections du plateau néo-écossais

Les quatre sections principales (détroit de Cabot [CSL]; Louisbourg [LL]; Halifax [HL]; banc de Browns [BBL]; figure 1) et plusieurs sections/stations auxiliaires (marques grises sur la figure 2) ont été échantillonnées au printemps et à l'automne (tableau 1). Les résultats de l'échantillonnage des sections/stations auxiliaires ne sont pas consignés dans le présent document.

La série standard de prélèvements aux stations des sections principales est la même que celle aux stations d'échantillonnage à haute fréquence décrite ci-dessus, mis à part le fait que le phytoplancton n'y est pas dénombré. Outre la série standard d'analyses réalisées à partir d'échantillons d'eau, une mesure de la teneur en carbone organique particulaire est prise à des profondeurs standards.

Relevés au chalut de l'écosystème

Le personnel du PMZA du MPO pour la Région des Maritimes a participé à un seul relevé au chalut de l'écosystème en 2018. Le relevé d'hiver habituel dans l'ouest du PN et le banc de Georges (BG) a été annulé en raison de la disponibilité des navires. De plus, le relevé d'été dans le PN et l'est du GM a été raccourci en termes de durée et de couverture spatiale, et tous

les échantillonnages ont eu lieu à l'ouest du 63^e degré de longitude ouest (figure 3). Le relevé d'été a été effectué par la Division de l'écologie des populations du Secteur des sciences de la Région des Maritimes du MPO, avec la participation du personnel du PMZA.

La série de prélèvements effectués aux stations de relevé au chalut de l'écosystème comprend les mesures énumérées ci-dessus pour les stations d'échantillonnage à haute fréquence, à la différence que l'ensemble standard des profondeurs utilisées pour l'échantillonnage d'eau au moyen de bouteilles est plus limité et que les traits effectués à l'aide d'un filet vertical à plancton (mailles de 202 µm) n'ont concerné qu'un sous-ensemble de stations (tableau 1 et figure 3).

La somme des teneurs en nitrate et en nitrite est consignée dans le présent document sous le terme « nitrate ». Pour le relevé au chalut de l'écosystème effectué en été, les concentrations de nitrate en profondeur ont été interpolées sur une grille de latitude et de longitude de trois minutes en utilisant une estimation optimale (Petrie *et al.*, 1996) pour produire des cartes des propriétés du fond à l'intérieur des strates des relevés au chalut de l'écosystème. La méthode d'interpolation utilise les trois plus proches voisins, les données se trouvant près du point de la grille d'interpolation étant plus pondérées proportionnellement 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 et une échelle de longueur verticale de 15 m (pour une profondeur < 50 m) ou de 25 m (pour les profondeurs s'échelonnant entre 50 et 500 m). Les concentrations d'oxygène en profondeur étaient interpolées de façon optimale en utilisant la même technique que pour les nitrate. On a mesuré les concentrations d'oxygène en utilisant le CTD muni d'un capteur à oxygène, lequel capteur a été étalonné par rapport aux concentrations d'oxygène mesurées par la méthode de titrage de Winkler. Les anomalies afférentes à la concentration d'oxygène en profondeur ne sont pas consignées dans le présent document, car la qualité des données sur l'oxygène recueillies avant 2015 est en cours d'examen.

Tableau 1. Missions d'échantillonnage du Programme de monitoring de la zone atlantique dans la Région des Maritimes en 2018.

Groupe	Lieu	ID de la mission	Dates	Nombre de stations hydrologiques	Nombre de stations de filet
Relevé au chalut de l'écosystème	Plateau néo-écossais	TEL2018-023	14-28 juillet	84	16
Sections saisonnières	Plateau néo-écossais	HUD2018-004	8-23 avril	83	74
	Plateau néo-écossais	HUD2018-030	16 sept.-5 oct.	100	100
Stations à haute fréquence	Halifax-2	BCD2018-666	1 ^{er} janv. – 31 déc.	20(13) ¹	20(13) ¹
	Prince-5	BCD2018-669	1 ^{er} janv. – 31 déc.	12	12
<i>Total :</i>				292	215

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

DÉPLOIEMENT DES ENGINES

Conductivité, température et profondeur

Les mesures par CTD sont prises entre la surface et une profondeur cible se situant à 2 m ou moins du fond.

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

- Stations d'échantillonnage à haute fréquence :
 1. HL2 : 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 140 m
 2. P5 : 1, 10, 25, 50, 95 m.
- Sections 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 d'échantillonnage sont limitées par la profondeur de l'eau).
- Relevés au chalut de l'écosystème : 5, 25, 50 m, et près du fond lorsque possible.

Traits de filet

Des filets à plancton à mailles standards de 202 µm sont hissés verticalement depuis la proximité du fond jusqu'à la surface à une vitesse d'environ 1 m/s. Dans les eaux extracôtières profondes, 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 indice 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 (CM) à partir des observations CTD comme étant la profondeur minimale où le gradient de densité est égal ou supérieur à 0,01 kg/m⁴.
2. L'indice de stratification (IS) est calculé comme suit :

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

où σ_{t-50} et $\sigma_{t-z_{\min}}$ sont les valeurs interpolées de la densité (σ_t) à 50 m, et z_{\min} , la profondeur minimale à laquelle on obtient des données CTD fiables, profondeur 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 [K_d], profondeur de la zone euphotique [Z_{eu}]) sont dérivées de mesures *in situ* de l'extinction de la lumière prises par un capteur du RPA monté sur rosette et un disque de Secchi, conformément aux procédures suivantes :

1. On estime le coefficient d'atténuation verticale descendante pour le RPA (K_{d-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 du rayonnement descendant à une profondeur z) dans l'intervalle des profondeurs calculé à partir d'une profondeur minimale d'environ 50 m. La profondeur

minimale se situe habituellement autour de deux mètres, même si le calcul est parfois forcé sous 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 :

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

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

Les estimations de la profondeur euphotique (Z_{eu}) sont obtenues à l'aide de l'expression suivante :

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

Variables intégrées verticalement

Les inventaires intégrés de chlorophylle et des éléments nutritifs sont calculés pour divers intervalles de profondeurs (e.g. 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 élevée que les limites inférieures susmentionnées, on calcule les inventaires en établissant la limite inférieure de l'intégration à la profondeur maximale à cette station (e.g. 95 m pour P5). Les données à la surface (0 m) correspondent aux valeurs tirées de la profondeur d'échantillonnage la plus proche de la surface. Les données en profondeur inférieure correspondent :

1. aux valeurs interpolées lorsque l'échantillonnage est effectué sous la limite inférieure de l'intégration; ou
2. aux valeurs tirées de la profondeur d'échantillonnage la plus proche des eaux profondes 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 à partir des aliquotes regroupées d'eau prélevée dans la couche supérieure de 100 m en utilisant la technique d'Utermöhl (Utermöhl, 1931).

TÉLÉDÉTECTION PAR SATELLITE DE LA COULEUR DE L'OCÉAN

La chlorophylle *a* près de la surface est estimée à partir de données sur la couleur de l'océan recueillies par le capteur satellitaire SeaWiFS¹ lancé par le National Aeronautics and Space Administration (NASA) à la fin de l'été 1997, le capteur MODIS « Aqua »² lancé par la NASA en juillet 2002 et le capteur VIIRS³ lancé par NASA et la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) en octobre 2011. Ici, les données SeaWiFS de janvier 1998 à

¹ La page Web [OceanColor Web SeaWiFS de la NASA](#) contient de l'information à propos du capteur SeaWiFS (consultée le 2 décembre 2019).

² La page Web [OceanColor Web MODIS de la NASA](#) contient de l'information à propos du capteur MODIS (consultée le 2 décembre 2019).

³ La page Web [OceanColor Web VIIRS de la NASA](#) contient de l'information à propos du capteur VIIRS (consultée le 2 décembre 2019).

décembre 2007, les données MODIS de janvier 2008 à décembre 2011 et les données VIIRS de janvier 2012 à décembre 2018 sont combinées pour construire des séries chronologiques composites de la chlorophylle à la surface dans certaines sous-régions de la Région des Maritimes (déroit de Cabot [DC], du plateau néo-écossais est [EPN], du plateau néo-écossais central [CPN], du plateau néo-écossais ouest [OPN], haut-fond Lurcher [HL], banc de Georges [BG]; 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 de la réflectance mesurée par télédétection décrite dans O'Reilly *et al.* (1998), les coefficients des algorithmes pour chaque capteur étant accessibles sur la page Web [OceanColor Web Chlorophyll-a de NASA](#) (consultée le 2 octobre 2019). 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 chaque sous-région. Les caractéristiques de la floraison printanière du phytoplancton 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 indices sont calculés pour décrire les caractéristiques de la floraison printanière : la date de début (jour de l'année), la durée du cycle (en jours), la magnitude (l'intégrale de la concentration de chlorophylle sous la courbe de Gauss) et l'amplitude (concentration de chlorophylle maximale moins la concentration ambiante).

TABLEAUX SYNOPTIQUES DES ANOMALIES ANNUELLES

Des feuilles de notation des principaux indices, reposant sur des anomalies annuelles normalisées et ajustées pour tenir compte de la saison, représentent les observations physiques, chimiques et biologiques dans 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 le long de chacun des quatre sections standards (en tant que moyenne globale) reposent sur des modèles linéaires généraux (R Core Team, 2019) de la forme :

$Densité = \alpha + \beta_{ANNÉE} + \delta_{MOIS} + \varepsilon$ pour les stations d'échantillonnage à haute fréquence,

$Densité = \alpha + \beta_{ANNÉE} + \delta_{STATION} + \gamma_{SAISON} + \varepsilon$ pour les sections.

La *densité* est exprimée en unités par m² (ou L pour l'abondance du microplancton), α est la constante 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 sections, 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 du zooplancton (i.e. la biomasse du zooplancton et l'abondance du *Calanus finmarchicus*) pour chacune des sections (printemps et automne) et pour les relevés au chalut de l'écosystème (hiver et été) (e.g. les figures 25 à 28). 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, le terme « station » désigne le sous-ensemble de strates qui ont été échantillonnées durant au moins 10 années depuis 1999.

La *densité*, ou l'abondance du zooplancton ou du phytoplancton, est transformée en logarithme [$\log_{10}(n+1)$] 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 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 moindres carrés reposant sur des sommes de carrés de type III (Lenth *et al.*, 2019) 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 (i.e. en divisant l'écart-type des estimations annuelles sur la même période).

Un ensemble standard d'indices représentant les anomalies de 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 du MPO visées par le PMZA, y compris la Région des Maritimes. L'avis scientifique du MPO présente un tableau synoptique par zone comprenant des observations provenant de toutes les Régions visées par le PMZA (MPO, 2019) permettant de visualiser les tendances de la variabilité environnementale à l'échelle du plateau de l'Atlantique Nord-Ouest.

ACCÈS AUX PRODUITS DE DONNÉES

Les produits de données présentés aux figures 6, 8, 10, 11, 15 à 18, 21 à 30 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](#) (tous consultés le 2 décembre 2019).

PROGRAMME DE SURVEILLANCE DU BASSIN DE BEDFORD

La station Compass (44° 41' 37" N, 63° 38' 25" O) est occupée chaque semaine depuis 1992 dans le cadre du Programme de monitoring du bassin de Bedford (Li, 2014). Les occupations habituelles comprennent un capteur de CTD équipé [de capteurs standards](#) (consulté le 2 décembre 2019) et d'un trait de filet vertical pour l'identification et le dénombrement du zooplancton selon les protocoles du PMZA. Des échantillons d'eau sont prélevés à l'aide de bouteilles Niskin pour [diverses analyses](#) (consulté le 2 décembre 2019) 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 CTD et des bouteilles sont présentées dans ce résumé des conditions de 2018.

Pour faciliter l'interprétation, les conditions de surface sont exprimées comme la moyenne des mesures 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.

ENREGISTREUR DE PLANCTON EN CONTINU

L'enregistreur de plancton en continu (CPR) est un instrument tiré par des navires commerciaux qui prélève du plancton à des profondeurs d'environ 7 m sur un long ruban de soie continu (mailles d'environ 260 µm). La position sur le ruban correspond à l'emplacement des différentes stations d'échantillonnage. Les données recueillies à l'aide du CPR sont analysées pour 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 dans l'Atlantique

Nord-Ouest (1960 pour le plateau continental) à ce jour sont exactement les mêmes, de sorte que des comparaisons valides entre les années et les décennies sont possibles.

Les relevés du CPR entre Reykjavik et le golfe du Maine sont divisés en huit régions : OPN, EPN, le sud du plateau de Terre-Neuve, le plateau de Terre-Neuve (PT) et quatre régions dans la circulation subpolaire de l'Atlantique Nord-Ouest, lesquelles sont divisées en portions de cinq degrés de longitude (figure 5). Seules les données recueillies à l'aide du CPR dans le PN 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 recueillies par le CPR dans toutes les régions et pour toutes les décennies (notamment les quatre régions de la circulation subpolaire à l'est de 45° O) sont présentées dans les rapports annuels du Programme de monitoring de la zone atlantique au large du plateau continental (e.g. Yashayaev *et al.*, 2016). En 2017, on a effectué un échantillonnage à l'aide du CPR pendant 10 mois dans l'OPN et l'EPN.

Les abondances mensuelles de 14 taxons (obtenues par transformation $\log_{10} [N+1]$) et l'indice de couleur du phytoplancton (ICP), une mesure semi-quantitative de l'abondance totale du phytoplancton, sont calculés en faisant la moyenne des valeurs de chacun des échantillons prélevés dans l'OPN et l'EPN pour chaque mois et chaque année visés par l'échantillonnage. Ainsi, en plus de calculer l'ICP, on a examiné les taxons suivants : les diatomées et les dinoflagellés (phytoplancton), quatre groupes d'espèces/de stades de *Calanus*, trois taxons représentatifs de petits copépodes, deux taxons de macrozooplancton et trois taxons sensibles à l'acidification.

Il convient de noter la fusion, en 2018, de la Sir Alister Hardy Foundation for Ocean Science (SAHFOS), l'organisme qui dirigeait le relevé du CPR dans l'Atlantique Nord, avec la Marine Biological Association du Royaume-Uni. Le contrat a été transféré et se poursuit sans interruption ni modification. De plus, en 2018, le format des données sur les heures d'échantillonnage fournies a été modifié pour tout l'ensemble des données; ainsi, les heures d'échantillonnage ne reflètent plus les cycles solaires locaux comme auparavant, mais des valeurs de temps universel coordonné (UTC). Les cycles saisonniers climatologiques sont obtenus en calculant la moyenne des normales mensuelles pour la période 1992 à 2015, lesquelles sont comparées aux valeurs des mois échantillonnés en 2017. Des détails sont présentés pour trois indices d'abondance du phytoplancton et pour les *Calanus* I- IV et le *C. finmarchicus* V- VI. Les abondances annuelles et leurs anomalies sont calculées uniquement pour les années au cours desquelles il y a eu huit mois d'échantillonnage ou plus, sans interruption de trois mois consécutifs ou plus : ces conditions ont été remplies dans les deux régions en 2017.

OBSERVATIONS

PROPRIÉTÉS OPTIQUES ET DE MÉLANGE

À la station HL2, la couche de mélange (CM) est la plus profonde et l'indice de stratification (IS) est moindre durant les mois d'hiver, lorsque le gain de chaleur à la surface est faible et que le mélange induit par le vent est important (figure 6). La profondeur de la CM diminue au printemps et affiche des valeurs minimales entre les mois de juin et d'août, puis des valeurs plus élevées durant les quatre derniers mois de l'année. De façon semblable, l'IS augmente au printemps pour atteindre des valeurs maximales au mois d'août et septembre, puis chute durant les mois d'automne. Puisque l'IS est calculé en utilisant la profondeur de référence de 50 m, les faibles valeurs de l'IS concordent généralement avec les profondeurs de la CM de plus de

50 m. Inversement, les profondeurs de la CM moindres (< 50 m) correspondent à des valeurs d'IS plus élevées qui sont déterminées par l'intensité de la pycnocline sous la CM.

En 2018, les CM à la station HL2 ont suivi la tendance saisonnière habituelle, bien que les valeurs étaient généralement plus faibles que la normale tout au long de l'année. Les écarts les plus importants par rapport aux conditions normales ont été observés en février, avril, août, octobre et novembre, où les profondeurs de la CM étaient inférieures à la normale d'environ 10 à 15 m, ainsi qu'en décembre, où la CM était plus profonde que la normale d'environ 10 m. De même, l'IS a suivi la tendance saisonnière habituelle, avec des valeurs proches de la normale tout au long de l'année. Comme prévu, l'IS était le plus bas lorsque la CM se trouvait à plus de 50 m ou autour de cette profondeur, ce qui indique de bonnes conditions de mélange jusqu'à cette profondeur. L'IS était le plus élevé en août, ce qui coïncidait avec la CM la moins profonde. Les conditions de stratification supérieures à la normale en août étaient probablement associées aux températures de l'air plus élevées que la normale et aux conditions d'ensoleillement élevé qui ont prévalu à la fin de juillet et au début d'août 2018, et qui ont probablement entraîné un réchauffement accru de la surface de la colonne d'eau.

À la station P5, la profondeur de la CM est habituellement plus importante et plus variable, et la stratification est inférieure à celle observée à la station HL2 en raison du fort mélange dû aux marées. L'IS demeure normalement faible (en deçà de $0,01 \text{ kg/m}^4$) durant la plus grande partie de l'année, et la profondeur de la CM varie d'une profondeur quasi complète (90 m) en hiver, pour s'établir à environ 40 m en été (figure 6). En 2018, les CM de P5 étaient pour la plupart proches de la normale ou plus profondes que la normale, surtout au printemps, en été et à la fin de l'automne. Cela s'est également traduit par des valeurs de l'IS inférieures à la normale pendant ces périodes. La CM plus profonde que la normale observée en juin était probablement associée aux inondations importantes de la rivière Saint-Jean, ayant résulté au mélange d'eau douce sur toute la colonne d'eau. L'IS était le plus élevé en août, ce qui a également coïncidé avec la CM la moins profonde; cette tendance est semblable à celle observée à la station HL2. Cela est également probablement lié aux conditions météorologiques chaudes et ensoleillées qui ont prévalu à cette période dans la majeure partie de la Région des Maritimes. Notez que l'on a estimé la profondeur de la CM en octobre à la station P5 à partir de la température seulement, à cause de problèmes avec le capteur de conductivité.

En 2018, les observations du vent à l'aéroport d'Halifax, un indicateur pour la station HL2, ont révélé que les rafales de vent maximales quotidiennes étaient pour la plupart supérieures à la normale tout au long de l'année (figure 7). La diminution de la vitesse du vent observée au début de février a pu contribuer à l'augmentation de la stratification (valeurs de la CM moins élevées que la normale et valeurs de l'IS plus élevées que la normale) à la station HL2 à ce moment-là. De même, les conditions de vitesse de vent comparativement plus faibles en août ont probablement aussi contribué à la stratification supérieure à la normale à la station HL2 à cette période. Malgré les vents forts enregistrés en automne, seules les valeurs maximales de vent en novembre semblent s'être traduites par une CM plus profonde que la normale, ce qui donne à penser que d'autres facteurs (par exemple, l'intrusion d'eau) ont pu contribuer à maintenir la stratification de la colonne d'eau en octobre. Les observations du vent à Grand Manan, un indicateur pour la station P5, ont principalement suivi la tendance climatologique tout au long de l'année. Des périodes de conditions de vitesse de vent supérieure à la normale ont été observées en mars et en octobre sans toutefois se traduire par une hausse des conditions de mélange, renforçant ainsi le rôle dominant du mélange des marées dans le contrôle de la profondeur de la CM à la station P5. La valeur de la CM la moins élevée et la valeur de l'IS la plus élevée observées à la station P5 en août pourraient être liées aux conditions de vitesse de vent plus faible observées ce mois-là ainsi qu'à des conditions météorologiques favorables.

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 elles sont moindres pendant la période de floraison, lorsque l'atténuation de la lumière dans la colonne d'eau est maximale (figure 8). Les profondeurs Z_{eu} basées sur les mesures du RPA et du disque de Secchi étaient pour la plupart variables tout au long de l'hiver et du printemps à la station HL2 en 2018, et elles étaient généralement plus élevées que la normale en été et en automne, en particulier. La Z_{eu} la moins profonde a été observée fin mars/début avril, ce qui a coïncidé avec le pic printanier de floraison du phytoplancton. À l'inverse, la Z_{eu} la plus profonde a été observée fin avril/début mai, ce qui a coïncidé avec la fin de la floraison du phytoplancton.

À la station P5, les profondeurs de la Z_{eu} sont relativement constantes tout au long de l'année, le principal facteur d'atténuation étant la matière inerte suspendue résultant de l'action des marées et de l'apport en eau douce du continent (figure 8). En 2018, les Z_{eu} mesurées selon le RPA et le disque de Secchi étaient proches de la normale ou inférieures à celle-ci, malgré des concentrations de chlorophylle inférieures à la normale tout au long de l'année à la station P5. Les Z_{eu} plus profondes que la normale en avril et en juin peuvent être associées, respectivement, au début tardif de la floraison printanière du phytoplancton et aux concentrations de chlorophylle à la surface nettement plus faibles que la normale en juin.

ÉLÉMENTS NUTRITIFS

Les principaux éléments nutritifs inorganiques dissous (nitrate, silicate, phosphate) 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 croissance du phytoplancton dans les eaux côtières de la Région des Maritimes est le plus souvent limitée par la disponibilité de l'azote (MPO, 2000), le présent rapport met l'accent principalement sur la variabilité du nitrate, l'information sur les concentrations de silicate et de phosphate étant présentée principalement pour aider à interpréter la succession des groupes taxonomiques de phytoplancton aux stations HL2 et P5.

Stations d'échantillonnage à haute fréquence

À la station HL2, les concentrations de nitrate 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). Les concentrations de nitrate à la surface se mettent à diminuer au début de la floraison printanière du phytoplancton, les plus faibles étant observées entre la fin du printemps et le début de l'automne. Les concentrations de nitrate 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 la sédimentation et la décomposition du phytoplancton provenant de la floraison printanière (Petrie et Yeats, 2000).

À la fin de 2017, les inventaires de nitrate à la surface et en profondeur étaient respectivement inférieurs et supérieurs à la normale (Johnson *et al.*, 2020). Au début de 2018, les inventaires à la surface et en profondeur avaient atteint des valeurs normales (figure 10), ce qui indique une hausse du mélange pendant cette période. Les valeurs du nitrate à la surface sont tombées au-dessous de la normale au printemps, en été et au début de l'automne, mais ont rebondi au-dessus à la fin de l'automne, phénomène très probablement associé à une intrusion d'eau, les teneurs en éléments nutritifs en profondeur étant restés inférieurs à la normale et les profondeurs de la CM étant pour la plupart plus faibles que la normale pendant les mois d'automne. L'appauvrissement du nitrate à la surface s'est produit légèrement plus tôt que la normale et coïncidait avec le début de la floraison printanière du phytoplancton (figure 9). Les conditions d'appauvrissement du nitrate se sont également étendues à des profondeurs plus élevées que la normale dans la colonne d'eau au cours des mois de printemps et d'été, contribuant ainsi à un inventaire du nitrate à la surface inférieur à la normale, comme l'indique

une anomalie négative globale (figure 11). L'inventaire du nitrate en profondeur à la station HL2 en 2018 était variable pendant les mois d'hiver et de printemps, mais il était inférieur à la normale en été et en automne (figure 10). Des impulsions d'apports en nitrate ont été observées en hiver et au printemps, mais le renouvellement global du nitrate en profondeur pendant les mois d'été était plus faible (moins intense et plus courte dans le temps) que la normale, ce qui a contribué à un inventaire du nitrate en profondeur inférieur à la normale, comme le montre une anomalie négative globale (figure 11). Comparativement au nitrate, les inventaires de silicate et de phosphate à la surface et en profondeur étant également inférieurs à la normale à la station HL2 en 2018 (figure 11).

La dynamique du nitrate à la station P5 diffère considérablement de celle de la station HL2 en raison du fort mélange des marées et des sources de nitrate de cette station, lesquelles proviennent principalement des apports fluviaux et de la décomposition des matières organiques. Ces facteurs combinés contribuent à un plus faible renouvellement du nitrate dans les eaux profondes tout en maintenant un inventaire global à la surface plus élevé par rapport à la station HL2. Les concentrations de nitrate 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 nitrate commencent à décliner dans le haut de la colonne d'eau lorsque la floraison printanière du phytoplancton débute au mois d'avril, et les concentrations de nitrate à la surface les plus faibles sont généralement observées en juin et en juillet.

En 2018, l'inventaire du nitrate à la surface à la station P5 était principalement inférieur à la normale au printemps et en automne, en raison d'un appauvrissement plus marqué, plus en profondeur et plus long que la moyenne, les concentrations inférieures à la normale mesurées à la surface commençant dès la mi-février et se prolongeant au-delà de la mi-octobre, période où se produit généralement le renouvellement à la surface (figure 9). En conséquence, l'anomalie globale du nitrate à la surface était négative (figure 11). De même, l'inventaire du nitrate en profondeur à la station P5 en 2018 était pour l'essentiel normal ou légèrement inférieur à la normale tout au long de l'année (figure 10), ce qui a entraîné une anomalie négative globale (figure 11). Il convient de noter que l'inventaire du nitrate en eaux profondes pour l'échantillonnage de juin n'était pas disponible, car la mesure la plus profonde valable a été prise à environ 50 m. L'inventaire de silicate et de phosphate à la surface et en profondeur étant également inférieur à la normale à la station P5 en 2018 (figure 11).

Relevés à vaste échelle

Les plus fortes concentrations de nitrate le long des sections sont observées dans les eaux profondes du talus du plateau néo-écossais, du détroit de Cabot (CSL) et du bassin d'Émeraude (i.e., les eaux profondes de la station HL3 sur la section d'Halifax) au printemps et en automne (figures 12a et 12b). Les concentrations de nitrate à la surface le long des sections dépendent fortement du moment de l'échantillonnage relativement au moment de la floraison printanière ou automnale du phytoplancton. Au printemps 2018 (figure 12a), les concentrations de nitrate à la surface étaient faibles dans toutes les stations des sections CSL et LL. L'examen des images composites hebdomadaires des concentrations de chlorophylle à la surface (non montrées ici) laisse croire que les conditions de floraison printanière du phytoplancton dans les régions EPN et DC s'étaient produites environ une et deux semaines avant l'occupation des sections LL et CSL, respectivement. Les faibles concentrations de nitrate à la surface indiquaient donc que l'eau était appauvrie en éléments nutritifs à cause de la floraison du phytoplancton qui s'était produite plus tôt. Pour les sections HL et BBL, de faibles concentrations de nitrate à la surface ont été observées dans les stations côtières (1 à 5), mais des concentrations relativement plus élevées ont été observées dans les stations au large des

côtes (6 et 7). Encore une fois, les images composites hebdomadaires de chlorophylle à la surface semblent indiquer que des conditions de faible floraison étaient présentes au moment de l'occupation des sections HL et BBL, avec des teneurs en phytoplancton inférieures avant la floraison, loin de la côte. Les importantes anomalies positives des teneurs en nitrate observées aux stations au large des côtes (6 et 7) des sections HL et BBL indiquent donc une faible absorption des éléments nutritifs par le phytoplancton, qui explique pourquoi les eaux de surface ne sont pas encore appauvries en éléments nutritifs. Les anomalies printanières des concentrations de nitrate en profondeur, dans la plage de 50 à 150 m, varient, de négatives pour la plupart le long du section CSL à positives pour la plupart le long du section BBL, bien qu'une importante variabilité transversale soit également observée le long de chaque section (figure 12a). Malgré les concentrations élevées de nitrate en profondeur (i.e. au-dessous de 150 m) à toutes les stations en eaux profondes, les anomalies printanières dans cette plage de profondeurs étaient pour la plupart négatives pour toutes les sections, à l'exception de CSL.

À l'automne 2018, de faibles concentrations de nitrate à la surface ont été observées dans toutes les stations de toutes les sections (figure 12b). Toutes les sections ont été occupées dans la seconde moitié de septembre 2018, et les faibles concentrations de nitrate à la surface étaient pour la plupart représentatives des conditions de floraison d'automne précédant le renouvellement en éléments nutritifs des eaux de surface. Les images composites hebdomadaires de la chlorophylle à la surface (non montrées ici) ont indiqué que la floraison automnale s'était produite fin septembre pour le détroit de Cabot (DC) et fin octobre/début novembre pour l'EPN, le CPN et l'OPN. Les anomalies de la concentration de nitrate à la surface dans la plage de 0 à 50 m étaient pour la plupart négatives ou faiblement négatives dans la majorité des stations de chaque section. Dans la plage de 50 à 150 m, les anomalies de l'automne présentaient des signes variables pour le section CSL, et elles étaient surtout négatives pour les stations côtières, mais surtout positives pour les stations au large des côtes des sections HL et BBL. La section LL montrait une tendance opposée, les anomalies étant positives sur la côte et négatives au large (figure 12b). Les plus fortes concentrations de nitrate ont été observées dans les stations en eaux profondes (i.e. au-dessous de 150 m) de chaque section, CSL présentant des anomalies positives dans toutes les stations. Pour les sections HL et BBL, les anomalies étaient pour la plupart positives sur le talus, mais surtout négatives lorsqu'on s'en éloignait.

Dans l'ensemble, les anomalies annuelles de l'inventaire du nitrate à la surface étaient négatives pour les sections CSL et LL et positives pour les sections HL et BBL, ce qui, comme il est décrit ci-dessus, peut s'expliquer par le moment relatif des conditions de floraison au printemps et à l'automne par rapport à l'occupation des sections. Les anomalies annuelles de l'inventaire du nitrate en profondeur (i.e. de 50 à 150 m) étaient négatives le long de toutes les sections en 2018 (figure 11), comme c'est principalement le cas depuis 2016. Les inventaires de silicate et de phosphate à la surface et en profondeur étaient également inférieurs à la normale dans toutes les sections en 2018, les anomalies annuelles des concentrations de silicate et de phosphate en profondeur étant principalement négatives depuis 2013.

