



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS)

Document de recherche 2022/034

Région du Québec

Conditions océanographiques physiques dans le golfe du Saint-Laurent en 2021

P.S. Galbraith¹, J. Chassé², J. Dumas¹, J.-L. Shaw¹, C. Caverhill³, D. Lefaiivre¹, C. Laffleur¹

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

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

³Pêches 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 des avis scientifiques
200, rue Kent
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

[http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/
csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca](http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca)



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2022
ISSN 2292-4272
ISBN 978--0-660-44403-1 N° cat. Fs70-5/2022-034F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Galbraith, P.S., Chassé, J., Dumas, J., Shaw, J.-L., Caverhill, C., Lefavre, D. et Lafleur, C.
2022. Conditions océanographiques physiques dans le golfe du Saint-Laurent en 2021.
Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2022/034. iv + 85 p.

Also available in English:

Galbraith, P.S., Chassé, J., Dumas, J., Shaw, J.-L., Caverhill, C., Lefavre, D. and Lafleur, C.
2022. *Physical Oceanographic Conditions in the Gulf of St. Lawrence during 2021*. DFO
Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2022/034. iv + 83 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	iv
INTRODUCTION	1
TEMPÉRATURE DE L’AIR	2
PRÉCIPITATIONS ET RUISSELLEMENT	3
TEMPÉRATURE ET SALINITÉ DE LA COUCHE DE SURFACE	4
THERMOSALINOGRAPHE SUR UN NAVIRE	4
RÉSEAU DE THERMOGRAPHES CÔTIERS	4
COMPOSITES DE DONNÉES SATELLITAIRES AVHRR	5
TEMPÉRATURE DE LA SURFACE DE LA MER EN 2021	6
GLACE DE MER.....	6
MASSES D’EAU HIVERNALES	8
COUCHE INTERMÉDIAIRE FROIDE.....	10
PRÉVISION TIRÉE DU RELEVÉ DE MARS 2021	10
CIF EN AOÛT-SEPTEMBRE	10
CONDITIONS DE LA CIF EN NOVEMBRE DANS L’ESTUAIRE DU SAINT-LAURENT	11
INDICE SAISONNIER MOYEN DE LA CIF	11
SOMMAIRE DES CONDITIONS DE LA CIF	12
TEMPÉRATURES DE L’EAU AU FOND SUR LE PLATEAU MADELINIEN.....	12
EAUX PROFONDES (> 150 M).....	13
TEMPÉRATURES DE L’EAU SUR LE FOND EN EAUX PROFONDES.....	14
MAXIMUM PROFOND DE TEMPÉRATURE.....	14
MOYENNES MENSUELLES DE LA TEMPÉRATURE ET DE LA SALINITÉ.....	14
STRUCTURE DE LA TEMPÉRATURE MOYENNE SAISONNIÈRE ET RÉGIONALE	15
COURANTS ET TRANSPORTS.....	16
STATIONS D’ÉCHANTILLONNAGE À HAUTE FRÉQUENCE DU PMZA.....	17
RÉSUMÉ.....	18
CONCLUSIONS PRINCIPALES.....	19
APERÇU POUR 2022.....	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 2021 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 moyens annuels d'eau douce du fleuve Saint-Laurent mesurés à Québec et sa combinaison avec les cours d'eau se jetant dans l'estuaire (RIVSUM II) étaient bien inférieurs à la normale. Le volume maximal saisonnier de la glace de mer était juste en deçà du record de série établi en 2010 et la moyenne de janvier à avril était à un niveau record de série. Le volume de la couche de mélange hivernale était le 2^e plus bas de la série chronologique 1996-2021 pour les eaux plus froides que -1 °C et le plus bas pour les eaux plus froides que 0 °C. La température minimale moyenne de la couche intermédiaire froide (CIF) d'août était la plus élevée de la série chronologique 1985-2021 et l'indice de température minimale moyenne saisonnière était le plus élevé depuis 1980. Sur le Plateau madelinien, la superficie du fond recouverte par des eaux plus froides que 1 °C en août-septembre était à un niveau record faible. Les températures de surface de la mer enregistrées par satellite (SST) moyennées mensuellement sur l'étendue du golfe étaient les plus élevées de la série (depuis 1981) en octobre et novembre. La SST moyenne de mai à novembre pour le golfe était la 3^e plus élevée de la série chronologique après 2006 et 2012. Les températures des eaux profondes ont augmenté dans l'ensemble du golfe depuis 2009, avec une advection vers l'intérieur à partir du détroit de Cabot. La température moyenne à l'échelle du golfe a atteint de nouveaux records (depuis 1915) de 4,1 °C à 150 m, de 6,0 °C à 200 m, de 6,7 °C à 250 m et de 6,9 °C à 300 m. La superficie du fond recouverte par des eaux plus chaudes que 6 °C a atteint un niveau record dans toutes les régions le long des chenaux profonds, avec une augmentation notable dans l'estuaire. Dans le nord-est du golfe, les superficies entre 6 et 7 °C et >7 °C étaient similaires.

INTRODUCTION

Ce document présente les conditions océanographiques physiques et du forçage atmosphérique dans le golfe du Saint-Laurent en 2021 (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.* 2021 et dans Hebert *et al.* 2021) en support d'un rapport zonal sur l'état de l'océan contribué sous la forme d'un Avis Scientifique (MPO 2021). Le dernier rapport détaillé sur les conditions océanographiques physiques dans le golfe du Saint-Laurent porte sur l'année 2020 (Galbraith *et al.* 2021).

Certaines des variables présentées sont moyennées spatialement pour différentes régions du golfe (Fig. 2) en ce nous appellerons des moyennes régionales. Celles-ci ont été élaborées pour l'Approche Écosystémique de la gestion des pêches et diffèrent de celles précédemment utilisées. Les données utilisées pour préparer ce 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'écarts par rapport à leur moyenne à long terme. La moyenne à long terme, ou condition normale, est calculée pour la période de référence standard 1991–2020 autant que possible. De plus, ces séries utilisant des unités différentes ($^{\circ}\text{C}$, m^3 , m^2 , etc.), chaque série chronologique d'anomalies est normalisée en la divisant par son écart-type (ÉT), également calculé pour la même période de référence. 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 superficies d'eaux froides 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. Elle peut cependant dépasser 150 m à certains endroits comme dans la cuvette de Mécatina où les eaux froides ($-1,8$ à 0°C), en provenance du plateau du Labrador et 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

La source de données sur la température de l'air est la deuxième génération des données homogénéisées sur la température de l'air à la surface, tirées des Données canadiennes sur le climat ajustées et homogénéisées (DCCAH), 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). Étant donné que les données sur la température de l'air de 2021 n'étaient pas encore publiées au moment d'écrire ces lignes, elles ont été complétées par les Archives nationales d'information et de données climatologiques (ANIDC) d'Environnement Canada pour 2021. Les anomalies de la température mensuelle de l'air sont illustrées sur la Fig. 4 pour plusieurs stations autour du golfe pour 2020 et 2021, 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 de 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; une tendance légèrement plus haute de 1,2 °C par siècle est observée ici pour les stations autour du golfe dans les DCCAH entre 1873 et 2020 (Fig. 5). Il existe une forte corrélation ($R^2=0,67$) entre les températures de l'air ANIDC moyennes de décembre à mars, 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 DCCAH 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.

Plusieurs records mensuels ont été établis dans les stations du golfe en 2021 : le mois d'avril le plus chaud jamais enregistré à Natashquan, Chevery, Daniel's Harbour et Port aux Basques; Octobre le plus chaud à Sept-Îles et Baie-Comeau; novembre le plus chaud à Natashquan, Daniel's Harbour et Port aux Basques. En moyennant toutes les stations, seul le mois de mai était normal et juillet inférieur à la normale, tous les autres mois étant supérieurs à la normale, y compris le mois de novembre le plus chaud jamais enregistré, et des anomalies encore plus élevées en janvier, février et avril. La température moyenne de l'air de décembre à mars était la 3e plus élevée de la série chronologique (+3,1 °C; +2,0 ÉT). La moyenne d'avril à novembre

était un record (+1,3 °C; +2,0 ÉT) et la moyenne annuelle était la deuxième plus chaude (+1,7 °C; +2,0 ÉT) après 2010.

PRÉCIPITATIONS ET RUISSELLEMENT

La reproduction des débits du fleuve Saint-Laurent a été faite en utilisant le modèle et les méthodes décrites dans Lefavre *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,¹ 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 1991–2020. Les eaux qui se jettent dans l'estuaire (Fig. 8) 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 2021, la crue printanière du RIVSUM II était faible avec un débit moyen en mai second plus faible de la série chronologique ($21\,000\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$; - 2,0 ÉT).

