



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 2020/030

Région du Québec

Conditions océanographiques physiques dans le golfe du Saint-Laurent en 2019

P.S. Galbraith¹, J. Chassé², J.-L. Shaw¹, J. Dumas¹, C. Caverhill³, D. Lefaiivre¹, C. Lafleur¹

(1) Pêches et Océans Canada, Région du Québec,
Institut Maurice-Lamontagne,
850, route de la mer, C.P. 1000
Mont-Joli, Québec, G5H 3Z4

(2) Pêches et Océans Canada, Région du Golfe,
Centre des Pêches du Golfe,
C.P. 5030, Moncton, Nouveau-Brunswick, E1C 9B6

(3) Pêches et Océans Canada, Région des Maritimes,
Institut océanographique de Bedford,
P.O. Box 1006, Dartmouth, Nova Scotia, 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 :

Galbraith, P.S., Chassé, J., Shaw, J.-L., Dumas, J., Caverhill, C., Lefavre, D. et Lafleur, C.
2020. Conditions océanographiques physiques dans le golfe du Saint-Laurent en 2019.
Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech. 2020/030. iv + 88 p.

Also available in English :

*Galbraith, P.S., Chassé, J., Shaw, J.-L., Dumas, J., Caverhill, C., Lefavre, D. and Lafleur, C.
2020. Physical Oceanographic Conditions in the Gulf of St. Lawrence during 2019. DFO
Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2020/030. iv + 84 p.*

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	iv
INTRODUCTION	1
TEMPÉRATURE DE L'AIR	2
PRÉCIPITATIONS ET RUISSELLEMENT	3
COUCHE DE SURFACE	4
TEMPÉRATURE À LA SURFACE DE LA MER	5
GLACE DE MER.....	7
MASSÉS D'EAU HIVERNALES.....	9
COUCHE INTERMÉDIAIRE FROIDE	10
PRÉVISION TIRÉE DU RELEVÉ DE MARS 2019	10
CIF EN AOÛT-SEPTEMBRE	10
CONDITIONS DE LA CIF EN NOVEMBRE DANS L'ESTUAIRE DU SAINT-LAURENT	12
INDICE SAISONNIER MOYEN DE LA CIF	12
SOMMAIRE DES CONDITINOS DE LA CIF	12
RELEVÉ DE JUIN SUR LE PLATEAU MADELINIEN.....	12
TEMPÉRATURES DE L'EAU AU FOND SUR LE PLATEAU MADELINIEN.....	13
EAUX PROFONDES (> 150 M)	14
TEMPÉRATURES DE L'EAU SUR LE FOND EN AOÛT ET SEPTEMBRE	14
MAXIMUM PROFOND DE TEMPÉRATURE	15
MOYENNES MENSUELLES DE LA TEMPÉRATURE ET DE LA SALINITÉ.....	15
STRUCTURE DE LA TEMPÉRATURE MOYENNE SAISONNIÈRE ET RÉGIONALE	16
COURANTS ET TRANSPORTS	16
STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE À HAUTE FRÉQUENCE DU PMZA.....	17
RÉSUMÉ	18
CONCLUSIONS PRINCIPALES	19
APERÇU POUR 2020.....	20
REMERCIEMENTS	21
RÉFÉRENCES	22
FIGURES.....	25

RÉSUMÉ

Le présent document donne un aperçu des conditions d'océanographie physique qui ont prévalu dans le golfe du Saint-Laurent en 2019 et est un produit du Programme de monitoring de la zone atlantique (PMZA). Les données du PMZA ainsi que de programmes de monitoring régionaux sont analysées et présentées en relation avec des moyennes à long terme. Les débits du fleuve Saint-Laurent et de l'indice RIVSUM II étaient à leurs niveaux les plus élevés depuis 1976. Le volume de glace saisonnier maximal était près de la normale, mais le volume de la couche mélangée hivernale était à un niveau record aidé par la seconde plus importante entrée d'eau froide par le détroit de Belle Isle depuis 1997. La couche intermédiaire froide (CIF) du mois d'août et l'indice saisonnier de la température minimum étaient près de la normale. Les températures de l'eau à la surface ont atteint un record de froid pour la période en septembre, mais cela était causé par le fort mélange vertical induit par la tempête tropicale Dorian plutôt que par une perte de chaleur vers l'atmosphère. La moyenne de mai à novembre a été sous la normale, mais le mois le plus chaud du cycle annuel, en août, était au-dessus de la normale. Les températures des eaux profondes du golfe sont en augmentation depuis 2009 avec le transport depuis le détroit de Cabot. Globalement, les températures à 150 m et à 200 m de profondeur sont moins élevées que les maximums atteints en 2015, mais demeurent au-dessus de la normale à 3,3 °C (+ 0,9 °C; + 1,6 ÉT) et 5,5 °C (+ 1,0 °C; + 2,4 ÉT). De nouveaux records (depuis 1915) ont été atteints à 250 et 300 m de 6,3 °C (+ 1,0 °C; + 3,8 ÉT) et de 6,5°C (+ 1,0 °C; + 6,6 ÉT). La superficie du fond marin recouvert par des températures plus grandes que 6 °C demeure élevée dans le chenal d'Anticosti, le chenal Esquiman, et a atteint des records dans le centre du golfe et le nord-ouest du golfe.

INTRODUCTION

Le présent document est consacré à l'examen des conditions océanographiques physiques et du forçage atmosphérique dans le golfe du Saint-Laurent en 2019 (Fig. 1). Il complète ainsi les examens semblables des conditions environnementales sur le plateau continental de Terre-Neuve et du Labrador, du plateau néo-écossais et du golfe du Maine réalisés par Pêches et Océans Canada (MPO) dans le cadre du Programme de monitoring de la zone Atlantique (PMZA; voir les renseignements de base sur le programme dans Therriault *et al.* 1998 et des exemples d'examens antérieurs effectués dans d'autres régions du PMZA dans Cyr *et al.* 2020 et dans Hebert *et al.* 2018) en support d'un rapport zonal sur l'état de l'océan contribué sous la forme d'un Avis Scientifique (MPO 2020). Le dernier rapport détaillé sur les conditions océanographiques physiques dans le golfe du Saint-Laurent porte sur l'année 2018 (Galbraith *et al.* 2019).

Certaines des variables présentées sont moyennées spatialement pour différentes régions du golfe (Fig. 2) en ce nous appellerons des moyennes régionales. Les données utilisées pour préparer le rapport proviennent du PMZA, d'autres relevés du MPO et d'autres sources. Les variables environnementales sont généralement exprimées en tant qu'anomalies, c.-à-d. d'écart par rapport à leur moyenne à long terme. La moyenne à long terme, ou condition normale, est calculée pour la période de référence standard 1981–2010 autant que possible. De plus, ces séries utilisant des unités différentes ($^{\circ}\text{C}$, m^3 , m^2 , etc.), on normalise chaque série chronologique d'anomalies en la divisant par son écart-type (ÉT), également calculé pour la référence standard si possible. Cela permet d'établir des comparaisons plus directes entre les différentes séries. Les données manquantes sont représentées par des cellules grises dans les tableaux, les valeurs comprises entre $\pm 0,5$ ÉT par des cellules blanches et les conditions correspondant à des chaleurs supérieures de plus de $0,5$ ÉT à la normale (températures plus élevées, volumes de glace réduits, volumes ou zones d'eau froide réduits) par des cellules rouges, le rouge devenant plus intense pour indiquer des conditions de plus en plus chaudes. De même, le bleu représente des conditions plus froides que la normale. Un apport d'eau douce plus important que la normale apparaît en rouge, mais ne correspond pas nécessairement à des conditions plus chaudes que la normale.

Dans le golfe du Saint-Laurent, la colonne d'eau se compose de trois couches distinctes en été : la couche de surface, la couche intermédiaire froide (CIF) et la couche profonde (Fig. 3). C'est généralement entre le début et la mi-août que les températures à la surface atteignent leurs valeurs maximales (Galbraith *et al.* 2012). Elles refroidissent peu à peu ensuite et le mélange causé par le vent pendant l'automne produit progressivement une couche de mélange plus profonde et plus froide, qui finit par englober la CIF. Pendant l'hiver, la couche de surface s'épaissit en partie en raison des pertes de flottabilité (refroidissement et diminution du ruissellement) et du rejet de saumure associé à la formation de glace de mer, mais surtout en raison du mélange induit par le vent avant la formation de glace (Galbraith 2006). La couche hivernale de surface atteint une profondeur moyenne de 75 m, mais peut dépasser 150 m à certains endroits, comme dans la cuvette de Mécatina, où les eaux froides ($-1,8$ à 0 $^{\circ}\text{C}$) en provenance du plateau du Labrador entrant par le détroit de Belle Isle, peuvent s'étendre de la surface jusqu'au fond à des profondeurs au-delà de 200 m (Galbraith 2006). Au printemps, le réchauffement de la surface, les eaux de la fonte de la glace de mer et le ruissellement continental produisent une couche de surface de salinité plus basse et de température plus élevée. Sous cette couche de surface, les eaux froides de l'hiver précédent sont partiellement isolées de l'atmosphère et forment la CIF estivale. Cette couche persistera jusqu'à l'hiver suivant, se réchauffant et devenant plus profonde graduellement pendant l'été (Gilbert et

Pettigrew 1997; Cyr *et al.* 2011) et plus rapidement en automne avec l'intensification du mélange vertical.

Ce rapport examine la température de l'air et le ruissellement, deux forçages importants de la couche de surface qui est discutée ensuite. La glace de mer hivernale et les conditions océanographiques en hiver sont également décrites, puisqu'elles contribuent à la formation de la CIF estivale, qui est présentée ensuite. La CIF estivale détermine les températures sur le fond du Plateau madelinien. Les eaux plus profondes, essentiellement isolées des échanges avec la surface, sont présentées en dernier, de même qu'un résumé des principaux relevés océanographiques, des résultats sur les courants et transports issus de la modélisation, ainsi que des détails sur les observations aux stations d'échantillonnage à haute fréquence.

TEMPÉRATURE DE L'AIR

Les données sur la température de l'air sont la deuxième génération des données homogénéisées sur la température de l'air à la surface, tirées des Données climatiques canadiennes ajustées et homogénéisées, qui tient compte des différences dues au changement d'emplacement des stations, des modifications des pratiques d'observation et de l'automatisation (Vincent *et al.* 2012). Les anomalies de la température mensuelle de l'air sont illustrées sur la Fig. 4 pour plusieurs stations autour du golfe pour 2018 et 2019, ainsi que la moyenne des anomalies de toutes les stations.

La Fig. 5 représente les anomalies annuelle, hivernale (décembre à mars) et d'avril à novembre, de la température moyenne de l'air moyenné sur toutes les stations disponibles qui sont illustrées sur la Fig. 4, depuis 1873. Des records de températures élevées annuelles et hivernales ont été atteints en 2010 ainsi qu'en 2012 pour la période d'avril à novembre. Galbraith *et al.* (2012) ont estimé que la température moyenne de l'air d'avril à novembre dans le golfe tirée des Archives nationales d'information et de données climatologiques (ANIDC) d'Environnement Canada est un bon indicateur indirect de la température de la surface de la mer de mai à novembre dans le golfe (excluant l'estuaire) et ont dégagé pour celle-ci une tendance au réchauffement de 0,9 °C par siècle entre 1873 et 2011; la même tendance s'observe ici pour ces stations dans les Données climatiques canadiennes ajustées et homogénéisées entre 1873 et 2019 (Fig. 5). Il existe une forte corrélation ($R^2=0,67$) entre les températures de l'air de décembre à mars tirées des Archives nationales d'information et de données climatologiques, les propriétés de la glace de mer et les volumes de la couche de mélange hivernale (Galbraith *et al.* 2010). Galbraith *et al.* (2013) ont trouvé des corrélations légèrement plus fortes ($R^2=0,72$) avec la glace de mer en utilisant les moyennes des Données climatiques canadiennes ajustées et homogénéisées de décembre à février, possiblement parce que la température en mars n'est plus pertinente lorsque la couverture de glace de mer est réduite, puisque cette réduction s'est produite beaucoup plus tôt, en février.

Il n'y a eu aucun record mensuel de température aux stations météorologiques autour du golfe en 2019. Moyennées sur toutes les stations, les moyennes mensuelles de température de l'air étaient près des normales en hiver, sous les normales au printemps, un mélange en été et près des normales en automne. Par contre, le mois de novembre 2018 a été le plus froid depuis 1992, ce qui a contribué à la formation hâtive de glace. La température moyenne du mois août, le mois le plus chaud de l'année, était au-dessus de la normale (+ 1,2 °C; + 1,5 ÉT), mais pas autant qu'un an plus tôt. En moyenne sur toutes les stations, la température de l'air entre décembre et mars (- 0,5 °C; - 0,3 ÉT), la moyenne annuelle (- 0,3 °C; - 0,3 ÉT), et la moyenne d'avril à novembre (- 0,4 °C; - 0,5 ÉT) étaient tous près des normales.

PRÉCIPITATIONS ET RUISSELLEMENT

La reproduction des débits du fleuve Saint-Laurent a été faite en utilisant le modèle et les méthodes décrites dans Lefaivre *et al.* (2016). Les observations de niveaux d'eau à la station de Saint-Joseph-de-la-Rive ont été utilisées à la frontière aval du modèle. Les débits à la frontière amont du modèle ont été calculés avec les relations niveau-débit aux exutoires des lacs des Deux-Montagnes et Saint-Louis. De plus, une correction a été apportée au débit de manière à ce que le modèle minimise l'écart avec l'observation de niveau d'eau à la station de Varennes. Cette station est directement sous l'influence de la sortie des deux lacs et permet de valider le débit amont du fleuve Saint-Laurent. Le modèle calcule le débit à la section de Québec à 3 minutes d'intervalle. Cette série est filtrée pour enlever le signal de marée et est échantillonnée à midi heure locale (HNE) tous les jours (Fig. 6). Pour la combiner avec les débits de rivière en aval pour recréer le débit qui alimente l'estuaire, le débit à Québec est retardé de 21 jours pour approximer le temps requis pour atteindre l'estuaire à la hauteur du Saguenay, et de nouvelles moyennes mensuelles sont calculées (Fig. 7, courbe du bas).

Un modèle de bassin versant hydrologique a été utilisé pour estimer le ruissellement mensuel depuis 1948 pour toutes les autres grandes rivières qui se jettent dans le golfe du Saint-Laurent, dont les embouchures sont indiquées sur la Fig. 8. Les données sur les précipitations (réanalyse NCEP, intervalles de six heures) utilisées comme intrants au modèle ont été obtenues du *Climate Diagnostics Center* de la NOAA-CIRES (Boulder, Colorado, États-Unis; Kalnay *et al.* 1996). Elles ont été interpolées sur une grille d'une résolution de $\frac{1}{4}^\circ$ et le cheminement de l'eau jusqu'à l'embouchure de chaque fleuve a été déterminé à l'aide d'un algorithme simple décrit ici. Lorsque les températures de l'air étaient inférieures au point de congélation, l'eau s'accumulait sous forme de neige dans le bassin hydrologique, avant de fondre au fur et à mesure du réchauffement des températures. La régulation de l'eau est modélisée pour trois rivières qui se jettent dans l'estuaire (Saguenay, Manicouagan, Outardes) et dont le ruissellement annuel est redistribué selon la climatologie des ruissellements régulés réels pendant les 12 mois suivants. Les ruissellements ont été additionnés pour chaque région représentée et la climatologie a été établie pour la période 1981-2010. Les eaux qui se jettent dans l'estuaire (région 1, Fig. 7) ont été ajoutées au ruissellement retardé du Saint-Laurent mesuré à Québec (ci-haut) pour produire l'indice RIVSUM II (Fig. 7, courbe du haut). En 2019, la crue printanière du RIVSUM II s'est étendue plus tard au mois de juin. Le ruissellement moyen pour la période de mai à juin était en égalité pour le premier rang avec 1974 à $30\,900\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ (+ 3,1 ÉT).

Les anomalies mensuelles des sommes de ruissellements régionaux pour 2018 et 2019 sont illustrées sur la Fig. 9. Le ruissellement des rivières autres que le Saint-Laurent apporte environ $5\,000\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ dans l'estuaire, l'équivalent de 40 % du Saint-Laurent, et celui des autres affluents situés aux abords du golfe représente un volume additionnel de $3\,900\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ d'eau douce dans le système. La régulation du débit des rivières a un fort impact sur les contributions relatives des sources. Par exemple, en mai 2015, le ruissellement supérieur à la moyenne dans l'estuaire (résultat des fortes précipitations de 2014 et de la régulation des rivières) était presque aussi important que celui du Saint-Laurent qui, lui, était inférieur à la normale (Galbraith *et al.* 2017). Les séries chronologiques à long terme, additionnées par grands bassins, sont représentées sur la Fig. 10. La méthodologie utilisée dans le rapport de cette année est différente que pour les années précédentes et les détails des séries modélisées ont changés. Les patrons généraux à long terme de ruissellement dans les grands bassins étaient semblables à celui du Saint-Laurent, mais la variabilité interannuelle est faible dans les bassins du Nord-est et du plateau madelinien. Le ruissellement moyen annuel du Saint-Laurent, mesuré à Québec, et l'indice RIVSUM II affichent tous les deux une tendance générale à la baisse à partir de la mi-décennie 1970 jusqu'à 2001, une tendance à la hausse entre 2001 et 2009 suivie

d'une autre depuis 2012 (Fig. 10). En 2019, le ruissellement annuel était supérieur à la normale à $15\,100\text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (+ 2,3 ÉT) pour le fleuve Saint-Laurent et à $20\,200\text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (+ 2,0 ÉT) pour l'indice RIVSUM II, leurs plus hauts niveaux depuis 1976.

COUCHE DE SURFACE

Les conditions de la couche de surface du golfe sont mesurées selon plusieurs méthodes complémentaires. La première est le réseau de thermosalinographes (Galbraith *et al.* 2002), composé de capteurs de température-salinité (SBE-21; Sea-Bird Electronics Inc., Bellevue, WA) installés à bord de différents navires, d'abord sur le navire commercial *Cicero*, d'Oceanex Inc., en 1999 (retiré en 2006), puis sur le *Cabot* de 2006 à l'automne 2013. Le *Connaigra* d'Oceanex a été équipé d'un thermosalinographe au début de 2015.

La seconde source de données est le programme de thermographes côtiers de l'Institut Maurice-Lamontagne (Pettigrew *et al.* 2016), qui consiste de stations instrumentées qui enregistre la température de l'eau à des intervalles variant de 5 à 30 minutes (Fig. 11). La plupart des instruments sont installés sur des bouées de la garde côtière canadienne déployées en saison libre de glace, mais quelques stations sont instrumentées à l'année. Les données sont habituellement seulement disponibles en fin de saison sauf pour les bouées océanographiques qui transmettent en temps réel.

La troisième source de données est des composites de la température de la surface de la mer (SST), produite à l'aide des images par satellite de détection à radiomètre avancé à très haute résolution (AVHRR) provenant de trois produits. Le premier est Pathfinder version 5.3 (Casey *et al.* 2010), un produit à résolution de 4 km disponible d'août 1981 à aujourd'hui, bien que seules les données jusqu'à 2014 étaient disponibles lorsque nous avons élaboré ce mélange de 3 produits. Les deux autres produits ont été générés en utilisant des données de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) et de l'Organisation européenne pour l'exploitation des satellites météorologiques (EUMETSAT). L'un d'eux est un produit archivé de 1,1 km de résolution couvrant la période 1985–2013 disponible auprès de l'Institut Maurice-Lamontagne (voir les détails dans Galbraith et Larouche 2011 et dans Galbraith *et al.* 2012). L'autre produit d'une résolution de 1,5 km est fourni par le groupe de télédétection opérationnelle de l'Institut océanographique de Bedford (IOB) couvre la période depuis 1997. Comme le produit SST utilisé cette année diffère des années précédentes, les détails des séries temporelles ont aussi changé légèrement.

Les produits de l'IOB et de l'IML ont été intercalibrés en comparant les climatologies mensuelles pour la période 1998–2012 communes aux deux produits à tous les pixels des Divisions de l'OPANO 3L à 4X-SS. Ces régions ont été choisies pour éviter les erreurs près de côtes ou qui auraient pu être occasionnées par des masques de glace. Le produit de l'IOB a été ajusté à celui de l'IML avec $SST_{IML} = 0,9730 \cdot SST_{IOB} - 0,097$ (ajustement de $-0,1\text{ °C}$ à 0 °C et de $-0,64\text{ °C}$ à 20 °C). Cela s'explique en partie par le fait que le produit de l'IML utilise toutes les images de la SST disponibles tandis que celui de l'IOB se limite aux passes satellitaires de jour, ce qui introduit un léger biais diurne.

La climatologie du produit de l'IML pour la période de 1985–2010 a été choisie comme référence, ayant la plus haute résolution des trois et une couverture s'approchant du standard 1981–2010. Des climatologies journalières ont alors été construites pour chaque jour de l'année. Des anomalies journalières ont été calculées en utilisant celles-ci pour chaque composite journalier de l'IML et pour chaque composite journalier ajusté de l'IOB, alors que les anomalies pour Pathfinder ont été calculées par rapport à sa propre climatologie 1985–2010. Des composites d'anomalies hebdomadaires et mensuelles ont ensuite été calculés pour chaque pixel en moyennant les anomalies journalières disponibles dans chaque période. Puis

des composites de températures hebdomadaires et mensuelles ont été construits en additionnant ces composites d'anomalies aux climatologies de la même semaine ou le même mois de l'année.

TEMPÉRATURE À LA SURFACE DE LA MER

Le cycle de mai à novembre des moyennes hebdomadaires de la température de la surface de la mer dans le golfe du Saint-Laurent est illustré sur la Fig. 12. Galbraith *et al.* (2012) ont montré que les cycles annuels des climatologies de la température de l'air moyennée sur le golfe ainsi que de la SST se correspondent fort bien, la SST affichant un retard d'un demi-mois par rapport à la température de l'air. C'est en moyenne durant la seconde semaine du mois d'août que les températures maximales de la surface de la mer sont atteintes, mais la date peut varier de quelques semaines d'une année sur l'autre. La température maximale en surface est en moyenne de 15,6 °C dans le golfe durant la seconde semaine du mois d'août (1985-2010), mais il existe des différences spatiales : les températures sur le plateau madelinien, avec une moyenne de 18,1 °C, sont les plus chaudes du golfe, tandis que les plus froides se rencontrent à la tête de l'estuaire du Saint-Laurent (7,0 °C) et dans les zones de remontée d'eau le long de la Basse-Côte-Nord.

La Fig. 13 montre un cycle annuel moyen de la température de l'eau à une profondeur de 8 m le long du corridor de navigation entre Montréal et St. John's, d'après les données des thermosalinographes recueillies de 2000 à 2019. La moyenne des données a été calculée pour chaque jour de l'année à des intervalles de 0,1 degré de longitude afin de créer un composite climatologique le long du corridor. La caractéristique la plus frappante est la zone située à la tête du chenal Laurentien (longitude 69,5 O), où un puissant mélange vertical conduit à des températures froides de surface de l'eau en été (environ 5 à 6 °C, parfois moins) et des températures hivernales toujours bien au-dessus du point de congélation (voir également la Fig. 12). Le cycle climatologique montre la progression vers les conditions hivernales, atteignant d'abord des températures près du point de congélation dans l'estuaire et progressant ensuite vers l'est pour atteindre généralement le détroit de Cabot à la fin de l'hiver (mais pas plus loin).

Les données des thermosalinographes indiquent que les températures près du point de congélation dans la couche de surface sont apparues plus tôt que d'habitude, au début décembre 2018, et ont duré plus longtemps que la normale jusqu'en avril 2019 (Fig. 13). L'exception est l'estuaire où les eaux étaient plus chaudes que la normale en début mars. Les températures tout au long de l'année ont été généralement inférieures à la normale jusqu'à normale dans l'estuaire et le golfe, sauf de la fin juin à août et de la mi-octobre à la mi-novembre. Les anomalies dans le golfe ont passé d'au-dessus de la normale quand le système est tombé hors service le 19 août à autant que 7 °C sous la normale quand le système est revenu en ligne et le navire a traversé le golfe immédiatement après le passage de la tempête tropicale Dorian.

Les températures moyennes mensuelles de la surface de la mer tirées des images AVHRR sont présentées sous la forme de cartes (Fig. 14), de cartes des anomalies de température (Fig. 15), de moyennes spatiales exprimées en tant qu'anomalies (Fig. 16) ou de températures moyennes (Fig. 17). Comme les produits sont nouveaux pour cette année, nous incluons aussi les séries temporelles depuis 1982 (Fig. 18 et Fig. 19). Dans l'estuaire, le maximum saisonnier a été atteint 5 semaines plus tôt que la normale au début juin quand la moyenne hebdomadaire a atteint 12,1 °C, soit une anomalie de + 2.8 °C pour cette semaine-là et plus chaud encore que le maximum climatologique de 11,4 °C qui est normalement atteint à la fin juillet.

Les températures de l'eau près de la surface étaient au niveau le plus bas de la série (depuis 1981) en septembre dans cinq régions (record d'anomalies de -1,6 °C à - 3,4 °C), causées par

le passage de la tempête tropicale Dorian sur le golfe les 7 et 8 septembre. La bouée Viking AZMP-ESG (*East Southern Gulf*) a enregistré une chute de pression atmosphérique de 60 mBar jusqu'à 960 mBar, des vagues de 13 m, des vents de 120 km/h et une remarquable chute de la température de surface de 8 °C. Sauf que l'océan n'a pas perdu de chaleur; des profils de température-salinité prise par la bouée Viking avant la tempête le 23 août et après la tempête le 10 septembre montre que le mélange vertical a atteint 45 m et que la température moyenne de la colonne d'eau de 0 à 45 m était presque identique aux deux dates. La chaleur a été mélangée en profondeur, créant des anomalies froides en surface compensées par des anomalies chaudes en profondeur. Les températures de surface sont demeurées presque constantes pour un certain temps, réchauffant même un peu par endroit, avant que la température de l'air qui descendait avec la progression de l'automne ne la rattrape, alors en mesure de refroidir davantage la couche mélangée. En moyenne sur le golfe, la moyenne de mai à novembre 2019 était tout juste sous la normale (- 0,3 °C; - 0,5 ÉT), mais le mois le plus chaud de l'année, le mois d'août, était au-dessus de la normale (+ 0,9 °C; + 1,1 ÉT).

Les climatologies et séries chronologiques mensuelles de la température de la surface de la mer ont aussi été extraites pour des régions plus précises du golfe. Le plateau madelinien, en excluant le détroit de Northumberland, est divisé en une zone Ouest et une zone Est, comme on le voit sur la Fig. 20. La SST moyenne mensuelle du plateau madelinien dans son ensemble (région 8) est reproduite sur la Fig. 21, de même que les moyennes des zones Ouest et Est. Les climatologies diffèrent d'environ 0,5 à 1 °C entre les régions Ouest et Est. Les températures étaient à un niveau record minimum en septembre dans les régions Est et Ouest à cause du mélange occasionné par la tempête tropicale.

Les tendances saisonnières de la température de l'air sont examinées en regardant la température moyenne hebdomadaire tirée des données SST AVHRR dans le golfe pour toutes les années entre 1982 et 2018 (Fig. 22), les années étant représentées sur l'axe des abscisses et les semaines de l'année sur celui des ordonnées (voir la description complète dans Galbraith et Larouche 2013). Des isothermes indiquent la première et la dernière occurrence des moyennes de température de 12 °C pendant ces années. Ces températures sont considérées comme représentatives des transitions printanières (et automnales) vers les températures estivales habituelles (et à partir de celles-ci). Bien que les températures choisies soient arbitraires, les résultats qui suivent ne sont pas particulièrement sensibles à la température exacte retenue, car la couche de mélange en surface tend à se réchauffer et à se refroidir de manière linéaire au printemps et à l'automne (par exemple, Fig. 12). Un seuil de 10 °C est aussi utilisé pour le démontrer. Entre 1985 et 2017, le golfe avait connu une tendance vers un début plus hâtif de l'été et un refroidissement plus tardif de l'automne, avec une tendance de - 0,5 semaine par décennie. Par contre, le réchauffement tardif de 1 semaine en 2018 a brisé cette tendance au sens statistique, et cela demeure le cas avec l'addition du réchauffement encore plus tardif de 2019 (+ 1,5 ÉT; + 1,3 semaine) en dépit de l'ajout des années froides 1982-1984 à l'analyse avec le nouveau jeu de données SST. Une tendance à un refroidissement tardif en automne qui était encore rapportée l'an dernier a aussi disparu avec l'ajout du second plus hâtif refroidissement d'automne de la série temporelle en 2019 (- 2,0 ÉT; + 2,0 semaines). En dépit de la disparition statistique des tendances temporelles, la variabilité interannuelle du moment de l'année où le seuil de 12 °C est atteint demeure corrélée avec la température moyenne de l'air en juin-juillet pour le début de l'été (0,9 semaine plus tôt par augmentation de 1 °C; $R^2=0,61$) et avec la température moyenne de l'air en septembre pour l'automne (0,7 semaine plus tard par augmentation de 1 °C; $R^2=0,52$). Ces températures moyennes de l'air, illustrées sur la Fig. 22, peuvent servir d'indicateurs indirects avant 1982 ainsi que pour des prévisions de changements climatiques. Il s'ensuit que la saison chaude dans le golfe du Saint-Laurent a augmenté et continuera à augmenter d'environ deux semaines pour chaque augmentation de 1 °C en température de l'air saisonnière, par exemple liée aux changements climatiques anthropiques.

Les observations du réseau de thermographes sont comparées aux températures et salinités journalières moyennes, calculées à partir de toutes les années de données disponibles pour chaque jour de l'année, à chaque station et chaque profondeur (Fig. 23 à Fig. 26). Le cycle saisonnier des températures de surface est mesuré par les instruments mouillés en eaux peu profondes alors que le réchauffement de la couche intermédiaire froide du printemps à l'automne est mesuré avec les instruments mouillés entre 30 et 120 m de profondeur. Les moyennes mensuelles sont aussi montrées avec l'intensité des anomalies exprimées en code de couleur. Les anomalies mensuelles en eaux peu profondes sont plutôt uniformes parmi les stations de chacune des régions. Comme avec les données AVHRR et en dépit de période climatologiques différentes, les mois d'été affichent surtout des anomalies de sous les normales à normales, à l'exception du mois d'août lorsqu'elles étaient au-dessus des normales. Les stations situées dans l'estuaire ont aussi affiché un maximum tôt en saison. Plusieurs stations ont enregistré une chute soudaine de température près de la surface avec le passage de la tempête tropicale Dorian (Mont-Louis, Sept-Îles, Port Menier, Rivière-au-Tonnerre, Natasquan, La Romaine, vallée de Shediac, East Southern Gulf, île Shag, Old Harry).

La nouvelle station « Seuil Saguenay 1 » est située tout juste à l'intérieur du premier seuil qui connecte le fjord du Saguenay à l'estuaire du Saint-Laurent. Les Fig. 23 et Fig. 26 montrent la température et la salinité là depuis 2015. La salinité de l'eau (et par conséquent sa masse volumique) est déterminante du type de circulation qui renouvelle les eaux des bassins du fjord. Ces séries temporelles étendent celles initialement présentées dans Belzile *et al.* (2016) et Galbraith *et al.* (2018).

La station de l'Île Shag (10 m) montre les températures sur le fond à proximité des Îles-de-la-Madeleine qui sont importantes pour la pêche au homard. Les températures en avril et en mai étaient respectivement près de la normale et sous la normale (Fig. 25). Le panneau décrivant les températures à l'Île Shag inclut une ligne rouge qui couvre l'étendue des dates historiques de quand la température au printemps a augmenté au-delà de 1,5 °C, une température associée à la mobilité accrue du homard, ainsi que la date moyenne (27 avril) plus et moins 0,5 ÉT (4 jours). En 2019, ce passage s'est produit le 6 mai, le jour de l'ouverture de la pêche au homard. Cette pêche a dû avoir eu lieu en eaux froides, car cela peut prendre jusqu'à 2 semaines de plus pour que les eaux à 30 m se réchauffent autant qu'à 10 m.

GLACE DE MER

Le volume de glace est estimé à partir de produits sur le couvert de glace obtenus du Service canadien des glaces (SCG) que nous avons convertis sur une grille pour analyse. Il s'agit des cartes hebdomadaires, formatées en Système d'information géographique (SIG), couvrant la période 1969-2019 et quotidiennes pour la période 2009-2019, transposées sur une grille à intervalles de latitude de 0,01 ° et de longitude de 0,015 ° (résolution de 1 km environ). Les épaisseurs de glace (et donc le volume) sont estimées à partir des stades de formation de glace partant de nouvelle glace (5 cm), nilas (5 cm), glace grise (12,5 cm), glace blanchâtre (22,5 cm), glace mince de première année (50 cm), glace moyenne de première année (95 cm) et glace épaisse de première année (160 cm). Avant 1983, le SCG rapportant les conditions de glace utilisant moins de catégories et une seule pour la glace de première année, ayant une épaisseur suggérée de 65 cm. Bien que nous utilisions cette épaisseur dans nos précédents rapports annuels, nous avons maintenant découvert que cette valeur estime les maximums saisonniers en épaisseur et volume de glaces, basé sur des fortes corrélations interannuelles entre le volume et la superficie du couvert des maximums saisonniers dans les données hebdomadaires. La comparaison pré- et post-1983 nous donnent une estimation de 85 cm dans le golfe du Saint-Laurent et de 95 cm sur le plateau de Terre-Neuve-et-Labrador. Pour éviter

une discontinuité spatiale et préférant légèrement sous-estimer le volume dans le nord-est du golfe plutôt que de la surestimer partout ailleurs, nous avons choisi d'utiliser 85 cm.

Plusieurs produits ont été calculés pour décrire la variabilité interannuelle du couvert de glace : des cartes indiquant la date de première et de dernière occurrence ainsi que la durée du couvert (Fig. 27) et des moyennes régionales (Fig. 28); la répartition de l'épaisseur de la glace pendant la semaine où le volume était maximal (Fig. 29, panneaux supérieurs) et l'épaisseur maximale atteinte pendant la saison (Fig. 29, panneaux inférieurs); l'évolution quotidienne du volume de glace de mer estimé par rapport à la climatologie et aux extrêmes historiques (Fig. 30); les estimées des volumes saisonniers maximaux de glace dans le golfe et sur le plateau néo-écossais (Fig. 31); la série chronologique du volume et de la superficie de glace maximaux atteints chaque saison (à l'exclusion de la nouvelle glace fine), de la durée de la saison de glace et des anomalies de la température de l'air de décembre à mars (Fig. 32).

L'ampleur du couvert de glace tend à décroître depuis 1990, avec des rebonds en 2003 et 2014 (Fig. 32). La corrélation entre le volume annuel maximal de glace (y compris la couverture présente sur le plateau néo-écossais) et la température de l'air de décembre à février moyennée sur cinq stations de l'ouest du golfe (Sept-Îles, Mont-Joli, Gaspé, Charlottetown et les Îles-de-la-Madeleine) explique 72 % de la variance de la série chronologique de 1969–2012 (Galbraith *et al.* 2013). La Fig. 32 illustre une comparaison semblable à partir du volume de la glace et de l'anomalie de la température de l'air de décembre à mars tirée des Données climatiques canadiennes ajustées et homogénéisées de la Fig. 5 donnant également $R^2=0,72$. Les corrélations entre la température de l'air et les paramètres de durée de la saison et de superficie de la glace sont aussi très fortes ($R^2=0,78-0,80$). Les coefficients de corrélation sont légèrement plus élevés lorsqu'on utilise les températures de l'air de janvier à février, peut-être parce que les températures de l'air en mars n'ont pas d'effet sur le couvert de glace qui a déjà pratiquement disparu à ce moment-là lors des hivers très doux. Il est possible d'estimer la sensibilité du couvert de glace aux changements climatiques à l'aide des covariations 1969-2019 entre la température de l'air hivernale et les paramètres de la glace de mer, qui indiquent des pertes de 18 km³, 31 000 km² et 13 jours de saison de glace de mer par degré Celsius d'augmentation de la température de l'air hivernale.

Habituellement, la glace se forme d'abord dans l'estuaire du Saint-Laurent et dans les eaux peu profondes le long du Nouveau-Brunswick, de l'Île-du-Prince-Édouard et de la Basse-Côte-Nord, et fond en dernier dans le nord-est du golfe, où la saison de glace a tendance à durer le plus longtemps, à l'exception des baies peu profondes ailleurs (Fig. 27). Au large, la glace de mer se forme généralement dans les parties septentrionales du golfe et dérive vers les Îles-de-la-Madeleine et le détroit de Cabot pendant la saison de glace.

En 2019, la couverture de glace de mer s'est formée plus tôt que la normale dans l'estuaire, la partie ouest du golfe ainsi que le long de la Basse-Côte-Nord, et plus tard que la normale dans les régions plus au large (Fig. 27, Fig. 28). Ce fut l'apparition de glace la plus tôt de la série temporelle dans l'estuaire supérieur; la première fois en novembre. Le volume de glace a progressé normalement jusqu'au début janvier, puis a progressé d'environ 1 ÉT en dessous de la normale jusqu'à la mi-février, lorsque la formation s'est accélérée pour atteindre le maximum saisonnier à une période normale à la mi-mars (Fig. 30). Le volume de glace maximal saisonnier de 77 km³ (+ 0,3 ÉT) était près de la normale et s'est produit au cours de la semaine du 11 mars (Fig. 29). La durée de 54 jours (calculée différemment cette année en utilisant une méthode pondérée spatialement) était près de la normale (- 0,3 ÉT), la superficie était au-dessus de la normale (+ 0,7 ÉT) (Fig. 31). Les conditions de glace de mer étaient compatibles avec des températures de l'air en novembre 2018 les plus froides depuis 1992, suivi de températures près de la normale en hiver (- 0,5 °C; - 0,3 ÉT). Durant les 10 années depuis 2010, 7 des 10 plus bas volumes de glace maximum de la série chronologique s'y sont produits

(Fig. 32) bien que cela n'inclut pas 2019. Un volume de glace près de la normale a été exporté du golfe du Saint-Laurent sur le plateau néo-écossais en 2019 (Fig. 29, Fig. 31), le plus élevé depuis 2015.

MASSES D'EAU HIVERNALES

Un relevé hivernal des eaux du golfe du Saint-Laurent (généralement 0-200 m) est réalisé au début du mois de mars depuis 1996, habituellement à partir d'un hélicoptère de la Garde côtière canadienne, mais à bord de navires de la Garde côtière canadienne en 2016 et 2017. Le relevé, les méthodes d'échantillonnage et des résultats d'analyse du volume d'eau froide dans le golfe, ainsi que l'estimé du volume d'eau introduit dans le golfe par le détroit de Belle Isle pendant l'hiver sont décrits dans Galbraith (2006) et dans Galbraith *et al.* (2006). La Fig. 33 et la Fig. 34 présentent des champs d'interpolations des conditions en 2019 et climatologiques de la température près de la surface, de l'écart de température au point de congélation, de la salinité, de l'épaisseur de la couche froide et de la couche en contact avec le fond, ainsi que de l'épaisseur de l'intrusion d'eau en provenance du plateau du Labrador.

En général, en mars, la couche de mélange de surface est très proche (en deçà de 0,1 °C) du point de congélation dans la plupart des régions du golfe, mais l'épaisseur de la couche de surface varie. C'est donc le volume d'eau froide, plus que la température, qui change entre les hivers doux et rudes. L'hiver 2010 a été une exception : pour la première fois depuis le début du relevé hivernal, la couche de mélange était en moyenne de 1 °C au-dessus du point de congélation. Pendant un hiver typique, les eaux de surface dont la température est comprise entre ~ 0 °C et - 1 °C ne se trouvent que du côté nord-est du détroit de Cabot, pénétrant dans le golfe. Une partie de ces eaux chaudes pénètre vraisemblablement dans le golfe pendant l'hiver pour se diriger vers le nord le long de la côte ouest de Terre-Neuve, mais il se peut aussi que les eaux locales ne se soient tout simplement pas refroidies jusqu'au point de congélation. En mars 2019, les conditions étaient près du point de congélation partout dans le golfe (Fig. 33), de manière compatible avec le couvert de glace complet et son exportation vers le plateau néo-écossais (Fig. 29).

Les eaux de température près du point de congélation et d'une salinité aux alentours de 32 sont responsables de la formation (locale) de la CIF puisque c'est à peu près la salinité au minimum de température pendant l'été. Elles sont codées en vert-bleu dans le panneau sur la salinité de la Fig. 33 et se trouvent généralement au nord et à l'est de l'île d'Anticosti. Les salinités en surface étaient supérieures à la climatologie dans cette partie du golfe pendant l'hiver 2019.

Les eaux de température près du point de congélation d'une salinité > 32,35 (de couleur violette sur la figure) sont considérées comme trop salines pour avoir été formées à partir des eaux provenant de l'intérieur du golfe (Galbraith 2006) et ont sans doute été transportées du plateau du Labrador par le détroit de Belle Isle. Elles étaient présentes en surface partout dans la cuvette de Mécatina en mars 2017 (Fig. 33). Le critère température-salinité pour identifier les masses d'eau, tiré de Galbraith (2006), a servi à déterminer l'étendue de l'intrusion des eaux du plateau du Labrador qui n'ont affiché aucun signe de mélange avec les eaux chaudes et salines profondes du golfe. Ces eaux occupaient toute la colonne d'eau dans la cuvette de Mécatina en mars 2019 (panneau supérieur droit de la Fig. 34). L'historique récent du volume des intrusions d'eau du plateau du Labrador est illustré sur la Fig. 35, ainsi que la fraction du volume total d'eau froide dans le golfe qu'il représente. Ce volume était le second plus élevé de la série temporelle depuis 1997 en mars 2019, à 3 700 km³ (+ 2,1 ÉT), représentant 24 % (+ 1,2 ÉT) des eaux froides (T < - 1 °C) présentes dans le golfe. La couche s'étendait plus loin dans le golfe qu'à l'habitude, jusqu'au chenal Anticosti.

La profondeur de la couche de mélange froide est habituellement de 75 m dans le golfe et est généralement délimitée par l'isotherme de $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$, car la couche de mélange est normalement proche du point de congélation et les eaux plus profondes sont beaucoup plus chaudes (Galbraith 2006). En mars 2010 et 2011, une bonne partie de la couche de mélange était à une température supérieure à $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$, c'est pourquoi le critère de $T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a également été introduit (voir les panneaux centraux de la Fig. 34). La couche de surface froide résulte de la formation locale et des eaux froides advectées du plateau du Labrador et peut être composée d'une seule masse d'eau ou de couches dont la salinité croît avec la profondeur. Cette couche atteint le fond dans de nombreuses régions du golfe, mais n'atteint pas toujours les parties les plus profondes du plateau madelinien ou de la cuvette de Mécatina selon les années (voir les panneaux inférieurs de la Fig. 34). L'épaisseur de la couche hivernale est généralement la plus grande au nord et au nord-est de l'île d'Anticosti, et le dôme des isopycnales au centre de la gyre d'Anticosti apparaît dans la climatologie comme une couche plus mince à cet endroit. En 2019, le gradient d'épaisseur typique vers le nord-est était présent, mais la couche $T < -1\text{ }^{\circ}\text{C}$ était plus épaisse que la climatologie dans le centre du golfe et le détroit de Cabot.

L'intégration de la couche d'eau froide sur la superficie du golfe (à l'exclusion de l'estuaire et du détroit de Belle Isle) donne un volume d'eau froide ($< -1\text{ }^{\circ}\text{C}$) de $15\,200\text{ km}^3$ en 2019, soit le plus élevé de la série temporelle et $+1,2\text{ } \text{ÉT}$ au-dessus de la moyenne 1996–2019. Ce record a été aidé par la grande entrée d'eau en provenance du plateau du Labrador; en soustrayant la partie au-dessus de la normale de ce dernier volume du total des eaux froides du golfe le descendrait à une valeur près de la normale ($+0,3\text{ } \text{ÉT}$), mais certainement que la plus grande entrée d'eau a poussé des eaux froides du golfe à sortir vers le plateau néo-écossais qui autrement serait demeurées dans le golfe.

La variabilité interannuelle des volumes hivernaux d'eau dont la température est inférieure à 0 et $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ est illustrée sur la Fig. 36. Le volume de la couche de mélange augmente à $16\,000\text{ km}^3$ lorsque l'on tient compte des températures de l'eau $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$, soit aussi $1,2\text{ } \text{ÉT}$ au-dessus de la moyenne 1996–2019. Ce dernier volume d'eau froide correspond à 48% du volume d'eau total du golfe ($33\,500\text{ km}^3$, en excluant l'estuaire).

COUCHE INTERMÉDIAIRE FROIDE

PRÉVISION TIRÉE DU RELEVÉ DE MARS 2019

L'indice de la température minimale de la CIF en été (Gilbert et Pettigrew 1997) est fortement corrélé au volume d'eau froide ($< -1\text{ }^{\circ}\text{C}$) dans le golfe (à l'exclusion de l'estuaire) mesuré le mois de mars précédent, alors que la couche de mélange est en grande partie proche du point de congélation (Galbraith 2006; relation actualisée dans le panneau droit de la Fig. 32). Cela est un résultat attendu dû au fait que la CIF est le restant de la couche de surface froide hivernale. Une mesure du volume d'eau froide présent en mars est par conséquent un outil précieux pour prévoir les conditions à venir de la CIF pendant l'été. En 2019, la couche de mélange hivernale était près du point de congélation dans une grande étendue du golfe. Le volume de la couche à $T < -1\text{ }^{\circ}\text{C}$ était le plus élevé de la série à $+1,2\text{ } \text{ÉT}$. C'est pourquoi nous avons prévu une couche intermédiaire froide plus froide qu'à l'été 2018, avec un indice de Gilbert et Pettigrew (1997) d'environ $-0,64\text{ }^{\circ}\text{C}$ comparé à $-0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$ en 2018 (Galbraith *et al.* 2019).

CIF EN AOÛT-SEPTEMBRE

La température minimale, l'épaisseur et le volume de la CIF pour $T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $< 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ont été estimés à l'aide des profils de température obtenus de toutes les sources pour août et septembre. La plupart des données sont tirées des relevés plurispécifiques de septembre pour

le plateau madelinien et d'août pour le reste du golfe. Des interpolations spatiales de la température du golfe ont été réalisées à l'aide de tous les profils de température disponibles par palier de 1 m de profondeur. Le champ interpolé est alors contraint entre les valeurs minimales et maximales observées dans chaque région du golfe à cette profondeur pour empêcher des extrapolations irréalistes (Fig. 2). L'épaisseur de la CIF à chaque point de grille est simplement la somme des plages de profondeurs en dessous du seuil de température. La température minimale de la CIF est aussi seulement définie pour les points de grille où la température augmente d'au moins 0,5 °C à des profondeurs supérieures à celle du minimum, ou si la température minimale au point de la grille est inférieure à la moyenne spatiale de la CIF du golfe.