En raison de l'indisponibilité des navires, l'échantillonnage pendant le relevé au chalut de l'écosystème de l'été 2018 (deuxième moitié de juillet) a été limité aux endroits situés à l'ouest de 63° O, qui comprenaient l'OPN, l'est du GM et la baie de Fundy. Les anomalies de la concentration de nitrate en profondeur étaient principalement négatives (figure 13) sur la plus grande partie de la zone couverte, à l'exception d'anomalies légèrement positives près du banc de LaHave et en particulier près du talus, ce qui indique peut-être la présence d'eaux chaudes riches en éléments nutritifs à cet endroit. Les concentrations de nitrate en profondeur inférieures à la normale du relevé d'été concordent avec la tendance générale observée ailleurs (i.e. sur les sections et aux stations fixes).

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 des éléments nutritifs sont les plus élevées. En juillet 2018, des valeurs de saturation en oxygène en profondeur proches de 60 % ou inférieures à ce pourcentage ont été observées principalement dans le bassin de LaHave et dans les eaux du talus au sud du banc de LaHave (figure 14), dans le CPN et l'OPN, respectivement.

PHYTOPLANCTON

Bien que la variabilité temporelle et spatiale du phytoplancton soit élevée dans les eaux côtières et du plateau, on observe une tendance annuelle récurrente comprenant une forte floraison du phytoplancton au printemps, dominée par les diatomées, et de plus faibles floraisons secondaires en été et en automne, dans l'ensemble du PN. Il y a prolifération lorsque la croissance du phytoplancton dépasse les pertes découlant du broutage et de la sédimentation (Behrenfeld et Boss, 2014). Le début de la floraison printanière semble 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). L'amplitude de la floraison printanière serait régulée en grande partie par l'inventaire des éléments nutritifs, et la durée de la floraison, par l'apport en éléments nutritifs et, secondairement, par des processus de perte comme la sédimentation d'agrégations de phytoplancton et le broutage par le zooplancton (Johnson *et al.*, 2012).

Stations d'échantillonnage à haute fréquence

En 2018, le moment du début de la floraison printanière à la station HL2 était normal, mais la durée était plus courte que la normale avec une baisse rapide des concentrations de chlorophylle après le pic d'intensité. L'intensité de la floraison était supérieure à la normale, les plus fortes concentrations de chlorophylle ayant été enregistrées dans la plage de profondeurs de 40 à 60 m (figure 15). Les concentrations de chlorophylle supérieures à la normale à environ 100 m de profondeur observées fin mars/début avril (figure 15) coïncidaient avec des concentrations de nitrate inférieures à la normale à cette profondeur et à cette époque de l'année (figure 9). La floraison printanière était dominée par les diatomées, même si les concentrations de flagellés étaient brièvement plus élevées que la normale juste avant le pic d'intensité (figure 16). Bien que sous-représentées par l'inventaire intégré de la chlorophylle, des concentrations de chlorophylle d'intensité relativement faible sous la surface ont été observées au printemps, en été et en automne. On a observé des conditions de faible floraison automnale à la surface fin octobre à la station HL2 en 2018 (figure 15). Dans l'ensemble, les anomalies de la teneur en chlorophylle intégrée à la station HL2 en 2018 étaient légèrement positives, principalement en raison des concentrations de chlorophylle supérieures à la normale mesurées au pic de la floraison printanière (figure 17). L'anomalie de l'abondance des diatomées et des dinoflagellés était également négative ou légèrement négative en 2018 à la station HL2, observation généralement conforme à la tendance ayant débuté en 2009, alors que l'abondance des ciliés et des flagellés était supérieure ou proche des valeurs normales en 2017 (figure 18). Hormis la période précédant le pic de floraison printanière, l'abondance du phytoplancton était surtout légèrement inférieure à la normale tout au long de l'année (figure 16). La composition de la communauté du phytoplancton estivale a indiqué une abondance relative de diatomées inférieure à la normale et une abondance relative de flagellés supérieure à la normale, ce qui pourrait être lié à l'activité du phytoplancton sous la surface observée durant l'été. Les ciliés, eux aussi relativement plus abondants pendant une courte période suivant immédiatement le pic de floraison printanière, sont restés légèrement plus abondants que la normale tout au long de l'été et de l'automne (figure 16).

Le début de la floraison printanière du phytoplancton à la station P5 en 2018 a été retardé d'environ un mois (peut-être accentué par la faible résolution temporelle de l'échantillonnage mensuel), et son intensité était inférieure à la normale, comme le montrent les concentrations de chlorophylle à la surface qui sont bien inférieures à la normale (figure 15). Les concentrations de chlorophylle à la surface sont restées inférieures à la normale pendant les mois d'été jusqu'en septembre, où l'on a observé une croissance du phytoplancton sous la surface, à environ 15 m de profondeur, ce qui était représentatif d'une faible floraison en fin d'été et survenant un mois plus tard que la normale. Les concentrations de chlorophylle sont restées faibles dans toute la colonne d'eau pendant les mois d'automne (figure 15). L'abondance du phytoplancton était pour l'essentiel inférieure à la normale ou s'en rapprochait tout au long de l'année, à l'exception de deux niveaux d'abondance très faibles (figure 16) enregistrés pendant la faible floraison printanière en mai ainsi qu'en août, lorsque la stratification était beaucoup moins profonde que la normale. La communauté du phytoplancton était principalement composée de diatomées tout au long de l'année et en particulier pendant la période de prolifération de mai à juillet. On a observé une abondance relative de flagellés plus importante que la normale en septembre, coïncidant avec l'impulsion de la biomasse de phytoplancton sous la surface. Les ciliés étaient également relativement plus abondants que la normale en novembre et en décembre (figure 16). Dans l'ensemble, l'anomalie annuelle des teneurs en chlorophylle intégrée à la station P5 en 2018 était négative en raison des conditions de faible floraison printanière et des faibles concentrations de chlorophylle estivales qui s'en sont suivies (figure 17).

L'anomalie de l'abondance des diatomées était négative à la station P5 en 2018 et correspond principalement à la tendance observée au cours des dix dernières années, tandis que l'anomalie de l'abondance des dinoflagellés et des ciliés était positive et conforme à la tendance des huit dernières années (figure 18). L'abondance des flagellés était légèrement inférieure à la normale en raison de leur quasi-absence pendant l'hiver, le printemps et l'été (figures 18 et 16, respectivement).

Relevés à vaste échelle et télédétection par satellite

L'état du phytoplancton à grande échelle est évalué selon l'inventaire annuel de la chlorophylle intégrée à partir de l'échantillonnage *in situ* sur les sections principales (figure 17), les estimations bimensuelles de la chlorophylle de surface mesurée par télédétection (figure 19), et des indices de la floraison printanière telles que calculés à partir des estimations de la chlorophylle par télédétection (figure 20). L'inventaire annuel de la chlorophylle intégrée mesuré lors des relevés saisonniers de 2018 a indiqué des concentrations de chlorophylle supérieures à la normale ou qui s'en rapprochaient le long des sections est (CSL, LL) et inférieures à la normale le long des sections ouest (HL, BBL) (figure 17). On a observé une tendance similaire de l'amplitude et de l'ampleur de la floraison printanière, avec les anomalies positives les plus élevées dans le DC et l'EPN, et les anomalies négatives les plus faibles dans le CPN, l'OPN et le BG (figure 20). Cela laisse croire que la magnitude de la floraison printanière (i.e. une mesure combinée de l'intensité et de la durée) est le principal moteur de l'inventaire annuel global de la chlorophylle. Sauf dans le cas du BG, cette tendance est-ouest apparaît également dans les estimations bimensuelles de la chlorophylle à la surface, à partir du DC (durée la plus longue avec une amplitude modérée), à l'EPN (amplitude la plus grande et durée moyenne), au CPN (amplitude et durée moyennes), à l'OPN (faible amplitude et courte durée), et au section HL (prolifération printanière non discernable) (figures 19a et 19b).

Les estimations bimensuelles de la chlorophylle de surface ont montré des concentrations proches de la normale dans toutes les régions pendant les mois d'été suivant la floraison printanière, et des valeurs généralement inférieures à la normale pendant les mois d'automne

(figures 19a et 19b), avec, par conséquent, des amplitudes de la floraison automnale inférieures à la normale dans toutes les régions.

Le début normal et la durée plus courte de la floraison printanière dans la sous-région du CPN concordaient avec ceux observés *in situ* à la station HL2 en 2018 (figures 15, 19a). Cependant, l'amplitude de la floraison estimée à partir des données de télédétection était nettement inférieure à celle mesurée *in situ* en raison de la pénétration profonde de la floraison printanière, pour laquelle les concentrations maximales de chlorophylle apparaissent au-delà la profondeur optique du capteur satellitaire.

Les amplitudes prédites par le modèle de la floraison printanière (figure 20) sont généralement assez conformes aux estimations de la chlorophylle à la surface (figures 19a et b). Cependant, des incohérences dans les autres indices de la floraison sont souvent remarquées comme, par exemple, la durée de la floraison pour le DC en 2018 (surestimée) ou le début de la floraison pour le CPN en 2018 (sous-estimée). Cela indique 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 où la floraison printanière est variable, avec des implications directes sur la magnitude de la floraison prédite par le modèle puisqu'il s'agit d'une mesure combinée de l'intensité et de la durée.

La faible variabilité annuelle de la chlorophylle de surface dans la sous-région du haut-fond Lurcher, où les eaux sont principalement mélangées par les marées, est telle qu'il est difficile de discerner les conditions de floraison (figure 19b) si bien que les différents indices de la floraison doivent être interprétés avec précaution pour cette sous-région.

Les estimations bimensuelles de la chlorophylle de surface donnent à penser que la floraison automnale du phytoplancton dans les sous-régions du PN (i.e. l'EPN, le CPN et l'OPN) est moins marquée depuis 2012 (figures 19a et 19b), ce qui correspond à l'introduction du capteur VIIRS. Il est recommandé de poursuivre les recherches afin d'évaluer si ce phénomène est réel ou s'il est dû à un biais des capteurs.

ZOOPLANCTON

Stations d'échantillonnage à haute fréquence

La biomasse du zooplancton est présentée ici en termes de biomasse humide totale pour le zooplancton de taille supérieure à 0,202 mm et de biomasse sèche pour le zooplancton de taille comprise entre 0,202 mm et 10 mm. Par conséquent, les estimations de la biomasse sèche sont une représentation fidèle de la classe de tailles du mésozooplancton, tandis que les estimations de la biomasse humide peuvent représenter à la fois le mésozooplancton et le macrozooplancton, y compris le plancton gélatineux. Cependant, comme le montre la figure 21, il existe une forte similitude entre les tendances de variabilité annuelle de la biomasse sèche et de la biomasse humide aux stations HL2 et P5.

À la station HL2, la biomasse et l'abondance du zooplancton total sont habituellement les plus faibles en janvier et en février et augmentent jusqu'à atteindre des valeurs maximales au mois d'avril (tendance semblable à celle observée au pic de floraison printanière du phytoplancton), avant de décliner de nouveau à l'automne (figures 21 et 22). En 2018, la biomasse du zooplancton et l'abondance du zooplancton total à la station HL2 étaient principalement variables (i.e. qu'elles fluctuaient autour de la moyenne climatologique) en hiver, au printemps et au début de l'été, puis inférieures à la normale à la fin de l'été et en automne. Dans l'ensemble, la biomasse moyenne annuelle de mésozooplancton à la station HL2 en 2018 était inférieure à la normale (figure 17).

La communauté du zooplancton était fortement dominée par les copépodes tout au long de l'année à la station HL2 (figure 22). On a observé une abondance relative plus importante que la normale du groupe cnidaires + appendiculaires peu après la floraison printanière du phytoplancton (composé principalement de *Siphonophora* non identifiés) et à la fin de l'automne (composé principalement d'*Aglantha digitale*). La présence de bivalves (groupe cladocères + bivalves) et de polychètes et *Parasagitta* non identifiés (groupe polychètes + chétognathes) a également contribué à l'abondance relative légèrement plus élevée de ces groupes observée en juin et juillet.

À la fin de 2017, l'abondance du *C. finmarchicus* à la station HL2 était légèrement supérieure à la normale, et les copépodites de stade V représentaient plus de 95 % de la population (Johnson *et al.*, 2020), ce qui contraste considérablement avec les valeurs climatologiques. Au début de 2018, l'abondance du *C. finmarchicus* avait chuté au-dessous de la normale, le stade V et le stade VI des copépodites représentant chacun environ 40 % de la population (figure 23). En outre, l'abondance du *C. finmarchicus* à la station HL2 était principalement inférieure à la normale du printemps jusqu'à la fin de l'automne (figure 23). La production printanière était légèrement plus hâtive que d'habitude (figure 23). La fin de l'été a été caractérisée par une abondance relative plus faible du stade IV et une abondance relative plus élevée du stade CV, tandis que l'inverse a été observé au cours des mois d'automne (figure 23). Ces changements dans la population de *C. finmarchicus* à la fin de l'été et à l'automne semblent être liés aux changements des propriétés de la masse d'eau (voir plus loin dans le présent document). Dans l'ensemble, l'abondance annuelle moyenne de *C. finmarchicus* était inférieure à la normale à la station HL2 en 2018 (figure 17).

Comme les copépodes représentent la fraction dominante de l'abondance du zooplancton total, leur abondance a suivi une tendance très similaire à celle du zooplancton total, avec une variabilité modérée en hiver, au printemps et au début de l'été, et des valeurs inférieures à la normale à la fin de l'été et à l'automne (figure 24a). Le copépe le plus abondant trouvé à la station HL2 était l'*Oithona similis*, qui représentait 40 à 60 % de l'abondance des copépodes totaux (figure 24a) tout au long de l'année. L'abondance des copépodes plus élevée que la normale était due à des dénombrements élevés de *Calanus* (principalement des derniers stades nauplius regroupés sous « Autres ») et, dans une moindre mesure, de *Pseudocalanus* en mars et à des dénombrements élevés de *Temora longicornis* en juin, comme le montre l'abondance relative plus élevée que la normale de ces taxons (figure 24a). D'autres anomalies notables touchant la communauté des copépodes en 2018 concernaient les abondances relatives inférieures à la normale des *Centropages* à l'automne, des copépodes d'eau chaude *Paracalanus* à l'automne, et des copépodes d'eau profonde *Microcalanus* et de l'espèce d'eau froide *Calanus hyperboreus* pendant la majeure partie de l'année. En revanche, l'*Oithona atlantica* était relativement plus abondant en hiver et en été, tandis que le *Metridia lucens* était également plus abondant au printemps et en été, mais moins abondante en automne (figure 24a). Dans l'ensemble, à la station HL2 en 2018, l'abondance moyenne annuelle des *Pseudocalanus* était légèrement supérieure à la normale, l'abondance des copépodes totaux était inférieure à la normale et l'abondance des non-copépodes était supérieure à la normale, ce qui, pour ces derniers, a été le cas au cours des huit dernières années (figure 17).

À la station P5, la biomasse et l'abondance du zooplancton total sont habituellement les plus faibles entre les mois de janvier et de mai et augmentent jusqu'à atteindre des valeurs maximales entre les mois de juillet et de septembre, en retard d'environ un mois par rapport à la croissance du phytoplancton, avant de décliner de nouveau à la fin de l'automne (figures 21 et 22). En 2018, la biomasse du zooplancton était inférieure à la normale en hiver, au printemps et en automne, et variable en été. Dans l'ensemble, l'anomalie annuelle de la biomasse du

mésozooplancton était négative en 2018 (figure 17). L'abondance du zooplancton total est restée près de la normale ou légèrement inférieure à celle-ci tout au long de l'année (figure 22).

La communauté du zooplancton à la station P5 était principalement dominée par les copépodes tout au long de l'année, sauf si l'on tient compte de l'abondance relative plus élevée que la normale d'autres groupes de non-copépodes (principalement des cirripèdes non identifiés) au printemps et du *Podon leuckartii* (groupe cladocères + bivalves) en été (figure 22).

L'abondance du *C. finmarchicus* à la station P5 était principalement inférieure à la normale tout au long de l'année, à l'exception de quelques mois où l'abondance était plus élevée (juin et juillet) ou normale (septembre) (figure 23). Dans l'ensemble, l'abondance annuelle moyenne du *C. finmarchicus* était inférieure à la normale à la station P5 en 2018 (figure 17). Le *C. finmarchicus* était complètement absent des échantillons prélevés en janvier et août 2018, période durant laquelle on pourrait s'attendre à une présence relativement importante de l'espèce au stade CV (figure 23).

La tendance annuelle de l'abondance des copépodes totaux à la station P5 en 2018 était semblable à celui de l'abondance du zooplancton total puisque la communauté du zooplancton est dominée par les copépodes (figure 24b). Le petit copépode *Oithona similis* était le plus abondant, et son abondance relative était plus élevée que la normale en hiver, au printemps et à la fin de l'automne. On a aussi observé des abondances relatives plus élevées que la normale pour les *Paracalanus* et l'*Eurytemora herdmani* en automne et à la fin de l'été, respectivement. D'autre part, on a observé des abondances relatives inférieures à la normale pour le *Temora longicornis* en été et pour les *Pseudocalanus* au printemps et en été (figure 24b).

Dans l'ensemble, à la station P5 en 2018, les anomalies annuelles de l'abondance étaient négatives pour deux taxons de copépodes dominants, le *C. finmarchicus* et les *Pseudocalanus*, ainsi que pour les copépodes totaux et les non-copépodes totaux (figure 17).

Relevés à vaste échelle

La biomasse du zooplancton était inférieure à la normale pour toutes les sections au printemps et à l'automne 2018, sauf pour LL, où elle était supérieure à la normale à l'automne. L'anomalie positive à l'automne pour LL était principalement due à la biomasse élevée mesurée à la station LL8, située sur le talus, alors que la biomasse était faible aux autres stations le long de LL (figure 25). En conséquence, les anomalies annuelles de la biomasse du zooplancton étaient négatives pour les sections CSL, HL et BBL, mais positive pour LL, où la biomasse du zooplancton a continué à afficher une tendance généralement inférieure à la normale, comme il a été observé ces dernières années (figure 17). La biomasse du zooplancton mesurée lors du relevé au chalut de l'écosystème durant l'été 2018 était également inférieure à la normale, bien que cette évaluation puisse être biaisée par la couverture spatiale limitée du relevé (figure 26).

L'abondance du *C. finmarchicus* était inférieure à la normale pour toutes les sections au printemps et à l'automne 2018, sauf pour HL, où elle était supérieure à la normale à l'automne. L'anomalie légèrement positive à l'automne pour HL était due à l'abondance relativement élevée du *C. finmarchicus* mesurée dans le bassin d'Émeraude, à la station HL3 (figure 27). Sur une base annuelle, les anomalies résultantes de l'abondance du *C. finmarchicus* étaient toutefois négatives pour toutes les sections, la tendance de l'abondance continuant d'être généralement inférieure à la normale, comme il est observé depuis 2011 pour la plupart des sections (figure 17). De même, l'abondance du *C. finmarchicus* était également inférieure à la normale lors du relevé au chalut de l'écosystème durant l'été 2018 (figure 28).

L'anomalie de l'abondance annuelle des *Pseudocalanus* était négative pour HL, mais légèrement positive ou proche de zéro pour les autres sections en 2018 (figure 17). On a

observé des anomalies annuelles négatives de l'abondance des copépodes totaux pour toutes les sections en 2018, en particulier pour HL, tandis que l'abondance des non-copépodes totaux était supérieure à la normale ou s'en rapprochait pour toutes les sections (figure 17). Parmi les dix groupes de non-copépodes les plus abondants, les anomalies de l'abondance en 2018 étaient positives ou proches de la normale pour huit groupes (larvacés, gastéropodes, chétognathes, polychètes, bivalves, échinodermes, cirripèdes et amphipodes) et négatives pour les euphausiacés et surtout les ostracodes. L'abondance des ostracodes (crustacés d'eau profonde) était particulièrement inférieure à la normale pour une quatrième année consécutive (figure 29). Dans l'ensemble, cependant, ces résultats s'accordent avec la tendance à la hausse de l'abondance des non-copépodes observée ces dernières années (figure 17).

Espèces indicatrices

Les espèces indicatrices donnent un aperçu de la réponse de la communauté des copépodes aux changements des propriétés de la masse d'eau. Les espèces de *Calanus* arctiques (*Calanus hyperboreus* et *Calanus glacialis*) étaient pour la plupart moins abondantes que la normale dans toute la région en 2018. La seule exception était pour la section du détroit de Cabot, où l'anomalie positive était due à une abondance du *C. glacialis* plus élevée que la normale durant l'échantillonnage du printemps. À l'exception de CSL, l'abondance inférieure à la normale des espèces de *Calanus* arctiques est une continuation de la tendance commencée en 2012 (figure 30). En revanche, les espèces de copépodes d'eau chaude extracôtière (*Clausocalanus* spp., *Mecynocera clausi* et *Pleuromamma borealis*) étaient pour la plupart plus abondantes que la normale dans toute la région en 2018. On a observé des anomalies négatives pour les sections CSL et BBL, principalement en raison de l'abondance plus faible que la normale des *Clausocalanus* le long de CSL au printemps (aucune occurrence) et à l'automne, et de l'abondance plus faible que la normale du *Mecynocera clausi* et des *Pleuromamma* le long de BBL, en particulier en automne. Là encore, l'abondance principalement plus élevée que la normale des espèces de copépodes d'eau chaude extracôtière poursuit une tendance qui a débuté en 2012 (figure 30). Les anomalies de l'abondance des espèces de copépodes d'eau chaude côtière (les copépodes d'été/automne *Paracalanus* et *Centropages typicus*) étaient positives dans toute la région en 2018. Bien qu'une tendance temporelle soit difficile à discerner dans les anomalies de l'abondance des espèces d'eau chaude côtière, les anomalies en 2018 semblent augmenter de l'est (CSL) vers l'ouest (P5), ce qui indique peut-être un gradient de température similaire le long du même parcours.

DISCUSSION

Les observations dérivées de la surveillance de l'océan au cours de 2018 indiquent que les changements de la communauté planctonique qui ont commencé vers 2010 sur le plateau néo-écossais se poursuivent, sous l'effet de températures océaniques supérieures à la moyenne et d'une forte variabilité intra-annuelle du milieu physique. Les changements du milieu pélagique sont caractérisés par des anomalies principalement négatives des concentrations de silicate et de phosphate en profondeur depuis 2013 et des concentrations de nitrate en profondeur depuis 2016. Les changements dans la communauté planctonique sont caractérisés par des anomalies principalement négatives de l'abondance des diatomées et d'autres grandes espèces de phytoplancton depuis 2009, de la biomasse du zooplancton depuis 2010, de l'abondance du *C. finmarchicus* depuis 2011 et l'abondance des *Calanus* arctiques depuis 2012, tandis que les anomalies de l'abondance des copépodes et des non-copépodes d'eau chaude extracôtière sont principalement positives dans les parties centrales et occidentales de la région depuis 2012.

Dans la Région des Maritimes, le PN est caractérisé par un fort cycle saisonnier de température et de stratification associé à des gradients longitudinaux et transversaux du plateau résultant de l'advection d'eaux douces froides sur l'EPN côtier en provenance du golfe du Saint-Laurent au nord-est et de l'intrusion des eaux chaudes et salées du talus dans l'OPN et le CPN au sud-ouest (Hebert *et al.*, 2020). Les températures de l'océan dans le PN et dans le GM montrent une forte variabilité interdécennale depuis les années 1950, les plus récentes années (2010 à 2018) étant clairement plus chaudes que la moyenne à long terme répertoriée pour cette période (Hebert *et al.*, 2020). L'indice composite de température de la Région des Maritimes, qui comprend 18 séries chronologiques de températures océaniques depuis la surface jusqu'au fond dans plusieurs sous-régions, indique que des températures supérieures à la moyenne ont été enregistrées dans presque tous les endroits et à toutes les profondeurs en 2018. Les anomalies de la température de la surface de la mer étaient positives pour la plupart des zones du PN et du GM en 2018, même si elles étaient plus faibles qu'en 2016 et 2017. Les températures de surface de la mer étaient particulièrement élevées pendant les mois d'août à octobre dans toute la région, probablement en réaction aux températures de l'air supérieures à la normale enregistrées dans tous les sites côtiers du PN et du GM pendant la période de juillet à septembre. Les températures en profondeur mesurées lors du relevé au chalut de l'écosystème en été étaient également supérieures à la moyenne dans l'OPN, l'est du GM et la baie de Fundy. La stratification de l'océan, qui a affiché une tendance à la hausse dans le PN depuis les années 1950, attribuable à des températures plus hautes et à une salinité plus faible, était, en 2018, légèrement au-dessus de la moyenne enregistrée entre 1981 et 2010 (Hebert *et al.*, 2020).

L'environnement des éléments nutritifs du PN est influencé directement ou indirectement par les apports d'eau en amont, par exemple le courant du Labrador et l'effluent du golfe du Saint-Laurent, ainsi que par les intrusions d'eaux du talus et les méandres du Gulf Stream (Pepin *et al.*, 2013). Les éléments nutritifs à la surface présentent une forte saisonnalité associée à la production de phytoplancton, une production plus importante étant généralement associée à un appauvrissement en éléments nutritifs à la surface. Les éléments nutritifs en profondeur, en revanche, donnent une meilleure représentation du stock des éléments nutritifs disponibles pour la production primaire. Pepin *et al.* (2013) ont signalé des concentrations inférieures à la moyenne de tous les éléments nutritifs en profondeur dans le PN au cours des années précédant 2010, avec une faible variabilité qui a été jugée non caractéristique de la région. En 2018, les concentrations des éléments nutritifs en profondeur étaient inférieures à la normale dans toute la région, poursuivant ainsi la tendance de faibles concentrations observée au cours des trois à cinq dernières années. Le récent changement dans l'inventaire des éléments nutritifs en profondeur est probablement lié aux changements dans la circulation dans le plateau ainsi qu'aux changements dans le transport du Gulf Stream. Une diminution des concentrations des éléments nutritifs en profondeur associée à l'augmentation de la stratification observée dans le PN (Hebert *et al.*, 2020) pourrait entraîner une baisse de la productivité et des impacts potentiels sur la structure et le fonctionnement du réseau trophique.

Dans les régions océaniques où la variabilité environnementale à l'échelle annuelle est fréquente, le cycle biologique, le comportement et la physiologie du plancton fournissent des adaptations qui concentrent l'effort reproductif sur des périodes de l'année qui sont favorables et qui réduisent l'exposition aux risques durant les périodes défavorables. Cependant, des perturbations imprévisibles dans la saisonnalité environnementale et la synchronicité saisonnière peuvent perturber ces adaptations (Greenan *et al.*, 2008; Mackas *et al.*, 2012). Des changements à vaste échelle des différentes masses d'eau ont également une incidence sur la composition des communautés planctoniques locales (e.g. Keister *et al.*, 2011). Au printemps, la floraison du phytoplancton se développe dans des conditions favorables, marquées par un ensoleillement accru, des températures plus élevées et la stratification de la colonne d'eau.

Cependant, Ross *et al.* (2017) ont observé des floraisons printanières dans le PN lorsque la stratification était à son plus faible, la température de l'eau, à son plus bas, et la couche de mélange à la surface, de beaucoup plus profonde que la zone euphotique, ce qui est en contradiction apparente avec l'hypothèse de profondeur critique. La biomasse du phytoplancton décline après le pic de floraison, lorsque le broutage augmente ou que la croissance devient limitée par les éléments nutritifs. En été, la présence sporadique de chlorophylle *a* sous la surface reflète l'intrusion d'eaux profondes riches en éléments nutritifs résultant d'un forçage physique.

En 2018, la floraison printanière du phytoplancton à la station HL2 a débuté fin février, lorsque la température des eaux de surface était proche de son minimum, ce qui n'est pas inhabituel pour le CPN (Shadwick *et al.*, 2011). La floraison du phytoplancton était particulièrement intense dans la couche de 30 à 70 m en raison d'une profondeur de zone euphotique supérieure à la normale combinée à un afflux d'eaux chaudes et salées transportant probablement des éléments nutritifs additionnels. La floraison printanière était dominée par des diatomées, puis par une succession de dinoflagellés, ainsi que des ciliés et des flagellés, dont l'abondance plus élevée est conforme à la tendance observée au cours des six à dix dernières années dans la communauté du phytoplancton de la station HL2. Une évolution vers des assemblages de phytoplancton plus petits pourrait être associée à des conditions océaniques plus chaudes dans le PN, tel qu'observé dans d'autres zones de l'océan (Doney *et al.*, 2012). On a observé des épisodes de chlorophylle sous la surface tout au long de l'été, bien que la biomasse estivale soit généralement dominée par de petits assemblages cellulaires pour lesquels la chlorophylle est un mauvais indicateur de la biomasse du phytoplancton (Craig *et al.*, 2015). Ces concentrations élevées de chlorophylle sous la surface suivent la nitracline et se trouvent à une profondeur où la lumière et les éléments nutritifs peuvent soutenir une production nouvelle. Selon Ross *et al.* (2017), une couche de phytoplancton sous la surface composée de petites cellules (nanophytoplancton et picophytoplancton) est persistante tout au long de l'été et contribue à une partie importante de la production primaire annuelle sur le PN.

Le fort mélange dû aux marées à la station P5 influence la dynamique des éléments nutritifs et du phytoplancton de différentes manières. Le fort mélange est responsable du flux ascendant d'éléments nutritifs vers la surface, ce qui permet de maintenir des concentrations des éléments nutritifs élevées tout au long de l'année. Le fort mélange influence également la turbidité de la colonne d'eau, résultant en une zone euphotique généralement moins profonde que la couche de mélange. Par conséquent, la production primaire dans la couche de surface est diluée dans la colonne d'eau. Les eaux de surface riches en éléments nutritifs favorisent également la croissance des diatomées, qui dominent massivement la structure de la communauté du phytoplancton à cette station. La floraison du phytoplancton à la station P5 en 2018 a commencé début mai en réponse à une luminosité plus élevée que la normale, accompagnée par un réchauffement progressif de la colonne d'eau. Une baisse transitoire de la biomasse du phytoplancton en juin était probablement due à l'apport en eaux douces résultant de la crue importante de la rivière Saint-Jean. Le cycle annuel normalement observé à la station P5 suggère que la température et la luminosité sont des variables critiques qui contrôlent le début et la fin de la période de croissance du phytoplancton. Comme pour la station HL2, l'évolution vers une abondance des diatomées inférieure à la normale et vers une abondance des dinoflagellés et des ciliés supérieure à la normale correspond aux conditions plus chaudes que la normale observées à la station P5 depuis 2010 (Hebert *et al.*, 2020).

