



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 2021/040

Région des Maritimes

Conditions océanographiques physiques sur le plateau néo-écossais et dans le golfe du Maine en 2019

D. Hebert¹, C. Layton¹, D. Brickman¹ and P.S. Galbraith²

¹Pêches et Océans Canada
Division des sciences de l'océan et des écosystèmes
Institut océanographique de Bedford
Case postale 1006, 1, promenade Challenger
Dartmouth (Nouvelle-Écosse) B2Y 4A2

²Pêches et Océans Canada
Institut Maurice Lamontagne,
Case postale 1000,
Mont-Joli (Québec) G5H 3Z4

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, 2021
ISSN 2292-4272
ISBN 978-0-660-38599-0 N° cat. Fs70-5/2021-040F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Hebert, D., Layton, C., Brickman, D. et Galbraith, P.S. 2021. Conditions océanographiques physiques sur le plateau néo-écossais et dans le golfe du Maine en 2019. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2021/040. iv + 58 p.

Also available in English:

Hebert, D., Layton, C., Brickman, D. and Galbraith, P.S. 2021. Physical Oceanographic Conditions on the Scotian Shelf and in the Gulf of Maine during 2019. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2021/040. iv + 58 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	iv
INTRODUCTION	1
OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES	1
INDICE DE L'OSCILLATION NORD-ATLANTIQUE	1
TEMPÉRATURES DE L'AIR	2
TEMPÉRATURE DE SURFACE DE LA MER MESURÉE PAR TÉLÉDÉTECTION	3
TEMPÉRATURES ET SALINITÉ CÔTIÈRES	4
SECTIONS STANDARD	4
OPÉRATIONS DE PLANEURS SUR LA SECTION D'HALIFAX	5
TEMPÉRATURES SUR LE PLATEAU NEO-ECOSSAIS ET DANS LE GOLFE DU MAINE	6
TEMPÉRATURES DURANT LES RELEVÉS AU CHALUT DE L'ÉCOSYSTÈME	7
RELEVÉ HIVERNAL	7
RELEVÉ ESTIVAL	7
STRATIFICATION DE LA DENSITÉ	8
NIVEAU DE LA MER	9
RÉSULTATS DU MODÈLE DE SIMULATION NUMÉRIQUE	9
VARIATION DES TRANSPORTS DANS LA RÉGION DU PLATEAU NEO-ECOSSAIS ET DU GOLFE DU MAINE	10
SOMMAIRE	12
REMERCIEMENTS	12
RÉFÉRENCES CITÉES	13
TABLEAUX	15
FIGURES	16
ANNEXE	55

RÉSUMÉ

En 2019 l'indice d'oscillation nord-atlantique était au-dessus de la normale (+0,6, +1,1 ÉT [écart-type]) mais inférieur à celui de 2015 qui était la valeur la plus élevée en 70 ans. Les anomalies annuelles moyennes de la température de l'air variaient de -0,4 °C (-0,6 ÉT) sous la climatologie à près de la normale pour la plupart des stations à l'exception de Boston qui était au-dessus de la normale, +1,2 °C (+1,7 ÉT). Les anomalies annuelles de température de surface de la mer par satellite avaient des valeurs allant de -0,8 °C (-1,5 ÉT) dans la division 4Vn de l'Organisation des pêches de l'Atlantique du Nord-Ouest (OPANO) à +0,1 °C (+0,2 ÉT) dans l'est du golfe du Maine / baie de Fundy. Les sites de surveillance côtière à long terme de St. Andrews (Nouveau-Brunswick) et d'Halifax (Nouvelle-Ecosse) ont enregistré des anomalies annuelles de température de surface de +0,4 °C (+0,6 ÉT) et +0,1 °C (+0,2 ÉT) respectivement. Dans d'autres sites sélectionnés de la région, les anomalies annuelles de température de l'eau étaient positives: +1,6 °C (+4,8 ÉT) pour le détroit de Cabot à une profondeur de 200 à 300 m (l'anomalie la plus chaude; quatre des cinq dernières années ont été les plus chaudes de l'enregistrement de données); -0,2 °C (-0,3 ÉT) pour le banc de Misaine à 100 m; +1,8 °C (+2,2 ÉT) pour le bassin d'Emeraude à 250 m (l'anomalie la plus chaude; les six dernières années ont été les plus chaudes de l'enregistrement); +1,7 °C (+3,2 ÉT) pour le bassin de Georges à 200 m (le deuxième plus chaud), près des conditions normales pour l'est du banc de Georges à 50 m et +0,3 °C (+0,4 ÉT) pour les Bancs de Lurher à 50 m. L'anomalie moyenne de température de fond de la division 4Vn de OPANO était de +1,0 °C (+2,4 ÉT), la deuxième plus chaude jamais enregistrée. Les divisions 4Vs, 4W et 4X étaient respectivement de +0,8 °C (+1,2 ÉT), +0,9 °C (+1,2 ÉT) et +1,2 °C (+1,6 ÉT). La stratification en 2019 était significativement plus importante qu'en 2018 en raison du rafraîchissement des eaux de surface qui a eu un effet plus important que le refroidissement des eaux de surface. Depuis 1948, la stratification augmente lentement sur le plateau néo-écossais, principalement en raison de la baisse de la salinité (moitié du changement) et du réchauffement (moitié du changement) des eaux de surface. Un indice composite, composé de 22 séries chronologiques de température de l'océan dans la région, de la surface jusqu' au fond, a indiqué que 2019 était la 14e année la plus chaude sur 50 années d'observations (2012 était le plus chaud), avec une anomalie normalisée moyenne de +0,9 ÉT relative à 1981 à 2010.

INTRODUCTION

Le présent document traite des tendances de la température de l'air, de la couverture de glace, des températures de la surface de la mer (SST) et de la variabilité océanographique physique en 2019 sur le plateau néo-écossais, dans la baie de Fundy et dans le golfe du Maine (figure 1), à partir des observations et des résultats des modèles. Il complète des examens semblables des conditions dans les régions du golfe du Saint-Laurent et de Terre-Neuve-et-Labrador menés dans le cadre du Programme de Monitorage de la Zone Atlantique (PMZA) (voir Cyr *et al.* 2020; Galbraith *et al.* 2019) et qui servent, ensemble, de base à un avis scientifique sur la zone (MPO 2020). Les conditions environnementales sont comparées aux moyennes mensuelles et annuelles à long terme. Ces comparaisons sont souvent exprimées sous forme d'anomalies, qui sont les écarts par rapport aux moyennes à long terme, ou sous forme d'anomalies normalisées, c'est-à-dire les anomalies divisées par l'écart-type (ÉT). Si les données le permettent, les moyennes à long terme et les ET sont calculés pour la période de référence de 30 ans, soit de 1981 à 2010. L'utilisation des anomalies normalisées et de la même période de référence permet de comparer directement les anomalies entre les sites et les variables.

Les conditions de température et de salinité sur le plateau néo-écossais, dans la baie de Fundy et dans le golfe du Maine sont déterminées par bon nombre de processus : le transfert de chaleur entre l'océan et l'atmosphère; le débit entrant provenant du golfe du Saint-Laurent complété par l'apport du plateau de Terre-Neuve; les échanges avec les eaux du talus en mer; le mélange local; le ruissellement d'eau douce; les précipitations directes; la fonte de la glace de mer. Le courant de la Nouvelle-Écosse représente le principal débit entrant, provenant du golfe du Saint-Laurent et entrant dans la région par le détroit de Cabot (figure 1). Ce courant, dont la trajectoire est fortement influencée par la topographie, dérive généralement vers le sud-ouest au-dessus du plateau néo-écossais et se poursuit dans le golfe du Maine, où il contribue à la circulation moyenne dans le sens antihoraire. Le mélange avec les eaux du large provenant du talus continental modifie également les propriétés de la masse d'eau sur le plateau. Ces eaux du large sont généralement de deux types : les eaux chaudes du talus continental, avec des températures oscillant entre 8° et 12 °C et des salinités de 34,7 à 35,5; les eaux du talus du Labrador, avec des températures s'échelonnant entre 4 °C et 8 °C et des salinités de 34,3 à 35 (Gatien 1976). Les propriétés de l'eau sur le plateau affichent des cycles saisonniers importants, avec des gradients le long et entre les plateaux, et varient selon la profondeur (Petrie *et al.* 1996).

OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES

INDICE DE L'OSCILLATION NORD-ATLANTIQUE

À l'origine, l'indice de l'oscillation nord-atlantique était défini comme la différence de pression atmosphérique au niveau de la mer entre les Açores et l'Islande (Rogers, 1984), et est une mesure de la force des vents d'ouest sur l'Atlantique Nord-Ouest. Il représente le forçage météorologique dominant, à grande échelle au-dessus de l'océan Atlantique Nord. À partir de cette année, l'indice est basé sur une analyse en composantes principales tournées (Barnston et Livezey, 1987) appliquée aux anomalies mensuelles normalisées de 500 mb (Hurrell *et al.*, 2003), moyennée sur les mois d'hiver de décembre à mars. Les anomalies sont basées sur la moyenne et l'écart-type de la climatologie 1950-2000. Les données mensuelles ont été obtenues sur [National Oceanic and Atmospheric Administration](#).

Plus précisément, l'indice a été calculé en utilisant les pressions mensuelles observées au niveau de la mer à Ponta Delgada (jusqu'en 1997, 2009 à 2015), Santa Maria (1998 à 2005) et Lajes (2006 à 2008) aux Açores, et à Akureyri, en Islande. Un petit nombre de données manquantes au début de la série chronologique ont été comblées à l'aide des pressions enregistrées aux stations voisines.

Un indice de l'oscillation nord-atlantique élevé correspond à une augmentation de la différence de pression entre la dépression islandaise et l'anticyclone des Açores. De forts vents du nord-ouest, des températures froides de l'air et de la mer et de la glace abondante dans la mer du Labrador et sur le plateau continental de Terre-Neuve sont habituellement associés à un indice de l'oscillation nord-atlantique positif élevé (Colbourne *et al.* 1994; Drinkwater 1996). La réponse inverse se produit les années où l'indice de l'oscillation nord-atlantique est négatif.

On a montré que l'oscillation nord-atlantique avait une forte incidence sur la répartition des températures au fond dans toute la région, du plateau continental du Labrador au golfe du Maine (Petrie, 2007). La réponse est bimodale, le produit d'effets directs et advectifs, l'oscillation nord-atlantique positive (négative) correspondant généralement à des températures au fond plus froides (plus chaudes) que la normale sur le plateau continental Labrador-Terre-Neuve, dans le golfe du Saint-Laurent et à l'est du plateau néo-écossais, et plus chaudes (plus froides) que la normale dans la partie centrale et occidentale du plateau néo-écossais et dans le golfe du Maine.

En 2019, l'indice de l'oscillation nord-atlantique en hiver était près de la normale, s'établissant à + 0,7 (+ 1,1 ÉT) au-dessus de la moyenne enregistrée entre 1981 et 2010, mais beaucoup plus faible qu'en 2015, où l'on a observé la valeur positive la plus élevée en 70 ans d'enregistrements (figure 2, panneau du haut). Les panneaux du bas de la figure 2 montrent les conditions de pression atmosphérique au niveau de la mer durant l'hiver 2019 par rapport à la moyenne enregistrée pour la période allant de 1981 à 2010. Le creux en Islande et le pic aux Açores étaient près de la moyenne à long terme.

TEMPÉRATURES DE L'AIR

Les cartes des anomalies de la température de l'air à la surface par rapport aux moyennes enregistrées entre 1981 et 2010 pour la région de l'Atlantique Nord sont disponibles sur le [site Web interactif](#) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA 2019) des États-Unis. En 2019, les anomalies annuelles se situaient au-dessus de la normale sur le plateau néo-écossais et dans le golfe du Maine (figure 3). Dans ces régions, l'anomalie saisonnière a été normale pendant l'été et l'automne et inférieure à la normale pendant l'hiver et le printemps (figure 4).

Les anomalies de la température mensuelle de l'air pour 2018 et 2019 par rapport aux moyennes enregistrées entre 1981 et 2010 à six sites dans la région du plateau néo-écossais et du golfe du Maine sont présentées à la figure 5. Les données sur la température mensuelle moyenne aux sites canadiens proviennent des [données climatiques canadiennes ajustées et homogénéisées \(DCCA\)](#) d'Environnement Canada, lorsqu'elles sont disponibles (Vincent *et al.* 2012). Dans les cas où aucune donnée n'était disponible, les valeurs mensuelles moyennes observées des Sommaires climatologiques mensuels disponibles sur le [site Web d'Environnement Canada](#) ont été utilisées, et les anomalies ont été calculées par rapport aux moyennes à long terme des Sommaires climatologiques mensuels. C'est le cas pour les périodes allant de 2009 à 2011 et de 2014 à 2016 à l'île de Sable. Des moyennes mensuelles tirées des [Monthly Climatic Data for the World](#) (NOAA 2020) ont été utilisées pour Boston. En général, tous les sites sauf Boston montrent que 2019 a connu des températures légèrement inférieures ou normales tout au long de l'année, sauf l'été. La température de l'air en été était

soit normale, soit légèrement supérieure à la normale (figure 5). Les températures de l'air à Boston étaient supérieures à la normale pour l'année, sauf en novembre 2019. Les anomalies annuelles observées et normalisées pour ces stations sont énumérées au tableau 1.

En 2019, les anomalies annuelles moyennes de la température de l'air étaient négatives ou normales à tous les sites avec des anomalies allant de -0,6 à 0,0 ÉT, à l'exception de Boston qui était de 1,7 ÉT au-dessus de la climatologie. La série chronologique des anomalies annuelles indique que tous les sites présentent des températures à la hausse à long terme, avec une variabilité décennale superposée (figure 6). Sur des périodes décennales et plus courtes, il y a des moments où l'on n'observe pas de tendance ou où l'on observe une tendance à la baisse des températures. Les tendances linéaires de 1900 à aujourd'hui pour Sydney, l'île de Sable, Shearwater, Yarmouth, Saint-Jean et Boston correspondent à des changements (et des limites de confiance à 95 %) par siècle de +0,6°C (0,4°C, +0,9°C), +1,3°C (+1,0°C, +1,6°C), +1,1°C (+0,8°C, +1,3°C), +1,0°C (+0,8°C, +1,2°C), +1,0°C (+0,8°C, +1,3°C), and +2,5°C (+2,2°C, +2,7°C) respectivement (figure 6).

Les anomalies de la température de l'air pour les six sites du plateau néo-écossais et du golfe du Maine sont résumées à la figure 7 sous forme de somme composite qui illustre deux points. Premièrement, pour la plupart des années, les anomalies affichent le même signe, c'est-à-dire que les barres empilées coïncident. Depuis 1900, alors que tous les sites étaient utilisés, 96 des 120 années présentaient cinq stations ou plus auxquelles les anomalies annuelles affichaient le même signe; pendant 67 ans, les six stations présentaient toutes des anomalies affichant le même signe. Cela indique que l'échelle spatiale des régimes de température de l'air est plus grande que l'espacement le plus grand entre les sites. Des analyses précédentes ont donné une échelle de croissance par un facteur de e de 1 800 km (Petrie *et al.* 2009). Deuxièmement, l'échelle de temps de la variabilité dominante est passée de périodes plus longues pour la première moitié des enregistrements à des périodes plus courtes pour la seconde moitié.

TEMPÉRATURE DE SURFACE DE LA MER MESURÉE PAR TÉLÉDÉTECTION

Les données de SST utilisées, provenant de télédétection, sont composées de trois produits: l'ensemble de données Pathfinder 5.3 à 4 km de résolution qui couvre la période s'échelonnant d'août 1981 à 2014 (Casey *et al.*, 2010), les données du radiomètre avancé à très haute résolution (AVHRR) à 1,5 km de résolution qui ont été téléchargées à partir des satellites de la NOAA et de l'Organisation européenne pour l'exploitation de satellites météorologiques (EUMETSAT) par le [groupe chargé de la télédétection opérationnelle, à l'Institut océanique de Bedford](#) et une version d'un produit similaire développé par l'Institut Maurice Lamontagne (IML) pour la période de 1985 à 2013 (détails dans Galbraith et Larouche 2011, et Galbraith *et al.* 2012). Galbraith *et al.* (2020) fournit des détails sur la façon dont ces produits de données sont fusionnés pour créer les séries chronologiques présentées ici.

Depuis cette année, les régions présentées sur le plateau néo-écossais ont changé par rapport aux années précédentes. Les anomalies de température hebdomadaires, mensuelles et annuelles sont présentées pour cinq sous-zones dans la région du plateau néo-écossais et du golfe du Maine selon les divisions de l'OPANO sur le plateau néo-écossais et l'est du golfe du Maine / baie de Fundy (figure 8). Les températures de surface de la mer étaient légèrement inférieures à la normale au début de 2019, suivies d'une période de températures près de la normale jusqu'en août où les températures étaient supérieures à la normale, puis inférieures à la normale en septembre sauf dans la baie de Fundy (figure 9). Une température froide record a été observée en mars pour 4Vn et 4Vs. Une température froide record en septembre a été observée pour 4W, 4Vn et 4Vs. Ces basses températures de septembre sont probablement dues à la tempête tropicale Dorian mélangeant les eaux froides de la profondeur, comme

enregistrée par la bouée Viking AZMP-ESG dans le golfe du Saint-Laurent (Galbraith et al., 2020). Les anomalies annuelles ont été calculées à partir des températures mensuelles moyennes pour les cinq sous-zones (tableau 2 et figure 10). Les anomalies annuelles en 2019 variaient de $-0,8^{\circ}\text{C}$ ($-1,5$ ÉT) pour 4Vn à $+0,1^{\circ}\text{C}$ ($+0,2$ ÉT) dans l'est du golfe du Maine / baie de Fundy. Au fil des relevés, toutes les zones affichent des tendances à la hausse des températures (figure 10), selon un ajustement linéaire par les moindres carrés, allant de $+0,2^{\circ}\text{C}/\text{décennie}$ (4Vn et 4Vs), la valeur la plus faible observée, à $+0,4^{\circ}\text{C}/\text{décennie}$ (l'est du golfe du Maine / baie de Fundy), la valeur la plus élevée observée. Une tendance similaire dans les températures de surface mesurées à l'aide de l'AVHRR a été observée dans le golfe du Saint-Laurent (Galbraith et al. 2012).

TEMPÉRATURES ET SALINITÉ CÔTIÈRES

Les températures côtières près de la surface sont mesurées à Halifax (Nouvelle-Écosse) et à St. Andrews (Nouveau-Brunswick) depuis les années 1920 (figure 11). En 2019, les anomalies de SST étaient de $+0,1^{\circ}\text{C}$ ($+0,2$ ÉT) pour Halifax, soit une baisse de $0,3^{\circ}\text{C}$ par rapport à 2018 et de $+0,4^{\circ}\text{C}$ ($+0,6$ ÉT) pour St. Andrews, soit une baisse de $0,7^{\circ}\text{C}$ par rapport à 2018.

Les mesures de la température et de la salinité dans la colonne d'eau ont été échantillonnées mensuellement, pour la plupart d'entre elles, depuis 1924, à Prince 5, à l'entrée de la baie de Fundy (figure 1). Il s'agit du plus ancien site de surveillance hydrographique en exploitation continue dans l'est du Canada. Ses eaux sont généralement bien mélangées de la surface au fond (90 m), sauf au printemps. Les séries chronologiques de la température, de la salinité et de la densité moyennes selon la profondeur (0 à 90 m) sont illustrées à la figure 11. En 2019, l'anomalie annuelle de la température était de $+0,4^{\circ}\text{C}$ ($+0,8$ ÉT) et l'anomalie de la salinité de $-0,1$ ($-0,7$ ÉT). Cela représente des écarts de $-0,7^{\circ}\text{C}$ et $-0,3$ par rapport aux valeurs enregistrées en 2018. L'anomalie de la densité en dessous de la normale s'explique par l'anomalie positive de température et l'anomalie négative de salinité.

Le cycle annuel 2019 à Prince 5 montre des températures normales tout au long de l'année, à l'exception d'une température légèrement supérieure à la normale ($+1^{\circ}\text{C}$) en octobre / novembre avec peu de dépendance à la profondeur dans l'anomalie (figure 12). De même, la salinité était près de la normale sauf en mai, ce qui est dû au moment de l'arrivée de la crue de la rivière Saint-Jean; une source à proximité.

Les cycles annuels de température, de salinité et de densité en 2019 à Halifax 2 sont illustrés à la figure 13. La structure des anomalies de température et de salinité est compliquée. La source de l'anomalie de température positive en novembre est claire car il n'y avait pas d'anomalie de salinité associée à cette dernière, elle ne peut donc pas être expliquée par une intrusion d'eau du talus.

SECTIONS STANDARD

Les sections au large de Louisbourg, d'Halifax et du banc de Browns (figure 1) ont été échantillonnées au printemps 2019 (figure 14). Il n'y a pas eu d'échantillonnage à l'automne 2019 en raison du manque de navire adéquat. La section du détroit de Cabot a montré des températures supérieures à la normale en avril entre 100 et 350 m de profondeur. Des températures inférieures à la normale sous la surface au centre du détroit et à la surface dans la moitié est du détroit ont été observées (figure 15). Un fait intéressant est qu'il n'y avait pas d'anomalie de salinité associée à l'anomalie de température en profondeur, sauf sur le côté ouest du détroit à 150 m. Ces eaux correspondent à l'écoulement du golfe du Saint-Laurent.

Au printemps 2019, il y avait de l'eau anormalement chaude et salée sur la portion extracôtière de la section de Louisbourg, preuve de présence d'eau du talus continental (figure 16). Sur le plateau, les conditions étaient près de la normale.

La section d'Halifax montre des eaux anormalement chaudes près du fond marin sur la partie extracôtière du plateau ainsi que sur le talus à la même profondeur et plus profondément au printemps (figure 17). De même, des eaux chaudes sont également présentes dans le bassin d'émeraude.

Au printemps 2019, la section du banc de Browns a montré une eau anormalement chaude et salée au centre du plateau et plus loin sur le talus (figure 18). Il y a de l'eau anormalement froide et douce à la rupture du plateau. La température et la salinité sont beaucoup plus faibles que celles de l'eau de mer du Labrador et c'est probablement de l'eau qui a quitté le golfe du Saint-Laurent. On ne sait pas pourquoi cette eau n'a pas été observée dans les autres sections à l'est.

Une annexe présente des sections de la région réalisées par l'Institut Maurice-Lamontagne pour le détroit de Cabot (figure A1), la zone de protection marine du banc de Sainte-Anne (figure A2) et à travers le chenal nord-est (figure A3) et le golfe du Maine (figure A4). S'il existe un nombre suffisant d'occupations historiques des sections à la même époque de l'année, des sections d'anomalies sont également présentées. Bien que ces données ne soient pas discutées dans ce document, elles sont utilisées dans l'analyse présentée.

OPÉRATIONS DE PLANEURS SUR LA SECTION D'HALIFAX

En 2018, des opérations de planeurs ont commencé le long de la section d'Halifax pour l'amélioration des données de cette section normalement occupée trois fois par année. Les données des planeurs fournissent une couverture temporelle et spatiale plus élevée que l'échantillonnage fait avec les navires (Figure 19). Pour faciliter l'analyse, les données des planeurs sont moyennées à l'intérieur d'une heure et sur 1 m de distance verticale. Lors des missions régulières, le planeur tente de suivre la section d'Halifax entre les stations HL2 à HL7. Les courants peuvent cependant affecter la trajectoire réelle du planeur (Figure 20). Ainsi, seules les données de planeurs recueillies à moins de 15 miles nautiques de la section d'Halifax sont prises en compte, ce qui explique certains trous de données à la figure 19. La station 2 (HL2) est échantillonnée tout au long de l'année à partir d'un petit navire et fournit la résolution temporelle la plus élevée de nos stations (Figure 21). Les données des planeurs n'ajoutent pas d'informations de manière significative à la station 2, sauf lorsque l'échantillonnage n'est pas possible quand le navire n'est pas disponible (voir août / septembre sur la figure 21).

Dans ce document, la variabilité de la température, de la salinité et de la fluorescence liée à la chlorophylle sont présentées pour quelques-unes des stations de la section d'Halifax au cours de la période 2018-2019 (figure 22). Il ne s'agit que d'une petite fraction des données disponibles pour l'analyse. Comme cette période était la période initiale des opérations, la fréquence d'échantillonnage et les stations occupées ont variées à mesure que l'expérience des opérations de planeurs augmentait. À HL3 et HL4, l'échantillonnage des planeurs était suffisant pour résoudre le cycle saisonnier de température et les efflorescences de phytoplancton printanier et automnal. Pour HL5 et HL6, l'échantillonnage était moins fréquent mais plus présent en 2019 qu'en 2018 en raison d'une expérience grandissante lors des opérations de planeurs menant à des missions s'étendant plus au large. En raison de la limitation de la batterie, les planeurs ne peuvent pas atteindre HL7 de manière régulière, surtout en hiver (Figure 19). Le remplacement de la batterie des planeurs vers une version améliorée est en cours et devrait permettre un échantillonnage plus régulier à l'avenir et jusqu'à HL7.

TEMPÉRATURES SUR LE PLATEAU NEO-ECOSSAIS ET DANS LE GOLFE DU MAINE

Drinkwater et Trites (1987) ont calculé les températures et les salinités mensuelles moyennes à partir des données disponibles collectées à l'aide de bouteilles d'échantillonnage pour 35 zones du plateau néo-écossais et de l'est du golfe du Maine qui correspondent généralement à des caractéristiques topographiques comme des bancs et des bassins. Petrie *et al.* (1996) ont mis à jour leur rapport en utilisant ces mêmes zones et toutes les données hydrographiques disponibles. Une série chronologique mise à jour des anomalies des températures moyennes annuelles et filtrées (moyennes mobiles sur 5 ans) à des profondeurs choisies pour six secteurs (figure 23) est présentée (figure 24). Les températures dans le détroit de Cabot sont le fait d'un mélange des eaux du courant du Labrador et des eaux chaudes du talus entrant dans le golfe du Saint-Laurent le long du chenal Laurentien (p. ex. Gilbert *et al.* 2005); la série du banc de Misaine caractérise les températures plus froides près du fond dans l'est du plateau néo-écossais, lesquelles sont principalement influencées par les eaux du courant du Labrador sur le littoral ou par les eaux de la couche intermédiaire froide provenant du golfe du Saint-Laurent (Dever *et al.* 2016); les anomalies de la température dans les eaux profondes du bassin d'Émeraude représentent les intrusions d'eaux plus chaudes du talus sur le plateau, lesquelles sont ensuite emprisonnées dans les bassins profonds intérieurs (noter les « événements » de grandes anomalies à la figure 24C, par exemple, entre 1980 et 2009, indiquant des apports subits d'eau du talus du Labrador); les observations du haut-fond Lurcher définissent le climat océanique dans le sud-ouest du plateau néo-écossais et dans les eaux peu profondes entrant dans le golfe du Maine par le courant de la Nouvelle-Écosse; enfin, la série du bassin de Georges représente les eaux du talus entrant dans le golfe du Maine par le chenal nord-est. Les anomalies annuelles sont fondées sur les moyennes des anomalies mensuelles; toutefois, les observations peuvent ne pas être disponibles pour tous les mois dans chaque secteur. En ce qui concerne le détroit de Cabot, le banc de Misaine, le bassin d'Émeraude, le bassin de Georges et le haut-fond Lurcher, les anomalies annuelles en 2019 reposaient sur des observations effectuées durant cinq, deux, cinq, huit, sept et deux mois, respectivement.