Les anomalies mensuelles des sommes de ruissellements régionaux pour 2020 et 2021 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 $4\,000\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ 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, le ruissellement supérieur à la moyenne dans l'estuaire (un effet des fortes précipitations et de la régularisation des rivières) était presque aussi important que le ruissellement record du Saint-Laurent en mai. Les séries chronologiques à long terme, cumulées sur de grands bassins, sont représentées sur la Fig. 10. La seconde moitié de 2021 était marquée par de faibles débits. Le ruissellement moyen annuel du Saint-Laurent, mesuré à

¹ Senneville et Lefavre 2010, manuscrit non publié

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 entre 2012 et 2019 (Fig. 10). En 2021, le ruissellement annuel était inférieur à la normale à $11\,300\text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (+ 1,1 ÉT) pour le fleuve Saint-Laurent et à $16\,100\text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (- 1,3 ÉT) pour l'indice RIVSUM II.

TEMPÉRATURE ET SALINITÉ DE LA COUCHE DE SURFACE

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. 11 en utilisant des sources de données décrites plus bas. 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. Ceci s'avère toujours vrai avec une mise à jour des climatologies à 1991–2020 sur la Fig. 11. C'est en moyenne durant la première et 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 à l'autre. La température maximale en surface est en moyenne de $16,1\text{ °C}$ dans le golfe durant la première et seconde semaine du mois d'août (1991-2020), mais il existe des différences spatiales : les températures sur le plateau madelinien, avec une moyenne de $18,8\text{ °C}$, sont les plus chaudes du golfe, tandis que les plus froides se rencontrent à la tête de l'estuaire du Saint-Laurent ($7,0\text{ °C}$) et dans les zones de remontée d'eau le long de la Basse-Côte-Nord. Les observations annuelles seront examinées plus bas.

THERMOSALINOGRAPHE SUR UN NAVIRE

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 Fig. 12 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 2020. 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 $69,5\text{ O}$), où un puissant mélange vertical conduit à des températures froides de surface de l'eau en été (environ $5\text{ à }6\text{ °C}$, parfois moins) et des températures hivernales toujours bien au-dessus du point de congélation (voir également la Fig. 11). 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).

RÉSEAU DE THERMOGRAPHES CÔTIERS

La seconde source de données est le programme de thermographes côtiers de l'Institut Maurice-Lamontagne (Pettigrew *et al.* 2016, 2017), qui consiste de stations instrumentées qui enregistre la température de l'eau à des intervalles variant de 5 à 30 minutes (Fig. 13). 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. Les données de quelques stations n'étaient pas encore disponibles en date d'écriture de ce rapport et manque au contenu présenté.

Les observations du réseau de thermographes sont examinées en anomalies relatives 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. 14 à Fig. 17). 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.

La 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. 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). Un second mouillage « Seuil Saguenay 3 » a été déployé tout juste à l'intérieur du bassin interne (le plus profond) du Saguenay. Les baisses rapides de température en janvier, février et mars (Fig. 14), ainsi que les augmentations rapides de salinité en mars (Fig. 17) correspondent à des événements de renouvellement des eaux profondes du bassin.

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 au-dessus de la normale (Fig. 16). Le panneau décrivant les températures à l'Île Shag inclus 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 2021, ce passage s'est produit le 10 avril, hâtif de 17 jours et l'une des journées les plus tôt enregistrées. Cela peut prendre jusqu'à 2 semaines de plus pour que les eaux à 30 m se réchauffent autant qu'à 10 m.

COMPOSITES DE DONNÉES SATELLITAIRES AVHRR

La troisième source de données est des composites de la température de la surface de la mer (SST), produite à l'aide des données par satellite de détection à radiomètre avancé à très haute résolution (AVHRR) provenant de Pathfinder version 5.3 (résolution de 4 km couvrant 1982–2021; Casey *et al.* 2010), l'Institut Maurice-Lamontagne (résolution de 1,1 km couvrant 1985–2013) et de l'Institut océanographique de Bedford (IOB, résolution de 1,5 km couvrant 1997–2021). Des composites mensuels sont calculés à partir de la moyenne des anomalies quotidiennes disponibles auxquelles sont additionnés les composites climatologiques moyens. Consultez Galbraith *et al.* (2021 b) pour une description complète du traitement.

Les températures moyennes mensuelles de la surface de la mer tirées des images AVHRR sont présentées sous la forme de cartes (Fig. 18), de cartes des anomalies de température relatives à la climatologie 1985–2010 (Fig. 19), de moyennes spatiales et anomalies relatives à la climatologie 1991–2020 (Fig. 20 et Fig. 21). Pour convertir les cartes d'anomalies de la Fig. 19 à une climatologie 1991–2020, de nouveaux composites climatologiques devront être construits qui combinent deux produits différents. 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. 22.

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 2021 (Fig. 23), 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. 11). Un seuil de 10 °C est aussi utilisé pour le démontrer. La variabilité interannuelle du moment de l'année où le seuil de 12 °C est atteint est 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; $R^2=0,59$) et avec la température moyenne de l'air en septembre pour l'automne (0,7 semaine plus tard par augmentation de 1 °C; $R^2=0,50$). Ces températures moyennes de l'air, illustrées sur la Fig. 23, 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 s'est allongée et continuera de s'allonger d'environ deux semaines pour chaque augmentation de 1 °C en température de l'air saisonnière, par exemple liée aux changements climatiques anthropiques.

TEMPÉRATURE DE LA SURFACE DE LA MER EN 2021

Les données du thermosalinographe montrent des températures supérieures à la moyenne à partir de la mi-décembre 2020 et des températures près du point de congélation apparaissant plus tard que la normale (Fig. 12), entraînant une apparition tardive de la glace de mer. Des températures inférieures à -1 °C ont rarement été observées en hiver 2021 le long de la route du navire. Les anomalies de température sont généralement positives toute l'année sauf en juillet et début août et atteignent des valeurs >4 °C à l'automne.

Le patron estival de la température observé par le thermosalinographe est en accord avec les données de télédétection (Fig. 20), la plupart des régions connaissant des températures supérieures à la normale sauf en juillet et au début d'août. Le maximum saisonnier d'août était juste au-dessus de la normale (+0,5 °C; +0,7 ÉT), mais a été suivi d'une chute soudaine qui a laissé le mois de septembre globalement près de la normale. Lorsque la SST à la fin de l'été chute plus rapidement que la température de l'air (Fig. 11, panneau de droite), cela suggère que le mélange par le vent a entraîné la chaleur plus profondément dans la colonne d'eau plutôt que des pertes vers l'atmosphère. La moyenne saisonnière de mai à novembre pour le golfe était bien au-dessus de la normale (+0,9 °C; +1,8 ÉT) et la 3^e plus élevée de la série chronologique après 2006 et 2012. Les températures moyennes mensuelles étaient les plus élevées de la série satellitaire (depuis 1981) en octobre et novembre. Ce patron est cohérent avec le réchauffement plus tardif que la normale des températures estivales (12 °C) de 0,6 semaine (+0,6 ET) et le refroidissement tardif record de fin d'automne de +1,8 semaine à 12 °C (+1,9 ÉT) et de +2,5 semaines à 10 °C (+3,7 ÉT) (Fig. 23). Des records régionaux chauds de la température moyenne mensuelle ont été enregistrés pour les mois de septembre à novembre dans l'estuaire, les mois d'octobre et novembre les plus chauds dans la plupart des régions et les mois de novembre les plus chauds dans toutes les régions.

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), alors convertis sur une grille régulière pour analyse. Il s'agit des

cartes hebdomadaires, formatées en Système d'information géographique (SIG), couvrant la période 1969–2021 et quotidiennes pour la période 2009–2021. Les cartes ont ensuite transposé sur une grille à intervalles de latitude de $0,01^\circ$ et de longitude de $0,015^\circ$ (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. Cette valeur sous-estime les maximums saisonniers en épaisseur et volume de glaces, basé sur de 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. 24) et des valeurs régionales extrêmes (Fig. 25); la répartition de l'épaisseur de la glace pendant la semaine où le volume était maximal (Fig. 26, panneaux supérieurs) et l'épaisseur maximale atteinte pendant la saison (Fig. 26, panneaux inférieurs); l'évolution quotidienne du volume de glace de mer estimé par rapport à la climatologie et aux extrêmes historiques (Fig. 27); les estimées des volumes saisonniers maximaux de glace dans le golfe et sur le plateau néo-écossais (Fig. 28); 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. 29). Les durées indiquées sur les Fig. 25 et Fig. 29 sont des produits différents. Le premier correspond au nombre de semaines où le volume de glace, n'importe où dans la région, a dépassé 5 % du maximum climatologique, tandis que le second est la durée moyenne à chaque pixel de la Fig. 24, qui est beaucoup plus courte que la première.