La biomasse du zooplancton dans le PN et l'est du GM est normalement dominée par des copépodes de grande taille riches en énergie, principalement le *C. finmarchicus*, qui sont des proies importantes pour des poissons planctivores comme le hareng et le maquereau, pour la baleine noire de l'Atlantique Nord et pour d'autres espèces pélagiques. En 2018, la

communauté du zooplancton a continué d'afficher des abondances du *C. finmarchicus* inférieures à la normale, une biomasse du zooplancton inférieure à la normale et une abondance des non-copépodes supérieure à la normale sur la majeure partie de la région. L'abondance des copépodes totaux était également moins importante dans la région en 2018. Des changements de l'abondance des groupes de copépodes indicateurs de la répartition des masses d'eau dans la région, y compris les espèces de *Calanus* arctiques (abondance principalement inférieure) et les copépodes d'eau chaude extracôtière (abondance principalement supérieure) au cours des dernières années correspondent à une influence accrue des eaux extracôtières dans le CPN et l'OPN. Contrairement aux régions plus septentrionales du plateau de l'Atlantique Nord-Ouest canadien, où les abondances des *Pseudocalanus*, copépodes de printemps/d'été de plus petite taille constituant également d'importantes proies pour les petits poissons, ont augmenté en parallèle avec le déclin de l'abondance du *C. finmarchicus* (MPO, 2019), les abondances des diverses espèces de *Pseudocalanus* ont été variées dans la Région des Maritimes, avec de faibles abondances dans le CPN et l'OPN. Ces observations viennent confirmer les changements dans la communauté du zooplancton en général, mais aussi dans la population des copépodes en particulier suivant une transition vers une dominance réduite du *C. finmarchicus* dans la région.

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 reproductif sur la production de diatomées lors de la floraison printanière et pour lesquels les stades juvéniles tardifs peuvent afficher une période de dormance en eaux profondes durant les saisons moins productives. L'abondance en hiver du *C. finmarchicus* est un indicateur des conditions initiales de production, tandis que l'abondance à la fin de l'automne est un indicateur du stock hivernant pour la production de l'année suivante.

À la station HL2, une baisse de l'abondance du *C. finmarchicus* associée à un changement de la composition en *C. finmarchicus*, passant principalement du stade CV aux stades CIV-VI entre la fin de 2017 (Johnson *et al.*, 2020) et le début de 2018, laisse croire à des pertes par mortalité dans le stock hivernant et à l'émergence d'adultes depuis l'état de dormance pendant cette période. La période de production active, caractérisée par le développement des premiers stades CI-III, était assez synchronisée avec la floraison printanière du phytoplancton, et la forte abondance du *C. finmarchicus* à la fin de la floraison printanière laisse croire que la pression du broutage (i.e. le contrôle descendant) pourrait avoir contribué à la fin plus précoce que la normale de la floraison en 2018. La période après la floraison a été caractérisée par une succession de copépodes plus petits, avec une abondance relative plus élevée que la normale du *M. lucens* (mi-avril à mi-août), du *T. longicornis* (mi-juin à mi-juillet) et de l'*O. atlantica* (mi-juillet à mi-septembre), renforçant l'hypothèse d'un changement de la dynamique des copépodes à la station HL2 et peut-être à une plus grande échelle. Les changements des propriétés de l'eau ont influencé la dynamique du *C. finmarchicus* à la station HL2, comme le montrent la dominance inhabituelle du stade V en août/septembre, probablement associée aux températures de surface élevées observées à ce moment-là, et une abondance relative inhabituellement élevée du stade CIV en automne, associée à des eaux (de surface) plus froides et plus douces (au-dessous de 50 m) que la normale (Hebert *et al.*, 2020). L'abondance globale du *C. finmarchicus* à la fin de 2018 était considérablement inférieure à la normale, avec une proportion combinée inférieure à la normale des stades tardifs CV et CVI ayant entrés en dormance.

L'abondance globale du *C. finmarchicus* à la station P5 est considérablement plus faible qu'à la station HL2 tout au long de l'année, ce qui pourrait laisser croire à une structure différente du réseau trophique à cette station. L'abondance du *C. finmarchicus* était extrêmement faible

(environ 500 individus/m²) tout au long de l'automne 2017, ce qui a entraîné un faible stock hivernant (Johnson *et al.*, 2020) et une abondance du *C. finmarchicus* inférieure au seuil de détection de l'analyse au début de 2018. Le début de la période de production active en avril coïncidait avec la faible floraison printanière du phytoplancton, mais l'abondance du *C. finmarchicus* n'a atteint son maximum qu'environ un mois après le pic de floraison. Comme il a été observé à la station HL2, la pression du broutage en juin (période de plus forte abondance du *C. finmarchicus*) pourrait avoir contribué à la fin de la floraison printanière. *C. finmarchicus* était également absent de l'échantillonnage en août, coïncidant avec des températures plus élevées dans la couche profonde de la colonne d'eau en août et septembre. Ce réchauffement de la colonne d'eau semble également avoir fait augmenter l'abondance relative des *Eurytemora* ainsi que des espèces d'eau chaude *Centropages* et *Paracalanus*. Le stock hivernant de *C. finmarchicus* à P5 à la fin de 2018 était faible et composé principalement d'individus du stade tardif CV.

Alors que les 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 des espèces de phytoplancton et de copépodes de grande taille riches en énergie (comme le *C. finmarchicus*) à des espèces de phytoplancton et de copépodes de plus petite taille ainsi que de non-copépodes se nourrissant de façon opportuniste (comme les appendiculaires, les gastéropodes pélagiques et les thaliacés). Les réseaux trophiques dits « classiques », dominés par les diatomées et le *C. finmarchicus*, sont associés à une efficacité de transfert d'énergie vers des animaux pélagiques de niveau trophique supérieur qui est plus élevée que celle des réseaux trophiques dominés par des espèces de phytoplancton et de zooplancton de petite taille. Un tel changement pourrait indiquer une transition vers des conditions moins productives dans la Région des Maritimes pour des poissons planctivores, la baleine noire de l'Atlantique Nord et les oiseaux de mer se nourrissant de poissons pélagiques.

PROGRAMME DE MONITORAGE DU BASSIN DE BEDFORD

CONDITIONS PHYSIQUES

En 2018, les conditions de température des eaux de surface étaient proches de la normale (+0,28 écart-type) par rapport à la période de référence de 2000 à 2015 (figure 31). Les conditions annuelles de salinité, de densité et de stratification étaient également proches de la normale. Les anomalies mensuelles de la température de surface en 2018 étaient supérieures à la normale 8 mois sur 12 (figure 32). Les conditions de février à mai étaient supérieures à la normale, suivies d'un mois de juin plus frais que la normale. Les mois de juillet à octobre ont été plus chauds que la normale, le mois de septembre étant le plus chaud de la série chronologique (+2,21 écart-type) (figure 32). À la mi-octobre, une série de fortes tempêtes ont traversé la région, mettant fin à huit semaines consécutives d'anomalies positives (figure 33) et faisant des mois de novembre et de décembre les plus froids depuis 2003 et 2007, respectivement (-1,54 et -2,00 écart-type) (figure 32).

Les conditions en profondeur sont généralement stables dans le bassin, à moins qu'elles ne soient perturbées par des intrusions périodiques d'eaux du plateau (Kerrigan *et al.*, 2017). En 2018, la température à 60 m était la troisième plus élevée de la série chronologique (figure 34) et la plus élevée depuis 2012, et la salinité et la densité étaient supérieures à la normale pour la première fois depuis 2009. Cela a mis fin à la tendance des anomalies annuelles de la salinité et de la densité en profondeur, qui étaient négatives ou proches de la normale depuis 2010 (figure 34). Ces conditions en profondeur, plus chaudes que la normale, ont persisté toute l'année, avril étant le mois le plus chaud de la série chronologique (+2,13 écart-type) (figure 35).

Les conditions à 60 m ont été les plus salines depuis 2006 (+1,02 écart-type) (figure 34) et sont restées au-dessus de la normale tout au long de l'année (figure 36).

ÉTAT DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS ET DU PLANCTON

Les anomalies annuelles des concentrations de carbone organique particulaire et d'azote à la surface et en profondeur étaient inférieures à la normale, et celles des teneurs en chlorophylle étaient égales ou légèrement inférieures à la normale (figures 31 et 34). Les anomalies annuelles des concentrations de nitrate et de silicate à la surface ont cessé leur tendance négative en 2018 (+0,50 et +0,11 écart-type) (figure 31), tandis que celles des concentrations de nitrite, d'ammoniac et de phosphate sont restées au-dessous de la normale (-0,52, -0,55 et -1,17 écart-type). Les conditions à 60 m étaient similaires, avec des anomalies positives pour le nitrate et le silicate (+0,72 et +0,77 écart-type) et des anomalies négatives pour le nitrite, l'ammoniac et le phosphate (-0,38, -0,94 et -0,61 écart-type) (figure 34). Les teneurs en phosphate à la surface et en profondeur poursuivent leur tendance vers des valeurs inférieures à la moyenne depuis 2010 (figures 31 et 34), phénomène décrit précédemment dans Johnson *et al.* (2020).

ENREGISTREUR DE PLANCTON EN CONTINU

PHYTOPLANCTON

Dans l'EPN et l'OPN, les valeurs mensuelles de l'indice de couleur du phytoplancton (ICP) et les abondances des diatomées pointent vers une floraison printanière en mars-avril, avec des valeurs faibles en été (figure 37). En automne et en hiver, l'ICP 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 évident, quelle que soit la région. En 2017, les moyennes mensuelles de l'ICP étaient généralement proches de la normale dans les deux régions, mais elles étaient inférieures à la normale en mars et supérieures à la normale en avril. Les abondances mensuelles des diatomées étaient exceptionnellement faibles en janvier et en février ainsi qu'entre septembre et novembre dans l'OPN, mais généralement proches de la normale dans l'EPN. Les observations du CPR pour l'OPN étaient généralement cohérentes avec les observations *in situ* à la station d'Halifax-2 en 2017, où la floraison printanière a été retardée, courte et intense, et dominée par les diatomées. Les valeurs mensuelles des dinoflagellés en 2017 étaient proches de la normale pendant le premier semestre de l'année et inférieures à la normale (OPN) ou variables (EPN) pendant le second semestre.

Conformément aux observations *in situ* à la station d'Halifax-2, les anomalies de l'abondance annuelle des diatomées et des dinoflagellés étaient négatives pour l'OPN et légèrement négatives pour l'EPN en 2017 (figure 38). Les anomalies annuelles de l'ICP étaient légèrement positives pour l'OPN et l'EPN, peut-être en lien avec l'anomalie légèrement positive de l'abondance des flagellés à la station d'Halifax-2.

ZOOPLANCTON

Les cycles climatologiques saisonniers dérivés du CPR pour les *Calanus* I-IV (principalement *C. finmarchicus*) et le *C. finmarchicus* CV-VI ont des pics d'abondance importants au printemps et en été (avril à juillet) dans l'OPN. Dans l'EPN, on observe un léger pic printanier pour les *Calanus* CI-IV, mais pas pour le *C. finmarchicus* CV-VI (figure 39). En 2017, les abondances mensuelles des *Calanus* CI-IV étaient supérieures aux moyennes mensuelles de 1992 à 2015 en février et mars dans l'OPN et de mai à juillet dans l'EPN, et relativement faibles (automne) ou proches de la normale dans les deux régions pendant les autres mois. Dans les deux

régions, les abondances mensuelles du *C. finmarchicus* CV-VI étaient pour la plupart proches de la normale, mais relativement faibles entre septembre et novembre. L'anomalie de l'abondance des *Calanus* CI-IV était positive pour l'EPN en 2017, mais proche de la normale pour l'OPN, et les anomalies de l'abondance annuelle du *C. finmarchicus* CV-VI étaient proches de la normale dans les deux régions (figure 38). L'échantillonnage effectué à l'aide de traits de filet vertical *in situ* tout au long de l'année à la station d'Halifax-2 a révélé de faibles abondances du *C. finmarchicus* depuis 2011, comparativement aux valeurs moyennes de 1999 à 2010 (Johnson *et al.*, 2020). Cette diminution est attribuable à la baisse de l'abondance des individus de stade CV, et le fait que les données du CPR ne révèlent pas une telle diminution des stades CV à CVI laisse penser que la diminution se produit au sein de la population d'individus de stade CV sous la surface (Head *et al.*, en prép.⁴). Cette idée est renforcée par le fait que la diminution de l'abondance des individus de stade CV se produit principalement au cours du second semestre, lorsque la plupart de ces individus sont en profondeur.

Pour les autres taxons, la plupart des abondances moyennes annuelles étaient proches de leurs moyennes de 1992 à 2015, à l'exception de celles du *C. hyperboreus* CIII-VI et des amphipodes hypéridés, qui étaient supérieures à la normale dans l'EPN, et de celles des euphausiacés, qui étaient inférieures à la normale dans l'OPN.

ORGANISMES SENSIBLES À L'ACIDIFICATION

En 2017, les anomalies de l'abondance annuelle moyenne des trois taxons sensibles à l'acidification (coccolithophores, foraminifères et ptéropodes, principalement *Limacina* spp.) étaient proches de la normale tant dans l'EPN que dans l'OPN (figure 38), ce qui porte à croire que ces organismes n'ont pas beaucoup été touchés par les changements de pH jusqu'à présent.

SOMMAIRE

- Les observations recueillies en 2018 ont montré que les changements dans la communauté planctonique observés au cours des dernières années ont persisté, peut-être en réponse au changement dans la disponibilité des éléments nutritifs et au forçage physique. Ces changements modifieront vraisemblablement productivité future de l'écosystème; des répercussions négatives sont déjà observées dans les habitats d'alimentation des planctivores spécialisés comme la baleine noire de l'Atlantique Nord.
- En 2018, les inventaires de silicate et de phosphate à la surface et en profondeur étaient principalement inférieurs à la normale. Cette tendance se poursuit depuis 2014 dans le PN et depuis 2016 dans le CSL. Les inventaires de nitrate en profondeur étaient aussi inférieurs à la moyenne dans l'ensemble de la région.
- La floraison printanière du phytoplancton observée par télédétection par satellite étaient bien définie et assez forte dans la partie est de la Région des Maritimes (DC, EPN et CPN), mais plus faible dans la partie ouest (OPN, HL et BG). Une floraison printanière intense et de courte durée, non visible par satellite en raison de sa position dans la colonne d'eau, a de nouveau été observée à la station HL2.

⁴ Head, E.J.H., Johnson, C.J., Pepin, P. 2019. Plankton monitoring in the Northwest Atlantic: a comparison of zooplankton data collected in Vertical Net Tows and by the Continuous Plankton Recorder on the Scotian and Newfoundland shelves, 1999-2016.

-
- La biomasse du zooplancton et l'abondance du *C. finmarchicus* étaient principalement 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 autour de 2011 à 2012.
 - L'abondance des espèces de copépodes indicatrices a poursuivi une tendance amorcée en 2012 : les espèces d'eau chaude extracôtère étaient plus abondantes que la moyenne, et les espèces d'eaux froides, moins abondantes, dans le PN en 2018.
 - En 2017, les observations du CPR ont indiqué que les abondances annuelles moyennes des diatomées et des dinoflagellés étaient inférieures à la normale dans l'OPN et proches de la normale dans l'EPN, tandis que l'ICP était à des niveaux proches de la normale dans les deux régions.
 - En 2017, les observations du CPR ont indiqué que les anomalies de l'abondance annuelle des *Calanus* - IV (principalement *C. finmarchicus*) étaient positives (EPN) ou proches de la normale (OPN), tandis que les abondances annuelles moyennes du *C. finmarchicus* CV-VI étaient proches de la normale dans les deux régions. Parmi les autres taxons, l'abondance du *C. hyperboreus* CIII-VI et des amphipodes hypéridés était supérieure à la normale dans l'EPN, tandis que l'abondance des euphausiacés était inférieure à la normale dans l'OPN.
 - Les températures de surface dans le bassin de Bedford ont été supérieures à la normale pendant une grande partie de 2018 (8 mois sur 12), septembre étant le mois le plus chaud de la série chronologique; cependant, les températures de surface de novembre et de décembre ont été les plus basses depuis 2003 et 2007, respectivement, et les deuxièmes plus basses de la série chronologique.
 - Les températures annuelles moyennes du fond du bassin de Bedford étaient élevées, venant au troisième rang de la série chronologique, et les plus élevées depuis les conditions de chaleur record de 2012.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le personnel navigant de l'Institut océanographique de Bedford et de la Station biologique de St. Andrews, le scientifique en chef des missions de relevé au chalut de l'écosystème, Don Clark, ainsi que les officiers et l'équipage des navires de la Garde côtière canadienne *Hudson*, *Sigma-T*, *Teleost* et *Viola M. Davidson*. Jay Barthelotte, Mélanie Belzile, Robert Benjamin, Jay Bugden, Diana Cardoso, Carla Caverhill, Terry Cormier, Jennifer Field, Jack Fife, Jason Green, Adam Hartling, Dave Hebert, Flo Hum, Jeff Jackson, Matt Lawson, Chantelle Layton, Dave Levy, Kevin MacIsaac, Kevin Pauley, Cathy Porter, Tim Perry, Marc Ringuette, Jackie Spry, Peter Thamer et Dan Wood ont apporté leur contribution au prélèvement et à l'analyse des échantillons ainsi qu'à l'analyse, à la gestion et à l'échange des données. David Bélanger 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.
- Craig, S.E., Thomas, H., Jones, C.T., Li, W.K., Greenan, B.J., Shadwick, E.H., and Burt, W.J., 2015. [The effect of seasonality in phytoplankton community composition on CO2 uptake on the Scotian Shelf](#). *J. Mar. Syst.* 147:52-60.

-
- Doney, S.C., Ruckelshaus, M., Duffy, J.E., Barry, J.P., Chan, F., English, C.A., Galindo, H.M., Grebmeier, J.M., Hollowed, A.B., Knowlton, N., Polovina, J., Rabalais, N.N., Sydeman, W.J., and Talley, L.D. 2012. [Climate change impacts on marine ecosystems](#). *Annu. Rev. Mar. Sci.* 2012. 4:11–37.
- 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.
- 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., et Brickman, D. 2020. [Conditions océanographiques physiques sur le plateau néo-écossais et dans le golfe du Maine en 2018](#). *Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech.* 2020/036. iv + 55 p.
- 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., 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.
- 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.
- 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, pp. 96 -104.
- Lenth, R., Singmann, H., Love, J., Buerkner, P., and Herve, M. 2018. emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R package version 1.3.4.
- Li, W.K.W. 2014. [The state of phytoplankton and bacterioplankton at the Compass Buoy Station: Bedford Basin Monitoring Program 1992-2013](#). *Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci.* 304.
- 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.
- MPO. 2000. [Conditions chimiques et biologiques de l'océan en 1998 et 1999 – Région des Maritimes](#). MPO – Sciences, Rapport sur l'état des stocks G3-03 (2000).
- MPO. 2019. [Conditions océanographiques dans la zone Atlantique en 2018](#). *Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci.* 2019/034.
-

-
- 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.
- Pepin, P., Maillet, G.L., Lavoie, D., and Johnson, C. 2013. Temporal trends in nutrient concentrations in the Northwest Atlantic basin. Ch. 10 (p. 127-150) In: [Aspects of climate change in the Northwest Atlantic off Canada](#) [Loder, J.W., G. Han, P.S. Galbraith, J. Chassé and A. van der Baaren (Eds.)]. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3045: x + 190 p.
- 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. 177.
- 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., 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
- 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.
- R Core Team. 2019. [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.
- Ross, T., Craig, S.E., Comeau, A., Davis, R., Dever, M., and Beck, M. 2017. [Blooms and subsurface phytoplankton layers on the Scotian Shelf: Insights from profiling gliders](#). J Marine Syst, 172, 118-127.
- Shadwick, E.H., Thomas, H., Azetsu-Scott, K., Greenan, B.J.W., Head, E., and Horne, E., 2011. [Seasonal variability of dissolved inorganic carbon and surface water pCO₂ in the Scotian Shelf region of the Northwestern Atlantic](#). Mar. Chem. 124, 23–37.
- 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., Lefavre, D., Mitchell, M., Pelchat, B., Runge, J., and Sameoto, D. 1998. [Proposal for a Northwest Atlantic Zonal Monitoring Program](#). Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 194.
- Utermöhl, von H. 1931. [Neue Wege in der quantitativen Erfassung des Planktons. \(Mit besondere Berücksichtigung des Ultraplanktons\)](#). 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.
-

FIGURES

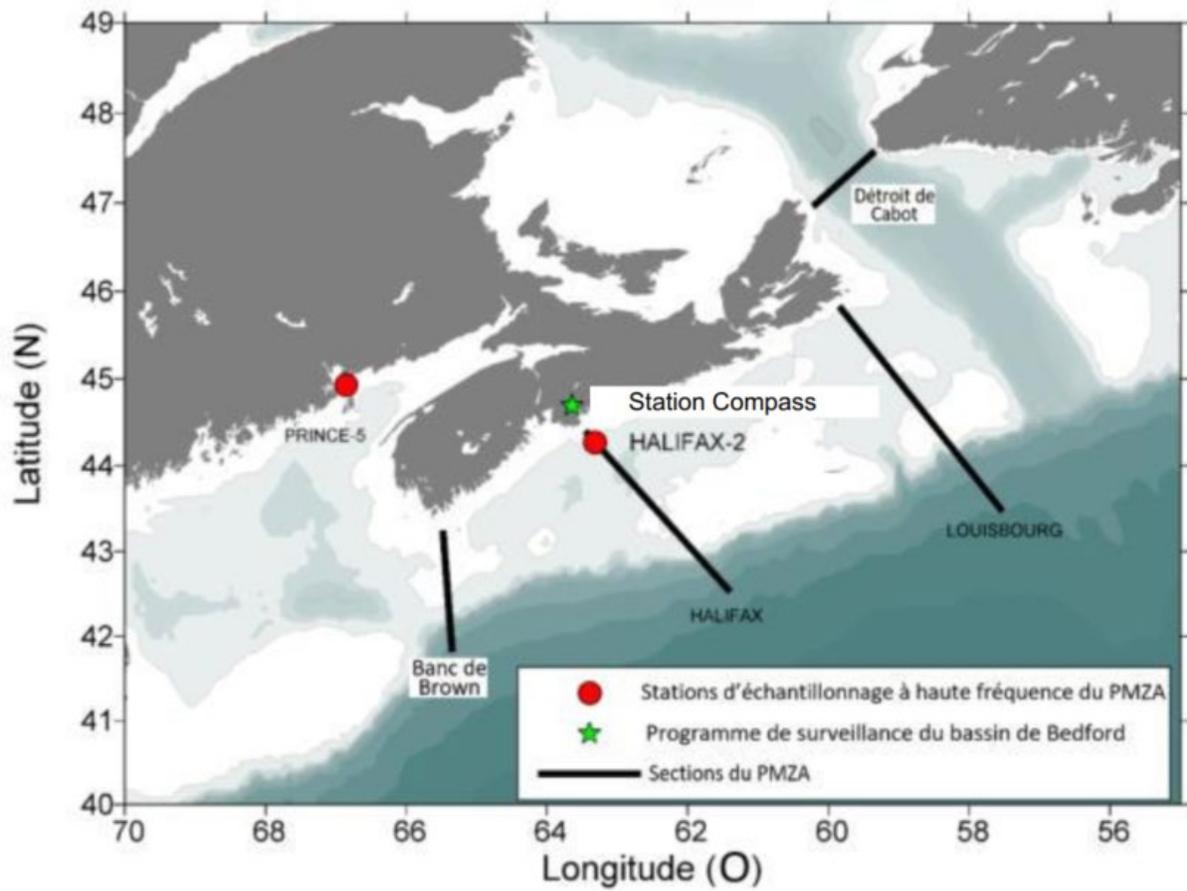


Figure 1. Carte des sections primaires (détroit de Cabot [CSL], Louisbourg [LL], Halifax [HL] et banc de Browns [BBL]) et des stations d'échantillonnage à haute fréquence (Halifax-2 [HL2]; Prince-5 [P5]) dans la Région des Maritimes du MPO. La station Compass est échantillonnée dans le cadre du Programme de surveillance du bassin de Bedford.

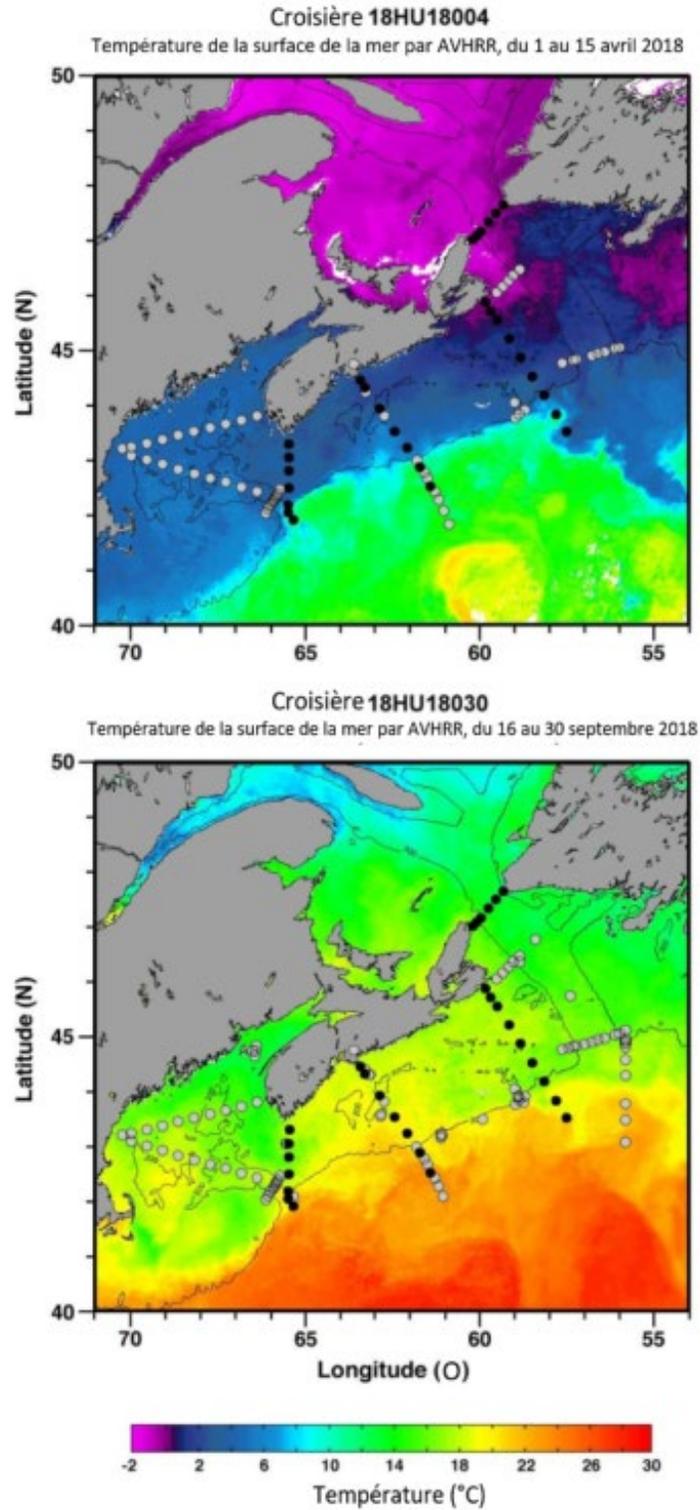


Figure 2. Stations échantillonnées durant les relevés de printemps et d'automne de 2018. Les emplacements des stations sont superposés sur les images composites de la température de la surface de la mer pour les dates qui sont proches des dates des missions. Les marques noires indiquent les stations de base, et les marques grises, les stations échantillonnées dans le cadre de programmes connexes.

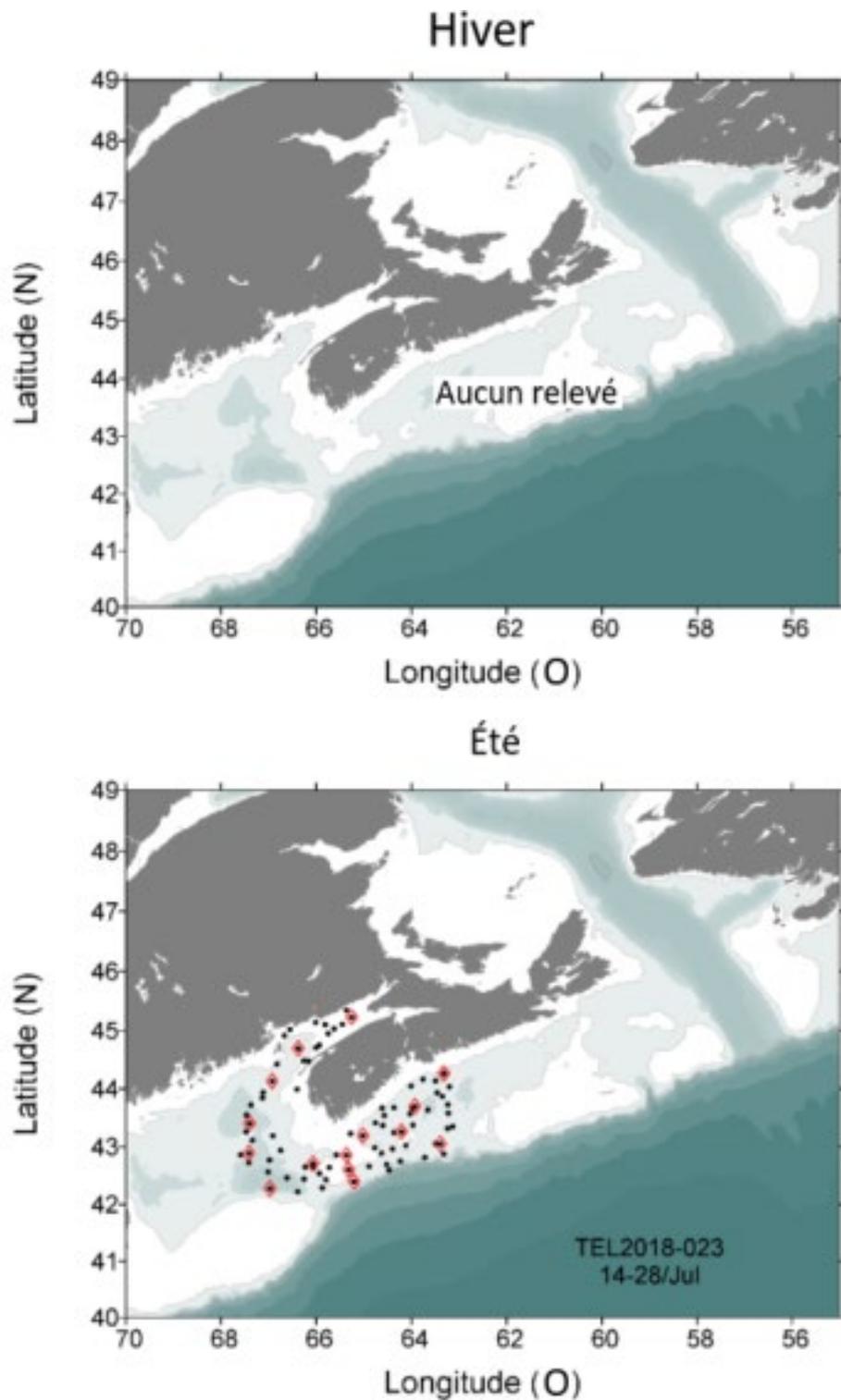


Figure 3. Stations échantillonnées durant le relevé au chalut de l'écosystème dans la Région des Maritimes en 2018. Les marques noires pleines indiquent les stations hydrographiques; les losanges rouges vides indiquent les stations où l'on a effectué des traits de filets verticaux combinés aux mesures hydrographiques.