La Fig. 37 montre le champ interpolé de l'épaisseur de la CIF < 1 °C et < 0 °C et la température minimale de la CIF pour août-septembre 2019 ainsi que les données climatologiques correspondantes pour 1981–2010 (1994–2010 pour la cuvette de Mécatina). Des cartes semblables ont été produites pour toutes les années en remontant jusqu'en 1971 (bien qu'il manque les données pour certaines années dans certaines régions), ce qui a permis de calculer les volumes pour chaque région chaque année, ainsi que les climatologies illustrées dans les panneaux gauches de la Fig. 37. La période climatologique utilisée ici débute en 1985 plutôt qu'en 1981 parce qu'il y a trop peu d'observations avant 1985, lorsque des observations océanographiques ont commencé à être prises lors des relevés multispécifiques. L'épaisseur de la CIF pour $T < 0$ °C et $T < 1$ °C a augmenté par rapport à 2018, avec des volumes atteignant des valeurs près de la normale. En 2019, la température minimum de la CIF avait un patron similaire à la climatologie de 1985-2010, à l'exception d'être plus froide dans le nord-est du golfe, peut-être un effet de la plus grande entrée d'eau froide hivernale du plateau du Labrador.

Les séries chronologiques des volumes régionaux de la CIF en août-septembre sont représentées sur la Fig. 38 (pour < 0 °C et < 1 °C). Les volumes de la CIF ont augmenté beaucoup depuis 2018 dans le chenal Esquiman et le centre du golfe, tandis que l'estuaire a vu une diminution. La Fig. 39 montre le volume total d'eau de la CIF (< 0 °C et < 1 °C) et la moyenne de la température minimale de la CIF tirée des grilles interpolées d'août et septembre (voir par exemple la Fig. 37). La moyenne spatiale de la température minimale de la CIF et le volume, tous deux représentés sur la Fig. 39, excluent les données de la cuvette de Mécatina, dont les masses d'eau sont très différentes de celles du reste du golfe; elles sont influencées par les apports en provenance du détroit de Belle Isle et, par conséquent, ne sont pas représentatives du climat dans le reste du golfe. Le volume de la CIF tel que défini par $T < 1$ °C et par < 0 °C a considérablement augmenté (à - 0,1 et - 0,2 ÉT) par rapport aux conditions de 2018 (- 1,6 et - 1,7 ÉT).

Les séries chronologiques des moyennes régionales de la température minimale de la CIF sont illustrées sur la Fig. 40. Dans toutes les régions à l'exception de l'estuaire et du nord-ouest du golfe est survenue une forte diminution de la température minimale par rapport à 2018. La température minimale moyenne de 2019 (à l'exclusion de la cuvette de Mécatina, du détroit de Belle Isle et du plateau madelinien) était près de la normale à - 0,2 °C, soit une diminution de 0,5 °C par rapport à 2018, et est représentée sur la Fig. 39 (panneau du bas, ligne verte). La différence moyenne entre cet indice de la CIF et celui de Gilbert et Pettigrew (1997) (décrit ci-après) est de 0,27 °C en raison du réchauffement entre la mi-juin et le relevé d'août. Cet indice correspond à un indice de Gilbert et Pettigrew (1997) de - 0,5 °C après arrondissement à la décimale la plus près.

CONDITIONS DE LA CIF EN NOVEMBRE DANS L'ESTUAIRE DU SAINT-LAURENT

Le relevé de novembre réalisé par le PMZA fournit habituellement une grille d'échantillonnage à haute résolution de profils de température et salinité dans l'estuaire du Saint-Laurent depuis 2006. Les données révèlent le réchauffement (Fig. 40) et l'amincissement (Fig. 38) de la CIF dans le temps depuis le relevé d'août. La Fig. 40 montre que l'augmentation plutôt rapide de la température minimale de la CIF entre août et novembre est relativement constante d'une année sur l'autre, malgré les différences entre la température en août. Les résultats montrent une CIF plus mince à l'automne 2019 qu'un an auparavant, avec des températures minimums similaires.

INDICE SAISONNIER MOYEN DE LA CIF

L'indice de la CIF de Gilbert et Pettigrew (1997) est défini comme la moyenne des températures minimales de la CIF observées entre le 1er mai et le 30 septembre de chaque année, ajustée au 15 juillet à l'aide d'un taux de réchauffement propre à chaque région. Il a été actualisé à l'aide de tous les profils de la température disponibles dans le golfe entre mai et septembre, depuis 1947 inclusivement (ligne noire du panneau du bas de la Fig. 39). Comme prévu, la température minimale de la CIF interpolée au 15 juillet est presque toujours plus froide que l'estimation fondée sur les données d'août et de septembre sans correction temporelle. En effet, la CIF s'érode pendant l'été et son centre se réchauffe au fil du temps.

Cet indice de la CIF pour l'été 2019 était de $-0,55$ °C, près de la normale à $-0,1$ ÉT. La diminution de $0,4$ °C par rapport à l'indice de la CIF de l'été 2018 est cohérente avec l'augmentation du volume de la CIF entre août 2018 et 2019 discutée précédemment et avec la diminution de $0,5$ °C de la moyenne spatiale de la température minimale en août. Les conditions hivernales chaudes de 2010 à 2012 ont produit des indices de la CIF encore nettement inférieurs au niveau record observé dans les années 1960 et 1980. Il faudra réexaminer les températures minimales de la CIF précédentes afin de confirmer qu'elles ont été calculées à partir de données ayant une résolution verticale suffisante pour résoudre correctement la température centrale minimale.

SOMMAIRE DES CONDITINOS DE LA CIF

Pour résumer, la Fig. 41 illustre les séries chronologiques des conditions hivernales et estivales de la CIF (les températures au fond en juin et septembre également reliées à la CIF sont décrites ci-après) et met en évidence les fortes corrélations qui existent entre ces différentes séries chronologiques. En 2019, les conditions de la CIF étaient près de la normale à l'exception des températures au-dessus de la normale sur le fond du plateau madelinien (conduisant à des superficies sous la normale sur la Fig. 41), ce qui est surprenant considérant les conditions record de la couche mélangée hivernale.

RELEVÉ DE JUIN SUR LE PLATEAU MADELINIEN

Un relevé est effectué depuis longtemps sur le plateau madelinien en juin pour guider l'évaluation des stocks de maquereau et a depuis été fusionné avec le relevé de juin du PMZA. Il fournit une bonne couverture des conditions de la température qui sont grandement influencées par la couche intermédiaire froide qui atteint le fond sur à peu près la moitié de la superficie à cette époque de l'année.

Les eaux près de la surface se réchauffent rapidement en juin, à mi-chemin entre le minimum hivernal et le maximum annuel au début du mois d'août. Cela peut introduire un biais si les dates du relevé ne sont pas les mêmes chaque année. Pour en tenir compte, le réchauffement saisonnier observé à la station de surveillance du PMZA de la vallée de Shediac a été évalué.

Une régression linéaire a été faite de la température par rapport au temps, pour chaque mètre de la colonne d'eau et pour chaque année entre mai et juillet. Une inspection visuelle a montré que le taux de réchauffement en fonction de la profondeur était relativement constant pour toutes les années et une moyenne a été calculée pour chaque profondeur. Le réchauffement est maximal en surface à 18 °C par 100 jours et, malgré quelques incertitudes entre 30 et 55 m, diminue presque proportionnellement à la profondeur jusqu'à 2 °C par 100 jours à 40 m, puis diminue encore linéairement jusqu'à 1 °C par 100 jours à 82 m (Galbraith et Grégoire 2015).

Tous les profils de température pris en juin pour une année donnée sont ensuite considérés à des intervalles de profondeur de 1 m (ou on les interpole si la résolution est trop grossière), et ajustés en fonction de la date d'échantillonnage afin de les ramener au 15 juin d'après le taux de réchauffement dépendant de la profondeur ci-haut. Une interpolation spatiale est alors faite pour estimer la température à chaque couche de profondeur de 1 m sur une grille de 2 km de résolution. La Fig. 42 illustre les températures et les anomalies à des profondeurs de 20, 30, 40 et 50 m. La Fig. 43 présente les moyennes spatiales sur les grilles à 10, 20, 30, 50 et 75 m pour toutes les années où une interpolation a été possible, ainsi que les moyennes de la SST en juin depuis 1982, pour l'ouest et l'est du plateau madelinien (Fig. 20). En moyenne, les températures étaient sous la normale à près de la normale, à l'exception de 40 m et plus sur la région ouest du plateau où elles étaient au-dessus de la normale (Fig. 42 et Fig. 43).

TEMPÉRATURES DE L'EAU AU FOND SUR LE PLATEAU MADELINIEN

La température au fond est également estimée à chaque point des grilles construites à partir du relevé de juin en relevant la température interpolée au niveau de profondeur correspondant à une grille bathymétrique fournie par le Service hydrographique du Canada sur laquelle quelques corrections ont été appliquées (Dutil *et al.* 2012). La méthode est entièrement décrite dans Tamdrari *et al.* (2012). Une climatologie a été préparée en calculant la moyenne de toutes les grilles de température disponibles entre 1981 et 2010, et par la suite des grilles d'anomalie par rapport à cette climatologie sont été calculée pour chaque année. La climatologie de la température au fond en juin et les champs de température et d'anomalie reconstruits pour 2019 sont représentés sur la Fig. 44. La même méthode a été appliquée avec les données de température disponibles pour août et septembre, provenant majoritairement des relevés plurispécifiques pour le nord du golfe en août et pour le plateau madelinien en septembre. Ces résultats sont également présentés sur la Fig. 44. Même si, sur le plan de la climatologie, la plupart des températures sur le fond sont encore inférieures à 0 °C en juin, soit un restant de la couche de mélange hivernale qui atteignait le fond, la majorité de la zone se réchauffe jusqu'à moins de 1 °C en août-septembre. Les anomalies de température dans les eaux côtières peu profondes sont comprises entre < - 2,5 °C et > + 2,5 °C, mais elles ont tendance à être moins marquées dans les eaux plus profondes.

Les séries chronologiques de la superficie du fond recouverte par des eaux à divers intervalles de température ont été estimées à partir des données interpolées pour les relevés de juin et le relevé plurispécifique de septembre sur le plateau madelinien (Fig. 45). Les séries chronologiques des superficies du plateau madelinien couvertes par de l'eau à moins de 0, 1, 2 et 3 °C en juin et septembre sont également représentées sur la Fig. 41 dans le cadre du résumé sur la CIF. En juin 2019, aucun fond du plateau madelinien n'était recouvert d'eau avec des températures <-1 °C, contrairement aux conditions un peu plus froides de juin 2017, deux ans plus tôt. En septembre, aucun fond n'était recouvert d'eau avec des températures <0 °C; ces conditions plus chaudes que la normale (Fig. 38) sont néanmoins plus froides qu'au cours de la période récente 2010-2012. La superficie couverte par des températures de l'eau inférieures à 0 °C en juin et inférieures à 1 °C en septembre avait alors atteint un minimum (conditions chaudes) inégalé depuis le début des années 1980, mais avait remonté vers un

niveau près de la normale en 2014 et 2015, et à nouveau en 2017. Les superficies étaient dans l'ensemble plus petites que la normale (eaux plus chaudes) en juin 2019 (- 0,9 ÉT) et en septembre (- 1,2 ÉT). À des températures de seuil plus élevées, les superficies avec $T < 2\text{ °C}$ et $< 3\text{ °C}$ étaient inférieures à la normale (eaux plus chaudes) en juin et en septembre 2019, ne diminuant que légèrement au cours de cette période.

EAUX PROFONDES (> 150 M)

La couche d'eau plus profonde (> 150 m) sous la CIF tire son origine de l'entrée du chenal Laurentien au bout du plateau continental et circule vers les têtes des chenaux Laurentien, Anticosti et Esquiman sans beaucoup d'échange avec les couches supérieures. La couche entre 150 et 540 m est caractérisée par des températures allant de 1 à $> 7\text{ °C}$ et des salinités entre 32,5 et 35 (sauf dans la cuvette de Mécatina, où les eaux près du point de congélation peuvent remplir le bassin jusqu'à 235 m en hiver et persistent généralement pendant tout l'été). Les changements de température, de salinité et d'oxygène dissous des eaux profondes entrant dans le golfe au plateau continental, observés d'une décennie à l'autre, sont liés à la proportion variable de l'eau du courant du Labrador, froide, peu salée et à haute teneur en oxygène dissous, et de l'eau du talus, chaude-salée et peu oxygénée (McLellan 1957; Lauzier et Trites 1958; Gilbert *et al.* 2005). Ces eaux se déplacent de l'embouchure du chenal Laurentien à l'estuaire en trois à quatre ans approximativement (Gilbert 2004), s'appauvrissant en oxygène dissous sous l'effet de la respiration *in situ* et de l'oxydation des matières organiques à mesure qu'elles transitent vers les têtes des chenaux. C'est donc dans les eaux profondes à la tête du chenal Laurentien, dans l'estuaire, que se trouvent les niveaux les plus bas d'oxygène dissous (saturation sous 20 % ces dernières années).

TEMPÉRATURES DE L'EAU SUR LE FOND EN AOÛT ET SEPTEMBRE

La même méthode que celle utilisée pour calculer la température de l'eau sur le fond sur le plateau madelinien a été appliquée à l'ensemble du golfe en combinant toutes les données disponibles pour août et septembre, provenant majoritairement des relevés plurispécifiques pour le nord du golfe en août et pour le plateau madelinien en septembre, dans une seule carte (Fig. 46). Toutes les températures au fond dans les eaux profondes du golfe étaient au-dessus de la normale, et de plus étaient supérieures à 6 °C dans de grandes superficies du centre du golfe, des chenaux Anticosti et Esquiman, et du nord-ouest du golfe, avec cette isotherme apparaissant dans l'estuaire en 2019.

Tel que fait pour le plateau madelinien ci-haut (Fig. 45), les séries chronologiques de la superficie du fond recouverte par des eaux à divers intervalles de température ont également été estimées pour les autres régions du golfe à partir des données des profils de la température d'août-septembre (Fig. 47 et Fig. 48). Les figures font apparaître une compression de la zone d'habitat sur le fond dans la fourchette de températures de $5\text{-}6\text{ °C}$ en 1992, compensée par un habitat plus vaste des eaux plus froides à $4\text{-}5\text{ °C}$. L'année 2012 a marqué le début du retour à des températures $> 6\text{ °C}$ sur le fond marin. En 2015, cette tendance avait entraîné une forte réduction de l'habitat à $5\text{-}6\text{ °C}$ dans les chenaux Anticosti et Esquiman, cette fois remplacé par un habitat à $6\text{-}7\text{ °C}$. La superficie comprise entre 6 et 7 °C a ensuite fortement augmenté dans le centre et le nord-ouest du golfe en 2017, puis de nouveau dans le nord-ouest du golfe en 2018 ainsi qu'en 2019. Les chenaux Anticosti et Esquiman ont aussi vu le retour de températures sur le fond sous 0 °C associées à la couche intermédiaire froide.

MAXIMUM PROFOND DE TEMPÉRATURE

Les eaux chaudes sur le fond du chenal Laurentien et ailleurs sont associées au maximum profond de température qui apparaît dans les profils de température de ces zones (par exemple, Fig. 3). La progression interannuelle récente vers les conditions actuelles du maximum profond de température est représentée sur la Fig. 49. Des températures supérieures à 7 °C ont été enregistrées depuis 2012 dans le golfe près du détroit de Cabot. La moyenne pour le golfe et les moyennes spatiales régionales sont illustrées sur la Fig. 50 pour la température et sur la Fig. 51 pour la salinité. La moyenne pour le golfe du maximum profond de température était à un niveau record de série en 2019, à 6,60 °C.

MOYENNES MENSUELLES DE LA TEMPÉRATURE ET DE LA SALINITÉ

Les moyennes mensuelles de température et de salinité ont été calculées pour différentes profondeurs à l'aide d'une méthode utilisée par Petrie *et al.* (1996) et des régions géographiques représentées sur la Fig. 2. Selon cette méthode, on commence par calculer, pour chaque année, la moyenne de toutes les données disponibles obtenues le même mois dans une région et proches de chaque fourchette de profondeurs. On calcule ensuite les climatologies mensuelles à partir de toutes les années disponibles et leur écart-type. Ce processus en deux étapes réduit le biais qui se produit lorsque le nombre de profils est différent d'une année à l'autre. Ces moyennes mensuelles sont par la suite utilisées pour calculer des séries de moyennes annuelles régionales qui sont présentées sur la Fig. 50 (température) et Fig. 51 (salinité) pour 200 et 300 m. Les observations à 300 m, en particulier, illustrent les anomalies de température advectées vers l'amont dans le chenal à partir du détroit de Cabot vers le nord-ouest du golfe en deux à trois ans, ce qui correspond aux conclusions de Gilbert (2004), tandis que les variations à 200 m apparaissent et disparaissent souvent partout simultanément, suggérant un changement dans la verticale. Les moyennes régionales sont pondérées dans une moyenne pour l'ensemble du golfe en fonction de la superficie de chaque région à la profondeur considérée. Ces moyennes pour l'ensemble du golfe sont illustrées pour 150, 200 et 300 m sur les Fig. 50, Fig. 51 et Fig. 52. Les tendances linéaires de la température et de la salinité à 300 m, de 2,3 °C et 0,3 par siècle, respectivement, sont illustrées sur la Fig. 52 (voir aussi d'autres tendances à long terme dans Galbraith *et al.* 2013), malgré que la tendance au réchauffement a été de 1,3 °C par décennie depuis 2009 (5,6 fois plus rapidement).

En 2019, les salinités moyennes pour l'ensemble du golfe ont poursuivi leur remontée à toutes les profondeurs suite à une chute en 2017 aux profondeurs moindres que 300 m (Fig. 51 et Fig. 52), atteignant un record de série à 300 m de 34,75. Les températures moyennes pour l'ensemble du golfe à 150 et 200 m sont moins élevées que les records de série de 2015, mais demeurent au-dessus de la normale (3,3 °C, + 1,6 ÉT et 5,5 °C, + 2,4 ÉT). De nouveaux records de série ont été établis à 250 m (6,3 °C, + 3,8 ÉT) et 300 m (6,5 °C, + 6,6 ÉT). À 300 m, la température a augmenté pour atteindre un record régional dans toutes les régions profondes du golfe : estuaire (5,9 °C, + 4,1 ÉT), nord-ouest du golfe (6,2 °C, + 5,6 ÉT), centre du golfe (6,6 °C, + 5,7 ÉT) et détroit de Cabot (7,1 °C, + 5,8 ÉT).

Les anomalies chaudes observées depuis 2010 dans le détroit de Cabot remontent progressivement le chenal vers l'estuaire, mais les eaux qui ont suivi dans le golfe sont aussi restées très chaudes et leur température a même augmenté, au point où la température moyenne du golfe pourrait continuer à monter (Fig. 49). La possibilité que des eaux encore plus chaudes entre dans le golfe existe, tel qu'indiqué par température moyenne enregistrée à l'embouchure du chenal Laurentien en 2019 de 10,2 °C à 200 m et de 8,4 °C à 300 m, des records depuis le début de la série en 1914.

STRUCTURE DE LA TEMPÉRATURE MOYENNE SAISONNIÈRE ET RÉGIONALE

Afin de montrer la progression saisonnière de la structure verticale de la température, des moyennes régionales sont présentées aux Fig. 53 à Fig. 56, tirées des profils recueillis pendant le relevé de mars effectué en hélicoptère, les relevés du PMZA et d'évaluation du maquereau, le relevé plurispécifique d'août (relevé de septembre pour le plateau madelinien) et le relevé du PMZA d'octobre-novembre. Toutes les autres données archivées pour ces mois ont également été utilisées. L'échelle de température a été ajustée pour mettre en évidence les caractéristiques de la CIF et des eaux profondes; l'affichage de la variabilité de la température en surface convient mieux à d'autres outils tels que la télédétection et les thermographes. Les conditions discrètes moyennes par couche de profondeur sont résumées pour les mois du relevé du PMZA de 2018 et 2019 sur la Fig. 57 pour la température et sur la Fig. 58 pour la salinité et la stratification sur les 50 premiers mètres. Pour chaque relevé, les anomalies ont été calculées par rapport aux climatologies mensuelles de la température et de la salinité de chaque région pour la période 1981–2010, apparaissant en gris en tant que valeur moyenne $\pm 0,5$ ÉT sur les Fig. 53 à Fig. 56.

Il faut interpréter les profils de mars avec prudence. En fait, le moyennage régional des profils hivernaux ne fonctionne pas très bien dans le nord-est du golfe (régions 3 et 4) en raison de la présence de masses d'eau très différentes, comme l'intrusion froide venant du plateau du Labrador et les eaux profondes plus salées et plus chaudes du chenal Anticosti et Esquiman. Par exemple, les brusques changements de température près du fond de la cuvette de Mécatina en 2018 provenaient du profil le plus profond utilisé qui contenait des eaux profondes plus froides. Les points saillants des températures de l'eau en mars illustrées sur la Fig. 53 comprennent le record d'épaisseur de la couche de mélange hivernale déjà discutée plus haut. Les eaux situées dans les parties les plus profondes de la cuvette de Mécatina étaient près du point de congélation résultant d'une intrusion provenant du plateau du Labrador qui occupait toute la colonne d'eau.

Les températures de juin et août 2019 étaient caractérisées par des conditions de la CIF plus épaisse et plus froide que la normale dans le chenal Anticosti, le chenal Esquiman et le centre du golfe. Cela s'était atténué quelque peu en automne. Les températures de l'eau profonde étaient au-dessus de la normale dans toutes les régions le long du chenal Laurentien, en hausse dans la plupart d'entre elles par rapport aux conditions de 2018 à la profondeur du maximum de température (200 m à plus de 250 m), en particulier dans le détroit de Cabot.

COURANTS ET TRANSPORTS

Les courants et les transports sont tirés d'un modèle numérique du golfe du Saint-Laurent, du plateau néo-écossais et du golfe du Maine. Il s'agit d'un modèle pronostique, c.-à-d. qu'il permet l'évolution des champs de température et de salinité. Sa résolution spatiale est de $1/12^\circ$ avec 46 niveaux de profondeur sur la verticale. Le forçage atmosphérique provient du modèle atmosphérique environnemental global multiéchelle du Centre météorologique canadien. Le ruissellement est obtenu à partir de données d'observation et du modèle hydrologique, tel que décrit dans la section de ce document consacrée au ruissellement, mais n'utilise pas les nouvelles données quotidiennes du débit à Québec. La crue printanière peut donc différer de celle décrite plus haut. Une simulation a été exécutée pour 2006-2019 de laquelle les transports ont été calculés. Rappelons que les résultats présentés ci-après ne sont pas des mesures, mais des simulations et que des améliorations apportées au modèle pourraient entraîner des modifications aux valeurs des transports.

Les Fig. 59 à Fig. 61 montrent les courants saisonniers moyens en fonction de la profondeur pour 0–20 m, 20–100 m et de 100 m au fond pour 2019. Les courants sont les plus forts dans la

couche de mélange de surface, généralement 0-20 m, sauf les mois d'hiver quand les moyennes de 20-100 m sont presque aussi élevées, et quand les moyennes de 100 m au fond sont tout de même beaucoup plus fortes que durant les autres saisons (noter l'échelle différente pour cette profondeur). Les courants sont également les plus forts le long des pentes des chenaux profonds. La gyre d'Anticosti est toujours présente, mais est plus forte pendant les mois d'hiver, lorsqu'elle s'étend jusque dans les courants moyens de la couche la plus profonde. Sauf qu'en 2019, la circulation de la gyre ne s'est pas refermée très fermement, alimentant plutôt le transport du courant de Gaspé (Fig. 59). Le courant de Gaspé était situé le long de la rive nord de l'estuaire en hiver, mais était stable le long de la rive sud durant le reste de l'année, se combinant avec la gyre d'Anticosti, pour ensuite suivre le long de la pente du chenal Laurentien, excepté pour une branche qui a traversé le plateau madelinien en entier.

Les transports mensuels moyennés au travers de sept sections du golfe du Saint-Laurent sont représentés sur la Fig. 62 pour les sections avec une certaine circulation estuarienne et sur la Fig. 63 pour celles où seuls des transports nets sont pertinents. Sur la Fig. 62, le transport net intègre à la fois la circulation vers l'amont et vers l'aval et, par exemple, correspond au ruissellement dans la section de Pointe-des-Monts. Le transport sortant intègre tous les courants se dirigeant vers l'océan, tandis que le rapport estuarien correspond au courant sortant divisé par les transports nets. Il convient de souligner que la seule section où la circulation estuarienne est dominante est celle de Pointe-des-Monts. Le transport net à Honguedo est en moyenne 15 fois plus élevé, composé surtout de la circulation autour de l'île d'Anticosti observée d'abord dans la section Jacques-Cartier. De même, le transport net dans le détroit de Cabot est essentiellement compensé par les apports du détroit de Belle Isle, et un rapport estuarien pourrait être une description trompeuse. Dans les sections qui se trouvent sous l'influence estuarienne directe du Saint-Laurent (comme celle de Pointe-des-Monts), les transports réagissent plus directement aux changements intervenant dans le ruissellement alors que dans d'autres (détroit de Cabot, banc Bradelle par exemple), ils réagissent différemment, probablement en raison de la redistribution de la circulation dans le golfe du Saint-Laurent en fonction de la variation du ruissellement. Le rapport de la circulation estuarienne est déterminé par les intensités de mélange dans l'estuaire et est fortement influencé par la stratification. En moyenne, il est le plus élevé pendant les mois d'hiver et le plus bas durant la crue printanière. En fait, il est suffisamment réduit au printemps pour que la moyenne climatologique du transport vers l'extérieur à Pointe-des-Monts atteigne sa valeur minimale en juin, même si c'est le mois qui correspond au troisième transport net le plus élevé de l'année, c.-à-d. que l'estuaire se stratifie suffisamment pour que le ruissellement tende à glisser au-dessus des eaux salées plus denses. Ce phénomène est survenu en 2017 alors que la crue exceptionnelle du mois d'avril s'est traduite par une diminution de la circulation estuarienne modélisée et par conséquent du transport sortant. En avril 2019, le débit au-dessus de la normale a coïncidé avec un transport sortant et un rapport estuarien plus élevé, tandis qu'un débit similairement au-dessus de la normale en mai a conduit à un rapport estuarien plus faible.

STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE À HAUTE FRÉQUENCE DU PMZA

L'Institut Maurice-Lamontagne a commencé un échantillonnage en 1991 à une station au large de Rimouski (48° 40' N 68° 35' O, profondeur de 320 m; Plourde *et al.* 2009), généralement au rythme d'une fois par semaine l'été, moins souvent au printemps et à l'automne et presque jamais en hiver (Fig. 64). En 2013, après plusieurs analyses qui ont révélé de bonnes corrélations et correspondances entre les stations du PMZA du Courant de Gaspé et de la Gyre d'Anticosti et la station Rimouski, il a été décidé d'abandonner les efforts d'échantillonnage à ces stations difficiles sur le plan logistique et d'intégrer officiellement la station de Rimouski dans le PMZA, ainsi que d'y commencer l'échantillonnage hivernal lorsque des possibilités se

présentaient. La station du PMZA de la vallée de Shediac (47° 46,8' N, 64° 01,8' O, profondeur de 84 m) est échantillonnée par l'Institut océanographique de Bedford, par la région du Golfe du MPO et par l'Institut Maurice-Lamontagne (Fig. 64). Cette station a été échantillonnée irrégulièrement depuis 1947, presque chaque année depuis 1957 et plus régulièrement pendant les mois d'été depuis 1999, lorsque le PMZA a débuté. Cependant, les observations étaient essentiellement limitées à la température et à la salinité avant 1999.

Des mouillages océanographiques ont été déployés en rotation depuis l'été 2015 à ces deux stations, fournissant des données pour remplir des trous dans l'échantillonnage en hiver ou durant d'autres moments de l'année. En 2019, les bouées océanographiques équipées d'un profileur automatique de la température et de la salinité ont effectué 193 profils sur toute la profondeur à la station de la vallée de Shediac entre le 16 juin et le 2 novembre, et 388 profils à la station Rimouski jusqu'à 320 m entre le 13 avril et le 6 novembre.

Les isothermes et isohalines, les moyennes mensuelles de température et de salinité, la stratification, de même que la température centrale et l'épaisseur de la CIF à < 1 °C pour 2017-2019 sont illustrées sur la Fig. 65 pour la station Rimouski et sur la Fig. 66 pour celle de la vallée de Shediac. Les climatologies des tableaux sont calculées à partir des données de la période 1991-2010 pour la station Rimouski et de 1981-2010 pour la vallée de Shediac. Les données fournies par les mouillages océanographiques sont utilisées pour illustrer les variations en hiver, et sont aussi utilisées dans les tableaux lorsque les profondeurs inscrites étaient instrumentées.

À la station Rimouski, le changement graduel des eaux froides et peu salées à 200-300 m qui étaient présentes en 2010, vers des eaux plus chaudes et plus salées transportées depuis le détroit de Cabot, a mené aux anomalies chaudes dès mai 2013 et à un record de série observé en septembre 2019 de la température à 320 m (5,99 °C). La CIF était plus chaude et plus mince que la normale en 2019. En juin, la salinité de surface était sous la normale (23,3; - 2,2 ÉT) et la stratification au-dessus de la normale, coïncidant avec la crue printanière élevée (Fig. 7).

Les conditions à la station de la vallée de Shediac (Fig. 66) étaient généralement de normales à plus chaud et moins salées que la normale, incluant de juin à août des salinités de surface sous la normale et une stratification au-dessus de la normale, en accord avec la forte crue printanière et le temps de transport associé à la circulation. Le passage de la tempête tropicale Dorian est apparent avec l'homogénéisation de la température et de la salinité de la surface jusqu'à une profondeur de l'ordre de 30 m au début septembre.

La Fig. 67 illustre la variabilité interannuelle de certaines moyennes par couche de mai à octobre pour les deux stations. Toutes sauf une des métriques de la température étaient au-dessus de la normale, incluant un record de la température près du fond atteint à la station Rimouski (5,81 °C) et un record de la température moyenne 0-50 m à vallée de Shediac.

RÉSUMÉ

La Fig. 68 résume les températures moyennes de la SST, de la CIF en été et des eaux profondes. Bien que les SST de mai à novembre et d'août sont un peu bien corrélées ($R^2=0,41$ pour les données satellitaires de 1982-2019), les SST atteintes en août 2012 et 2014 étaient des anomalies très élevées par rapport aux moyennes de mai à novembre, mais l'inverse s'est produit en 2006. Similairement, l'anomalie positive observée en août 2019 contraste avec l'anomalie négative sur la période de mai à novembre. La figure montre que la température à 300 m est à un record de série plus que centenaire, dépassant la climatologie de 1981-2010 de plus de 1 °C, et montre que la température à 200 m a atteint la moyenne climatologique 1981-2010 pour 300 m.

Un autre récapitulatif de la température du golfe du Saint-Laurent sur une période plus courte (depuis 1971) permet d'inclure davantage d'ensembles de données et trois ensembles de quatre séries chronologiques sont choisies pour représenter les conditions de la couche de surface, de la couche intermédiaire et de la couche profonde (Fig. 69). La phénologie de l'arrivée du printemps et de l'automne basée sur la température moyenne de l'eau de surface utilise le seuil de 12 °C (Fig. 22) ainsi qu'un proxy basé sur la température de l'air avant 1982. La glace de mer est groupée en tant que caractéristique intermédiaire puisque tous ces paramètres sont associés à la formation hivernale. La Fig. 69 indique les sommes de ces trois ensembles d'anomalies représentant l'état de différentes parties du système, et elle est reproduite sur la Fig. 70, où la contribution de chaque série chronologique apparaît sous la forme de barres empilées (Petrie *et al.* 2007). Ces indices composites mesurent l'état général du système climatique, les valeurs positives représentant les conditions d'eau chaude et les valeurs négatives les conditions d'eau froide. Le graphique illustre également le degré de corrélation entre les diverses mesures de l'environnement.

En 2019, l'indice de la couche de surface était sous la normale à - 0,9 ÉT pour la première fois depuis 1992, principalement à cause du réchauffement printanier tardif et du refroidissement d'automne hâtif; ce dernier causé par le passage de la tempête tropicale Dorian. Même la moyenne de température de surface de mai à novembre aurait été près de la normale si la tempête n'avait pas eu lieu, mélangeant des eaux froides des profondeurs en surface. L'indice de la couche intermédiaire était tout juste au-dessus (plus chaud) de la normale à + 0,7 ÉT, causé par les conditions de la CIF sur le plateau madelinien où elles étaient plus chaudes qu'ailleurs dans le golfe. Celui de la couche profonde affichait un record de série à + 3,9 ÉT.

CONCLUSIONS PRINCIPALES

- Le ruissellement annuel moyen du Saint-Laurent en 2019, soit mesuré à Québec ou pour le RIVSUM II, était au-dessus de la normale (15 100 m³s⁻¹, + 2,3 ÉT et 20 200 m³s⁻¹, + 2,0 ÉT, respectivement). La crue printanière du Saint-Laurent s'est étendue plus tard en juin, et la moyenne de mai à juin était en égalité pour le premier rang avec 1974 à 30 900 m³s⁻¹ (+ 3,1 ÉT).
- Le couvert de glace s'est formé tôt dans l'estuaire, dans l'ouest du golfe et le long de la côte de la Basse-Côte-Nord, mais plus tard que normale dans les régions plus au large du golfe. Ce fut l'occurrence de glace la plus hâtive de la série dans l'estuaire supérieur; la première fois en novembre. Le volume maximal de glace de mer était près de la normale à 77 km³ (+ 0,3 ÉT). Sept des dix volumes les plus bas de la série chronologique ont été enregistrés au cours des dix dernières années, mais cela n'incluait toutefois pas 2019.
- Le volume (15 200 km³) de la couche de mélange froide de surface hivernale (< - 1 °C) était le plus élevé de la série (+ 1,2 ÉT par rapport à la climatologie de 1996-2019), correspondant à 48 % du volume total des eaux du golfe. Le volume d'eau pénétrant du plateau du Labrador dans la cuvette de Mécatina était de 3 700 km³, en égalité pour le second plus élevé volume observé (1997-2019), représentant 24 % des eaux froides présentes dans le golfe. Cette entrée a fort probablement contribué au record du volume d'eau froide.
- En août, la moyenne du minimum de température de la couche intermédiaire froide (CIF) était près de la normale à - 0,2 °C, comme l'était aussi l'indice de température minimale de Gilbert et Pettigrew, qui inclut des données sur une saison plus longue (- 0,45 °C; - 0,1 ÉT).
- Les moments du réchauffement printanier et du refroidissement d'automne étaient respectivement plus tard (+ 1,5 ÉT; + 1,3 semaine) et plus tôt (- 2,0 ÉT; -2,0 semaine) que

la normale. Ce refroidissement, le second plus hâtif de la série, a été causé par le mélange vertical de la colonne d'eau durant le passage de la tempête tropicale Dorian qui a redistribué la chaleur dans la colonne d'eau, plutôt que par de la perte de chaleur vers l'atmosphère.

- La température des eaux de surface a atteint un niveau record en septembre (depuis 1982; - 2,1 °C; - 2,7 ÉT), une fois de plus causée par le passage de la tempête tropicale Dorian. La moyenne de mai à novembre 2019 était sous la normale (- 0,3 °C; - 0,5 ÉT), mais elle aurait été près de la normale, n'eût été la tempête. Le mois le plus chaud de l'année, août, était au-dessus de la normale (+ 0,9 °C; + 1,1 ÉT) juste avant la tempête.
- Les températures de l'eau en profondeur ont augmenté dans l'ensemble dans le golfe avec l'advection vers l'intérieur provenant du détroit de Cabot. Les températures moyennes pour l'ensemble du golfe à 150 et 200 m sont moins élevées que les records de série de 2015, mais demeurent au-dessus de la normale (3,3 °C, + 1,6 ÉT et 5,5 °C, + 2,4 ÉT). De nouveaux records de série ont été établis à 250 m (6,3 °C, + 0,8 °C, + 3,8 ÉT) et 300 m (6,5 °C, + 1,0 °C, + 5,7 ÉT). À 300 m, la température a augmenté pour atteindre un record régional dans toutes les régions profondes du golfe : estuaire (5,9 °C, + 4,1 ÉT), nord-ouest du golfe (6,2 °C, + 5,6 ÉT), centre du golfe (6,6 °C, + 5,7 ÉT) et détroit de Cabot (7,1 °C, + 5,8 ÉT).
- La superficie du fond couverte par des eaux à plus de 6 °C est demeurée élevée dans le chenal d'Anticosti et le chenal Esquiman, et elle a atteint des records dans le nord-ouest du golfe et le centre du golfe.

APERÇU POUR 2020

Les températures de l'air étaient près de la normale dans le golfe en décembre 2019, et au-dessus de la normale en janvier et février 2020. Tel était le cadre du relevé de mars 2020, qui donne un aperçu des conditions de la CIF prévues pour le restant de l'année. La Fig. 71 montre la température, la salinité et l'épaisseur de la couche de mélange en surface (à $T < -1$ °C et $T < 0$ °C), ainsi que l'épaisseur et l'étendue de la couche froide et saline qui a pénétré dans le golfe depuis le plateau du Labrador. Presque toute la couche mélangée hivernale était froide (moins de -1 °C) à l'exception de la moitié sud des eaux côtières de Terre-Neuve. Le volume de la couche de surface mélangée plus froide que -1 °C était près de la normale avec 13 100 km³, représentant 39 % de toutes les eaux du golfe. La couche intermédiaire froide pour l'été 2020 devrait donc être plus chaude qu'en 2019, avec un indice de Gilbert et Pettigrew (1997) d'environ -0,34 °C contre -0,45 °C en 2019.

En ce qui concerne les eaux profondes, des records de température ont été enregistrés dans le détroit de Cabot depuis 2012 et les eaux du golfe à une profondeur de 250 et 300 m étaient en moyenne en 2019 à un niveau jamais vu en plus de 100 ans. Bien que le relevé effectué par hélicoptère en mars ne réalise que rarement des échantillons à plus de 210 m de profondeur, des températures supérieures à 7 °C ont été mesurées à cinq stations dans le détroit de Cabot, atteignant 7,70 °C à l'intérieur du golfe. Cela signifie que les conditions plus chaudes que la normale se maintiendront en profondeur.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les personnes chargées de l'acquisition des données CTP pendant les relevés que nous avons utilisées pour préparer le présent rapport :

- Station Rimouski : Roger Pigeon, Félix St-Pierre, Michel Rousseau, Rémi Desmarais, Anthony Ouellet, Nicolas Coulombe, Antoine St-Pierre.
- Station vallée de Shediac : Roger Pigeon, Michel Rousseau, Félix St-Pierre, Nicolas Coulombe, Anthony Ouellet, Kevin Pauley, Tom Hurlbut
- Relevé de mars : Peter Galbraith, Michel Rousseau, Alain Roy, Claude Beaupré et le groupe de Transport Canada à Ottawa pour le design et la construction du nouveau treuil océanographique.
- Transects de juin du PMZA : Caroline Lafleur, Félix St-Pierre, Rémi Desmarais, Nicolas Coulombe, David Leblanc, Anthony Ouellet, Isabelle St-Pierre, Antoine St-Pierre, Marie-Noëlle Bourassa, Andrew Smith, Mélanie Boudreau, Johanne Guérin; les officiers et l'équipage du NGCC *Teleost*.
- Relevé plurispécifique d'août : David Leblanc, Nicolas Coulombe; les officiers et l'équipage du NGCC *Teleost*.
- Relevé d'octobre-novembre du PMZA : David Leblanc, Félix St-Pierre, Rémi Desmarais, Anthony Ouellet, Roger Pigeon, Michel Rousseau, Marie-Noëlle Bourassa, Caroline Lafleur, Hélène Talbot, Jean-Luc Shaw; les officiers et l'équipage du *Coriolis II*.
- Relevé plurispécifique de septembre : Nicolas Rolland.
- Relevé dans le détroit de Northumberland : Renée Allain, Natalie Asselin, Joël Chassé et les officiers et l'équipage du NGCC M. Perley.
- Gestion des données : Caroline Lafleur, Marie-Noëlle Bourassa, Isabelle St-Pierre, Brian Boivin.

Maintenance des instruments de mesure : Roger Pigeon, Félix St-Pierre, Michel Rousseau, Anthony Ouellet, Nicolas Coulombe.

Nous remercions également les autres sources suivantes qui nous ont fourni des données :

- Température de l'air : Environnement Canada.
- Glace de mer : Service canadien des glaces, Environnement Canada. Traitement des fichiers géoréférencés : Jean-Luc Shaw.
- Ruissellement à Québec : Denis Lefaivre et Alain D'Astous
- Ruissellement tiré de la modélisation hydrologique : Joël Chassé et Diane Lavoie.
- Télédétection de la SST tirée des données historiques AVHRR (IML) : Pierre Larouche, Bernard Pettigrew.
- Télédétection de la SST tirée des données historiques AVHRR (IOB) : Carla Caverhill, Cathy Porter.

Toutes les figures ont été produites à l'aide du logiciel libre Gri (Kelley et Galbraith 2000).

Nous remercions également David Hébert et Frédéric Cyr, qui ont révisé le manuscrit et fourni de bons commentaires utiles.

RÉFÉRENCES

- Belzile, M., Galbraith, P.S., et Bourgault, D. 2016. Water renewals in the Saguenay Fjord. *J. Geophys. Res. Oceans*, 121, 638-657, doi:10.1002/2015JC011085.
- Benoît, H.P., Savenkoff, C., Ouellet, P., Galbraith, P.S., Chassé, J. et Fréchet, A. 2012. Impacts of fishing and climate-driven changes in exploited marine populations and communities with implications for management, in State-of-the-Ocean Report for the Gulf of St. Lawrence Integrated Management (GOSLIM) Area, H. P. Benoît, J. A. Gagné, C. Savenkoff, P. Ouellet et M.-N. Bourassa, Eds. *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2986: viii + 73 pp.
- Casey, K.S., Brandon, T.B., Cornillon, P., et Evans, R. 2010. "[The Past, Present and Future of the AVHRR Pathfinder SST Program](#)", in *Oceanography from Space: Revisited*, eds. V. Barale, J.F.R. Gower, and L. Alberotanza, Springer.
- Cyr, F., Bourgault, D. et Galbraith, P.S. 2011. Interior versus boundary mixing of a cold intermediate layer. *J. Geophys. Res. (Oceans)*, 116, C12029, doi:10.1029/2011JC007359.
- 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 Terre-Neuve et Labrador en 2018](#). *DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc.* 2020/018 iv + 50.
- Dutil, J.-D., Proulx, S., Galbraith, P.S., Chassé, J., Lambert, N. et Laurian, C. 2012. Coastal and epipelagic habitats of the estuary and Gulf of St. Lawrence. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3009: ix + 87 p.
- Galbraith, P.S. 2006. Winter water masses in the Gulf of St. Lawrence. *J. Geophys. Res.*, 111, C06022, doi:10.1029/2005JC003159.
- Galbraith, P.S. et Grégoire, F. 2015. [Habitat thermique du maquereau bleu: profondeur de l'isotherme de 8 °C dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1960 et 2014](#). *Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech.* 2014/116. v + 13 p.
- Galbraith, P.S. et Larouche, P. 2011. Sea-surface temperature in Hudson Bay and Hudson Strait in relation to air temperature and ice cover breakup, 1985-2009. *J. Mar. Systems*, 87, 66-78.
- Galbraith, P.S. et Larouche, P. 2013. Trends and variability in eastern Canada sea-surface temperatures. Ch. 1 (p. 1-18) 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.
- Galbraith, P.S., Saucier, F.J., Michaud, N., Lefavre, D., Corriveau, R., Roy, F., Pigeon, R. et Cantin, S. 2002. Shipborne monitoring of near-surface temperature and salinity in the Estuary and Gulf of St. Lawrence. *Atlantic Zone Monitoring Program Bulletin*, Dept. of Fisheries and Oceans Canada. No. 2: 26–30.
- Galbraith, P.S., Desmarais, R., Pigeon, R. et Cantin, S. 2006. Ten years of monitoring winter water masses in the Gulf of St. Lawrence by helicopter. *Atlantic Zone Monitoring Program Bulletin*, Dept. of Fisheries and Oceans Canada. No. 5: 32–35.
- Galbraith, P.S., Larouche, P., Gilbert, D., Chassé, J. et Petrie, B. 2010. Trends in sea-surface and CIL temperatures in the Gulf of St. Lawrence in relation to air temperature. *Atlantic Zone Monitoring Program Bulletin*, 9: 20-23.
- Galbraith P.S., Larouche, P., Chassé, J. et 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. II*, V77–80, 10–20.

-
- Galbraith, P.S., Hebert, D., Colbourne, E. et Pettipas, R. 2013. Trends and variability in eastern Canada sub-surface ocean temperatures and implications for sea ice. Ch.5 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 + 192 p.
- Galbraith, P.S., Chassé, J., Caverhill, C., Nicot, P., Gilbert, D., Pettigrew, B., Lefavre, D., Brickman, D., Devine, L., and Lafleur, C. 2017. [Physical Oceanographic Conditions in the Gulf of St. Lawrence in 2016](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/044. v + 91 p.
- Galbraith, P.S., Bourgault, D., et Belzile, M. 2018. Circulation et renouvellement des masses d'eau du fjord du Saguenay. *Naturaliste Canadien*, 142-2:36-46. doi:10.7202/1047147ar
- 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. iv + 83 p.
- Gilbert, D. 2004. Propagation of temperature signals from the northwest Atlantic continental shelf edge into the Laurentian Channel. *ICES CM*, 2004/N:7, 12 pp.
- Gilbert, D. et Pettigrew, B. 1997. Interannual variability (1948-1994) of the CIL core temperature in the Gulf of St. Lawrence. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 54 (Suppl. 1): 57–67.
- Gilbert, D., Sundby, B., Gobeil, C., Mucci, A. et 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(5): 1654–1666.
- Hammill, M.O. et Galbraith, P.S. 2012. Changes in seasonal sea-ice cover and its effect on marine mammals, in State-of-the-Ocean Report for the Gulf of St. Lawrence Integrated Management (GOSLIM) Area, H. P. Benoît, J. A. Gagné, C. Savenkoff, P. Ouellet and M.-N. Bourassa, Eds. *Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2986: viii + 73 pp.
- Hebert, D., Pettipas, R., Brickman, D., et Dever, M. 2018. [Meteorological, Sea Ice and Physical Oceanographic Conditions on the Scotian Shelf and in the Gulf of Maine during 2016](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2018/016. v + 53 p..
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, 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., Ropelewski, C., Wang, J., Leetmaa, A., Reynolds, R., Jenne, R. et Josephé, D. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 77, 437–470.
- Kelley, D.E. et Galbraith, P.S. 2000. Gri: A language for scientific illustration, *Linux J.*, 75, 92–101.
- Lauzier, L.M. et Trites, R.W. 1958. The deep waters of the Laurentian Channel. *J. Fish. Res. Board Can.* 15: 1247–1257.
- Lefavre, D., D'Astous, A., et Matte, P. 2016. Hindcast of Water Level and Flow in the St. Lawrence River over the 2005–2012 period. *Atmosphere-Ocean*, 54 (3), 264-277.
- McLellan, H.J. 1957. On the distinctness and origin of the slope water off the Scotian Shelf and its easterly flow south of the Grand Banks. *J. Fish. Res. Board. Can.* 14: 213–239.
- MPO. 2020. Conditions océanographiques dans la zone atlantique en 2019. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2020/028.
- Petrie, B., Drinkwater, K., Sandström, A., Pettipas, R., Gregory, D., Gilbert, D. et Sekhon, P. 1996. Temperature, salinity and sigma-t atlas for the Gulf of St. Lawrence. *Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci.*, 178: v + 256 pp.
-

-
- Petrie, B., Pettipas, R.G. et Petrie, W.M. 2007. [An overview of meteorological, sea ice and sea surface temperature conditions off eastern Canada during 2006](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2007/022.
- Pettigrew, B., Gilbert, D. et Desmarais R. 2016. Thermograph network in the Gulf of St. Lawrence. Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 311: vi + 77 p.
- Plourde, S., Joly, P., St-Amand, L. et Starr, M. 2009. La station de monitoring de Rimouski : plus de 400 visites et 18 ans de monitoring et de recherche. Atlantic Zone Monitoring Program Bulletin, Dept. of Fisheries and Oceans Canada. No. 8: 51-55.
- Tamdrari, H., Castonguay, M., Brêthes, J.-C., Galbraith, P.S. et Duplisea, D.E. 2012. The dispersal pattern and behaviour of cod in the northern Gulf of St. Lawrence: results from tagging experiments, Can. J. Fish. Aquat. Sci. 69: 112-121.
- Therriault, J.-C., Petrie, B., Pépin, P., Gagnon, J., Gregory, D., Helbig, J., Herman, A., Lefavre, D., Mitchell, M., Pelchat, B., Runge, J. et Sameoto, D. 1998. Proposal for a Northwest Atlantic zonal monitoring program. Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci., 194: vii + 57 pp.
- Vincent, L. A., Wang, X. L., Milewska, E. J., Wan, H., Yang, F. et Swail, V. 2012. A second generation of homogenized Canadian monthly surface air temperature for climate trend analysis, J. Geophys. Res., 117, D18110, doi:10.1029/2012JD017859.