En 2019, l'anomalie annuelle était de + 1,6 ° C (+4,8 ÉT) pour le détroit de Cabot à 200-300 m (la plus grande anomalie de la série chronologique; quatre des cinq dernières années ont été les plus chaudes). Pour le banc de Misaine peu profond situé sur la partie est du plateau néo-écossais, l'anomalie annuelle était de -0,2 ° C (-0,3 ÉT) à 100 m. Pour les bassins profonds du centre du plateau néo-écossais et du golfe du Maine, les anomalies de 2019 étaient de + 1,8 ° C (+2,2 ÉT) pour le bassin d'Émeraude à 250 m (un niveau record, les six dernières années ont été les plus chaudes de l'enregistrement) et + 1,7 ° C (+3,2 ÉT) pour le bassin de Georges à 200 m (deuxième plus chaud avec 2018 le plus chaud, les sept dernières années ont été les plus chaudes du record). Pour les bancs peu profonds de l'ouest de la Nouvelle-Écosse, les anomalies étaient de -0,0 ° C (-0,1 ÉT) pour l'est du banc de Georges à 50 m et de + 0,3 ° C (+0,4 ÉT) pour les bancs de Lurcher à 50 m (2018 était le deuxième avec 2012 ayant le record). Ces valeurs correspondent à des variations de + 0,7 ° C, -0,7 ° C, + 0,2 ° C, -0,2 ° C, -0,5 ° C et -2,9 ° C, respectivement, par rapport aux valeurs de 2018. Les anomalies de l'oscillation nord-atlantique enregistrées en 2010 et 2011 étaient bien en deçà de la normale et, d'après des forçages atmosphériques similaires observés par le passé, notamment au milieu des années 1960, on aurait pu s'attendre à des températures plus froides en profondeur sur le plateau néo-écossais en 2012 (Petrie 2007). Les anomalies étaient très positives cette année-là et ont commencé à revenir à la normale en 2013, mais elles ont augmenté pour atteindre des valeurs record ou près du record en 2014 et sont demeurées élevées en 2019. Les anomalies des températures chaudes en profondeur ont continué d'augmenter en raison des intrusions d'eaux du talus du large. La corrélation entre l'oscillation nord-atlantique et les températures de l'eau en profondeur semble avoir changé.

TEMPÉRATURES DURANT LES RELEVÉS AU CHALUT DE L'ÉCOSYSTÈME

Dans la Région des Maritimes, Pêches et Océans Canada (MPO) effectue chaque année deux relevés de recherche au chalut. Pendant l'hiver, le relevé couvre le banc de Georges, la baie de Fundy et l'ouest du plateau néo-écossais. La limite en eau profonde du relevé est marquée, *grosso modo*, par les isobathes de 200 m. La plus grande couverture spatiale de la température et de la salinité sur le plateau néo-écossais est obtenue pendant le relevé au chalut d'été, qui couvre le plateau néo-écossais entre le détroit de Cabot et la baie de Fundy. La limite en eau profonde de ce relevé est également marquée, *grosso modo*, par l'isobathe de 200 m le long du rebord du plateau.

Les températures dérivées de chaque relevé ont été interpolées sur une grille de 0,2° par 0,2° de latitude-longitude à l'aide d'une méthode d'analyse objective appelée estimation optimale (pour plus de détails, voir Petrie *et al.* 1996). La méthode d'interpolation utilise les 15 « voisins les plus proches », avec une échelle de longueur horizontale de 30 km et une échelle de longueur verticale de 15 m dans les 40 m supérieurs et dans les 25 m supérieurs dans les secteurs où l'eau est plus profonde. Les données qui sont proches du point de grille d'interpolation sont proportionnellement plus pondérées que celles qui sont plus éloignées. Les températures ont été estimées de façon optimale aux profondeurs standards (p. ex. 0 m, 10 m, 20 m, etc.) et près du fond. Seules les températures près du fond sont présentées ici.

RELEVÉ HIVERNAL

Le relevé hivernal 2019 s'est déroulé du 12 février au 22 mars. Un total de 115 stations conductivité-température-profondeur (CTD) ont été échantillonnées (figure 25).

L'échantillonnage a été effectué sur le banc de Georges (division 5Ze de l'OPANO) et à l'ouest du plateau néo-écossais (division 4X de l'OPANO). Pour la majeure partie du banc de Georges, les températures de fond étaient près de la normale (figure 26). Du côté sud-est et est du banc, les températures de fond étaient supérieures à la normale. Cela indique que l'eau chaude du talus se déplace à proximité du banc et dans le chenal nord-est. Les anomalies de température du fond sur le plateau néo-écossais étaient plus variables avec des régions au-dessus et au-dessous de la normale.

RELEVÉ ESTIVAL

Le relevé de l'été 2019 s'est déroulé entre le 3 juillet et le 10 août. Au total, 236 stations CTD ont été échantillonnées (figure 27). Le relevé a couvert la baie de Fundy, l'est du banc de George et l'est sur le plateau néo-écossais jusqu'au détroit de Cabot. Les anomalies de température près du fond pour 2019 étaient positives pour la majeure partie de la région (figure 28). Le banc de Browns et une partie de l'est du plateau néo-écossais présentaient des anomalies négatives. L'anomalie était positive pour toutes les divisions de l'OPANO sur le plateau néo-écossais en 2019: + 1,0 ° C (+2,4 ÉT) pour 4Vn (la deuxième plus chaude de l'enregistrement; 2014 étant la plus chaude); + 0,8 ° C (+1,2 ÉT) pour 4Vs; + 0,9 ° C (+1,2 ÉT) pour 4W; et + 1,2 ° C (+1,6 ÉT) pour 4X (figure 29). Bien qu'aucune valeur en 2019 ne soit un record, toutes les valeurs étaient bien au-dessus de la normale. À l'exception de la division 4X, la température du fond de toutes les divisions montre des températures supérieures à la normale entre le milieu des années 1970 et le milieu des années 1980, suivies d'une période de températures inférieures à la normale jusqu'en 2000 environ (figure 29). Toutes les régions, y compris 4X, montrent une augmentation constante de la température à partir d'environ 2010.

Le volume de la couche intermédiaire froide (CIF), définie comme étant les eaux dont la température est inférieure à 4 °C, a été estimé à partir des profils de CTD en profondeur pour la région allant du détroit de Cabot au cap de Sable (figure 30). Pour la période allant de 1970 à

1989, le nombre de profils de CTD par année était limité; en conséquence, des blocs de données de cinq ans, par exemple pour la période 1970 à 1974, date centrale 1972, ont été utilisés comme données d'entrée pour la procédure de cartographie des données collectées irrégulièrement dans l'espace sur une grille régulière. Les données ont ensuite été augmentées par paliers d'une année, et un nouvel ensemble d'estimations a été établi (c.-à-d. 1970 à 1974, 1971 à 1975, etc.). Cette procédure est similaire au filtrage (moyenne mobile sur 5 ans) des données pour la période allant de 1970 à 1989, ce qui réduit efficacement la variance. Ainsi, la moyenne à long terme et particulièrement l'ÉT (d'après les données pour la période allant de 1981 à 2010 présentées à la figure 30) pourraient être touchés. On s'attend à ce que l'ÉT réel soit plus élevé que celui obtenu ici. Le volume de la CIF affiche une variation considérable de 1998 à 2009 (figure 30). En 2019, le volume de la CIF était légèrement inférieur à la normale. Au cours des cinq dernières années, son volume a évolué vers la normale. La variabilité à basse fréquence de la température minimale moyenne pondérée en fonction de la surface reflète le volume de la CIF.

STRATIFICATION DE LA DENSITÉ

La stratification de la couche près de la surface influe sur les processus physiques et biologiques de l'océan, comme l'étendue du mélange vertical, la réaction de l'océan au forçage par le vent, le moment de la prolifération printanière, les flux verticaux d'éléments nutritifs et la répartition du plancton. Dans le cas d'une stratification accrue, on observe une tendance au recyclage d'une plus grande partie de la production primaire dans la couche supérieure de mélange, ce qui la rend moins disponible dans les couches plus profondes. La variabilité de la stratification a été examinée en calculant la différence de densité (σ_t) entre les eaux près de la surface et les eaux profondes de 50 m. Les différences de densité étaient fondées sur les profils de la densité mensuelle moyenne calculés pour plusieurs zones hydrographiques du plateau néo-écossais, tels que définis par Petrie *et al.* (1996) (figure 33). Les gradients de densité mensuelle moyenne à long terme pour la période s'échelonnant entre 1981 et 2010 ont été estimés; ils ont été soustraits des valeurs mensuelles individuelles pour qu'on puisse obtenir les anomalies mensuelles. Les anomalies annuelles pour chaque secteur ont été estimées en calculant la moyenne de toutes les anomalies mensuelles disponibles au cours d'une année civile. Ces estimations pourraient être biaisées si, au cours d'une année donnée, la plupart des données étaient collectées au cours de mois où la stratification était faible, alors qu'au cours d'une autre année, l'échantillonnage était effectué au cours de mois où la stratification était importante. Cependant, les premiers résultats produits en utilisant les anomalies mensuelles normalisées obtenues en divisant les anomalies par leur ET mensuel étaient qualitativement similaires aux graphiques présentés ici. Les anomalies annuelles moyennes pour l'ensemble du plateau néo-écossais et leurs moyennes mobiles sur 5 ans ont ensuite été calculées pour une combinaison pondérée selon la superficie des secteurs 4 à 23 de le plateau néo-écossais. Une stratification de $0,01 \text{ (kg m}^{-3}\text{)/m}$ représente une différence de $0,5 \text{ kg m}^{-3}$ au-dessus de 50 m.

La caractéristique dominante est la période allant d'environ 1950 à 1990, avec une stratification généralement inférieure à la moyenne, contrairement aux 25 dernières années qui se caractérisent par des valeurs supérieures à la normale (figure 31). Depuis 1948, on assiste à une augmentation de la stratification moyenne sur le plateau néo-écossais, ce qui a entraîné un changement de la différence de densité entre 0 à 50 m de profondeur de $0,34 \text{ kg m}^{-3}$ sur 50 ans. Ce changement dans la stratification moyenne s'explique principalement par une diminution de la densité à la surface, composée à parts égales de réchauffement et de dessalure (figure 32). La stratification en 2019 était nettement supérieure à celle de 2018 en raison du fait que le rafraîchissement de la surface avait un effet plus important que le refroidissement de la surface. L'examen de l'anomalie de stratification de 2019 pour les zones 4

à 23 sur le plateau néo-écossais montre que l'anomalie près de la normale pour le plateau néo-écossais (figure 31) est due à une moyenne surfacique positive et négative sur le plateau néo-écossais sans motif évident (figure 33).

NIVEAU DE LA MER

Le niveau de la mer est une variable principale du Système mondial d'observation de l'océan. Le niveau relatif de la mer est mesuré par rapport à un point de référence fixe qui se trouve sur terre. En conséquence, le niveau relatif de la mer se compose de deux composantes principales : l'une due aux changements réels du niveau de la mer et l'autre causée par l'affaissement ou l'élévation de la terre. Dans le Canada atlantique, le rebond post-glaciaire fait s'affaisser (s'élever) la zone située à peu près au sud (au nord) de la rive nord du golfe du Saint-Laurent en réaction au recul glaciaire, ce qui entraîne une hausse (une baisse) apparente du niveau de la mer. Les taux de rebond post-glaciaire pour Yarmouth, Halifax et North Sydney ont été obtenus à partir des vitesses verticales GPS maillées de Ressources naturelles Canada (Phillip MacAulay, MPO, communication personnelle 2012; Craymer *et al.* 2011).

Le niveau relatif de la mer à Yarmouth (1967 à 2019), Halifax¹ (1920 à 2019) et North Sydney (1970 à 2019) est représenté sous forme de moyennes mensuelles et de séries filtrées au moyen d'un filtre de la moyenne mobile sur 5 ans (figure 34). La tendance linéaire des données mensuelles moyennes affiche une pente positive de 37,3 cm par siècle (Yarmouth), 33,2 cm par siècle (Halifax) et 39,2 cm par siècle (North Sydney). Barnett (1984) a constaté une élévation légèrement plus importante du niveau de la mer à Halifax (36,7 cm par siècle) pour la période s'échelonnant entre 1897 et 1980. Cela est dû à la baisse de l'élévation du niveau de la mer après 1980, comme on le verra plus loin. Avec la suppression du rebond post-glaciaire pour Yarmouth (- 10,3 cm par siècle), Halifax (- 14,7 cm par siècle) et North Sydney (- 16,8 cm par siècle), l'élévation du niveau de la mer est de + 27,0 cm par siècle, + 18,5 cm par siècle et + 22,4 cm par siècle, respectivement. Une caractéristique intéressante des données est la variation à long terme qui s'est produite depuis les années 1920 (figure 35). Il est évident qu'entre les années 1920 et le début des années 1970, la tendance à l'élévation du niveau de la mer à Halifax a été supérieure à celle observée pour la période allant de 1981 à 2010. Les données résiduelles sur le niveau de la mer pour la période commune allant de 1970 à 2018 montrent que la variabilité affiche une grande structure spatiale étant donné la cohérence entre les trois sites. Plusieurs causes potentielles de cette variabilité à l'échelle décennale ont été examinées, mais la cause de ces changements n'est toujours pas comprise. Plus au sud, près du Delaware, aux États-Unis, les variations du stress éolien dans le tourbillon subtropical semblent être responsables de la variation de basse fréquence du niveau de la mer (Hong *et al.* 2000); pourtant, 20 ans de transport observé par le Gulf Stream ne montrent pas une diminution significative (Rossby *et al.* 2014).

RÉSULTATS DU MODÈLE DE SIMULATION NUMÉRIQUE

Les courants et les transports sont dérivés du Bedford Institute of Oceanography North Atlantic Model (BNAM), un modèle numérique de l'océan Atlantique Nord (Wang *et al.*, 2018). Le

¹La station historique d'Halifax a interrompu ses opérations au début de 2014. La station marégraphique voisine de l'Institut océanographique de Bedford de Dartmouth, en Nouvelle-Écosse, a été utilisée pour 2014. Durant la période opérationnelle commune, on n'a pas observé de différence significative entre les deux marégraphes.

modèle affiche une résolution spatiale de $1/12^\circ$ avec 50 niveaux z dans la verticale (22 dans les 100 m supérieurs) et des cellules partielles dans la couche du fond pour une adaptation à la bathymétrie. Il s'agit d'un modèle pronostique, c'est-à-dire qu'il permet l'évolution des champs de température et de salinité. Le forçage atmosphérique est dérivé du forçage par réanalyse de National Centers for Environmental Prediction (NCEP)/National Center for Atmospheric Research (NCAR) (Kalnay *et al.* 1996). Le modèle est exécuté dans différentes configurations. Les analyses présentées ici proviennent d'une version du modèle qui a servi à étudier divers phénomènes dans la zone de surveillance atlantique (Wang *et al.* 2016; Brickman *et al.* 2015, 2018). Cette version possède une représentation simplifiée des principaux réseaux hydrographiques de la région de l'Atlantique et aucun forçage de marée. La simulation s'étend de 1990 à aujourd'hui, la dernière année étant mise à jour annuellement lorsque le forçage de surface est disponible. Le domaine du modèle est illustré à la figure 36.

Certains calculs destinés à faciliter l'interprétation des données recueillies dans le cadre du PMZA sont présentés. Les résultats sont présentés sous forme d'anomalies normalisées pour faciliter la comparaison avec les résultats des autres analyses effectuées en vertu du PMZA. Rappelons que les résultats présentés ci-après ne sont pas des mesures, et que des simulations ou des améliorations apportées au modèle pourraient entraîner des changements de ces résultats.

VARIATION DES TRANSPORTS DANS LA RÉGION DU PLATEAU NEO-ECOSSAIS ET DU GOLFE DU MAINE

La circulation générale dans les mers du plateau continental de la Région des Maritimes du Canada peut être caractérisée comme un écoulement général du nord-est au sud-ouest, depuis le détroit de Belle-Isle, à travers le détroit de Cabot et le long du plateau néo-écossais vers le golfe du Maine (figure 37). Une partie de l'eau qui s'écoule du golfe du Saint-Laurent, du côté ouest du détroit de Cabot, suit le littoral de la Nouvelle-Écosse et prend le nom de courant de la Nouvelle-Écosse, et se jette finalement dans le golfe du Maine. Une autre partie de l'eau suit la rupture du plateau et contribue à l'apport d'eau dans le golfe du Maine au niveau du chenal nord-est. Les variations de ces courants peuvent influencer la répartition de diverses larves de poissons et d'invertébrés du sud du golfe du Saint-Laurent vers le golfe du Maine. En outre, les courants qui s'écoulent au large de l'île du cap de Sable et dans le chenal nord-est amènent des propriétés des eaux au large du plateau et sur le plateau jusque dans le golfe du Maine, et le partage des transports est potentiellement important pour les processus qui ont lieu dans le golfe du Maine.

Les transports moyens mensuels pour la période 1999-2019 ont été extraits de la simulation pour quatre sections de la région des Maritimes : le détroit de Cabot (CS), Halifax (HFX), l'île du cap de Sable/le banc de Browns (CSI) et le chenal nord-est (NEC) (figure 37). À partir de ces données, des graphiques des anomalies normalisées ont été faits pour illustrer la variabilité du transport. Les résultats pour les régions littorales du détroit de Cabot, d'Halifax et de l'île du cap de Sable/banc de Browns (où le littoral est considéré comme étant la sous-section entre l'isobathe de 100 m et le littoral), la rupture du plateau à Halifax et le débit entrant au niveau du chenal nord-est sont présentés à la figure 38. À partir des apports d'eau qui s'écoulent dans les sections de l'île du cap de Sable/banc de Browns et du chenal nord-est, le ratio des débits entrants dans le golfe du Maine (GoM) $CSI/(CSI + NEC)$ a été calculé (voir ci-après). Il est à noter que pour toutes les sections, à l'exception du chenal nord-est, le transport positif indique une direction de l'écoulement à travers le détroit de Cabot vers le golfe du Maine. Pour ce qui est du chenal nord-est, le transport positif indique un écoulement dans le golfe du Maine.

La variabilité du transport sur le plateau néo-écossais affiche un profil assez cohérent d'anomalies annuelles pour le détroit de Cabot, Halifax (littoral et rupture du plateau) et l'île du

cap de Sable/banc de Browns (figure 39). Sur une base mensuelle, en moyenne, les séries littorales (détroit de Cabot, littoral d'Halifax et île du cap de Sable/banc de Browns) et le transport vers le golfe du Maine à la hauteur du chenal nord-est présentent un cycle saisonnier, avec des minimas de transport vers le milieu-fin de l'année, tandis que le transport sur la rupture du plateau le long de la section d'Halifax ne présente aucune saisonnalité claire (figure 38, bien que la variabilité interannuelle soit remarquable).

Aux fins de comparaison qualitative avec les estimations du transport dérivées du modèle numérique, le transport mensuel du courant de la Nouvelle-Écosse au large d'Halifax a été calculé à l'aide de profileurs de courant acoustiques à effet Doppler (ADCP) ancrés au fond. Trois ADCP à visée ascendante ont été déployés pendant des périodes de six mois, de juillet 2008 à avril 2015, sur les isobathes de 100 m (T1), 170 m (T2) et 180 m (T3) pour surveiller le champ de vitesse associé au courant de la Nouvelle-Écosse sur la section d'Halifax. T2 est situé à 12 km à l'est de la station 2 (figure 1). T1 et T3 se trouvent à environ 15 km vers le nord-ouest et le sud-est de T2, respectivement. Les observations commencent à 5 m au-dessus du fond jusqu'à environ 10 m sous la surface, avec une résolution verticale de 4 m. L'espacement horizontal entre les ADCP est d'environ 16 km, T2 étant situé près du maximum du courant. Les composantes de la vitesse sont tournées de 58° par rapport au nord vrai pour qu'on puisse obtenir le champ de vitesse avec la variance maximale le long de l'axe principal. Les moyennes quotidiennes de la vitesse le long de la côte ont été quadrillées par interpolation linéaire et multipliées par la superficie de la section transversale entre T1 et T3 pour obtenir des estimations mensuelles du transport par le courant de la Nouvelle-Écosse en $10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Les périodes pour lesquelles des données sont disponibles pour les trois stations sont utilisées pour établir une relation linéaire entre le transport estimé en utilisant toutes les stations et le transport estimé en utilisant seulement une ou deux stations ADCP. On a utilisé ces relations pour extrapoler les estimations du transport à des périodes où l'un des ADCP a présenté une défaillance pendant le déploiement. À partir de mai 2015, seul le mouillage T2 a été déployé. Les travaux de Dever (2017) ont montré qu'il existait une forte corrélation ($r^2=0,87$) entre le courant intégré selon la profondeur à T2 et le transport total. Les anomalies de transport sont basées sur la moyenne de chaque mois en utilisant toutes les données disponibles pour ce mois. Un transport négatif signifie un transport vers le sud-ouest en direction du golfe du Maine. Les anomalies qui sont inférieures à 0,5 écart-type sont colorées en rouge et celles supérieures à 0,5 écart-type sont colorées en bleu². Les données indiquent l'existence d'une période d'anomalies négatives (écoulement plus fort vers le sud-ouest) commençant au milieu de 2010 et s'étendant jusqu'au milieu de 2011, suivie d'un écoulement moyen ou plus faible qui persiste jusqu'à l'été 2016 (figure 40). Pour l'automne 2016 et l'hiver 2017, l'écoulement était au-dessus de la normale, puis on a constaté un transport très près de la normale jusqu'en septembre 2018 où un transport supérieur à la normale a été observé jusqu'à la fin de l'année. Le transport était près de la normale pour la première moitié de 2019. Ces tendances sont globalement bien simulées grâce au modèle, bien qu'il existe des différences (voir le panneau sur le littoral d'Halifax de la figure 38).

La fraction du transport vers le golfe du Maine par la section de l'île du cap de Sable (ratio des afflux dans le golfe du Maine – figure 41) présente un cycle saisonnier, avec un minimum pendant les mois d'été. En moyenne, le modèle prévoit qu'environ la moitié du transport dans le golfe du Maine passe par la section de l'île du cap de Sable/du banc de Browns. Entre les années (figure 39), le ratio des débits entrants dans le golfe du Maine était presque neutre entre 1999 et 2007 (avec des valeurs au-dessus de la normale en 2001 et 2004 seulement) et surtout

² Ces anomalies sont basées sur une période de moyenne différente de celle utilisée pour les simulations numériques

négatif entre 2008 et 2019, bien que des valeurs neutres prédominent durant les cinq dernières années. D'après la simulation du modèle, la tendance générale au réchauffement observée au cours de la dernière décennie dans bon nombre de séries de données est évidente, comme l'augmentation du transport vers le golfe du Maine à la hauteur du chenal nord-est et la réduction du ratio des afflux dans le golfe du Maine.

Un indice de transport annuel global composite a été calculé (figure 42) en additionnant les anomalies normalisées (figures 38 et 39) pour cinq des six variables de transport (le débit entrant par le chenal nord-est a été omis, car cette mesure n'est pas indépendante du ratio des afflux dans le golfe du Maine). Si l'on considère cette somme comme étant une mesure du débit sur le plateau, dans le réseau qui s'étend du sud du golfe du Saint-Laurent jusqu'au golfe du Maine, on constate que le modèle prévoit de fortes anomalies négatives rétrospectives en 1999 et 2000, généralement de faibles anomalies positives de 2001 à 2007, suivies d'une alternance de fortes anomalies négatives et de fortes anomalies positives jusqu'en 2015, puis des anomalies positives jusqu'à l'année en cours.

SOMMAIRE

En 2019, l'indice d'oscillation nord-atlantique était légèrement supérieur à la normale (+0,6, +1,1 ÉT), mais beaucoup plus faible qu'en 2015, qui a la valeur la plus élevée en 70 ans. L'analyse des données satellitaires indique que la SST étaient légèrement inférieures à la normale au début 2019, suivies d'une période de températures près de la normale jusqu'en août où les températures étaient supérieures à la normale, et inférieures à la normale en septembre sauf dans la baie de Fundy.

Un résumé graphique de certaines séries chronologiques déjà illustrées indique que les périodes allant de 1987 à 1993 et 2003-2004 ont été principalement plus froides que la normale et que les périodes de 1999-2000 et allant de 2010 à 2019 ont été plus chaudes que la normale (figure 43). La période s'échelonnant entre 1979 et 1986 a également eu tendance à être plus chaude que la normale. Il est évident que 2012 a été une année exceptionnelle selon ces séries, avec 17 valeurs supérieures à deux ÉT. En 2019, 17 des 22 séries présentées montraient des anomalies positives; 10 variables se situaient à plus d'un ET au-dessus de leurs valeurs normales. Parmi ceux-ci, 4 étaient de plus de 2 ÉT au-dessus de la normale et 2 étaient de plus de 3 ÉT au-dessus de la normale (le bassin profond d'Émeraude et le détroit de Cabot étaient des valeurs records). En 2019, l'anomalie normalisée moyenne (médiane) était de +0,9 (+0,6 ÉT), le 14e plus élevé de la série de 50 ans.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient tous ceux qui ont fourni des données; en particulier, le Groupe de gestion des données scientifiques intégrées à Ottawa, Sarah Scouten de la Station biologique de St. Andrews pour avoir fourni les données de St. Andrews et Prince 5 et Edward Horne pour la SST d'Halifax. Ils remercient également Frédéric Cyr (Secteur des sciences du MPO, région de Terre-Neuve) pour avoir révisé le document avoir formulé des commentaires qui ont permis de l'améliorer.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Barnett, T. 1984. The estimation of “global” sea level change: A problem of uniqueness, *J. Geophys. Res.* 89: 7980–7988.
- Barnston, A.G. and Livezey, R.E. 1987. Classification, seasonality and persistence of low frequency atmospheric circulation patterns. *Mon. Weather Rev.*, 115:1083-1126.
- Brickman, D., Hebert, D., and Wang, Z. 2018. [Mechanism for the recent ocean warming events on the Scotian Shelf of eastern Canada](#). *Cont. Shelf Res.*, 156:11–22.
- Brickman, D., Wang, Z., and DeTracey, B. 2015. [Variability of current streams in Atlantic Canadian waters: A model study](#). *Atmosphere-Ocean Vol. 54, Iss. 3*, 2016.
- Casey, K.S., Brandon, T.B., Cornillon, P., and Evans, R. 2010. [The past, present and future of the AVHRR Pathfinder SST Program](#); pp. 273–287. In: *Oceanography from space: Revisited*. Edited by V. Barale, J.F.R. Gower, and L. Alberotanza. Springer, Dordrecht, The Netherlands.
- Colbourne, E., Narayanan, S., and Prinsenbergh, S. 1994. [Climatic changes and environmental conditions in the Northwest Atlantic, 1970–1993](#). *ICES Mar. Sci. Symp.* 198: 311–322.
- Craymer, M.R., Henton, J., Piraszewski, M., and Lapelle, E. 2011. [An updated GPS velocity field for Canada](#), *EOS Transactions, AGU*, 92(51), Fall Meeting Supplement, Abstract G21A-0793.
- Cyr, F., Colbourne, E., Galbraith, P.S., Gibb, O., Snook, S., Bishop, C., Chen, N., Han, G., et D. Sencill. 2020. [Conditions océanographiques physiques sur le plateau continental de TerreNeuve et Labrador en 2018](#). *DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc.* 2020/018 iv + 50
- Dever, M., Hebert, D., Greenan, B.J.W., Sheng, J. and Smith, P.C. 2016. [Hydrography and Coastal Circulation along the Halifax Line and the Connections with the Gulf of St. Lawrence](#), *Atmos-Ocean*, 54:199–217.
- Dever, M. 2017. [Dynamics of the Nova Scotia Current and Linkages with Atlantic Salmon Migration Patterns over the Scotian Shelf](#), Ph.D. Thesis, Dalhousie University.
- Drinkwater, K.F. 1996. Climate and oceanographic variability in the Northwest Atlantic during the 1980s and early-1990s. *J. Northw. Atl. Fish. Sci.* 18: 77–97.
- Drinkwater, K.F., and Trites, R.W. 1987. Monthly means of temperature and salinity in the Scotian Shelf region. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1539.
- Galbraith, P.S., Larouche, P., Chassé, J., and Petrie, B. 2012. [Sea-surface temperature in relation to air temperature in the Gulf of St. Lawrence: Interdecadal variability and long-term trends](#). *Deep Sea Res. Part II Vol. 77–80*: 10–20.
- Galbraith, P.S., Chassé, J., Caverhill, C., Nicot, P., Gilbert, D., Lefavre, D. et Lafleur, C. 2019. [Conditions océanographiques physiques dans le golfe du Saint-Laurent en 2018](#). *Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech.* 2019/046. v + 83 p.
- Gatien, M.G. 1976. [A study in the slope water region south of Halifax](#). *J. Fish Res. Board Can.* 33, 2213–2217.
- Gilbert, D., Sundby, B., Gobriel, C., Mucci, A., and Tremblay, G.-H. 2005. [A seventy-two-year record of diminishing deep-water oxygen in the St. Lawrence estuary: The northwest Atlantic connection](#). *Limnol. Oceanogr.* 50: 1654–1666.
- Hong, B.G., Sturges, W., and Clarke, A.J. 2000. [Sea level on the U.S. East Coast: Decadal variability caused by open ocean wind-curl forcing](#). *J. Phys. Oceanogr.* 30: 2088–2098.