L'ampleur du couvert de glace tend à décroître depuis 1990, avec des rebonds en 2003 et 2014 (Fig. 29). 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 moyenne 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. 29 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 DCCAH de la Fig. 5 donnant $R^2=0,74$. 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 ($R^2=0,80-0,83$). 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 1969–2021 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 14 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 sur les côtes de l'estuaire du Saint-Laurent (dans la climatologie récente 1991-2020 versus l'ensemble de l'estuaire dans la climatologie précédente 1981-2010) 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. 24). 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 2021, la couverture de glace de mer s'est formée plusieurs semaines plus tard que d'habitude dans l'estuaire, le plateau madelinien et la cuvette de Mécatina et ne s'est pas formée du tout dans la plupart des autres régions du golfe (Fig. 24). La dernière occurrence s'est produite une à deux semaines plus tôt que la normale sur le Plateau madelinien et environ deux mois plus tôt que la normale au-dessus de la cuvette de Mécatina en raison d'un très faible afflux de glace du plateau du Labrador par le détroit de Belle Isle (Fig. 24). Le volume de glace est resté proche de zéro jusqu'à la 3^e semaine de janvier, battant le record de faible volume pour le jour de l'année entre le 14 janvier et le 19 février et de nouveau entre le 28 mars et le 7 avril. Le volume de glace maximal saisonnier de 11 km³ (-1,4 ÉT) s'est produit la semaine du 8 mars (Fig. 29) et était juste au-dessus du record de série faible de 2010. La répartition spatiale était cependant différente de celle de 2010 quand la plus grande partie de la glace de mer présente dans le golfe avait transité par le détroit de Belle Isle, alors qu'en 2021 la couverture y était minime et de la glace s'est formée sur le Plateau madelinien. La durée pondérée spatialement de la saison de glace de 14 jours (-2,0 ÉT) était également un quasi-record, tandis que la superficie maximale saisonnière (-1,9 ÉT) était la 3^e plus faible de la série chronologique (Fig. 29), et finalement, le volume moyen de janvier à avril (rapporté dans l'avis scientifique du PMZA; MPO 2021) était à un niveau record faible de série (Fig. 28). Ces mesures étaient cohérentes avec les températures chaudes de l'air en hiver (+3,1 °C, +2,0 ÉT). Seuls 5 hivers enregistrés ont eu des anomalies de température de l'air de décembre à mars de + 2,4 °C ou plus : 1958, 1969, 2010, 2011 et 2021. En faisant la moyenne des anomalies normalisées de la durée du couvert et des maximums saisonniers de superficie et de volume de la Fig. 29, les quatre années avec les conditions de glace de mer les plus faibles depuis 1969 pourraient être classées comme presque sans glace. Il s'agissait, dans l'ordre, de 2010, 2021, 2011 et 1969; ce sont tous les hivers avec des anomalies de température de l'air de +2,4 °C ou plus. Au cours des 12 années écoulées depuis 2010, 8 des 12 volumes de glace saisonniers maximaux les plus bas de la série chronologique se sont produits (Fig. 29), 2021 se classant au 2^e rang. Un peu de glace (0,5 km³, -0,8 ÉT) a traversé le détroit de Cabot jusqu'au plateau néo-écossais, mais seulement au large (Fig. 26 à Fig. 28).

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. 30 et la Fig. 31 présentent des champs d'interpolations des conditions climatologiques ainsi que pour 2021 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 température de la couche de mélange de surface est très près (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 $\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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. Les conditions en mars 2021 étaient exceptionnelles avec des eaux près du point de congélation (Fig. 30) et des glaces de mer (Fig. 26) limitées à l'estuaire, au Plateau madelinien et à la cuvette de Mécatina; le reste des eaux de surface du golfe du Saint-Laurent sont demeurées bien au-dessus du point de congélation. En fait, la distribution d'épaisseur des eaux plus froides que $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ressemblait à celle habituellement observée pour les eaux plus froides que $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Même sur le Plateau madelinien, la couche de mélange froide n'a pas atteint le fond partout (bien que les eaux du fond soient devenues plus froides plus tard, en avril, à la station de la vallée de Shediac, comme nous le décrirons plus loin).

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. 30 et se trouvent généralement au nord et à l'est de l'île d'Anticosti. Les salinités de surface étaient plus faibles que la climatologie en hiver 2021.

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. Ces eaux froides à forte salinité n'étaient pas présentes en surface en mars 2021 dans la cuvette de Mécatina (Fig. 30). Cependant, les eaux du plateau du Labrador peuvent avoir une salinité inférieure à ce seuil. Un deuxième critère, basé sur les signatures T-S de l'eau (Galbraith 2006), a été utilisé pour identifier les eaux intrusives du plateau du Labrador qui n'ont montré aucun signe de mélange avec les eaux profondes chaudes et salines du golfe. Cela a identifié une couche atteignant la surface qui avait une salinité généralement inférieure à 32,35 (panneau supérieur droit de la Fig. 31). L'historique récent du volume des intrusions d'eau du plateau du Labrador est illustré sur la Fig. 32, ainsi que la fraction du volume total d'eau froide dans le golfe qu'il représente. Ce volume était inférieur à la normale en mars 2021 à 620 km^3 ($-1,0\text{ ÉT}$), mais représentait tout de même 13 % ($0,0\text{ ÉT}$) de l'eau froide ($T < -1\text{ }^{\circ}\text{C}$) du golfe. La majeure partie de cette couche avait une salinité plus faible que d'habitude (n'apparaissant pas en violet sur la Fig. 30). Le thermographe près du fond dans le détroit de Belle Isle (Fig. 15) a indiqué que la température de l'eau a augmenté au-dessus de $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ le 26 avril 2021, plus tôt que la normale de 35 jours ($-1,3\text{ ÉT}$) et indique un afflux d'eau du plateau du Labrador pour moins de temps après le relevé de mars que la normale.

D'intrigantes eaux de surface de hautes salinités ont été observées au sud de l'île d'Anticosti. Ce ne sont pas des eaux du plateau du Labrador car elles ont des températures élevées ($> 1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) et ont des caractéristiques de température et salinité qui se trouvent sur la ligne de mélange température-salinité avec les eaux de grande profondeur. Une masse d'eau similaire a été observée à 94 m de profondeur à la station la plus près vers le large, suggérant un événement de remontée d'eau profonde.

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. 31). 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. 31). 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 2021, le patron spatial ne ressemblait à la climatologie que dans l'Estuaire, le Plateau madelinien et la cuvette de Mécatina, et les conditions étaient tout aussi chaudes qu'en 2010 ailleurs.

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 ($< -1\text{ °C}$) de $4\,700\text{ km}^3$ en 2021, le deuxième volume le plus bas de la série chronologique à $-2,6\text{ ÉT}$ en dessous de la moyenne 1996-2020; le plus bas était de $2\,600\text{ km}^3$ en 2010. La variabilité interannuelle des volumes hivernaux d'eau dont la température est inférieure à $0\text{ et }1\text{ °C}$ est illustrée sur la Fig. 33. Le volume de la couche de mélange augmente à $11\,100\text{ km}^3$ ($-4,0\text{ ÉT}$) lorsque l'on tient compte des températures de l'eau $< 0\text{ °C}$, qui est de loin la valeur la plus basse enregistrée; la deuxième valeur la plus faible de $13\,200\text{ km}^3$ ($-1,6\text{ ÉT}$) a été enregistrée en 2000. Le volume d'eau froide de 2021 correspond à seulement 33 % du volume d'eau total du golfe ($33\,500\text{ km}^3$, excluant l'Estuaire), comparativement à la moyenne 1996-2020 de 44 %.

COUCHE INTERMÉDIAIRE FROIDE

PRÉVISION TIRÉE DU RELEVÉ DE MARS 2021

L'indice de la température minimale de la CIF en été (Gilbert et Pettigrew 1997) est fortement corrélé au volume d'eau froide ($< -1\text{ °C}$) 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). 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 (Fig. 33, panneau de droite). Dans la section Aperçu pour 2021 de Galbraith *et al.* (2021a), nous avons noté que puisque la relation prédictive entre le volume hivernal d'eau plus froide que -1 °C et l'indice de température minimale CIL de l'été suivant a échoué avec l'hiver chaud de 2010, la même chose se produirait probablement pour 2021. Une nouvelle relation entre le volume hivernal d'eau plus froide que 0 °C et le minimum de température CIL de l'été suivant (non illustré) avait été utilisée pour prédire un indice très chaud de $0,93\text{ °C}$. Étant donné que le volume record d'eau plus froide que 0 °C en 2021 était bien inférieur aux 26 années précédentes d'observations de l'enquête hivernale, il avait été noté que cette prévision était moins fiable. Néanmoins, nous avons noté qu'il y avait un fort potentiel pour que la CIF de 2021 soit la plus chaude depuis les années 1980. Le résultat réel est décrit ci-après.