FIGURES

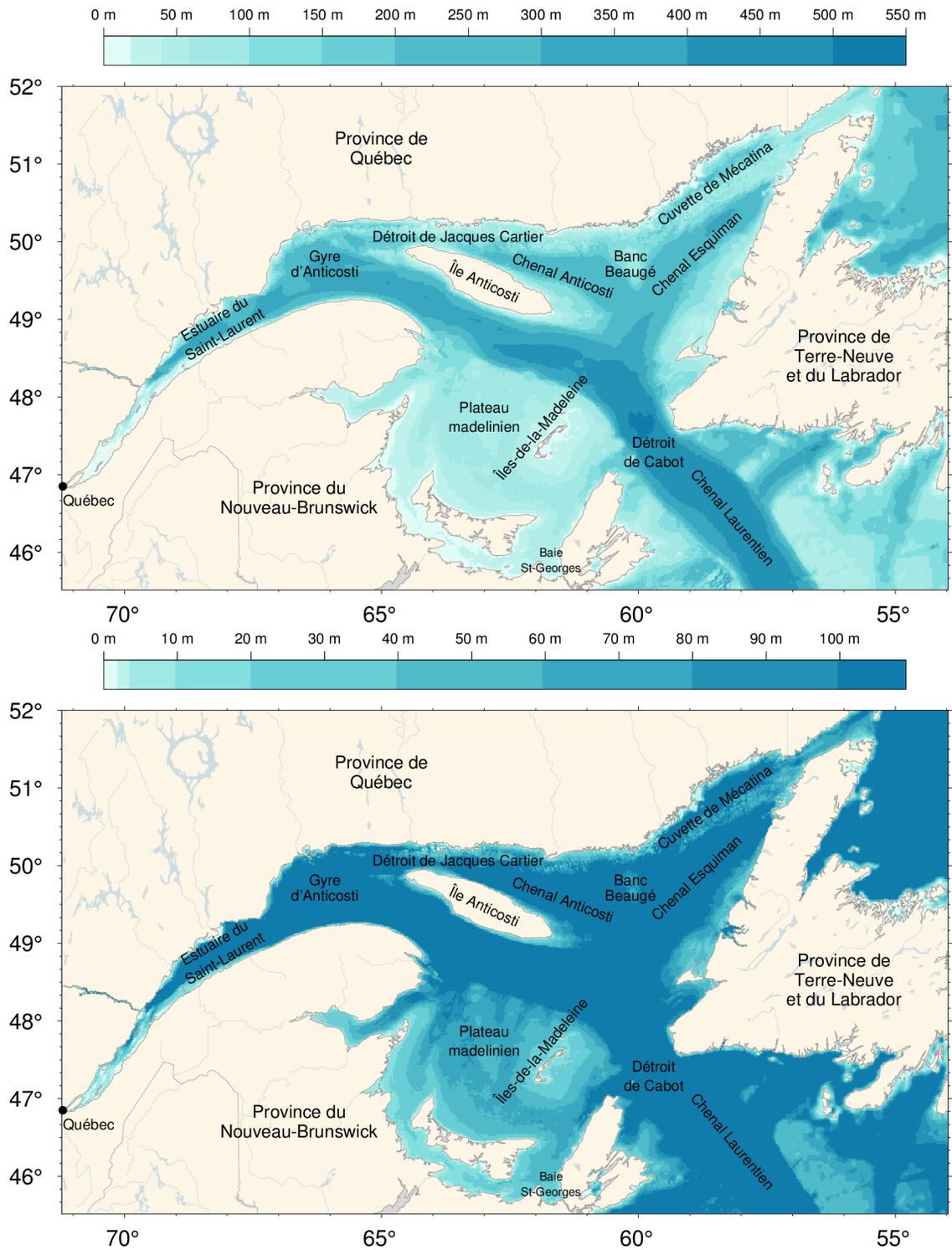


Fig. 1. Golfe du Saint-Laurent. Les lieux mentionnés dans le texte sont indiqués. Les ensembles de données bathymétriques utilisés proviennent du Service hydrographique du Canada à l'ouest de la longitude 56°47' O (quelques corrections ont été apportées à la baie des Chaleurs et au Plateau madelinien), et de TOPEX à l'est. Le panneau inférieur montre la bathymétrie de 0 à 100 m en détail.

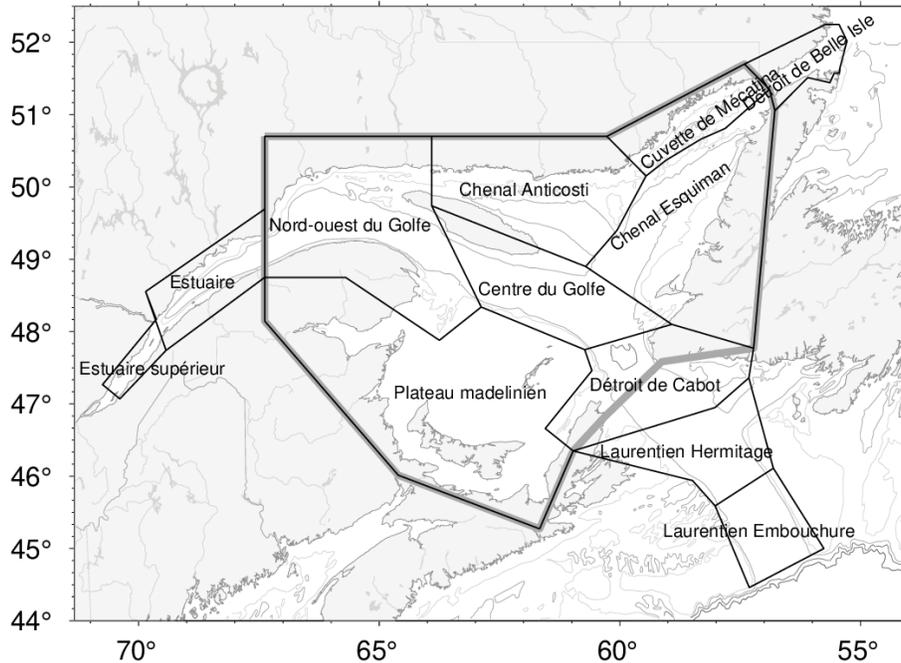


Fig. 2. Golfe du Saint-Laurent divisé en régions océanographiques utilisées pour les moyennes spatiales. La ligne grise en trait gras délimite l'étendue du golfe utilisée pour moyenner la température de surface.

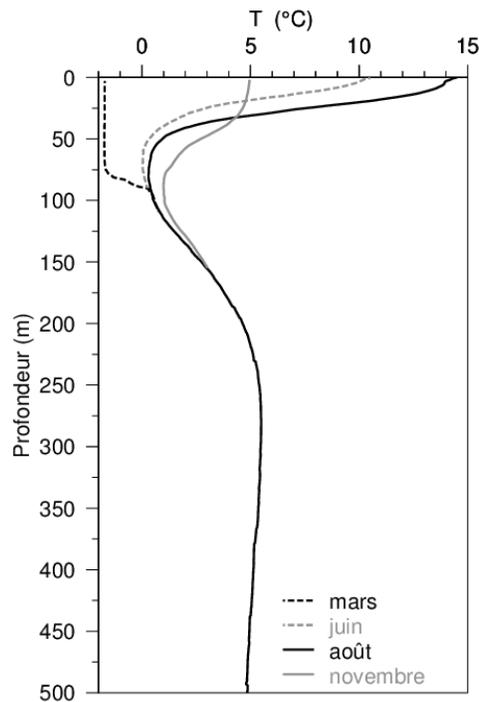


Fig. 3. Progression saisonnière typique du profil de profondeur de la température observé dans le golfe du Saint-Laurent. Les profils sont des moyennes d'observations faites en août, en juin et en novembre 2007 dans le nord du golfe. La ligne pointillée sur la gauche indique un seul profil de la température hivernal (mars 2008), avec des températures près du point de congélation dans les 75 premiers mètres. La couche intermédiaire froide (CIF) est définie comme la portion de la colonne d'eau dont la température est inférieure à 1 °C, mais certains auteurs utilisent un seuil de température différent. Figure tirée de Galbraith et al. (2012).

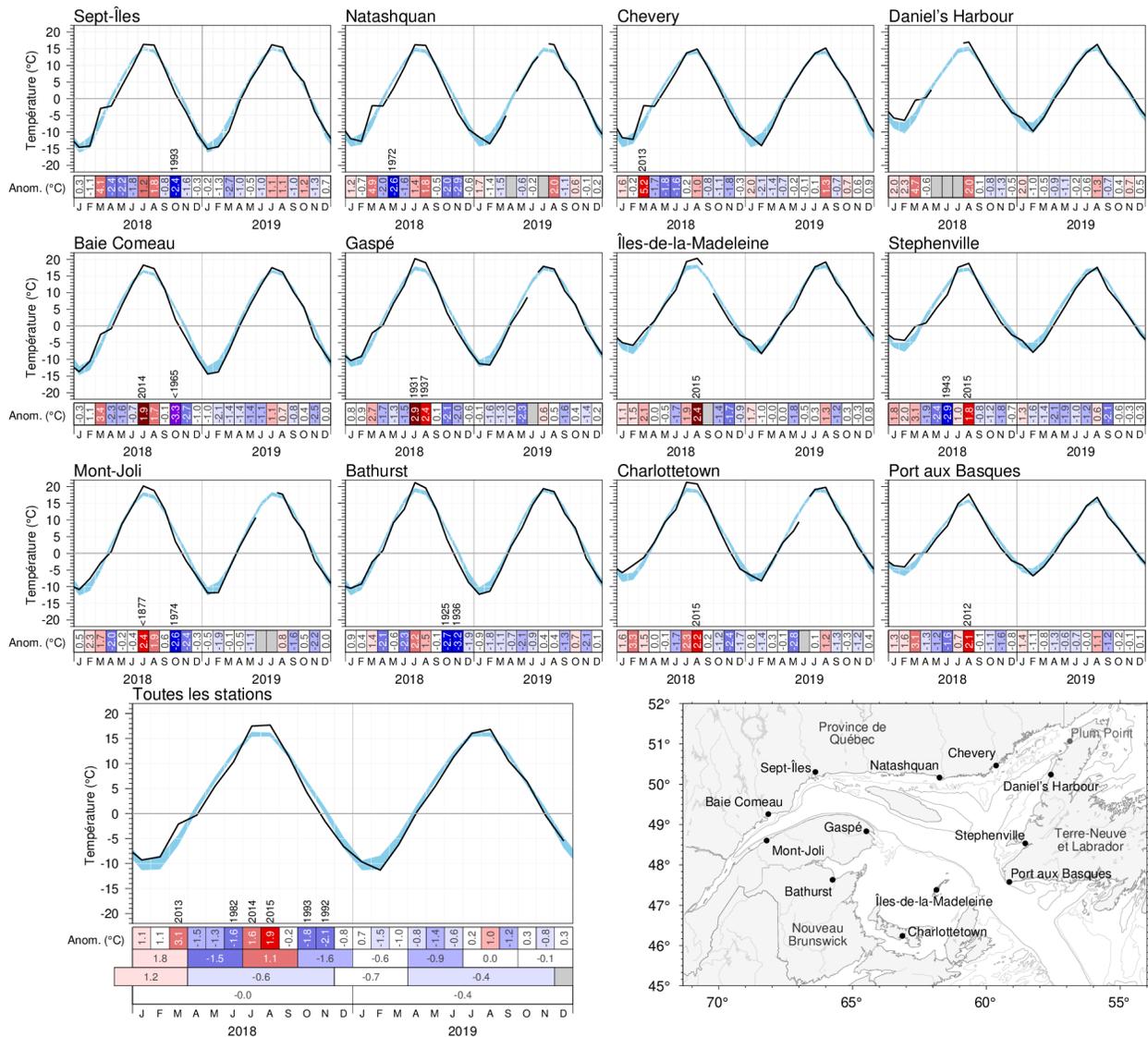


Fig. 4. Températures de l'air mensuelles et anomalies pour 2018 et 2019 à des stations météorologiques autour du golfe, et moyenne pour toutes les stations. La zone bleue représente la moyenne mensuelle climatologique pour 1981–2010 $\pm 0,5$ ÉT. Les mois pour lesquels les données sont manquantes pour quatre jours ou plus sont omis. Les tableaux du bas sont codés par couleurs en fonction des anomalies normalisées mensuelles d'après les climatologies de 1981–2010 pour chaque mois, mais les nombres sont les anomalies mensuelles exprimées en °C. Pour les anomalies de plus de 2 ÉT par rapport à la normale, l'année précédente où une anomalie plus importante a été enregistrée est indiquée. Les anomalies saisonnières, de décembre à mars, d'avril à novembre et annuelles sont incluses pour le panneau affichant la moyenne pour toutes les stations. Les observations à Plum Point (pas illustrées) avaient été interrompues depuis 2016, mais elles sont de retour depuis avril 2019 et sont incluses dans la moyenne pour toutes les stations.

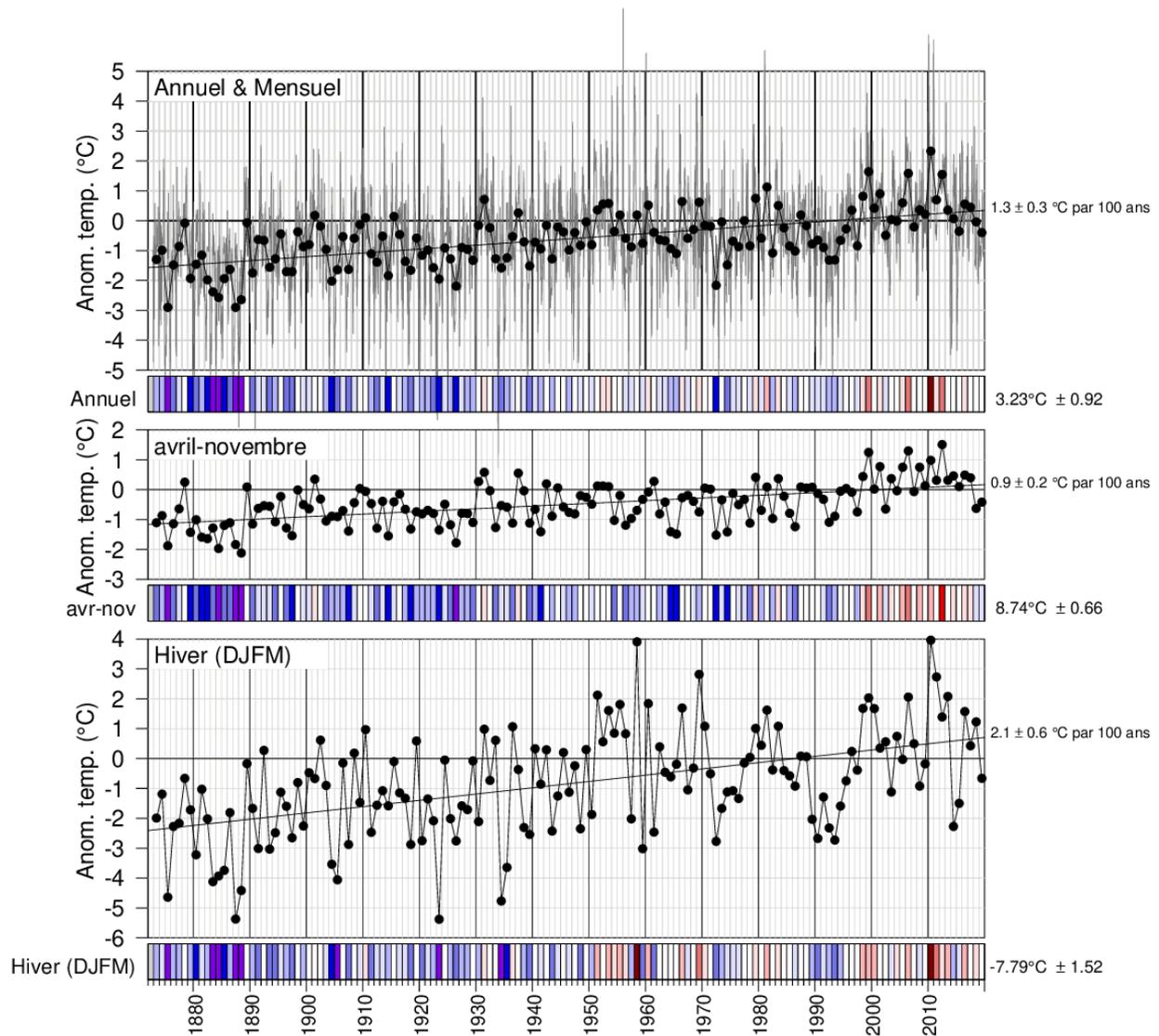


Fig. 5. Anomalies de la température de l'air moyenne annuelle, d'avril à novembre et de décembre à mars, moyennées pour les stations autour du golfe comme pour la Fig. 4. Les tableaux du bas sont codés par couleurs en fonction des anomalies normalisées d'après la climatologie de 1981-2010. Les tendances sont indiquées, plus et moins leurs intervalles de confiance à 95 %. Les anomalies de la température de l'air d'avril à novembre ont tendance à être fortement corrélées avec celles de la température à la surface de la mer de mai à novembre (Galbraith et al. 2012; Galbraith et Larouche 2013), tandis que les anomalies de la température de l'air en hiver sont fortement corrélées avec les paramètres du couvert de glace de mer et avec le volume de la couche de mélange hivernale (Galbraith et al. 2010; Galbraith et al. 2013).

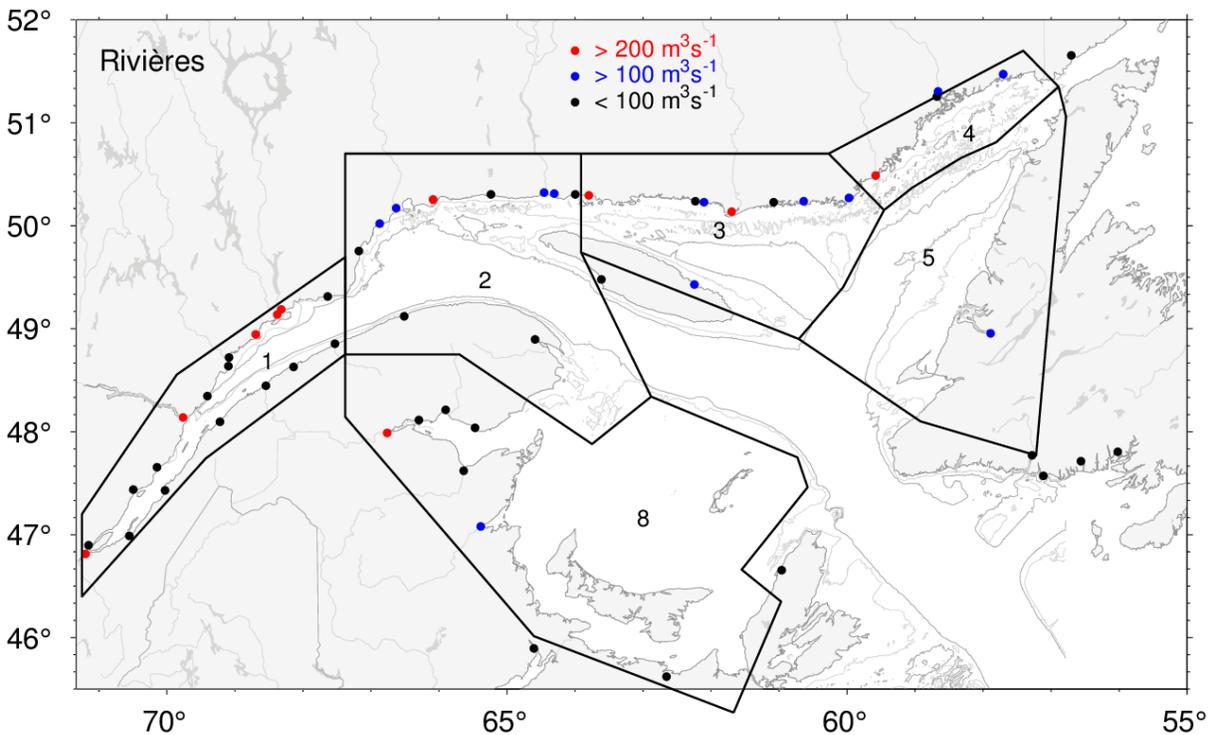


Fig. 8. Emplacements de l'embouchure des rivières utilisées pour calculer les sommes régionales du ruissellement de la Fig. 9. Les points rouges et bleus indiquent les rivières dont le ruissellement moyen climatologique est supérieur à $200 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ et compris entre 100 et $200 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, respectivement.

RivSum II	16594	18774	18934	18712	26118	23501	17326	15329	15316	15843	17087	17078	17057	17602	18724	19905	31392	30356	21614	17506	16572	16311	17707	17300	17724 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
Fleuve St-Laurent	12563	14779	15075	14175	18557	16475	12707	11210	11164	11310	12956	13285	13368	13893	14924	15117	22766	21546	16143	13078	12345	11817	13399	13447	12746 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
1 - Estuaire	4031	3995	3859	4537	7561	7026	4619	4119	4152	4533	4131	3793	3689	3709	3800	4788	8626	8810	5471	4428	4227	4494	4308	3853	4978 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
2 - Nord-ouest du Golfe	124	45	102	456	1549	3738	2705	1399	1087	741	428	291	81	15	78	290	1796	4668	2753	1240	621	485	500	191	1129 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
3 - Chenal Anticosti	371	168	112	495	1650	3860	3758	1750	1139	1360	1032	517	159	61	144	335	1637	4462	3116	1653	1059	733	1019	545	1234 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
4 - Cuvette de Mécatina	162	70	43	205	750	2210	2828	1246	575	874	695	291	87	23	51	125	852	2713	2048	938	580	351	560	294	738 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
5 - Chenal Esquiman	235	189	95	195	377	431	114	43	128	282	242	168	156	89	78	161	348	540	140	32	79	88	276	285	162 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
8 - Plateau madelinien	600	340	352	1216	1883	874	100	49	136	659	1037	711	377	233	571	1699	2307	1251	180	47	417	443	608	572	617 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
	2018												2019												

Fig. 9. Anomalies mensuelles du RivSum II, du ruissellement du Saint-Laurent retardé de 21 jours, et des sommes de toutes les autres grandes rivières qui se jettent dans différentes régions du golfe pour 2018 et 2019. Les tableaux sont codés par couleurs en fonction des anomalies normalisées mensuelles d'après les climatologies de 1981–2010 pour chaque mois, mais les nombres sont les ruissellements mensuels moyens, en $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$. Les nombres indiqués sur le côté droit sont les moyennes climatologiques annuelles. La régulation du ruissellement est simulée pour trois rivières qui se jettent dans l'estuaire (Saguenay, Manicouagan, Outardes).

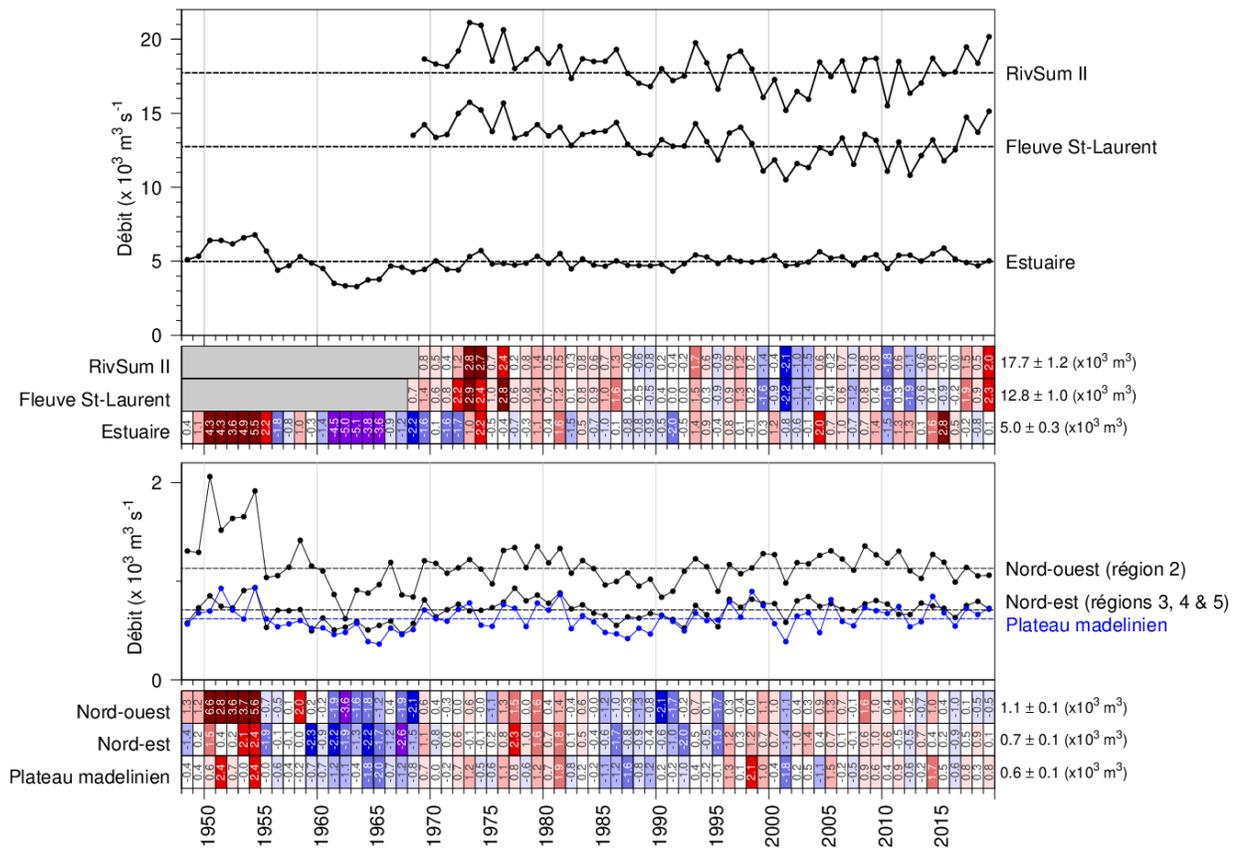


Fig. 10. Débit moyen annuel d'eau douce du Saint-Laurent à Québec et somme de toutes les rivières qui se jettent dans les régions de l'estuaire et du golfe, et de la somme de ces deux : le RivSum II. La moyenne climatologique de 1981–2010 est indiquée par les lignes horizontales et sur la droite des tableaux. Les nombres indiqués dans les tableaux sont les anomalies normalisées.

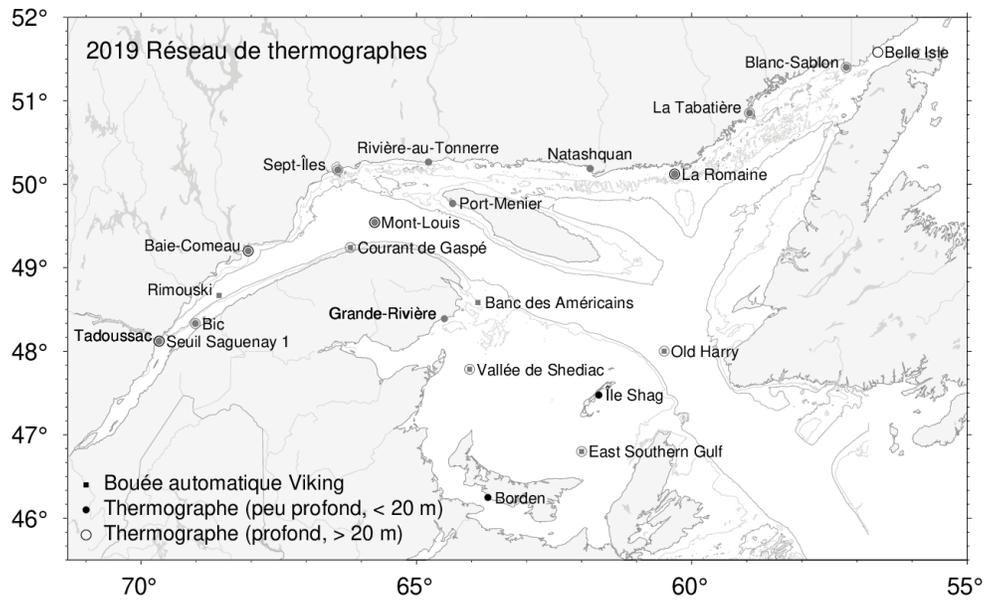


Fig. 11. Stations du réseau de thermographes côtiers de l'Institut Maurice Lamontagne en 2019, incluant les bouées océanographiques Viking (carrés) qui transmettent des données en temps réel. Les instruments profonds et peu profonds sont démarqués par des cercles ouverts et des points, tandis que les déploiements saisonniers et à l'année sont distingués par la couleur en gris ou en noir.

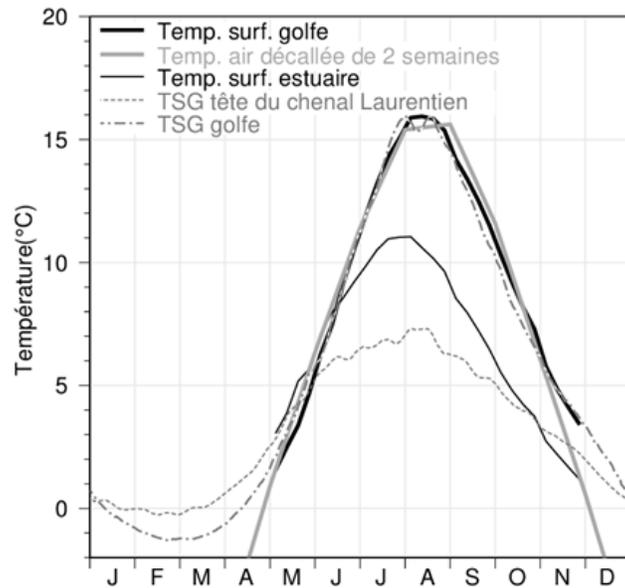


Fig. 12. Cycle saisonnier climatologique de la température de surface de la mer dans le golfe du Saint-Laurent. Les moyennes hebdomadaires de la température de 1985 à 2010, tirées des données AVHRR, sont représentées de mai à novembre (mois où les eaux sont libres de glace) pour le golfe (ligne noire épaisse) et l'estuaire maritime du Saint-Laurent, plus froid (ligne noire fine), défini comme la zone située à l'ouest de la section de Pointe-des-Monts et à l'est de $69^{\circ} 30' O$ environ. Les moyennes des données des thermosalinographes de 2000 à 2010 sont indiquées pour la tête du chenal Laurentien (à $69^{\circ} 30' O$, ligne grise pointillée) et pour la moyenne des eaux du golfe le long de la principale route de navigation entre les sections de Pointe-des-Monts et du détroit de Cabot (ligne grise de points et de tirets). La température de l'air mensuelle, moyennée sur huit stations dans le golfe du Saint-Laurent, est représentée décalée de deux semaines (ligne grise épaisse; les mois d'hiver ne sont pas représentés). Figure tirée de Galbraith et al. (2012).

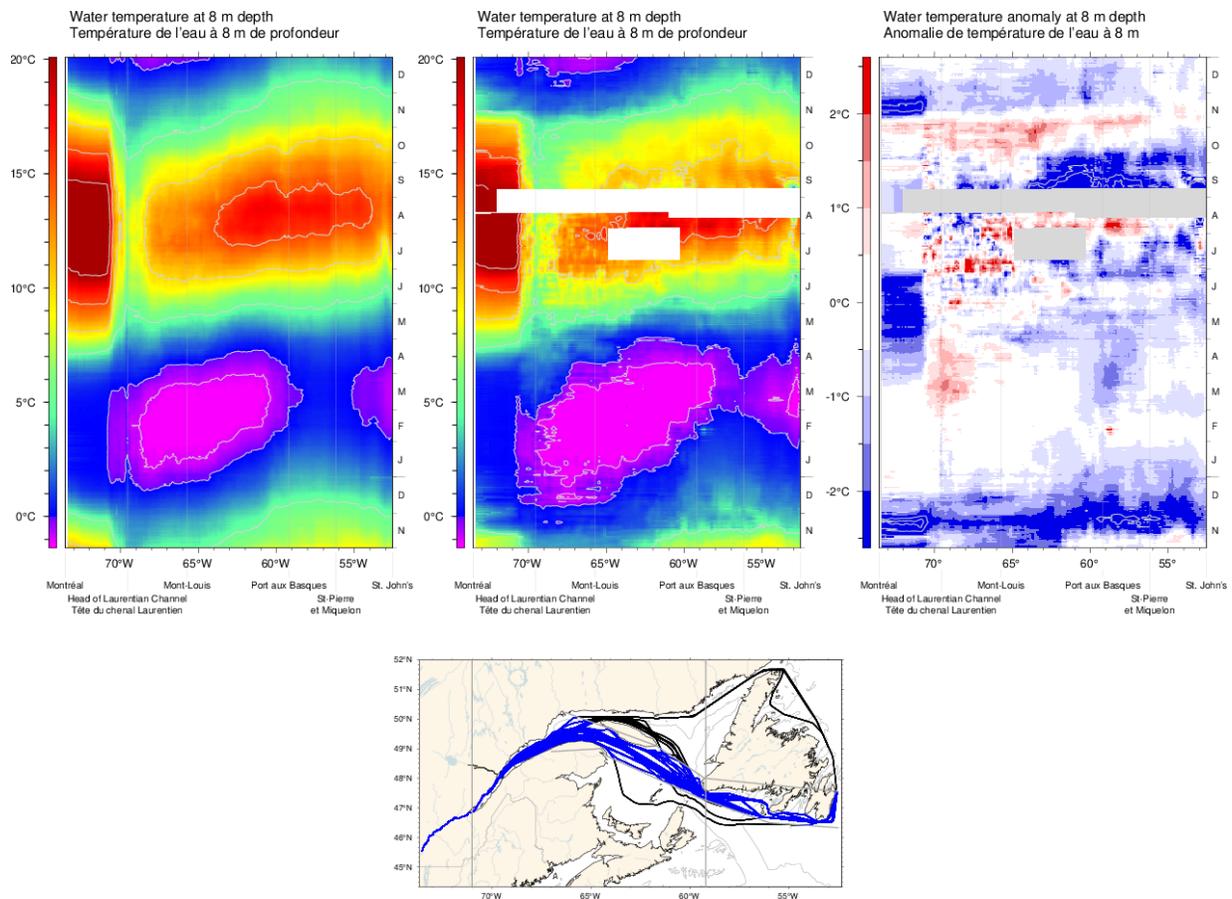


Fig. 13. Données des thermosalinographes à une profondeur de 8 m le long du corridor de navigation entre Montréal et St.John's : cycle annuel moyen composite de la température de l'eau de 2000 à 2019 (panneau de gauche), cycle annuel composite de la température de l'eau en 2019 (panneau du milieu) et anomalie de la température de l'eau en 2019 par rapport au composite pour 2000-2019 (panneau de droite). La carte indique tous les trajets du navire en 2019, avec ceux utilisés dans l'analyse en bleu.

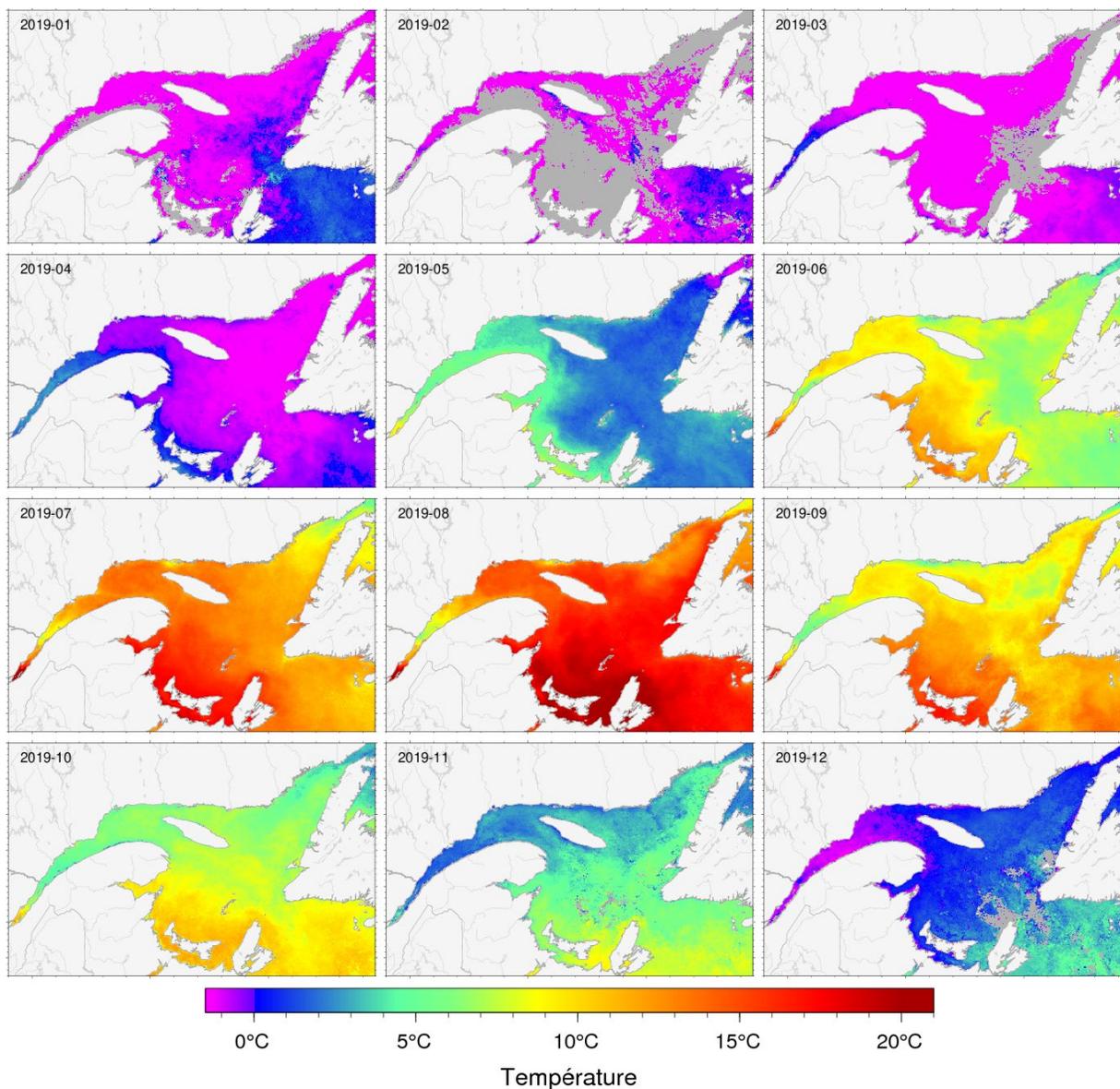


Fig. 14. Moyennes mensuelles de la température de surface de la mer en 2019 telles qu'observées avec les données de télédétection AVHRR. Les zones grises indiquent les zones pour lesquelles les données manquent en raison du couvert de glace ou de nuages.

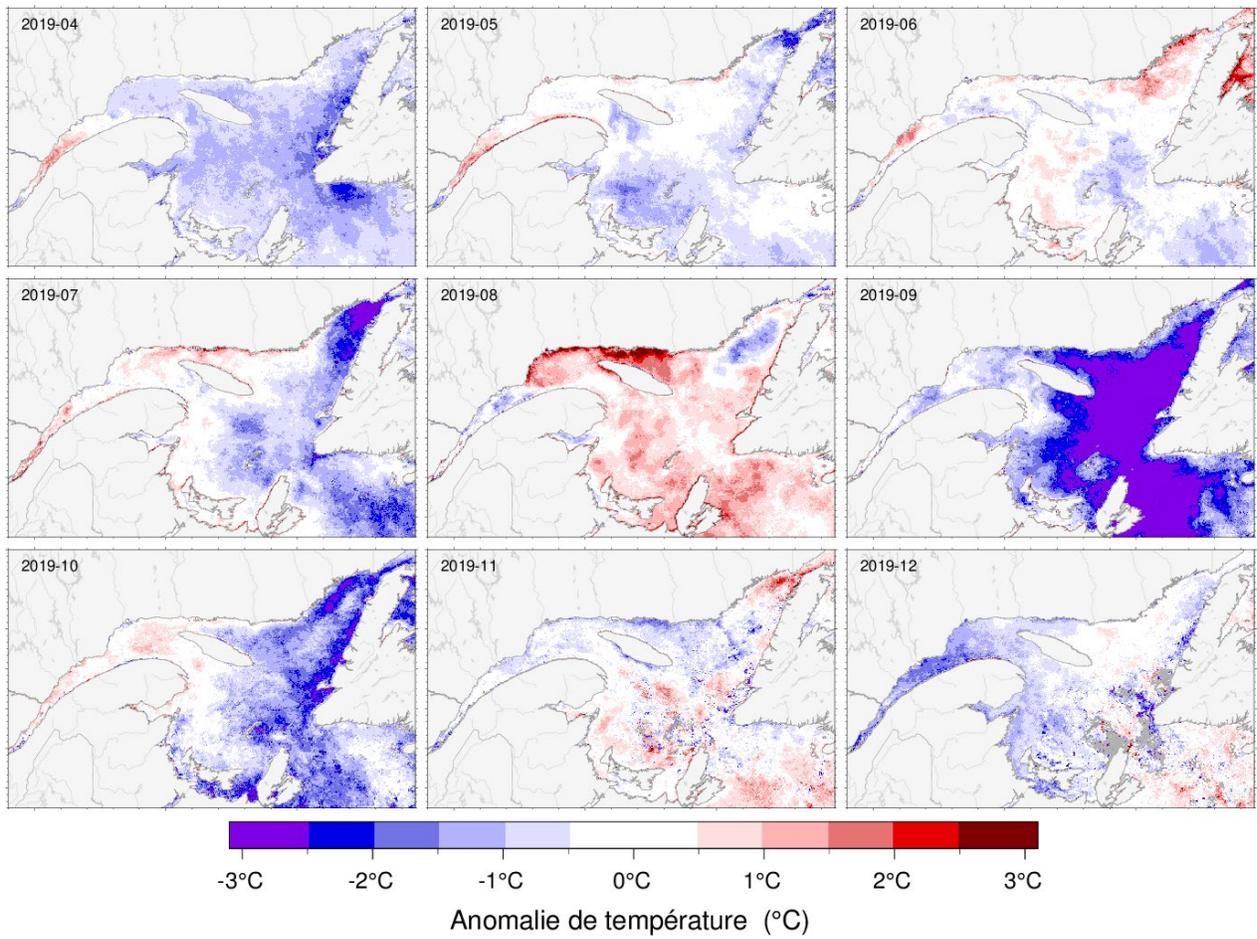


Fig. 15. Anomalies de la température de surface de la mer pour avril à décembre 2019 d'après les climatologies mensuelles calculées pour la période 1981-2010, observées avec les données de télédétection AVHRR.

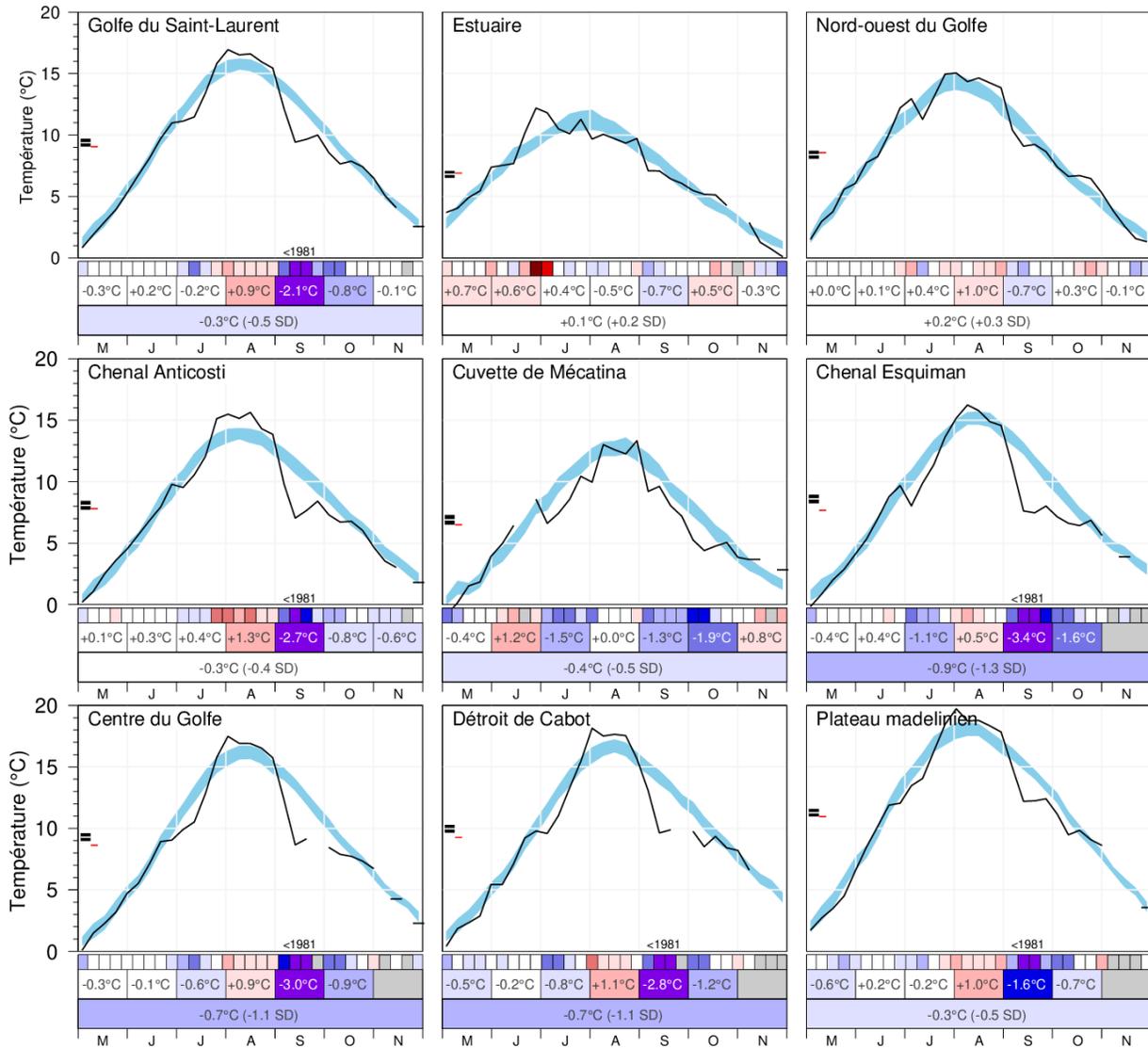


Fig. 16. Moyennes mensuelles de mai à novembre de la SST tirée des données AVHRR pour le golfe et pour huit régions du golfe. La zone bleue représente la moyenne mensuelle climatologique pour 1981–2010 \pm 0,5 ÉT. La moyenne climatologique plus et moins un demi-écart-type de la moyenne de température saisonnière sont indiqués par les lignes doubles en noir sur la gauche des panneaux, et la moyenne pour la saison considérée est indiquée en rouge. Les tableaux sont codés par couleurs en fonction des anomalies normalisées d'après les climatologies de 1981–2010 pour chaque mois ou pour la période de mai à novembre (ligne du bas), mais les nombres sont les anomalies de la température moyenne mensuelle.