-
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, M.R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K.C., Ropelewski, C., Wang, J., Leetmaa, A., Reynolds, R., Jenne, R., and Joseph, D. 1996. [The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project](#), Bull. Amer. Meteor. Soc., 77, 437–470.
- MPO. 2019. [Conditions océanographiques dans la zone Atlantique en 2018](#). Secr. Can. De consult. Sci du MPO, Avis sci. 2019/034.
- NOAA. 2019. Monthly climatic data for the world. Prepared in cooperation with the World Meteorological Organization. National Climate Data Center, National Environmental Satellite, Data, and Information Service, NOAA, Asheville, NC. Vol. 71 (2017-01 to 2017-12). ISSN 0027-0296.
- 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., 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., Pettipas, R., and Petrie, W. 2009. [An Overview of Meteorological, sea ice and physical oceanographic conditions on the Scotian Shelf and in the Gulf of Maine during 2008](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2009/041.
- Rogers, J.C. 1984. [The association between the North Atlantic Oscillation and the Southern Oscillation in the Northern Hemisphere](#). Mon. Wea. Rev. 112: 1999–2015.
- Rosby, T., Flagg, C.N., Donohue, K., Sanchez-Franks, A., and Lillibridge, J. 2014. [On the long-term stability of Gulf Stream transport based on 20 years of direct measurements](#). Geophys. Res. Lett. Vol. 41: 114–120.
- Vincent, L.A., Wang, X.L., Milewska, E.J., Wan, H., Yang, F., and Swall, V. 2012. [A second generation of homogenized Canadian monthly surface air temperature for climate trend analysis](#). J. Geophys. Res., Vol. 177, Issue D18.
- Wang, Z., Brickman, D., Greenan, B.J., Yashayaev, I. 2016. [An abrupt shift in the Labrador Current System in relation to winter NAO events](#), J. Geophys. Res., Vol. 121, Issue 5338-5440.
- Wang, Z., Lu, Y., Greenan, B., Brickman, D., and DeTracey, B. 2018. BNAM: [An eddy-resolving North Atlantic Ocean model to support ocean monitoring](#), Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci., 327, vii+18p.

TABLEAUX

Tableau 1. Anomalies de la température annuelle moyenne de l'air en 2019 en degrés et anomalies normalisées (par rapport à la climatologie de 1981 à 2010) et ÉT des anomalies mensuelles pour le plateau néo-écossais et le golfe du Maine.

Site	Anomalie annuelle		Climatologie pour 1981-2010	
	Observée (°C)	Normalisée (ÉT)	Moyenne (°C)	ÉT (°C)
Sydney	-0,3	-0,4	5,87	0,81
Île de Sable	-0,4	-0,6	7,88	0,68
Shearwater (Halifax)	-0,2	-0,3	6,99	0,74
Yarmouth	0,0	0,0	7,16	0,62
Saint-Jean	0,0	0,0	5,19	0,74
Boston	+1,2	+1,7	10,91	0,60

Tableau 2. Anomalies de la SST en 2019 et statistiques sur la SST à long terme, incluant le changement de température entre 1982 et 2019 d'après la tendance linéaire.

Site	Anomalie de la SST en 2019 (°C)	Anomalie normalisée de la SST en 2019	Anomalie annuelle de la SST 1981 - 2010 (°C)	Tendance de la température 1982 - 2019 (°C/décennie)
4Vn	-0,8	-1,5	6,4	0,2
4Vs	-0,0	-0,1	7,4	0,2
4W	-0,6	-1,0	8,4	0,3
4X n.-é.	-0,2	-0,4	8,0	0,3
4X eGdM+BdF	+0,1	+0,2	7,8	0,4

FIGURES

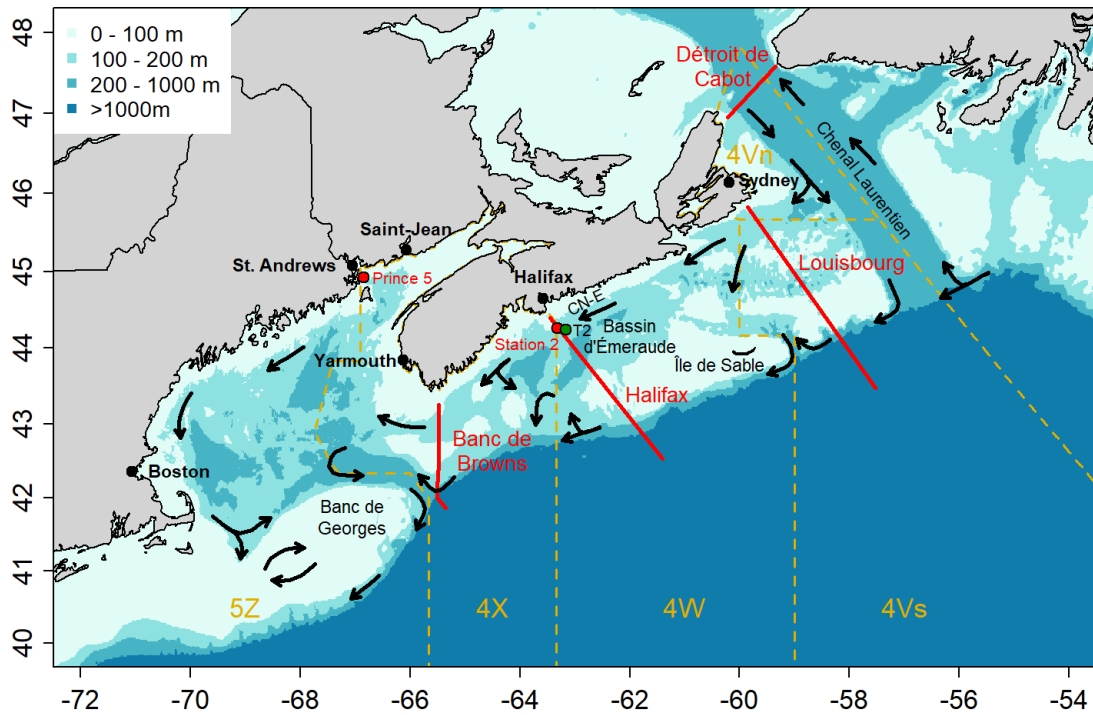


Figure 1. Carte du plateau néo-écossais et du golfe du Maine montrant les stations hydrographiques (cercles rouges), les sections standards (lignes rouges), mouillage d'un courantomètre (vert) ainsi que les caractéristiques topographiques. Le Courant de la Nouvelle-Écosse (CN-É) est présenté. Les lignes pointillées indiquent les limites des divisions de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest.

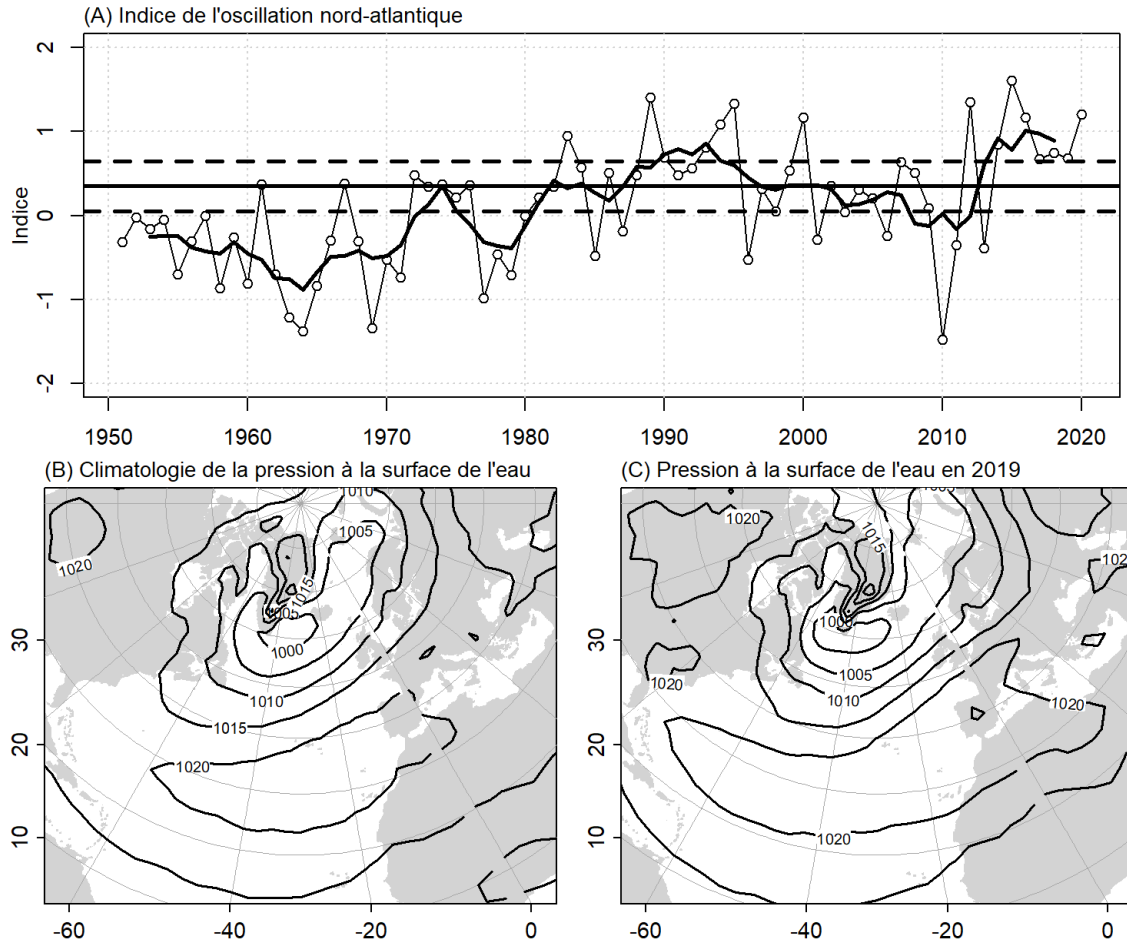


Figure 2. L'indice de l'oscillation nord-atlantique, défini comme l'Analyse en composantes principales de la pression hivernale (décembre, janvier, février, mars) à 500 mb qui est représentative de la différence entre la basse dépression en Islande et la haute pression aux Açores. La ligne épaisse est une moyenne mobile sur 5 ans. La moyenne climatologique est représentée par une ligne continue. Les lignes pointillées (panneau supérieur) représentent $\pm 0,5$ écart type. Les panneaux inférieurs montrent la pression atmosphérique moyenne de décembre-mars 1981-2010 (panneau inférieur gauche) et de décembre 2018-mars 2019 (panneau inférieur droit) au niveau de la mer au-dessus de l'Atlantique Nord (Images fournies par la Division des sciences physiques de la NOAA / Laboratoire de recherche sur le système terrestre (ESRL), Boulder Colorado sur leur site Web à l'adresse <http://www.esrl.noaa.gov/psd>)

Réanalyse NCEP/NCAR
Anomalies composites de l'air à 1000 mb (°C), données climatologiques pour 1981-2010

NOAA/ESRL. Division des sciences physiques

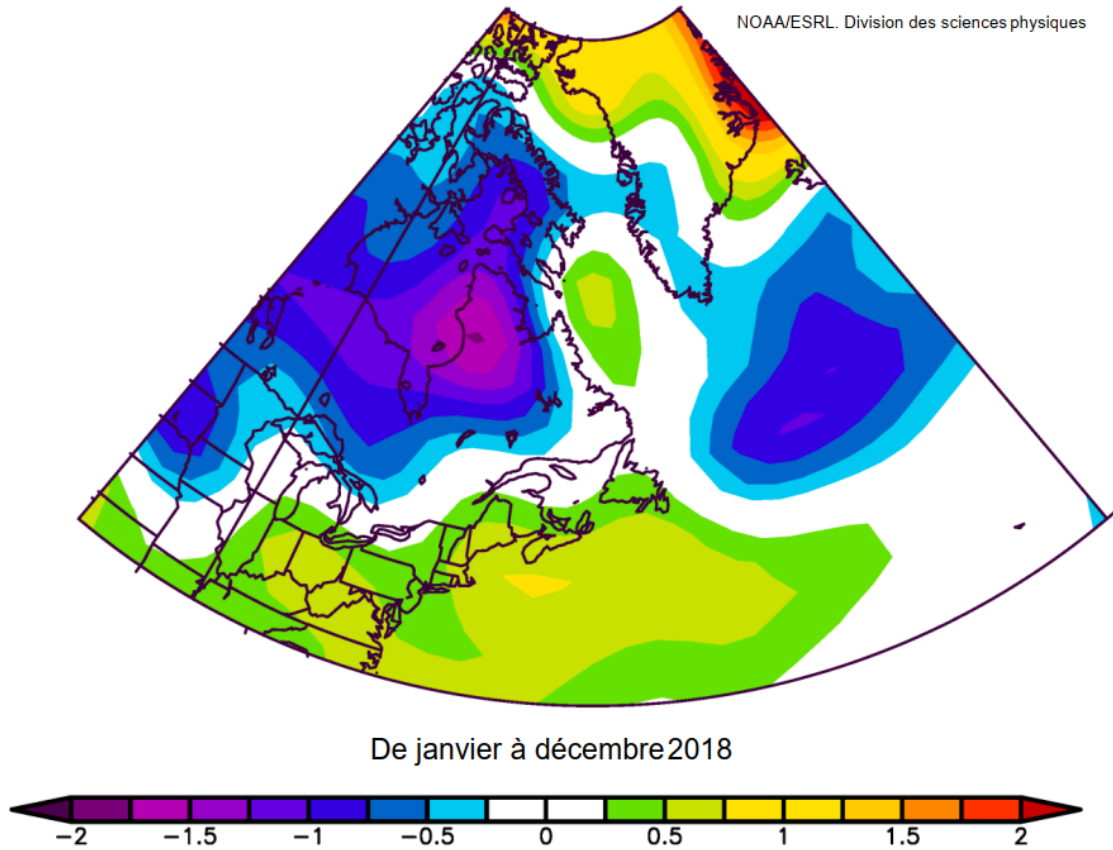


Figure 3. Anomalies annuelles de la température de l'air (°C) au-dessus de l'Atlantique Nord-Ouest par rapport aux moyennes 1981-2010; les données ont été obtenues du [site Internet de la NOAA](http://www.esrl.noaa.gov/psd) [consulté le 13 février 2020]. (Images fournies par la division des sciences physiques de la NOAA/ESRL, Boulder Colorado, à partir de <http://www.esrl.noaa.gov/psd>).

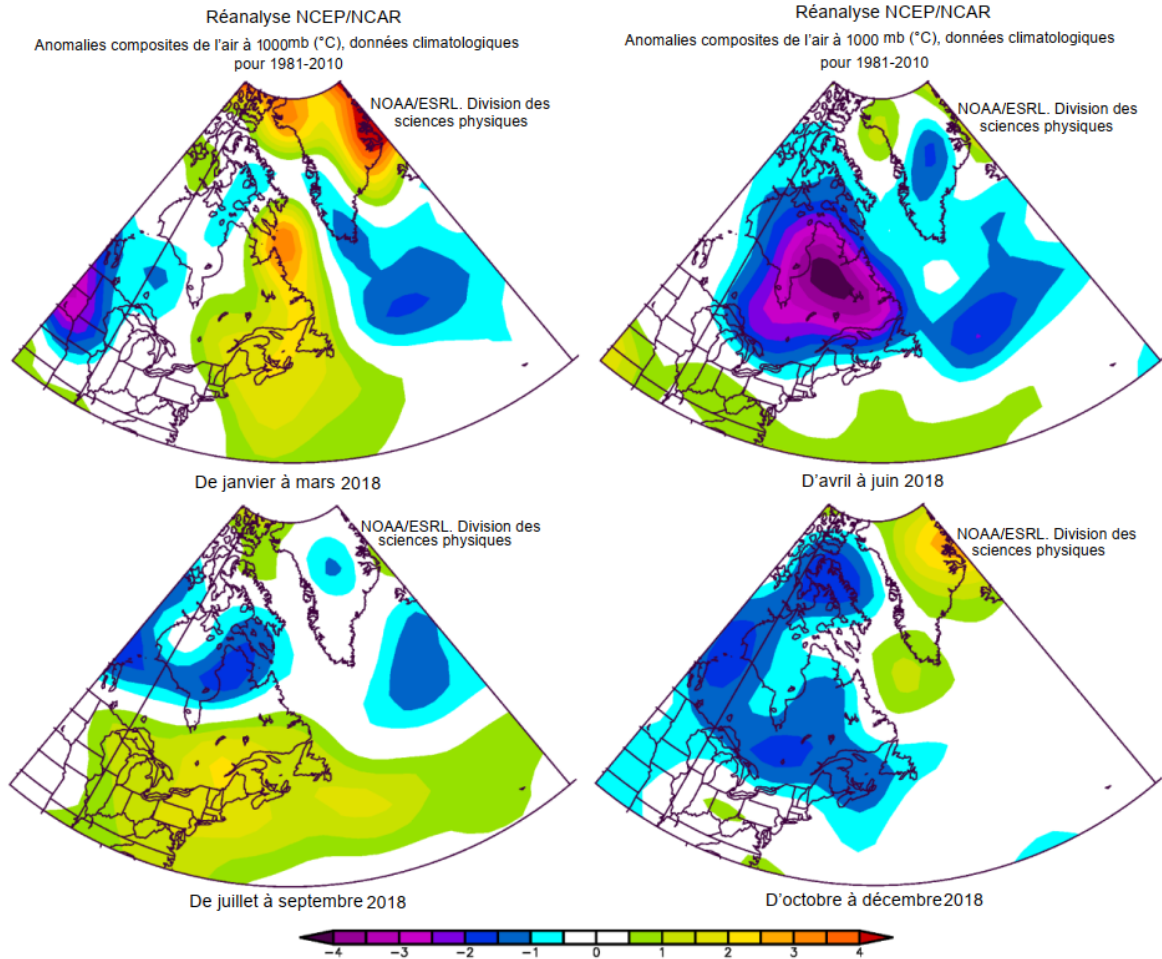


Figure 4. Anomalies saisonnières de la température de l'air (°C) au-dessus de l'Atlantique Nord-Ouest par rapport aux moyennes 1981-2010; les données ont été obtenues du [site Internet de la NOAA](http://www.esrl.noaa.gov/psd) [consulté le 13 février 2020]. (Images fournies par la division des sciences physiques de la NOAA/ESRL, Boulder Colorado, à partir de <http://www.esrl.noaa.gov/psd>).

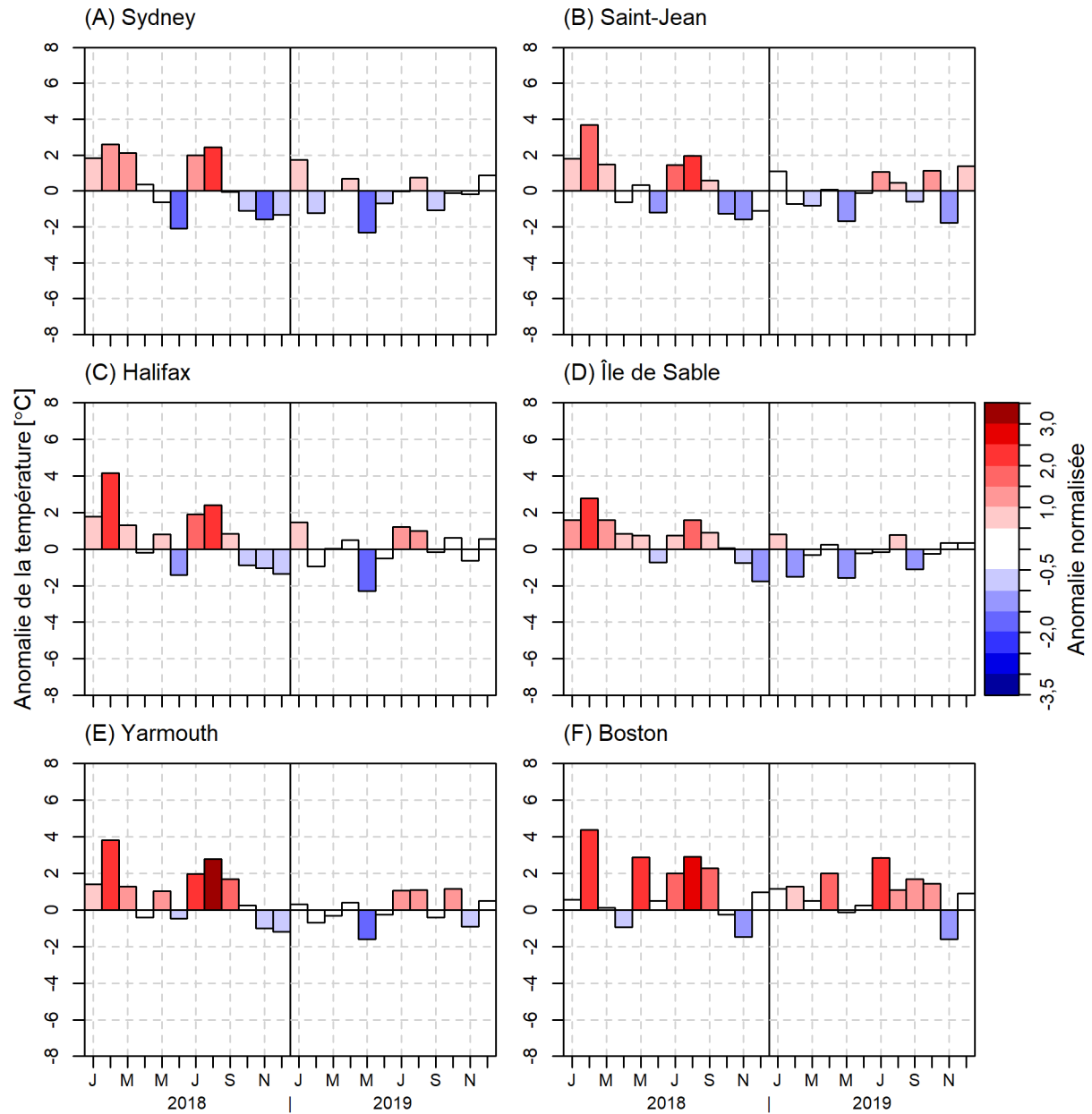


Figure 5. Anomalies mensuelles de la température de l'air ($^{\circ}\text{C}$) à plusieurs sites du plateau néo-écossais et golfe du Maine pour 2018 et 2019. Voir la figure 1 pour les emplacements. JMMJSN sur l'axe des x représente janvier, mars, mai, juin, septembre et novembre. Les anomalies sont codées par couleur en fonction du nombre d'écart-types supérieurs ou inférieurs à la normale par rapport aux statistiques mensuelles.

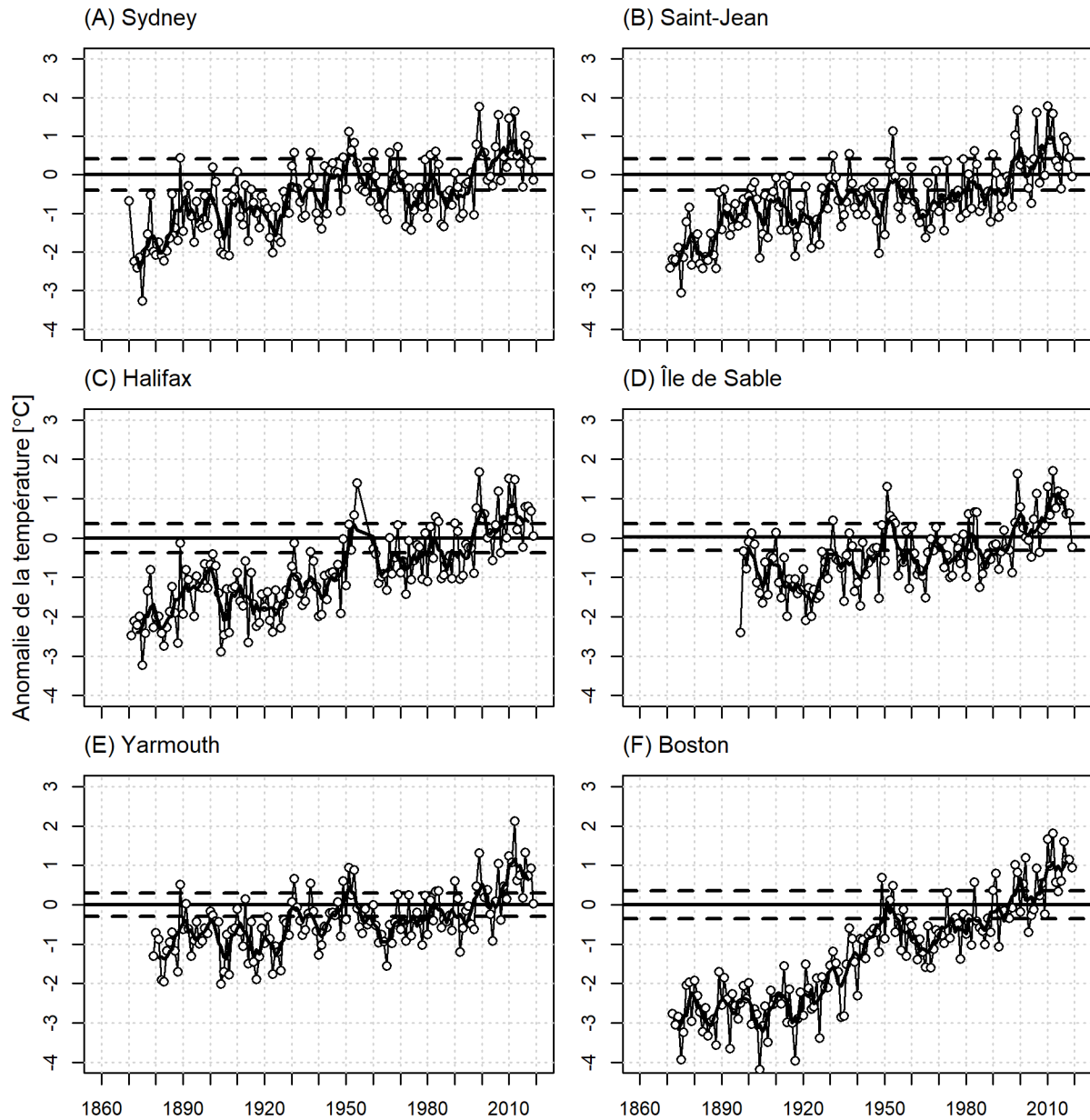


Figure 6. Anomalies annuelles de la température de l'air en °C (ligne avec cercle) et moyennes mobiles sur 5 ans (ligne épaisse) à certains endroits (Sydney, île de Sable, Halifax (Shearwater), Yarmouth, Saint-Jean et Boston) dans la région du plateau néo-écossais et du golfe du Maine (années 1860 à 2019). Les lignes horizontales pointillées représentent plus ou moins 0,5 écart-type pour la période allant de 1981 à 2010. La tendance linéaire pour la période 1900-présent est présentée.

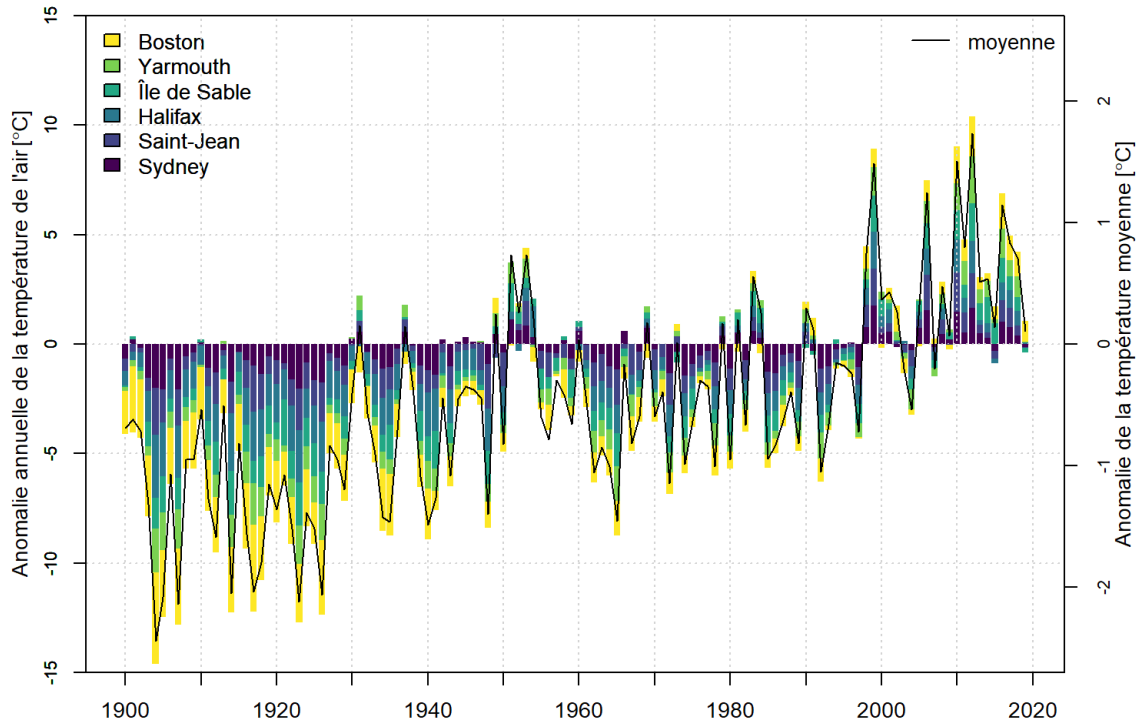


Figure 7. Les contributions de chacune des anomalies annuelles de la température de l'air pour six sites du plateau néo-écossais et du golfe du Maine (Boston, Saint-Jean, Yarmouth, Halifax (Shearwater), île de Sable et Sydney) sont présentées sous forme de diagramme à barres empilées. Les anomalies font référence à la période allant de 1981 à 2010.