CIF EN AOÛT-SEPTEMBRE

La température minimale, l'épaisseur et le volume de la CIF pour $T < 0\text{ °C}$ et $< 1\text{ °C}$ 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. Un transect de planeur réalisé par l'Université Memorial qui a traversé le chenal Esquiman a également été inclus (von Oppeln-Bronikowski *et al.* 2021). 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. 34 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 1991–2020 (1994–2020 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. 34. La Fig. 35 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. 34). La moyenne spatiale de la température minimale de la CIF ainsi que le volume de la CIF, illustrés à la Fig. 35, excluent les données de la cuvette de Mécatina qui a des masses d'eau très différentes du reste du golfe; elle est influencée par des entrées d'eau par le détroit de Belle Isle et la région n'est donc pas indicative du climat dans le reste du golfe. Les séries chronologiques des volumes régionaux de la CIF en août-septembre sont représentées sur la Fig. 36 (pour < 0 °C et < 1 °C) et les moyennes régionales de la température minimale de la CIF sont illustrées sur la Fig. 37.

La plupart des régions ont enregistré de fortes baisses des volumes de la CIF et des augmentations de sa température minimale en 2021, atteignant des niveaux records (Fig. 36 et Fig. 37), comme prévu par le relevé de mars. Dans l'ensemble, les volumes qui sont définis par $T < 0$ °C et < 1 °C ont diminué de manière significative pour atteindre des niveaux record de l'ère des données CTD modernes, avec pratiquement aucun volume enregistré de la CIF plus froide que 0 °C. La moyenne spatiale du minimum de température (excluant la cuvette de Mécatina, le détroit de Belle Isle et le Plateau madelinien) a augmenté en 2021 pour atteindre un record pour la même période (Fig. 35 panneau du bas, ligne verte) à 0,98 °C (+2,7 ÉT), une augmentation de 0,81 °C en comparaison avec 2020. La différence moyenne entre cet indice de la CIF et celui de Gilbert et Pettigrew (1997) (décrit ci-après) est de 0,26 °C en raison du réchauffement entre la mi-juin et le relevé d'août. Après cet ajustement, cet indice de 2021 correspondrait à un indice de Gilbert et Pettigrew (1997) de 0,7 °C après un arrondissement à la décimale la plus proche.

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. 37) et l'amincissement (Fig. 36) de la CIF dans le temps depuis le relevé d'août. La Fig. 37 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 ne montrent aucune CIF demeurant plus froide que 1 °C à l'automne 2021.

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 2021 était de + 0,63 °C, la valeur la plus élevée depuis 1980. L'augmentation de 0,83 °C par rapport à l'indice de la CIF de l'été 2020 est cohérente avec l'augmentation de 0,81 °C de la moyenne spatiale de la température minimale observée en août. Les conditions hivernales chaudes de 2010 à 2012 ont conduit à des indices de la CIF encore bien en deçà des records observés dans les années 1960 et 1980, mais cette nouvelle valeur s'en rapproche beaucoup. 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 CONDITIONS DE LA CIF

Pour résumer, la Fig. 38 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 2021, les conditions reliées à la CIF étaient près de niveaux records dans plusieurs séries temporelles.

TEMPÉRATURES DE L'EAU AU FOND 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 du PMZA de la vallée de Shediac a été évalué par Galbraith et Grégoire (2015). 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 sur 100 jours et, malgré quelques incertitudes entre 30 et 55 m, diminue presque proportionnellement à la profondeur jusqu'à 2 °C sur 100 jours à 40 m, puis diminue encore linéairement jusqu'à 1 °C sur 100 jours à 82 m.

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. 39 montre les températures et les cartes d'anomalies à des profondeurs de 20, 30, 40 et 50 m. La Fig. 40 montre les moyennes spatiales à 10, 20, 30, 50 et 75 m pour toutes les années où l'interpolation était possible, ainsi que les moyennes des SST de juin depuis 1982, pour les régions ouest et est du Plateau madelinien (Fig. 22). Les températures étaient en moyenne au-dessus de la normale à toutes les profondeurs indiquées, généralement

d'au moins 1 °C à 40 m de profondeur et plus et atteignant des records à 75 m (Fig. 39 et Fig. 40).

La température au fond est alors 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 1991 et 2020, et par la suite des grilles d'anomalie par rapport à cette climatologie ont été calculées pour chaque année. La climatologie de la température de fond de juin ainsi que les champs de température et d'anomalies reconstruits pour 2021 sont présentés à la Fig. 41.

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. Nous avons également inclus les profils obtenus à l'aide d'un SBE19plus installé sur le chalut et qui fournissent des données à une résolution verticale de 5 m. Ces données ont été utilisées pour les relevés d'août 2019 et 2020 dans le nord du golfe et seront ajoutées aux années précédentes, jusqu'en 2009, dans des rapports ultérieurs. Les températures de fond étaient largement au-dessus de la moyenne climatologique presque partout sur le Plateau madelinien, sauf en eaux très peu profondes, en juin et en août-septembre 2020 (Fig. 41).

Les séries chronologiques de la superficie du fond recouverte par des eaux à divers intervalles de température ont été estimées à partir des données des relevés de juin ainsi que du relevé multispécifique de septembre sur le plateau madelinien (Fig. 42). Les séries chronologiques des superficies couvertes par des eaux plus froides que 0, 1, 2 et 3 °C en juin et septembre sont également présentées à la Fig. 38 dans le cadre du résumé de la CIF. En juin 2021, aucun des fonds n'était recouvert de températures <0 °C pour la première fois de la série pour ce mois, et la superficie recouverte par des températures <1 °C a diminué jusqu'à un niveau quasi record (-4,0 ÉT) à 59 % de la moyenne climatologique. En août-septembre, la superficie du fond recouverte de températures inférieures à 1 °C était à un niveau historiquement bas (depuis 1964) représentant seulement 32 % de la moyenne climatologique. À des températures seuils plus élevées, les superficies avec des $T < 2$ °C et < 3 °C étaient également inférieures à la normale (conditions plus chaudes) pendant les deux périodes, mais la variabilité interannuelle est plus faible à ces seuils de température.

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 °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 en oxygène dissous (saturation sous 15 % ces dernières années).

TEMPÉRATURES DE L'EAU SUR LE FOND EN EAUX PROFONDES

La même méthode utilisée pour le calcul de la température de l'eau au fond sur le Plateau madelinien a été appliquée à l'ensemble du golfe en combinant en une seule carte toutes les données CTD disponibles d'août et de septembre, provenant principalement des relevés multispécifiques pour le nord du golfe en août et pour le Plateau madelinien en septembre (Fig. 43). Toutes les températures des eaux profondes du golfe étaient au-dessus de la normale, avec la plupart des secteurs du centre du golfe, des chenaux d'Anticosti et d'Esquiman et du nord-ouest du golfe au-dessus de 6 °C, et de vastes superficies des chenaux d'Anticosti et d'Esquiman au-dessus de 7 °C.

Comme cela a été fait pour le plateau madelinien (Fig. 42), des séries chronologiques de la superficie recouverte par divers intervalles de température ont également été estimées pour les autres régions du golfe à partir des données d'août et septembre (Fig. 44). Les figures montrent une compression de la zone d'habitat sur le fond dans la fourchette de températures de 5-6 °C en 1992, compensée par un habitat plus vaste des eaux plus froides à 4-5 °C. L'année 2012 a marqué le début du retour à des températures > 6 °C sur le fond marin. En 2015, cette tendance avait entraîné une forte réduction de l'habitat à 5-6 °C dans les chenaux Anticosti et Esquiman, cette fois remplacé par un habitat à 6-7 °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. Certains habitats de 7 à 8 °C sont apparus pour la première fois dans le nord-est du golfe en 2020 et ont augmenté en 2021. En 2021, la zone de 6 à 7 °C a augmenté de façon spectaculaire dans l'estuaire. Les zones où la température de l'eau dépasse 6 °C et maintenant 7 °C par endroits sont à des niveaux record dans toutes les régions le long des chenaux profonds.