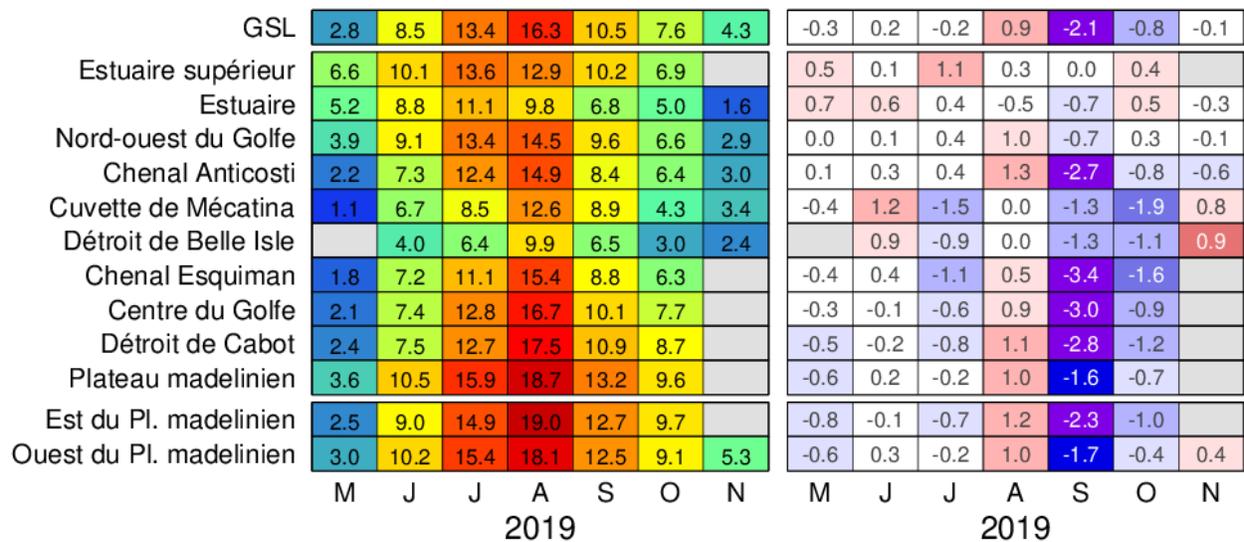


Fig. 17. Anomalies mensuelles de mai à novembre de la SST tirée des données AVHRR, moyennées pour le golfe et pour des régions du golfe en 2019. Le panneau de gauche indique les températures moyennes mensuelles par région. Le panneau de droite indique les anomalies moyennes de température par région exprimées en °C, mais les couleurs sont en fonction des anomalies normalisées mensuelles d'après les climatologies de 1981–2010 pour chaque mois.

		1982																																								
		1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019			
Golfe	M	2.1	3.2	2.9	2.5	3.5	3.1	3.7	2.4	1.8	2.0	1.9	2.5	2.9	3.6	3.0	1.9	4.7	4.2	3.0	4.1	2.4	2.7	2.7	3.5	5.3	2.9	4.2	3.0	3.9	3.3	4.3	3.8	3.2	2.5	4.2	3.3	2.5	2.8	3.09°C ± 0.87		
	J	7.6	8.4	7.0	6.9	7.1	8.7	7.2	8.7	6.9	7.8	7.5	8.1	8.4	9.2	9.4	7.9	9.4	10.1	8.5	9.7	7.9	8.2	7.3	9.0	10.3	8.7	8.7	9.2	8.1	8.0	9.6	8.5	9.5	7.7	8.1	9.0	6.8	8.5	8.34°C ± 0.96		
	J	12.1	13.0	14.0	13.4	12.1	13.9	13.2	13.7	12.4	12.2	11.4	12.7	14.8	14.7	13.3	13.5	14.3	15.0	14.0	13.9	13.1	13.8	13.9	14.1	15.3	14.3	15.0	13.5	14.2	13.1	15.0	14.1	14.9	13.0	13.6	14.0	13.6	13.4	13.61°C ± 0.91		
	A	13.8	13.9	16.1	15.1	14.5	14.9	15.6	14.6	15.0	14.5	13.8	15.8	15.6	16.0	16.4	15.2	15.3	16.1	16.7	16.0	15.9	15.6	16.1	15.1	15.8	15.1	16.1	16.2	16.5	15.6	17.4	15.4	17.1	16.5	16.1	15.4	16.5	16.3	15.42°C ± 0.87		
	S	11.2	12.7	12.7	12.7	11.3	12.2	11.7	11.2	12.3	11.8	12.7	12.6	12.8	12.1	13.7	13.1	13.1	14.4	13.2	13.3	12.1	12.9	11.9	13.5	13.3	11.8	13.2	12.0	13.2	12.7	14.2	12.4	12.6	14.0	12.7	13.7	12.8	10.5	12.59°C ± 0.77		
	O	8.3	9.3	7.2	8.5	7.4	8.3	7.6	6.5	8.2	8.3	7.4	7.9	9.2	9.3	8.4	8.6	7.8	8.6	8.2	9.3	7.7	9.3	8.7	8.8	9.1	8.3	8.7	8.1	8.8	8.6	8.8	9.1	8.5	8.8	8.6	8.9	7.5	7.6	8.32°C ± 0.68		
N		4.9		3.5	3.3	3.7	3.8	3.2		4.8	3.3	3.9	5.1	5.1	4.5	4.4	4.2	4.2	4.2	4.4	3.5	4.1	4.8	5.1	5.5	4.6	5.0	4.4	5.1	5.1	5.3	4.6	4.4	4.3	5.7	4.6	3.0	4.3	4.33°C ± 0.66			
M-N		8.3	9.3	9.1	8.9	8.4	9.3	9.0	8.6	8.6	8.8	8.3	9.1	9.8	10.0	9.8	9.2	9.8	10.4	9.7	10.1	8.9	9.5	9.4	9.9	10.7	9.4	10.1	9.5	9.9	9.5	10.7	9.7	10.0	9.6	9.9	9.8	9.0	9.1	9.38°C ± 0.62		
Estuaire supérieur	M				5.6	5.9	6.0		5.4		5.7	5.9	5.9	6.5	6.2	5.1	7.0	6.8	6.5	6.9	5.6	5.3	6.0	5.7	6.8	6.2	7.0	6.1	6.4	6.1	6.8	6.8		6.8	7.1		6.4	6.6	6.10°C ± 0.55			
	J				8.7	8.5	9.9	9.1	9.3	9.3	10.1	8.5	10.2	11.2	10.6	10.3	9.9	10.3	10.7	10.0	10.9	9.7	10.2	9.9	10.3	11.3	10.3	10.3	9.6	9.7	10.4	11.0	10.2	12.0	10.5	12.0	11.1	10.4	10.1	9.96°C ± 0.74		
	J				12.2	10.8	12.6	11.7	12.3	11.8	11.5	10.9	13.5	14.4	13.0	12.8	12.5	13.2	12.7	12.5	12.2	13.0	12.1	12.8	12.9	13.3	12.8	13.4	12.2	13.1	13.5	13.1	12.6	12.7	13.4	13.7	13.6	13.0	13.6	12.54°C ± 0.80		
	A				11.9	11.8	11.7	12.3	11.4	12.8	12.3	11.6	13.4	13.1	13.0	13.3	12.2	12.5	12.7	13.0	13.1	13.6	13.1	12.5	12.7	13.1	12.0	13.9	13.3	12.6	13.1	13.3	12.4	13.9	14.4	13.9	13.6	13.5	12.9	12.66°C ± 0.66		
	S				9.8	8.8	9.2	8.9	9.6	9.6	9.8	9.8	10.5	10.3	10.1	10.9	11.0	11.0	11.2	10.1	10.6	10.8	10.3	10.3	10.6	10.0	9.9	10.3	9.9	10.7	10.9	10.6	9.5	10.9	12.4	11.4	11.8	11.3	10.2	10.15°C ± 0.62		
	O				6.1	5.9	5.5	4.9	5.5	6.0	5.6	5.6	8.0	7.1	6.5	7.0	6.9	6.8	6.5	6.9	6.9	6.2	6.8	7.1	6.9	7.6	6.6	6.1	7.0	7.3	6.9	7.4	7.2	6.7	7.9	8.3		6.9	6.48°C ± 0.73			
N				2.0	2.1				2.3	1.9	2.3	4.2	2.8	2.5	3.2	2.8	2.9	2.2	3.4	1.8	2.5	3.2	2.9	3.8	3.4	3.1	3.4	2.9	3.7	3.6	2.6		4.1	3.6	1.4			2.80°C ± 0.64				
M-N				7.6	8.2	7.9	7.8	8.1	8.2	7.7	8.8	9.6	9.0	8.9	8.7	9.1	9.1	8.7	9.1	8.8	8.5	8.8	8.9	9.3	8.9	9.2	8.7	8.9	9.3	9.3	8.8	9.6	9.8	10.0	10.0	9.0	9.1	8.66°C ± 0.53				
Estuaire	M	2.8	2.4			4.8	4.2	4.6	3.2	3.8	4.2	3.7	4.6	5.2	5.3	4.7	4.1	5.4	5.4	5.0	5.7	4.4	4.3	3.8	3.7	5.6	4.7	5.7	4.0	5.6	4.3	5.5	4.9	5.8	4.9	5.9	4.8	4.3	5.2	4.48°C ± 0.89		
	J				6.8	7.5	6.5	7.5	8.0	7.8	7.1	7.9	7.6	9.0	8.8	8.5	8.9	8.4	9.4	8.7	7.8	9.4	8.2	8.0	7.7	8.2	9.6	9.1	8.8	7.8	8.8	8.8	9.7	7.7	10.9	8.5	9.8	9.2	8.0	8.8	8.21°C ± 0.80	
	J				9.7	9.4	10.4	11.2	10.4	9.0	9.0	9.3	12.4	11.4	11.9	10.8	10.2	10.4	10.1	11.9	10.1	11.1	11.2	11.3	11.3	11.5	10.8	11.5	10.5	11.3	11.7	11.8	9.6	9.5	11.0	11.3	9.9	10.7	11.1	10.69°C ± 0.93		
	A				9.8	9.3	9.6	10.8	8.2	9.9	10.0	6.5	11.9	10.2	10.8	10.9	9.6	9.0	10.7	11.6	10.4	11.2	11.1	9.5	9.4	10.4	9.7	12.2	11.0	10.8	11.6	12.3	9.0	13.8	12.0	11.4	9.4	10.9	9.8	10.25°C ± 0.99		
	S				8.1	6.5	6.7	6.1	6.4	7.2	6.2	7.2	7.9	7.6	7.0	8.9	8.3	9.0	9.2	7.2	7.7	8.3	7.2	7.0	8.1	7.8	6.5	8.3	6.9	8.4	8.2	8.2	6.6	8.0	9.2	9.0	9.3	7.9	6.8	7.52°C ± 0.86		
	O				5.1	5.3	3.9	4.7	4.0	4.0	3.4	2.7	3.7	3.8	3.2	3.4	5.9	4.9	4.2	4.8	4.2	5.0	4.0	4.7	4.6	4.5	4.7	5.2	4.9	5.3	4.4	4.9	5.0	5.4	5.3	5.5	5.0	4.8	6.0	5.3	3.7	5.0
N				1.9			1.5	0.9	1.1	1.5		1.6	1.9	1.3	1.5	3.5	1.6	1.6	1.9	2.2	2.0	1.6	2.2	1.2	1.3	2.5	2.7	2.1	2.0	2.7	2.1	2.7	2.6	1.9	2.4		1.9	1.6	1.92°C ± 0.63			
M-N				6.5	5.9	6.2	6.5	5.6	6.0	6.1	5.8	7.2	7.5	7.1	7.2	6.7	7.1	7.3	7.0	7.2	7.0	6.8	6.7	6.9	7.6	6.9	7.6	6.8	7.4	7.5	7.9	6.4	7.9	7.5	8.1	7.1	6.8	6.9	6.80°C ± 0.56			
Nord-ouest du Golfe	M	2.4	2.8	3.8	3.4	5.0	3.6	4.5	2.7	3.0	2.5	3.2	3.6	4.3	4.7	3.5	3.0	5.7	5.1	3.8	5.6	3.0	3.9	2.9	3.7	5.4	3.6	5.4	3.2	3.9	4.5	4.7	4.5	3.2	5.3	4.4	2.9	3.9	3.86°C ± 0.98			
	J	7.7	7.8	8.4	8.0	7.5	8.8	8.0	9.7	7.7	8.2	8.3	9.6	9.8	10.3	10.5	8.9	10.0	10.2	8.9	9.9	8.2	9.0	7.8	9.7	10.7	9.2	9.1	9.0	9.4	9.1	10.5	8.4	11.2	8.4	8.9	10.2	7.6	9.1	8.97°C ± 0.94		
	J	10.9	11.8	13.7	13.4	11.3	12.8	13.6	13.2	11.6	11.3	11.0	13.4	14.1	14.7	13.0	12.7	13.5	13.5	13.9	12.7	12.7	13.3	13.4	14.4	14.4	13.7	13.9	12.9	14.2	13.4	13.9	12.6	14.0	12.4	13.3	12.8	12.8	13.4	13.07°C ± 1.05		
	A	12.1	12.8	14.5	13.4	12.8	12.2	14.1	11.2	13.5	13.0	11.5	15.3	13.0	14.3	14.1	13.0	13.5	14.3	15.1	13.4	14.2	14.0	13.5	12.8	13.2	12.7	15.2	14.3	14.2	14.3	15.6	12.7	16.8	15.4	14.0	12.2	14.3	14.5	13.53°C ± 0.97		
	S	8.6	10.0	10.9	10.9	8.9	9.4	8.8	9.1	9.8	9.9	10.5	10.5	9.9	10.1	11.7	11.4	12.0	12.1	10.2	10.5	9.9	10.3	9.3	10.9	10.2	8.8	11.5	9.4	11.4	10.7	11.6	9.8	11.3	11.8	11.0	11.4	10.0	9.6	10.25°C ± 0.98		
	O	6.9	6.6	4.9	6.3	5.6	5.7	5.2	4.4	5.5	5.9	5.0	5.2	8.2	6.7	6.6	7.0	6.3	7.1	5.8	6.5	5.5	7.0	6.8	6.9	6.5	6.2	6.5	7.0	6.8	7.2	6.3	7.7	6.6	7.0	7.8	6.5	6.3	6.6	6.26°C ± 0.83		
N				3.4	1.8	2.3			1.9	2.4	1.6	1.6	3.5	1.6	2.1	4.5	3.0	3.0	3.2	3.3	3.0	2.9	2.8	2.3	2.3	4.1	4.2	4.5	3.3	3.6	3.7	4.1	3.4	3.3	3.2	2.8	4.7	2.6	1.5	2.9	2.93°C ± 0.88	
M-N				7.2	7.9	8.3	8.2	7.6	7.8	8.1	7.5	7.5	7.7	7.3	8.6	9.1	9.1	8.9	8.4	9.2	9.3	8.6	8.8	8.0	8.5	8.3	8.9	9.3	8.2	9.3	8.5	9.2	9.0	9.4	8.4	9.7	8.7	9.3	8.6	7.8	8.6	8.39°C ± 0.65
Chenal Anticosti	M	1.1	2.3	1.7	1.4	2.1	2.3	2.6	1.4	1.0	1.8	1.0	1.6	1.9	2.8	2.2	0.8	3.6	3.2	1.9	3.1	1.5	1.4	1.7	2.6	4.4	1.6	3.4	1.8	3.0	2.1	3.1	2.6	1.9	1.6	3.7	2.2	1.5	2.2	2.11°C ± 0.87		
	J	5.7	6.8	5.8	5.3	5.5	7.7	6.2	7.7	4.9	6.3	6.1	7.3	6.8	7.7	8.6	6.8	8.2	8.7	6.8	8.1	6.8	6.8	6.3	8.6	9.7	6.8	7.1	8.3	6.5	6.6	8.3	7.1	8.1	6.7	7.2	6.9	6.0	7.3	7.03°C ± 1.15		
	J	10.5	11.5	13.0	11.7	10.6	12.4	11.4	12.5	10.3	10.3	10.2	11.1	12.4	12.9	12.1	12.0	12.8	12.9	12.4	11.9	11.7	12.1	12.6	12.8	13.0	13.0	13.6	12.2	12.1	12.1	13.3	11.8	14.1	11.3	12.1	11.3	11				

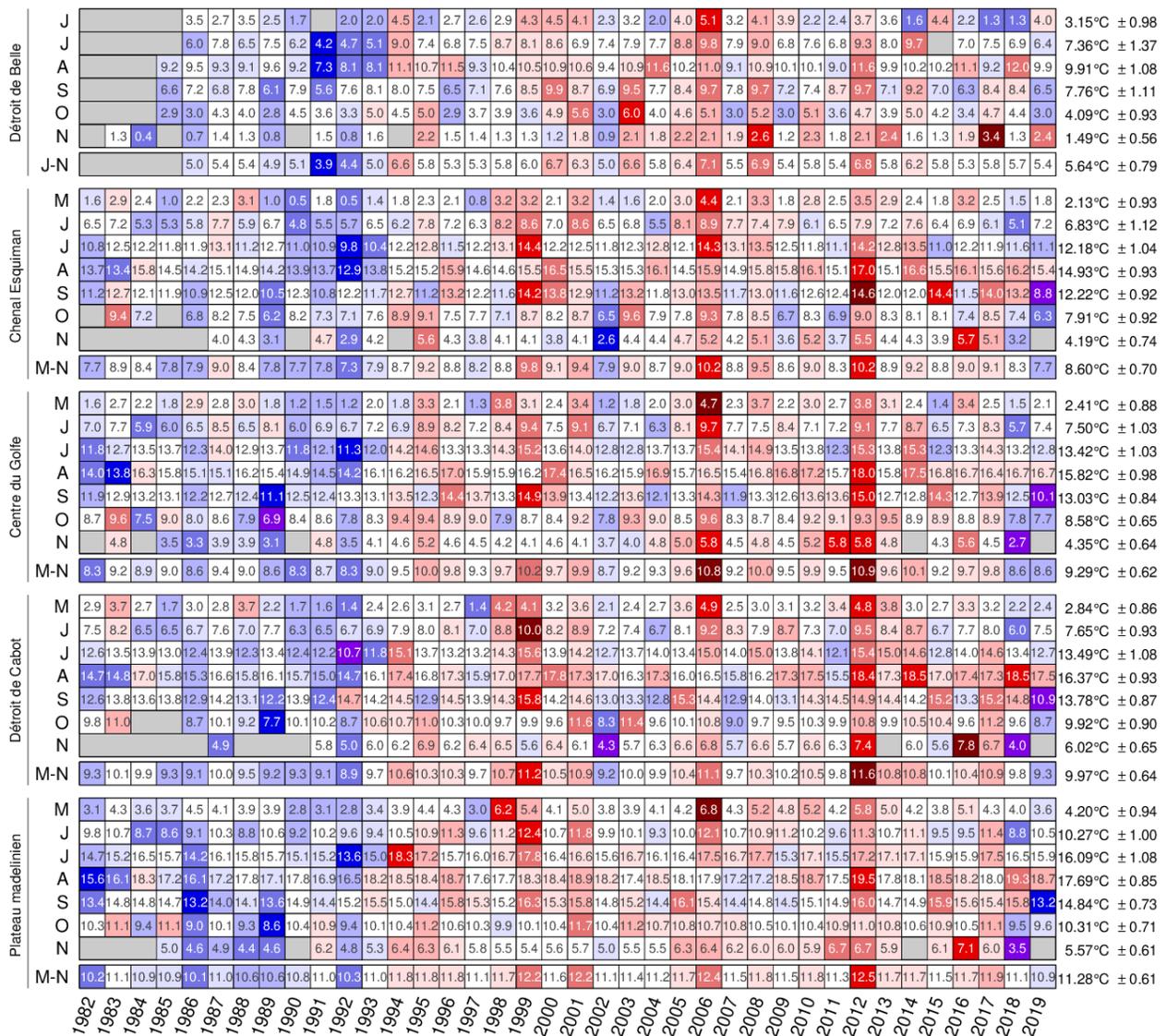


Fig. 19. Anomalies mensuelles de mai à novembre de la SST tirée des données AVHRR, moyennées pour d'autres régions du golfe. Les tableaux sont codés par couleurs en fonction des anomalies normalisées mensuelles d'après les climatologies de 1981–2010 pour chaque mois, mais les nombres sont les températures moyennes mensuelles, en °C. La moyenne pour 1981–2010 et l'écart-type sont indiqués pour chaque mois à droite du tableau. La moyenne de mai à novembre est également indiquée. Les données de 1981 ne sont pas illustrées, car elles ne débutent qu'en septembre.

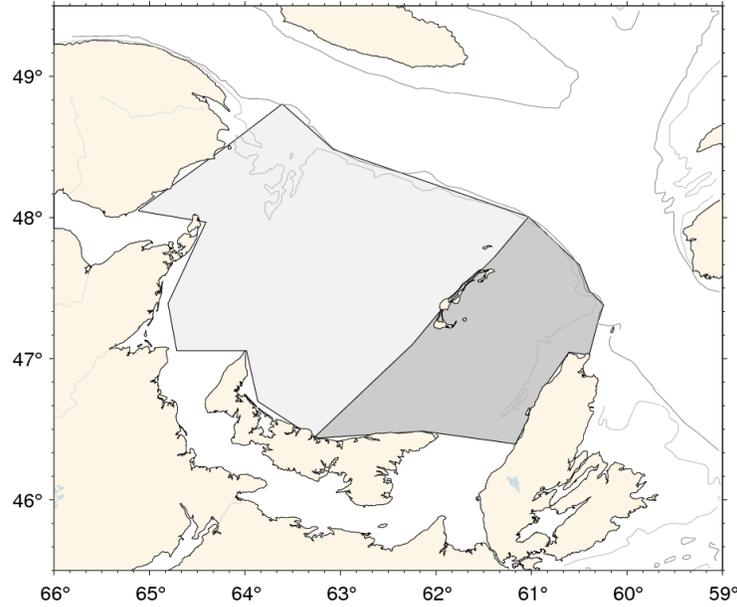


Fig. 20. Zones définies comme l'ouest et l'est du plateau madelinien.

	M																					4.20°C ± 0.94																			
Plateau madelinien	J	3.1	4.3	3.6	3.7	4.5	4.1	3.9	3.9	2.8	3.1	2.8	3.4	3.9	4.4	4.3	3.0	6.2	5.4	4.1	5.0	3.8	3.9	4.1	4.2	6.8	4.3	5.2	4.8	5.2	4.2	5.8	5.0	4.2	3.8	5.1	4.3	4.0	3.6	10.27°C ± 1.00	
	J	9.8	10.7	8.7	8.6	9.1	10.3	8.8	10.6	9.2	10.2	9.6	9.4	10.5	10.9	11.3	9.6	11.2	12.4	10.7	11.8	9.9	10.1	9.3	10.0	12.1	10.7	10.9	11.2	10.2	9.6	11.3	10.7	11.1	9.5	9.5	11.4	8.8	10.5	16.09°C ± 1.08	
	J	14.7	15.2	16.5	15.7	14.2	16.1	15.8	15.7	15.1	15.2	13.6	15.0	18.3	17.2	15.7	16.0	16.7	17.6	16.4	16.6	15.6	16.7	16.1	16.4	17.5	16.7	17.7	15.3	17.1	15.5	17.2	17.1	17.1	15.9	15.9	17.5	16.5	15.9	17.69°C ± 0.85	
	A	15.6	16.1	18.3	17.2	16.1	17.2	17.8	17.1	17.8	16.9	16.5	18.2	18.5	18.4	18.7	17.6	17.7	18.3	18.4	18.9	18.2	17.4	18.5	18.1	17.9	17.2	17.2	18.5	18.7	17.5	19.5	17.8	18.1	18.5	18.2	18.0	19.3	18.7	14.84°C ± 0.73	
	S	14.9	13.4	14.8	14.8	14.7	13.2	14.0	14.1	13.6	14.9	14.4	15.2	15.5	15.0	14.4	15.8	15.3	15.2	16.3	15.3	15.8	14.8	15.2	14.4	16.1	15.4	14.4	14.8	14.5	15.1	14.9	16.0	14.7	14.9	15.9	15.6	15.4	15.8	13.2	10.31°C ± 0.71
	O	9.2	10.3	11.1	9.4	11.1	9.0	10.1	9.3	8.6	10.4	10.9	9.4	10.1	10.4	11.2	10.6	10.3	9.9	10.1	10.4	11.7	10.4	11.2	10.7	10.8	10.7	10.8	10.5	10.1	10.4	10.9	11.0	10.8	10.6	10.9	10.5	11.1	9.5	9.6	5.57°C ± 0.61
N				5.0	4.6	4.9	4.4	4.6		6.2	4.8	5.3	6.4	6.3	6.1	5.8	5.5	5.4	5.6	5.7	5.0	5.5	5.5	6.3	6.4	6.2	6.0	6.0	5.9	6.7	6.7	5.9		6.1	7.1	6.0	3.5				
Est du PL. madelinien	M	2.8	3.8	2.6	2.5	3.7	2.6	3.8	3.1	1.6	1.8	1.4	2.4	3.2	3.1	3.3	1.7	5.2	4.4	3.1	4.0	2.6	3.1	3.1	3.6	5.9	3.2	3.8	3.7	4.0	3.7	4.7	4.2	3.1	2.6	3.8	3.8	2.8	2.5	3.21°C ± 1.00	
	J	8.5	10.1	7.5	7.0	8.1	9.4	7.5	9.1	7.7	8.5	8.3	8.1	9.2	9.4	10.1	8.4	10.4	11.4	9.5	10.7	8.8	8.7	8.3	8.8	11.0	9.8	9.8	10.1	8.9	8.5	10.7	9.8	9.7	7.8	8.3	10.1	7.3	9.0	9.07°C ± 1.10	
	J	14.5	15.2	16.0	14.8	14.2	15.7	15.1	15.1	14.5	14.6	12.7	13.7	17.8	16.4	14.9	15.4	16.2	17.8	18.9	16.3	15.1	15.9	15.7	15.4	17.5	15.9	17.4	14.8	16.6	14.2	17.1	16.8	16.6	15.2	15.5	17.4	16.1	14.9	15.55°C ± 1.19	
	A	15.8	15.9	18.4	17.5	16.2	17.7	17.4	17.3	17.4	16.8	16.6	17.6	19.0	18.4	19.1	17.6	18.0	18.7	18.6	19.1	18.3	17.6	18.8	18.0	17.9	17.2	17.2	18.7	19.1	17.5	19.8	18.3	18.9	18.2	18.7	18.7	19.9	19.0	17.80°C ± 0.95	
	S	14.8	13.8	14.9	14.7	14.9	13.6	14.8	14.3	13.8	14.8	14.2	15.7	15.7	15.7	14.2	15.7	15.4	15.0	16.7	15.9	16.2	15.0	15.4	14.4	16.4	15.6	14.3	14.9	14.7	15.0	15.4	16.2	14.9	14.7	15.9	15.8	16.2	16.2	12.7	15.02°C ± 0.77
	O	10.1	11.9	9.5		9.4	10.7	10.1	9.0	10.2	11.6	10.0	11.0	10.8	11.5	11.2	10.8	10.0	10.2	10.7	12.2	10.2	11.6	11.0	11.1	10.9	10.8	11.0	10.3	10.8	11.0	11.4	11.1	10.6	11.0	10.7	11.7	10.1	9.7	10.67°C ± 0.74	
N				5.0						6.4	5.2	6.0	6.3	6.7	6.7	6.2	5.8	5.6	6.2	6.0	3.3	6.0	5.6	6.5	6.2	6.5	6.5	6.1	6.3	7.2	7.4		6.2	7.6	6.5		6.06°C ± 0.48				
Ouest du PL. madelinien	M	2.4	3.7	3.2	3.3	4.0	3.9	3.8	3.2	2.5	2.7	2.4	2.9	3.0	4.1	3.6	2.6	5.8	4.7	3.5	4.4	3.2	3.2	3.6	3.6	6.2	3.8	5.0	4.2	4.5	3.3	5.2	4.2	3.4	3.1	4.5	3.4	3.3	3.0	3.68°C ± 0.93	
	J	9.3	9.8	8.3	8.1	8.6	10.3	8.5	10.4	8.5	9.8	9.4	9.0	9.8	10.7	10.9	9.2	10.7	11.9	10.1	11.5	9.4	9.5	8.8	9.5	11.6	10.0	10.3	10.7	9.5	9.1	11.0	9.9	10.6	9.2	8.7	11.1	9.2	10.2	9.80°C ± 0.99	
	J	14.0	14.2	16.1	15.5	14.3	15.8	15.5	15.5	14.4	14.3	13.3	14.4	17.7	17.2	15.2	15.5	16.3	17.3	16.1	16.1	15.1	16.1	15.6	16.1	17.1	16.4	17.1	14.9	16.4	15.1	16.8	16.3	16.7	15.5	15.2	16.9	15.8	15.4	15.65°C ± 1.11	
	A	15.0	15.7	17.9	16.9	15.7	16.4	17.7	16.5	17.1	16.2	15.7	18.0	17.7	18.1	18.2	17.2	17.1	17.6	18.1	18.2	17.5	16.8	17.8	17.8	17.5	16.5	17.0	18.0	18.3	17.2	19.1	17.1	17.5	18.2	17.7	17.3	18.5	18.1	17.18°C ± 0.91	
	S	14.6	12.6	14.0	14.2	14.1	12.6	13.2	13.5	12.6	14.2	13.6	14.3	14.8	14.1	13.7	15.3	14.9	14.7	15.4	14.6	15.0	13.8	14.4	13.4	15.5	14.7	13.3	14.4	13.7	14.5	14.1	15.6	13.8	14.2	15.1	14.6	14.5	14.9	12.5	14.12°C ± 0.80
	O	8.6	9.7	10.1	8.6	10.3	8.2	9.3	8.4	7.9	9.8	9.9	8.5	9.2	9.6	10.3	10.0	9.7	9.2	9.3	9.6	10.7	9.7	10.4	9.9	10.0	9.9	9.7	9.7	9.5	9.7	10.1	10.2	10.0	9.9	10.2	9.7	9.9	8.8	9.1	9.51°C ± 0.68
N			5.2	4.8	4.6	4.1	4.2	3.7	3.8		5.6	4.2	4.5	5.8	5.7	5.6	5.3	4.8	4.8	5.0	4.8	4.7	4.7	5.1	5.8	5.9	5.4	5.4	5.6	5.3	6.2	6.0	5.4	4.4	5.5	6.5	5.2	3.0	5.3	4.97°C ± 0.62	
		1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	

Fig. 21. Anomalies mensuelles de mai à novembre de la SST tirée des données AVHRR, moyennée pour le plateau madelinien (région 8 du golfe) et pour les sous-régions Est et Ouest du plateau madelinien (Fig. 20). Les tableaux sont codés par couleurs en fonction des anomalies normalisées mensuelles d'après les climatologies de 1981–2010 pour chaque mois, mais les nombres sont les températures moyennes mensuelles, en °C. La moyenne pour 1981–2010 et l'écart-type sont indiqués pour chaque mois à droite du tableau.

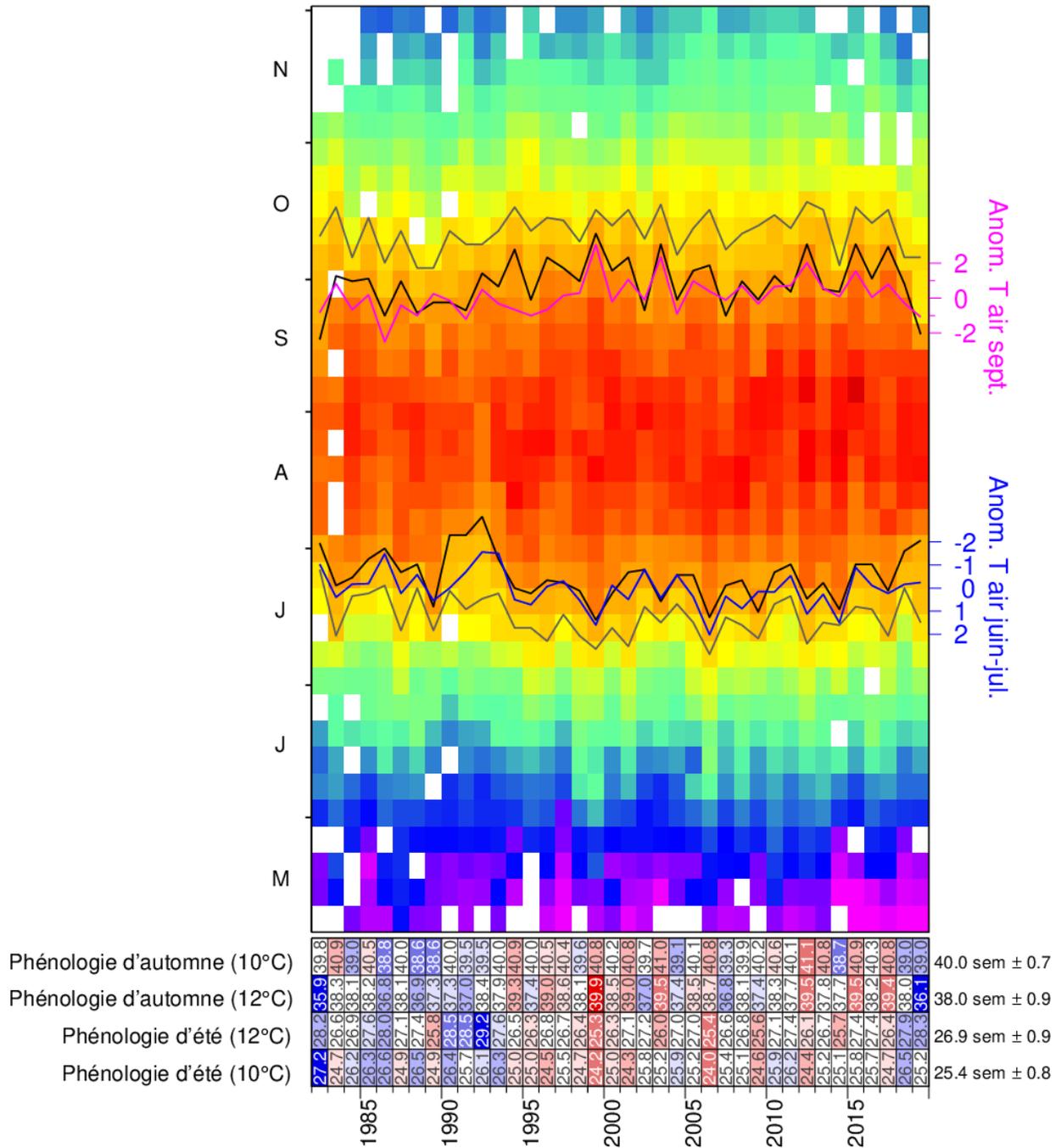


Fig. 22. Matrice de la SST hebdomadaire moyenne (1982–2019) pour le golfe du Saint-Laurent. Les lignes noires représentent la première et la dernière occurrence de l'isotherme de 12 °C et les indicateurs indirects tirés de la température moyenne de l'air en juin-juillet (bleu) ainsi qu'en septembre (magenta) sont également indiqués (axes à droite). Les lignes grises représentent la première et la dernière occurrence de l'isotherme de 10 °C. Les tableaux sont codés par couleurs en fonction des anomalies normalisées d'après la série chronologique de 1981–2010, mais les nombres indiquent le nombre de semaines pendant lesquelles le seuil a été dépassé. Actualisé à partir de Galbraith et Larouche 2013.

Estuary and NW Gulf / Estuaire et NO du Golfe

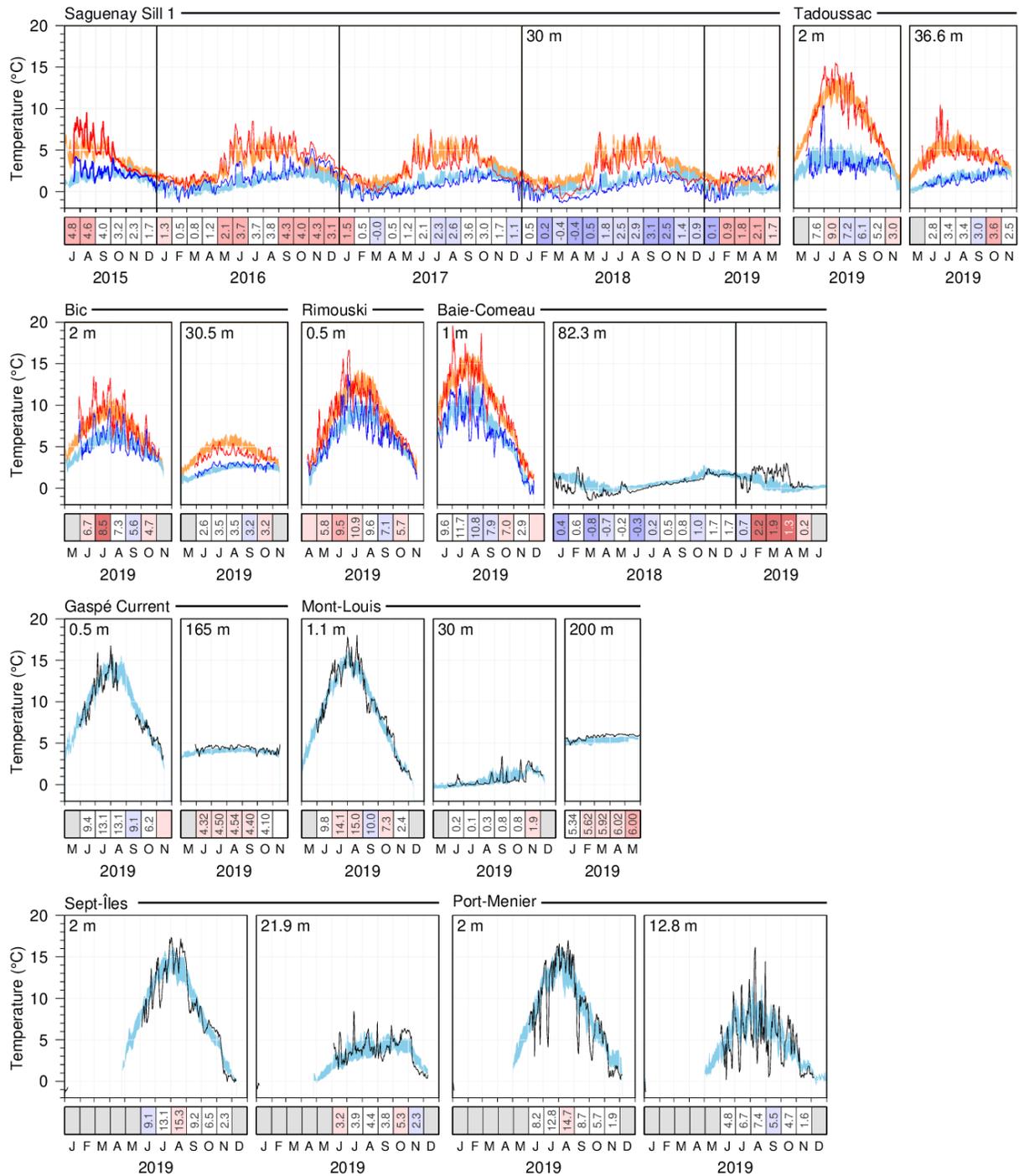


Fig. 23. Données du réseau de thermographes côtiers de l'estuaire et nord-ouest du golfe, montrant la température moyenne quotidienne (ligne noire) comparée à la climatologie historique (moyenne climatologique $\pm 0,5$ ÉT en bleu). Les stations ayant une grande variabilité associée à la marée indiquent plutôt le minimum (bleu) et le maximum (rouge) quotidien, comparés à leur climatologies respectives en bleu et orange. Les données de 2018 sont incluses pour les stations qui échantillonnent à l'année, et depuis 2015 pour la nouvelle station sur le premier seuil du fjord du Saguenay. Les tableaux montrent les températures mensuelles moyennes en °C codé par couleur en fonction des anomalies normalisées d'après les climatologies pour chaque mois.

Lower North Shore / Basse Côte Nord

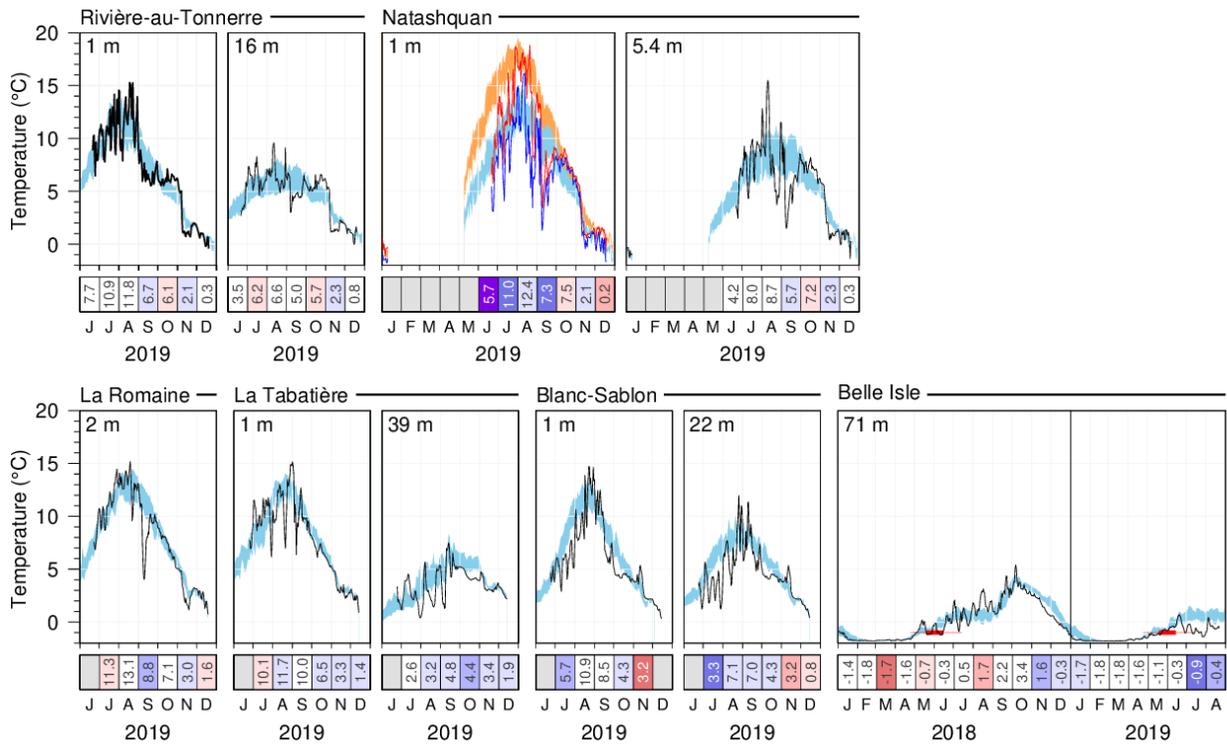


Fig. 24. Données du réseau de thermographes côtiers de la basse côte nord, montrant la température moyenne quotidienne (ligne noire) comparée à la climatologie historique (moyenne climatologique $\pm 0,5$ ÉT en bleu). Les stations ayant une grande variabilité associée à la marée indiquent plutôt le minimum (bleu) et le maximum (rouge) quotidien, comparés à leurs climatologies respectives en bleu et orange. Les données de 2018 sont incluses pour les stations qui échantillonnent à l'année. Les lignes rouges minces sur le panneau de Belle-Isle indiquent la plage historique du moment quand la température printanière a augmenté au-delà de -1 °C, une température associée avec les entrées d'eau hivernale du Plateau du Labrador dans le golfe. Les lignes rouges épaisses montrent la date moyenne plus et moins $0,5$ ÉT. Les tableaux montrent la température mensuelle moyenne en °C codée par couleur en fonction des anomalies normalisées d'après les climatologies pour chaque mois.

Southern Gulf / Sud du Golfe

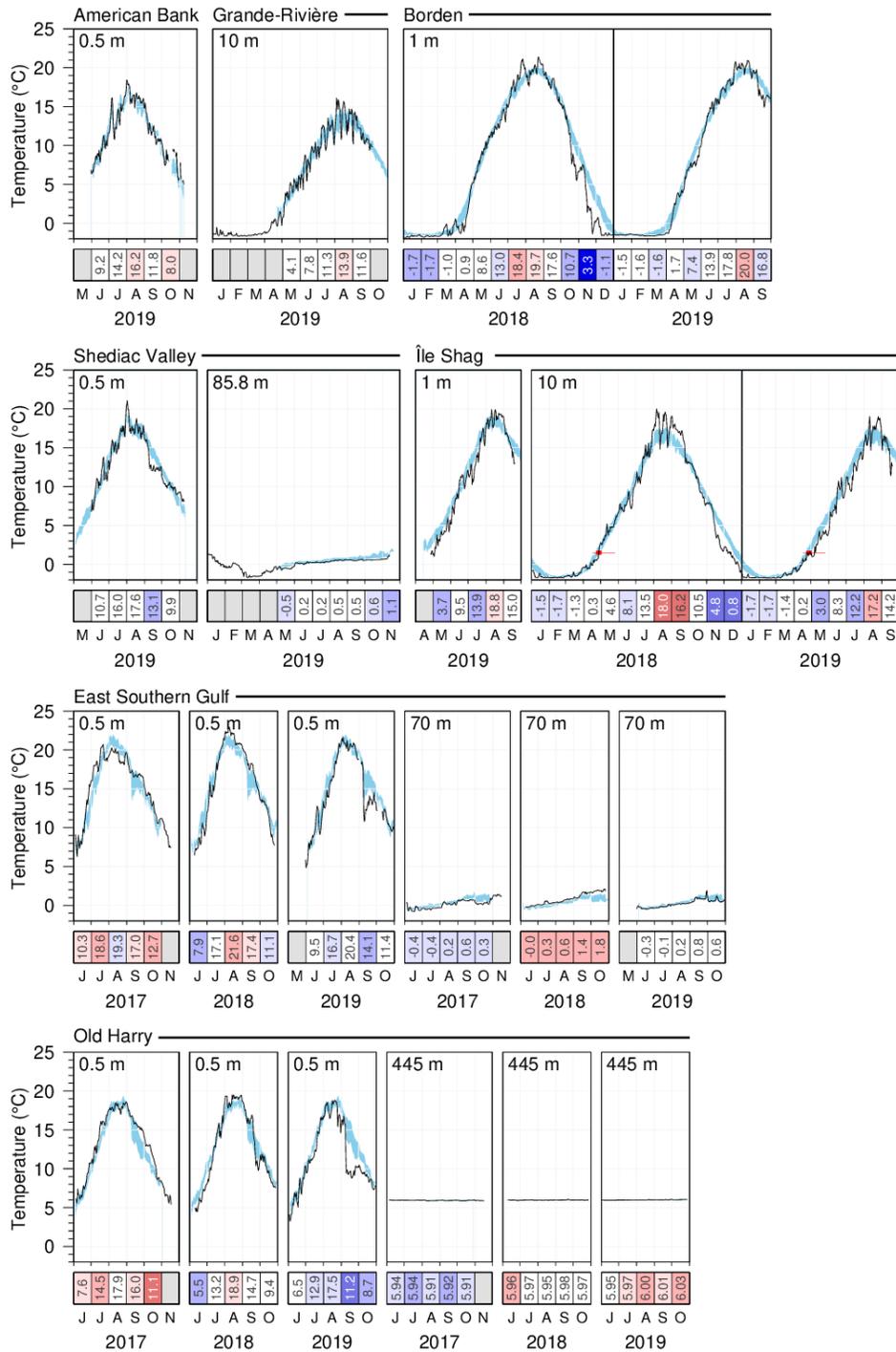


Fig. 25. Données du réseau de thermographes côtiers du Sud du golfe, montrant la température moyenne quotidienne (ligne noire) comparée à la climatologie historique (moyenne climatologique $\pm 0,5$ ÉT en bleu). Les données de 2018 sont incluses pour les stations qui échantillonnent à l'année ainsi que depuis 2015 pour les nouvelles stations East Southern Gulf et Old Harry. Les lignes rouges minces sur le panneau de Île Shag indiquent la plage historique du moment quand la température printanière a augmenté au-delà de $1,5$ °C, une température associée avec la mobilité du homard. Les lignes rouges épaisses montrent la date moyenne plus et moins $0,5$ ÉT.