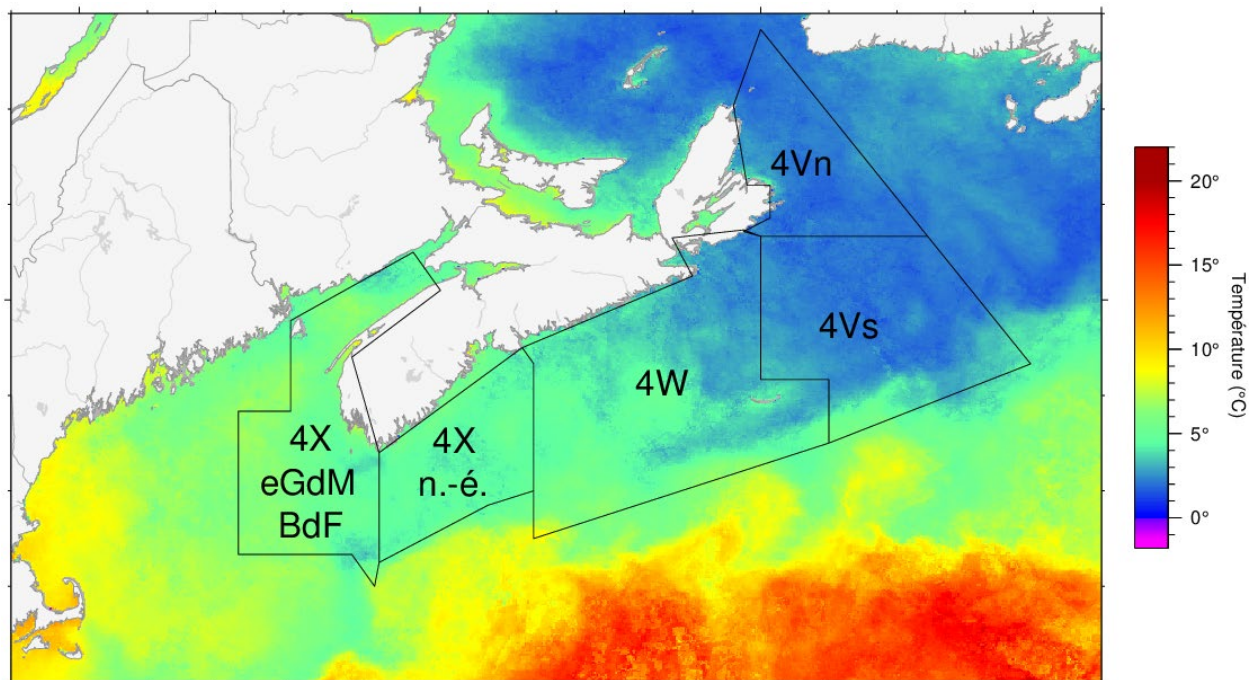


Figure 8. Zones du plateau néo-écossais et du golfe du Maine (4Vn, 4Vs, 4W, 4X n.-é. et 4X eGdM+BdF) utilisées pour l'extraction de la température de surface de la mer.

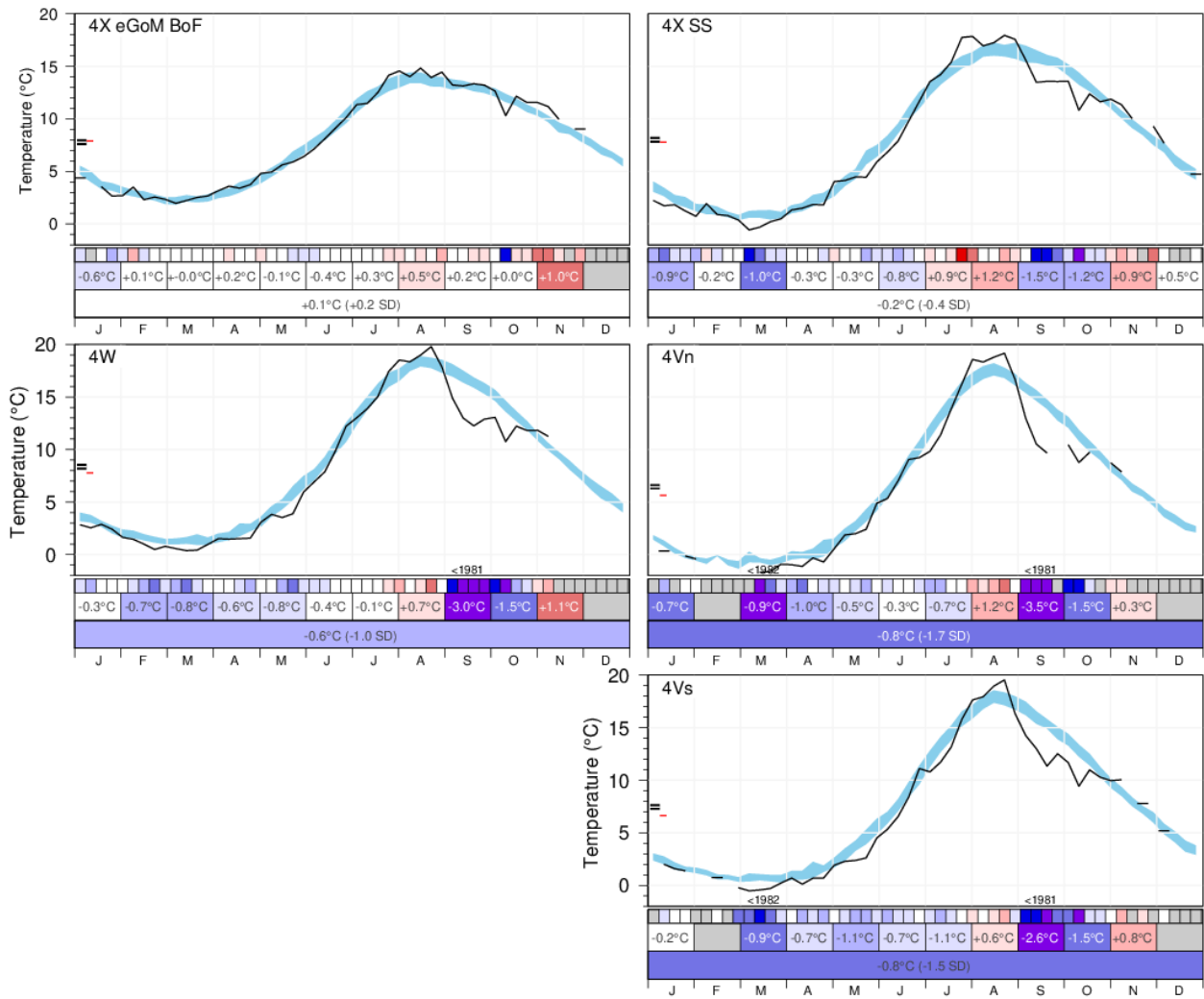


Figure 9. Moyennes hebdomadaires, mensuelles et annuelles de l'AVHRR SST pour les cinq régions du plateau néo-écossais et du golfe du Maine. La zone bleue représente la moyenne hebdomadaire climatologique 1981-2010 $\pm 0,5$ ÉT. Les cartes de pointage sont codées par couleur en fonction des anomalies normalisées basées sur les climatologies 1981-2010 pour chaque semaine (rangée du haut), mois (rangée du milieu) ou pour l'année (rangée du bas).

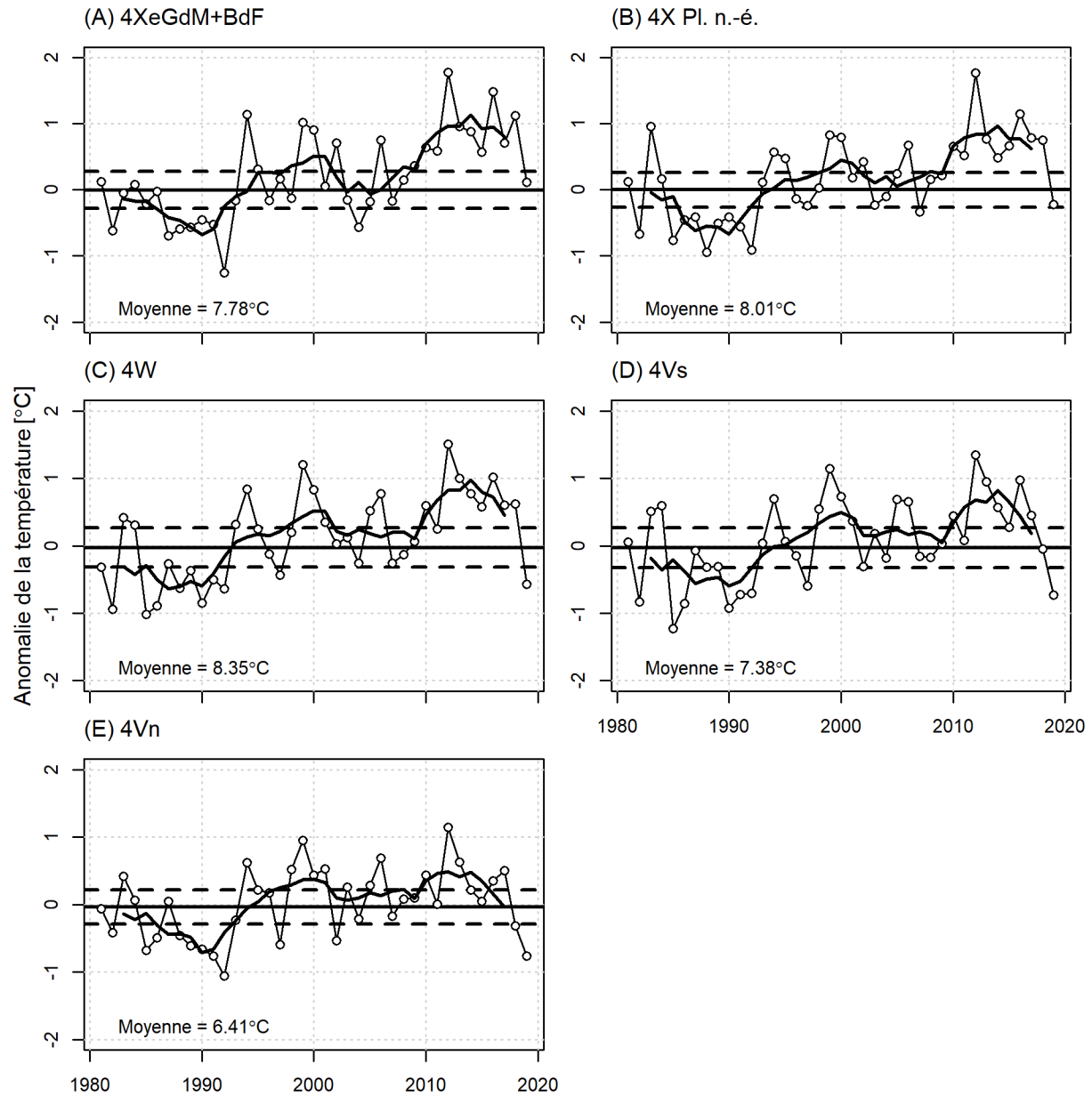


Figure 10. Anomalies annuelles normalisées de la température de surface de la mer dérivées de l'imagerie satellitaire par rapport à leurs moyennes mensuelles à long terme (cinq régions du plateau néo-écossais et du golfe du Maine - 4Vn, 4Vs, 4W, 4X plateau néo-écossais et 4X est du golfe du Maine + Baie de Fundy - Figure 8).

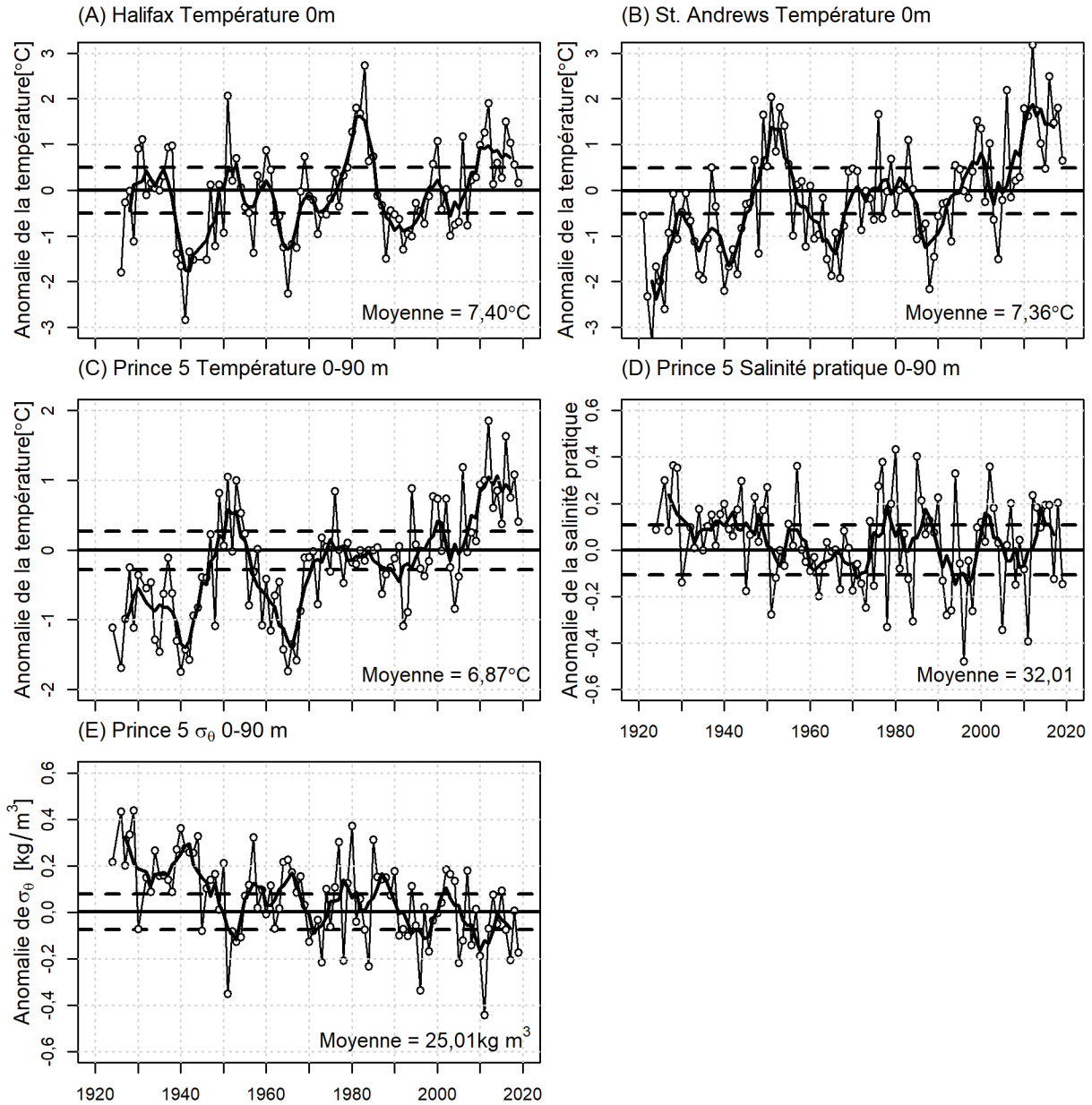


Figure 11. Anomalies annuelles de la température de surface (ligne et cercles) et leurs moyennes mobiles sur 5 ans (ligne noire épaisse) pour : (A) port d'Halifax et (B) St. Andrews, et moyenne annuelle selon la profondeur (0 - 90 m) anomalies de la température (C), anomalies de la salinité (D) et anomalies de la densité (E) pour la station de monitoring Prince 5, à l'embouchure de la baie de Fundy. Les lignes horizontales pointillées représentent la moyenne plus et moins 0,5 écart-type.

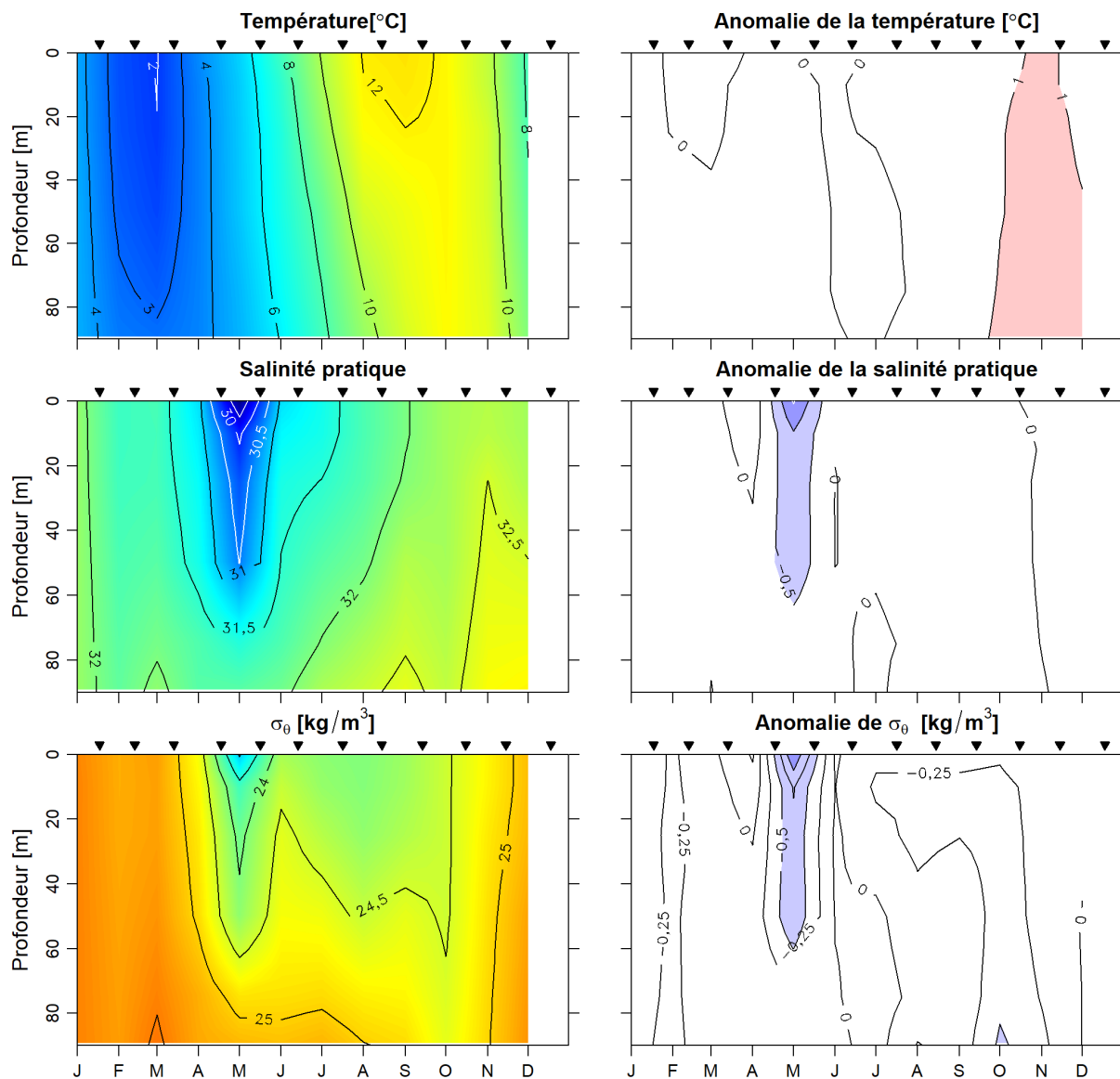


Figure 12. Cycle annuel de la température (panneau du haut), de la salinité (panneau du milieu) et de la densité (panneau du bas) en 2019 et leurs anomalies par rapport aux moyennes mensuelles enregistrées entre 1981 et 2010 (panneaux de droite) pour la station de monitoring Prince 5, à l'embouchure de la baie de Fundy. Les triangles indiquent les périodes d'échantillonnage.

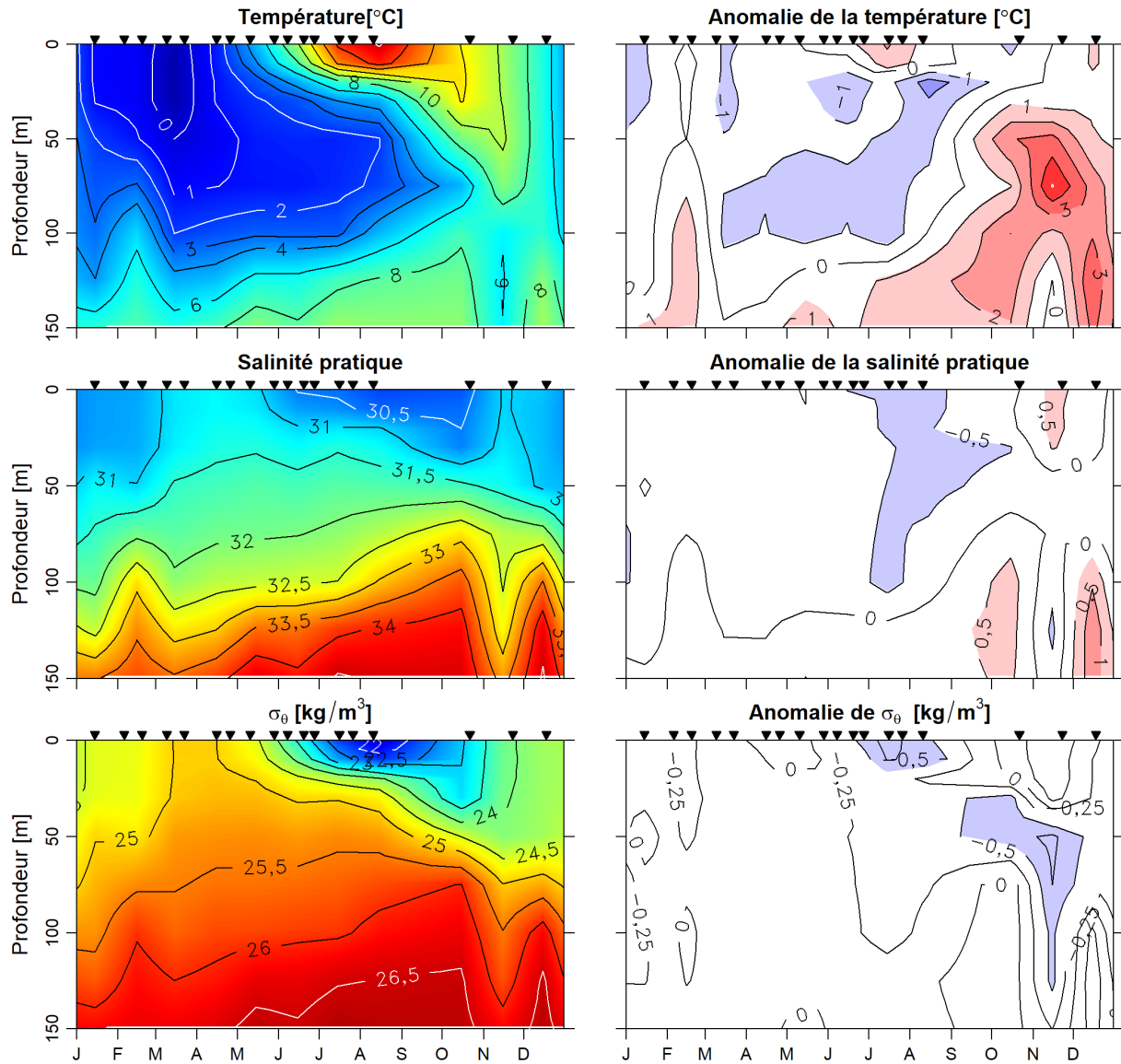


Figure 13. Cycle annuel de la température (panneau du haut), de la salinité (panneau du milieu) et de la densité (panneau du bas) en 2019 et leurs anomalies par rapport aux moyennes mensuelles enregistrées entre 1981 et 2010 (panneaux de droite) pour la station 2, Halifax. Les triangles indiquent les périodes d'échantillonnage.

R/V Coriolis II 001, 06 avr. au 25 avr. 2019, 77 stations

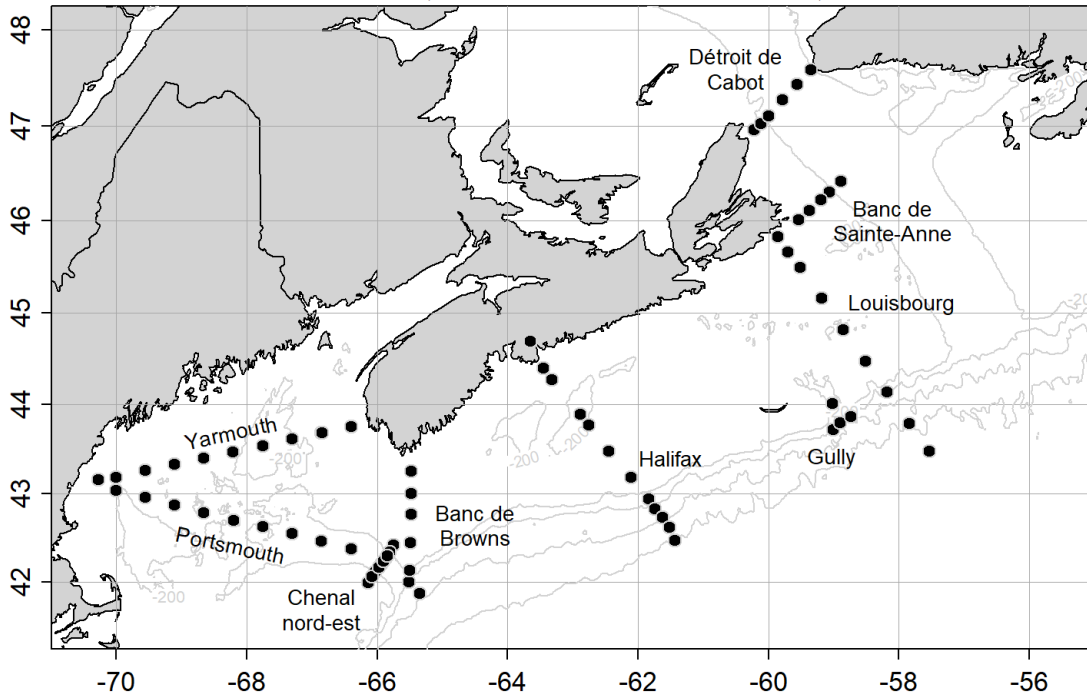


Figure 14. L'échantillonnage de 2019 du plateau néo-écossais / golfe du Maine pour le relevé du printemps. Il n'y a pas eu de relevé à l'automne.