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. 45. Des températures supérieures à 7 °C ont été enregistrées depuis 2012 dans le golfe près du détroit de Cabot et ont occupé une grande superficie dans le nord-est pour la première fois en 2020, s'étendant plus loin vers les têtes des chenaux Esquiman et Anticosti. La moyenne pour le golfe et les moyennes spatiales régionales sont illustrées sur la Fig. 46. La moyenne à l'échelle du golfe à 300 m a atteint un record de série en 2021 à 6,9 °C et des records ont également été atteints dans l'estuaire, le nord-est du golfe et le centre du golfe. La seule zone avec une réduction par rapport à la valeur record de 2020 était le détroit de Cabot, mais cette valeur est à peu près la même qu'en 2019.

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. 46 (température) et Fig. 47 (salinité) pour 150, 200 et 300 m, et sur la Fig. 48. 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. 46, Fig. 47 et Fig. 48. Les chiffres sont légèrement différents de ceux du rapport de l'année dernière, car la pondération des moyennes régionales en une valeur pour le golfe a maintenant été mise en œuvre en utilisant les nouvelles régions de l'approche écosystémique de la Fig. 2. Les tendances linéaires de la température et de la salinité à 300 m, de 2,4 °C et 0,3 par siècle, respectivement, sont illustrées sur la Fig. 48 (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 (5,4 fois plus rapidement que la tendance à long terme).

En 2021, les salinités moyennes à l'échelle du golfe ont augmenté pour atteindre un record de 34,85 à 300 m (Fig. 47 et Fig. 48). Les températures moyennes à l'échelle du golfe ont également atteint de nouveaux records de série (depuis 1915) de 4,1 °C à 150 m (+2,3 ÉT), de 6,0 °C (+2,3 ÉT) à 200 m, 6,7 °C (+2,7 ÉT) à 250 m, et de 6,9 °C (+2,7 ÉT) à 300 m. À 200 m, 250 m et 300 m, la température a atteint des records régionaux dans toutes les régions profondes du golfe, à l'exception du détroit de Cabot. Les valeurs à 300 m étaient : Estuaire (6,1 °C, +2,8 ET), Nord-Ouest du golfe (6,5 °C, +3,1 ET), Centre du golfe (6,9 °C, +2,9 ET). Cela marque une transition rapide au-dessus de 6 °C dans l'estuaire pour la première fois de la série chronologique.

Les anomalies chaudes présentes depuis 2010 au détroit de Cabot remontent le chenal vers l'estuaire depuis, mais les eaux qui ont suivi dans le golfe sont également demeurées très chaudes et ont même augmenté de température de sorte que la température globale moyenne a continué d'augmenter (Fig. 46). La diminution de la température des eaux profondes du détroit de Cabot à des valeurs inférieures à celles de 2020 (mais toujours supérieures à celles de 2019) suggère que le golfe profond pourrait ne pas se réchauffer davantage en 2022, pour la première fois depuis 2009. La possibilité que des eaux encore plus chaudes pénètrent le golfe existe, comme en témoignent les températures record à 200 (8,9 °C) et 300 m (7,4 °C) dans Laurentien Hermitage en 2021. Le seul léger signe de refroidissement a été observé à 200 m dans Laurentien Embouchure passant en 2020 du record de 10,6 °C (Fig. 46) à 8,1 °C en 2021 (bien que les eaux le long du plateau de Terre-Neuve aient atteint 9,1 °C).

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. 49 à Fig. 52, tirées des profils recueillis pendant le relevé de mars effectué en hélicoptère, 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 2020 et 2021 sur la Fig. 53 pour la température et sur la Fig. 54 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 1991–2020, apparaissant en gris en tant que valeur moyenne $\pm 0,5$ ÉT sur les Fig. 49 à Fig. 52.

Il faut interpréter les profils moyens avec prudence. En fait, le moyennage régional des profils hivernaux ne fonctionne pas très bien dans le nord-est du golfe 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 d'Anticosti et d'Esquiman. Aussi, les portions profondes du plateau madelinien comportent des régions distinctes au nord et au sud-est.

Les faits saillants des températures de l'eau en mars illustrés à la Fig. 49 comprennent la couche mélangée hivernale très chaude dont il a été question précédemment. Les températures en juin et août 2021 ont été caractérisées par des conditions de la CIF beaucoup plus minces et plus chaudes que la normale, avec la température minimale observée à des profondeurs typiques, mais conduisant à une thermocline plus élevée en profondeur dans la colonne d'eau, ainsi qu'à des températures plus élevées à 150 m. À l'automne, la partie supérieure de la colonne d'eau est très chaude et moins salée dans l'estuaire et le nord-ouest du golfe. À 50 m de profondeur dans l'Estuaire, la température était encore supérieure à 8 °C. Elle était encore de 6 °C à 70 m, une profondeur souvent sous le minimum de température de la CIF.

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 2006-2020 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. 55 à Fig. 57 montrent les courants saisonniers moyens en fonction de la profondeur pour 0–20 m, 20–100 m et de 100 m au fond pour 2021. 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 (Fig. 1) 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. En 2021, le courant de Gaspé occupait une grande partie de l'estuaire, sauf à partir de juillet-septembre où il était stable le long de la rive sud pour le reste de l'année, se combinant avec la gyre d'Anticosti pour poursuivre le long du talus du chenal Laurentien. Il y avait alors un fort courant entrant du côté nord de l'estuaire.

Les transports mensuels moyennés au travers de sept sections du golfe du Saint-Laurent sont représentés sur la Fig. 58 pour les sections avec une certaine circulation estuarienne et sur la

Fig. 59 pour celles où seuls des transports nets sont pertinents. Sur la Fig. 58, 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 qu'à Pointe-des-Monts, composé surtout de la circulation autour de l'île d'Anticosti observée d'abord dans la section Jacques-Cartier. De même, le transport net sortant par le détroit de Cabot est essentiellement compensé par les apports par le 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. Cela s'est produit en 2019 lorsque la crue exceptionnellement élevée de mai-juin a entraîné une diminution de la circulation estuarienne modélisée et une diminution du transport vers l'extérieur par entraînement dans la section Pointe-des-Monts. En revanche, la faible crue de 2021 a coïncidé non seulement avec une circulation estuarienne accrue, mais également avec une augmentation du transport vers l'extérieur. Le rapport estuarien était à des niveaux record ou proches d'eux pendant de nombreux mois de 2021 à partir de mars. Ce rapport inclut également la circulation latérale de type estuarien qui se produit lorsque les eaux s'écoulent de la gyre d'Anticosti et entrent dans l'estuaire à Pointe-des-Monts. Cette année a été marquée par deux événements qui signalent une importante circulation de renouvellement dans l'estuaire : d'abord la température du fond qui a subitement augmenté, puis l'accumulation de 100 m d'eau de surface observée lors du relevé d'octobre.

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. 60). 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 habituellement échantillonnée par l'Institut océanographique de Bedford, par la région du Golfe du MPO et par l'Institut Maurice-Lamontagne (Fig. 60). 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.

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 2021, les bouées océanographiques équipées d'un profileur automatique de la température et de la salinité ont effectué 246 profils sur toute la profondeur à la station de la vallée de Shediac, et 114 profils à la station Rimouski jusqu'à 320 m.

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 2019-2021 sont illustrées sur la Fig. 61 pour la station Rimouski et sur la Fig. 62 pour celle de la vallée de Shediac. Les climatologies des tableaux sont calculées à partir des données de la période 1991-2010, mais il existe peu de données avant 1999 pour la vallée de Shediac. Les données fournies par les mouillages océanographiques sont utilisées pour illustrer les variations en hiver en encadrés, 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 l'été 2014. Un réchauffement lent, mais persistant avait été observé à 320 m à la station, mais la température a augmenté d'environ 0,15 °C en avril 2021, suggérant un changement rapide des masses d'eau. Une température maximale moyenne de 6,22 °C a été enregistrée en juin 2021. La CIF était plus chaude que la normale en avril, plus mince que la normale en juin et s'est réchauffée au-dessus du seuil de 1 °C en juillet. Comme indiqué précédemment, la couche de surface était extrêmement chaude à l'automne avec des températures en septembre, d'octobre et même de novembre plus élevées qu'en août et s'étendait en profondeur avec des anomalies très élevées jusqu'à 75 m. Pendant ces trois mois, le minimum de température de la CIF et les températures moyennes 0-50 m et 0-100 m ont atteint des records de série.

Les températures à la station de la vallée de Shediac (Fig. 62) étaient généralement supérieures à la normale avec des températures près du fond supérieures à la normale de mai à octobre. En mars, la couche de surface près du point de congélation n'a pénétré qu'à 45 m de profondeur, laissant une couche de fond chaude qui a persisté toute l'année. La température près du fond (75 m) était à un record de série pour les mois de juillet et août.