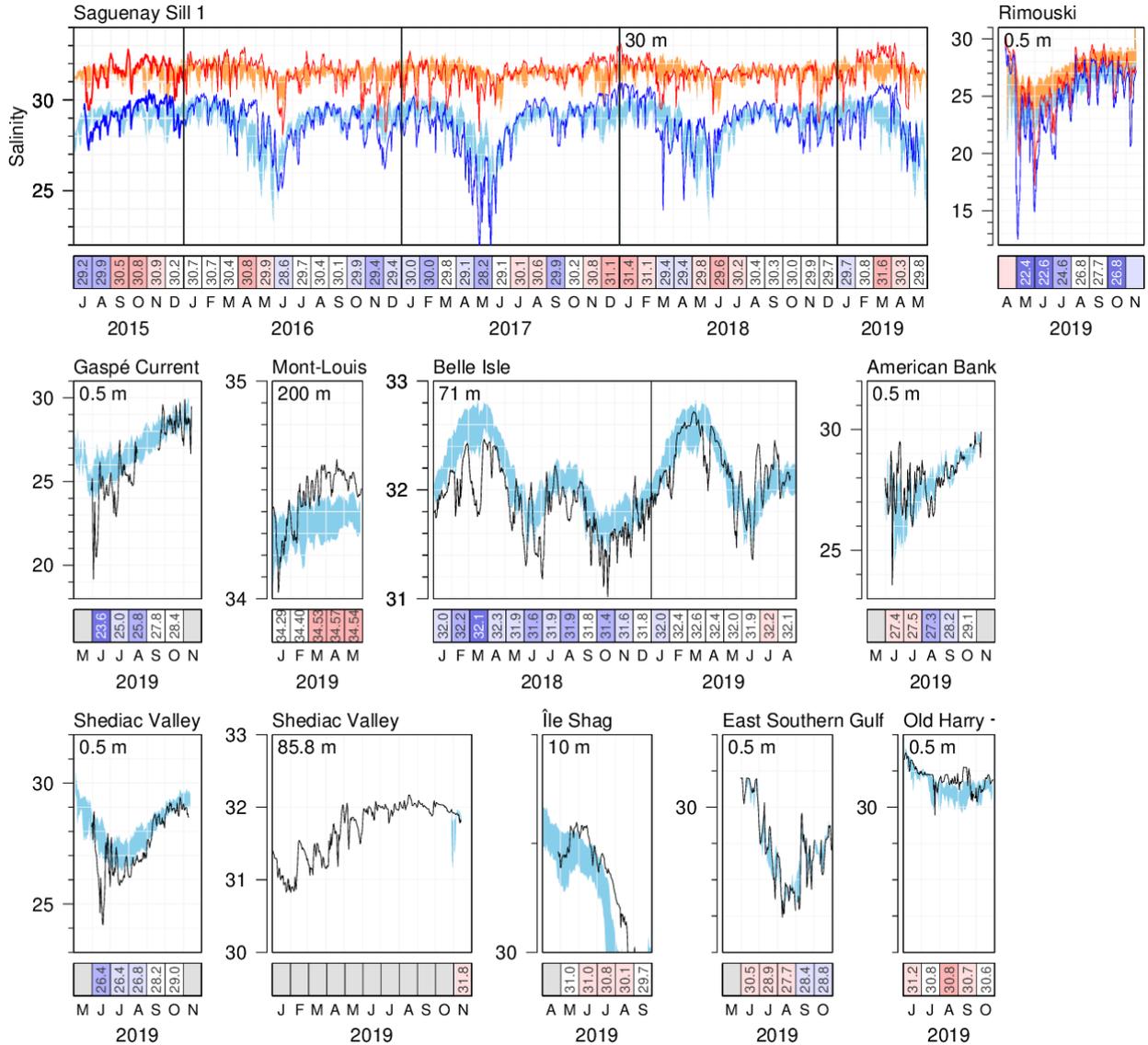


Fig. 26. Données du réseau de thermographes montrant la salinité moyenne quotidienne (ligne noire) comparée à la climatologie historique (moyenne climatologique $\pm 0,5$ ET en bleu). Les stations ayant une grande variabilité associée à la marée indiquent plutôt le minimum (bleu) et le maximum (rouge) quotidien, comparés à leurs climatologies respectives en bleu et orange. Les données de 2018 sont incluses pour les stations qui échantillonnent à l'année, et depuis 2015 pour la nouvelle station sur le premier seuil du fjord du Saguenay. Les tableaux montrent la salinité mensuelle moyenne codée par couleur en fonction des anomalies normalisées d'après les climatologies pour chaque mois.

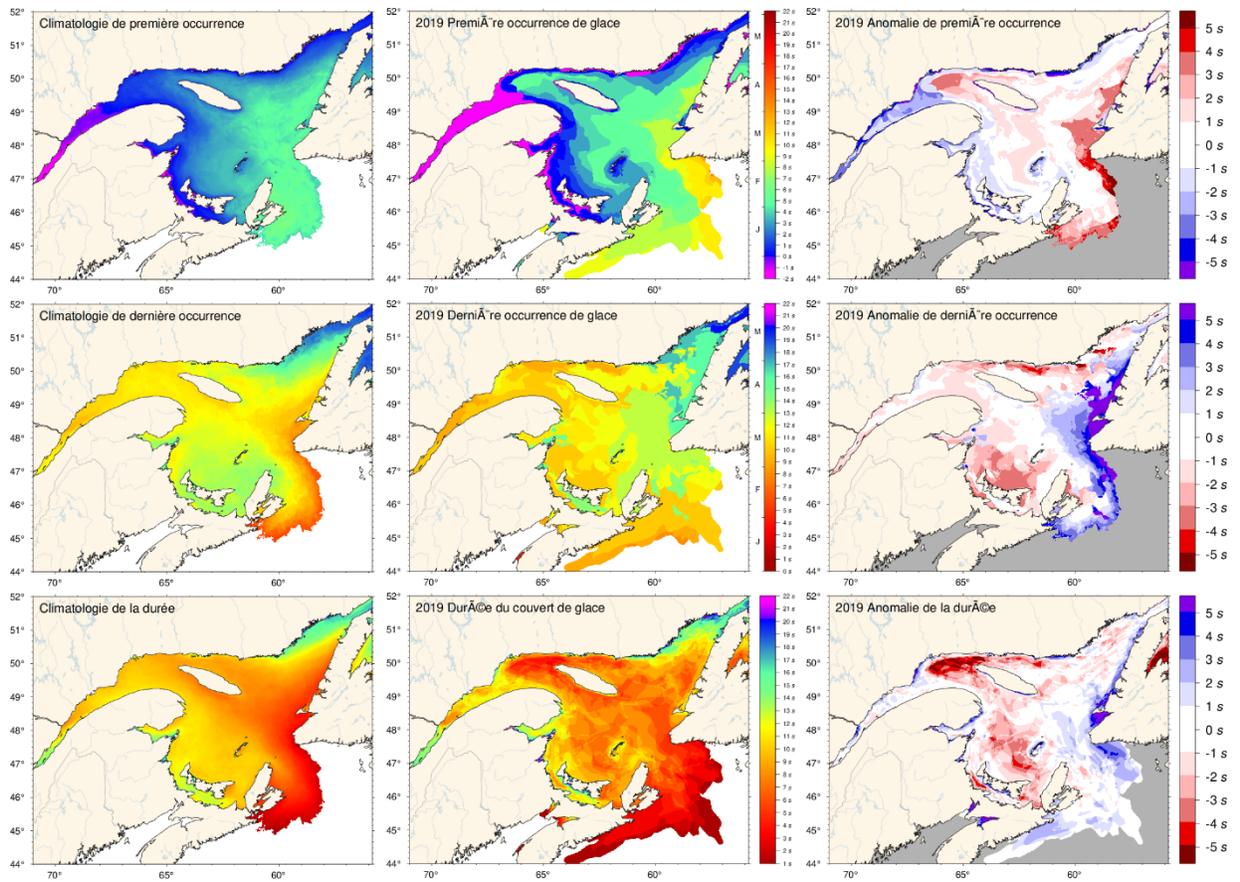


Fig. 27. Première apparition et dernière apparition de glace, et durée de la saison des glaces selon les données hebdomadaires. Les climatologies de 1981–2010 sont indiquées (gauche), de même que les valeurs de 2018 (milieu) et les anomalies (droite). La première apparition et la dernière occurrence sont définies comme la première carte et la dernière carte sur laquelle une quantité de glace est signalée pour chaque pixel et sont indiquées comme un jour de l'année. La durée des glaces est la somme du nombre de semaines où chaque pixel indique un couvert de glace. Les climatologies sont indiquées pour les pixels où la glace de mer est présente au moins 15 années sur 30 et par conséquent, indiquent aussi la zone pour laquelle il existe une probabilité de 50 % que de la glace de mer soit présente à un moment donné durant l'année.

Région	Première occurrence de glace		Dernière occurrence de glace		Durée de la saison de glace		Volume maximum saisonnier (km ³)	
	Année	Anomalie (%)	Année	Anomalie (%)	Jours	Anomalie (%)	Volume	Anomalie (%)
Estuaire supérieur	1970	76	84	80	0	1.7	11	0.6
	1975	43	137	28	0.7	3	13	1.7
	1980	17	66	10	0.3	4	20	8.6
	1985	17	92	11	0.6	3	26	6.2
	1990	17	102	11	0.8	3	27	5.5
	1995	17	110	11	0.7	3	27	3.5
	2000	17	110	11	0.7	3	27	12.1
	2005	17	110	11	0.7	3	27	7.3
	2010	17	110	11	0.7	3	27	6.7
	2015	17	110	11	0.7	3	27	25.9
Estuaire	1970	31	103	0	1.8	11	0	63
	1975	29	104	0	1.8	11	0	3
	1980	29	104	0	1.8	11	0	3
	1985	29	104	0	1.8	11	0	3
	1990	29	104	0	1.8	11	0	3
	1995	29	104	0	1.8	11	0	3
	2000	29	104	0	1.8	11	0	3
	2005	29	104	0	1.8	11	0	3
	2010	29	104	0	1.8	11	0	3
	2015	29	104	0	1.8	11	0	3
Nord-ouest du Golfe	1970	29	103	0	1.8	11	0	63
	1975	29	103	0	1.8	11	0	3
	1980	29	103	0	1.8	11	0	3
	1985	29	103	0	1.8	11	0	3
	1990	29	103	0	1.8	11	0	3
	1995	29	103	0	1.8	11	0	3
	2000	29	103	0	1.8	11	0	3
	2005	29	103	0	1.8	11	0	3
	2010	29	103	0	1.8	11	0	3
	2015	29	103	0	1.8	11	0	3
Chenal Anticosti	1970	29	103	0	1.8	11	0	63
	1975	29	103	0	1.8	11	0	3
	1980	29	103	0	1.8	11	0	3
	1985	29	103	0	1.8	11	0	3
	1990	29	103	0	1.8	11	0	3
	1995	29	103	0	1.8	11	0	3
	2000	29	103	0	1.8	11	0	3
	2005	29	103	0	1.8	11	0	3
	2010	29	103	0	1.8	11	0	3
	2015	29	103	0	1.8	11	0	3
Cuvette de Mécatina	1970	29	103	0	1.8	11	0	63
	1975	29	103	0	1.8	11	0	3
	1980	29	103	0	1.8	11	0	3
	1985	29	103	0	1.8	11	0	3
	1990	29	103	0	1.8	11	0	3
	1995	29	103	0	1.8	11	0	3
	2000	29	103	0	1.8	11	0	3
	2005	29	103	0	1.8	11	0	3
	2010	29	103	0	1.8	11	0	3
	2015	29	103	0	1.8	11	0	3
Déroit de Belle Isle	1970	29	103	0	1.8	11	0	63
	1975	29	103	0	1.8	11	0	3
	1980	29	103	0	1.8	11	0	3
	1985	29	103	0	1.8	11	0	3
	1990	29	103	0	1.8	11	0	3
	1995	29	103	0	1.8	11	0	3
	2000	29	103	0	1.8	11	0	3
	2005	29	103	0	1.8	11	0	3
	2010	29	103	0	1.8	11	0	3
	2015	29	103	0	1.8	11	0	3
Chenal Esquiman	1970	29	103	0	1.8	11	0	63
	1975	29	103	0	1.8	11	0	3
	1980	29	103	0	1.8	11	0	3
	1985	29	103	0	1.8	11	0	3
	1990	29	103	0	1.8	11	0	3
	1995	29	103	0	1.8	11	0	3
	2000	29	103	0	1.8	11	0	3
	2005	29	103	0	1.8	11	0	3
	2010	29	103	0	1.8	11	0	3
	2015	29	103	0	1.8	11	0	3
Centre du Golfe	1970	29	103	0	1.8	11	0	63
	1975	29	103	0	1.8	11	0	3
	1980	29	103	0	1.8	11	0	3
	1985	29	103	0	1.8	11	0	3
	1990	29	103	0	1.8	11	0	3
	1995	29	103	0	1.8	11	0	3
	2000	29	103	0	1.8	11	0	3
	2005	29	103	0	1.8	11	0	3
	2010	29	103	0	1.8	11	0	3
	2015	29	103	0	1.8	11	0	3
Déroit de Cabot	1970	29	103	0	1.8	11	0	63
	1975	29	103	0	1.8	11	0	3
	1980	29	103	0	1.8	11	0	3
	1985	29	103	0	1.8	11	0	3
	1990	29	103	0	1.8	11	0	3
	1995	29	103	0	1.8	11	0	3
	2000	29	103	0	1.8	11	0	3
	2005	29	103	0	1.8	11	0	3
	2010	29	103	0	1.8	11	0	3
	2015	29	103	0	1.8	11	0	3
Plateau madelinien	1970	29	103	0	1.8	11	0	63
	1975	29	103	0	1.8	11	0	3
	1980	29	103	0	1.8	11	0	3
	1985	29	103	0	1.8	11	0	3
	1990	29	103	0	1.8	11	0	3
	1995	29	103	0	1.8	11	0	3
	2000	29	103	0	1.8	11	0	3
	2005	29	103	0	1.8	11	0	3
	2010	29	103	0	1.8	11	0	3
	2015	29	103	0	1.8	11	0	3
Golfe	1970	29	103	0	1.8	11	0	63
	1975	29	103	0	1.8	11	0	3
	1980	29	103	0	1.8	11	0	3
	1985	29	103	0	1.8	11	0	3
	1990	29	103	0	1.8	11	0	3
	1995	29	103	0	1.8	11	0	3
	2000	29	103	0	1.8	11	0	3
	2005	29	103	0	1.8	11	0	3
	2010	29	103	0	1.8	11	0	3
	2015	29	103	0	1.8	11	0	3
Plateau néo-écossais	1970	29	103	0	1.8	11	0	63
	1975	29	103	0	1.8	11	0	3
	1980	29	103	0	1.8	11	0	3
	1985	29	103	0	1.8	11	0	3
	1990	29	103	0	1.8	11	0	3
	1995	29	103	0	1.8	11	0	3
	2000	29	103	0	1.8	11	0	3
	2005	29	103	0	1.8	11	0	3
	2010	29	103	0	1.8	11	0	3
	2015	29	103	0	1.8	11	0	3

Fig. 28. Premier jour et dernier jour d'occurrence de glace, durée du couvert de glace et volume saisonnier maximal de glace, par région. La durée pendant laquelle la glace a été observée pour la première et la dernière fois, en jours, depuis le début de chaque année, est indiquée pour chaque région et le code de couleurs exprime l'anomalie par rapport à la climatologie de 1981–2010, le bleu représentant une première occurrence plus précoce et une dernière occurrence plus tardive. Le seuil d'occurrence est de 5 % du plus grand volume de glace jamais enregistré dans la région. Les nombres dans le tableau indiquent soit le jour réel de l'année, soit le volume, mais le code de couleurs correspond aux anomalies normalisées d'après la climatologie de chaque région. La durée est le nombre de jours pendant lequel le seuil a été dépassé. Tous les résultats sont tirés des données hebdomadaires.

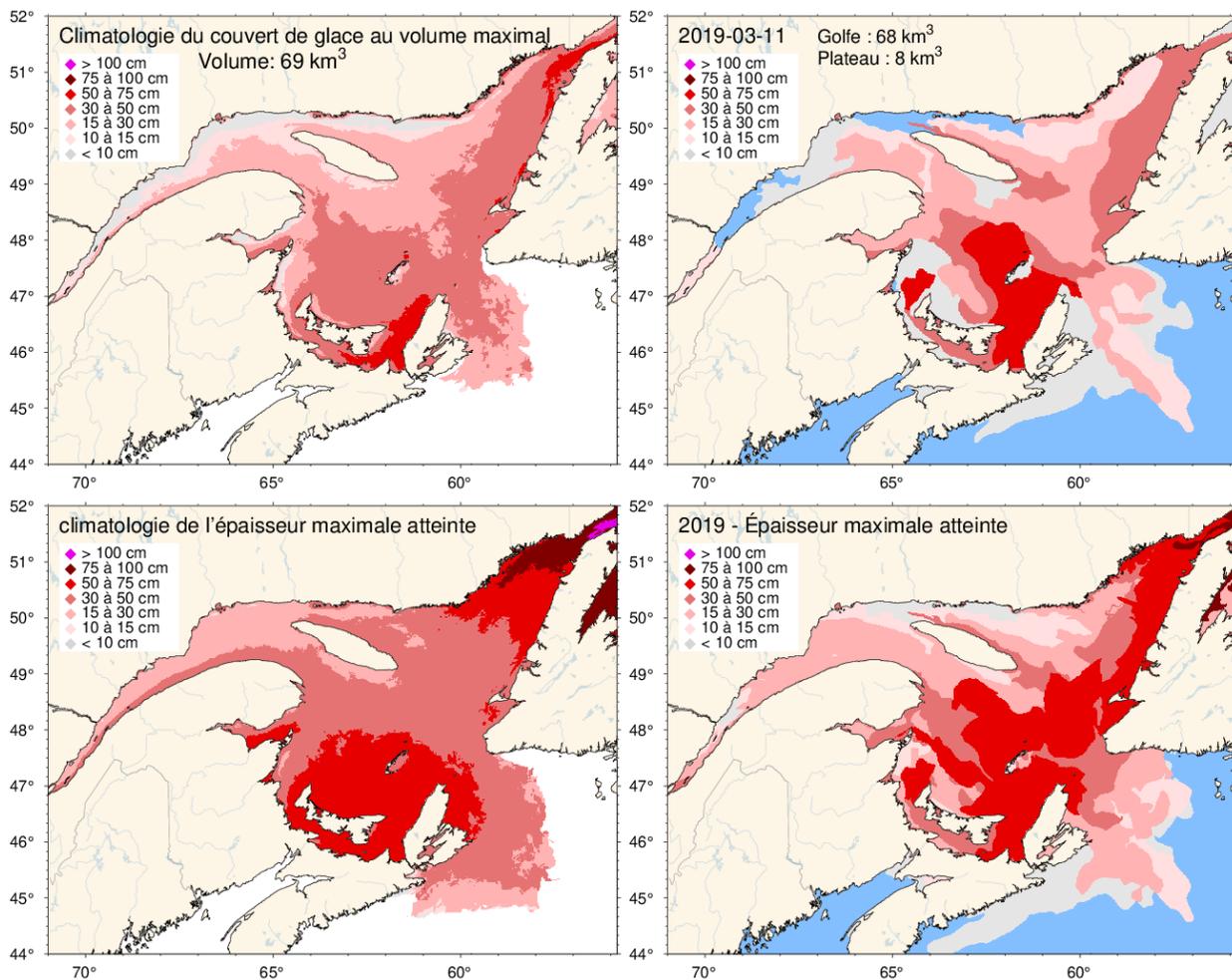


Fig. 29. Carte de glace hebdomadaire où l'épaisseur moyenne était maximale en 2019, y compris la partie couvrant le plateau néo-écossais (panneau supérieur droit) et de même pour la climatologie de 1981–2010 du maximum hebdomadaire (panneau supérieur gauche). Noter que ces cartes représentent la répartition de l'épaisseur de la glace pendant la semaine considérée et non le maximum observé à un emplacement donné pendant l'année. Cette information est donnée dans les panneaux inférieurs, qui illustrent la climatologie de 1981–2010 et la répartition en 2019 de la glace la plus épaisse enregistrée pendant la saison dans un emplacement quelconque.

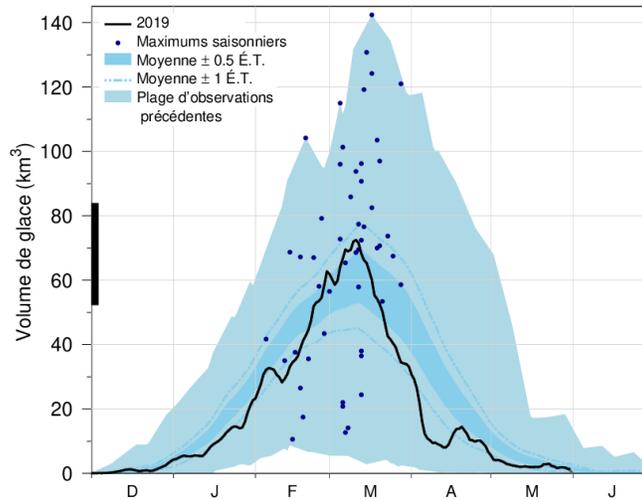


Fig. 30. Série chronologique du volume de glace quotidien moyen en 2018-2019 pour le golfe du Saint-Laurent et le plateau néo-écossais (ligne noire), le volume moyen climatologique de 1981–2010 plus et moins 0,5 et 1 ÉT (zone en bleu foncé et ligne pointillée), les plages minimales et maximales des observations de 1969 à 2019 (bleu clair) ainsi que la date et le volume des maximums saisonniers de 1969 à 2019 (points bleus). La ligne noire épaisse sur la gauche indique le volume moyen plus et moins 0,5 ÉT du volume annuel maximal de glace, qui est supérieur au pic de la répartition du volume quotidien moyen de glace.

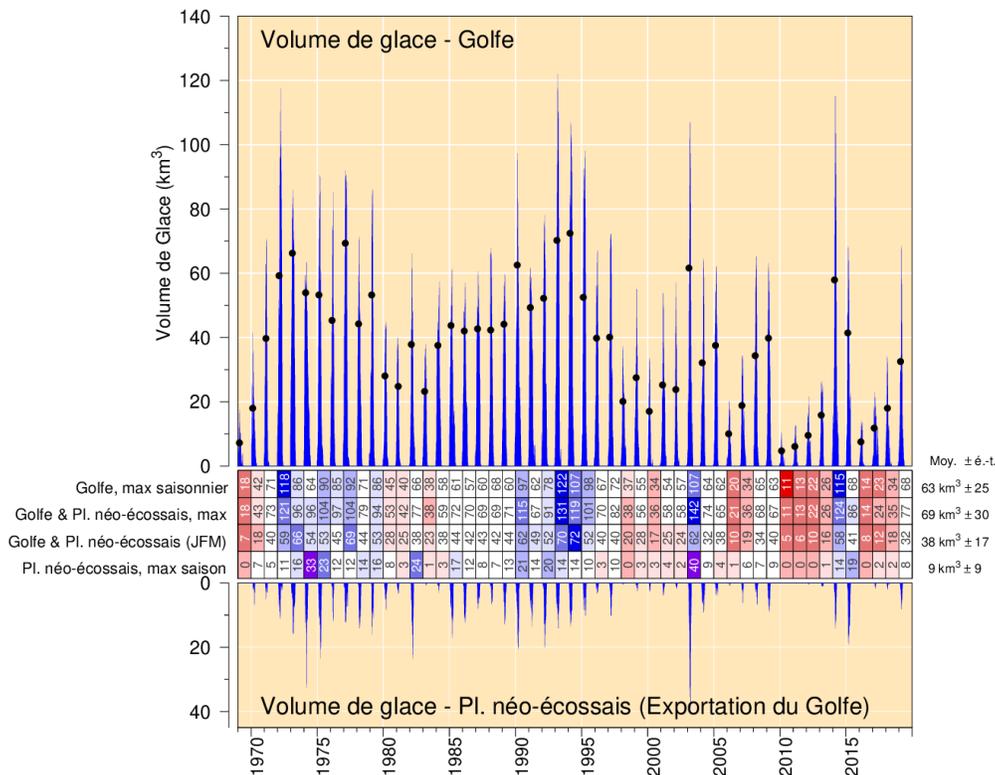


Fig. 31. Estimé du volume hebdomadaire maximal de glace dans le golfe du Saint-Laurent (panneau du haut) et sur le plateau néo-écossais au large du détroit de Cabot, défini par son passage le plus étroit (panneau du bas). Les points noirs montrent les moyennes saisonnières de janvier à mars du volume combiné du golfe avec le Plateau. Les tableaux donnent les anomalies normalisées chiffrées des volumes maximaux annuels pour le golfe, le golfe et le plateau combinés, le golfe et le plateau combiné moyenné de janvier à mars, et le plateau seul, à partir des données hebdomadaires sur la glace. La moyenne et l'écart-type sont indiqués à droite des tableaux à l'aide de la climatologie de 1981-2010.

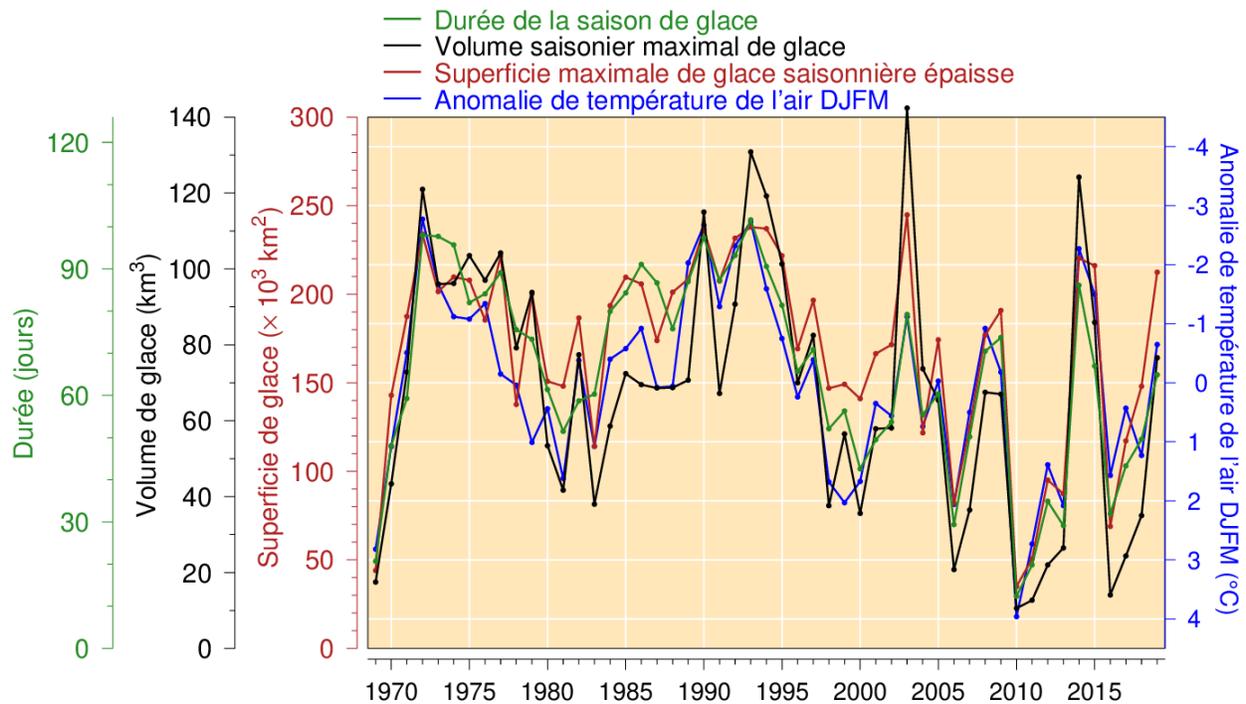


Fig. 32. Volume et superficie saisonniers maximaux de glace, y compris la partie sur le plateau néo-Écossais (mais excluant la glace de moins de 15 cm d'épaisseur), durée de la saison de glace et anomalie de la température de l'air de décembre à mars (figure adaptée de Hammill et Galbraith 2012, mais ici sans exclure les petits floes et en ajoutant les données de février et mars aux anomalies de la température de l'air). Tous les produits sur la glace de mer sont tirés des données hebdomadaires. La durée moyenne est calculée par une moyenne spatiale des données de la Fig. 28, excluant le plateau néo-Écossais, avec des zéros comptabilisés si aucune glace n'est présente, mais que la climatologie en indique. Les relations linéaires indiquent des pertes de 18 km³, 31 000 km² et 13 jours de la saison des glaces pour chaque augmentation de 1 °C de la température de l'air en hiver (R^2 de 0,72, 0,78 et 0,80 respectivement).

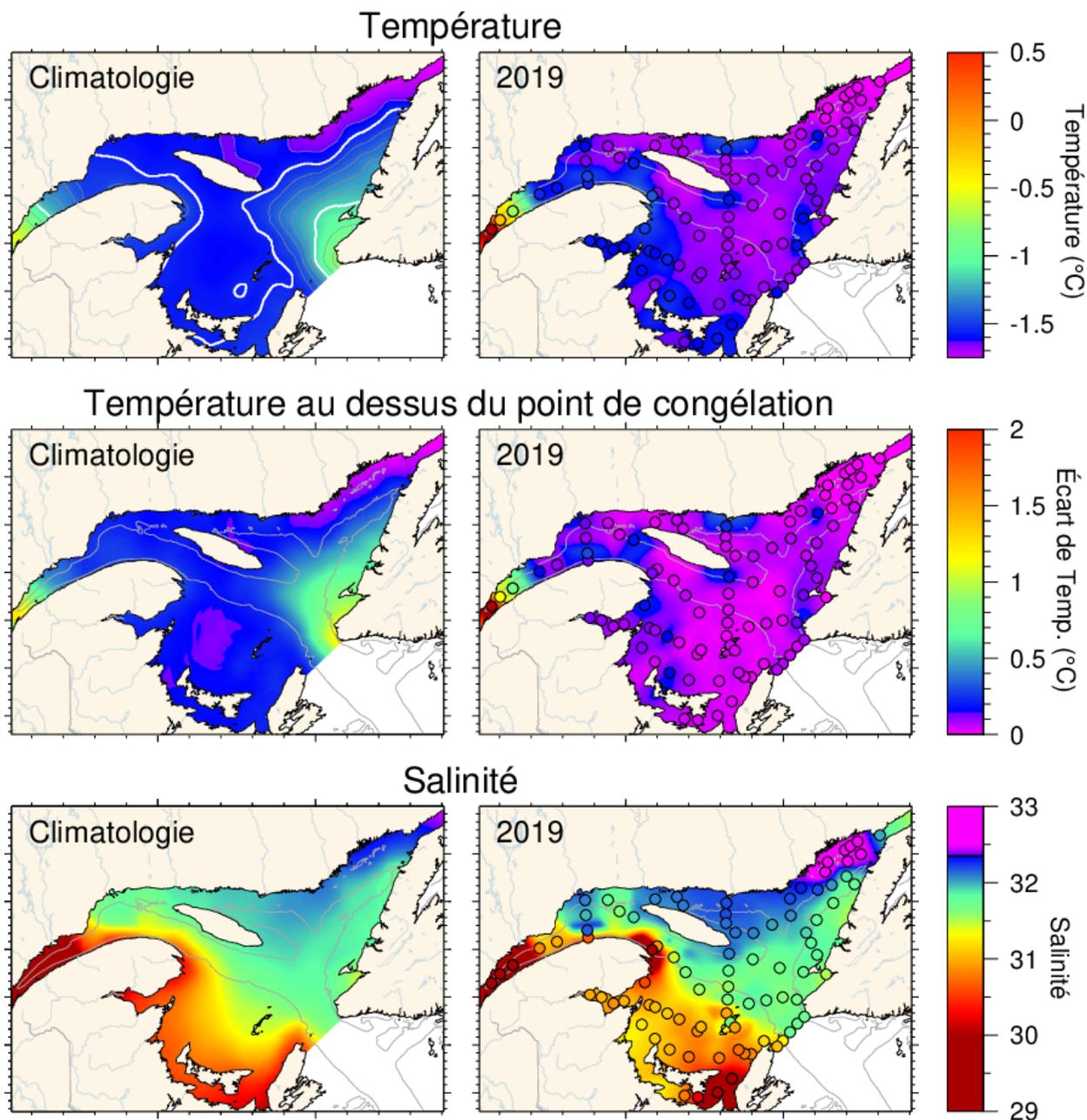


Fig. 33. Caractéristiques de la couche de surface hivernale, d'après le relevé de mars 2019, par rapport aux moyennes climatologiques : température de l'eau en surface (panneau du haut), différence de température entre la température de l'eau en surface et le point de congélation (panneau du milieu) et salinité (panneau du bas). Les symboles sont colorés en fonction de la valeur observée à la station, selon la même palette de couleurs que l'image de l'interpolation. On constate une bonne correspondance entre l'interpolation et les observations à la station lorsque les couleurs de la station se fondent dans l'arrière-plan. Les symboles noirs indiquent des données manquantes ou mauvaises. Les climatologies représentent 1996 à 2019 pour la salinité, mais excluent 2010 en tant qu'extrême pour la température et la température au-dessus du point de congélation.

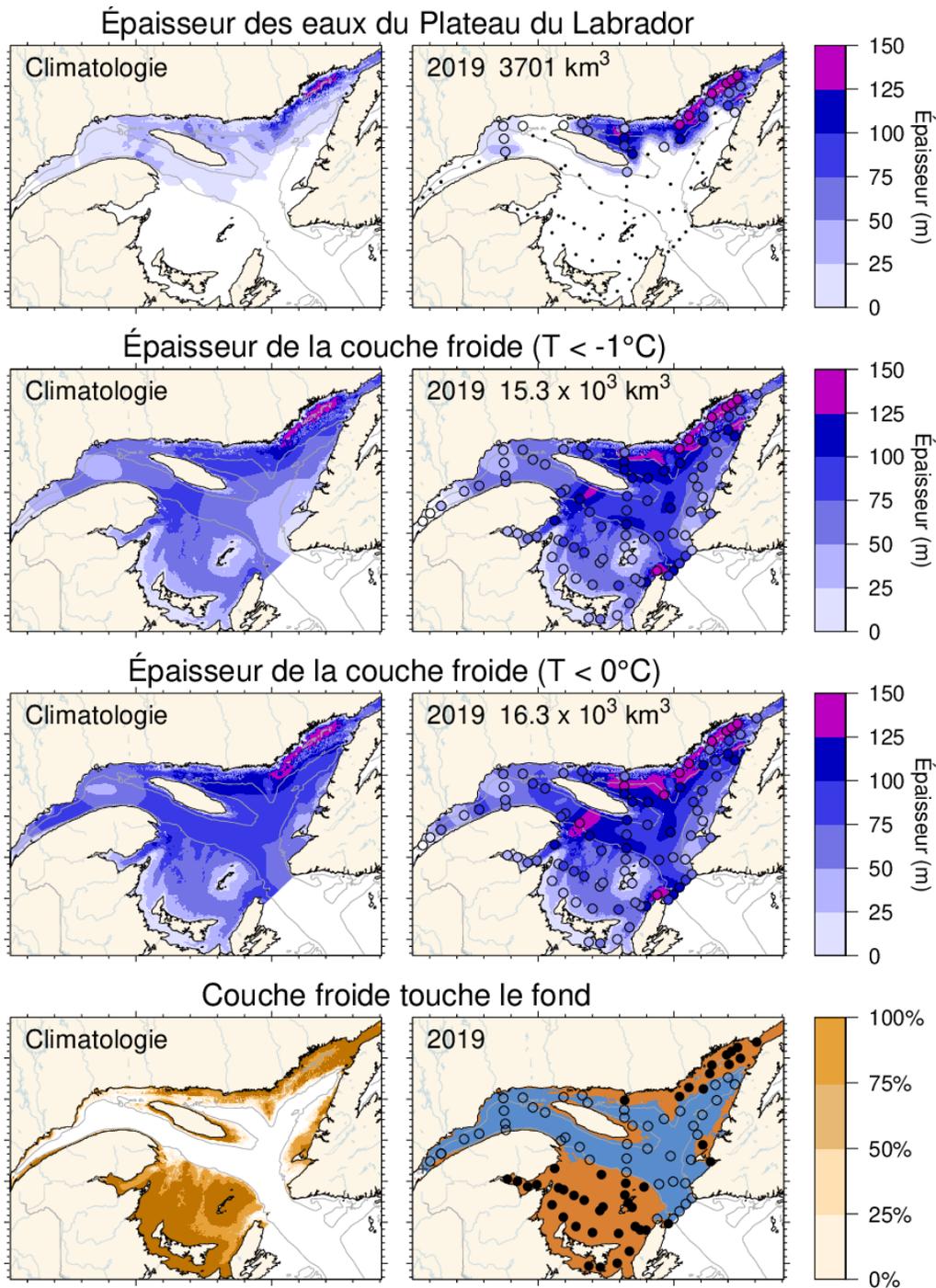


Fig. 34. Comparaison des caractéristiques de la couche de surface hivernale, tirées du relevé de mars 2019, aux moyennes climatologiques : estimations de l'épaisseur de l'intrusion d'eau du plateau du Labrador (panneaux du haut), épaisseur de la couche froide ($T < -1^{\circ}\text{C}$, $T < 0^{\circ}\text{C}$) (panneaux du milieu) et cartes indiquant les endroits où la couche froide atteint le fond ($T < 0^{\circ}\text{C}$) (en brun; panneaux du bas). Les symboles sont colorés selon les valeurs observées comme sur la Fig. 33. Dans les panneaux du bas, les stations où la couche froide a atteint le fond sont indiquées par des cercles pleins et celles où elle n'a pas atteint le fond, par des cercles ouverts. Les volumes intégrés sont indiqués pour les six premiers panneaux (y compris une approximation pour l'estuaire, mais à l'exclusion du détroit de Belle Isle). Les climatologies sont tirées des données de 1997–2018 pour l'intrusion d'eau du plateau du Labrador, de 1996–2018 pour la couche froide ($T < 0^{\circ}\text{C}$), mais ne comprennent pas 2010 pour $T < -1^{\circ}\text{C}$.

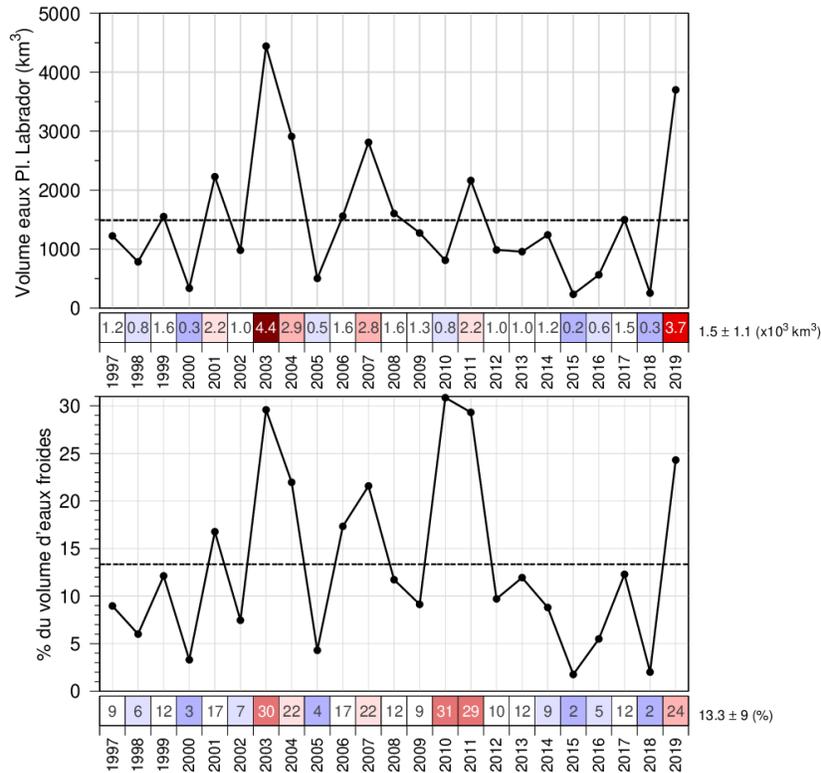


Fig. 35. Volume estimé de l'eau froide et saline du plateau du Labrador qui pénétré dans le golfe pendant l'hiver en traversant le détroit de Belle Isle. Le panneau du bas indique le volume en pourcentage du volume total d'eau froide ($< -1\text{ }^{\circ}\text{C}$). Les nombres dans les cases sont les valeurs réelles, codées par couleurs selon leur climatologie de 1997–2019. La couverture de la cuvette de Mécatina n'était pas suffisante en 1996 pour fournir une estimation du volume.

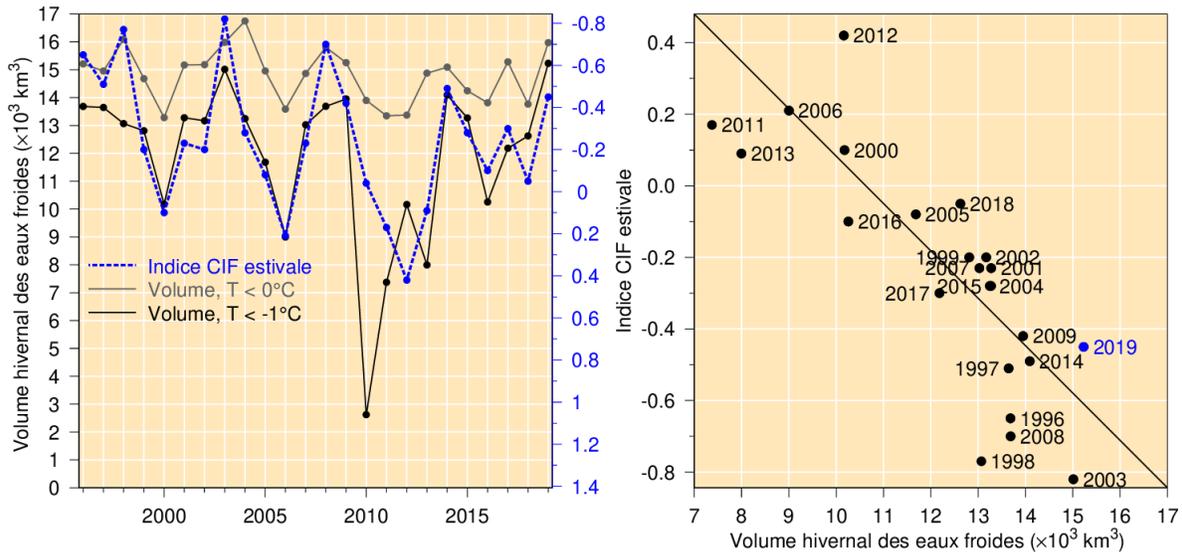


Fig. 36. Panneau de gauche : Série chronologique du volume de la couche froide ($T < -1\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$) de surface hivernale (à l'exclusion de l'estuaire et du détroit de Belle Isle) (lignes noires et grises) et indice de la CFI estivale (ligne pointillée bleue). Panneau de droite : Relation entre l'indice de la CFI estivale et le volume d'eau froide en hiver avec $T < -1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (régression pour les paires de données de 1996–2019, à l'exclusion de 1998 [voir Galbraith 2006] et des hivers doux de 2010 et 2011). Noter que l'échelle de la CFI dans le panneau de gauche est inversée.

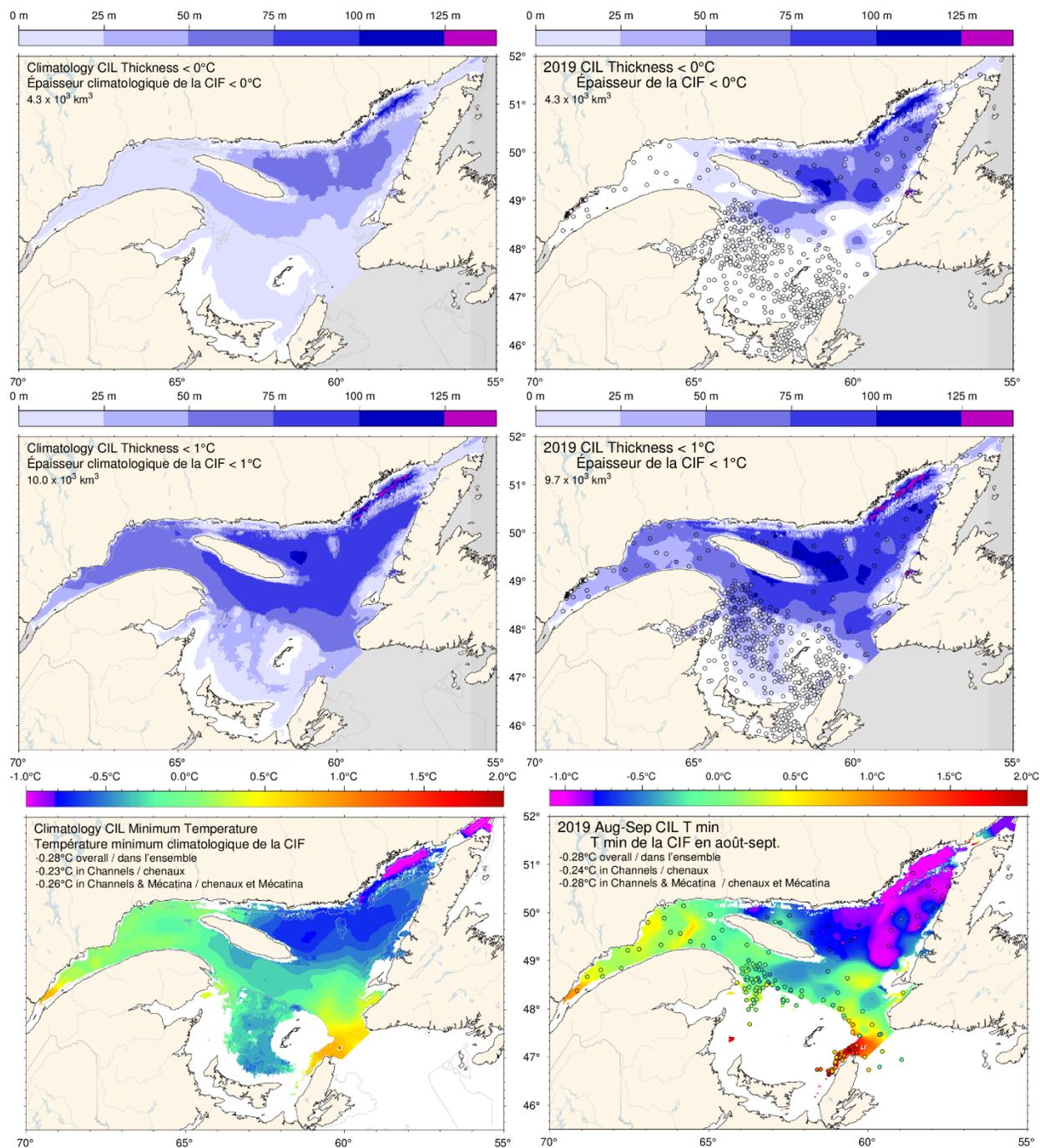


Fig. 37. Épaisseur de la couche intermédiaire froide ($T < 0^\circ\text{C}$, panneaux du haut; $T < 1^\circ\text{C}$, panneaux du milieu) et température minimale (panneaux du bas) en août et septembre 2019 (à droite) et climatologie de 1981–2010 (à gauche). Les symboles des stations sont codés par couleurs selon l'épaisseur de la CIF et la température minimale. Les nombres dans les panneaux du haut et du milieu sont les volumes intégrés de la CIF et les températures mensuelles moyennes dans les panneaux du bas.