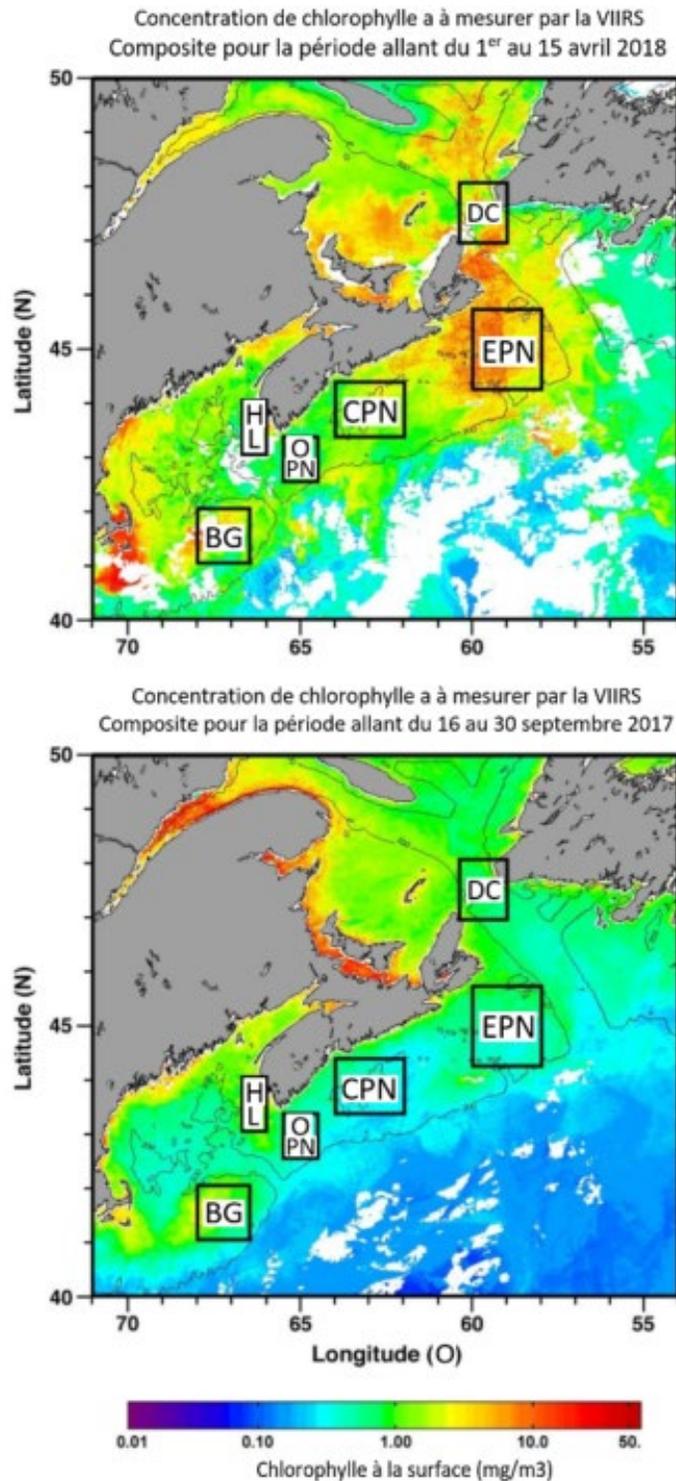


Figure 4. Sous-régions statistiques de la Région des Maritimes déterminées pour l'analyse spatiotemporelle des données sur la couleur de l'océan recueillies par satellite. Les sous-régions sont superposées sur les images composites de la chlorophylle à la surface de la mer pour les dates qui sont proches des dates des missions. Détroit de Cabot [DC], est du plateau néo-écossais [EPN], centre du plateau néo-écossais [CPN], ouest du plateau néo-écossais [OPN], haut-fond Lurcher [HL], banc de Georges [BG].

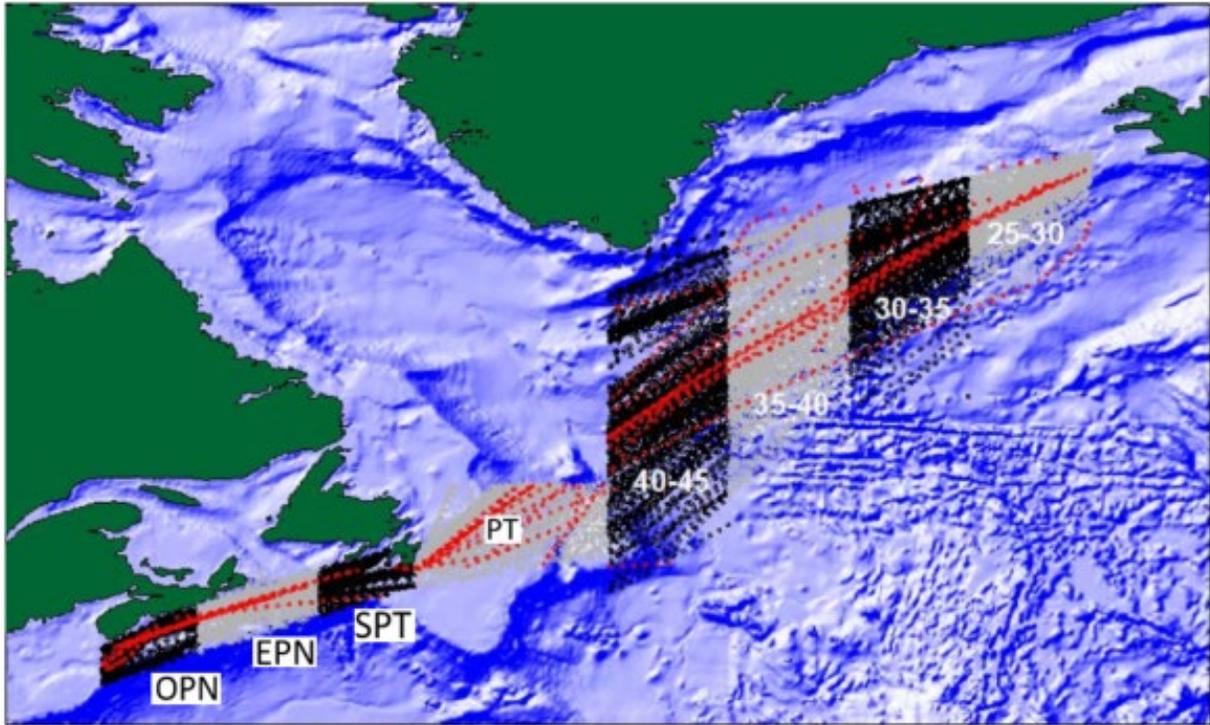


Figure 5. Lignes et stations de l'enregistreur de plancton en continu entre 1957 et 2017. Les stations échantillonnées en 2017 sont indiquées en rouge. Les données sont analysées par région. Les régions sont les suivantes : ouest du plateau néo-écossais (OPN), est du plateau néo-écossais (EPN), sud du plateau de Terre-Neuve (SPT), plateau de Terre-Neuve (PT) et régions situées entre les longitudes 40-45° O, 35-40° O, 30-35° O, 25-30° O.

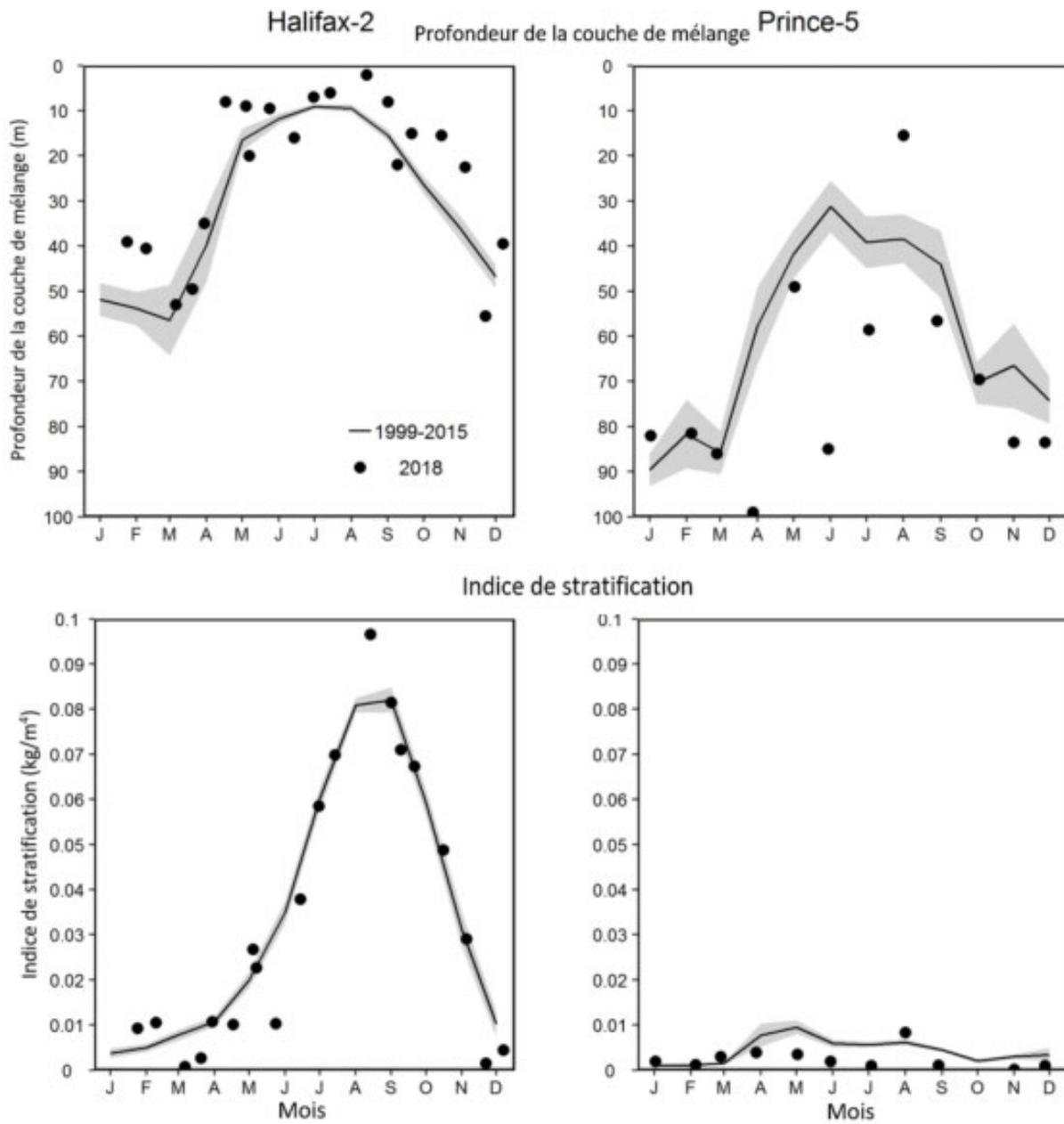


Figure 6. Propriétés du mélange (profondeur de la couche de mélange, indice de stratification) aux stations d'échantillonnage à haute fréquence des Maritimes comparant les données recueillies en 2018 (cercle plein) avec les conditions moyennes de la période 1999 à 2015 (ligne pleine). La zone ombrée en gris représente l'erreur type des moyennes mensuelles.

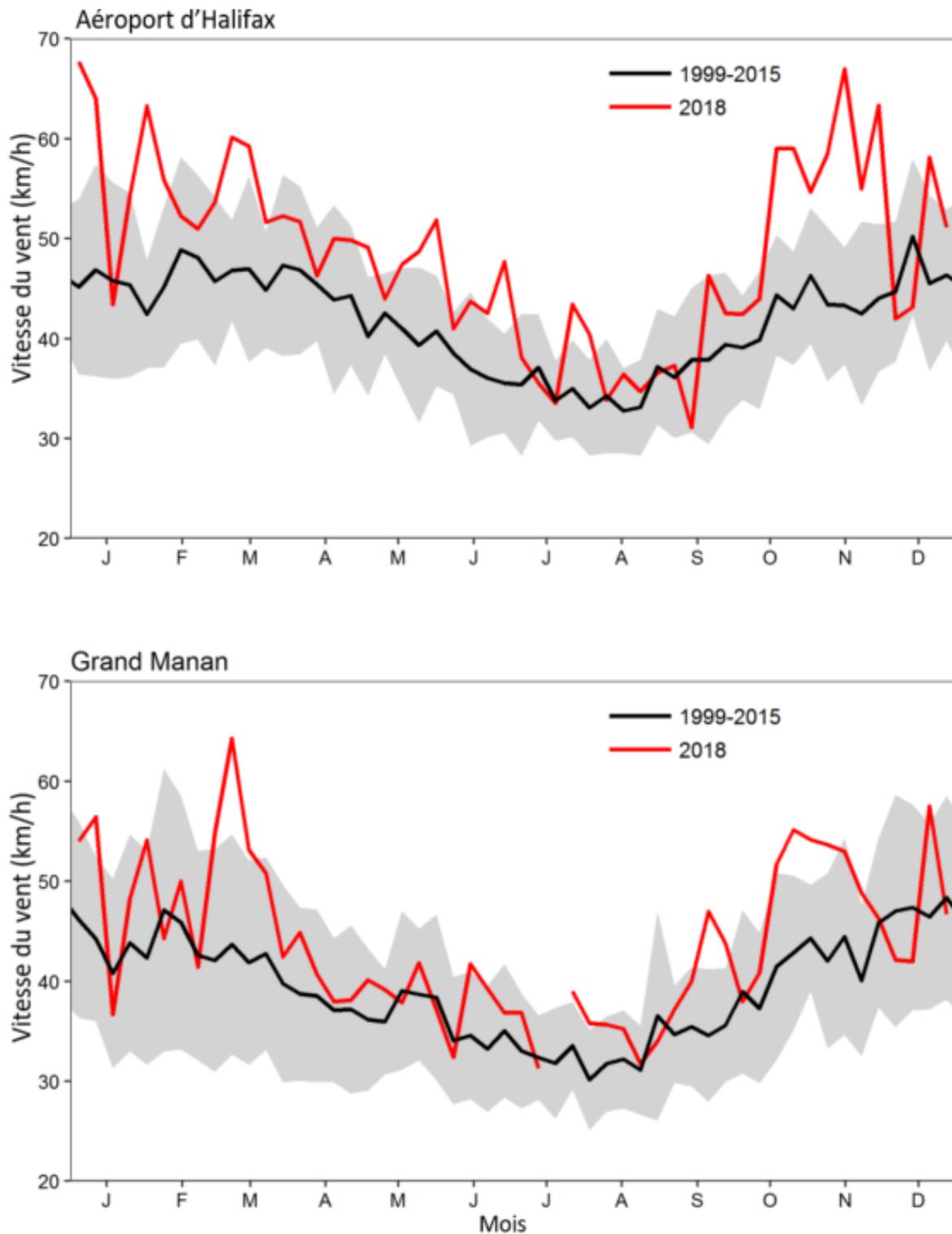


Figure 7. Rafales de vent quotidiennes moyennes maximales à l'aéroport international d'Halifax (représentatives des conditions de vent enregistrées à la station d'Halifax-2) et à l'île de Grand Manan (représentatives des conditions de vent à la station de Prince-5) en 2018 (lignes rouges) et au cours de la période 1999 à 2015 (données climatologiques) (lignes noires). La zone ombrée en gris représente l'écart-type des données climatologiques calculées sur 17 ans.

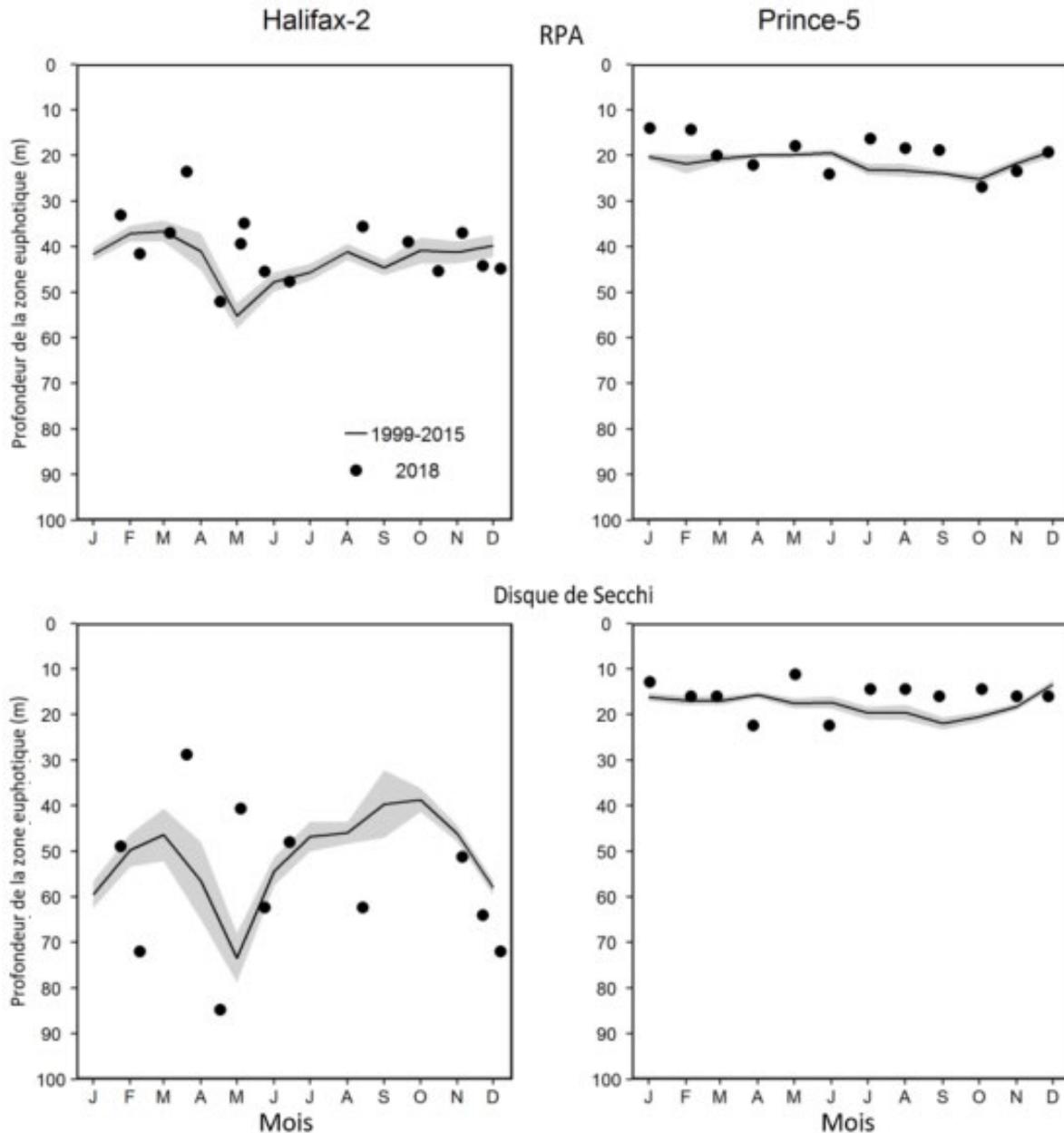


Figure 8. Propriétés optiques (profondeur de la zone euphotique basée sur la mesure du RPA et de la profondeur du disque de Secchi) aux stations d'échantillonnage à haute fréquence de la Région des Maritimes. Les données recueillies en 2018 (cercles pleins) sont comparées aux conditions moyennes de la période 1999 à 2015 (lignes pleines), sauf dans le cas de la profondeur de la zone euphotique, calculée d'après le RPA à la station de Prince-5 de 2001 à 2015. La zone ombrée en gris représente l'erreur type des moyennes mensuelles.

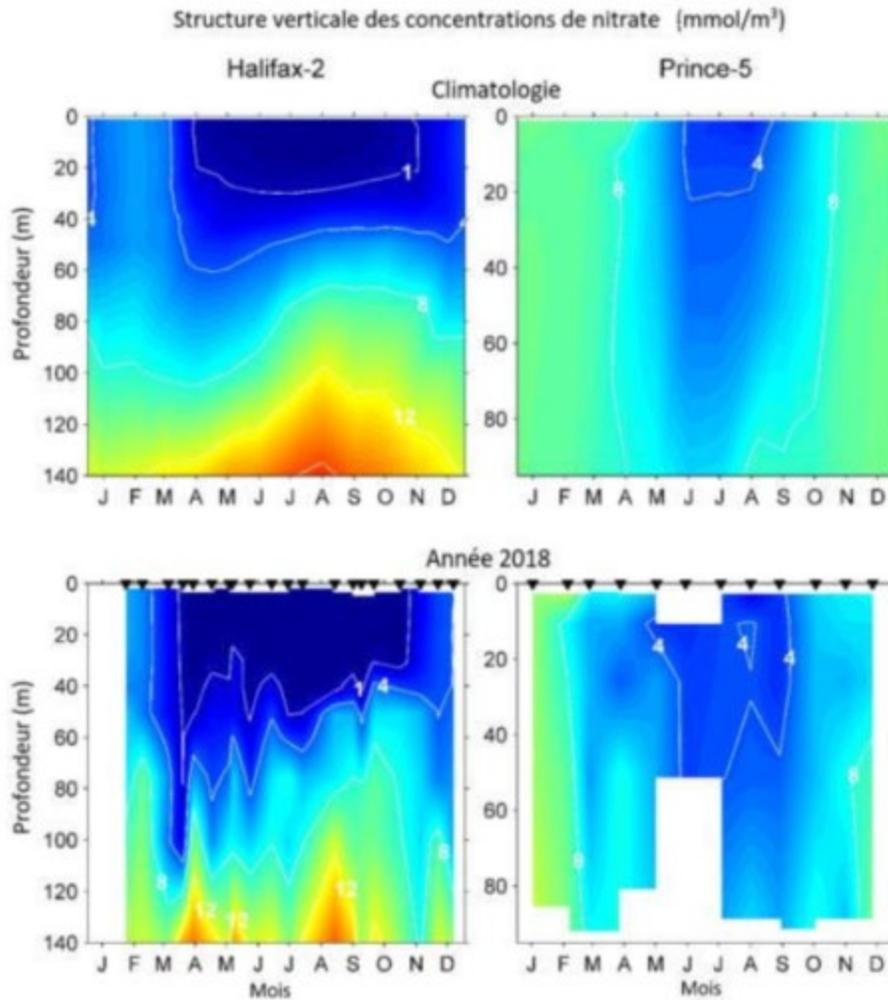


Figure 9. Comparaison des changements annuels de la structure verticale des concentrations de nitrate (mmoles/m^3) de 2018 (graphiques du bas) aux conditions climatologiques moyennes de la période 1999 à 2015 (graphiques du haut) aux stations d'échantillonnage à haute fréquence de la Région des Maritimes. Les triangles noirs dans les graphiques du bas indiquent les dates d'échantillonnage.

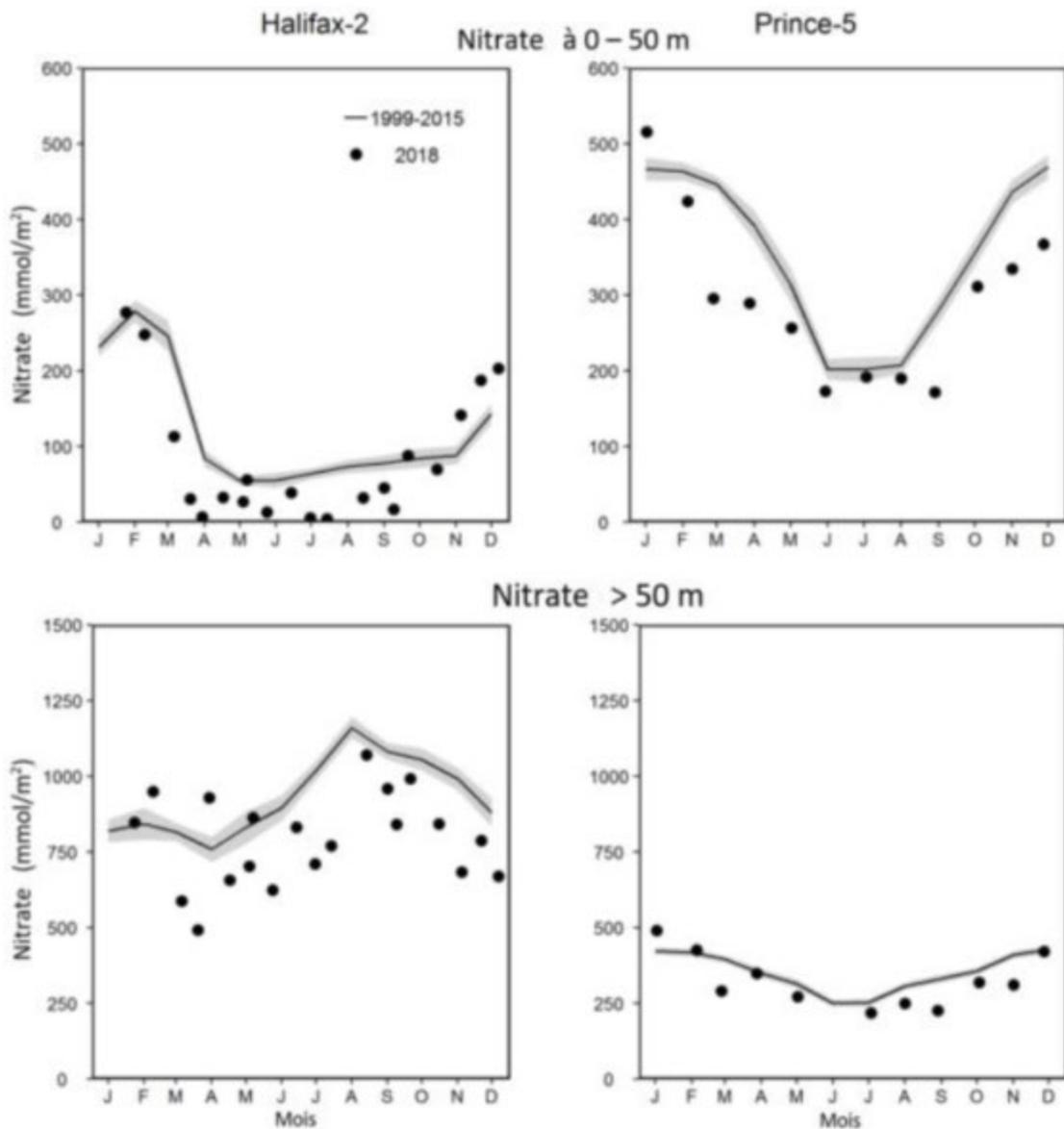


Figure 10. Comparaison des données de 2018 (cercles pleins) aux conditions moyennes de la période 1999 à 2015 (lignes pleines) aux stations d'échantillonnage à haute fréquence de la Région des Maritimes. Graphiques du haut : inventaire du nitrate à la surface (0 à 50 m). Graphiques du bas : inventaire du nitrate en profondeur (50 à 150 m pour la station d'Halifax-2; 50 à 95 m pour la station de Prince-5). La zone ombrée en gris représente l'erreur -type des moyennes mensuelles.

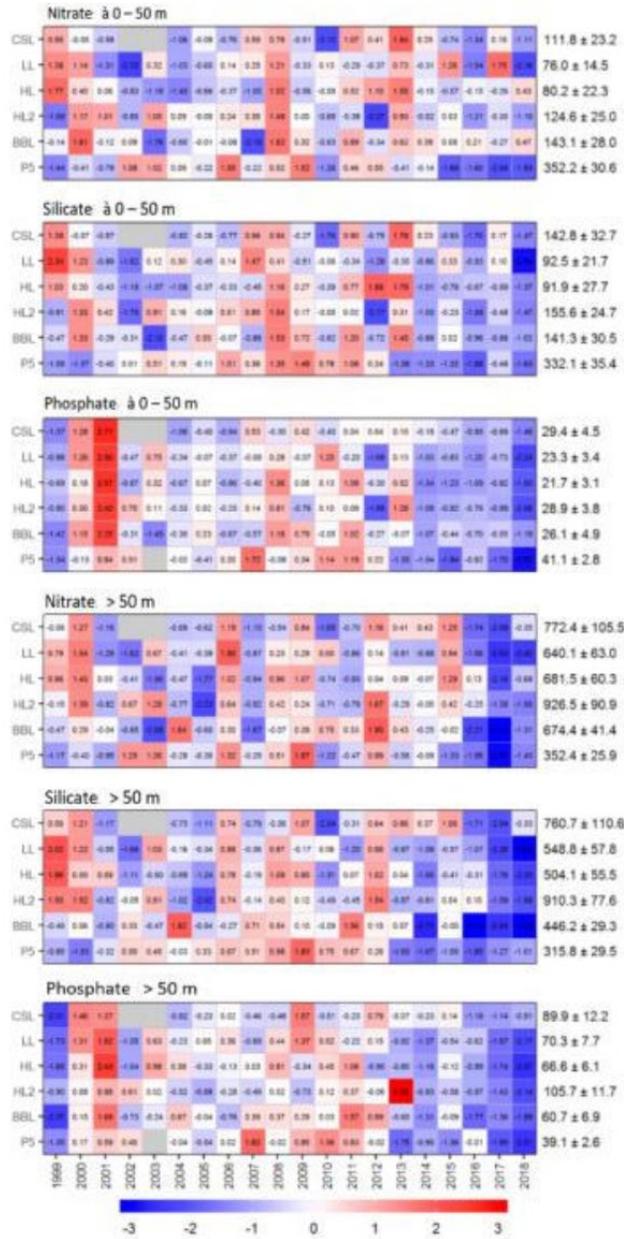


Figure 11. Tableau synoptique des anomalies annuelles des inventaires du nitrate, du silicate et du phosphate à la surface (0 à 50 m) et en profondeur (> 50 m). Les valeurs dans chaque cellule sont les anomalies par rapport à la moyenne pour la période de référence (1999 à 2015), en unités d'écart-type (les moyennes et les écarts-types sont indiqués à droite). Une cellule grise indique des données manquantes. Les cellules rouges (bleues) indiquent des teneurs en éléments nutritifs supérieures (inférieures) à la normale. CSL : section du détroit de Cabot; LL : section de Louisbourg; HL : section d'Halifax; HL2 : Halifax-2, BBL : section du banc de Browns, P5 : Prince-5.