La Fig. 63 montre la variabilité interannuelle de certaines moyennes saisonnières de mai à octobre pour les deux stations. Toutes les mesures de température étaient très au-dessus de la normale aux deux stations et comprenaient de nombreux records de séries : températures moyennes 0-50 m et 0-100 m à la station Rimouski, température près du fond (290 m) et température minimale de la CIF; Dans la vallée de Shediac, les records de séries étaient les températures moyennes de 0-50 m et de 0-84 m (pleine profondeur) et de la température près du fond (75 m).

RÉSUMÉ

La Fig. 64 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 corrélées entre elles ($R^2=0,39$ pour les données satellitaires de 1982-2021), 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, les anomalies positives observées en août durant les dernières années contrastent avec des anomalies négatives sur la période de mai à novembre. La figure montre la température moyenne à 150, 200, 250 et 300 m à des niveaux

record de plus de 100 ans. Les températures à 200 et 300 m dépassent leur moyenne climatologique 1991–2020 de plus de 1,1 °C et 1,4 °C respectivement.

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. 65). 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. 65 indique les sommes de ces trois ensembles d'anomalies représentant l'état de différentes parties du système, et elle est reproduite sur la Fig. 66, 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.

L'indice des anomalies de surface était au-dessus de la normale (+1,2 ET) en 2021, avec un refroidissement d'automne record tardif et avec un réchauffement à la fin du printemps la seule anomalie froide. L'indice était le quatrième plus élevé de la série chronologique. L'indice des anomalies de la couche intermédiaire était à un niveau record (+2,5 ÉT), plus chaud qu'en 1979 et 1980 où l'indice de la CIF atteignait des valeurs très élevées et supportant l'idée que ceux-ci pourraient être surestimés. L'indice des anomalies de température profondes était également à un niveau record de série (+2,7 ÉT).

CONCLUSIONS PRINCIPALES

- Le ruissellement annuel moyen du Saint-Laurent, soit mesuré à Québec ou pour le RIVSUM II, était largement sous la normale (11 300 m³s⁻¹, - 1,1 ÉT et 16 100 m³s⁻¹, - 1,3 ÉT, respectivement).
- Le volume de glace maximal saisonnier de 11 km³ (-1,4 ÉT) était juste au-dessus du record faible de série établi en 2010 et le volume moyen de janvier à avril était à un record faible de série. Au cours des 12 années écoulées depuis 2010, 8 des 12 volumes de glace saisonnier maximaux les plus faibles de la série chronologique se sont produits.
- Le volume de la couche mélangée hivernale (<- 1 °C) de 4 700 km³ était le deuxième plus bas de la série temporelle 1996-2021; le plus bas était de 2 600 km³ en 2010. Le volume de la couche hivernale augmente à 11 000 km³ (-4,0 ÉT) lorsque les températures de l'eau <0 °C sont considérées, mais cette valeur était de loin la plus basse enregistrée. Le volume d'intrusion d'eau du plateau du Labrador dans la cuvette de Mécatina de 620 km³ était inférieur à la normale.
- La moyenne de la température minimale de la couche intermédiaire froide (CIF) d'août était la plus élevée de la série chronologique 1985-2021 à 0,98 °C (+ 2,7 ÉT). L'indice de température minimale de Gilbert et Pettigrew (1997), qui comprend des données sur une saison plus longue, était le plus élevé depuis 1980 à 0,63 °C (+2,7 ÉT).
- Le moment du réchauffement printanier de la couche de surface à 12 °C était un peu plus tard que la normale (de 0,6 SD; 0,6 semaine), mais le refroidissement d'après-saison a été retardé d'un temps record de 1,8 semaine (+ 1,9 ÉT) à 12 °C et d'encore plus pour 10 °C à +2,5 semaines (+3,7 ÉT).

- Les températures de surface moyennes sur le golfe étaient les plus élevées de la série satellitaire (depuis 1981) pour les mois d'octobre et de novembre. Des records régionaux de température moyenne ont été enregistrés pour les mois les plus chauds pour septembre à novembre dans l'estuaire, d'octobre et novembre dans la plupart des régions et le mois de novembre le plus chaud dans toutes les régions.
- La SST moyenne saisonnière de mai à novembre pour le golfe entier était bien au-dessus de la normale (+ 0,9 °C, + 1,8 ÉT) et la 3e plus élevée de la série chronologique après 2006 et 2012. Le maximum saisonnier d'août était juste au-dessus de la normale (+ 0,5 °C; + 0,7 ÉT).
- Sur le Plateau madelinien, aucun fond n'était recouvert d'eau avec des températures <0 °C en juin pour la première fois de la série pour ce mois, et la superficie recouverte par des températures <1 °C a diminué pour atteindre un creux presque record (- 4,0 ÉT) à 59 % de la moyenne climatologique. En août-septembre, la superficie du fond recouverte par des températures <1 °C était à un niveau record de série représentant seulement 32 % de la moyenne climatologique, et la température moyenne des eaux de fond à des profondeurs supérieures à 30 m était la 4e plus élevée de la des séries chronologiques.
- Les températures des eaux profondes ont augmenté dans l'ensemble du golfe, avec une advection vers l'intérieur à partir du détroit de Cabot. Les températures moyennes à l'échelle du golfe ont également atteint de nouveaux records de série (depuis 1915) de 4,1 °C à 150 m (+2,3 ÉT) de 6,0 °C (+2,3 ÉT) à 200 m, 6,7 °C (+2,7 ÉT) à 250 m et 6,9 °C (+2,7 ÉT) à 300 m. À 200 m, 250 m et 300 m, la température a atteint des records régionaux dans toutes les régions profondes du golfe, à l'exception du détroit de Cabot. Les valeurs à 300 m étaient : Estuaire (6,1 °C, +2,8 ÉT), nord-ouest du golfe (6,5 °C, +3,1 ÉT), centre du golfe (6,9 °C, +2,9 ÉT). Cela marque une transition rapide au-dessus de 6 °C dans l'estuaire pour la première fois de la série chronologique.
- La superficie du fond recouvert par des eaux plus chaudes que 6 °C a atteint un niveau record dans toutes les régions le long des chenaux profonds, avec une augmentation notable dans l'estuaire. Dans le nord-est du golfe, les superficies entre 6 et 7 °C et >7 °C étaient similaires.

APERÇU POUR 2022

Les températures de l'air étaient de +1,1 °C au-dessus de la normale sur le golfe en décembre 2021 et près de la normale en janvier et février 2022. C'était le contexte du relevé de mars 2022, qui donne une perspective des conditions de la CIF attendues pour le reste de 2022. La Fig. 67 montre la température, la salinité et l'épaisseur de la couche hivernale de surface de mars 2022 (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 à partir du plateau du Labrador.

La configuration souvent observée des eaux plus chaudes au large de la partie sud de la côte ouest de Terre-Neuve était présente, mais une grande partie de ces eaux avaient des températures supérieures à 0 °C, ce qui ne se produit que rarement. La relation prédictive entre le volume hivernal d'eau plus froide que -1 °C et l'indice de température minimale CIL de l'été suivant (Fig. 33) prévoit un indice de la CIF légèrement supérieur à la normale de -0,15 °C (+ 0,5 ÉT). Une nouvelle relation entre le volume hivernal d'eau plus froide que 0 °C et le minimum de température de la CIF de l'été suivant prédirait un indice plus chaud de 0,10 °C (+1,2 ÉT), toujours considérablement plus froid que les conditions record de 2021.

Le réchauffement des eaux profondes du golfe se poursuit puisqu'un maximum de température profond de 8,6 °C a été observé lors d'un profil de température-salinité fait dans le détroit de Cabot.

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 : Félix St-Pierre, Michel Rousseau, Anthony Ouellet, Nicolas Coulombe, Guillaume Mercier, Myranda Blouin, Sylvain Dubé.
- Station vallée de Shediac : Nicolas Coulombe, Anthony Ouellet, Myranda Blouin, Kevin Pauley.
- Relevé de mars : Peter Galbraith, Michel Rousseau, Guillaume Carpentier, David Gauvin.
- Relevé PMZA de juin : David Leblanc, Félix St-Pierre, Guillaume Mercier, Hélène Talbot, Marie-Noëlle Bourassa, Jean-Luc Shaw, Myranda Blouin, Linda Girard, Geneviève Perrin, Mélanie Boudreau, Elisabeth Van Beveren.
- Relevé plurispécifique d'août : Anthony Ouellet, Guillaume Mercier, Myranda Blouin and Jean-Luc Shaw; les officiers et l'équipage du NGCC Teleost.
- Relevé plurispécifique de septembre : Nicolas Rolland, David Fishman.
- Relevé d'octobre-novembre du PMZA : David Leblanc, Anthony Ouellet, Isabelle St-Pierre, Marie-Noëlle Bourassa, Guillaume Mercier, Quentin Emblanc, Geneviève Perrin, Marilyn Thorne; les officiers et l'équipage du NGCC Hudson.
- Relevé dans le détroit de Northumberland : Renée Allain, Natalie Asselin, Patrica Henley et les officiers et l'équipage du NGCC M. Perley.
- Relevé de crabes des neiges du sud du golfe : Renée Allain, Jean-François Landry, Marcel Hébert.
- Relevé de hareng du sud du golfe : François Turcotte
- Relevé de pétoncle du sud du golfe : Monique Niles
- Gestion des données : Caroline Lafleur, Marie-Noëlle Bourassa, David Fishman.
- Maintenance des instruments de mesure : Félix St-Pierre, Guillaume Mercier, Myranda Blouin.