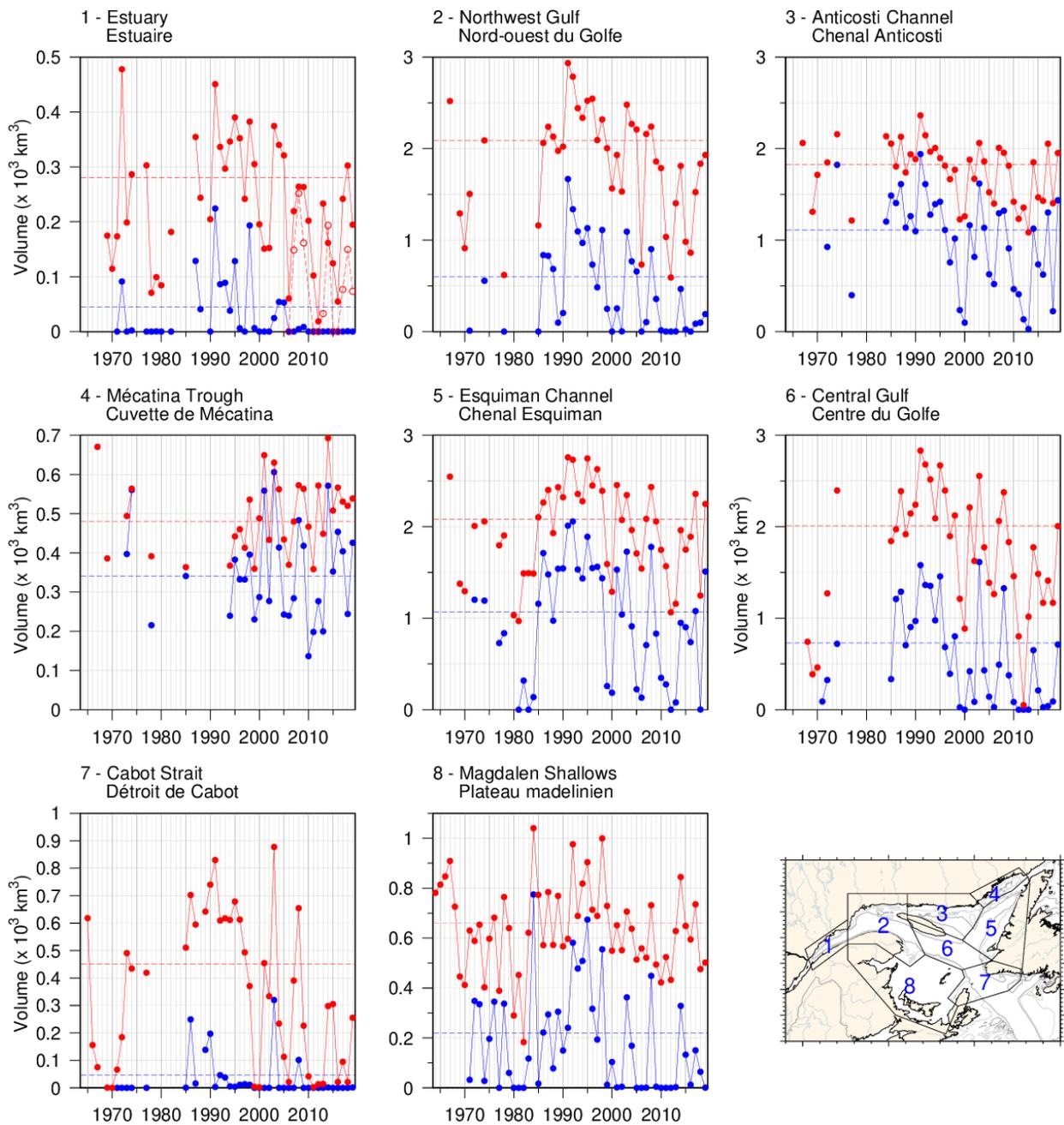


Fig. 38. Volume de la CIF d'une température inférieure à 0°C (en bleu) et à 1°C (en rouge) en août et septembre (essentiellement la région 8 en septembre). Le volume de la CIF d'une température inférieure à 1°C en novembre pour les années pour lesquelles il est connu depuis 2006 est également indiqué pour l'estuaire du Saint-Laurent (ligne pointillée).

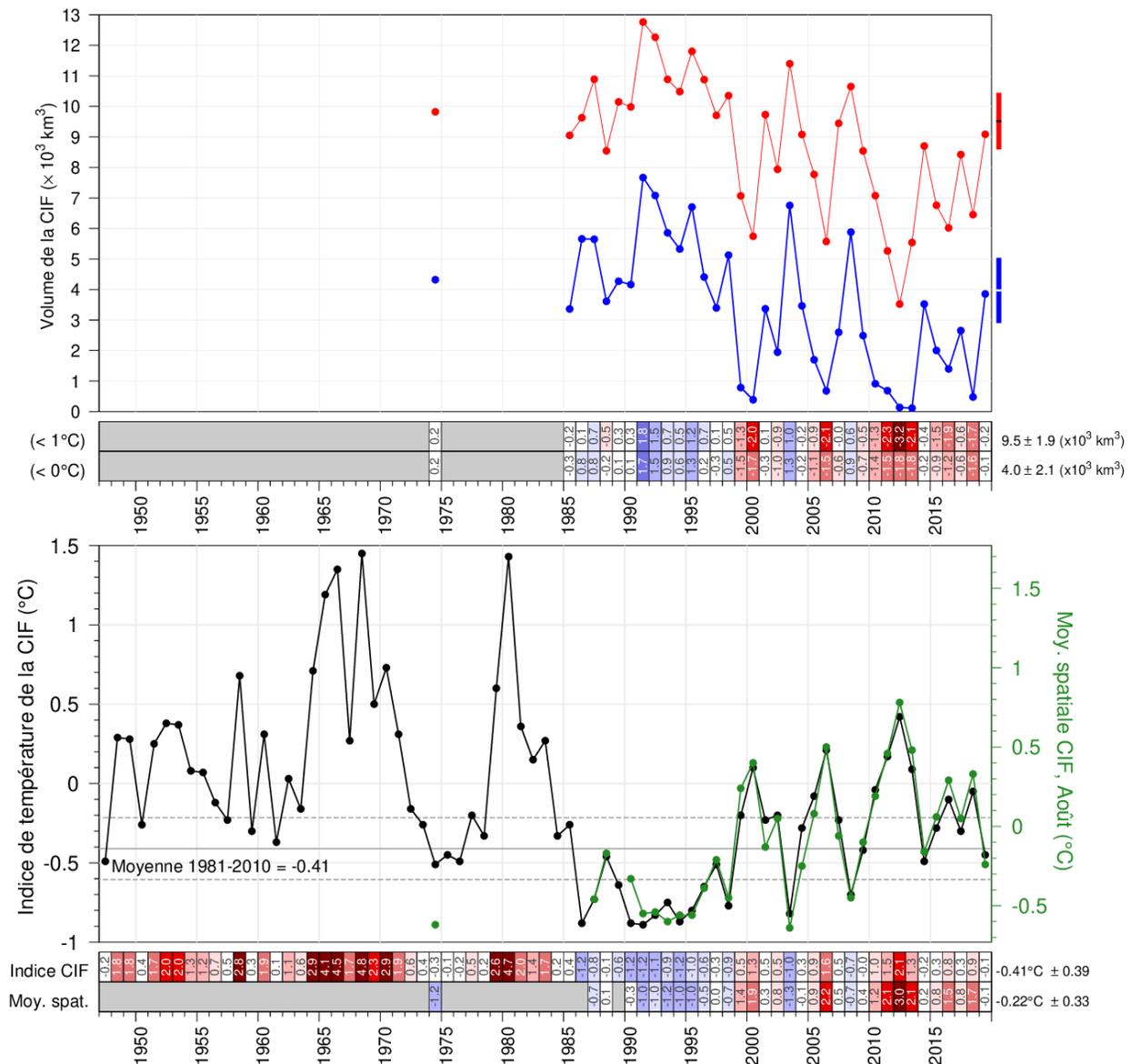


Fig. 39. Volume de la CIF (panneau du haut) délimité par 0 °C (en bleu) et 1 °C (en rouge) et indice de la température minimale (panneau du bas) dans le golfe du Saint-Laurent. Les volumes sont l'intégrale de chacune des grilles annuelles de l'épaisseur interpolée, comme celles illustrées sur les panneaux du haut de Fig. 37, à l'exclusion de la cuvette de Mécatina et du détroit de Belle Isle. Les rectangles à droite indiquent la moyenne $\pm 0,5$ ÉT. Dans le panneau inférieur, la ligne noire est l'indice actualisé de Gilbert et Pettigrew (1997), interpolé au 15 juillet (les lignes pointillées représentant la moyenne $\pm 0,5$ ÉT) et la ligne verte est la moyenne spatiale de chacune des grilles annuelles interpolées, comme celles illustrées sur les deux panneaux du bas sur la Fig. 37, à l'exclusion de la cuvette de Mécatina, du détroit de Belle Isle et du plateau madelinien. Les nombres dans les cases sont les anomalies normalisées par rapport aux climatologies de 1980-2010 calculées à l'aide de toutes les années pour lesquelles les données étaient disponibles.

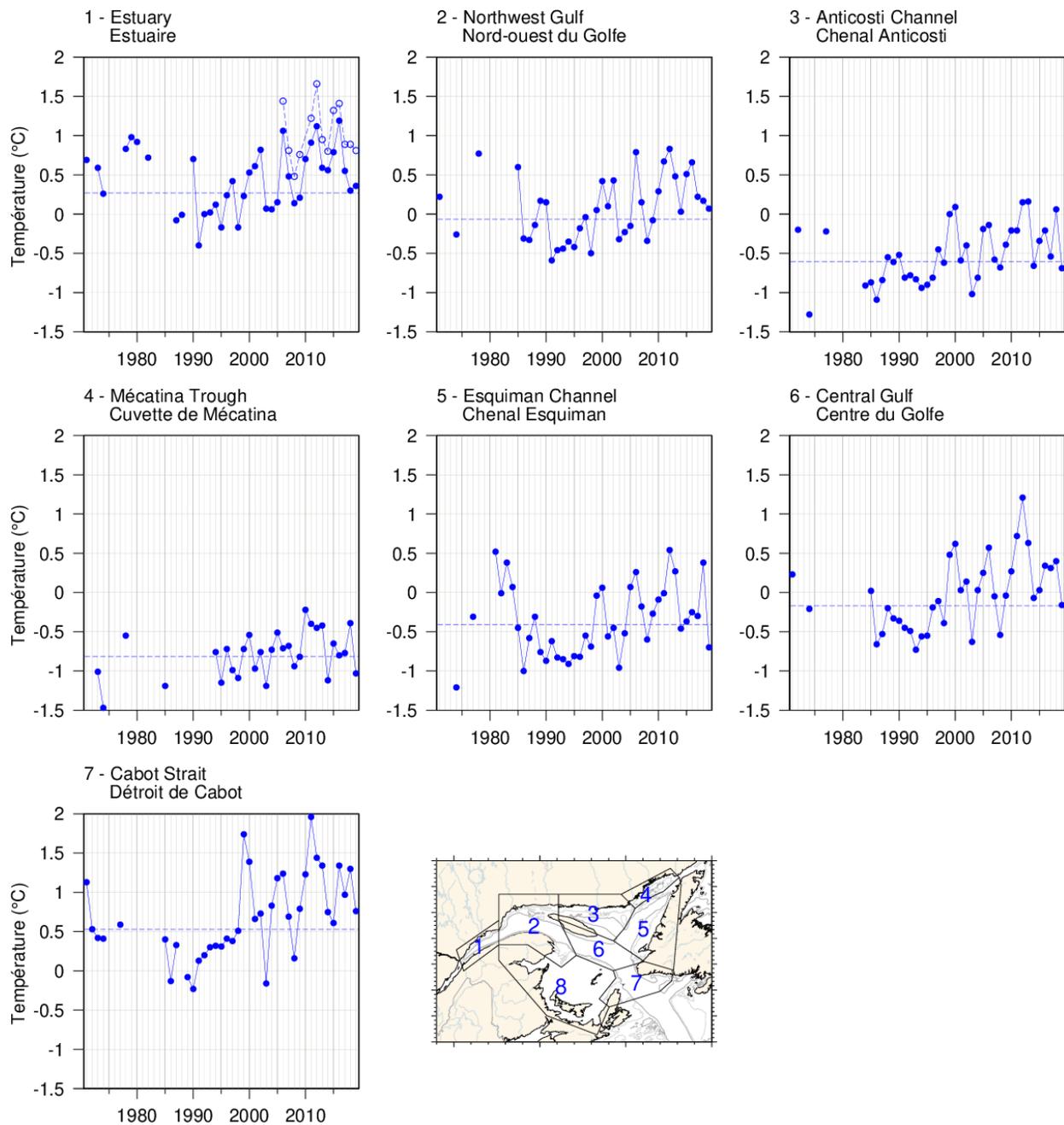


Fig. 40. Minimum de température de la CIF, moyenné spatialement pour les sept régions où la température minimale de la CIF peut être clairement déterminée. La moyenne spatiale du minimum de température de la CIF en novembre pour les années pour lesquelles il est connu depuis 2006 est également indiquée pour l'estuaire du Saint-Laurent (ligne pointillée).

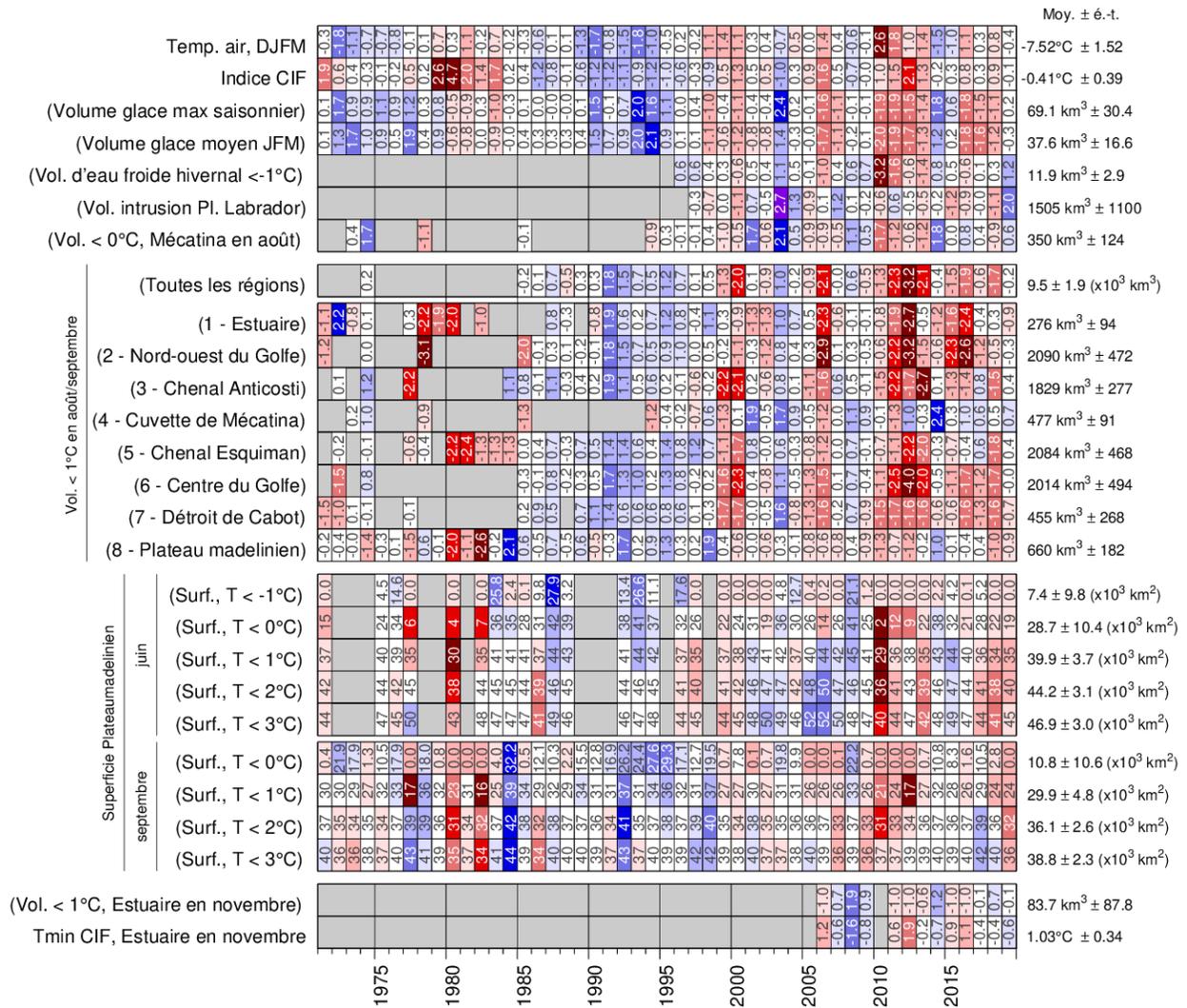


Fig. 41. Propriétés hivernales et de la CIF estivale. Le bloc du haut représente les séries chronologiques pour la température de l'air de décembre-janvier-février-mars (Fig. 5), l'indice de la CIF de Gilbert et Pettigrew (1997), le volume annuel maximal de glace de mer (golfe + plateau néo-écossais), le volume moyen de glace de mer en décembre-janvier-février, le volume de la couche froide (< -1°C) en hiver (mars), le volume de l'intrusion d'eau du plateau du Labrador dans le golfe observé en mars et le volume en août-septembre de l'eau froide (< 0°C) observée dans la cuvette de Mécatina. Le code de couleurs des étiquettes entre parenthèses est inversé (bleu pour les valeurs élevées). Le deuxième bloc indique les séries chronologiques pour les volumes de la CIF en août-septembre (< 1°C) pour les huit régions et pour l'ensemble du golfe lorsque les données étaient disponibles. Le troisième bloc représente les séries chronologiques pour les superficies du fond du plateau madelinien couvertes par des eaux d'une température inférieure à 0, 1, 2 et 3°C durant le relevé de juin et de septembre. Le dernier bloc indique le volume de la CIF (< 1°C) et la température minimale moyenne de la CIF pendant le relevé de novembre dans l'estuaire. Les nombres dans les cellules expriment les anomalies en unités de l'écart-type, sauf pour les zones du fond, où elles sont exprimées en unités de surface (x10³ km²) (à cause de l'occurrence de zéros).

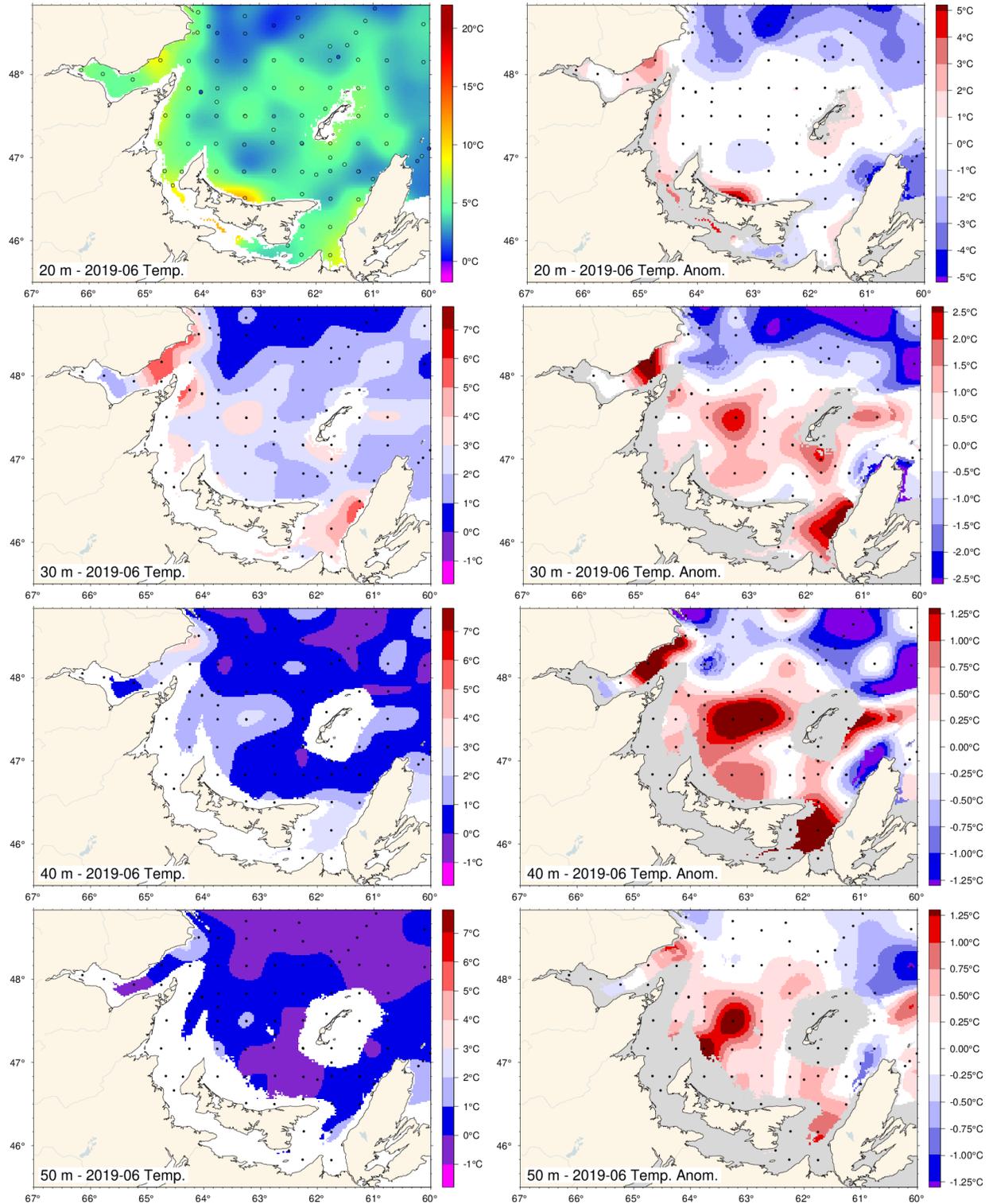


Fig. 42. Champs interpolés de température par couches de profondeur, et leurs anomalies, sur le plateau madelinien à 20, 30, 40 et 50 m. Les anomalies sont calculées par rapport aux climatologies de 1981 à 2010 pour toutes les années pour lesquelles les données étaient disponibles (apparaissant sur la Fig. 43).

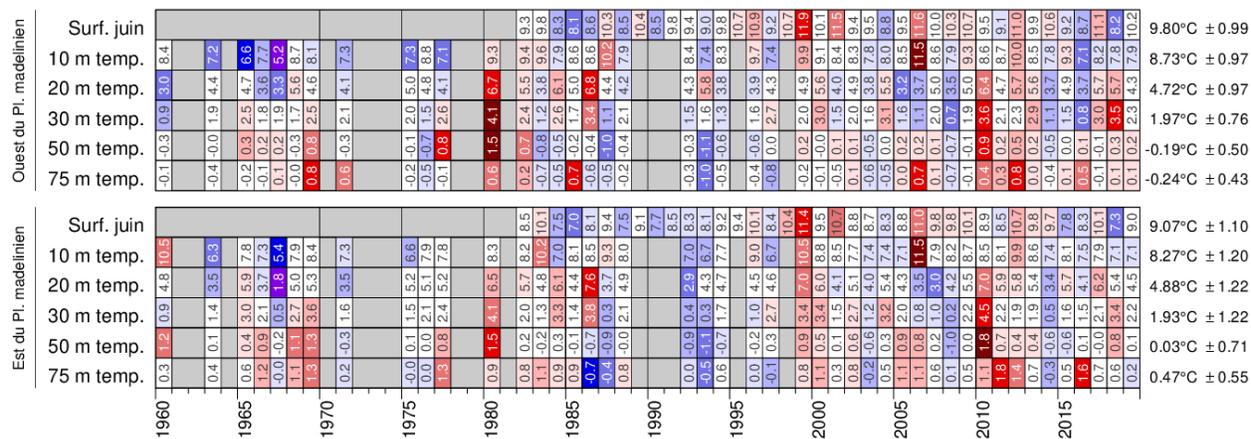


Fig. 43. Anomalies de la température moyenne par couches de profondeur pour les régions ouest et Est du plateau madelinien pour le relevé du maquereau en juin. Les données de la SST sont les moyennes de juin tirées des données de télédétection de la NOAA, répétées de la Fig. 21. Le code de couleurs correspond aux anomalies normalisées d'après les climatologies de 1981 à 2010, mais les nombres sont les températures moyennes en °C.

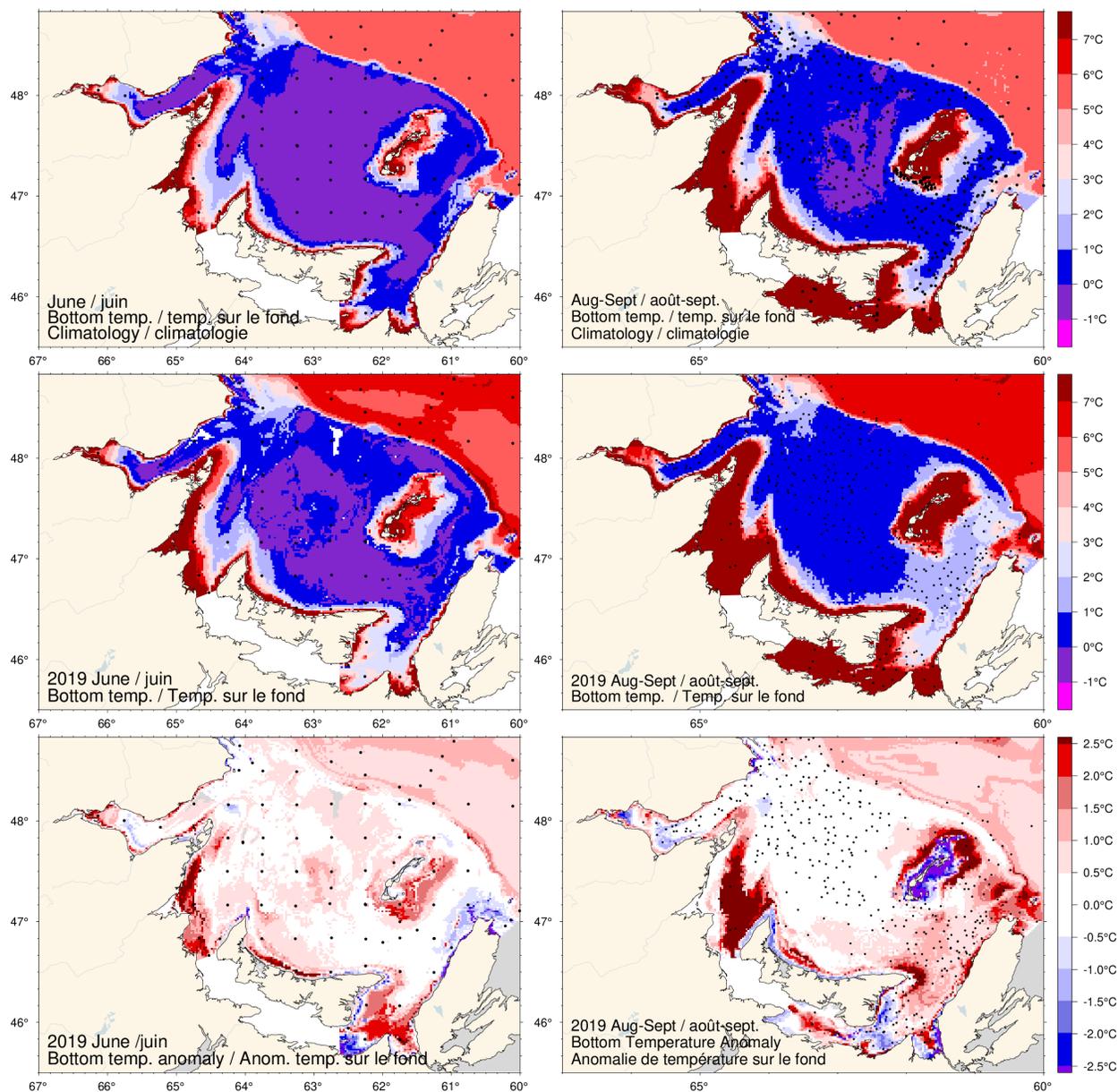


Fig. 44. Haut : Climatologie de la température au fond en juin (à gauche) et en août-septembre (à droite); milieu : observations en 2019; bas : anomalies.

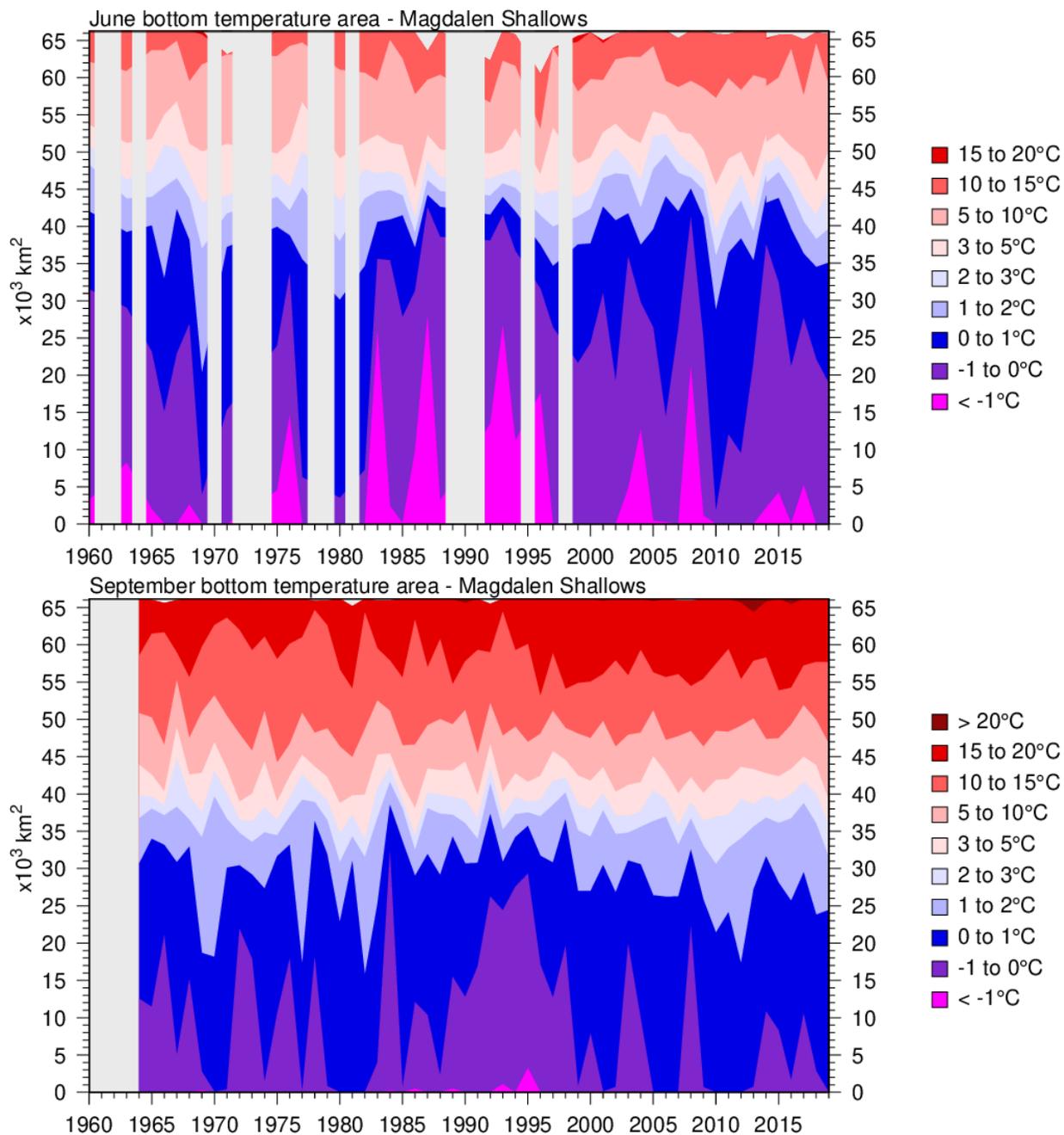


Fig. 45. Série chronologique des superficies du fond recouvertes par différentes plages de températures en juin (haut) et en août-septembre (bas) pour le plateau madelinien (région 8). Pour le panneau du bas, les données proviennent principalement du mois de septembre.

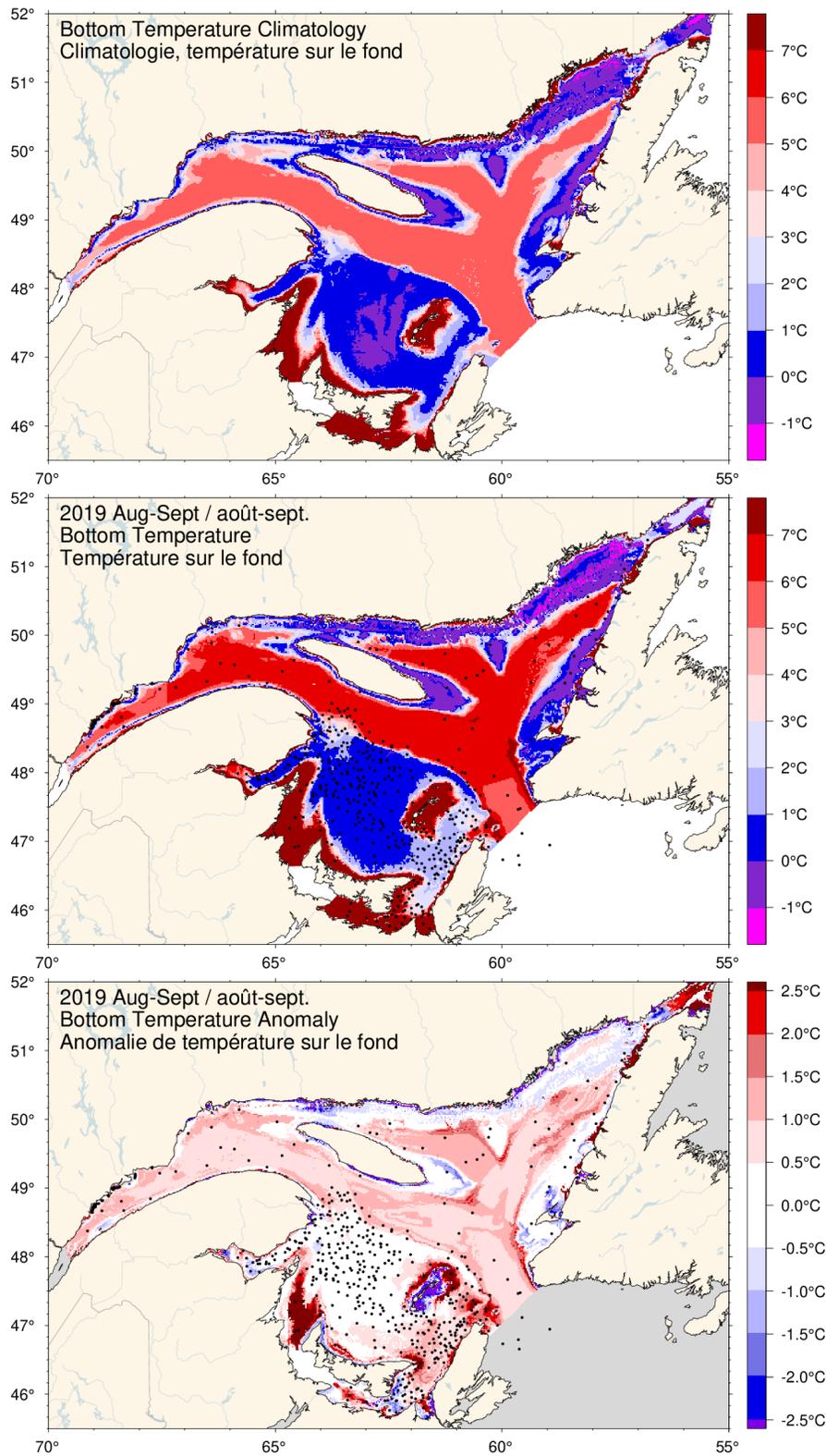


Fig. 46. Climatologie de la température au fond en août-septembre (haut), observations en 2019 (milieu) et anomalies (bas).

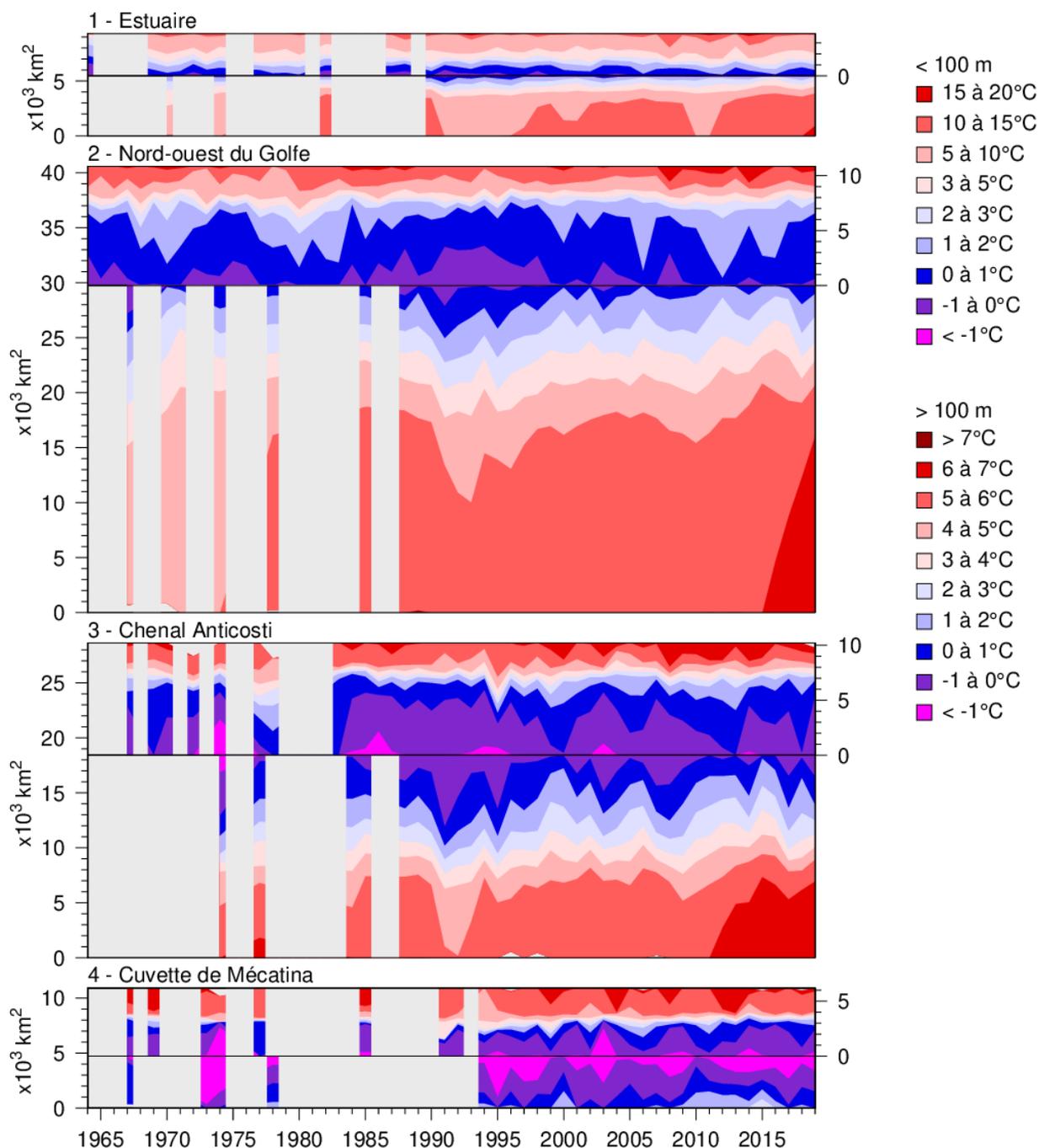


Fig. 47. Série chronologique des superficies du fond recouvertes par différentes plages de températures en août-septembre pour les régions 1 à 4. Dans les panneaux, la ligne horizontale noire sépare les superficies peu profondes (< 100 m) et profondes (> 100 m) afin de distinguer les eaux plus chaudes au-dessus et en dessous de la CIF. Les superficies peu profondes sont illustrées en haut à l'aide de l'échelle à la droite et les eaux plus chaudes sont représentées en commençant par le haut. Les superficies profondes sont indiquées sous la ligne horizontale et les eaux plus chaudes commencent en bas. Les superficies de la CIF au-dessus et en dessous de 100 m se rejoignent près de la ligne horizontale.

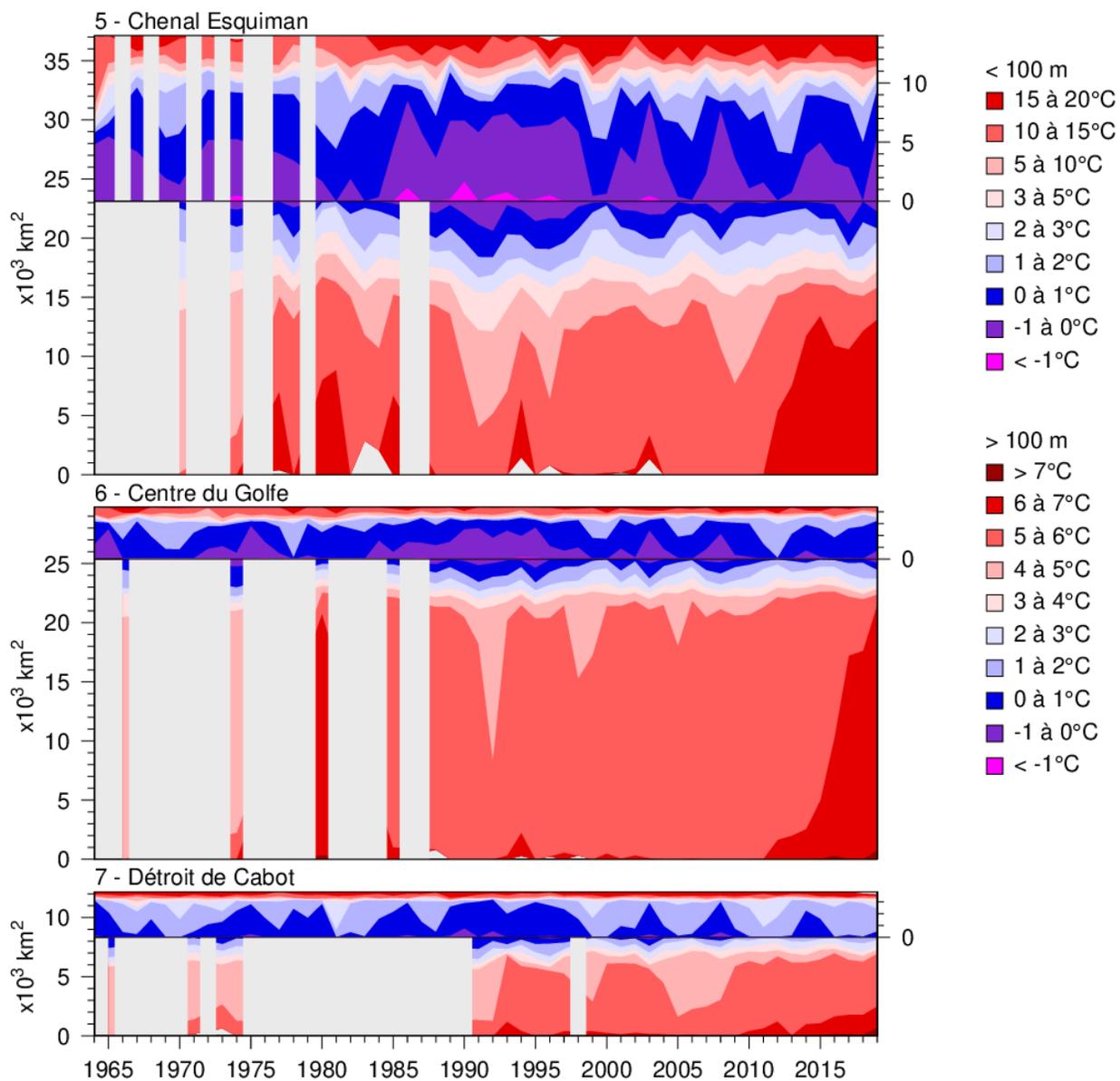


Fig. 48. Série chronologique des superficies du fond recouvertes par différentes plages de températures en août-septembre pour les régions 5 à 7. Dans les panneaux, les superficies peu profondes (< 100 m) et profondes (> 100 m) sont séparées afin de distinguer les eaux plus chaudes au-dessus et en dessous de la CIF. Voir la légende de la Fig. 47.