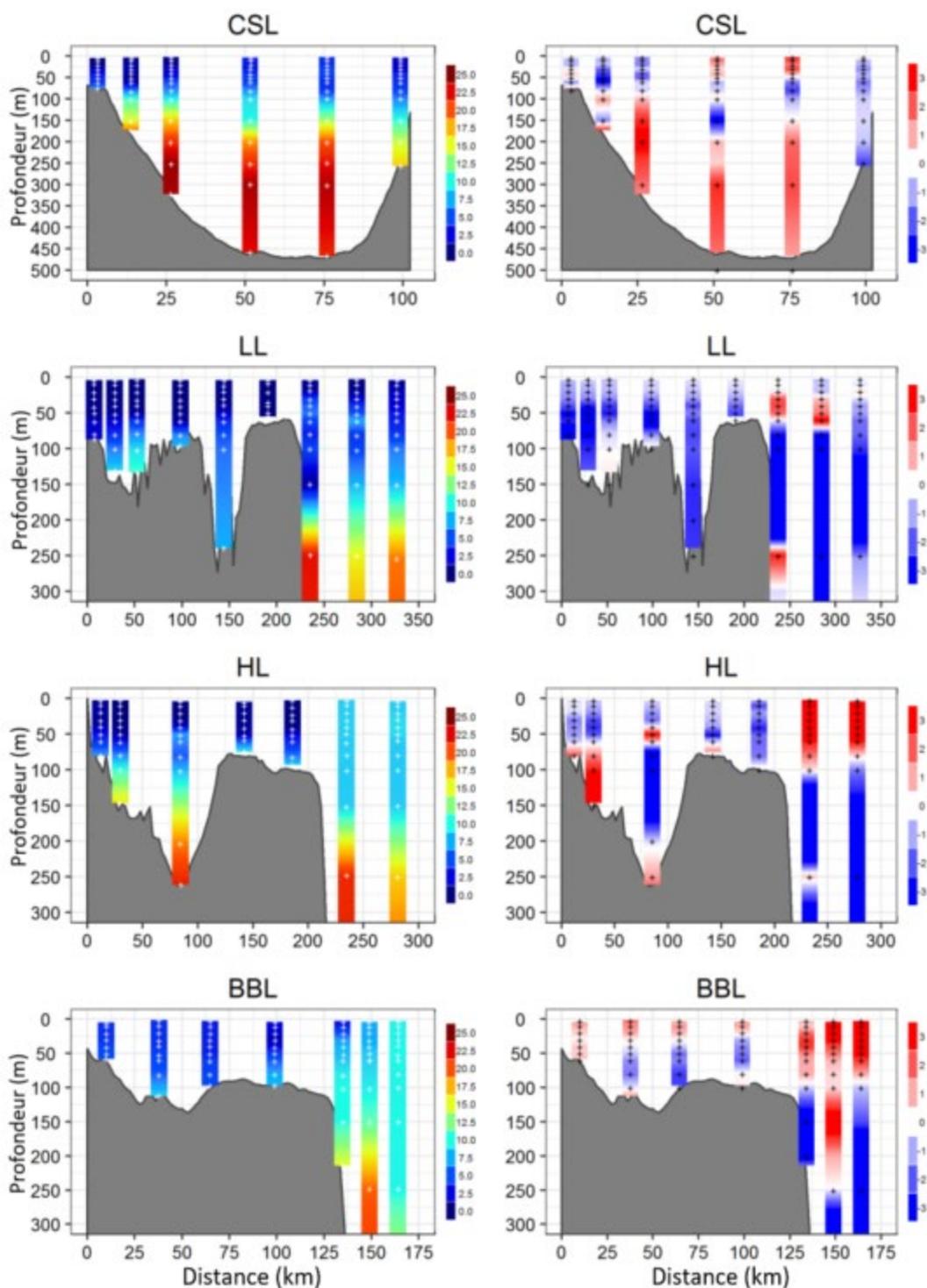


Figure 12a. Profils verticaux des concentrations de nitrate (mmoles/m^3) (graphiques de gauche) et leurs anomalies (mmoles/m^3) par rapport aux conditions de référence (1999 à 2015) (graphiques de droite) sur les sections du PN au printemps 2018. Les marques blanches sur les graphiques de gauche indiquent les profondeurs d'échantillonnage réelles en 2018. Les marques noires sur les graphiques de droite indiquent les profondeurs auxquelles les valeurs climatologiques propres à chaque station ont été calculées. CSL : section du détroit de Cabot; LL : section de Louisbourg; HL : section d'Halifax; BBL : section du banc de Browns.

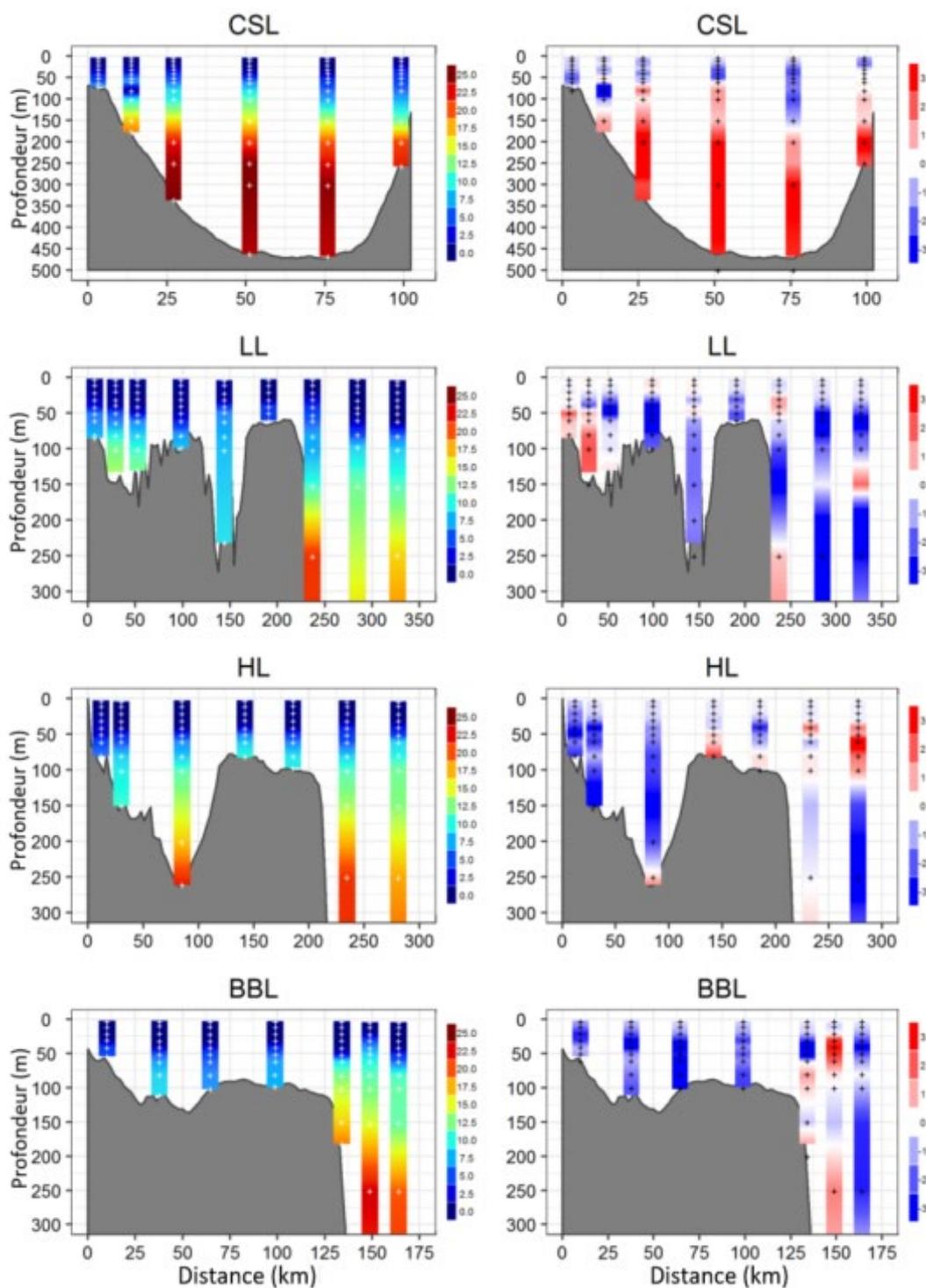


Figure 12b. Profils verticaux des concentrations de nitrate (mmoles/m^3) (graphiques de gauche) et leurs anomalies (mmoles/m^3) par rapport aux conditions de référence (1999 à 2015) (graphiques de droite) sur les sections du PN à l'automne 2018. Les marques blanches sur les graphiques de gauche indiquent les profondeurs d'échantillonnage réelles en 2018. Les marques noires sur les graphiques de droite indiquent les profondeurs auxquelles les valeurs climatologiques propres à chaque station ont été calculées. CSL : section du détroit de Cabot; LL : section de Louisbourg; HL : section d'Halifax; BBL : section du banc de Browns.

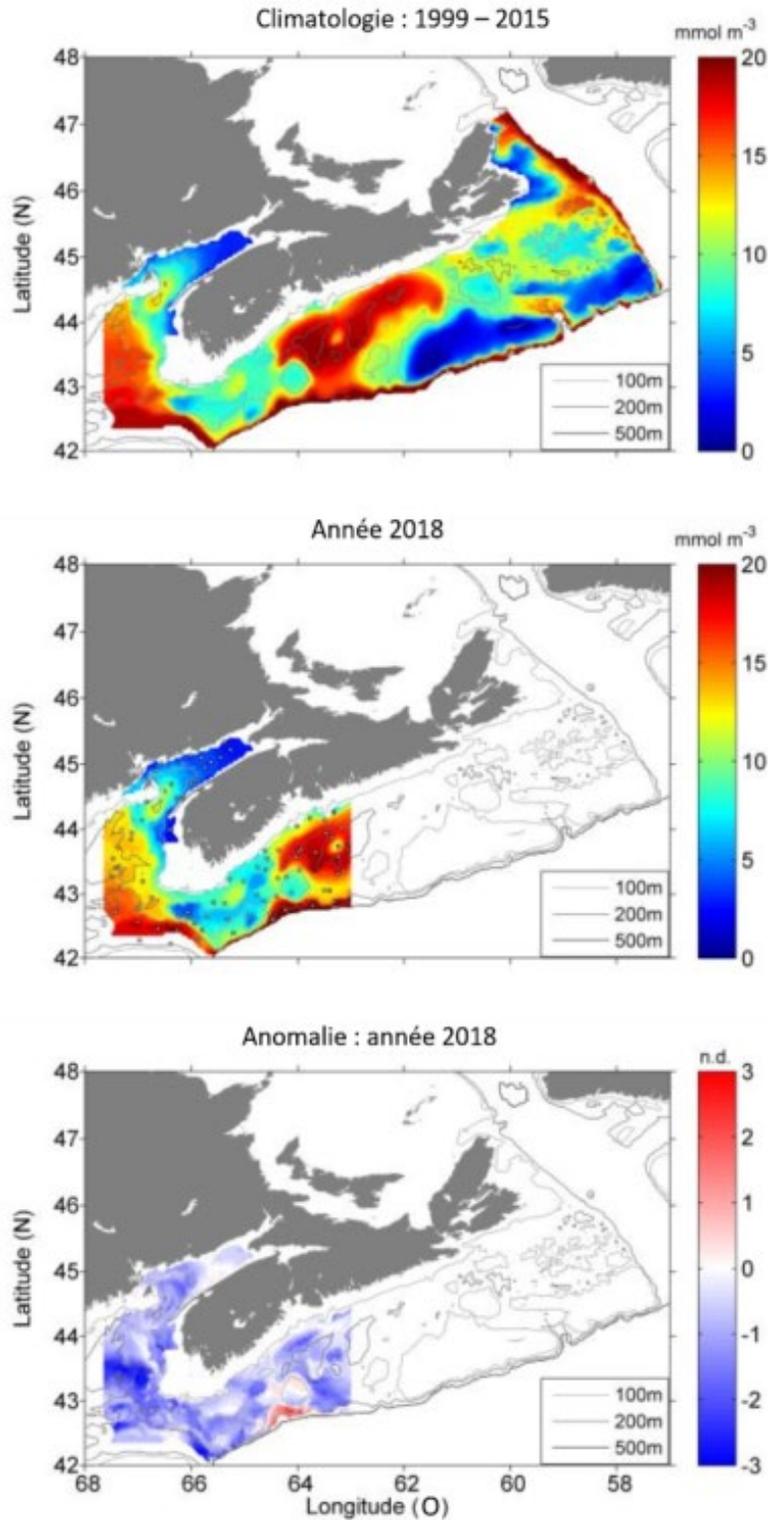


Figure 13. Concentrations de nitrate en profondeur durant le relevé au chalut de l'écosystème effectué à l'été 2018 : données climatologiques de la période 1999 à 2015 (graphique du haut), conditions de 2018 (graphique du milieu) et anomalies normalisées en fonction des données climatologiques (graphique du bas). Les marques sur le graphique du milieu représentent les lieux d'échantillonnage en 2018; p.d. = pas de dimensions.

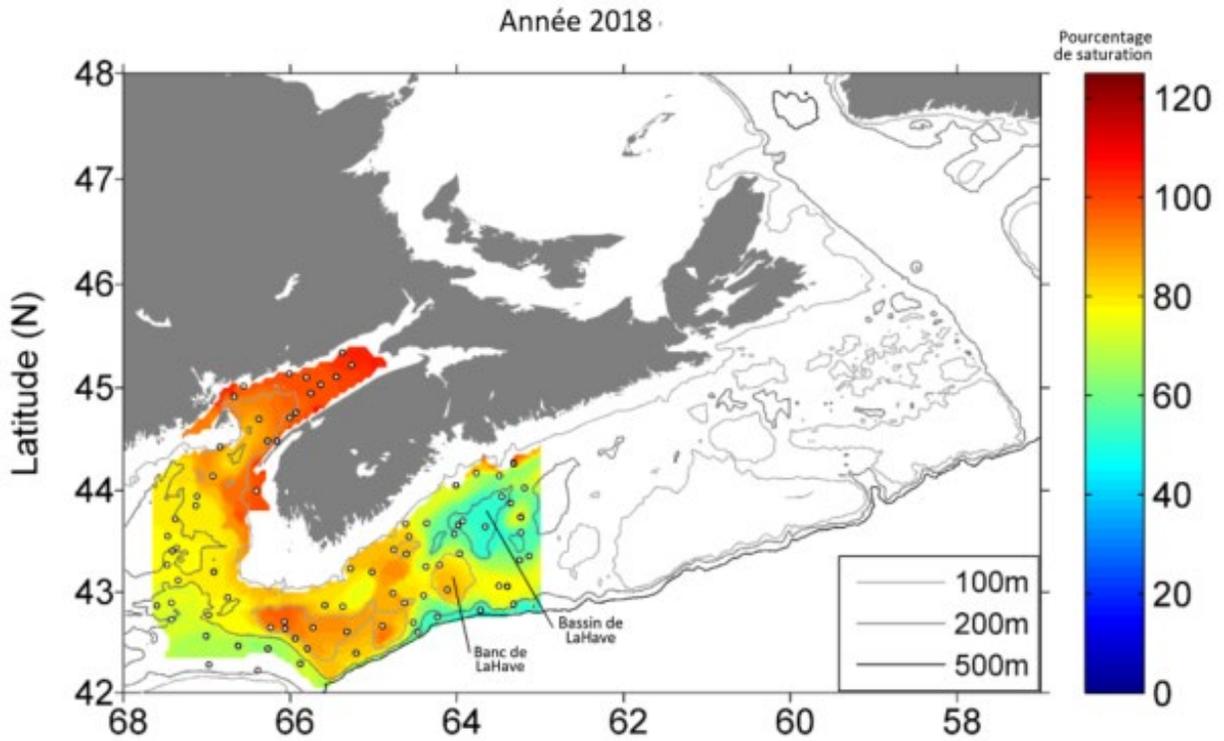


Figure 14. Niveau de saturation en oxygène en profondeur durant le relevé au chalut de l'écosystème effectué à l'été 2018. Les marques représentent les lieux d'échantillonnage.

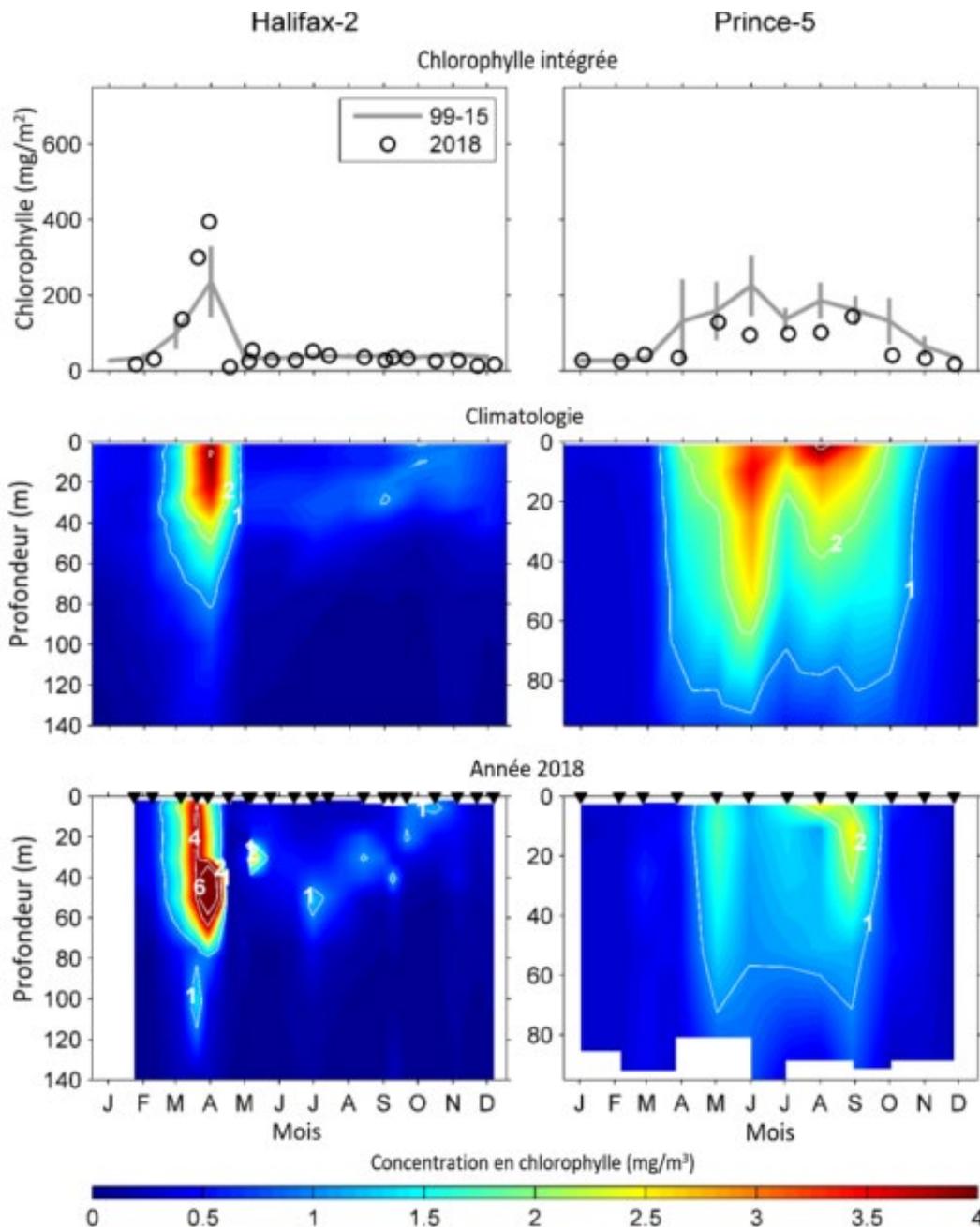


Figure 15. Variabilité annuelle des concentrations de chlorophylle aux stations des Maritimes (colonne de gauche : Halifax-2; colonne de droite : Prince-5). Graphiques du haut : inventaires de la chlorophylle (0 à 100 m à la station d'Halifax-2; 0 à 95 m à la station de Prince-5) en 2018 (cercles ouverts) et valeurs moyennes de la période 1999 à 2015 (lignes pleines). Les lignes verticales illustrent les intervalles de confiance à 95 % des moyennes mensuelles. Graphiques du milieu : cycle saisonnier moyen (1999 à 2015) de la structure verticale des concentrations de chlorophylle (mg/m^3). Graphiques du bas : cycle saisonnier de la structure verticale des concentrations de chlorophylle en 2018. L'échelle de couleur met en valeur les changements près des niveaux estimés de saturation en nourriture pour les grands copépodes. Les triangles noirs dans les graphiques du bas indiquent les dates d'échantillonnage.

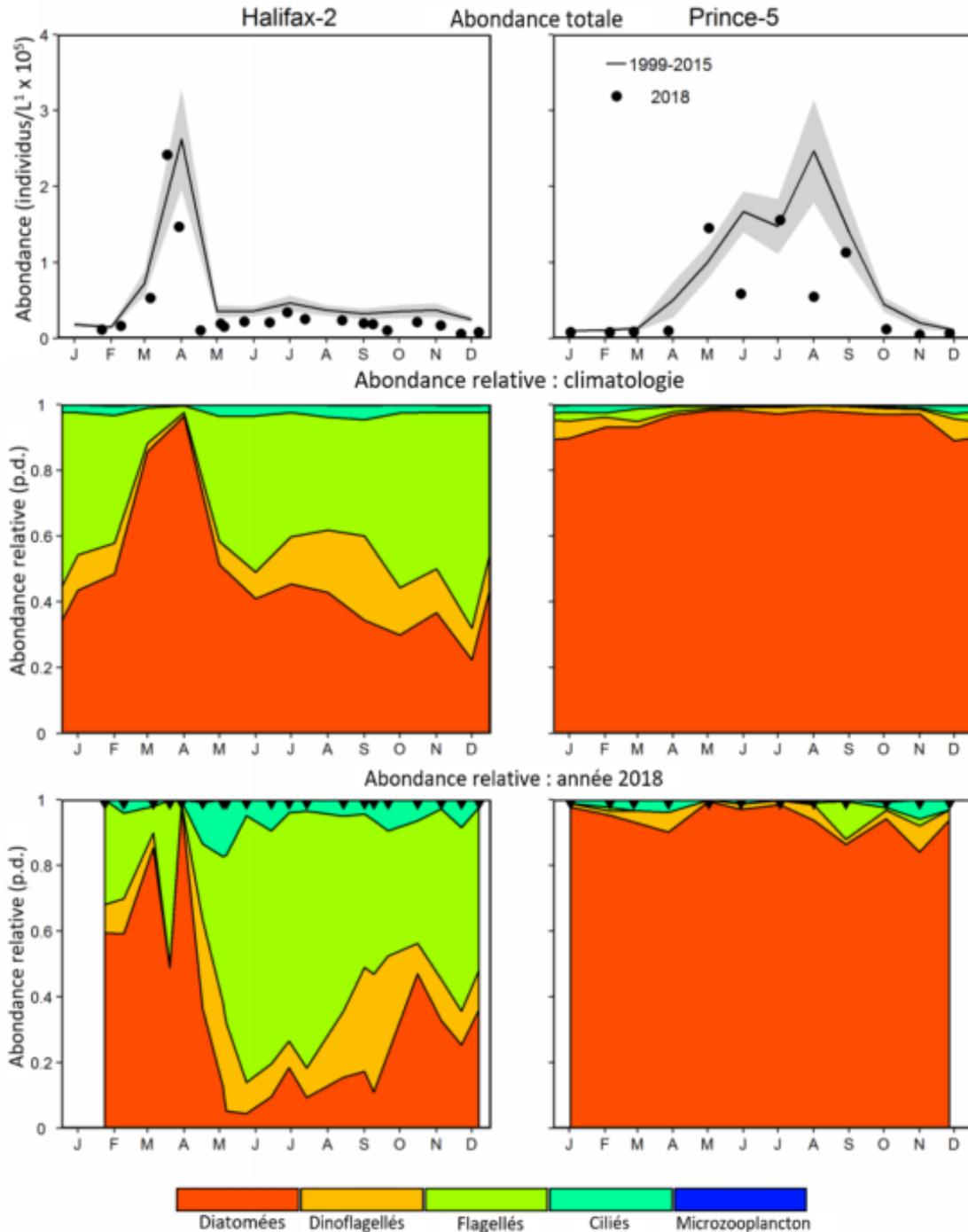


Figure 16. Comparaison de l'abondance et de la composition des communautés de microplancton (phytoplancton et protistes) en 2018 aux conditions moyennes de la période 1999 à 2015 aux stations d'échantillonnage à haute fréquence de la Région des Maritimes (Halifax-2 : graphiques de droite; Prince-5 : graphiques de gauche). Graphiques du haut : abondance du microplancton en 2018 (cercles pleins) et conditions moyennes de la période 1999 à 2015 (lignes pleines). La zone ombrée en gris représente l'erreur type des moyennes mensuelles. Graphiques du milieu : abondance relative climatologique du microplancton de la période 1999 à 2015. Graphiques du bas : abondance relative du microplancton en 2018; p.d. = pas de dimensions. Les triangles noirs dans les graphiques du bas indiquent les dates d'échantillonnage.

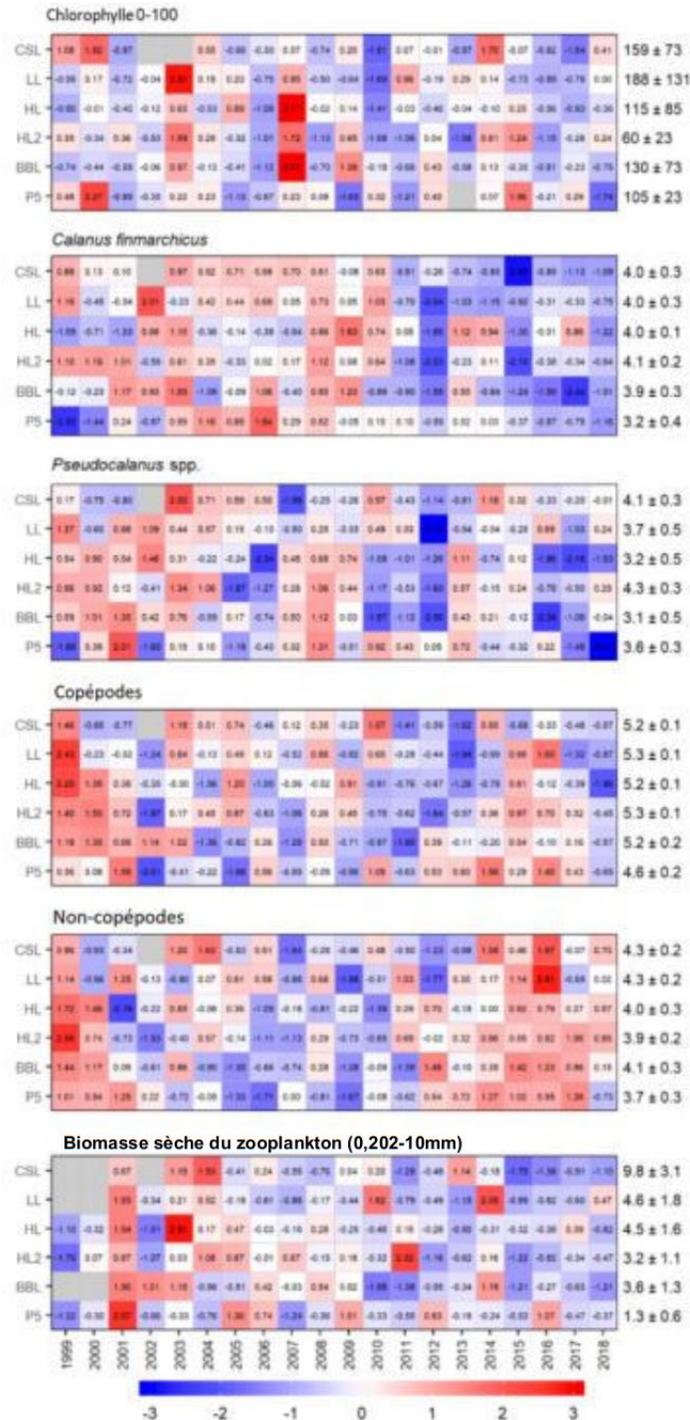


Figure 17. Tableau synoptique des anomalies annuelles de l'abondance et de la biomasse du phytoplancton (chlorophylle) et du zooplancton. Les valeurs dans chaque cellule sont les anomalies par rapport à la moyenne pour la période de référence (1999 à 2015), en unités d'écart-type (les moyennes et les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

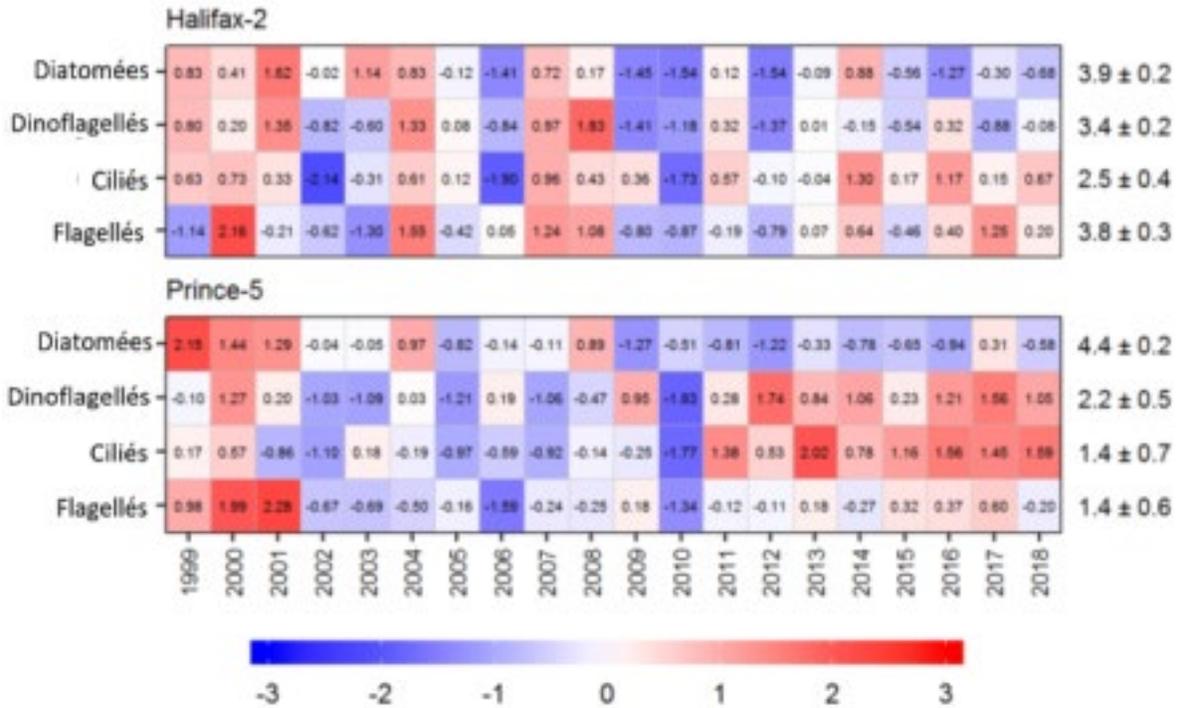


Figure 18. Tableau synoptique des anomalies annuelles de l'abondance du microplancton aux stations d'échantillonnage à haute fréquence de la Région des Maritimes. Les valeurs dans chaque cellule sont les anomalies par rapport à la moyenne pour la période de référence (1999 à 2015), en unités d'écart-type (les moyennes et les écarts-types sont indiqués à droite). Les cellules rouges (bleues) indiquent des abondances du microplancton supérieures (inférieures) à la normale.