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 Lefavre et Alain D'Astous
- Ruissellement tiré de la modélisation hydrologique : Joël Chassé, Nicolas Lambert et Diane Lavoie.
- Télédétection de la SST tirée des données historiques AVHRR (IML) : Pierre Larouche (émérite), Bernard Pettigrew (retraité).

- Télédétection de la SST tirée des données historiques AVHRR (IOB) : Carla Caverhill, Cathy Porter.
- Réseau de thermographes : Nicolas Coulombe, Guillaume Mercier, Jacqueline Dumas.
- Thermosalinographes : Anthony Ouellet, Nicolas Coulombe et Guillaume Mercier, Peter Galbraith. De Oceanex : Capt. Richard Belley et Yves Morissette, Ingénieurs Steeve Cotton et Patrice Racine.

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

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

RÉFÉRENCES CITÉES

- 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. Édité par H. P. Benoît, J. A. Gagné, C. Savenkoff, P. Ouellet et M.-N. Bourassa. Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2986 : viii + 73 p.
- Casey, K.S., Brandon, T.B., Cornillon, P., et Evans, R. 2010. [The Past, Present and Future of the AVHRR Pathfinder SST Program](#). Dans Oceanography from Space: Revisited. Édité par V. Barale, J.F.R. Gower, et L. Alberotanza. Springer. pp. 273–287.
- 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., Snook, S., Bishop, Galbraith, P.S., Pye, B., Chen, N., et Han, G. 2021. [Conditions océanographiques physiques sur le plateau continental de Terre-Neuve-et-Labrador en 2019](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2021/017. iv + 54 p.
- 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. 2013. Trends and variability in eastern Canada sea-surface temperatures. Ch. 1 (p. 1-18). Dans Aspects of climate change in the Northwest Atlantic off Canada. Édité par Loder, J.W., G. Han, P.S. Galbraith, J. Chassé et A. van der Baaren. 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. No. 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. Dans : Aspects of climate change in the Northwest Atlantic off Canada. Édité par Loder, J.W., G. Han, P.S. Galbraith, J. Chassé et A. van der Baaren. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3045 : x + 192 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., Shaw, J.-L., Dumas, J., Caverhill, C., Lefavre, D. et Lafleur, C. 2021. [Conditions océanographiques physiques dans le golfe du Saint-Laurent en 2020](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2021/045. iv + 84 p.
- Galbraith, P.S., Larouche, P. et Caverhill, C. 2021b. [A sea-surface temperature homogenization blend for the Northwest Atlantic](#). Can. J. Remote Sens. 47(4): 554-568. doi: 10.1080/07038992.2021.1924645
- 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. Dans State-of-the-Ocean Report for the Gulf of St. Lawrence Integrated Management (GOSLIM) Area. Édité par H. P. Benoit, J. A. Gagné, C. Savenkoff, P. Ouellet et M.-N. Bourassa. Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2986 : viii + 73 p.
- Hebert, D., Layton, C., Brickman, D. et Galbraith, P.S. 2021. [Conditions océanographiques physiques sur le plateau néo-écossais et dans le golfe du Maine en 2020](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2021/070. iv + 58 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 in the Laurentian Channel](#). J. Fish. Res. Board Can. 15 : 1247–1257.
-

-
- Lefaivre, 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. 2021. [Conditions océanographiques dans la zone atlantique en 2020](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Avis sci. 2021/026.
- von Oppeln-Bronikowski, N., de Young, B., Bachmayer, R., Palter, J., Claus, B., Zhou, M., Matthews, R.J.B., Howatt, T., Bishop, C., Downey, M., Neil, N. et Foley, J. 2021. [Memorial University Ocean Glider Deployments : 2005 – Present](#). SEANOE. [Accédé le 3 décembre 2021]
- 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 p.
- 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 : iv + 38 p.
- 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.
- Pettigrew, B., Gilbert, D. et Desmarais R. 2017. Thermograph network in the Gulf of St. Lawrence: 2014-2016 update. Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 317 : vii + 54 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 Atlantic 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., Lefaivre, D., Mitchell, M., Pelchat, B., Runge, J. et Sameoto, D. 1998. Proposition pour un programme zonal de monitoring de la région nord-ouest de l'Atlantique. Rapp. tech. can. hydrogr. sci. océan. 194F : vii + 69 p.
- 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

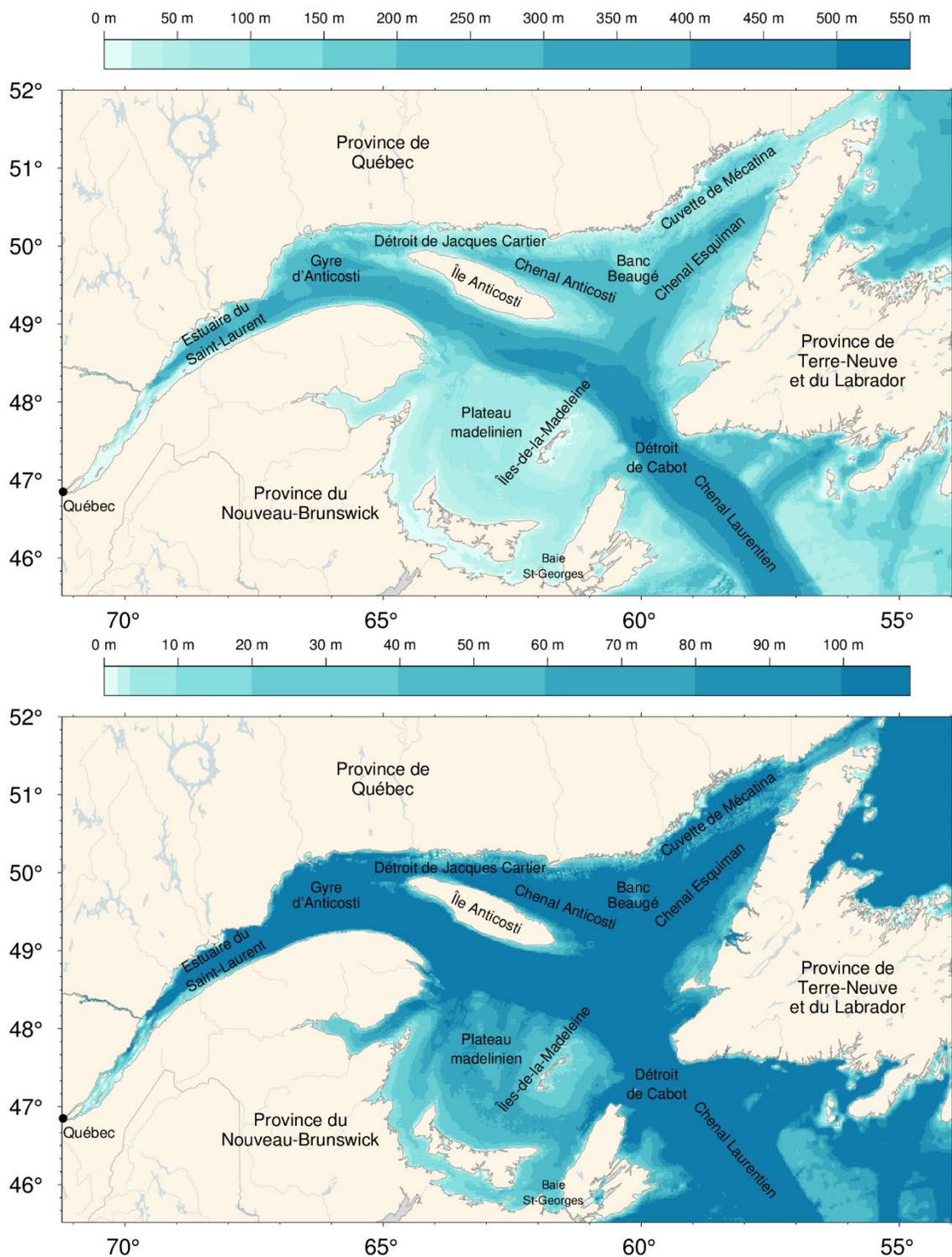


Fig. 1. Golfe du Saint-Laurent. Les lieux mentionnés dans le texte sont indiqués. Les ensembles de données bathymétriques utilisés proviennent du Service hydrographique du Canada à l'ouest de la longitude 56°47' O (quelques corrections ont été apportées à la baie des Chaleurs et au Plateau madelinien),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