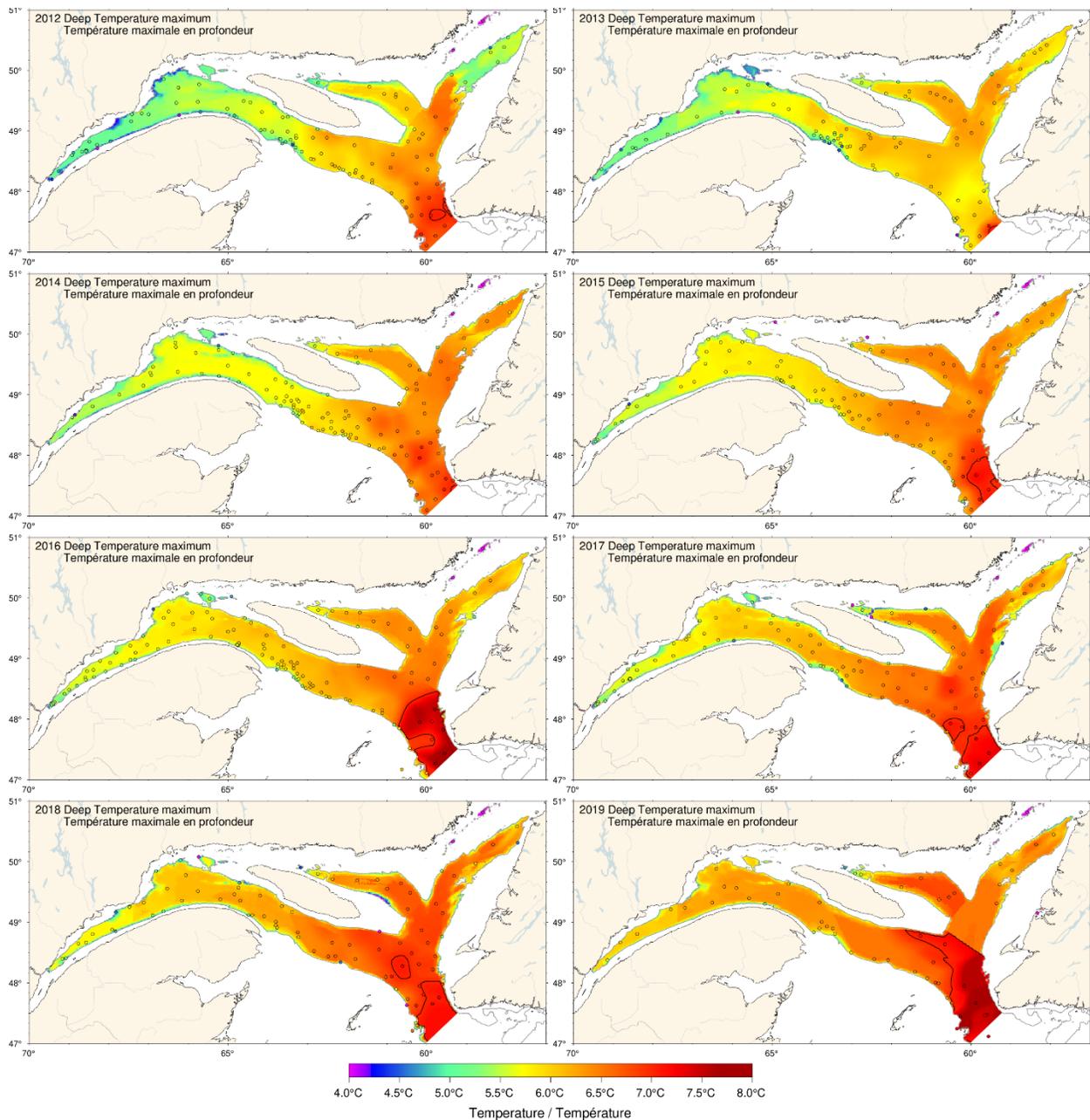


Fig. 49. Carte du maximum profond de température généralement observé entre 200 et 300 m, 2012–2019. Les cartes ont été interpolées à partir des données d'août-septembre disponibles pour chaque année. Pour 2012, 2013 et 2017, les profils réalisés dans le détroit de Cabot pendant le relevé d'automne ont été utilisés pour combler les lacunes de l'échantillonnage d'août.

	Température 300 m		Température Maximale		Température 200 m		T moyenne Golfe				
	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2010	2015			
Estuaire	5.04	5.29	5.29	4.89	4.56	4.26	4.82	4.73	4.24	2.49°C ± 0.48	
Nord-ouest du Golfe	6.29	6.10	5.12	5.01	4.73	4.40	4.91	4.89	4.23	4.42°C ± 0.44	
Chenal Anticosti	5.39	5.32	5.47	5.16	4.73	4.40	5.05	4.86	4.14	5.32°C ± 0.27	
Chenal Esquiman	4.61	5.84	5.11	5.10	4.90	4.58	5.01	4.97	4.28	5.39°C ± 0.23	
Centre du Golfe	6.91	5.83	5.43	5.19	4.86	4.39	5.10	4.80	4.56	5.48°C ± 0.51	
Détroit de Cabot	6.18	5.60	5.61	5.03	4.93	4.49	5.06	4.76	4.12	5.59°C ± 0.62	
Laurentien Hermitage	6.44	6.54	6.23	5.90			5.66	5.68	4.99	5.70°C ± 0.52	
Laurentien Embouchure	3.96	6.10	5.60	5.20	5.05		3.44	3.06	4.23	5.48°C ± 0.16	
Estuaire	6.36	6.28	5.96	5.88	5.41	5.06	3.73	3.60	3.17	3.87°C ± 0.36	
Nord-ouest du Golfe	6.23	5.94	5.80	5.26	5.75	5.27	6.00	5.93	5.16	4.31°C ± 0.38	
Chenal Anticosti	6.11	5.85	5.68	5.67	5.56		5.66	5.67	5.01	4.10°C ± 0.54	
Chenal Esquiman	5.13	5.09	5.39	5.55	5.50	5.35	4.70	5.32	4.44	4.53°C ± 0.58	
Centre du Golfe	5.48	5.49	5.44	5.15	5.30		5.38	5.16	4.25	4.50°C ± 0.52	
Détroit de Cabot	6.80	6.17	5.43	5.37	5.26	5.12	5.27	5.23	4.52	4.89°C ± 0.58	
Laurentien Hermitage	7.41	6.78	6.10	5.75	5.30		5.67	5.63	4.96	5.76°C ± 0.65	
Laurentien Embouchure	6.60	6.62	6.08	5.90	5.36		5.76	5.69	4.87	6.31°C ± 0.91	
Estuaire	5.42	5.95	5.60	5.76	5.60	4.91	5.65	5.65	4.84	3.87°C ± 0.36	
Nord-ouest du Golfe	5.37	5.86	5.61	5.68	5.62	5.23	5.63	5.67	5.61	4.31°C ± 0.38	
Chenal Anticosti	5.43	5.77	5.52	5.56	5.51	5.26	5.37	5.38	5.11	4.10°C ± 0.54	
Chenal Esquiman	5.80	5.61	5.23	4.93	4.36	5.14	4.85	4.88	4.44	4.53°C ± 0.58	
Centre du Golfe	5.47	5.40	5.22	5.25	5.18	4.69	5.21	5.11	4.88	4.89°C ± 0.58	
Détroit de Cabot	5.90	5.53	5.32	5.16	4.99	4.71	5.22	5.14	4.72	5.76°C ± 0.65	
Laurentien Hermitage	6.41	6.01	5.91	5.49	4.96	4.65	5.27	5.24	4.32	6.31°C ± 0.91	
Laurentien Embouchure	5.11	6.16	5.10	5.04	4.75	4.32	5.16	5.14	4.32	4.95°C ± 0.26	
Estuaire	6.31	5.78	5.81	5.96	5.18	4.72	5.93	5.96	5.18	5.22°C ± 0.20	
Nord-ouest du Golfe	6.24	5.96	5.66	5.50	5.19	4.70	5.79	5.66	4.87	5.29°C ± 0.34	
Chenal Anticosti	5.60	5.92	5.79	5.76	5.28	4.68	5.33	5.35	4.46	5.37°C ± 0.35	
Chenal Esquiman	5.62	5.48	5.29	5.39	5.24	4.66	5.35	5.38	4.81	5.61°C ± 0.23	
Centre du Golfe	6.12	5.80	5.74	5.47	5.31	5.09	6.13	6.05	5.32	5.89°C ± 0.40	
Détroit de Cabot	6.19	5.97	5.73	5.58	5.22	4.93	6.05	6.05	5.43	4.95°C ± 0.26	
Laurentien Hermitage	5.48	5.95	5.75	5.65	5.30	4.91	6.06	6.06	5.45	5.29°C ± 0.34	
Laurentien Embouchure	6.54	6.09	5.65	5.67	5.39	5.06	6.19	6.19	5.88	5.61°C ± 0.23	
Estuaire	5.99	5.92	5.91	5.72	5.47	5.20	6.00	5.78	5.64	4.97°C ± 0.23	
Nord-ouest du Golfe	5.32	5.67	5.83	5.74	5.47	5.11	6.04	5.78	5.53	5.33°C ± 0.17	
Chenal Anticosti	5.83	5.66	5.64	5.52	5.47	5.15	5.98	5.63	5.42	5.56°C ± 0.19	
Chenal Esquiman	5.93	5.61	5.65	5.54	5.42	5.12	5.86	5.70	5.60	5.65°C ± 0.25	
Centre du Golfe	5.41	5.39	5.46	5.58	5.41	5.17	5.51	5.48	5.21	5.82°C ± 0.46	
Détroit de Cabot	5.28	5.54	5.46	5.46	5.36	5.06	5.48	5.46	5.36	5.88°C ± 0.53	
Laurentien Hermitage	6.78	5.53	5.34	5.31	5.25	5.02	6.37	6.37	5.84	6.40°C ± 0.55	
Laurentien Embouchure	6.46	5.96	5.99	5.64	5.24	4.82	6.38	6.18	5.84	6.40°C ± 0.55	
Estuaire	6.70	6.25	6.17	5.94	5.44	4.96	6.45	6.45	5.70	4.97°C ± 0.23	
Nord-ouest du Golfe	6.40	6.05	6.03	5.99	5.54	5.21	6.09	6.14	5.94	5.33°C ± 0.17	
Chenal Anticosti	7.40	6.60	6.19	5.96	5.63	5.21	6.89	6.28	6.34	5.66°C ± 0.19	
Chenal Esquiman	7.63	6.78	6.17	6.13	5.82	5.46	6.88	6.38	6.31	5.82°C ± 0.46	
Centre du Golfe	7.45	6.75	6.57	6.31	5.88	5.53	7.23	6.94	6.22	6.22°C ± 0.56	
Détroit de Cabot	7.54	7.26	6.74	6.40	5.95	5.54	8.69	7.29	7.77	6.31	6.13°C ± 0.50
Laurentien Hermitage	7.43	6.91	6.86	6.53	6.07	5.61	8.23	6.17	5.23	6.13°C ± 0.50	
Laurentien Embouchure	8.41	7.35	7.02	6.58	6.25	5.90	10.27	6.85	6.41	6.25°C ± 0.59	

Fig. 50. Température de la couche profonde. Les moyennes de température dans le golfe sont représentées pour 150, 200, 250 et 300 m, ainsi que les moyennes du maximum profond de température généralement observé entre 200 et 300 m dans le golfe. Les moyennes régionales sont indiquées pour 200 et 300 m, ainsi que la température du maximum profond. Les nombres indiqués à droite sont les moyennes climatologiques et les écarts-types pour 1981-2010. Les nombres qui figurent dans les cellules sont les températures moyennes. Le code de couleurs correspond à l'anomalie de température par rapport à la climatologie de 1981-2010 de chaque région et profondeur.

		Moy. ± é.t.													
S moyenne Golfe	150 m	1.3	0.6	0.6	1.1	-2.3	-1.7	-0.4	0.1	-0.8	-1.7	-1.4	0.6	33.45 ± 0.14	
	200 m	-1.7	-2.3	-1.4	-0.6	0.6	0.9	0.6	0.7	-0.9	-0.8	-0.8	0.7	34.09 ± 0.11	
	250 m	3.0	-2.1	-2.5	-0.5	-0.9	-0.8	0.2	0.9	-0.9	-0.1	0.4	1.9	34.48 ± 0.08	
	300 m	-0.9	-0.1	0.4	1.9	0.8	-0.5	-0.5	0.6	0.6	0.8	1.7	1.3	2.6	34.65 ± 0.05
	Estuaire	0.4	-1.2	-1.7	-2.3	-1.7	-0.4	0.1	-0.8	-1.7	-1.8	-1.8	-1.3	33.99 ± 0.16	
Salinité 200 m	Nord-ouest du Golfe	0.6	-2.5	-0.1	-0.1	0.6	0.2	1.9	1.9	0.1	-0.1	-0.1	0.1	34.11 ± 0.11	
	Chenal Anticosti	1.3	0.1	0.8	-0.8	0.1	-0.6	0.8	-0.2	-0.8	-0.4	0.5	0.7	33.95 ± 0.14	
	Cuvette de Mécatina	0.2	-0.8	-0.4	0.2	0.5	0.7	1.7	0.7	1.4	1.2	0.9	1.2	32.74 ± 0.18	
	Chenal Esquiman	1.4	0.6	0.9	-0.5	2.1	1.0	1.6	1.2	1.7	1.5	1.5	1.5	34.10 ± 0.15	
	Centre du Golfe	0.4	1.8	2.7	1.5	0.4	0.5	-1.9	1.8	1.7	1.4	1.1	1.1	34.10 ± 0.13	
	Détroit de Cabot	3.1	0.1	-0.3	0.1	0.7	-0.9	0.1	0.1	0.4	0.6	-0.1	2.1	34.17 ± 0.14	
	Laurentien Hermitage	0.7	-0.3	-0.4	0.2	0.5	1.5	0.1	0.4	0.6	-0.1	-1.2	1.8	34.32 ± 0.15	
	Laurentien Embouchure	-1.8	-1.7	-1.8	0.5	1.2	-1.0	1.3	1.0	1.2	1.7	1.4	0.7	0.3	34.42 ± 0.25
	Estuaire	0.1	-0.4	1.3	1.3	0.1	-0.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	34.44 ± 0.09	
	Nord-ouest du Golfe	-1.5	-1.4	-0.2	0.4	-0.1	-0.8	-2.1	-2.9	-2.0	-1.2	-0.2	-0.8	-0.9	34.61 ± 0.06
Salinité 300 m	Centre du Golfe	-0.2	-0.8	-0.9	-1.5	-1.3	0.5	0.7	0.0	0.3	0.2	0.1	0.1	34.68 ± 0.06	
	Détroit de Cabot	-0.5	0.4	0.4	1.0	0.7	-0.5	0.4	0.4	0.7	0.0	0.0	0.0	34.70 ± 0.06	
	Laurentien Hermitage	-0.7	-2.1	-1.9	-2.3	-2.1	-2.8	-1.7	-1.5	-3.2	0.8	-1.9	-1.2	34.73 ± 0.06	
	Laurentien Embouchure	0.8	1.1	0.1	-0.1	-0.7	0.6	0.3	0.0	0.0	-0.1	0.1	1.2	34.72 ± 0.08	
	Estuaire	0.5	-0.1	-0.4	-0.3	-0.1	0.8	1.1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	34.44 ± 0.09	
	Nord-ouest du Golfe	-0.7	-0.4	0.0	-0.5	-0.7	-0.8	0.2	0.1	0.1	1.2	0.4	0.4	34.61 ± 0.06	
	Centre du Golfe	1.2	-0.3	0.3	-0.2	0.3	-0.4	-0.1	0.1	0.1	-0.8	-0.2	0.2	34.68 ± 0.06	
	Détroit de Cabot	0.7	-1.2	0.5	-1.3	-0.4	0.0	-0.1	-1.0	-0.8	0.2	0.2	0.2	34.70 ± 0.06	
	Laurentien Hermitage	1.7	1.0	1.4	1.0	0.5	1.9	1.3	0.3	1.3	1.3	1.3	1.3	34.73 ± 0.06	
	Laurentien Embouchure	-0.1	0.6	-0.1	0.8	-0.4	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	34.72 ± 0.08	

Fig. 51. Salinité de la couche profonde. Les moyennes de salinité dans le golfe sont indiquées pour 150, 200, 250 et 300 m. Les moyennes régionales sont indiquées pour 200 et 300 m. Les nombres indiqués à droite sont les moyennes climatologiques et les écarts-types pour 1981–2010. Les nombres qui figurent dans les cellules sont les anomalies normalisées.

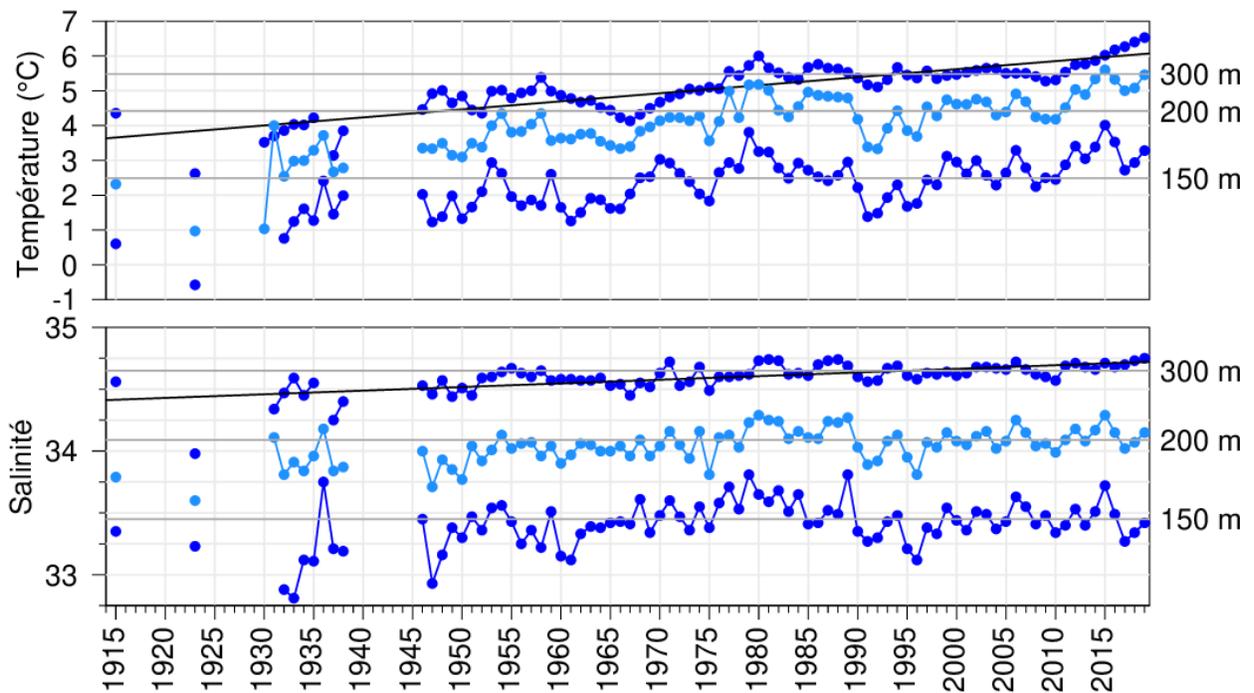


Fig. 52. Série chronologique de la température et de la salinité moyennée par couche de profondeur pour le golfe du Saint-Laurent. Les panneaux de température et de salinité représentent les moyennes annuelles à 150, 200 et 300 m et les lignes horizontales sont les moyennes de 1981-2010. Les lignes obliques indiquent les régressions, de 2,3 °C et 0,3 respectivement par siècle, de la température et de la salinité à 300 m.

March/mars 2019

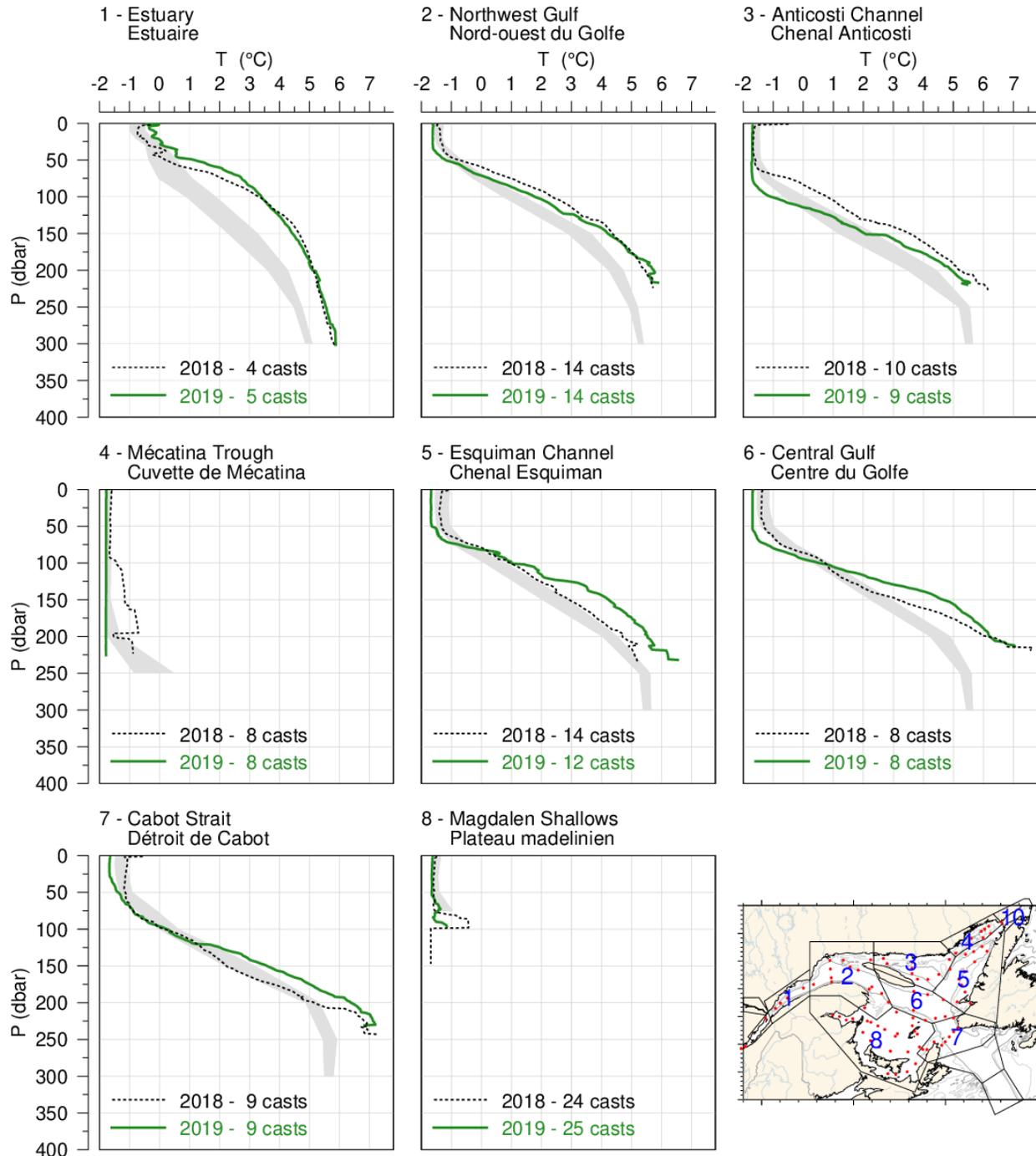


Fig. 53. Profils moyens de la température observés dans chaque région du golfe pendant le relevé de mars 2019. La zone ombrée représente la moyenne mensuelle climatologique de 1981–2010 (mais surtout 1996–2010) $\pm 0,5$ ÉT. Les profils moyens de 2018 sont également indiqués aux fins de comparaison.

June/juin 2019

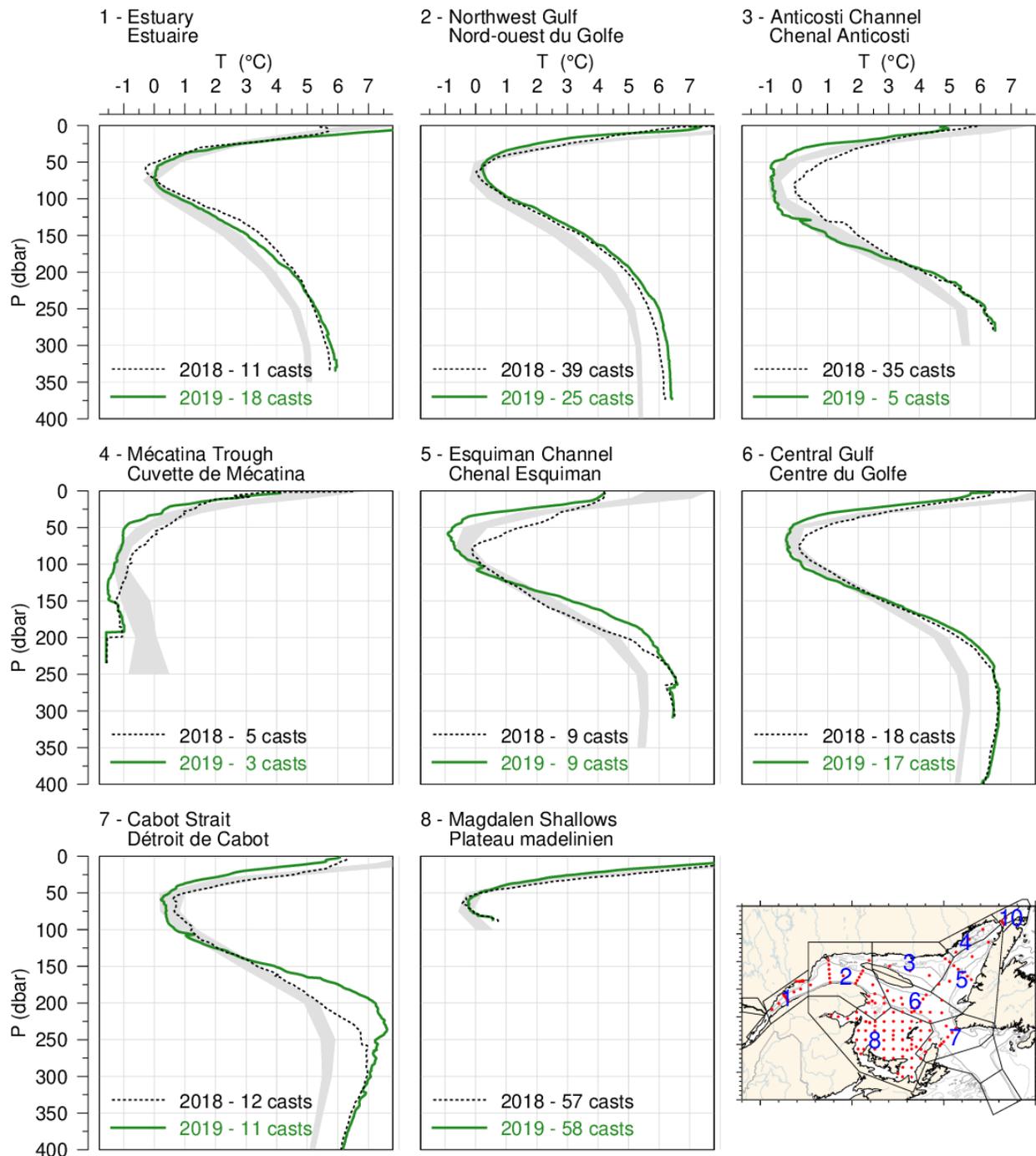


Fig. 54. Profils moyens de la température observés dans chaque région du golfe en juin 2019. La zone ombrée représente la moyenne mensuelle climatologique de 1981–2010 \pm 0,5 ÉT. Les profils moyens de 2018 sont également indiqués aux fins de comparaison.

August-September 2019

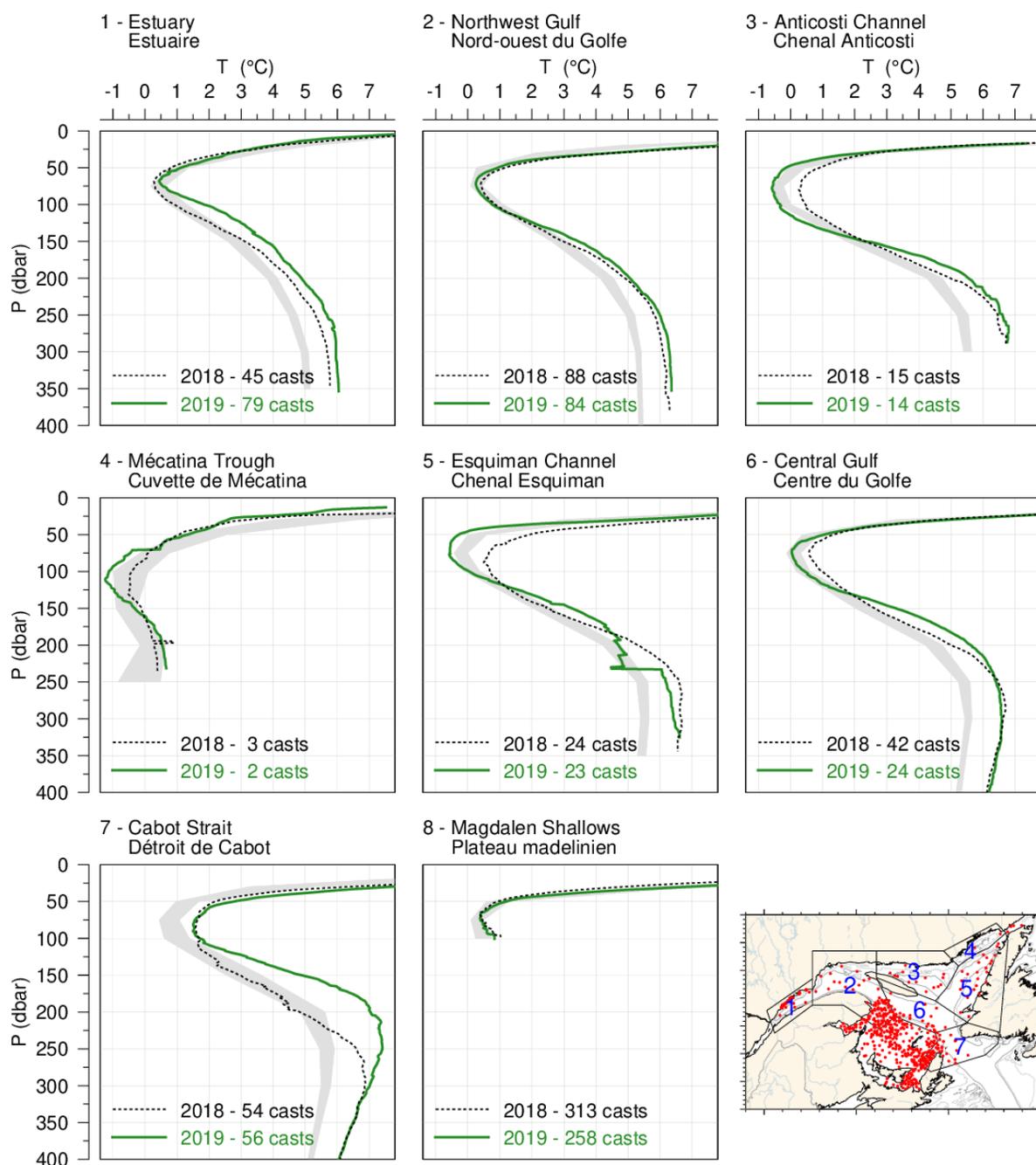


Fig. 55. Profils moyens de la température observés dans chaque région du golfe en août et septembre 2019. La zone ombrée représente la moyenne mensuelle climatologique de 1981–2010 \pm 0,5 ÉT pour août pour les régions 1 à 7 et pour septembre pour la région 8. Les profils moyens de 2018 sont également indiqués aux fins de comparaison.

October/November 2019

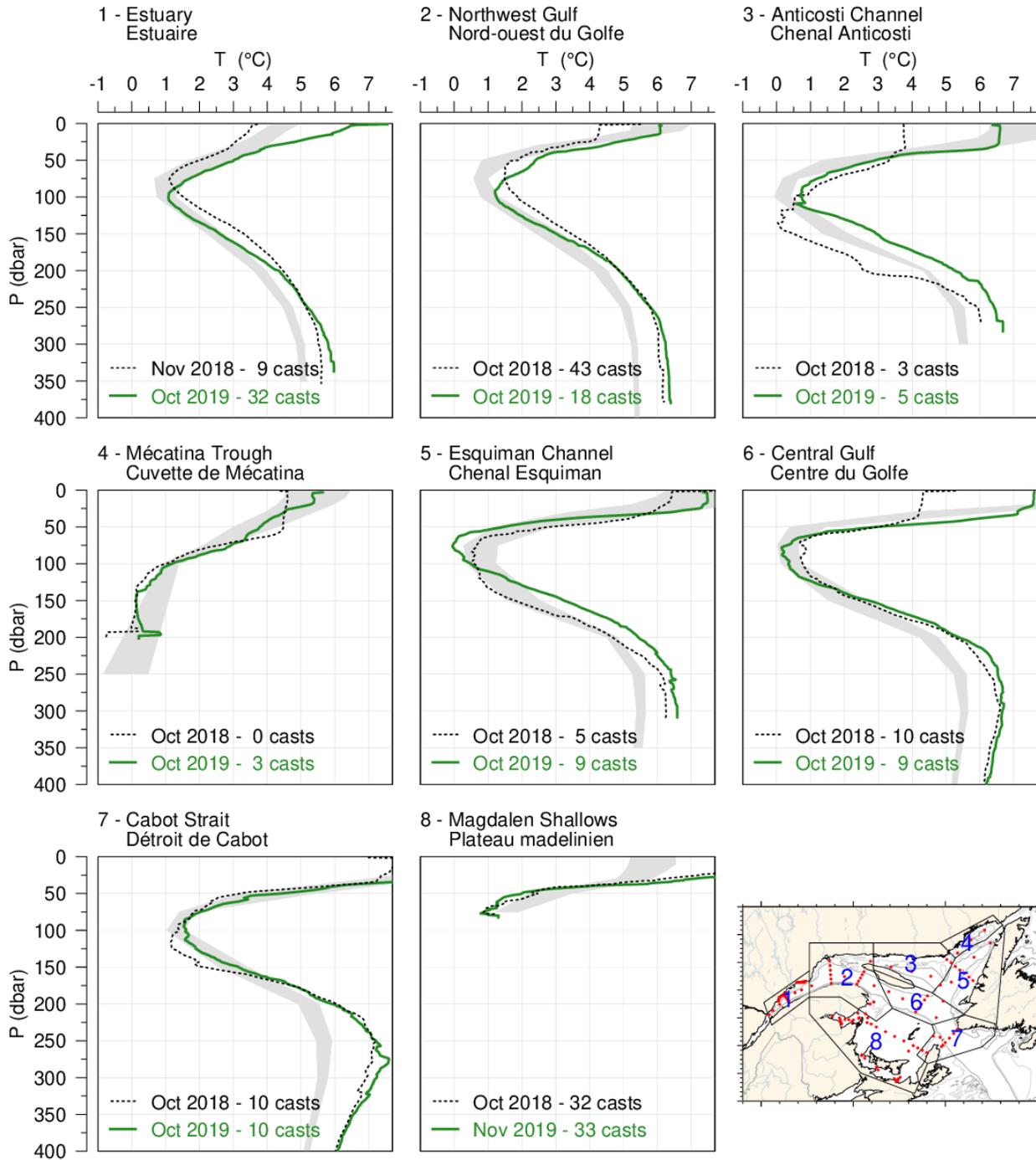


Fig. 56. Profils moyens de la température observés dans chaque région du golfe pendant le relevé de novembre 2019 du PMZA. La zone ombrée représente la moyenne mensuelle climatologique de 1981–2010 \pm 0,5 ÉT. Les profils moyens de 2018 sont également indiqués aux fins de comparaison.

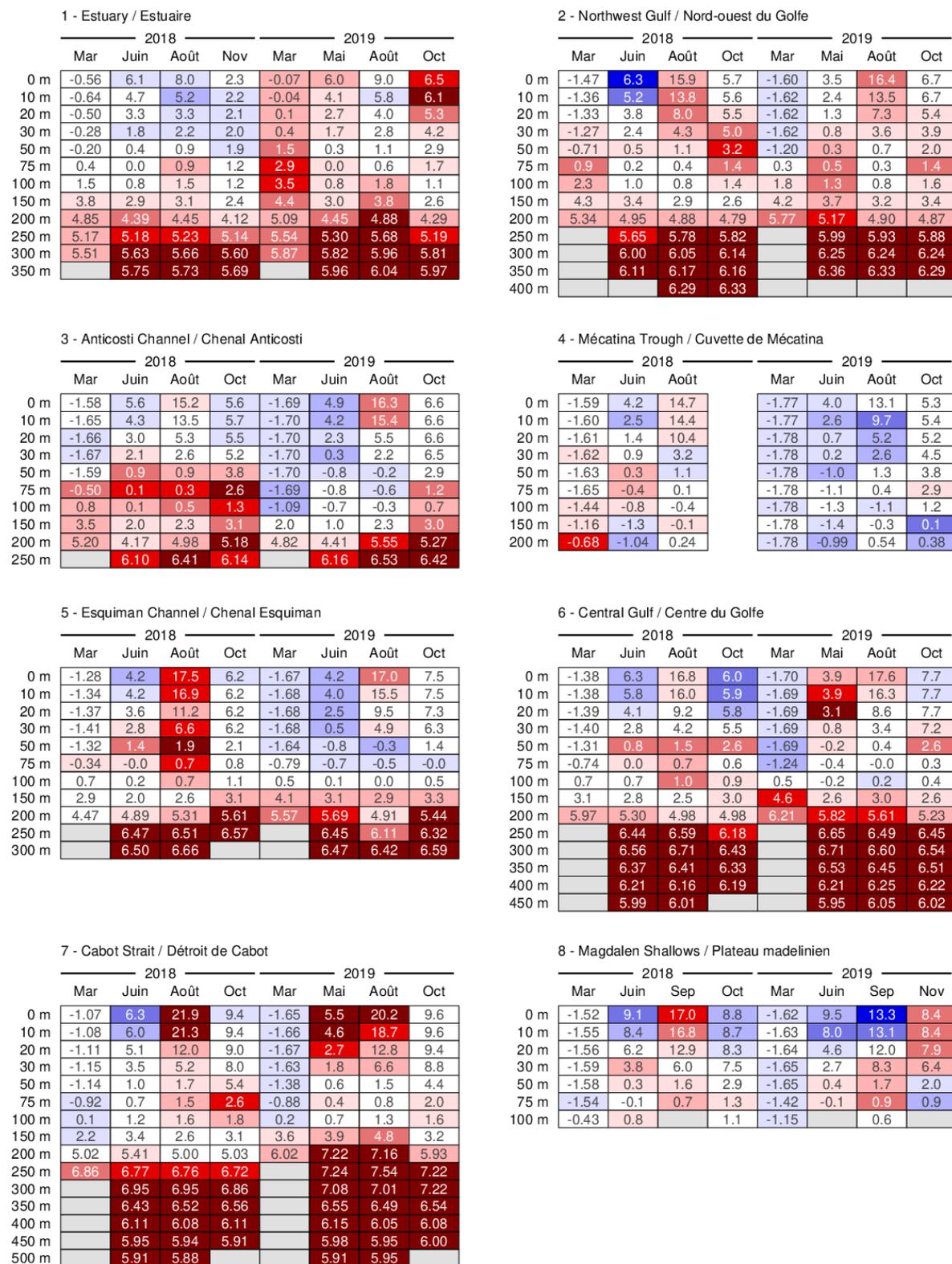


Fig. 57. Récapitulatif de la température mensuelle moyenne des couches par profondeur pour les mois durant lesquels les huit relevés océanographiques ont été réalisés à l'échelle du golfe en 2018 et 2019. Le code de couleurs correspond à l'anomalie de température par rapport à la climatologie mensuelle de 1981–2010 de chaque région.

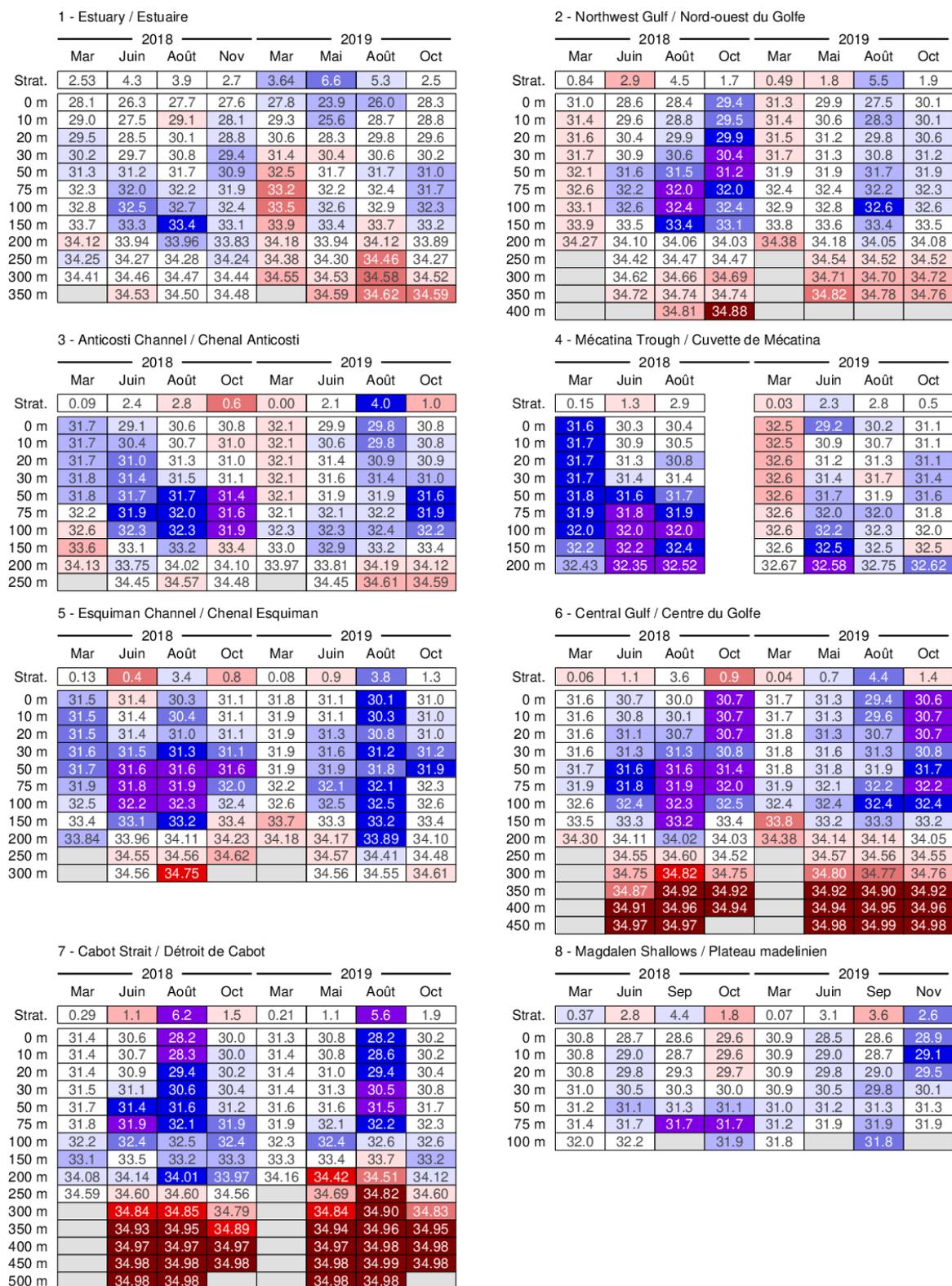


Fig. 58. Récapitulatif de la stratification et de la salinité mensuelles moyennes des couches par profondeur pour les mois durant lesquels les huit relevés océanographiques ont été réalisés à l'échelle du golfe en 2018 et 2019. La stratification est définie comme la différence de densité entre 50 m et la surface et son code de couleurs est inversé (bleu pour une anomalie positive).

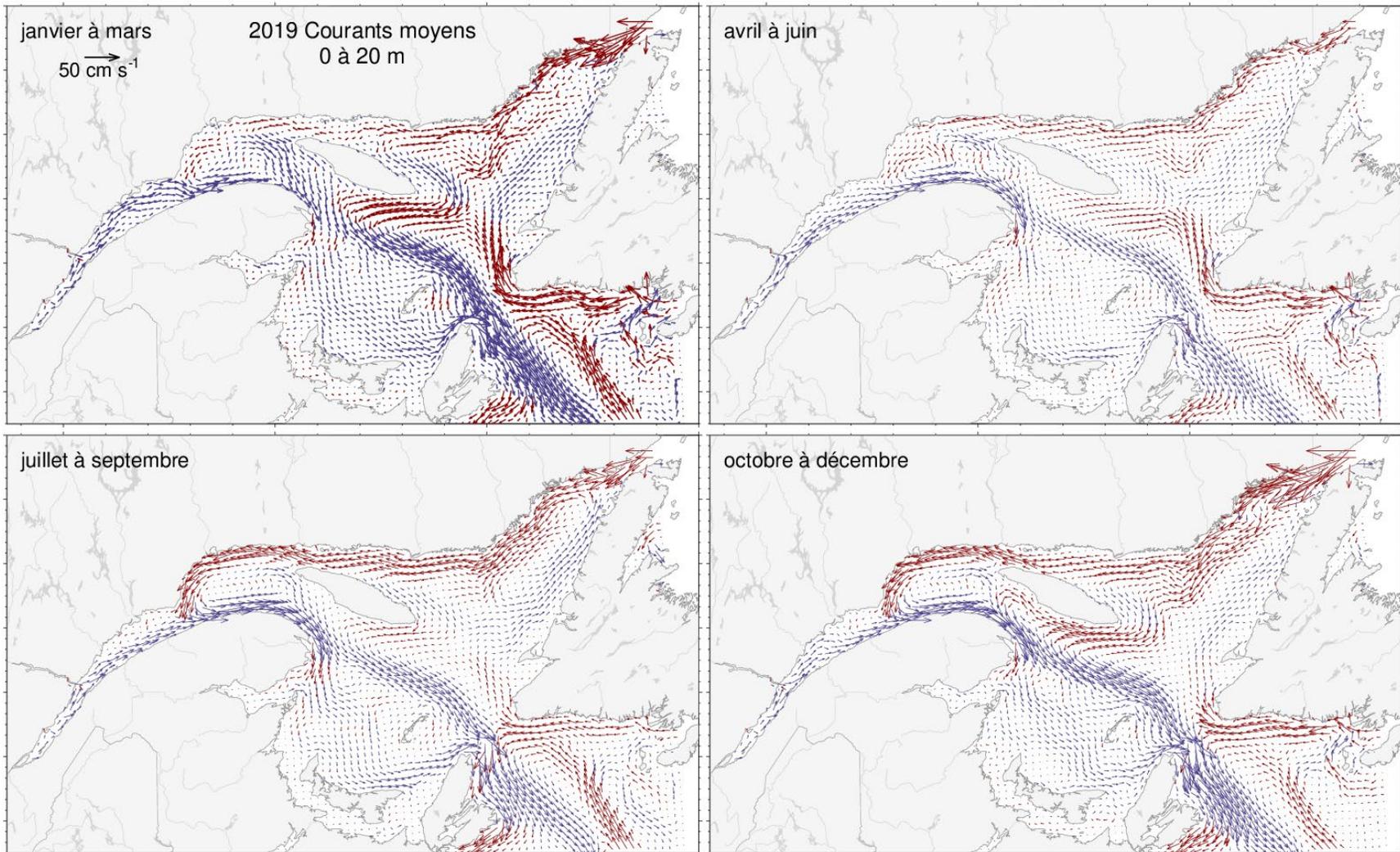


Fig. 59. Courants moyennés de 0 à 20 m pour chaque période de trois mois en 2019. Les vecteurs tracés en bleu vont vers l'est et ceux qui sont tracés en rouge vers l'ouest.