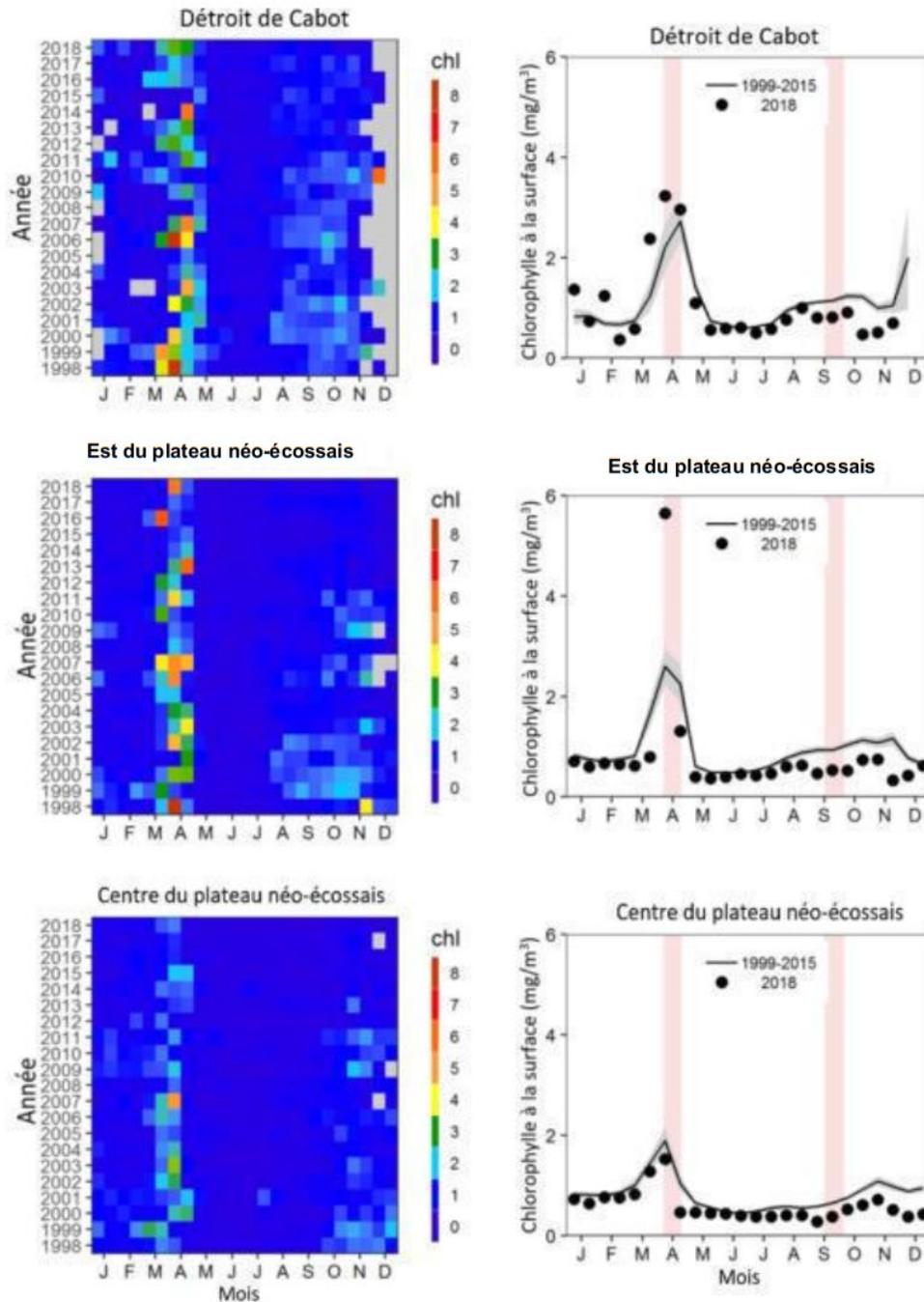


Figure 19a. Estimations des concentrations de chlorophylle à la surface grâce aux données bimensuelles sur la couleur de l'océan recueillies par télédétection dans les sous-régions statistiques du détroit de Cabot (en haut), de l'est du plateau néo-écossais (au milieu) et du centre du plateau néo-écossais (en bas) (voir la figure 4). Les données sont recueillies à l'aide des technologies SeaWiFS (1998 à 2007), MODIS (2008 à 2011) et VIIRS (2012 à 2017). Graphiques de gauche : séries chronologiques de la variation annuelle des concentrations de chlorophylle. Graphiques de droite : comparaison des estimations de la chlorophylle à la surface en 2018 (cercles pleins) aux conditions moyennes de la période 1999 à 2015 (lignes pleines) dans les mêmes sous-régions. La zone ombrée en gris est l'intervalle de confiance à 95 % des moyennes bimensuelles. Les bandes verticales roses indiquent le moment des missions saisonnières.

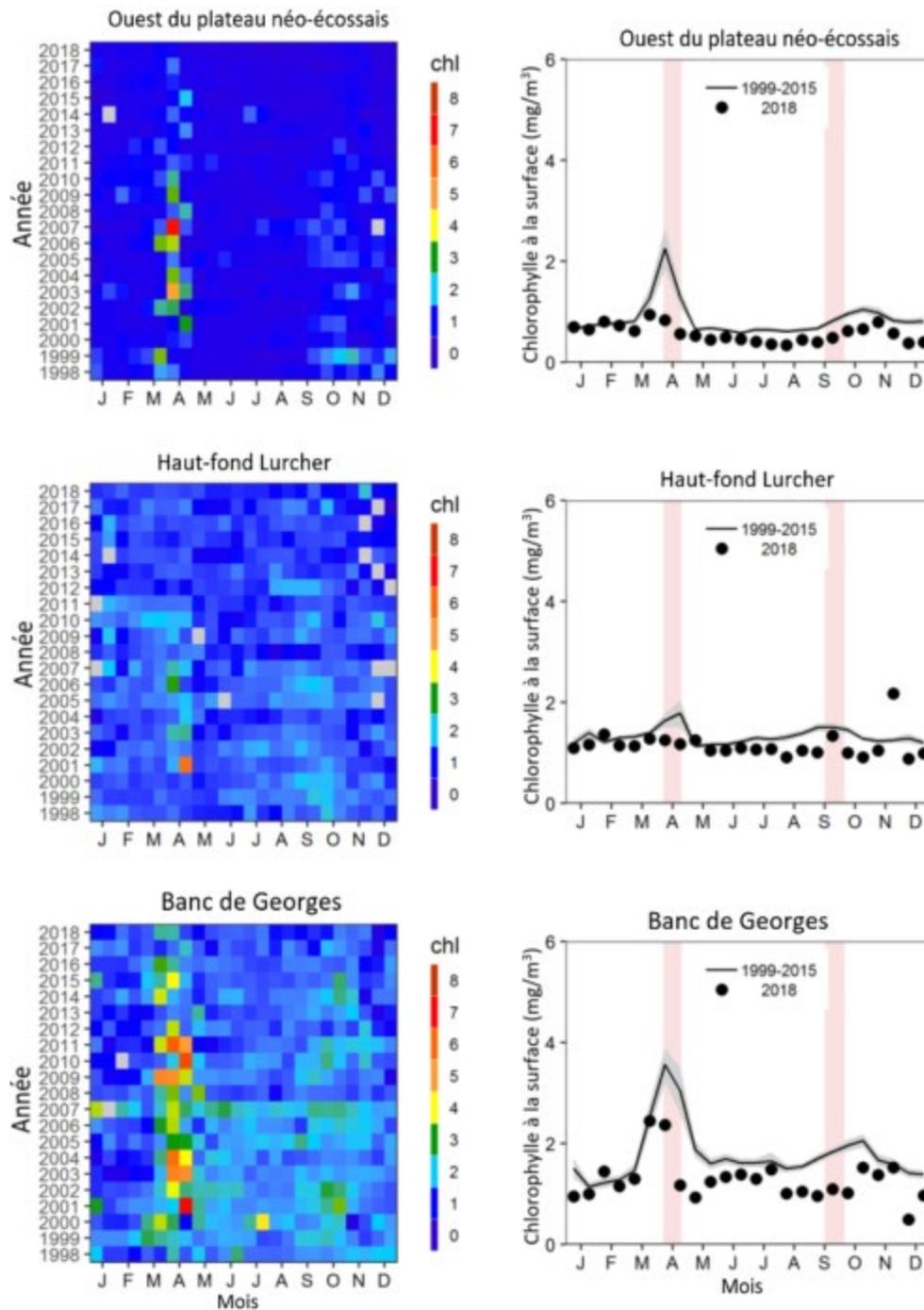


Figure 19b. Estimations des concentrations de chlorophylle à la surface grâce aux données bimensuelles sur la couleur de l'océan recueillies par télédétection dans les sous-régions statistiques de l'ouest du plateau néo-écossais (en haut), du haut-fond Lurcher (au milieu) et du banc de Georges (en bas) (voir la figure 4). Les données sont recueillies à l'aide des technologies SeaWiFS (1998 à 2007), MODIS (2008 à 2011) et VIIRS (2012 à 2017). Graphiques de gauche : séries chronologiques de la variation annuelle des concentrations de chlorophylle. Graphiques de droite : comparaison des estimations de la chlorophylle à la surface en 2018 (cercles pleins) aux conditions moyennes de la période 1999 à 2015 (lignes pleines) dans les mêmes sous-régions. La zone ombrée en gris est l'intervalle de confiance à 95 % des moyennes bimensuelles. Les bandes verticales roses indiquent le moment des missions saisonnières.

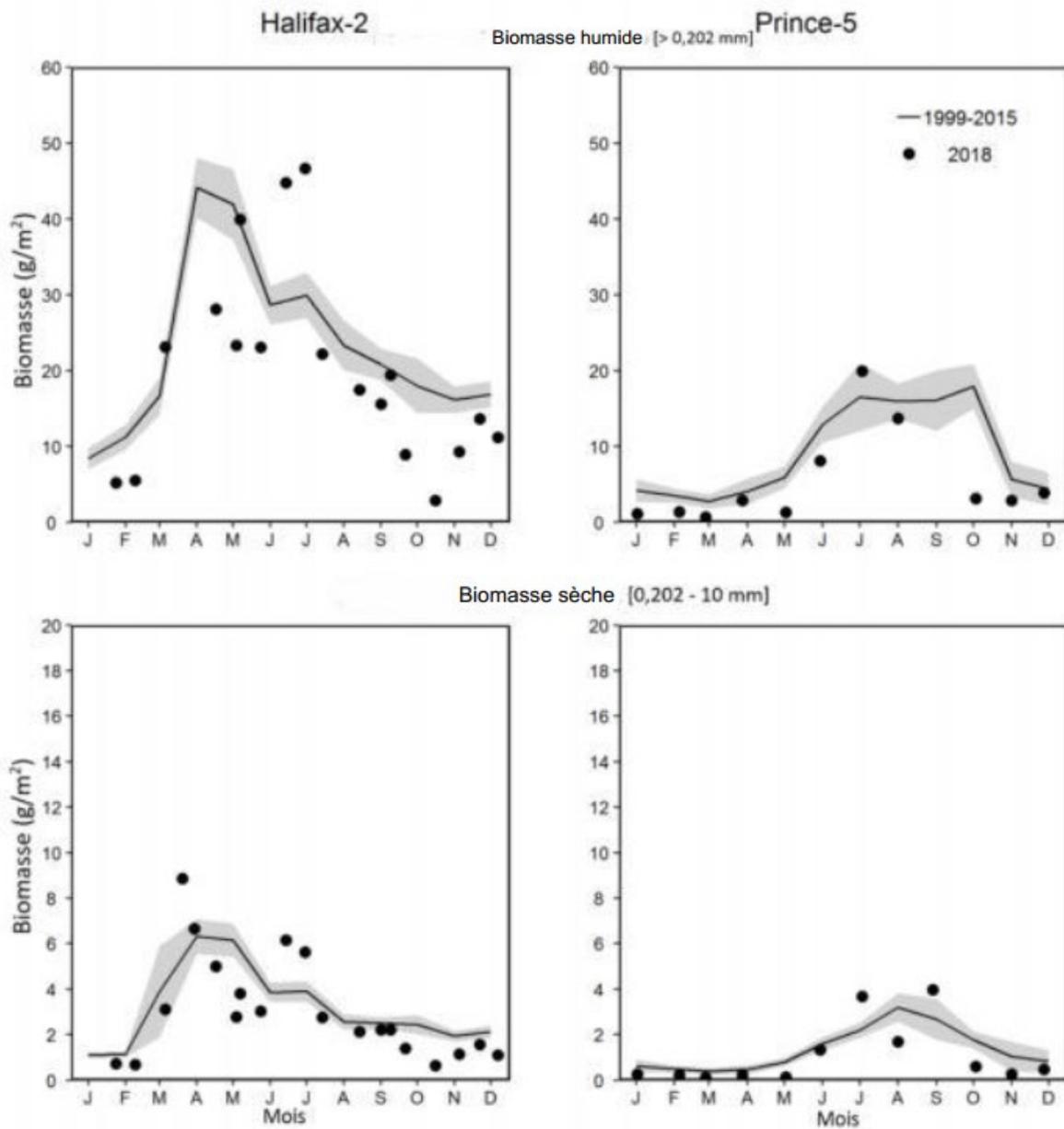


Figure 21. Biomasse humide totale du zooplancton (graphiques du haut) et biomasse sèche du mésozooplancton (graphiques du bas) (intégrées de la surface au fond) en 2018 (cercles pleins) et conditions moyennes de la période 1999 à 2015 (lignes pleines) aux stations d'échantillonnage à haute fréquence de la Région des Maritimes. La zone ombrée en gris représente l'erreur type des moyennes mensuelles. Graphiques de gauche : Halifax-2; graphiques de droite : Prince-5.

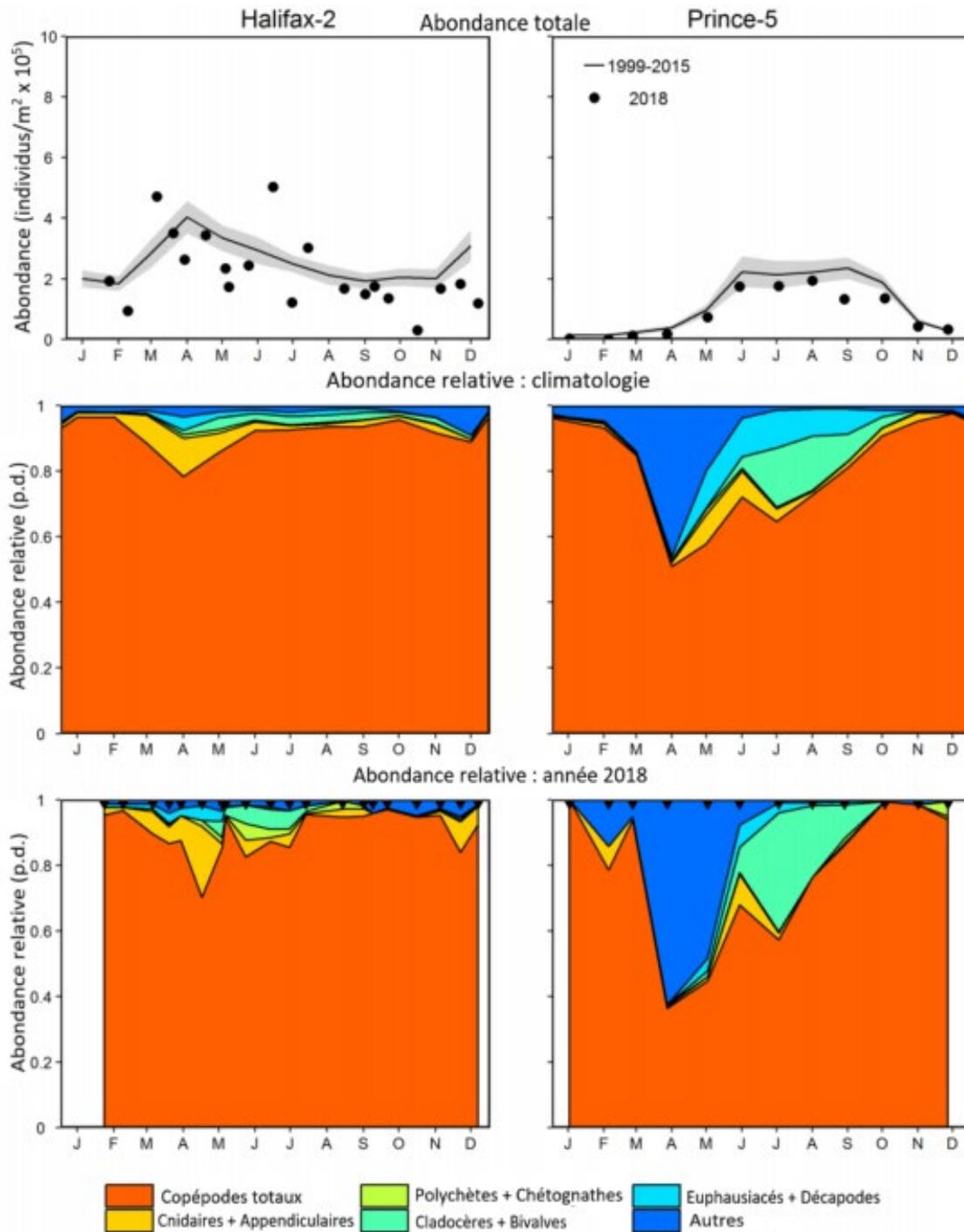


Figure 22. Abondance et composition de la communauté de zooplancton (> 200 µm) en 2018 et conditions moyennes de la période 1999 à 2015 aux stations d'échantillonnage à haute fréquence de la Région des Maritimes (graphiques de gauche : Halifax-2; graphiques de droite : Prince-5). Graphiques du haut : abondance du zooplancton en 2018 (cercles pleins) et conditions moyennes de la période 1999 à 2015 (lignes pleines). La zone ombrée en gris représente l'erreur type des moyennes mensuelles. Graphiques du milieu : abondance relative de chacun des grands groupes selon les données climatologiques de la période 1999 à 2015. Graphiques du bas : abondance relative des grands groupes en 2018; p.d. = pas de dimensions. Les triangles noirs dans les graphiques du bas indiquent les dates d'échantillonnage.

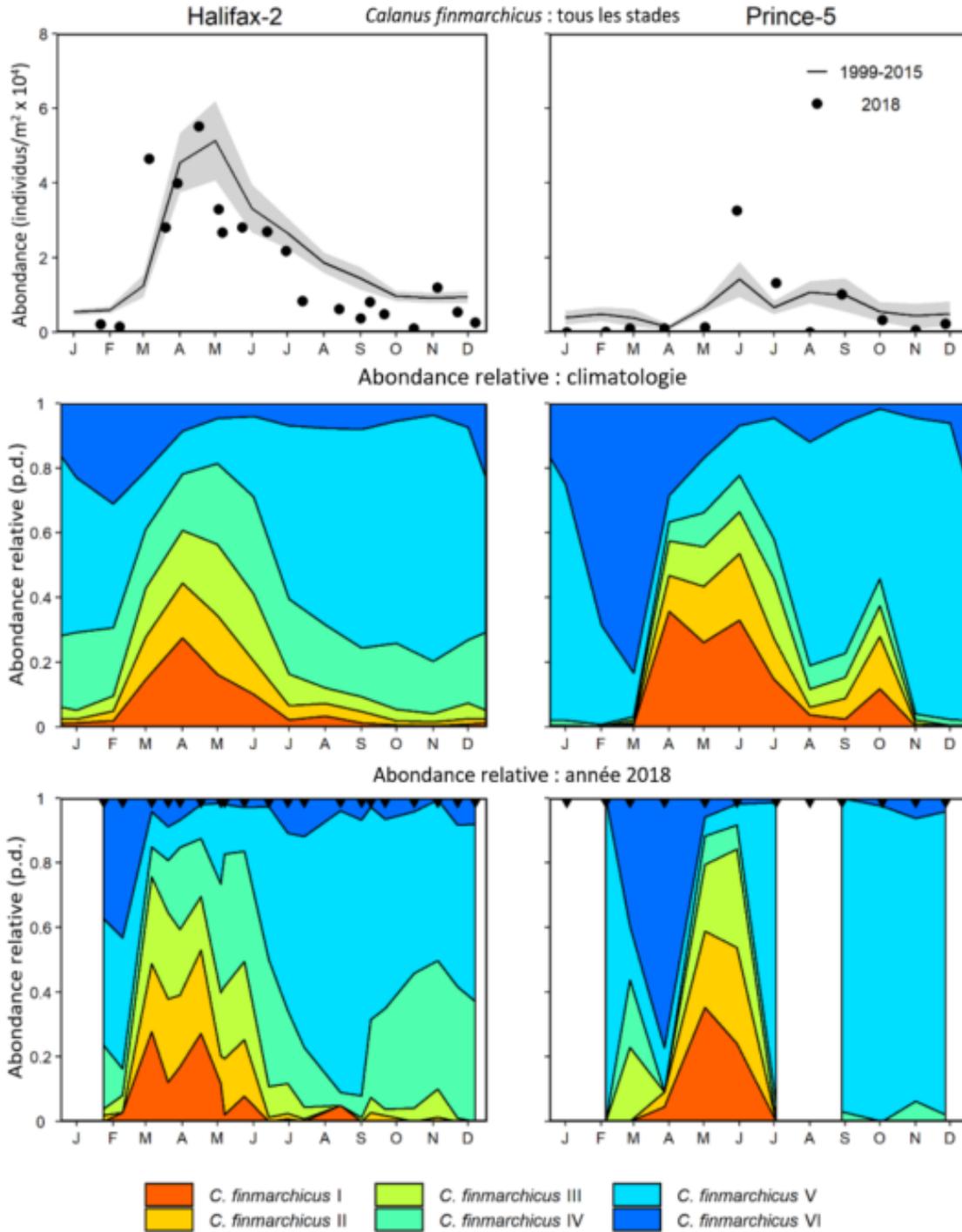


Figure 23. Abondance et répartition des stades de développement du *Calanus finmarchicus* en 2018 et conditions moyennes de la période 1999 à 2015 aux stations d'échantillonnage à haute fréquence de la Région des Maritimes (graphiques de gauche : Halifax-2; graphiques de droite : Prince-5). Graphiques du haut : abondance du *C. finmarchicus* en 2018 (cercles pleins) et conditions moyennes de la période 1999 à 2015 (lignes pleines). La zone ombrée en gris représente l'erreur type des moyennes mensuelles. Graphiques du milieu : abondance relative des stades du *C. finmarchicus* selon les données climatologiques de la période 1999 à 2015. Graphiques du bas : abondance relative des stades du *C. finmarchicus* en 2018; p.d. = pas de dimensions. Les triangles noirs dans les graphiques du bas indiquent les dates d'échantillonnage.

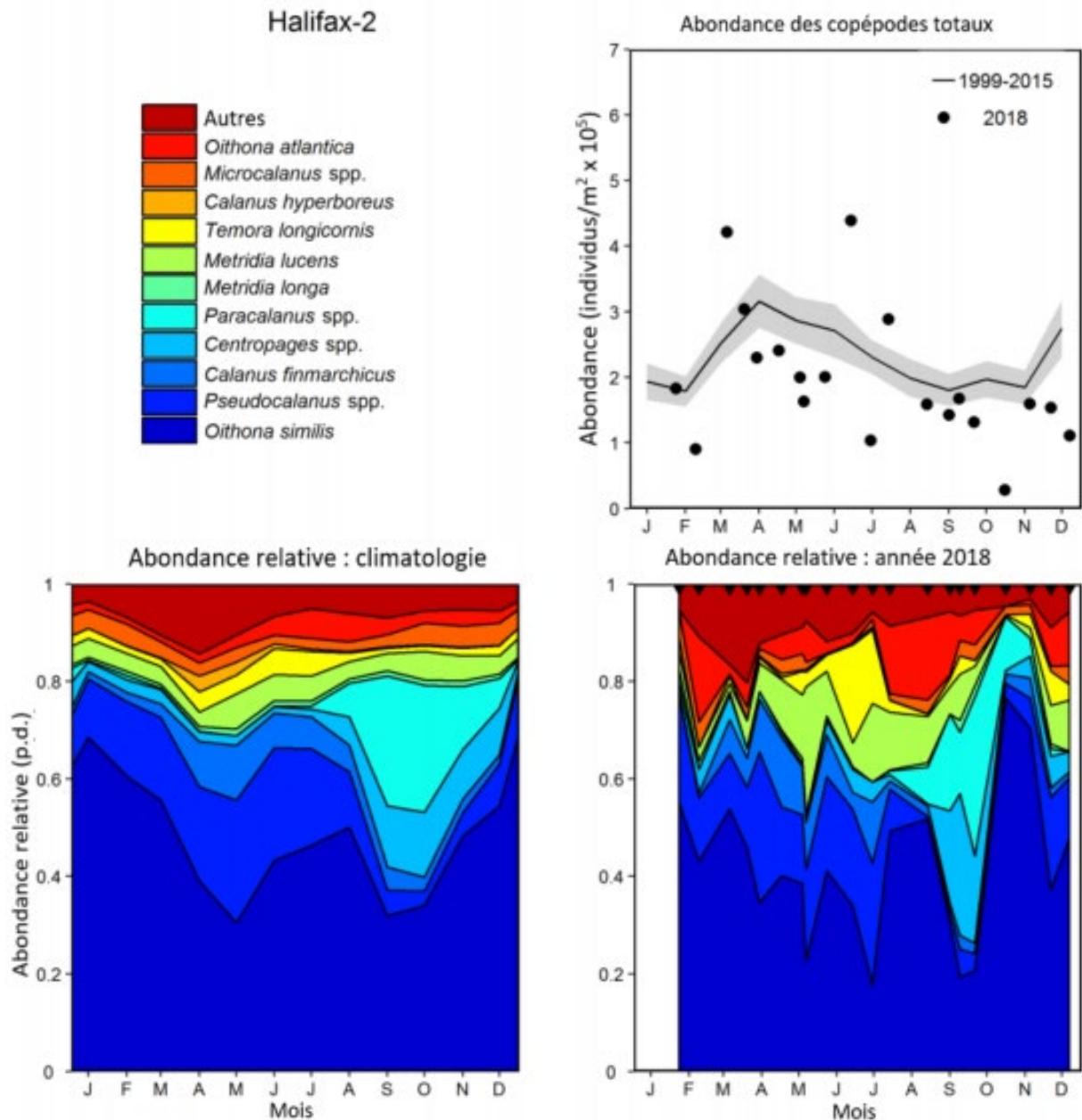


Figure 24a. Variabilité saisonnière des copépodes dominants à la station d'Halifax-2. Les taxons de copépodes identifiés faisant partie des 95 % les plus abondants au cours de la période 1999 à 2015 figurent individuellement; les autres taxons, dont les copépodes non identifiés (principalement des larves nauplius), sont regroupés sous « autres ». Graphiques du haut à droite : abondance des copépodes en 2018 (cercles pleins) et conditions moyennes de la période 1999 à 2015 (lignes pleines). La zone ombrée en gris représente l'erreur type des moyennes mensuelles. Graphique du bas à gauche : abondance relative des copépodes selon les données climatologiques de la période 1999 à 2015. Graphique du bas à droite : abondance relative des copépodes en 2018; p.d. = pas de dimensions. Les triangles noirs dans le graphique du bas indiquent les dates d'échantillonnage.