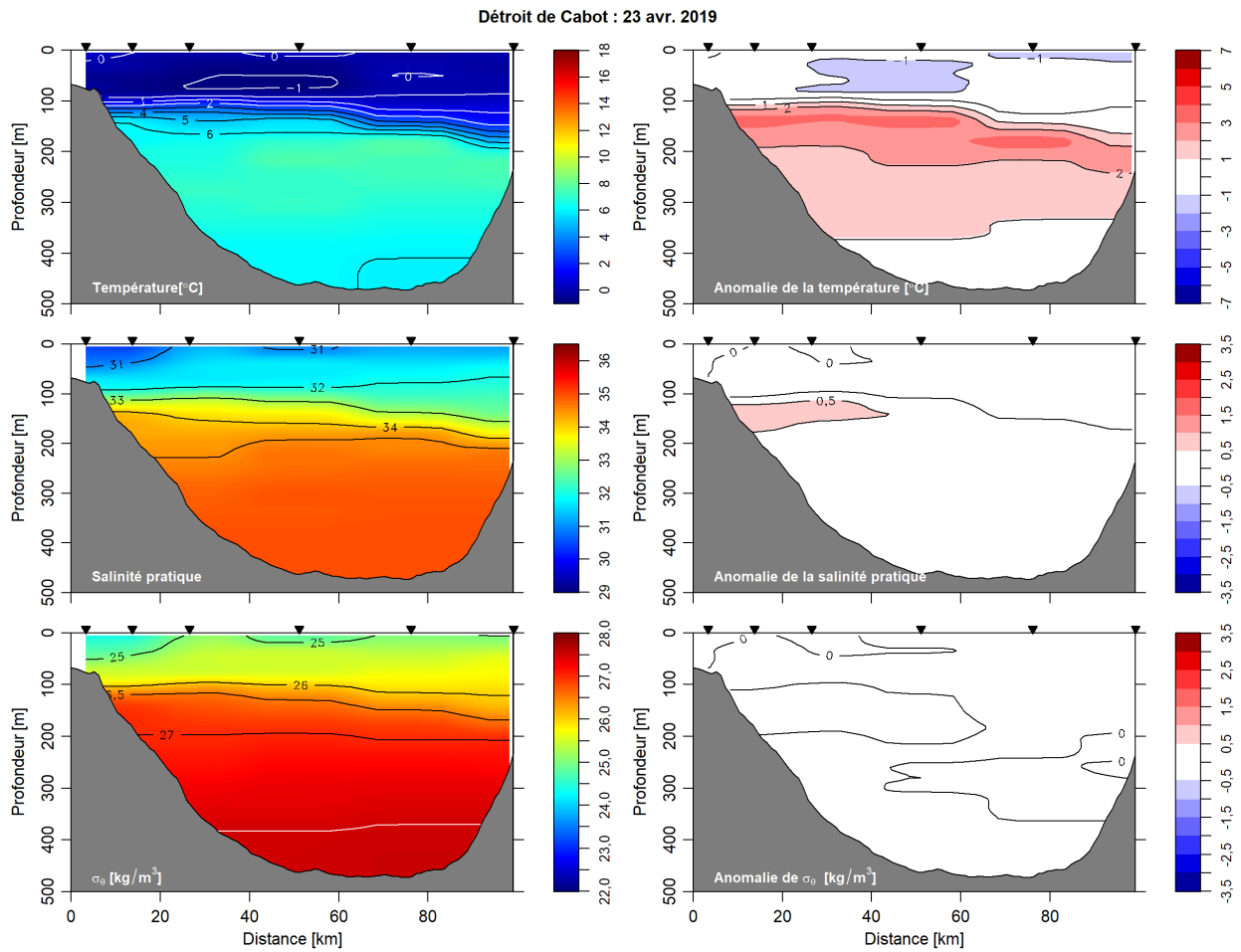


Figure 15. Échantillonnage en 2019 sur la section du détroit de Cabot au printemps. Température (panneau du haut), salinité (panneau du milieu) et densité (panneau du bas) et leurs anomalies par rapport aux moyennes mensuelles 1981- 2010 (panneaux de droite). Les triangles indiquent les emplacements d'échantillonnage.

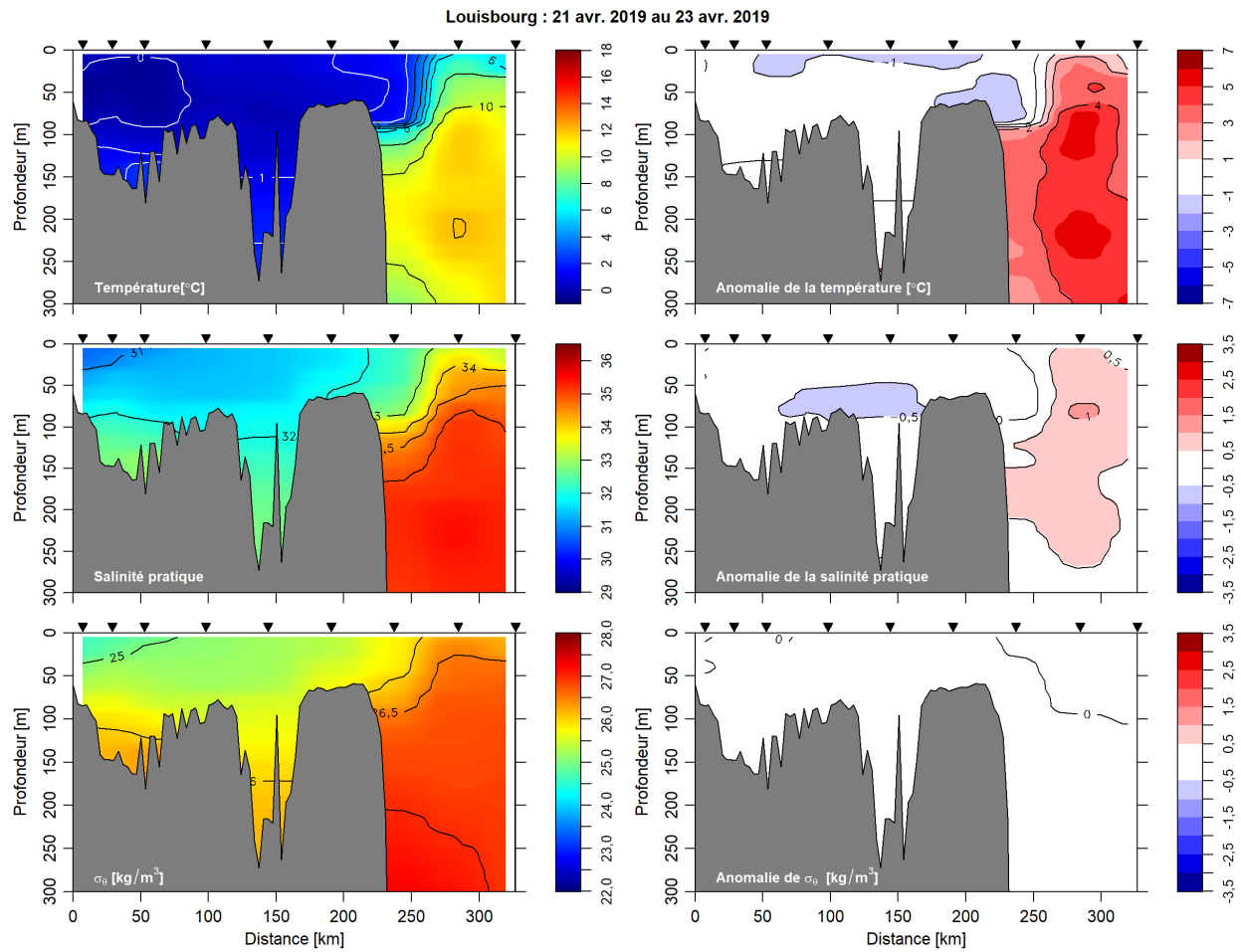


Figure 16. Échantillonnage en 2019 sur la section de Louisbourg au printemps. Température (panneau du haut), salinité (panneau du milieu) et densité (panneau du bas) et leurs anomalies par rapport aux moyennes mensuelles 1981-2010 (panneaux de droite). Les triangles indiquent les emplacements d'échantillonnage.

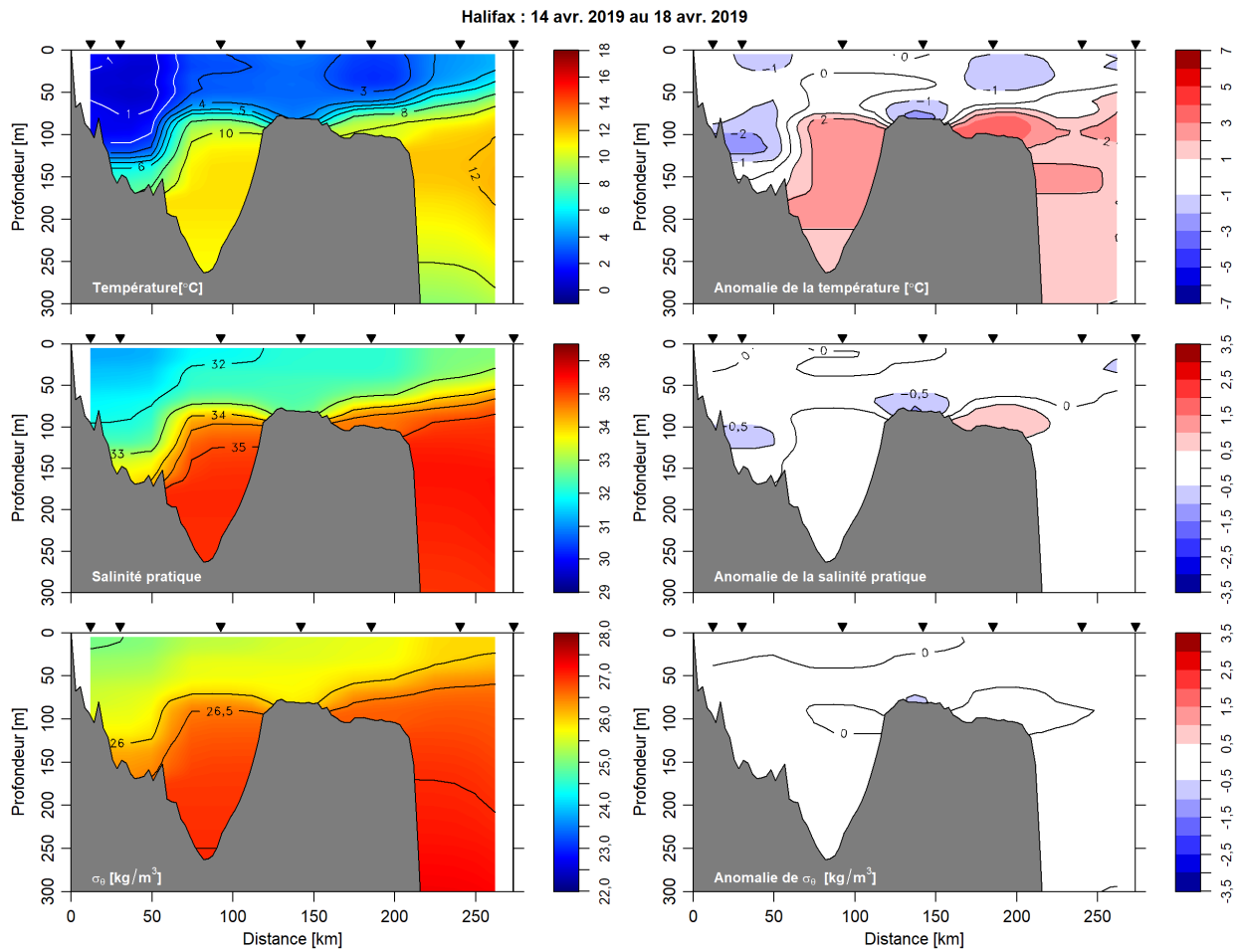


Figure 17. Échantillonnage en 2019 sur la section de Halifax au printemps. Température (panneau du haut), salinité (panneau du milieu) et densité (panneau du bas) et leurs anomalies par rapport aux moyennes mensuelles 1981-2010 (panneaux de droite). Les triangles indiquent les emplacements d'échantillonnage.

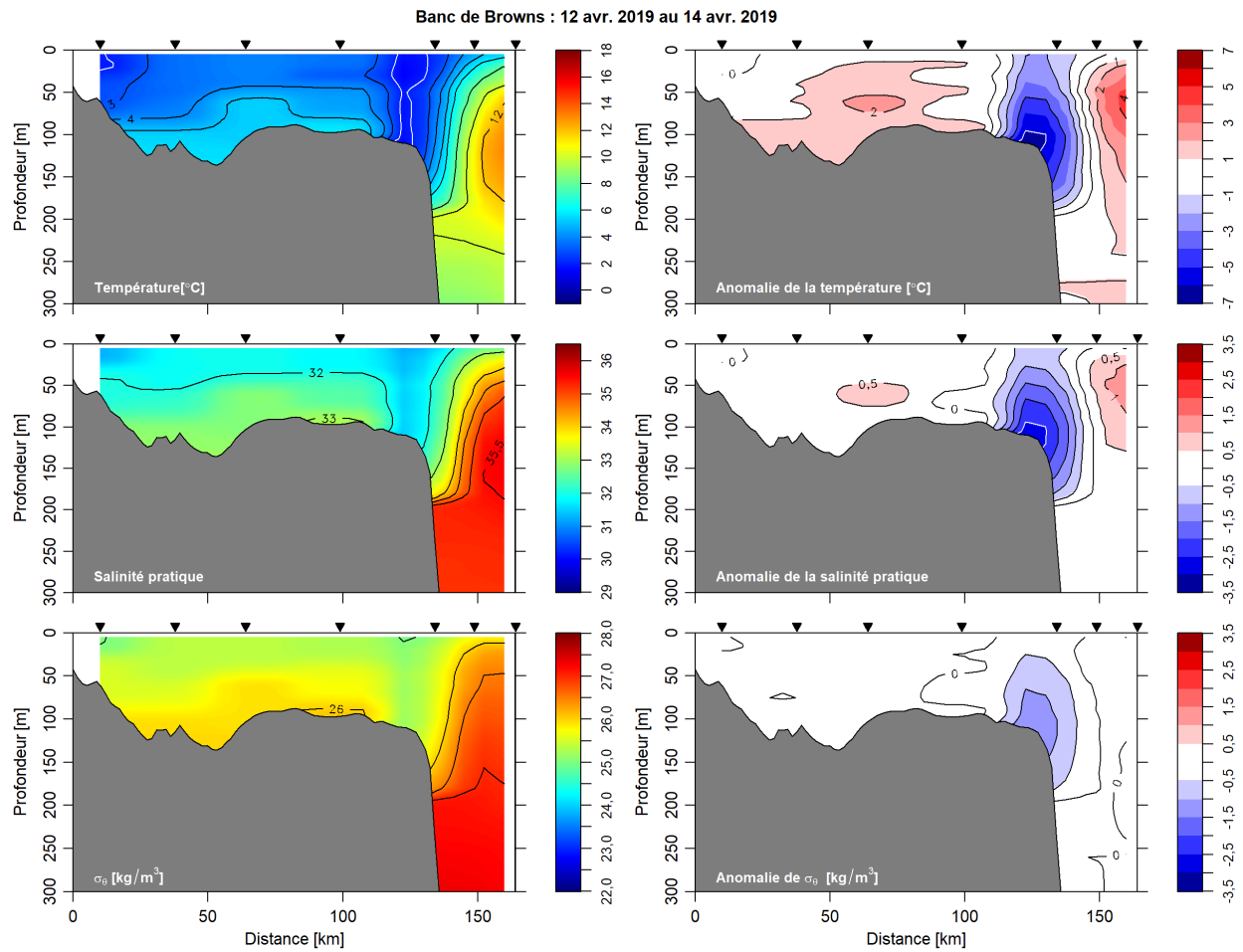


Figure 18. Échantillonnage en 2019 sur la section du Banc de Brown au printemps. Température (panneau du haut), salinité (panneau du milieu) et densité (panneau du bas) et leurs anomalies par rapport aux moyennes mensuelles 1981-2010 (panneaux de droite). Les triangles indiquent les emplacements d'échantillonnage.

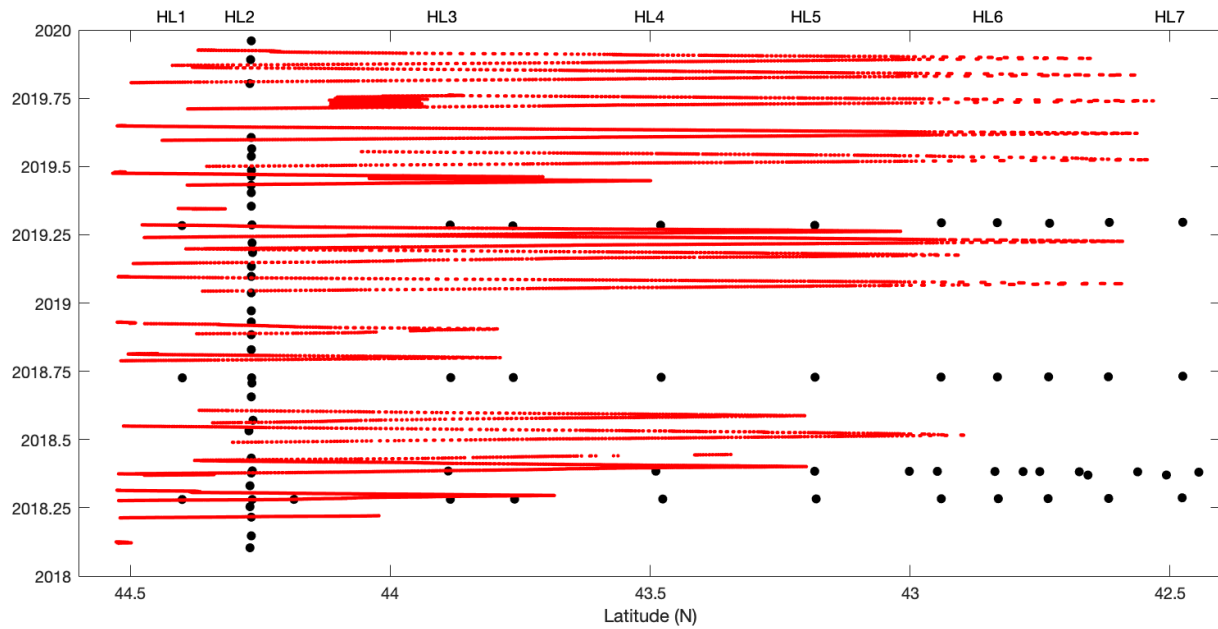


Figure 19. Hodographe d'échantillonnage sur la section d'Halifax en 2018 et 2019. Les points noirs représentent l'échantillonnage par un navire. Les points rouges représentent l'échantillonnage par les planeurs.

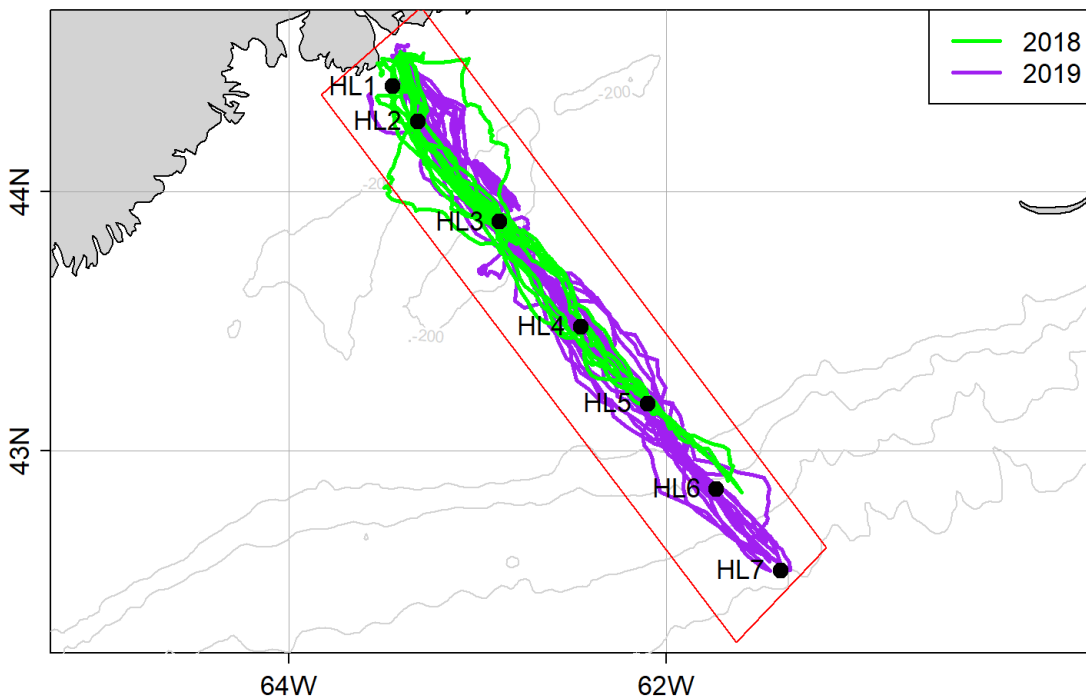


Figure 20. Trajectoires des planeurs sur la section d'Halifax en 2018 et 2019. Les emplacements des stations de la section d'Halifax sont indiqués par les points noirs.

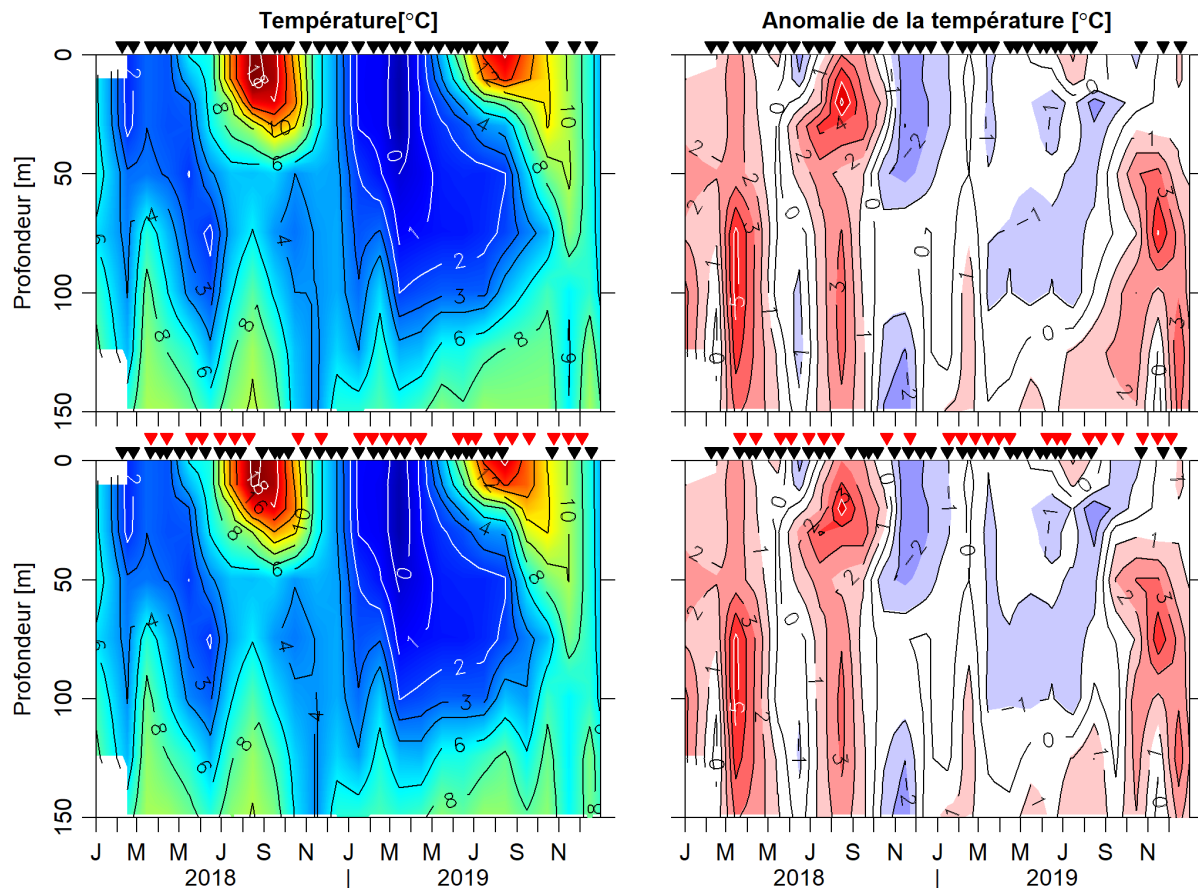


Figure 21. Température (à gauche) et l'anomalie de température (à droite) échantillonnées à partir de navire standard à la station 2 (panneaux supérieurs). Les panneaux inférieurs incluent les données supplémentaires, moyennées à chaque heure, provenant des planeurs. Les périodes d'échantillonnage des navires (triangles noirs) et des planeurs (triangles rouges) sont indiquées pour chaque panneau.

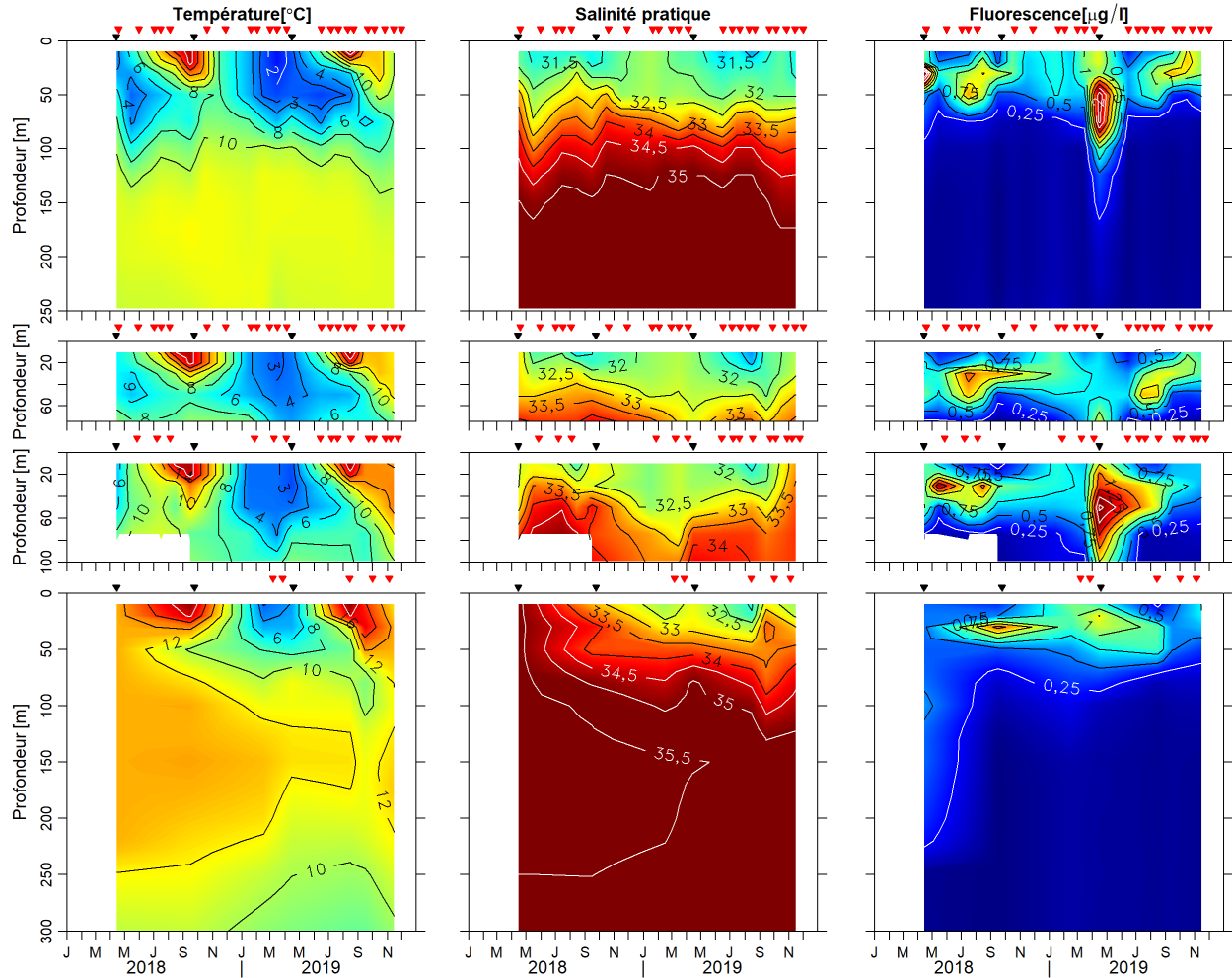


Figure 22. Température (à gauche), salinité (au milieu) et fluorescence de la chlorophylle (à droite) pour les stations hydrographiques standard de la section d'Halifax: HL3 (panneau supérieur), HL4 (deuxième panneau à partir du haut), HL5 (troisième panneau à partir du haut) et HL6 (panneau du bas). Seulement les 300 m premiers mètres sont présentés. Les périodes d'échantillonnage à partir des navires (triangles noirs) et des planeurs (triangles rouges) sont indiqués pour chaque panneau.