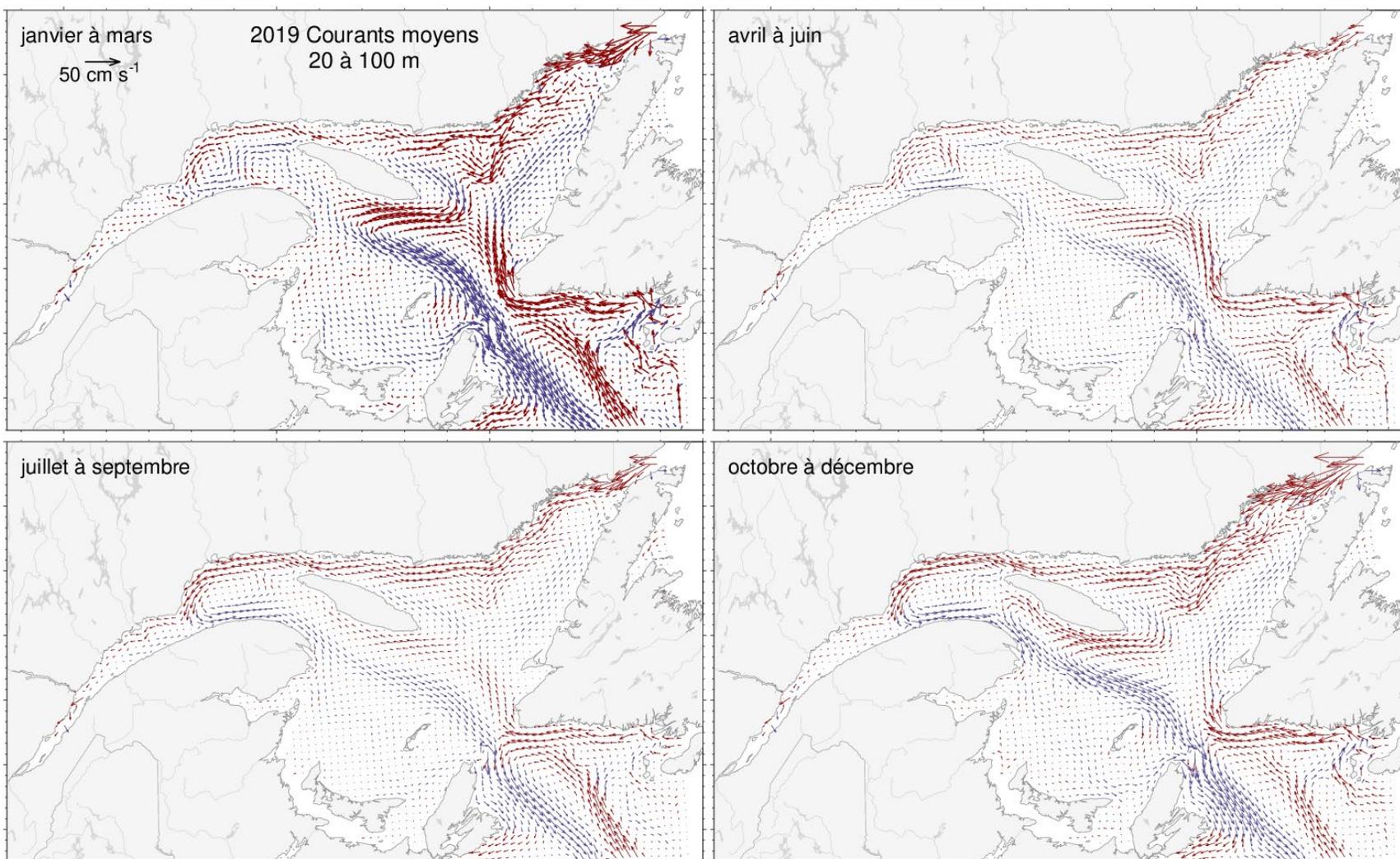


Fig. 60. Courants moyennés de 20 à 100 m pour chaque période de trois mois en 2019. Les vecteurs tracés en bleu vont vers l'est et ceux qui sont tracés en rouge vers l'ouest.

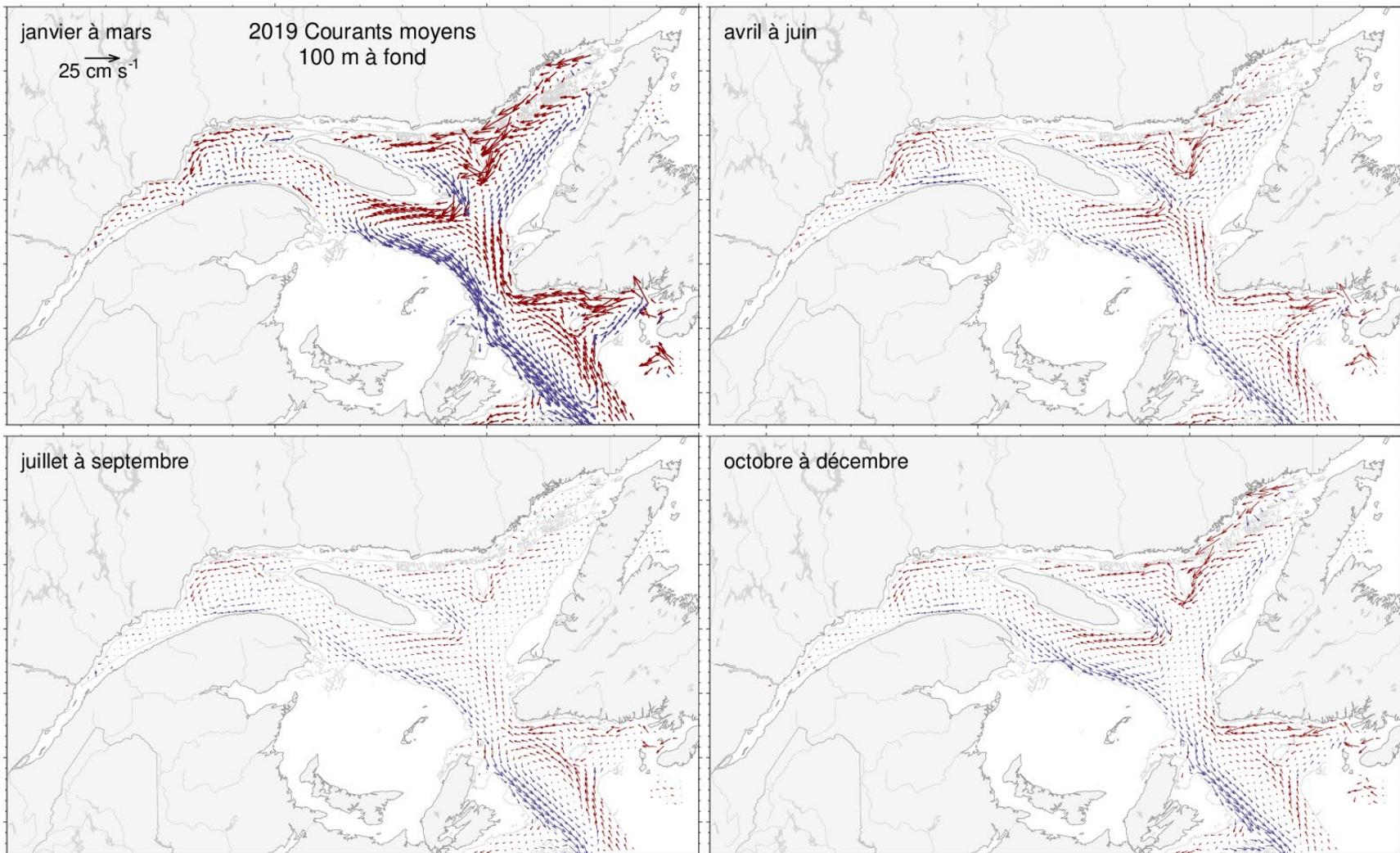
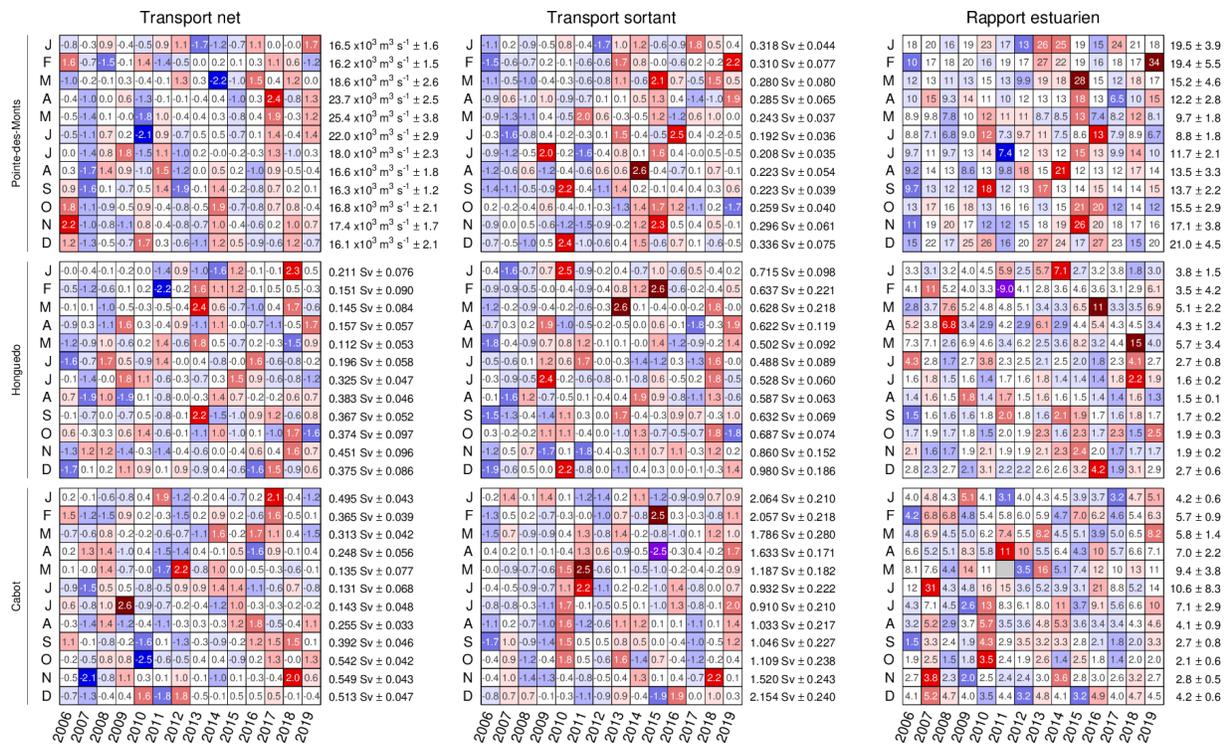


Fig. 61. Courants moyennés de 100 m jusqu'au fond pour chaque période de trois mois en 2019. Les vecteurs tracés en bleu vont vers l'est et ceux qui sont tracés en rouge vers l'ouest.



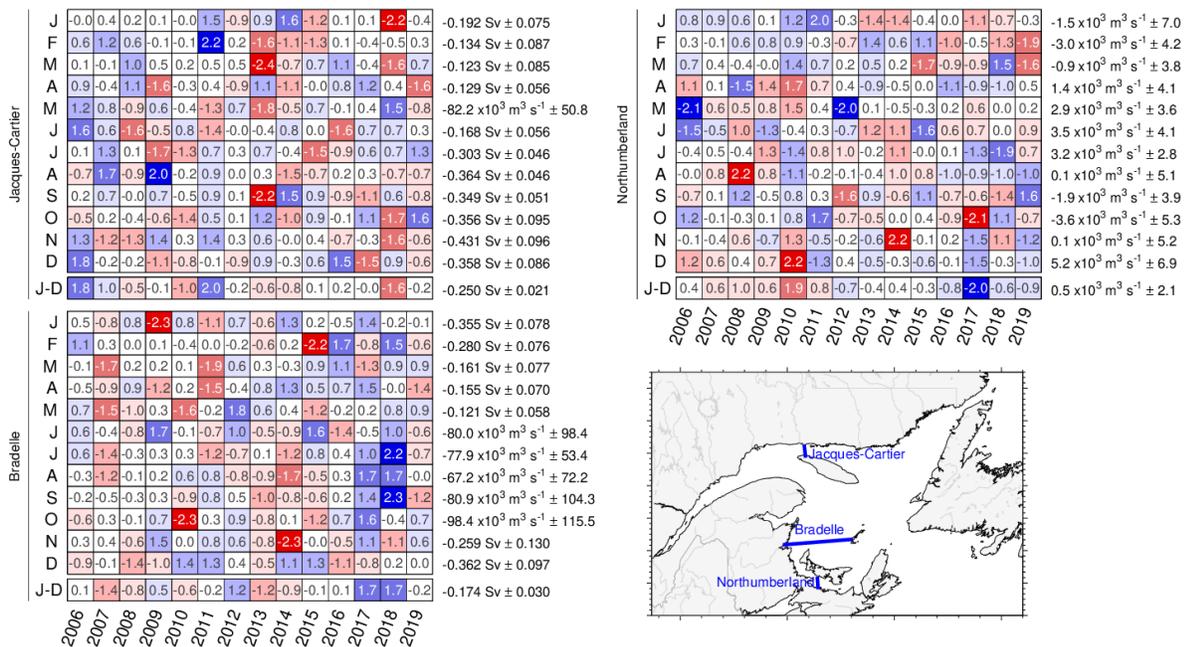


Fig. 63. Transports mensuels moyennés modélisés sur des sections du golfe du Saint-Laurent depuis 2006. Les nombres indiqués à droite sont les moyennes et les écarts-types pour 2006-2019, avec les valeurs positives vers l'est et le nord. Les nombres qui figurent dans les cellules sont les anomalies normalisées. Les couleurs indiquent l'ampleur de l'anomalie (par exemple, les anomalies négatives sont encore indiquées en rouge lorsque le transport moyen est négatif dans la section).

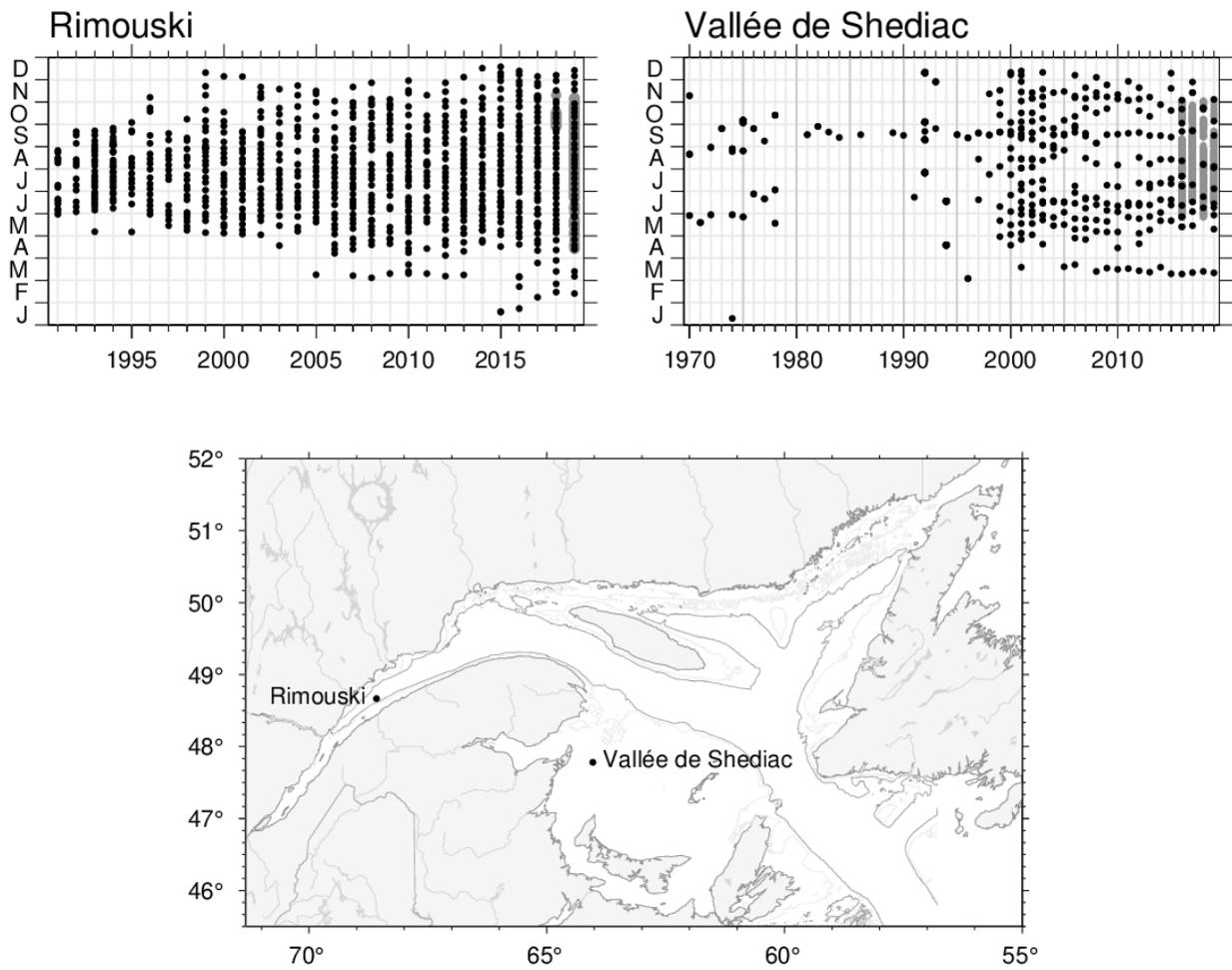
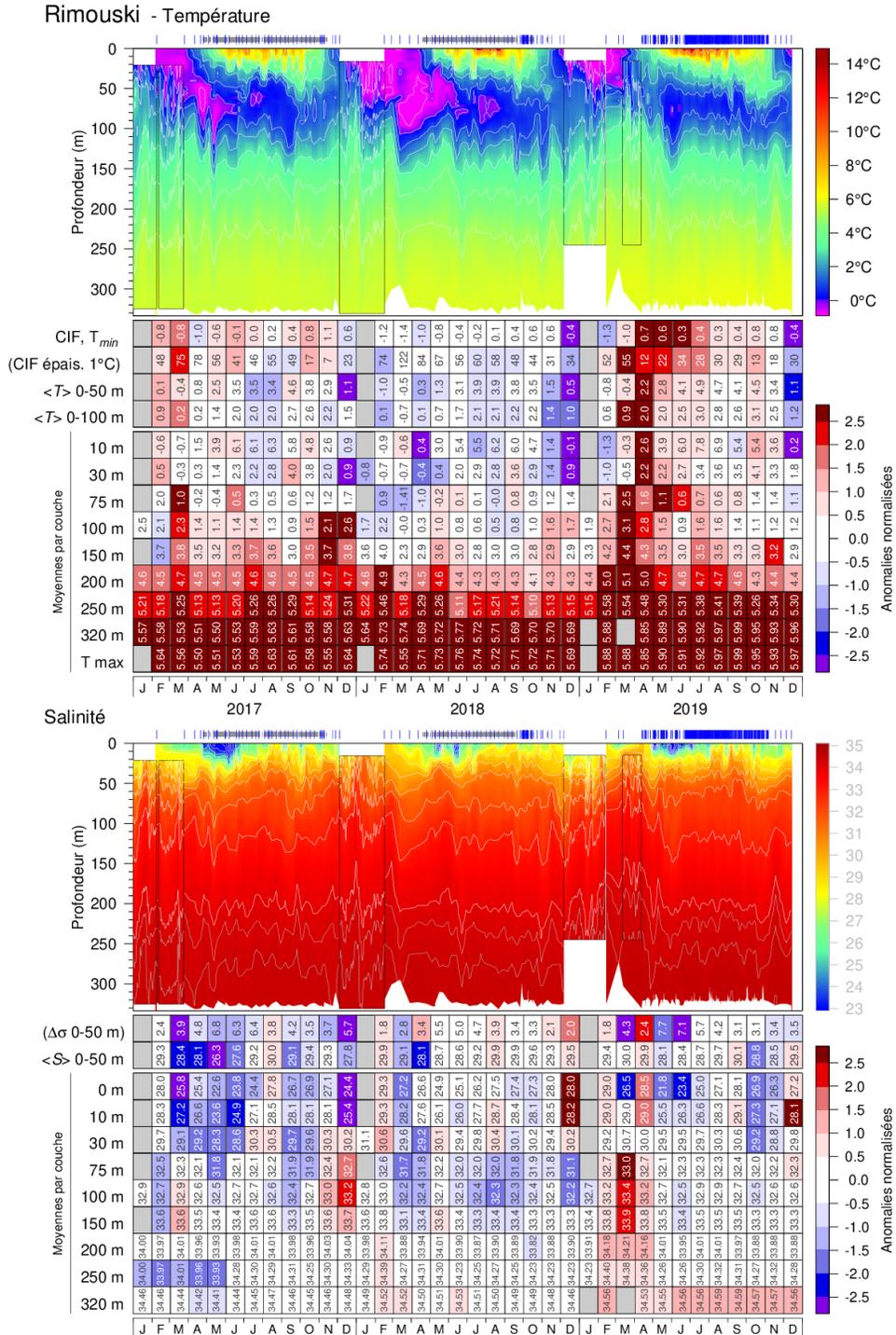
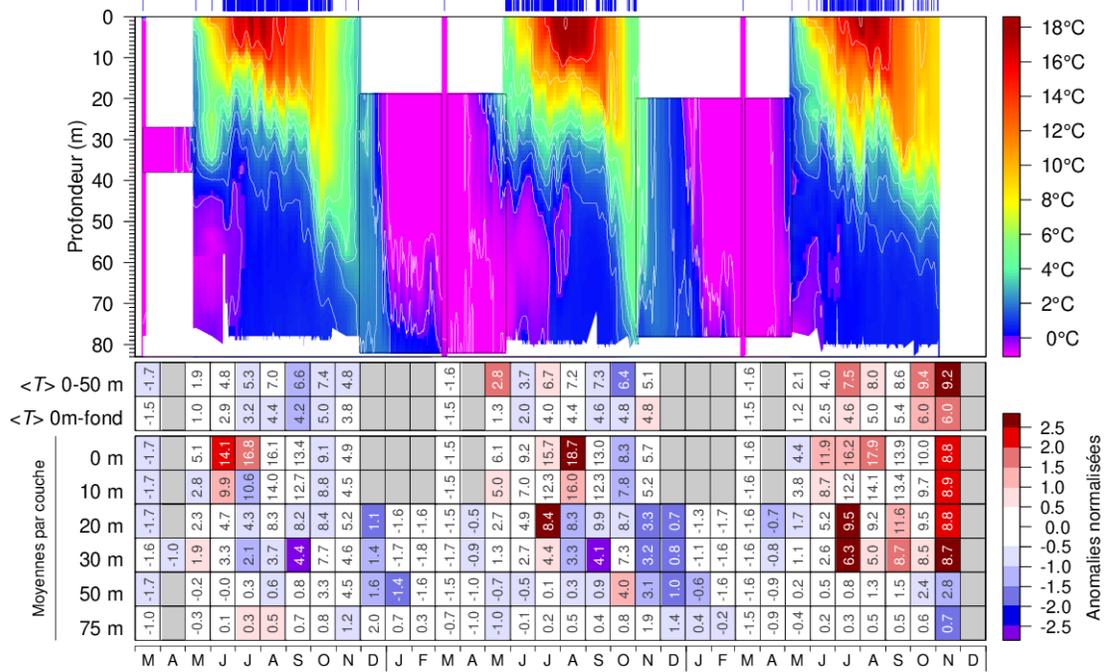


Fig. 64. Fréquence d'échantillonnage et emplacement des stations du PMZA de Rimouski et de la vallée de Shediac. La superposition en gris en 2019 à la station vallée de Shediac représente les 193 profils de température et de salinité réalisés par la bouée océanographique automatique PMZA-VAS du 2019-06-16 au 2019-11-02. La superposition en gris en 2019 à la station Rimouski représente les 388 profils de température et de salinité réalisés par la bouée océanographique automatique PMZA-Riki du 2019-04-13 au 2019-11-06.



Vallée de Shediac - Température



Salinité

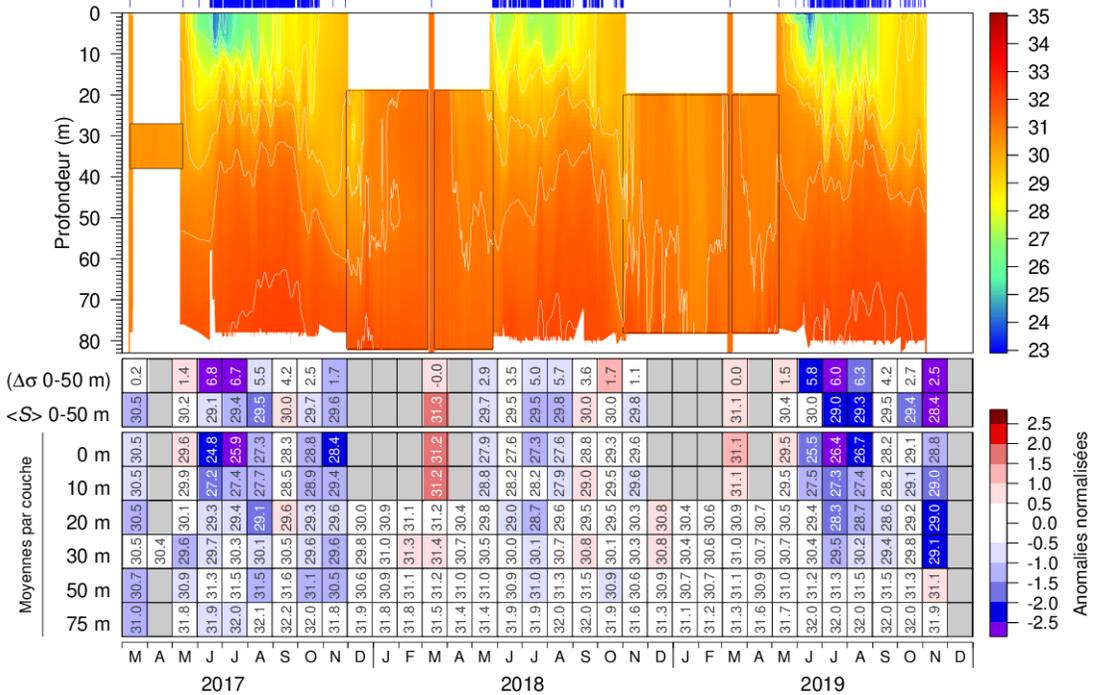


Fig. 66. Séries chronologiques des isothermes et isohalines à la station vallée de Shediac; les marques en haut indiquent les profils (principalement provenant des bouées automatiques depuis 2016). Les tableaux indiquent les moyennes mensuelles à différentes profondeurs, codées par couleur selon l'anomalie par rapport à la climatologie mensuelle de 1981 à 2018 pour la station (les entrées pour la climatologie sont rares avant 1999). Les codes de couleurs sont inversés pour la stratification, le bleu indiquant plus de stratification (salinité faible en surface). Les insertions cadrées et les moyennes mensuelles des couches à 10, 20, 30 et 75 m pour juin à septembre 2015 sont tirées des données d'un mouillage océanographique. Les oscillations de marée interne sont lissées.

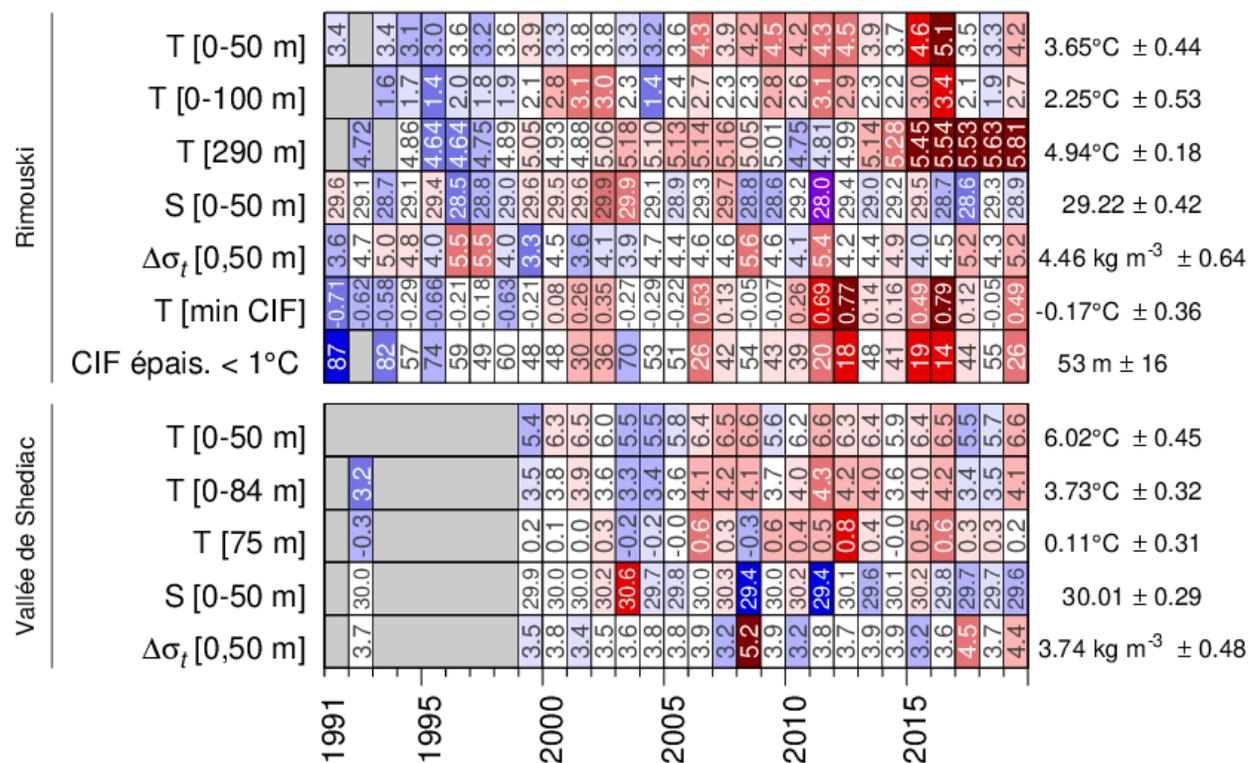


Fig. 67. Moyennes par couche de la température et de la salinité de mai à octobre, stratification (exprimée en tant que différence de densité entre 0 et 50 m) et minimum de température ($T < 1^\circ\text{C}$) et épaisseur de la CIF pour les stations de monitoring à haute fréquence. Les nombres indiqués dans les panneaux sont les moyennes mensuelles codées par couleur en fonction de l'anomalie par rapport à la série chronologique de 1991–2010. Un minimum de trois mois de données d'anomalie, entre mai et octobre, est requis pour afficher une anomalie moyenne pour une année donnée, sauf pour la température de l'eau profonde à la station de Rimouski. Les températures à 290 m et 75 m à la station Rimouski et vallée de Shediac sont considérées représenter les températures près du fond.

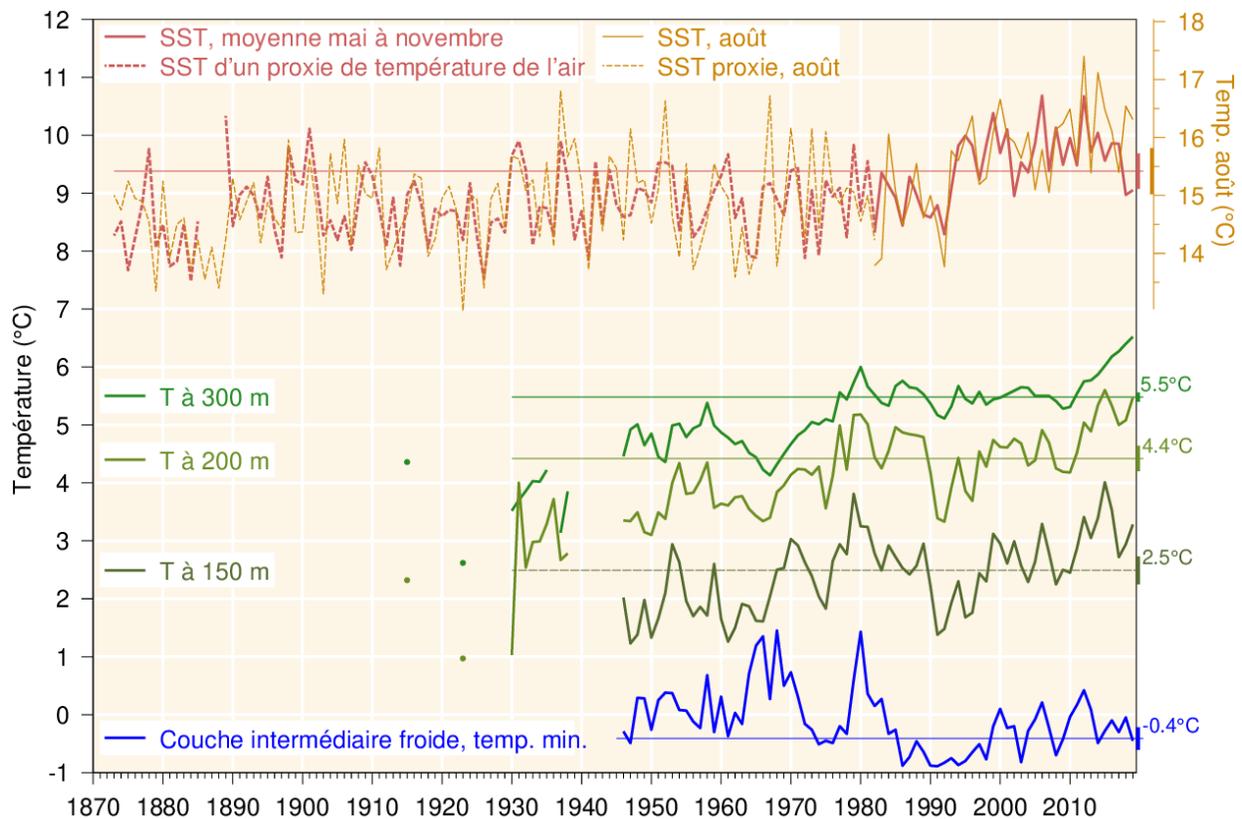


Fig. 68. Températures de l'eau dans le golfe du Saint-Laurent. SST de mai à novembre moyennée sur l'ensemble du golfe, en excluant l'estuaire (1982–2019, ligne rouge), complété par un indicateur indirect tiré de la température de l'air d'avril à novembre (1873–1981, ligne pointillée rouge; moyenne de toutes les stations des Données climatiques canadiennes ajustées et homogénéisées indiquées sur la Fig. 4, sauf les stations de l'estuaire de Baie-Comeau et de Mont-Joli). La SST d'août est représentée à l'aide de l'échelle de température décalée de 6 °C; son indicateur indirect est tiré de la température moyenne de l'air en juillet et en août. Température moyennée par couche pour le golfe du Saint-Laurent à 150, 200 et 300 m (lignes vertes). Indice de la température minimale de la couche intermédiaire froide dans le golfe du Saint-Laurent (ligne bleue). L'indicateur indirect de la température de l'air de la SST et semblable à celui de Galbraith et al. (2012). Les moyennes climatologiques tirées de la période 1981–2010 sont indiquées par les lignes fines dont la valeur moyenne est notée à droite. Figure adaptée de Benoît et al. (2012).

	1971	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	Moy. ± é.-t.											
Surface	Temp. de surface, août	-0.8	-0.1	0.5	0.0	1.9	0.1	-0.2	-0.8	0.4	0.1	0.6	1.7	4.9	-0.7	0.5	-2.5	-1.3	15.37°C ± 0.81			
	Temp. de surface, moyenne mai-nov (Temp. surf., moment du début de l'été)	0.8	-0.7	-0.9	-0.5	1.0	0.8	-0.7	-0.9	-0.5	1.0	0.8	-0.7	-0.9	-0.5	1.0	0.8	-0.7	-0.9	9.38°C ± 0.61		
	Temp. surf., moment de la fin de l'été	5.4	-1.0	0.9	-2.4	-1.1	1.5	0.0	-0.8	-0.3	1.0	1.5	0.0	-0.8	-0.3	1.0	1.5	0.0	-0.8	26.9 w ± 0.9		
	Somme des anomalies normalisées	-1.3	-0.2	0.1	-0.2	0.9	-2.6	0.3	-0.3	0.9	-2.6	0.3	-0.3	-0.3	0.9	-2.6	0.3	-0.3	0.9	38.0 w ± 0.9		
Intermédiaire	(Glace, volume maximal)	1.2	0.5	0.0	1.9	0.1	2.2	0.5	0.0	1.9	0.1	2.2	0.5	0.0	1.9	0.1	2.2	0.5	0.0	69.1 km ³ ± 30.4		
	GSL, indice CIF estival (sGSL, surface avec T<1°C en sept.)	-0.8	0.4	0.1	0.6	1.7	-0.8	0.4	0.1	0.6	1.7	-0.8	0.4	0.1	0.6	1.7	-0.8	0.4	0.1	0.6	-0.41°C ± 0.39	
	Temp. au fond, Pl. madelinien, >30m, sept.	0.2	0.5	-0.2	0.4	0.9	0.2	0.5	-0.2	0.4	0.9	0.2	0.5	-0.2	0.4	0.9	0.2	0.5	-0.2	0.4	29.9 ± 4.8 (x10 ³ km ²)	
	Somme des anomalies normalisées	-0.3	1.2	0.4	-0.1	1.1	-0.3	1.2	0.4	-0.1	1.1	-0.3	1.2	0.4	-0.1	1.1	-0.3	1.2	0.4	-0.1	1.1	1.36°C ± 0.48
Profonds	150 m, température moyenne	5.8	-4.1	-2.2	-0.4	0.9	-5.3	3.6	1.6	-0.4	0.3	-5.2	2.7	1.7	-0.6	0.2	-5.5	2.9	1.3	-0.3	0.9	2.49°C ± 0.48
	200 m, température moyenne	5.5	-2.9	1.3	-0.3	0.9	-7.6	2.4	0.8	-2.0	1.4	-5.0	-2.6	-2.1	-0.7	0.3	-4.1	-0.2	1.3	-0.3	0.9	4.42°C ± 0.44
	250 m, température moyenne	4.1	-0.2	1.3	-0.3	0.9	4.1	-0.2	1.3	-0.3	0.9	4.1	-0.2	1.3	-0.3	0.9	4.1	-0.2	1.3	-0.3	0.9	5.32°C ± 0.27
	300 m, température moyenne	6.9	3.2	2.3	1.7	1.8	6.9	3.2	2.3	1.7	1.8	6.9	3.2	2.3	1.7	1.8	6.9	3.2	2.3	1.7	1.8	5.48°C ± 0.16
	Somme des anomalies normalisées	24.3	-1.0	1.0	1.1	1.2	24.3	-1.0	1.0	1.1	1.2	24.3	-1.0	1.0	1.1	1.2	24.3	-1.0	1.0	1.1	1.2	

Fig. 69. Indicateurs de la couche de surface, de la couche intermédiaire (et de glace de mer) et de la couche profonde utilisés dans l'indice climatique composite (Fig. 70).

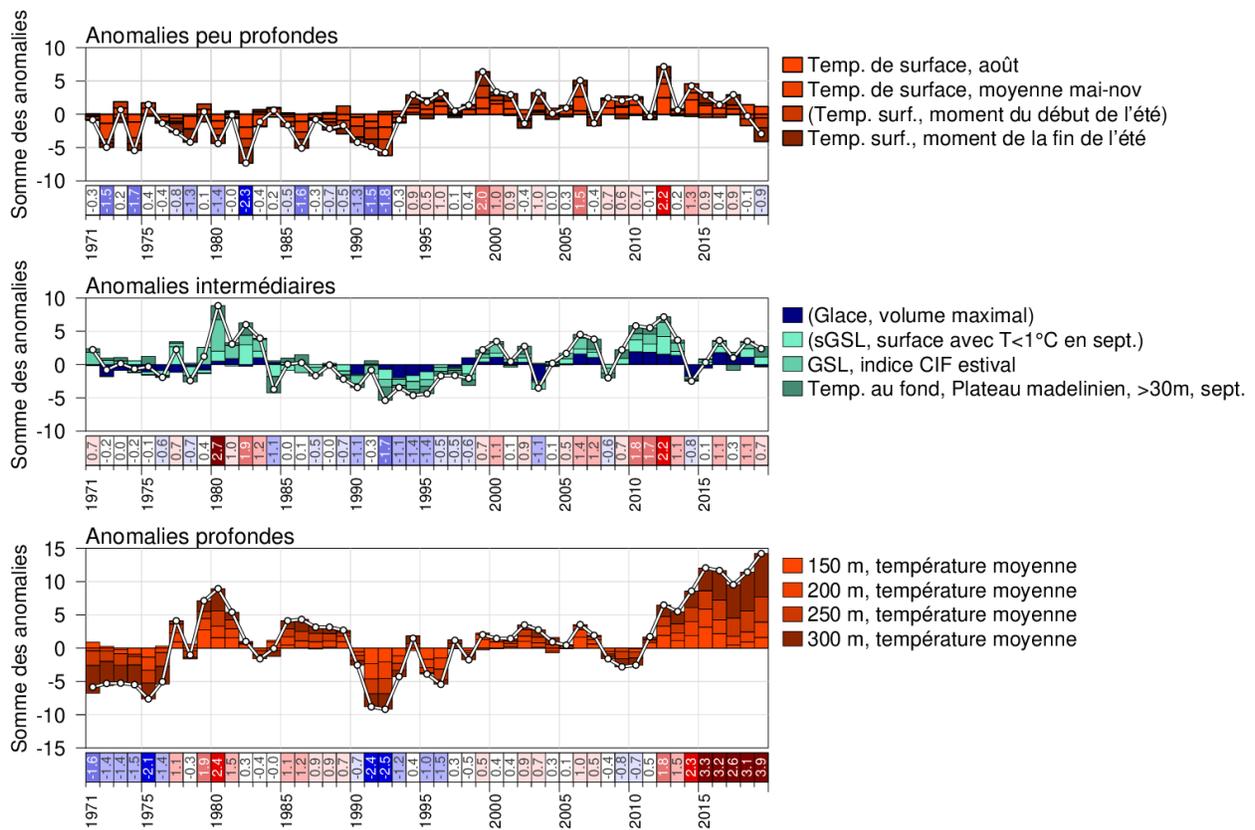


Fig. 70. Indices climatiques composites (lignes et points blancs) calculés en additionnant diverses anomalies normalisées de différentes parties de l'environnement (les cellules colorées empilées au-dessus des abscisses sont les anomalies positives et les anomalies négatives en dessous des abscisses). Le panneau du haut est la somme des anomalies représentant les anomalies de température en eaux peu profondes, le panneau du milieu la somme des anomalies de température à une profondeur intermédiaire et de glace de mer (toutes liées à la formation en hiver) et le panneau du bas la somme des anomalies de température en profondeur.

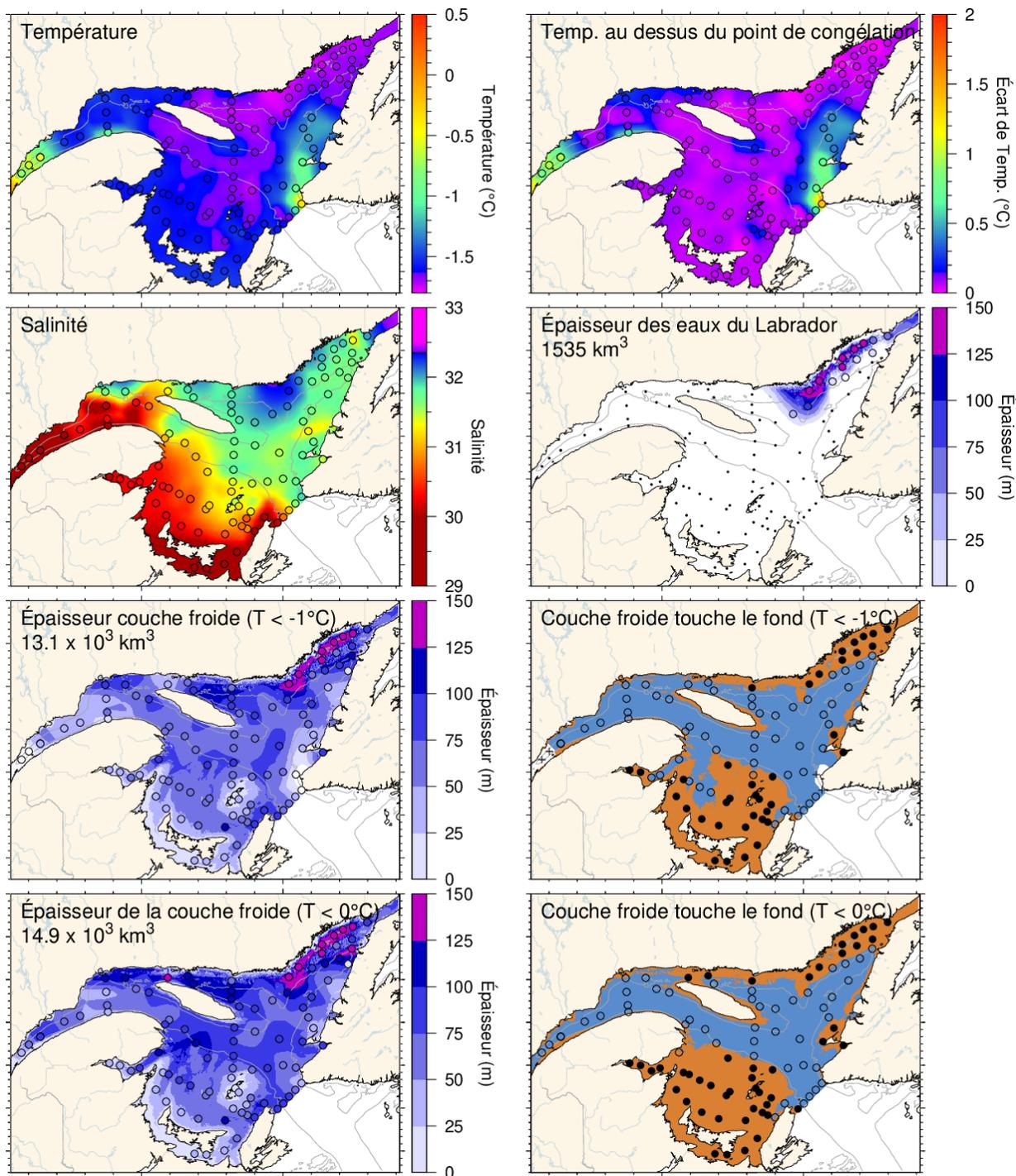


Fig. 71. Caractéristiques de la couche froide de surface en mars 2020 : température de la couche de surface (en haut à gauche), différence de température avec le point de congélation (en haut à droite), salinité (deuxième ligne à gauche), estimation de l'épaisseur de l'intrusion d'eau du plateau du Labrador (deuxième ligne à droite) et épaisseurs de la couche froide ($T < -1^{\circ}\text{C}$ et $T < 0^{\circ}\text{C}$) et où elle touche le fond. Les symboles sont colorés en fonction de la valeur observée à la station, selon la même palette de couleurs que l'image de l'interpolation. On constate une bonne correspondance entre l'interpolation et les observations à la station lorsque les couleurs de la station se fondent dans l'arrière-plan.