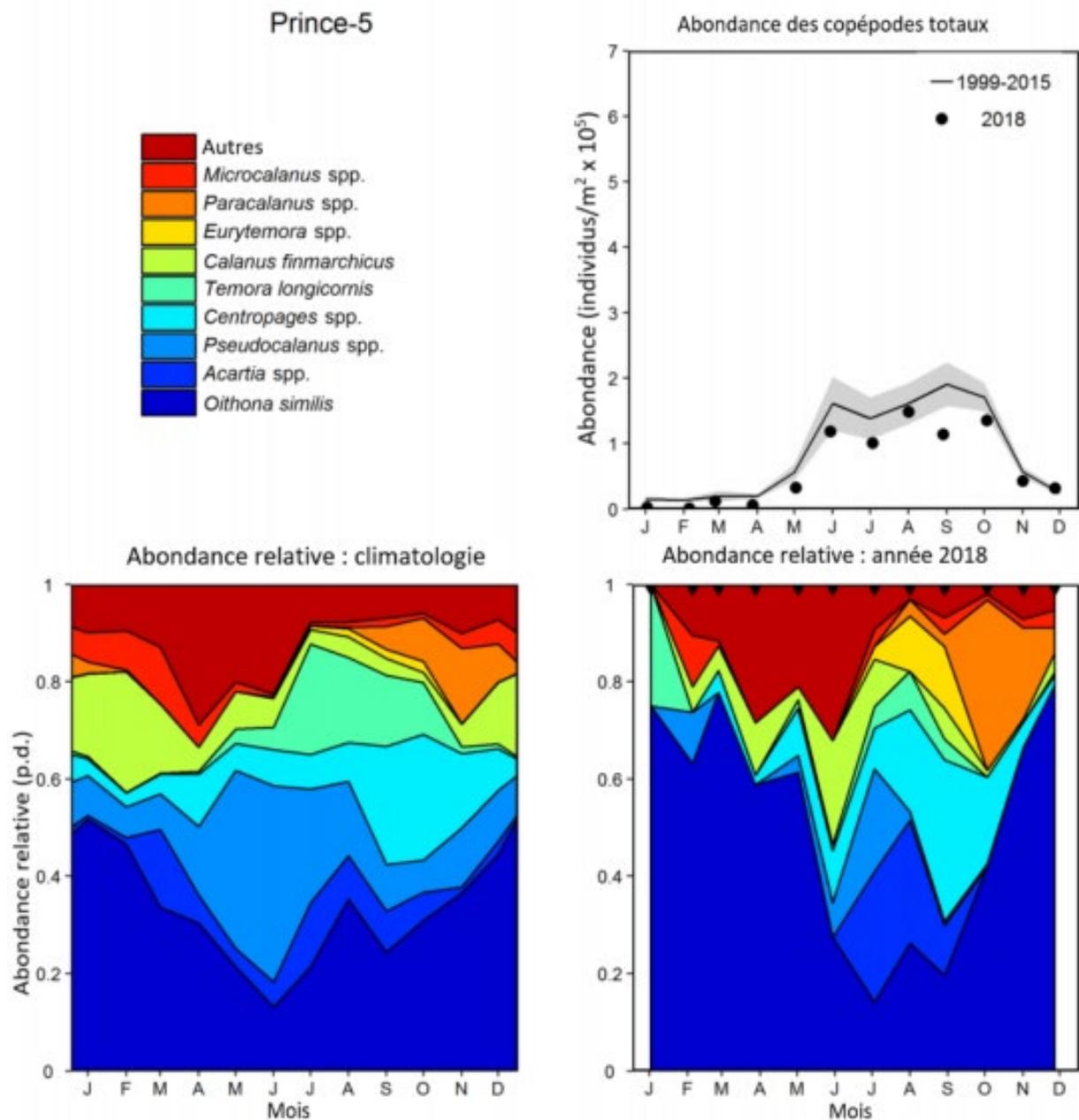
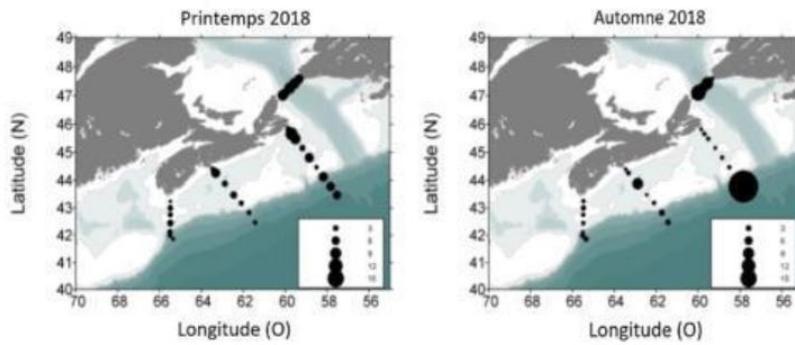


Figure 24b. Variabilité saisonnière des copépodes dominants à la station de Prince-5. Les taxons de copépodes identifiés faisant partie des 95 % les plus abondants au cours de la période 1999 à 2015 figurent individuellement; les autres taxons, dont les copépodes non identifiés (principalement des larves nauplius), sont regroupés sous « autres ». Graphiques du haut à droite : abondance des copépodes en 2018 (cercles pleins) et conditions moyennes de la période 1999 à 2015 (lignes pleines). La zone ombrée en gris représente l'erreur type des moyennes mensuelles. Graphique du bas à gauche : abondance relative des copépodes selon les données climatologiques de la période 1999 à 2015. Graphique du bas à droite : abondance relative des copépodes en 2018; p.d. = pas de dimensions. Les triangles noirs dans le graphique du bas indiquent les dates d'échantillonnage.

Biomasse sèche du zooplancton (g/m^2)



Anomalies de la biomasse sèche du zooplancton

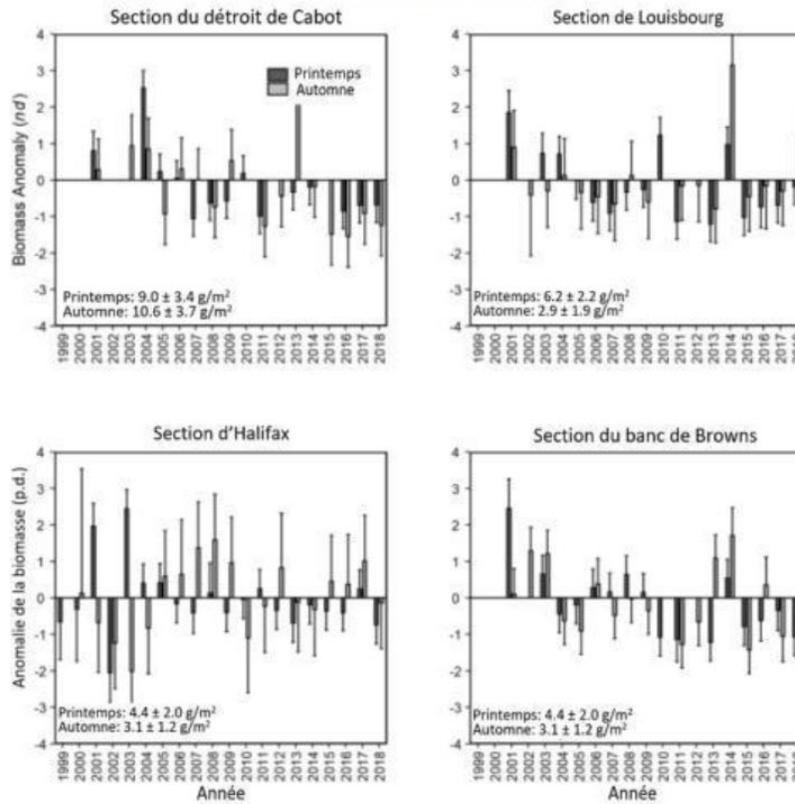
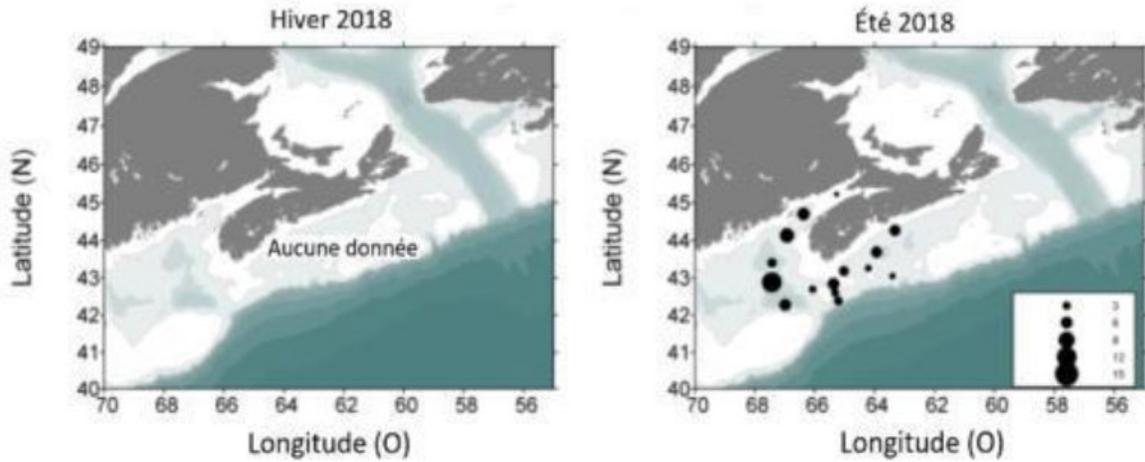


Figure 25. Répartition spatiale de la biomasse du zooplancton exprimée en poids sec en 2018 au printemps et à l'automne (graphiques du haut) et séries chronologiques des anomalies saisonnières de la biomasse du zooplancton en poids sec sur les sections du plateau néo-écossais (graphiques du milieu et du bas), de 1999 à 2018. Les lignes verticales dans les graphiques du bas représentent les erreurs types.

Biomasse sèche du zooplancton (g/m²)



Anomalies de la biomasse sèche du zooplancton

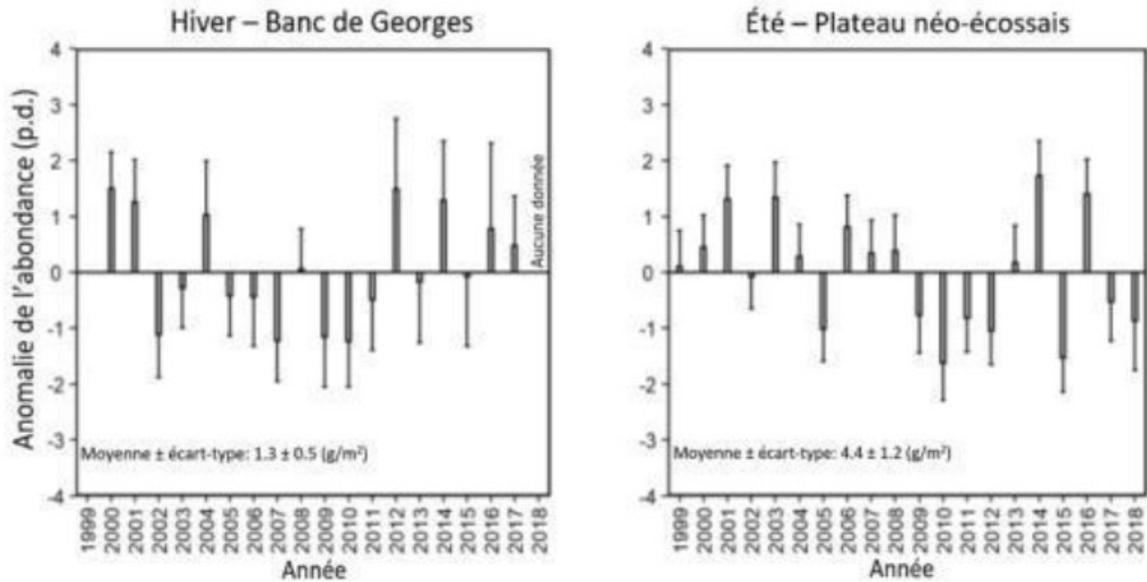


Figure 26. Répartition spatiale de la biomasse sèche du zooplancton en 2018 (graphiques du haut) et série chronologique des anomalies de la biomasse sèche du zooplancton (graphiques du bas) provenant des relevés au chalut de l'écosystème sur le banc de Georges (hiver) ainsi que sur le plateau néo-écossais et dans l'est du golfe du Maine (été), de 1999 à 2018. Les lignes verticales dans les graphiques du bas représentent les erreurs types.

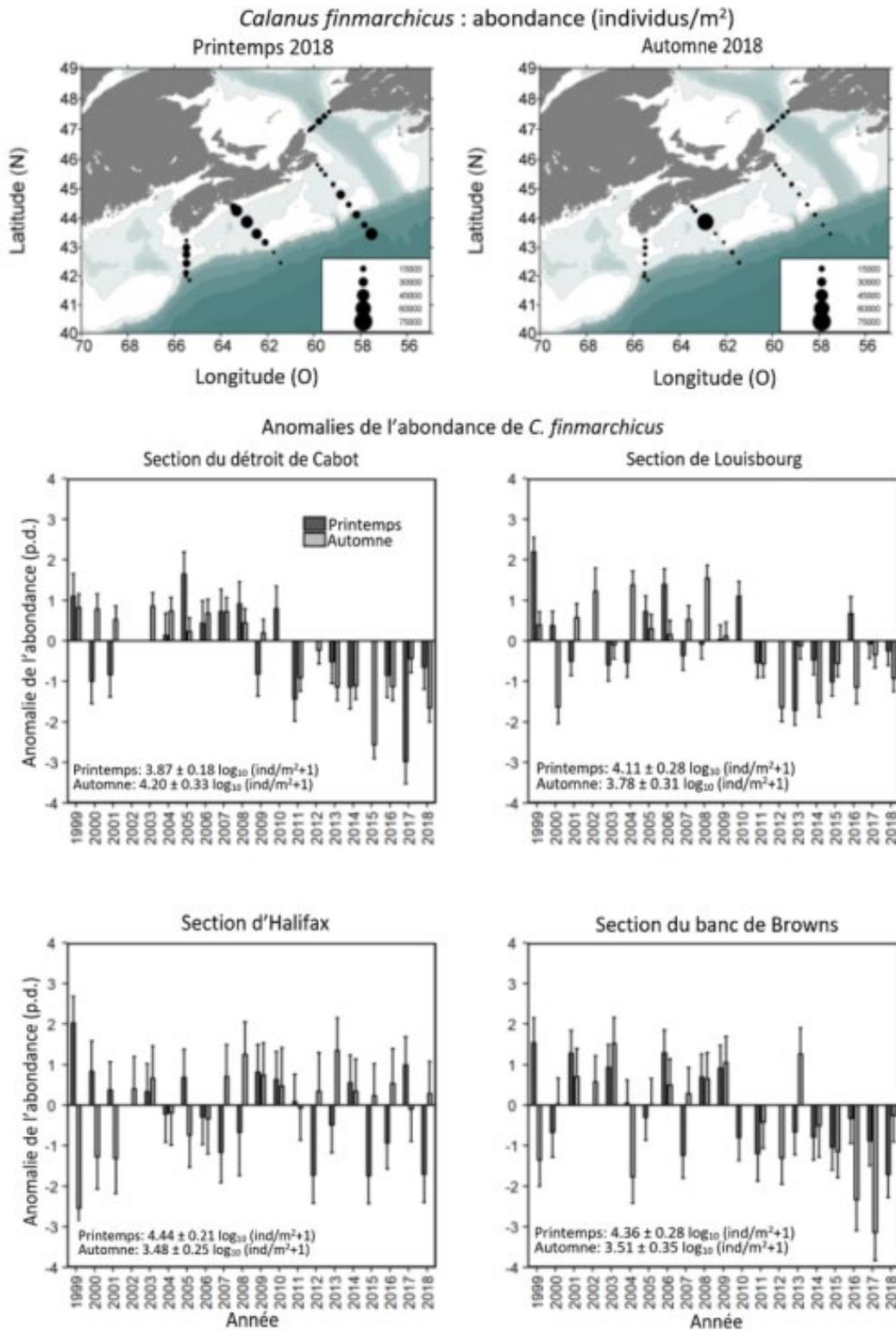


Figure 27. Répartition spatiale de l'abondance du *Calanus finmarchicus* en 2018 au printemps et à l'automne (graphiques du haut) et séries chronologiques des anomalies saisonnières de l'abondance du *C. finmarchicus* sur les sections du plateau néo-écossais (graphiques du milieu et du bas), de 1999 à 2018. Les lignes verticales dans les graphiques du bas représentent les erreurs types.

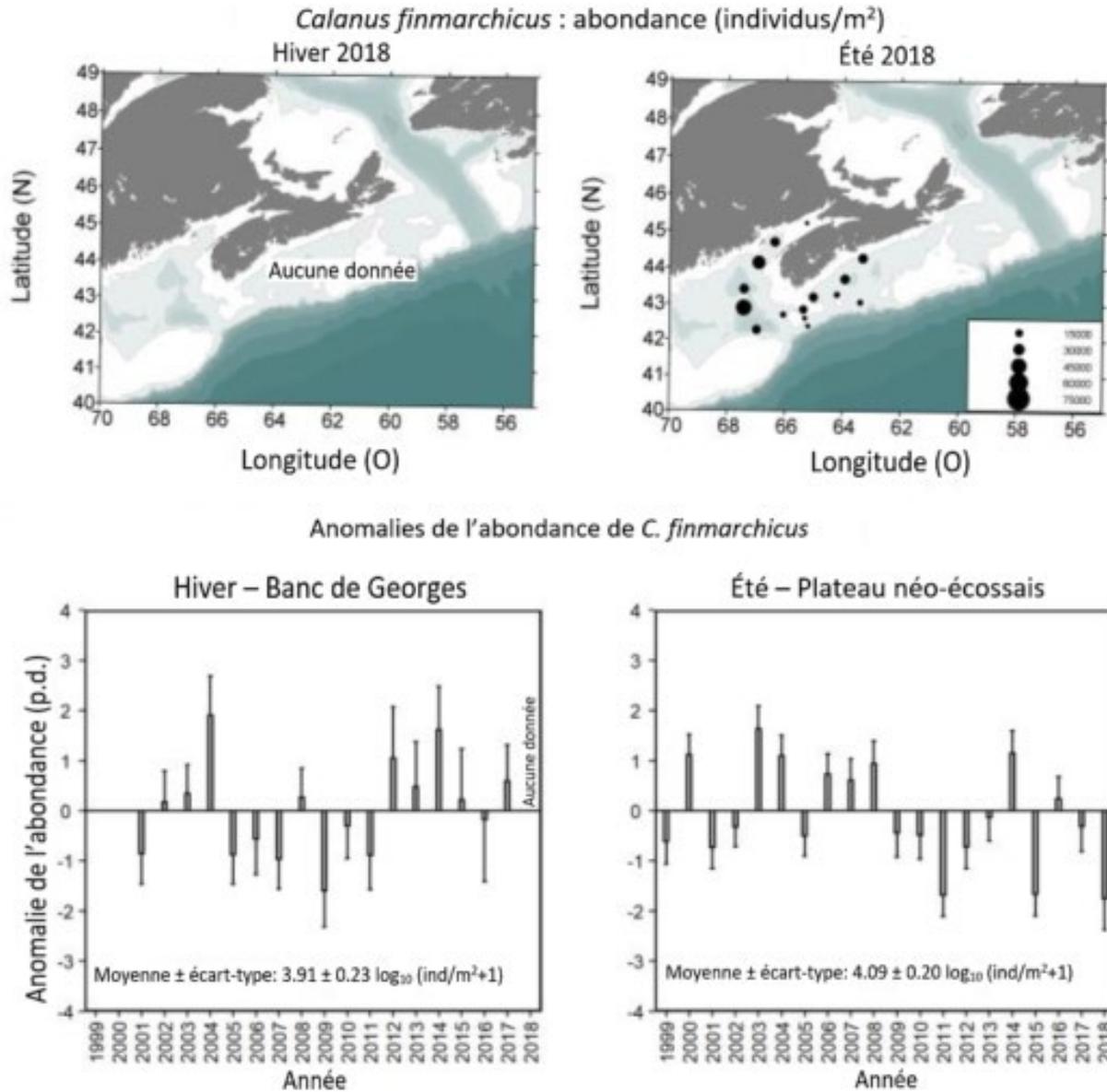


Figure 28. Répartition spatiale de l'abondance du *Calanus finmarchicus* en 2018 (graphiques du haut) et série chronologique des anomalies de l'abondance du *Calanus finmarchicus* (graphiques du bas) provenant des relevés au chalut de l'écosystème sur le banc de Georges (hiver) ainsi que sur le plateau néo-écossais et dans l'est du golfe du Maine (été), de 1999 à 2018. Les lignes verticales dans les graphiques du bas représentent les erreurs types.

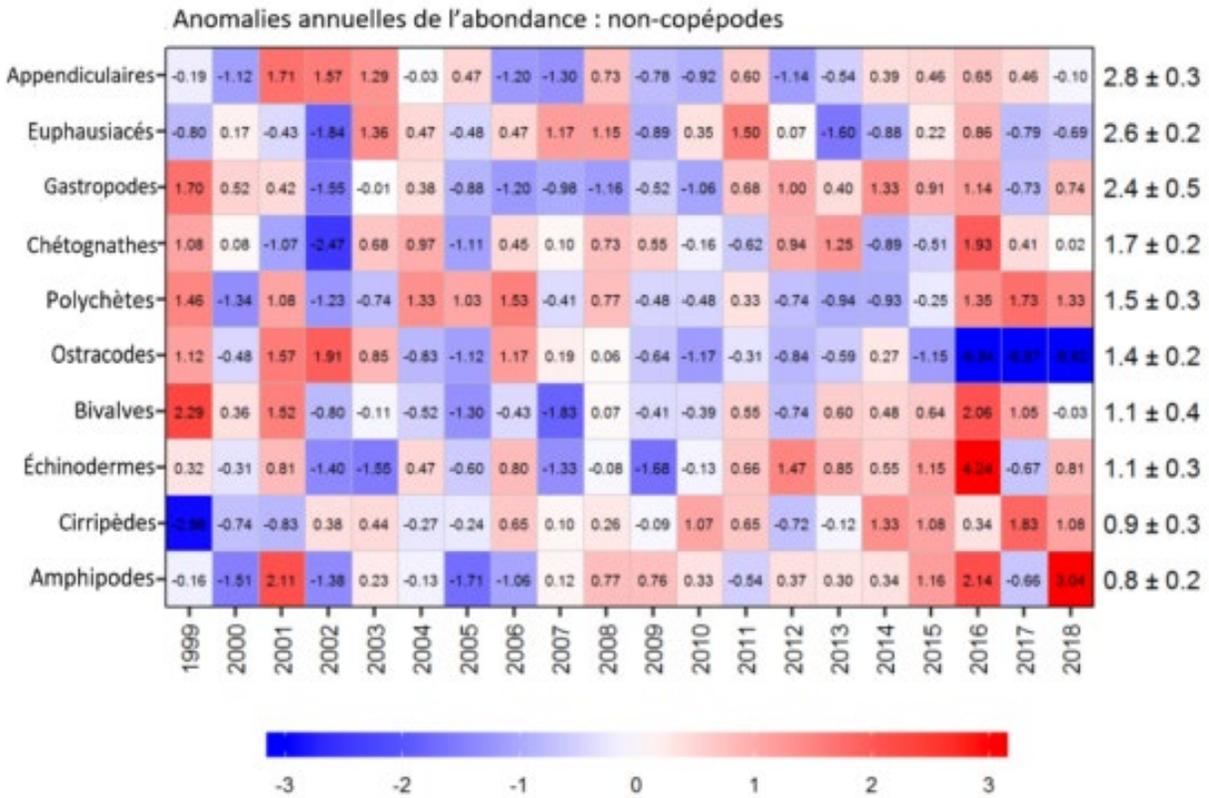


Figure 29. Tableau synoptique des anomalies annuelles de l'abondance des groupes de non-copépodes sur les sections du plateau néo-écossais, par ordre décroissant d'abondance. Les valeurs dans chaque cellule sont les anomalies par rapport à la moyenne pour la période de référence (1999 à 2015), en unités d'écart-type (les moyennes et les écarts-types sont indiqués à droite). Une cellule grise indique des données manquantes. Les cellules rouges (bleues) indiquent des abondances supérieures (inférieures) à la normale.

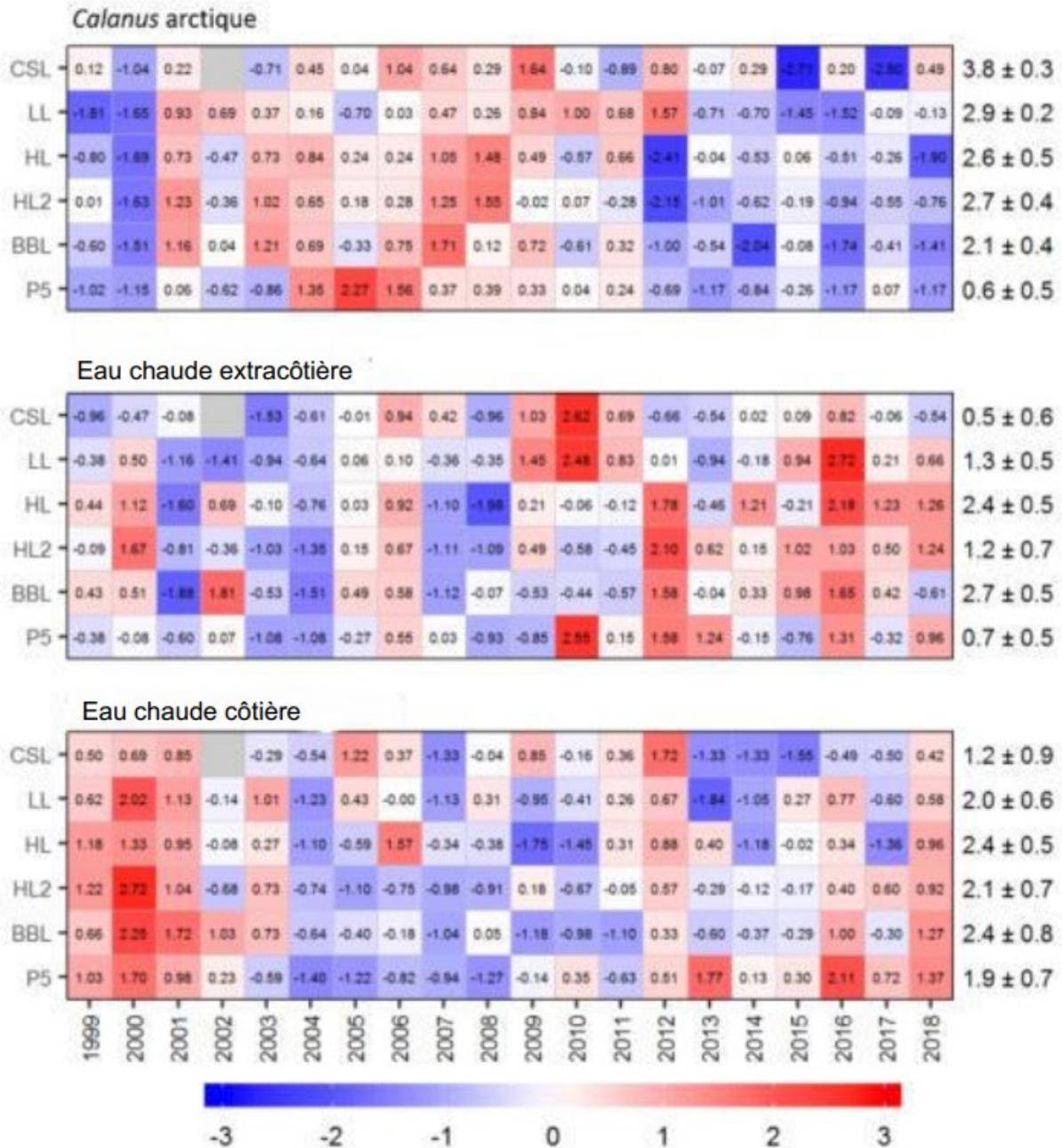


Figure 30. Tableau synoptique des anomalies annuelles de l'abondance des groupes indicateurs de copépodes. Les valeurs dans chaque cellule sont les anomalies par rapport à la moyenne pour la période de référence (1999 à 2015), en unités d'écart-type (les moyennes et les écarts-types sont indiqués à droite). Une cellule grise indique des données manquantes. Les cellules rouges (bleues) indiquent des abondances supérieures (inférieures) à la normale. CSL : section du détroit de Cabot; LL : section de Louisbourg; HL : section d'Halifax; HL2 : Halifax-2, BBL : section du banc de Browns; P5 : Prince-5.

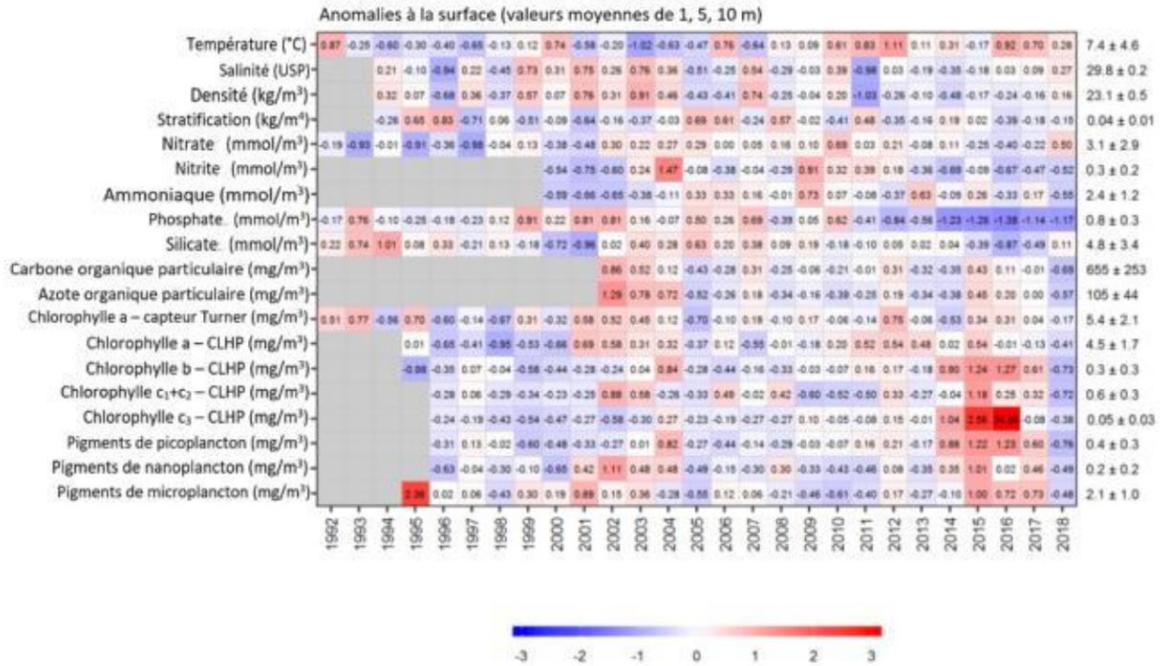


Figure 31. Tableau synoptique des anomalies annuelles des conditions environnementales et du phytoplancton à 2, à 5 et à 10 m, dans le bassin de Bedford. Les valeurs dans chaque cellule sont les anomalies par rapport à la moyenne pour la période de référence (2000 à 2015), en unités d'écart-type (les moyennes et les écarts-types sont indiqués à droite). Une cellule grise indique des données manquantes. Les cellules rouges (bleues) indiquent des abondances supérieures (inférieures) à la normale.