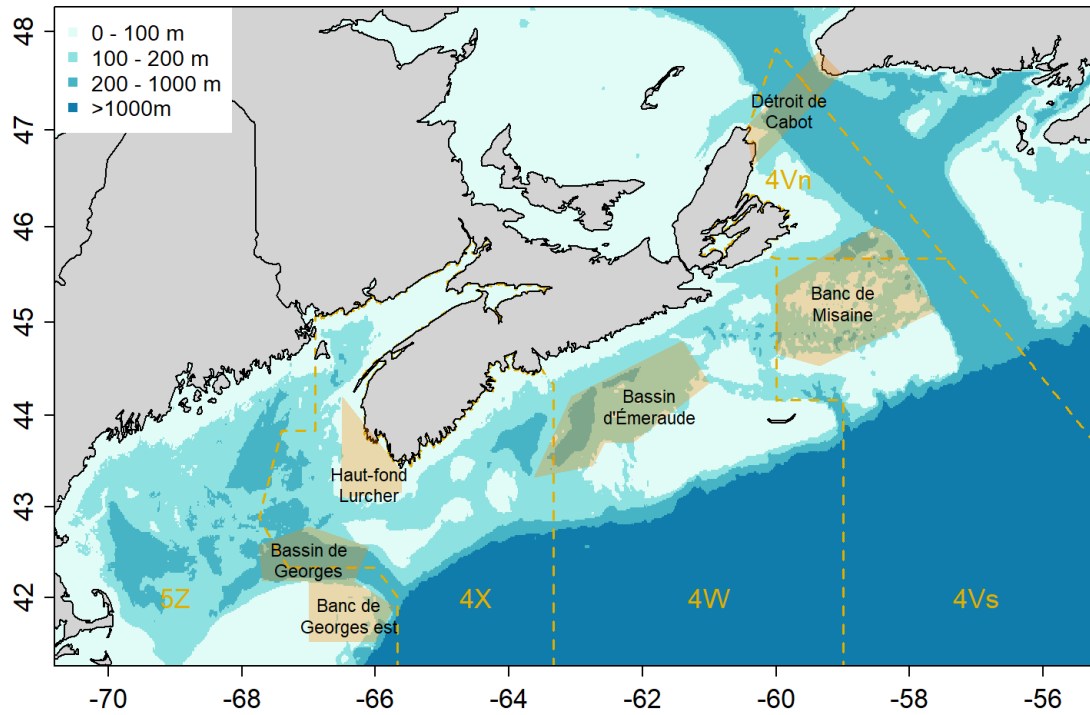


Figure 23. Zones du plateau néo-écossais et de l'est du golfe du Maine affichant différentes masses d'eau : détroit de Cabot, banc de Misaine, bassin d'Émeraude, haut-fond Lurcher, bassin de Georges et banc de Georges est.

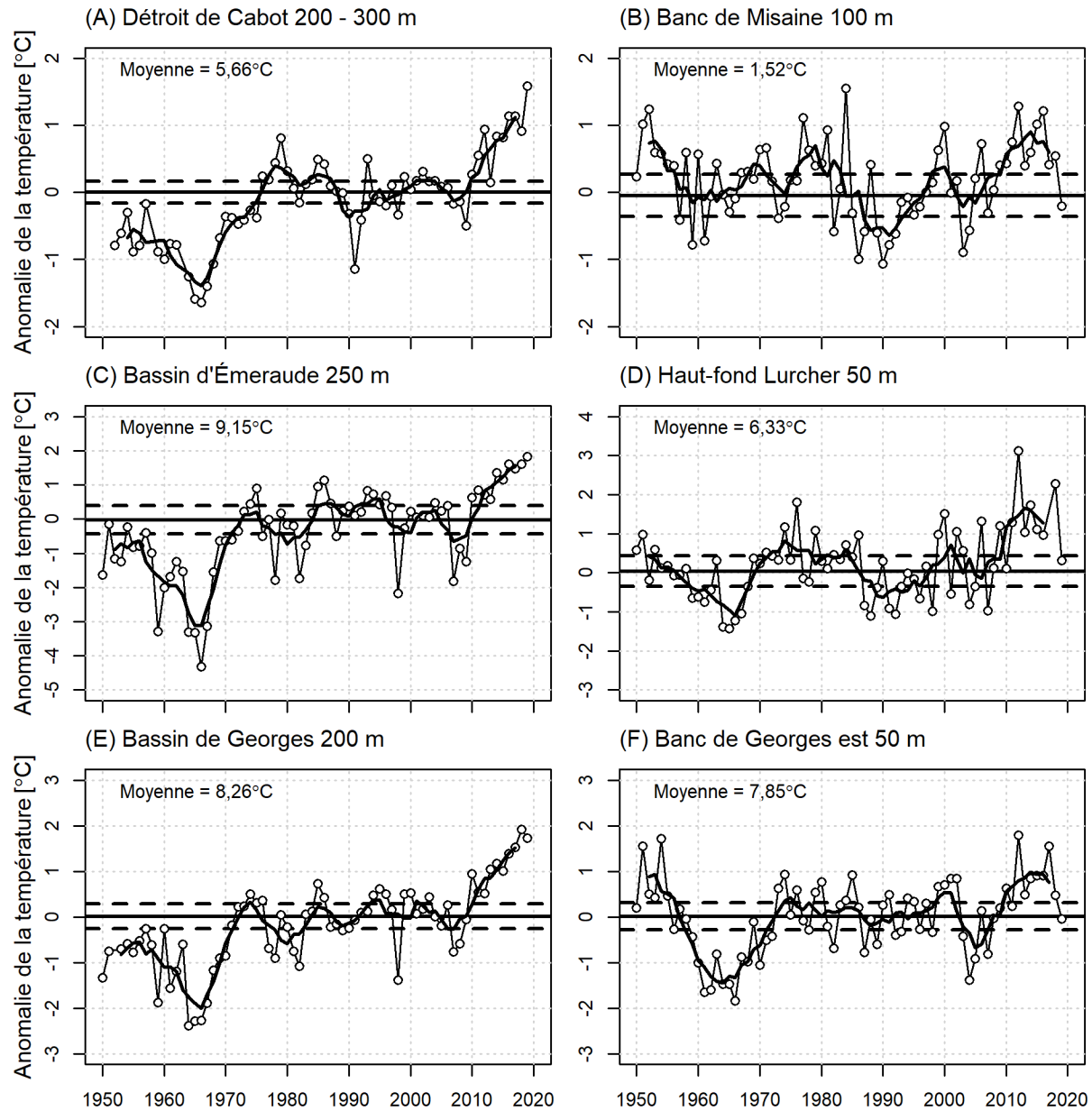


Figure 24. Série chronologique des anomalies de la température annuelle moyenne (ligne avec cercles) et anomalies filtrées à l'aide de la moyenne mobile sur 5 ans (ligne noire épaisse) sur le plateau néo-écossais et dans le golfe du Maine à : (A) détroit de Cabot, à 200-300 m, (B) banc de Misaine, à 100 m, (C) bassin d'Émeraude, à 250 m, (D) haut-fond Lurcher, à 50 m, (E) bassin de Georges, à 200 m et (F) banc de Georges est, à 50 m (voir la figure 23 pour les emplacements des régions). Les lignes horizontales pointillées représentent la moyenne plus et moins 0,5 écart-type.

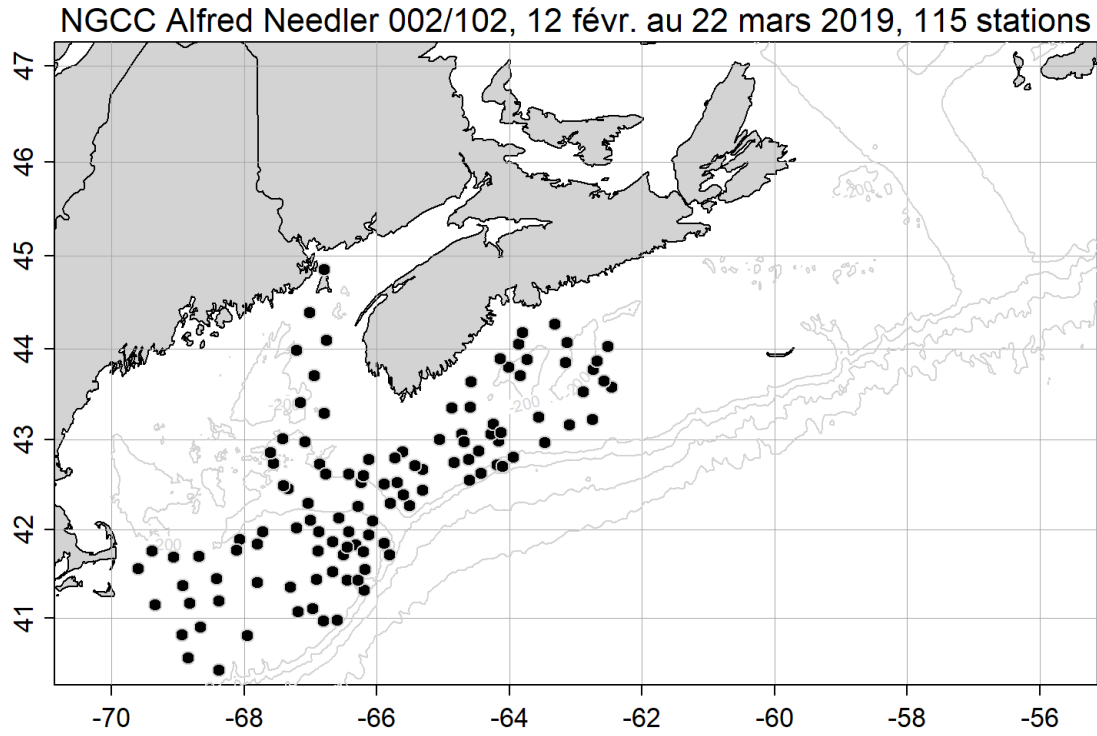


Figure 25. Emplacements de l'échantillonnage de la CTD pendant le relevé hivernal de 2019.

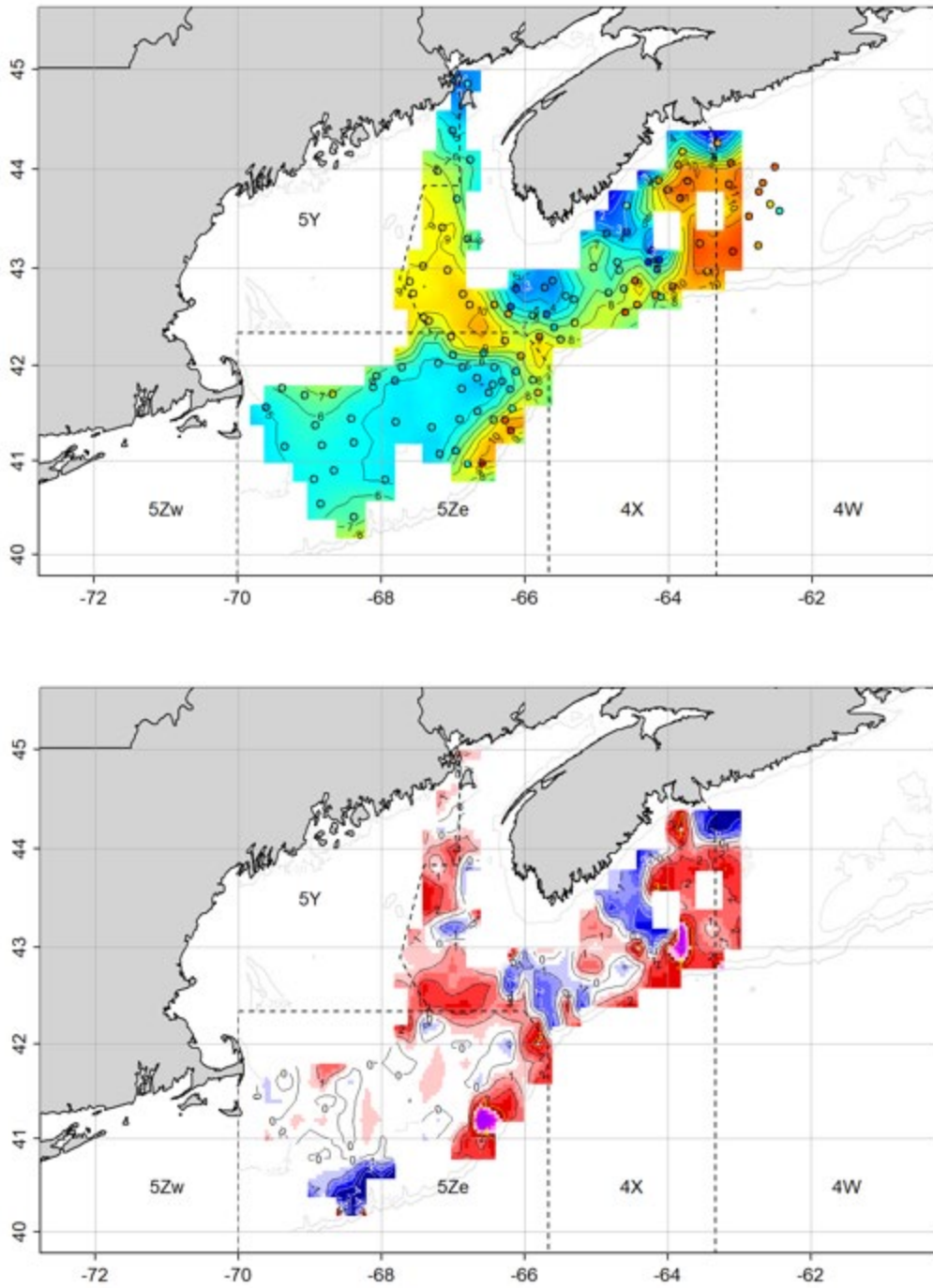


Figure 26. Cartes des températures au fond en hiver (panneau du haut) et anomalies (panneau du bas; par rapport à la période 1981-2010) pour 2019. Les divisions 4X, 4W, 5Ze, 5Y, et 5Zw de l'OPANO sont illustrées.

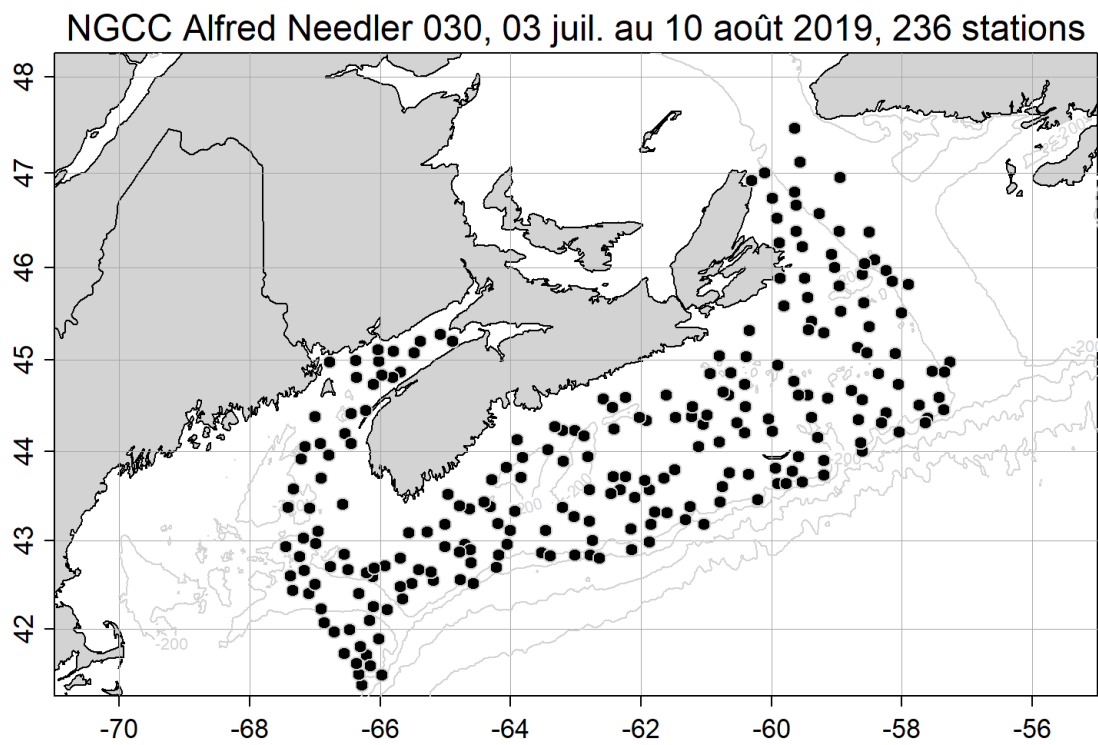


Figure 27. Emplacements de l'échantillonnage de la CTD pendant le relevé estival de 2019.

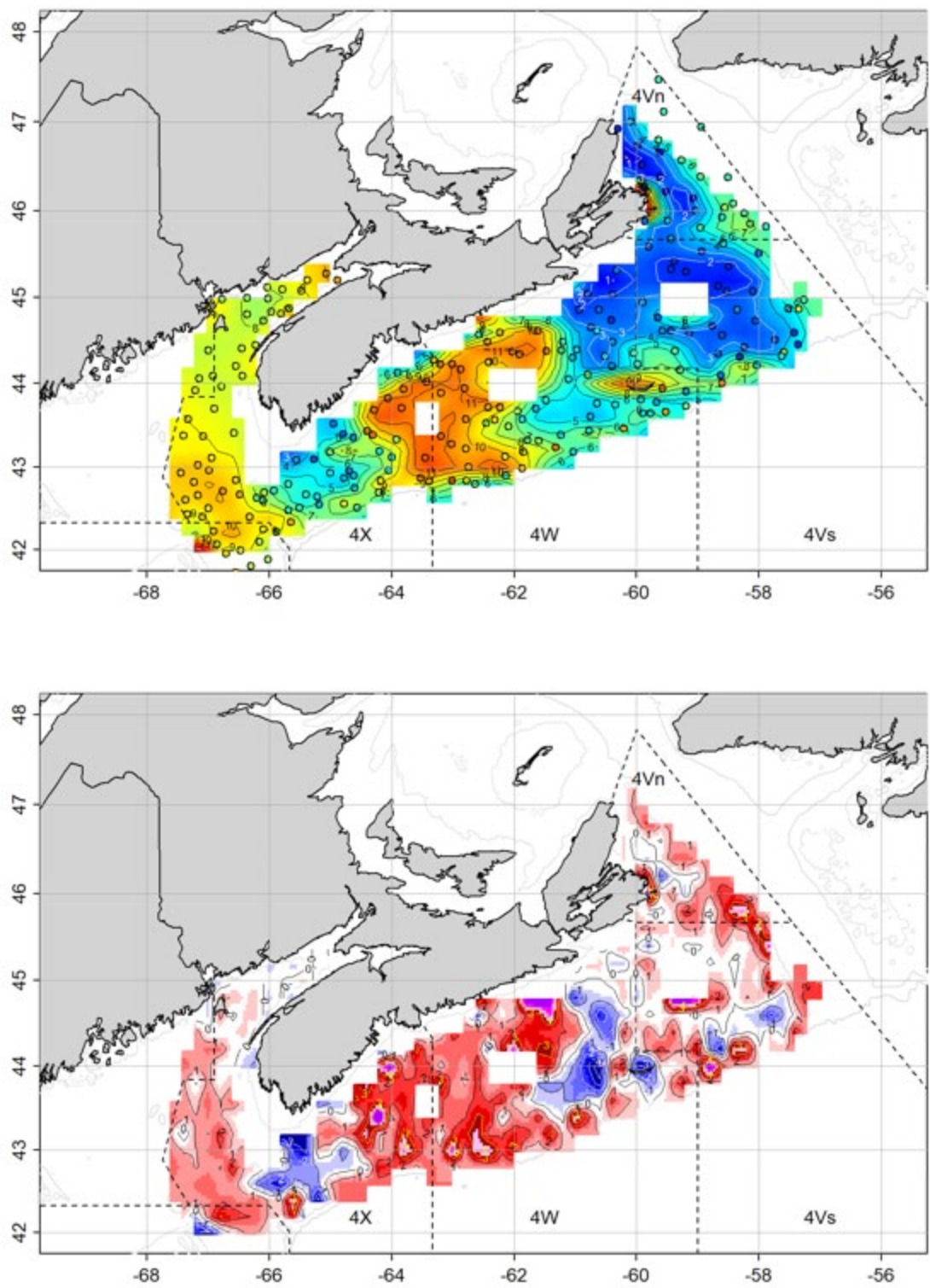


Figure 28. Cartes des températures au fond en été (panneau du haut) et anomalies (panneau du bas; par rapport à la période 1981-2010) pour 2019. Les divisions 4Vn, 4Vs, 4X et 4W de l'OPANO sont illustrées.

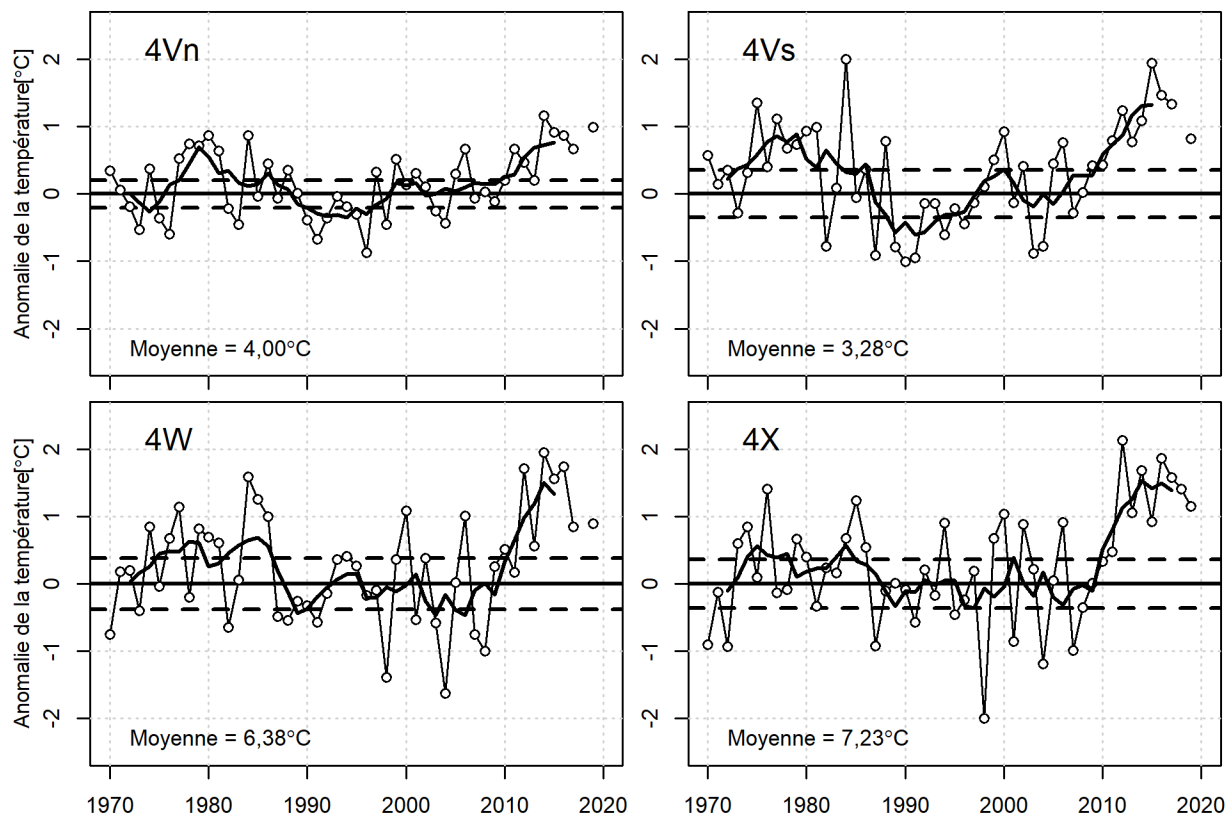


Figure 29. Série chronologique des anomalies de la température au fond au mois de juillet (lignes minces avec cercles) et séries filtrées à l'aide de la moyenne mobile sur 5 ans (ligne épaisse) pour les divisions de l'OPANO : 4Vn, 4Vs, 4W et 4X. En 2018, seule la division 4X a été échantillonnée suffisamment pour qu'on puisse calculer les températures au fond. La ligne horizontale pleine représente le volume moyen pour la période 1981- 2010, et les lignes pointillées représentent $\pm 0,5$ écart-type.

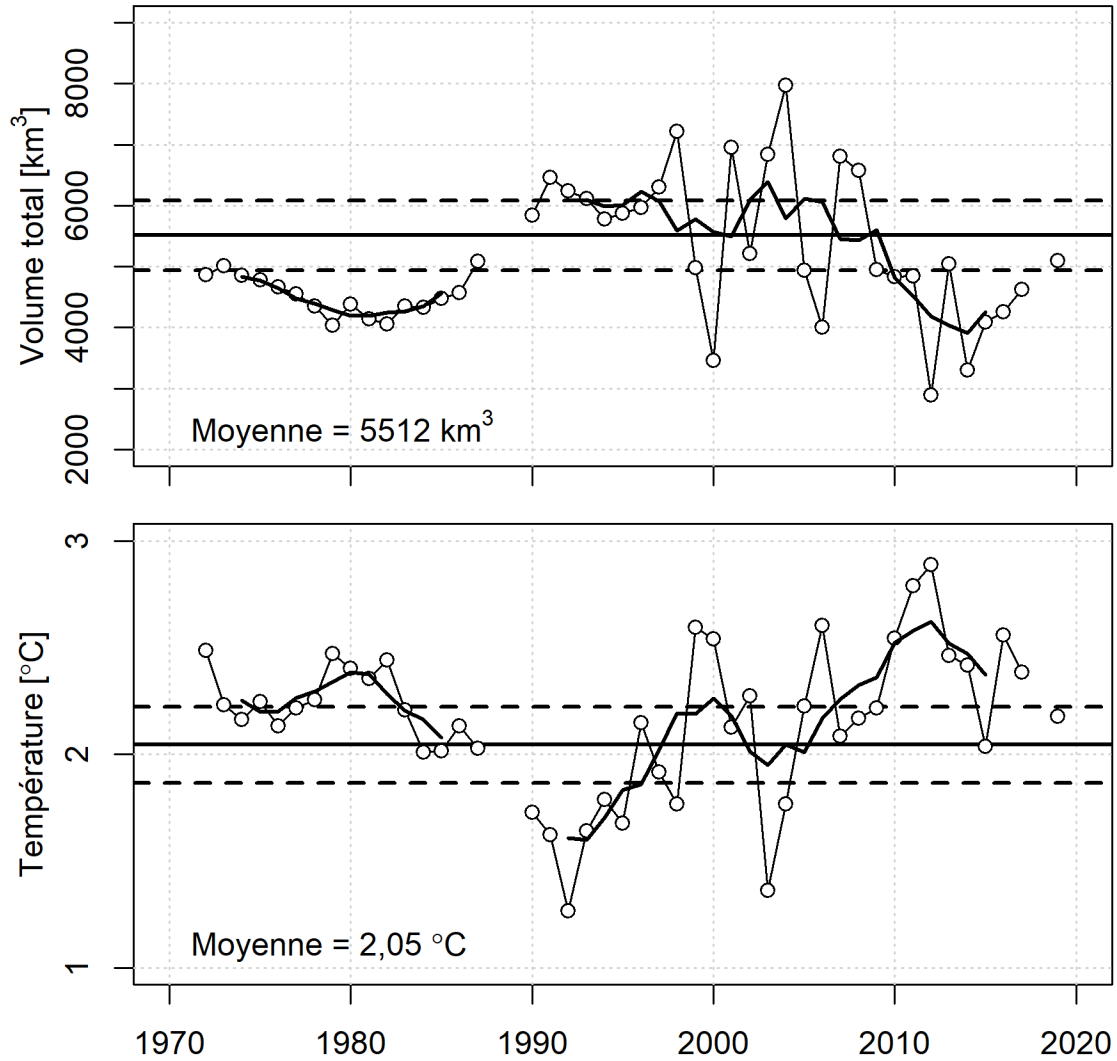


Figure 30. Série chronologique du volume de la couche intermédiaire froide (CIF; définie comme des eaux dont la température est $<4^{\circ}\text{C}$) sur le plateau néo-écossais d'après le relevé d'été au chalut du MPO (panneau supérieur). Température minimale moyenne de la CIF, pondérée en fonction de la surface (panneau inférieur). Les lignes horizontales pleines représentent les moyennes de 1981 à 2010 et les lignes en pointillés représentent $\pm 0,5$ ÉT.

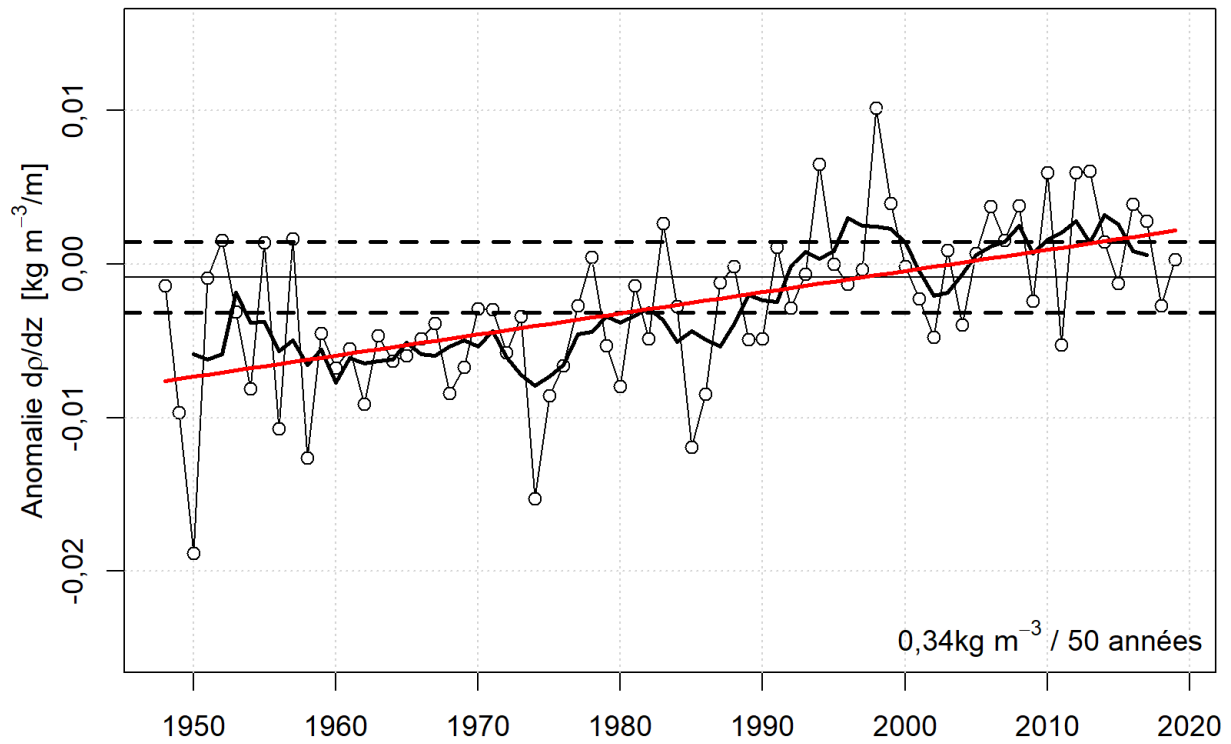


Figure 31. Anomalies annuelles moyennes de l'indice de stratification (gradient de densité entre 0 et 50 m) (ligne noire avec cercles) et moyennes mobiles sur 5 ans (ligne pleine noire épaisse) moyennées sur le plateau néo-écossais. La tendance linéaire (ligne rouge) indique un changement dans la différence de densité entre 0 et 50 m de $0,34 \text{ kg m}^{-3}$ sur 50 ans.

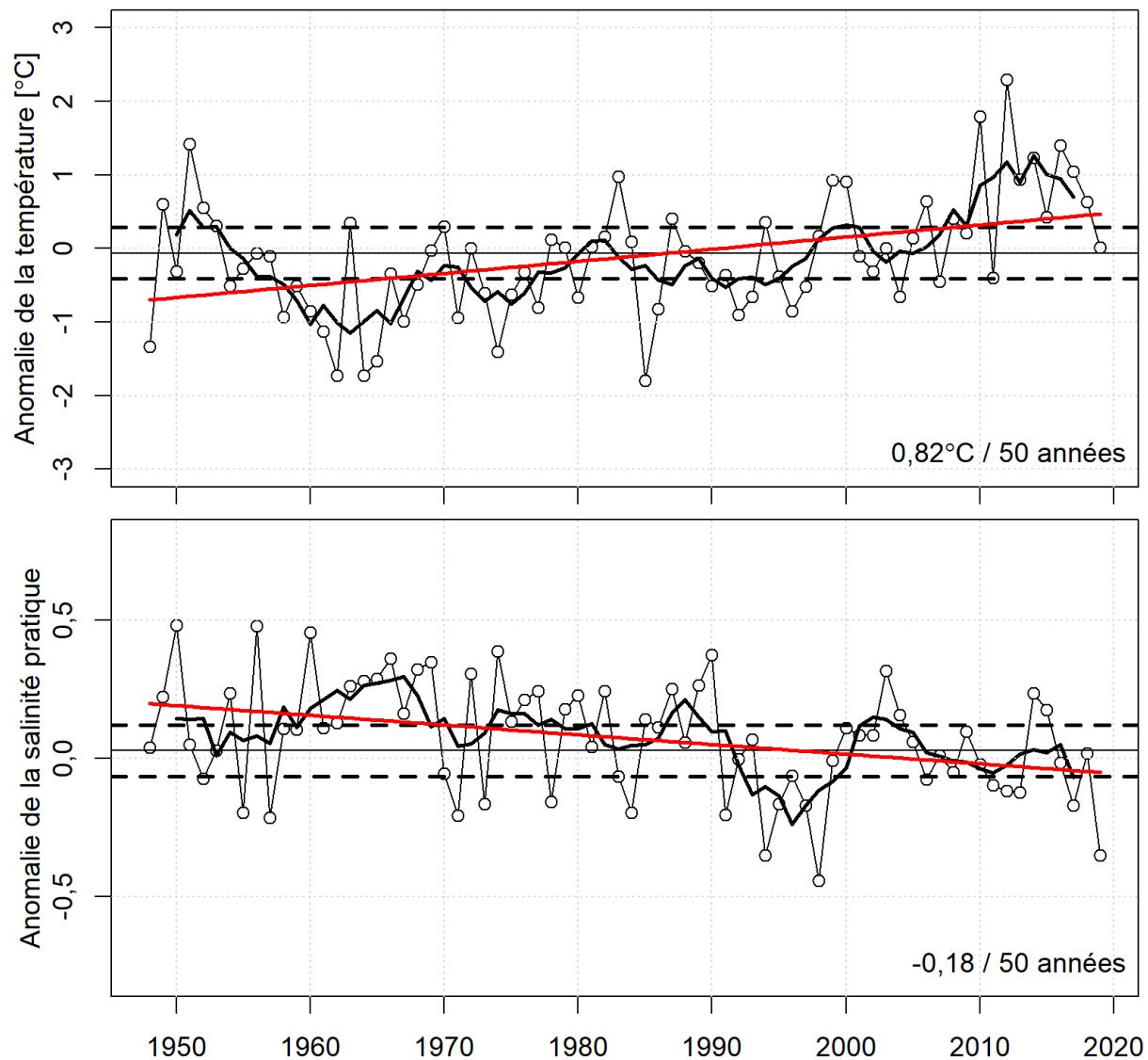


Figure 32. Anomalies annuelles moyennes de la température de la surface (panneau du haut) et de la salinité à la surface (panneau du bas) (ligne noire avec cercles) et moyennes mobiles sur 5 ans (ligne pleine noire épaisse) moyennées sur le plateau néo-écossais. Les estimations des erreurs types pour chaque valeur des anomalies annuelles sont également illustrées. La tendance linéaire (ligne rouge) indique un réchauffement de 0,82 °C et un adoucissement de 0,18 sur une période de 50 ans.

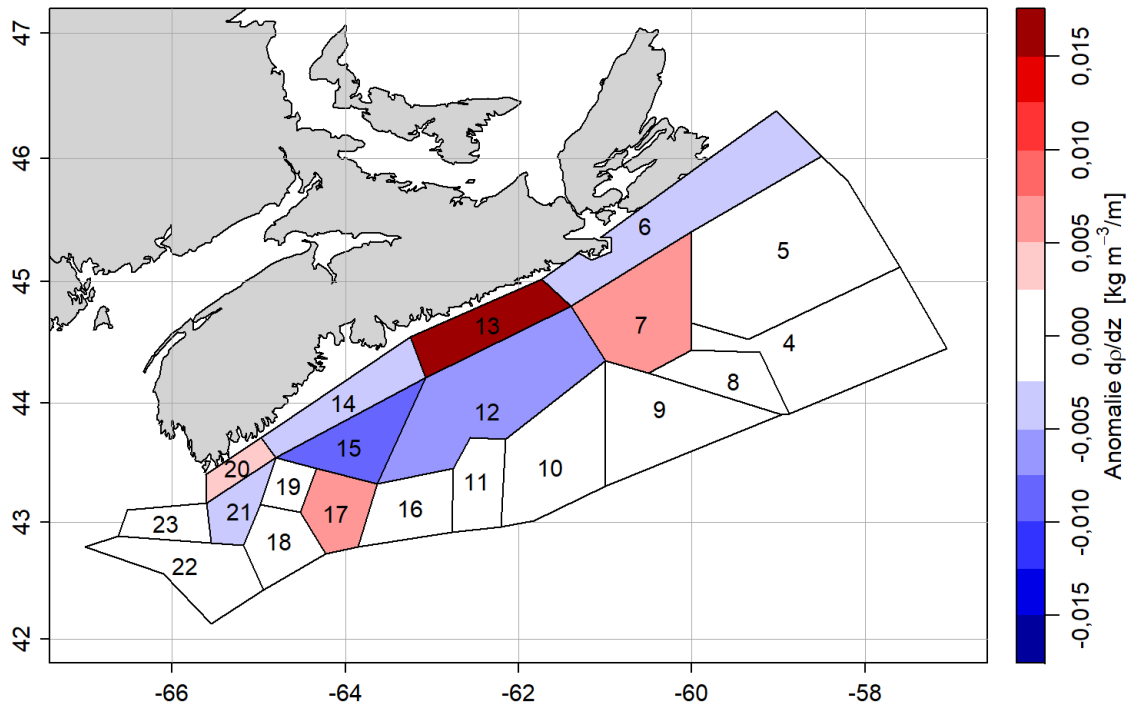


Figure 33. Anomalies annuelles moyennes de l'indice de stratification (gradient de densité entre 0 et 50 m) en 2019 sur le plateau néo-écossais. Les différentes zones ont été définies par Petrie et al. (1996).

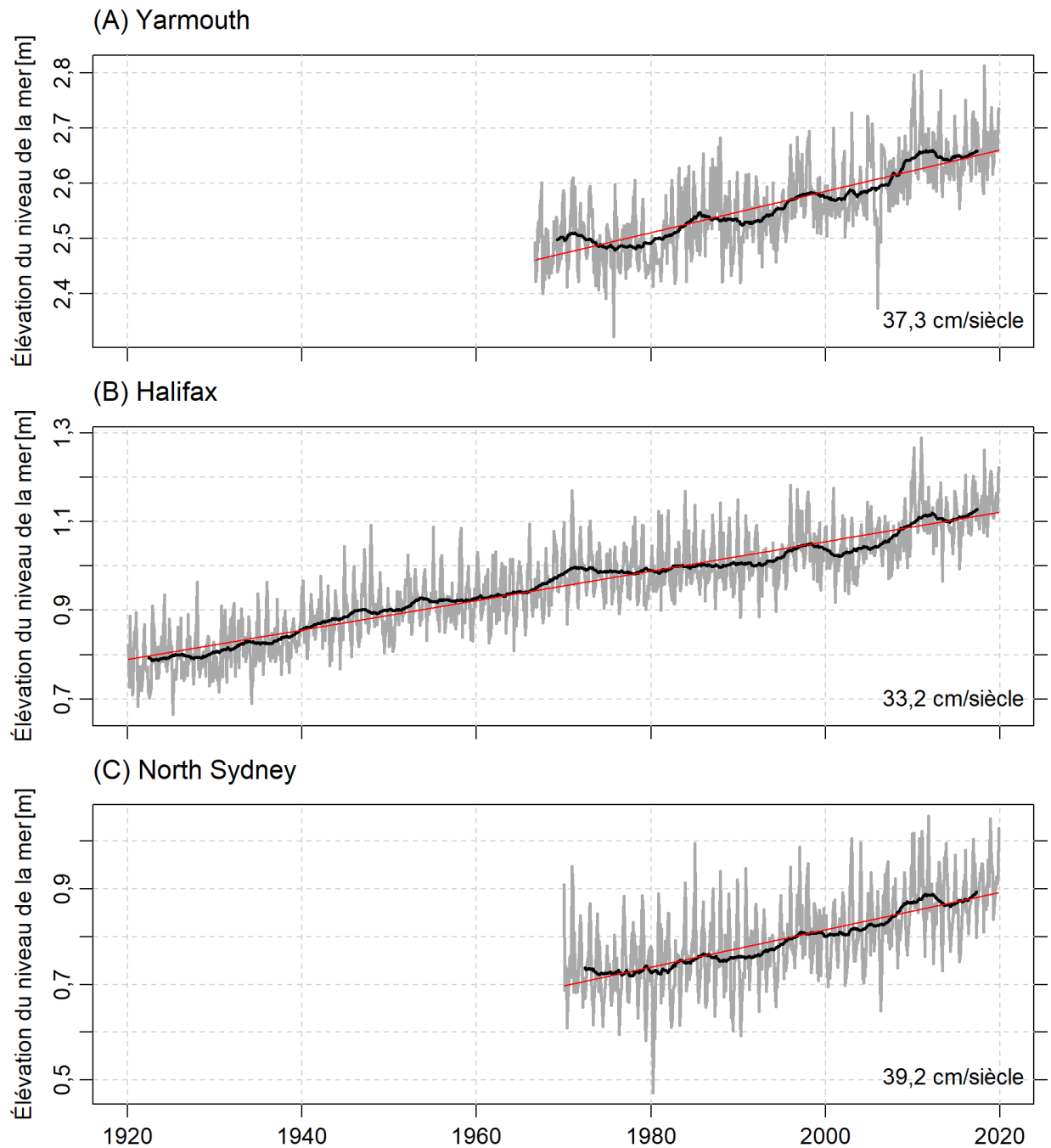


Figure 34. Série chronologique des moyennes mensuelles (ligne grise) et moyennes mobiles sur 5 ans (ligne noire) de l'élévation relative du niveau de la mer à Yarmouth (panneau du haut), Halifax (panneau du milieu) et North Sydney (panneau du bas), avec la tendance linéaire (ligne rouge) enregistrée au cours de la période d'observation.

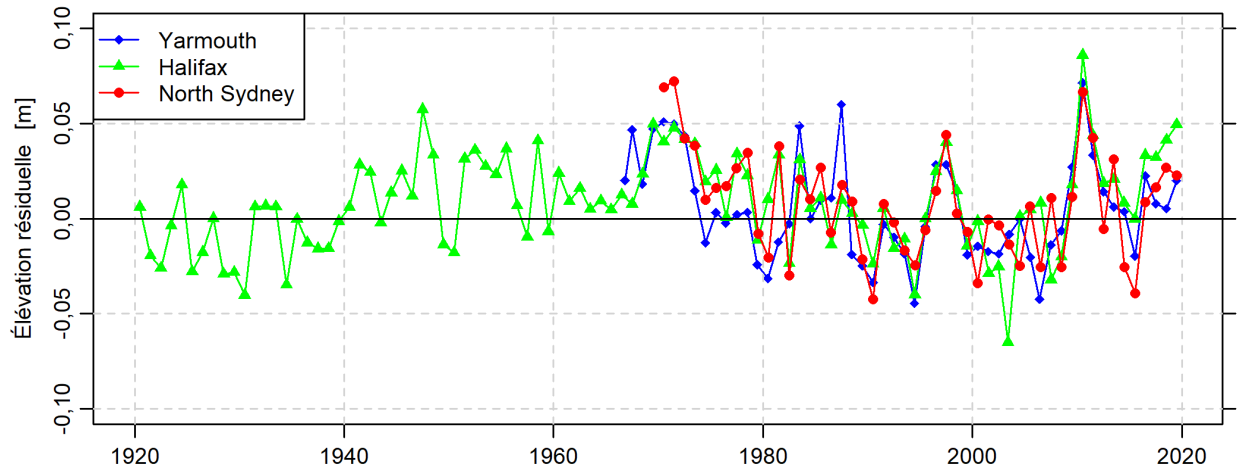


Figure 35. Niveau relatif résiduel de la mer (valeurs annuelles observées – tendance linéaire basée sur les valeurs annuelles) pour Yarmouth (ligne bleue avec losanges), Halifax (ligne verte avec triangles) et North Sydney (ligne rouge avec cercles).

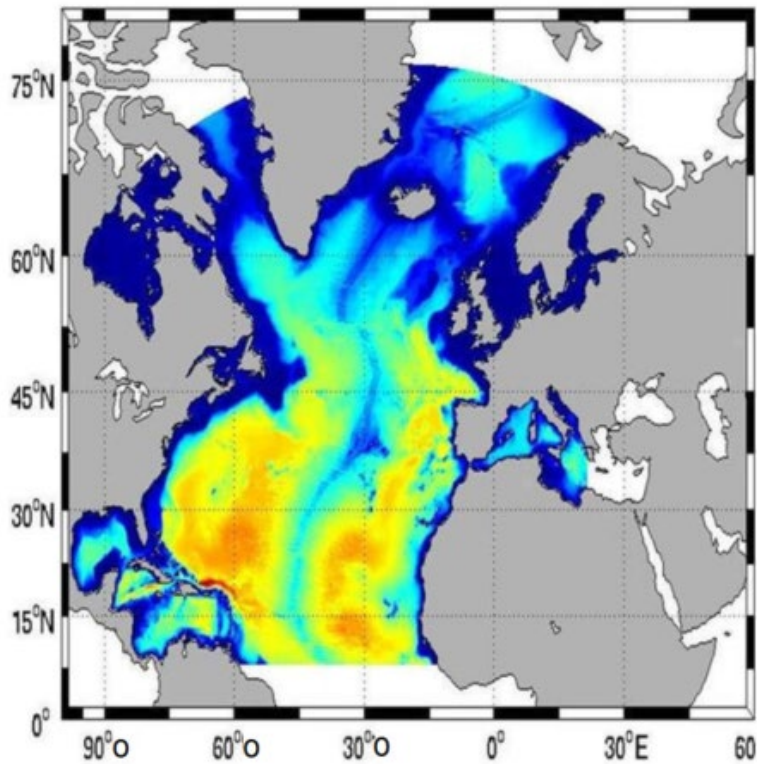


Figure 36. Bathymétrie de domaine du modèle de l'Atlantique Nord de l'IOB (BNAM) avec couleurs allant du rouge (en profondeur) au bleu (eaux peu profondes).

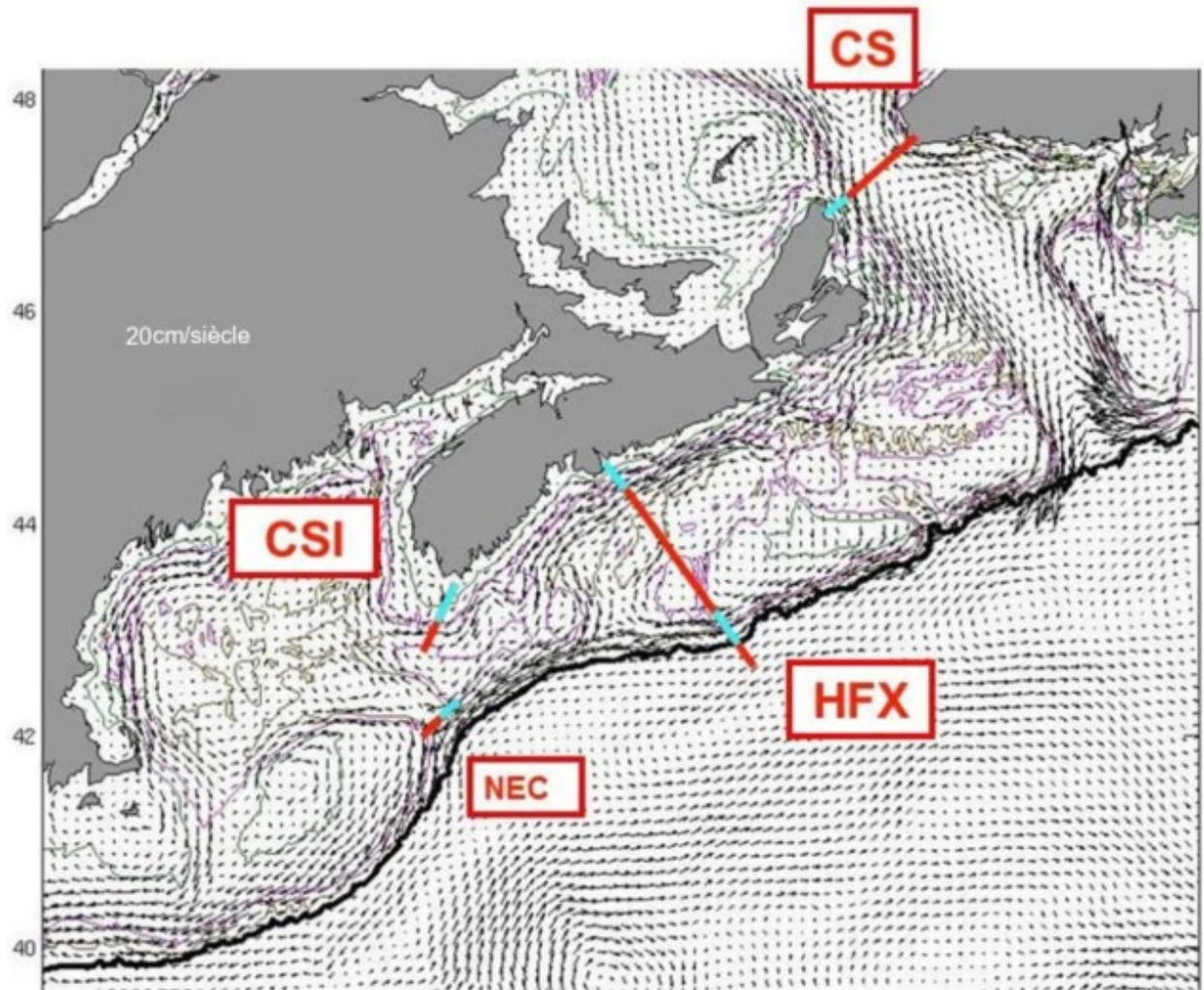


Figure 37. Circulation climatologique annuelle moyennée sur la profondeur illustrant les principaux régimes d'écoulement entre le sud du golfe du Saint-Laurent et le golfe du Maine et les sous-sections pour lesquelles des calculs de transport ont été effectués (cyan). CS = détroit de Cabot; HFX = Halifax; CSI = île du cap de Sable/banc de Browns; NEC = chenal nord-est.

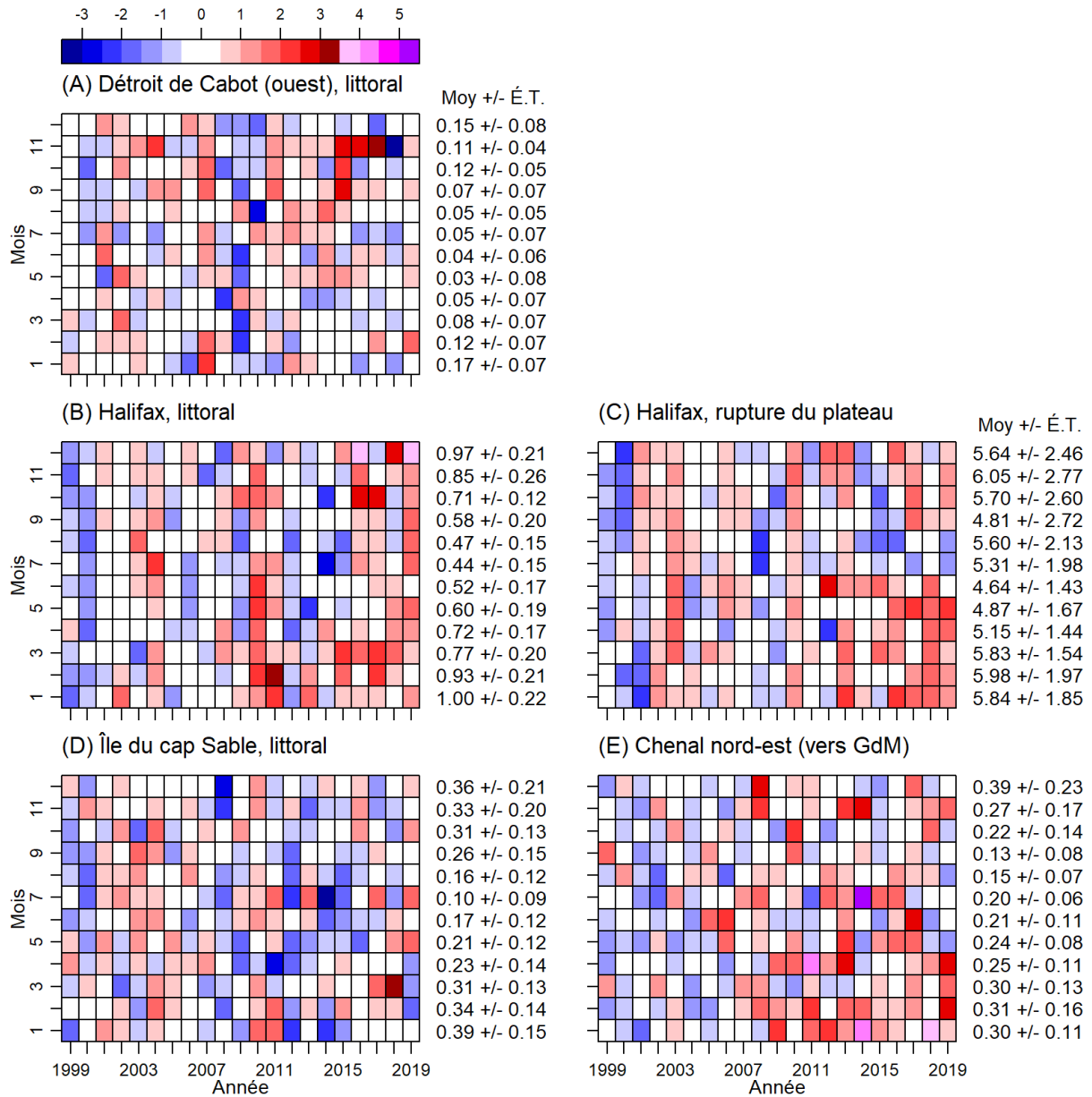


Figure 38. Anomalies normalisées du transport mensuel pour la période 1999-2019 pour quatre sections des Maritimes : (A) le littoral ouest du détroit de Cabot (CS); (B) le littoral d'Halifax (HFX); (C) la rupture du plateau; (D) le littoral de l'île du cap de Sable (CSI) et (E) le chenal nord-est (NEC). Les chiffres présentés sur la droite sont les moyennes mensuelles et les écarts-types.

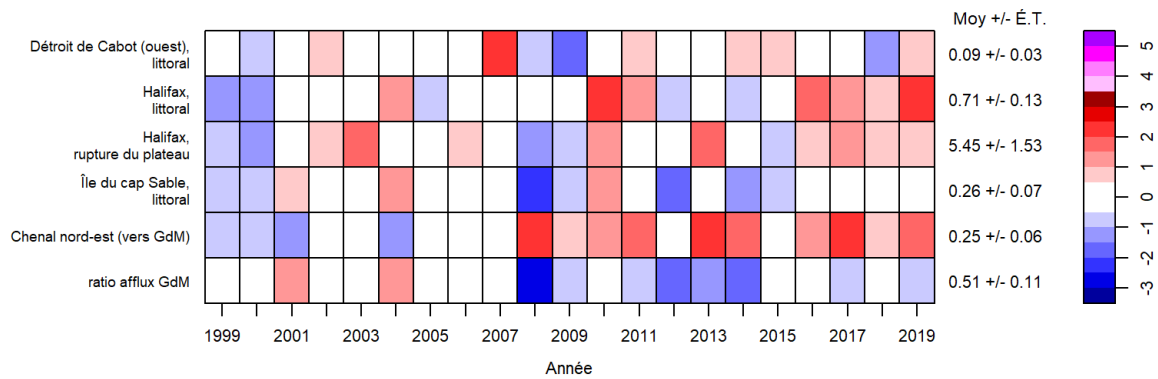


Figure 39. Anomalies annuelles du transport mises à l'échelle à l'aide de l'écart-type (É-T) pour les variables présentées aux figures 38 et 41 pour la période s'échelonnant 1999-2019. Les chiffres présentés sur la droite sont les moyennes annuelles et les É-T.