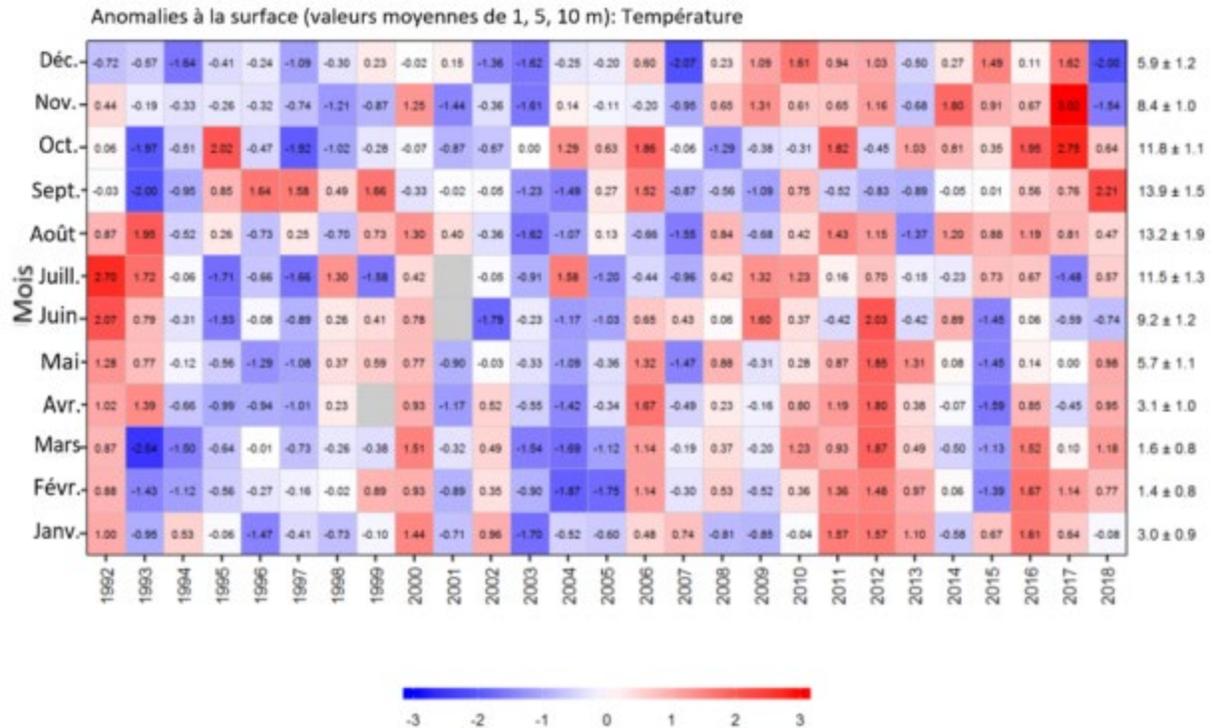


Figure 32. Anomalies moyennes mensuelles de la température à 2, à 5 et à 10 m, dans le bassin de Bedford. Les valeurs dans chaque cellule sont les anomalies par rapport à la moyenne mensuelle pour la période de référence (2000 à 2015), en unités d'écart-type (les moyennes et les écarts-types sont indiqués à droite). Une cellule grise indique des données manquantes. Les cellules rouges (bleues) indiquent des abondances supérieures (inférieures) à la normale.

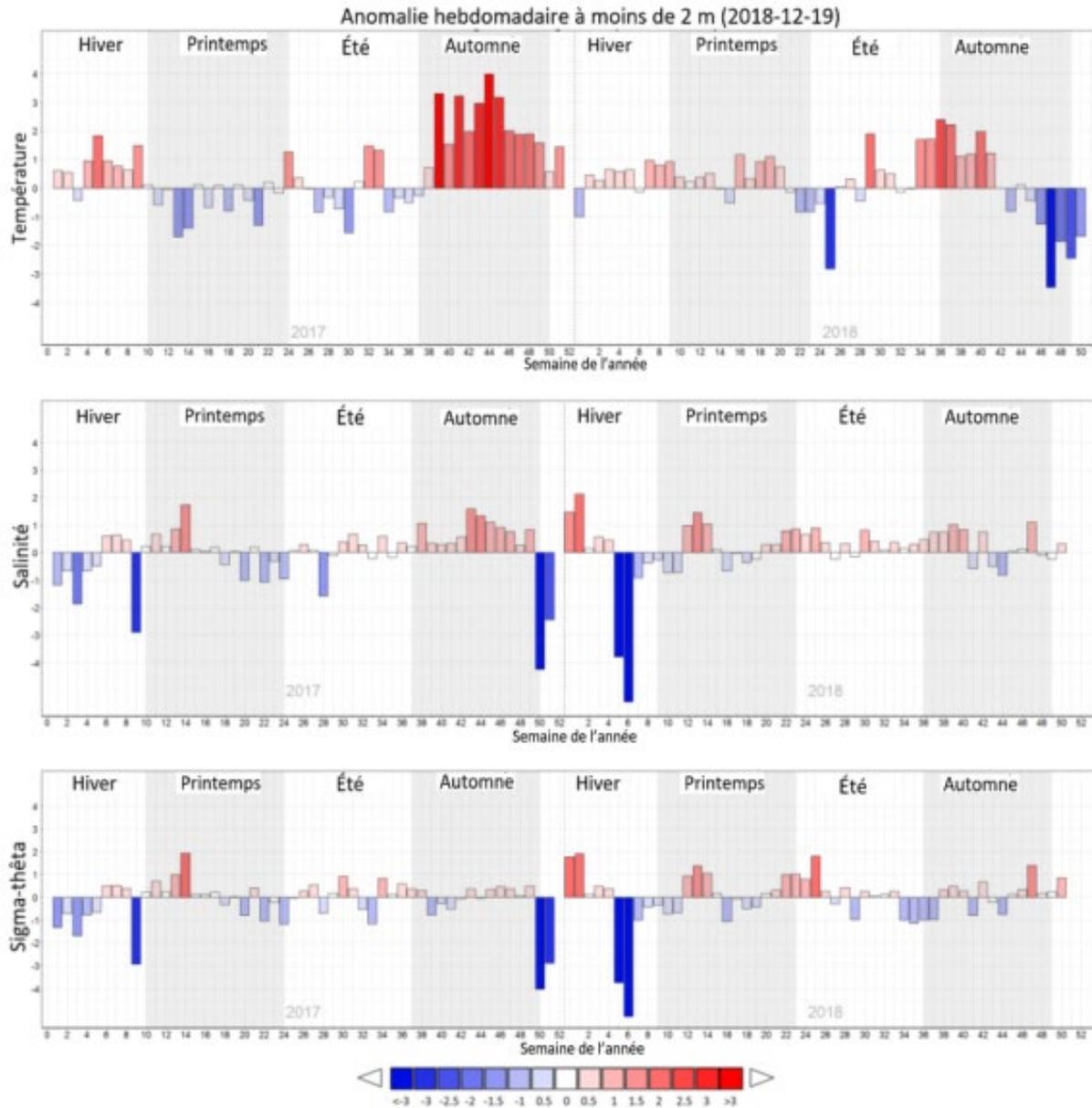


Figure 33. Anomalies hebdomadaires de la température, de la salinité et de la densité en profondeur, dans le bassin de Bedford. Les valeurs sont les anomalies par rapport à la moyenne hebdomadaire pour la période de référence (2000 à 2015), en unités d'écart-type (les moyennes et les écarts-types sont indiqués à droite). Une cellule grise indique des données manquantes. Les cellules rouges (bleues) indiquent des abondances supérieures (inférieures) à la normale.

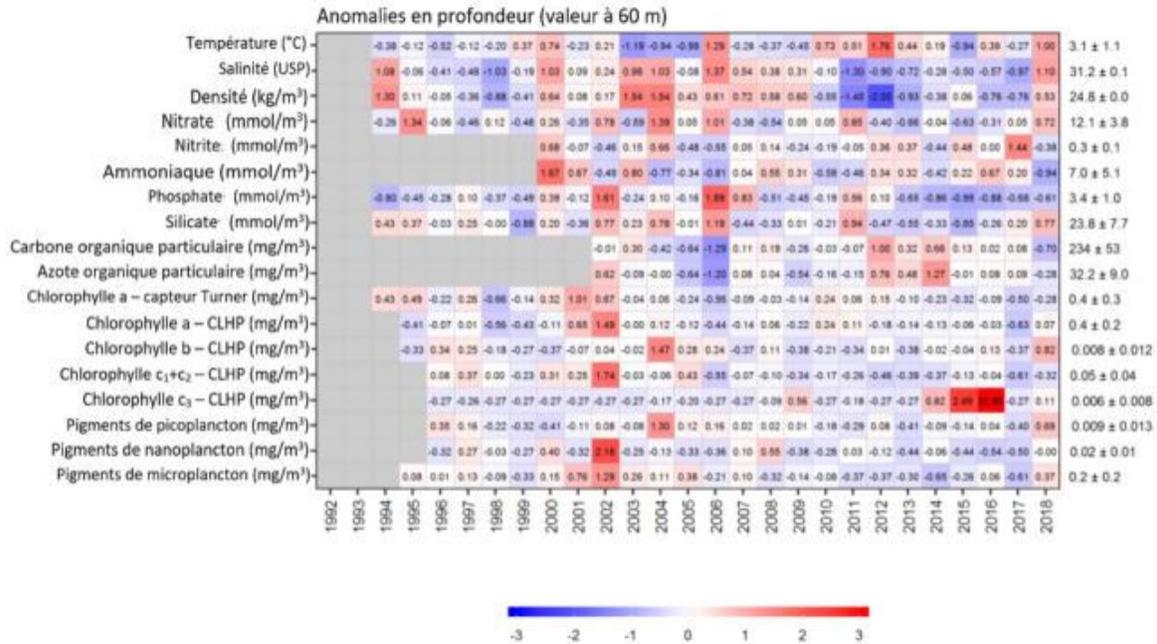


Figure 34. Tableau synoptique des anomalies annuelles des conditions environnementales et du phytoplancton à 60 m, dans le bassin de Bedford. Les valeurs dans chaque cellule sont les anomalies par rapport à la moyenne pour la période de référence (2000 à 2015), en unités d'écart-type (les moyennes et les écarts-types sont indiqués à droite). Une cellule grise indique des données manquantes. Les cellules rouges (bleues) indiquent des abondances supérieures (inférieures) à la normale.

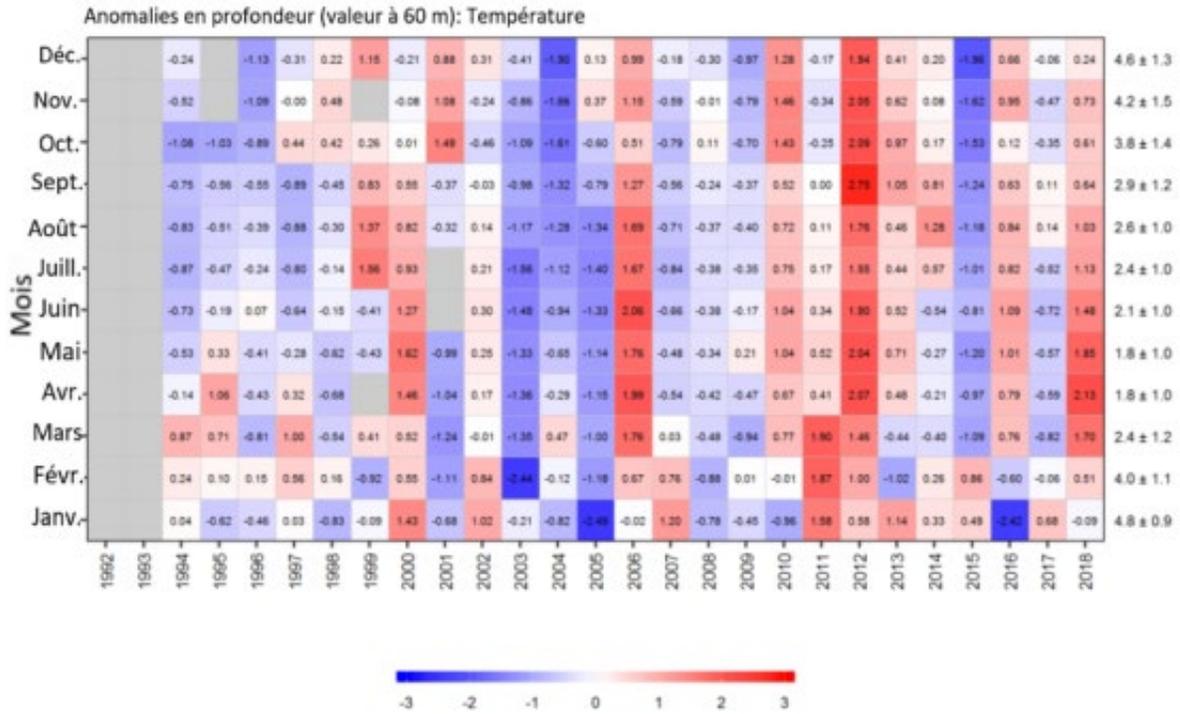


Figure 35. Anomalies mensuelles de la température en profondeur, à 60 m, dans le bassin de Bedford. Les valeurs dans chaque cellule sont les anomalies par rapport à la moyenne mensuelle pour la période de référence (2000 à 2015), en unités d'écart-type (les moyennes et les écarts-types sont indiqués à droite). Une cellule grise indique des données manquantes. Les cellules rouges (bleues) indiquent des abondances supérieures (inférieures) à la normale.

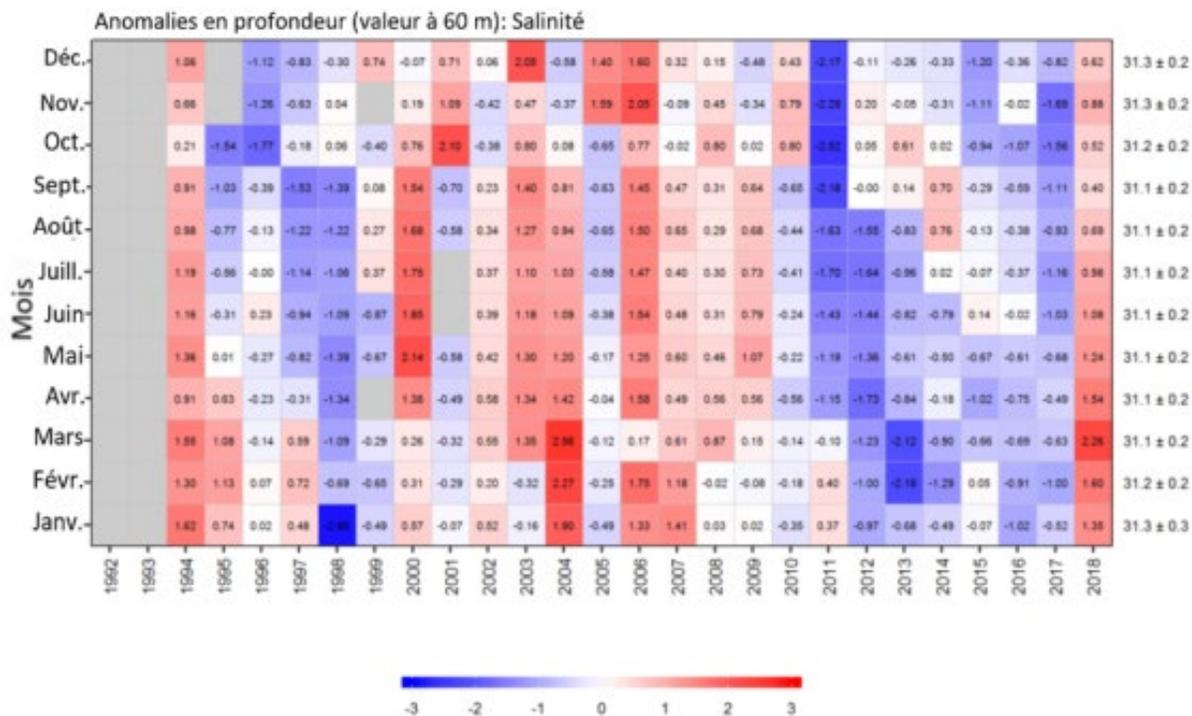


Figure 36. Anomalies mensuelles de la salinité en profondeur, à 60 m, dans le bassin de Bedford. Les valeurs dans chaque cellule sont les anomalies par rapport à la moyenne mensuelle pour la période de référence (2000 à 2015), en unités d'écart-type (les moyennes et les écarts-types sont indiqués à droite). Une cellule grise indique des données manquantes. Les cellules rouges (bleues) indiquent des abondances supérieures (inférieures) à la normale.

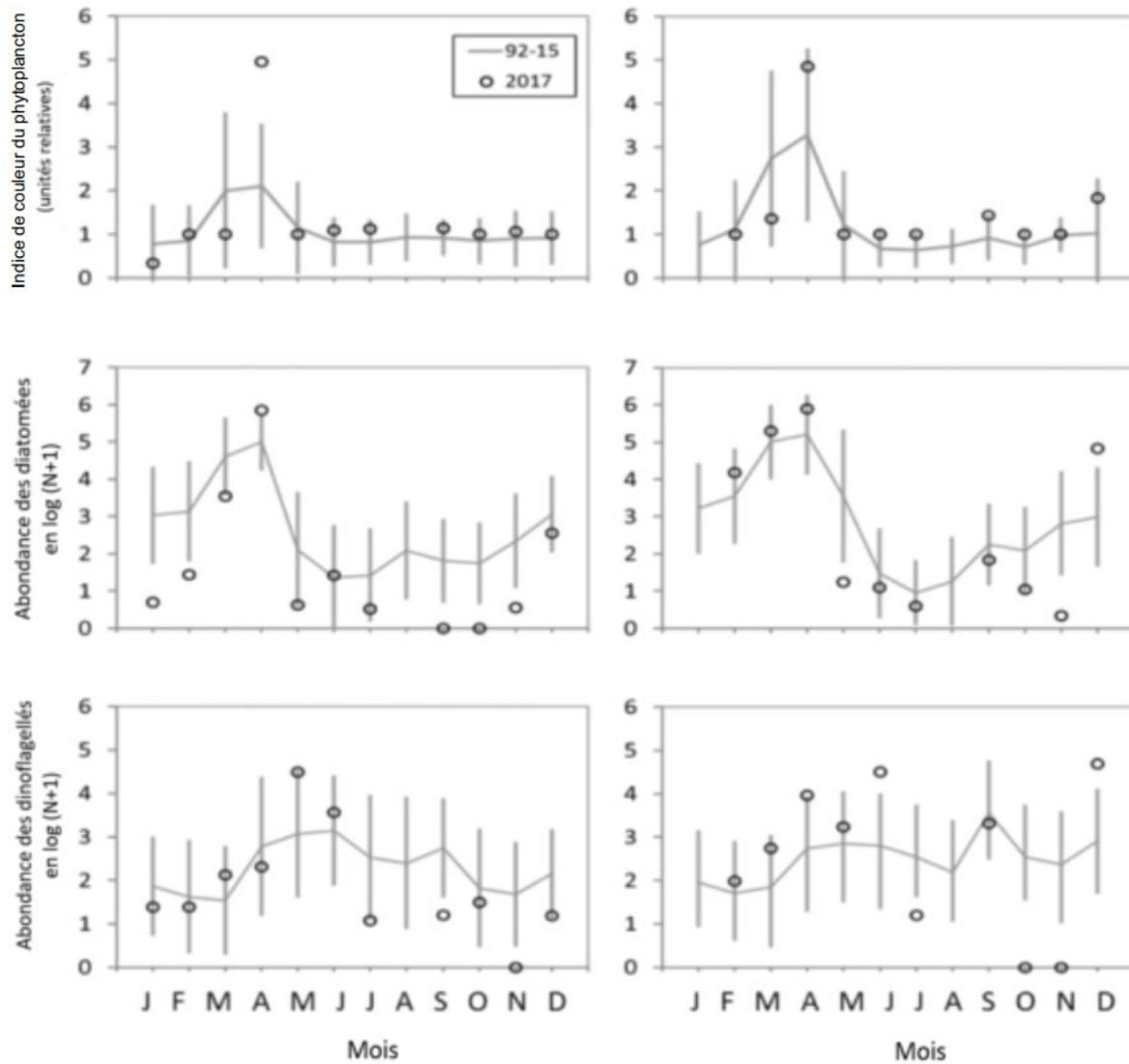


Figure 37. Indices d'abondance du phytoplancton d'après les données de l'enregistreur de plancton en continu de 2017 et conditions moyennes de la période 1992 à 2015 (lignes pleines) dans l'ouest (colonne de gauche) et l'est du plateau néo-écossais (colonne de droite). Les lignes verticales représentent les écarts-types des moyennes mensuelles.

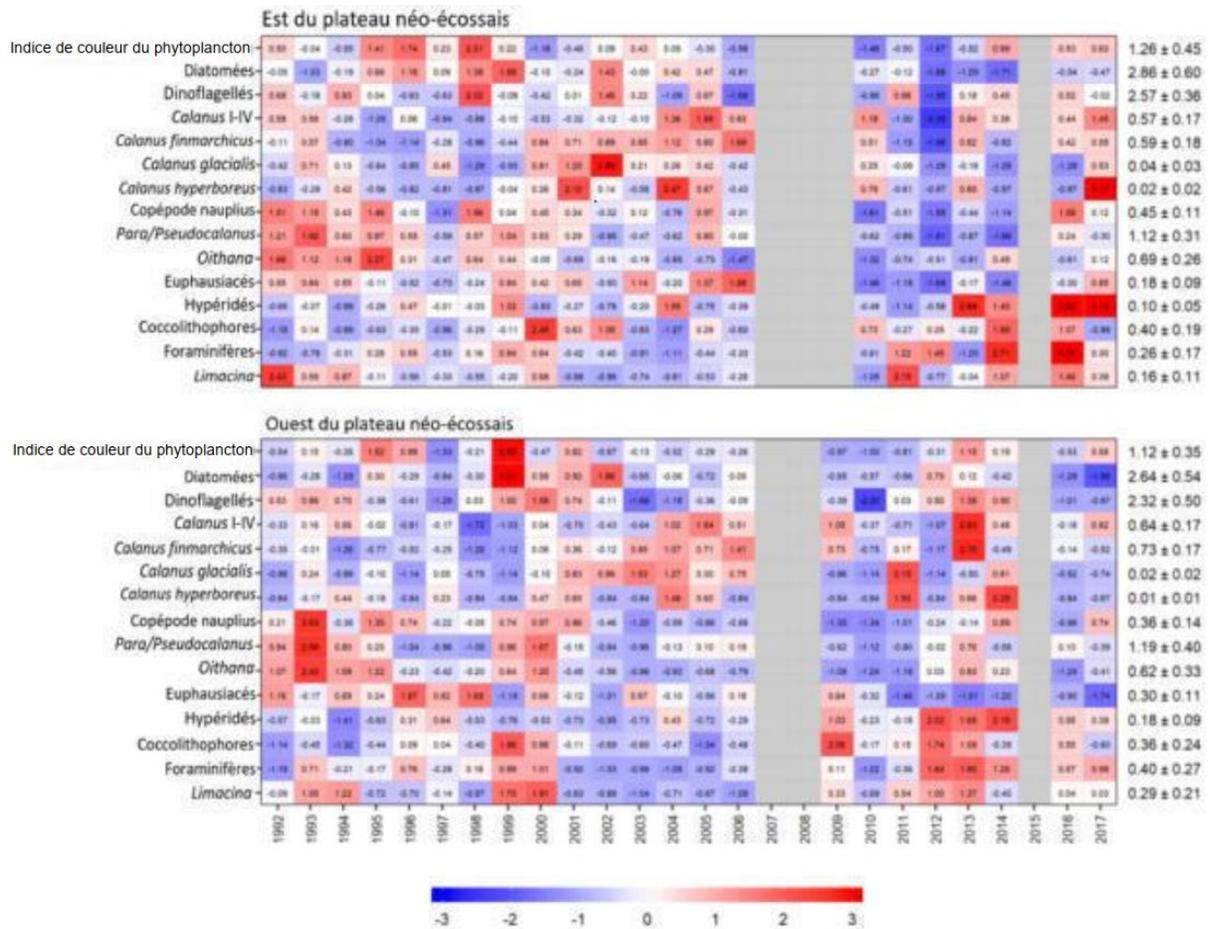


Figure 38. Tableau synoptique des anomalies annuelles de l'abondance des taxons de phytoplancton et de zooplancton d'après les données de l'enregistreur de plancton en continu dans l'est (graphique du haut) et l'ouest du plateau néo-écossais (graphique du bas). Les cellules vides correspondent à des années où l'échantillonnage a été effectué durant huit mois ou moins, ou à des années où une lacune dans l'échantillonnage a été observée pendant au moins trois mois consécutifs. Les cellules rouges (bleues) indiquent des valeurs supérieures (inférieures) à la normale. La période de référence va de 1992 à 2015. Les valeurs dans les cellules représentent les anomalies normalisées.

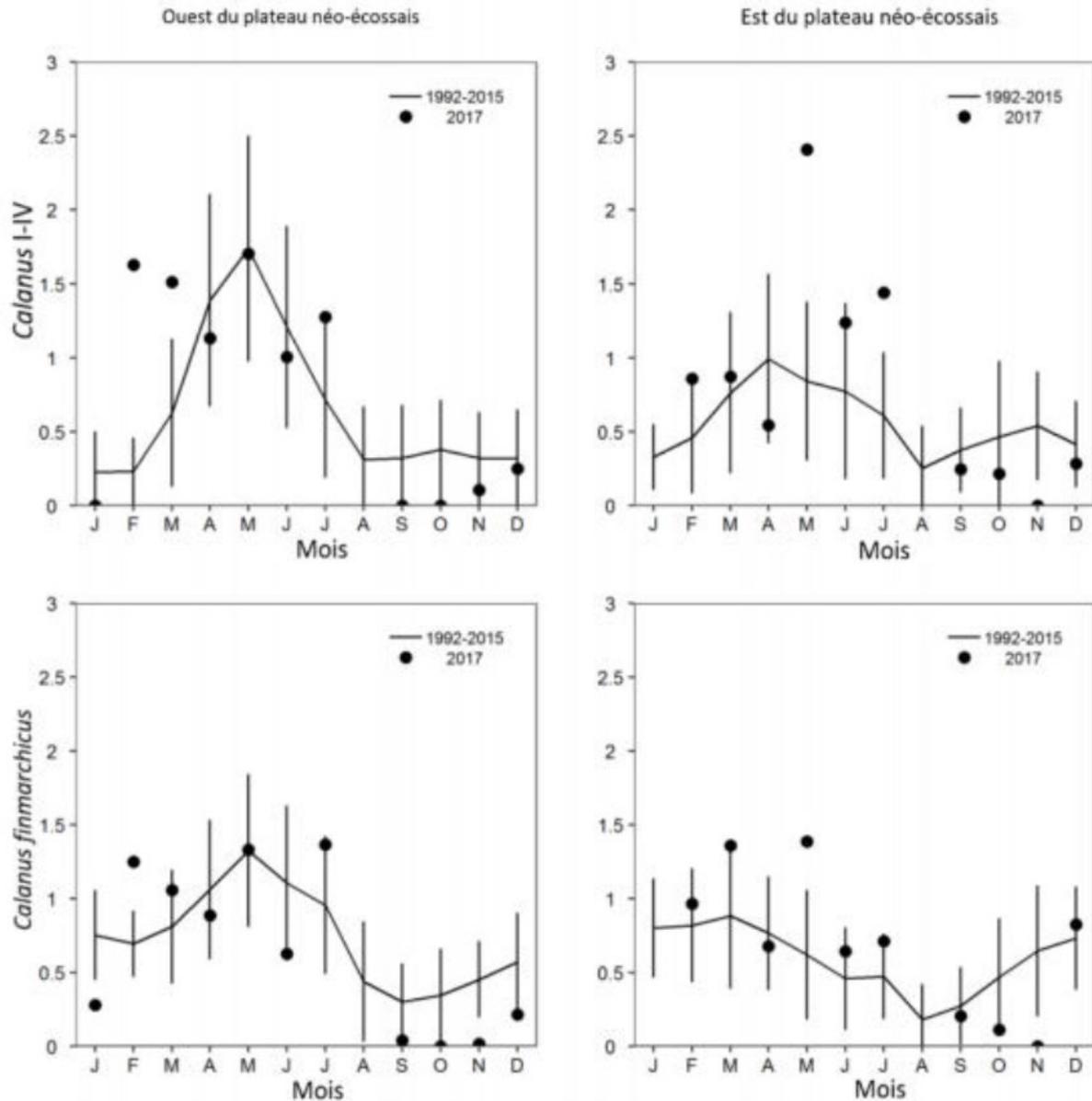


Figure 39. Indices d'abondance des espèces de *Calanus I-IV* (principalement *Calanus finmarchicus*, graphiques du haut) et de *C. finmarchicus V-VI* (graphiques du bas) d'après les données de l'enregistreur de plancton en continu en 2017, et conditions moyennes de la période 1992 à 2015 (lignes pleines) dans l'ouest (colonne de gauche) et l'est du plateau néo-écossais (colonne de droite). Les lignes verticales représentent les écarts-types des moyennes mensuelles.