Transport (SV)														
Mois/Année	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Total général	
12	-0.46	-0.59	-0.58	-0.33	-0.50	-0.83	-0.42	-0.53	-0.82	-0.40	-0.89		-0.58	
11	-0.22	-0.34	-0.52	-0.49	-0.43	-0.30	-0.50	-0.38	-0.57	-0.21	-0.85		-0.44	
10	-0.22	-0.51	-0.36	-0.30	-0.32	-0.22	-0.21	-0.17	-0.40	-0.33	-0.36		-0.31	
9	-0.43	-0.21	-0.30	-0.12	-0.14	-0.03	-0.17	-0.13	-0.20	-0.28	-0.28		-0.21	
8	-0.40	-0.26	-0.32	-0.23	-0.13	-0.08	-0.12	-0.18	-0.27	-0.05	-0.22		-0.21	
7	-0.04	-0.29	-0.39	-0.37	-0.11	-0.15	-0.07	-0.22	-0.31	-0.23	-0.34	-0.35	-0.24	
6		-0.31	-0.54	-0.40	-0.09	-0.16	-0.28	-0.35	0.05	-0.28	-0.23	-0.16	-0.25	
5		-0.33	-0.52	-0.43	-0.22	-0.12	-0.26	0.04	-0.23	-0.35	-0.32	-0.34	-0.28	
4		-0.34	-0.33	-0.48	-0.23	-0.37	-0.39	-0.32	-0.31	-0.33	-0.35	-0.39	-0.35	
3		-0.48	-0.47	-0.55	-0.64		-0.53	-0.63	-0.40	-0.79	-0.31	-0.47	-0.53	
2		-0.66	-0.68	-0.85	-0.59	-0.64	-0.44	-0.62	-0.46	-0.88	-0.66	-0.70	-0.65	
1		-0.80	-0.65	-0.67	-0.38	-0.60	-0.45	-0.74	-0.60	-0.71	-0.78	-0.64	-0.64	
Total général	-0.30	-0.43	-0.47	-0.43	-0.32	-0.32	-0.32	-0.35	-0.38	-0.40	-0.46	-0.44	-0.39	

Figure 40. Transport mensuel ($1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) durant la période 2008-2019 pour le courant de la Nouvelle-Écosse, au sud d'Halifax, selon les mesures prises grâce à des ADCP. Les transports négatifs sont en direction du sud-ouest. Les transports mensuels sont codés à l'aide de couleurs pour qu'on puisse indiquer s'ils se situent au-dessus, c'est-à-dire moins sud-ouest (bleu) ou en dessous, c'est-à-dire plus sud-ouest (rouge), de la moyenne mensuelle des observations pendant la période d'observation (les chiffres sont présentés sur la droite) de plus d'un demi écart-type.

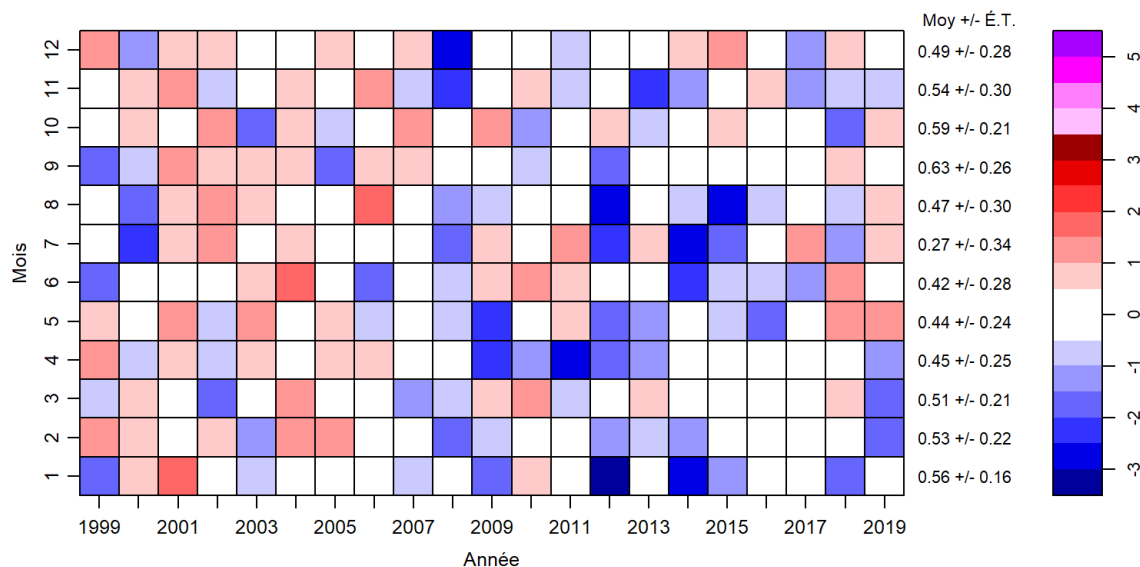


Figure 41. Anomalies normalisées du ratio des afflux dans le golfe du Maine (GdM) pour les années 1999-2019. Les chiffres présentés sur la droite sont les moyennes mensuelles et les écarts-types.

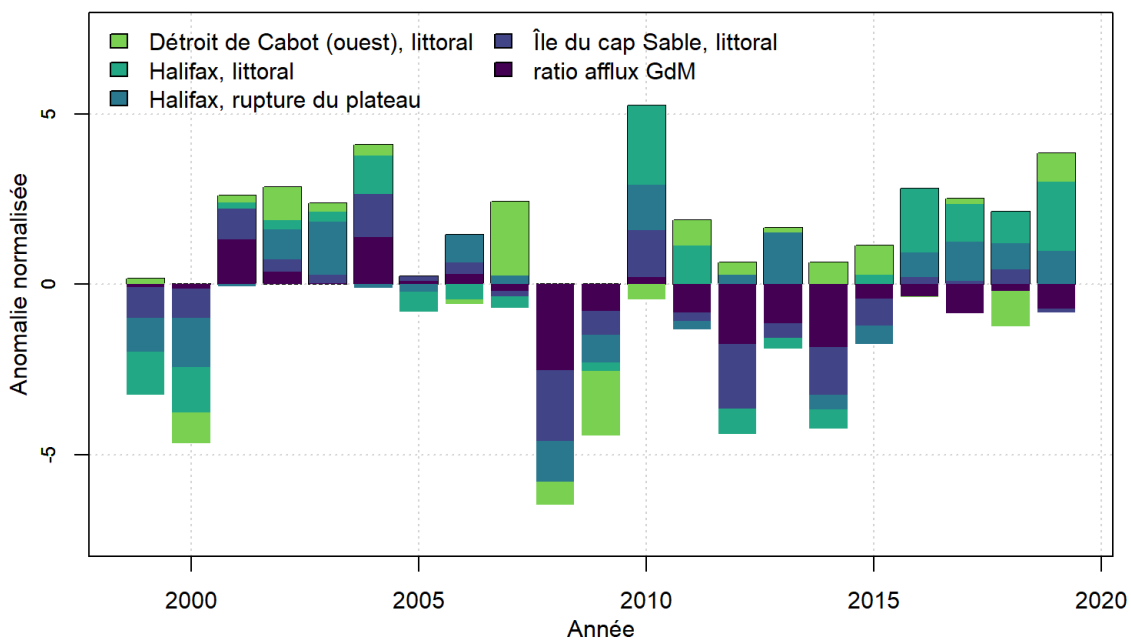


Figure 42. Somme des anomalies normalisées pour la période 1999-2019, pour les variables présentées à la figure 39.

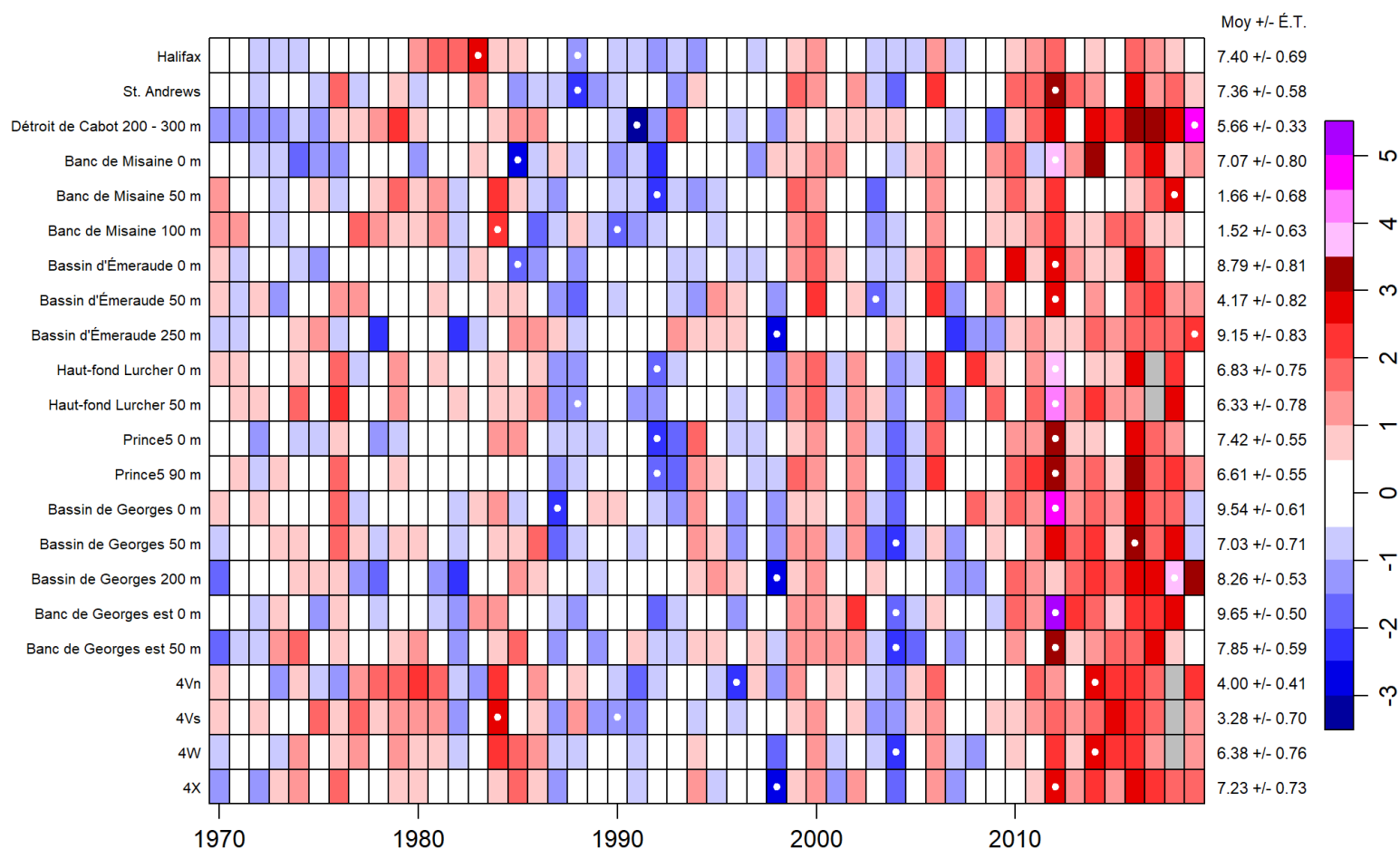


Figure 43. Anomalies annuelles normalisées de la température au fond et à des profondeurs précisées dans la région du plateau néo-écossais et du golfe du Maine. Ces anomalies sont basées sur les moyennes 1981-2010 divisées par l'écart-type. Les couleurs bleues indiquent des anomalies inférieures à la normale, et les couleurs rouge et violet (pour 2012, l'échelle des couleurs a dû être élargie au-dessus de + 3,5 écart-type et on a utilisé des zones ombrées violettes) indiquent des anomalies supérieures à la normale. Les points blancs représentent des années où des records minimum et maximum ont été observés pour chaque paramètre. Le gris représente un manque de données.

ANNEXE

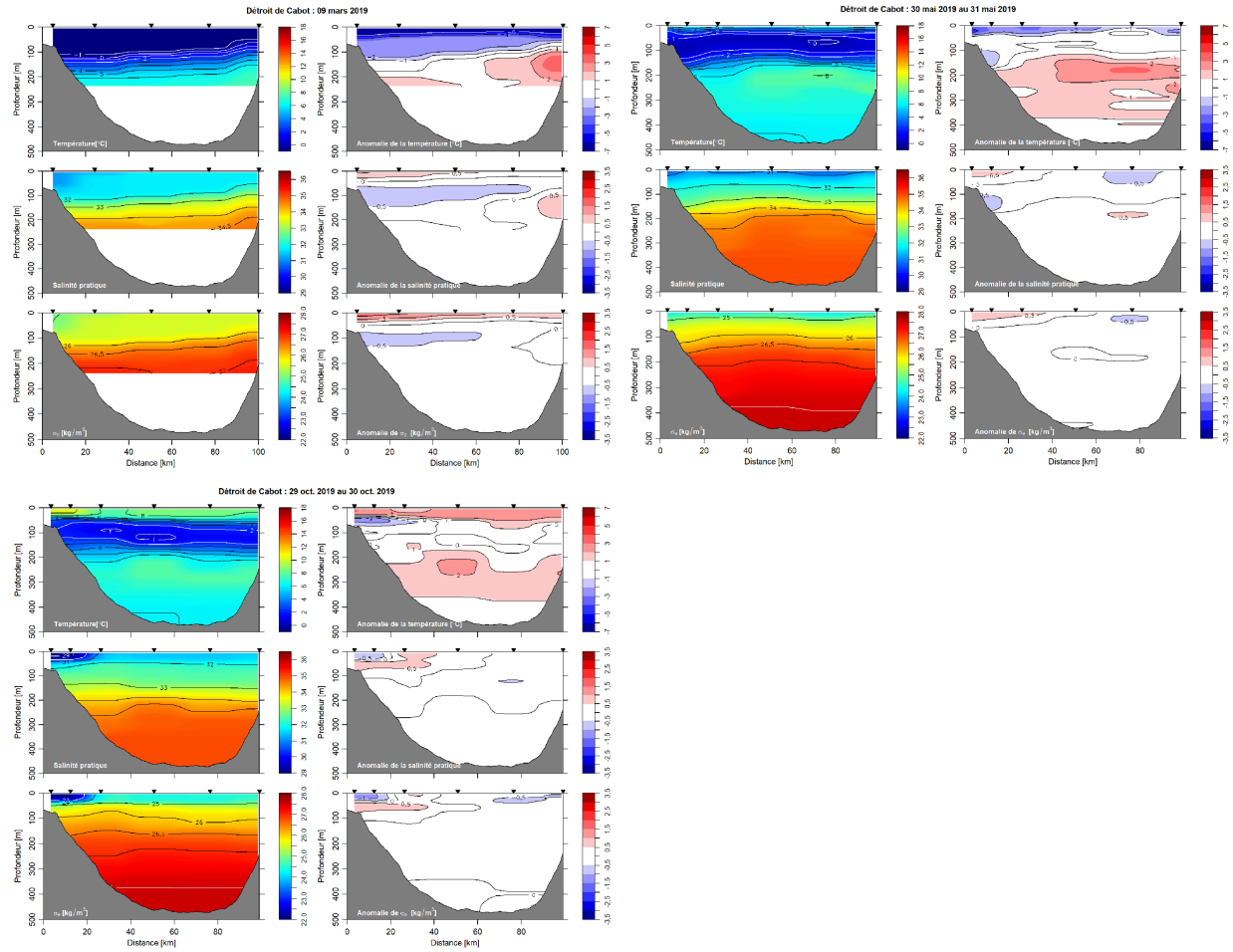


Figure A1. Échantillonnage réalisé en 2019 sur la section du détroit de Cabot en hiver (trois panneaux du haut à gauche), en été (trois panneaux à droite à gauche) et à l'automne (trois panneaux du bas à droite) dans le cadre de l'exécution du PMZA pour la Région de Québec. Température (panneau du haut dans chaque groupe), salinité (panneau du milieu dans chaque groupe) et densité (panneau du bas dans chaque groupe) et leurs anomalies par rapport aux moyennes mensuelles enregistrées entre 1981 et 2010 (panneaux de droite). Les triangles indiquent les emplacements d'échantillonnage.

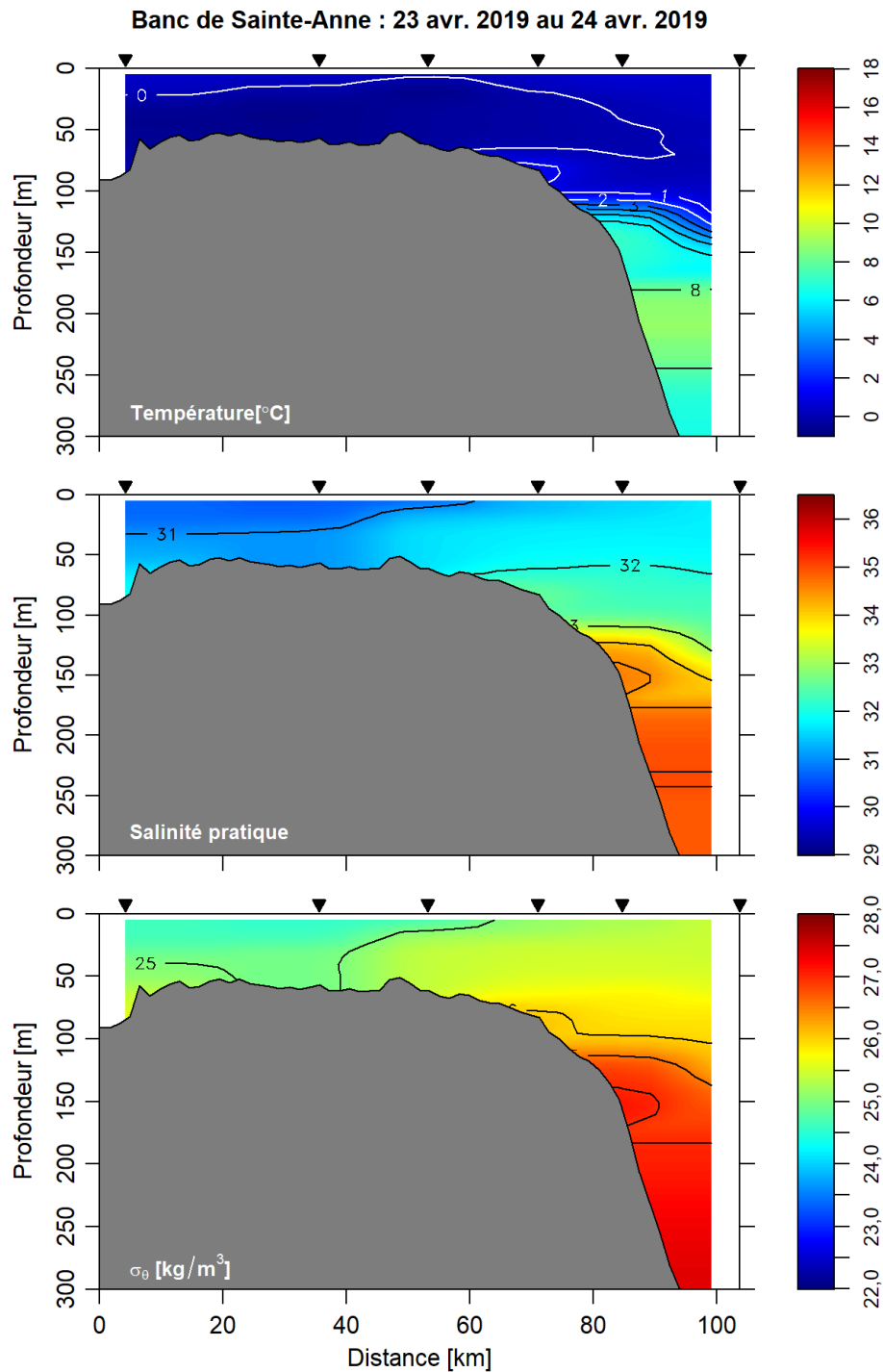


Figure A2. Échantillonnage réalisé en 2019 dans la section du banc de Sainte-Anne au printemps dans le cadre de l'exécution du PMZA pour les Maritimes. Température (panneau du haut), salinité (panneau du milieu) et densité (panneau du bas). Les triangles indiquent les emplacements d'échantillonnage.

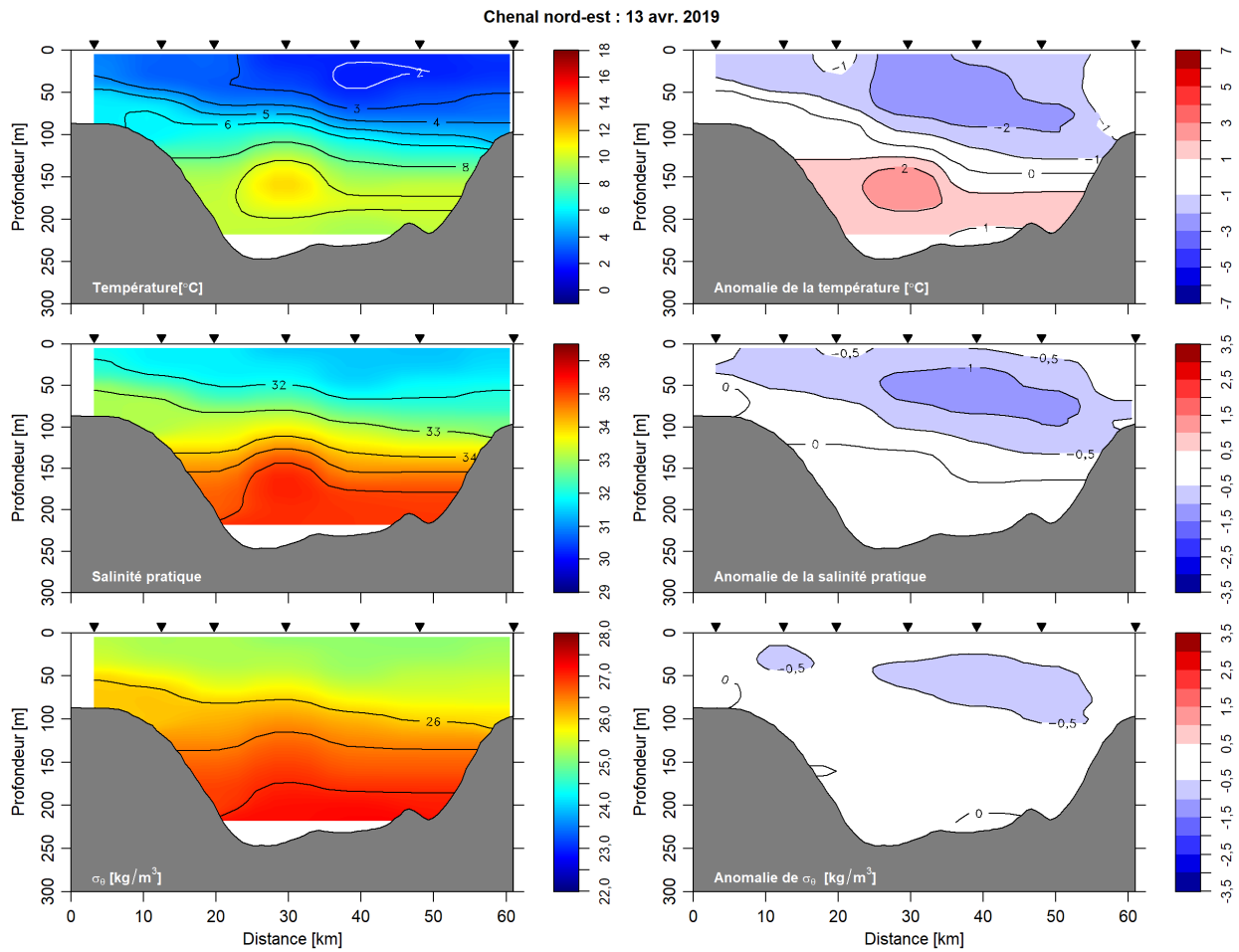


Figure A3. Échantillonnage réalisé en 2019 sur la section du chenal nord-est au printemps dans le cadre de l'exécution du PMZA pour les Maritimes. Température (panneau du haut), salinité (panneau du milieu) et densité (panneau du bas) et leurs anomalies par rapport aux moyennes mensuelles enregistrées entre 1981 et 2010 (panneaux de droite). Les triangles indiquent les emplacements d'échantillonnage.

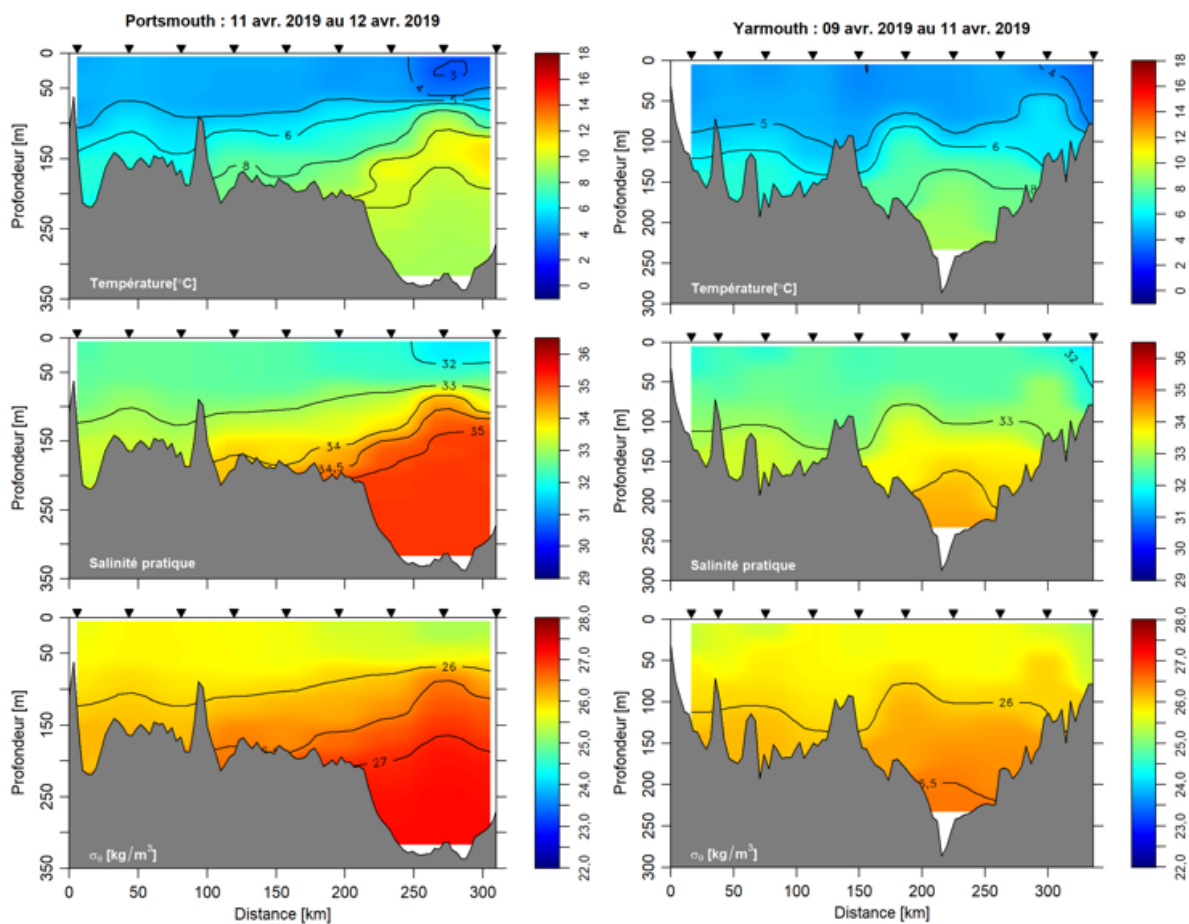


Figure A4. Échantillonnage réalisé en 2019 pour la section de Portsmouth (panneaux de gauche) et de Yarmouth (panneaux de droite) au printemps dans le cadre de l'exécution du PMZA pour les Maritimes. Température (panneau du haut dans chaque groupe), salinité (panneau du milieu dans chaque groupe) et densité (panneau du bas dans chaque groupe). Les triangles indiquent les emplacements d'échantillonnage.