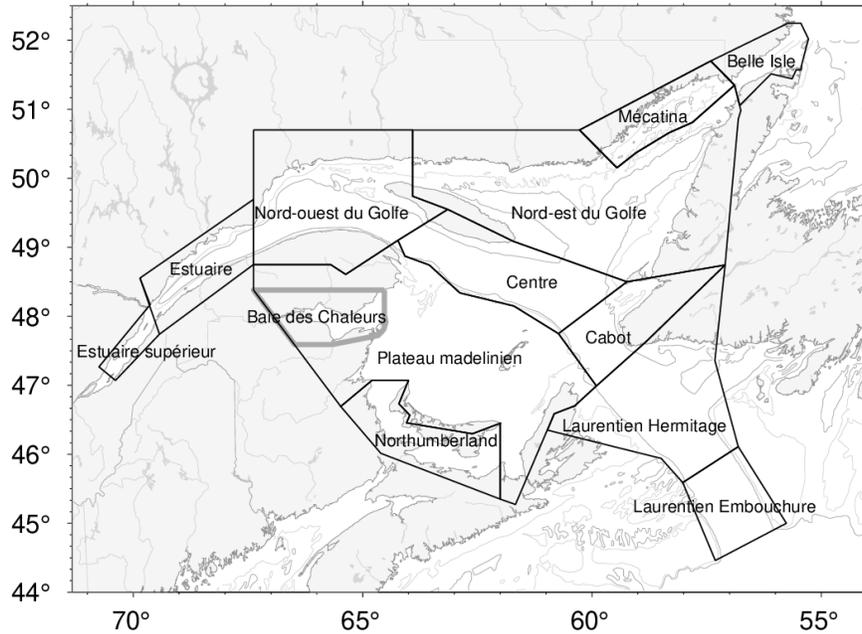


Fig. 2. Golfe du Saint-Laurent divisé en régions océanographiques utilisées pour les moyennes spatiales. La baie des Chaleurs est parfois rapportée séparément, mais est incluse dans la région du Plateau madelinien.

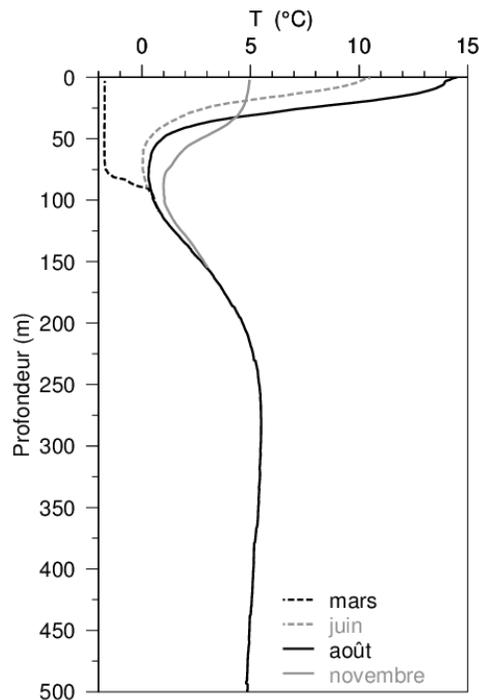


Fig. 3. Progression saisonnière typique du profil de profondeur de la température observé dans le golfe du Saint-Laurent. Les profils sont des moyennes d'observations faites en août, en juin et en novembre 2007 dans le nord du golfe. La ligne pointillée sur la gauche indique un seul profil de la température hivernale (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).

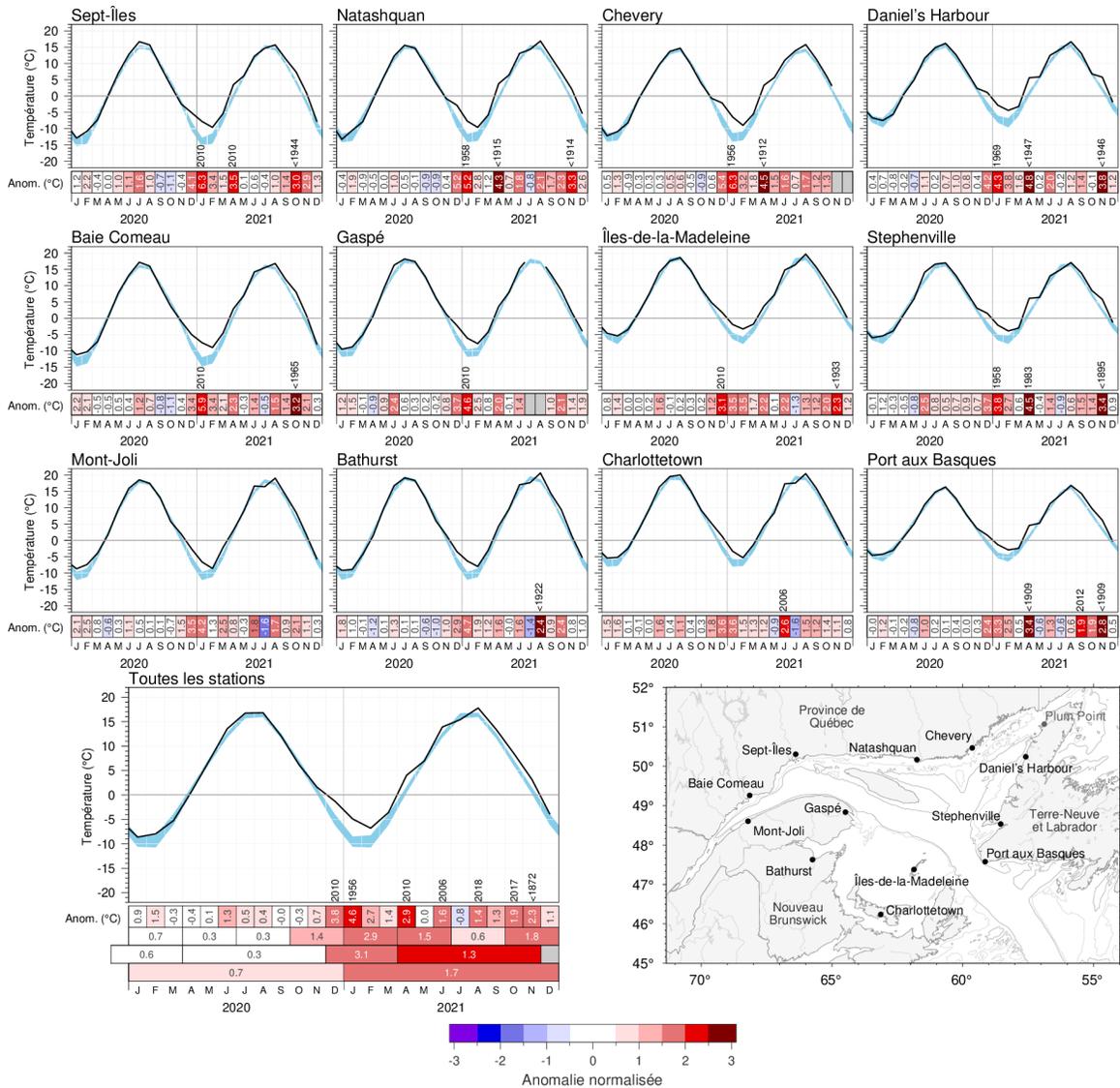


Fig. 4. Températures de l'air mensuelles et anomalies pour 2020 et 2021 à des stations météorologiques autour du golfe, et moyenne pour toutes les stations. La zone bleue représente la moyenne mensuelle climatologique pour 1991–2020 $\pm 0,5$ ÉT. Les mois pour lesquels les données sont manquantes pour 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 1991–2020 pour chaque mois (selon la palette de couleur en bas), mais les nombres sont les anomalies mensuelles exprimées en °C. Pour les anomalies de plus de 2 ÉT par rapport à la normale, la précédente année pour laquelle 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 entre 2016 et 2019 et sont incluses dans la moyenne pour toutes les stations.

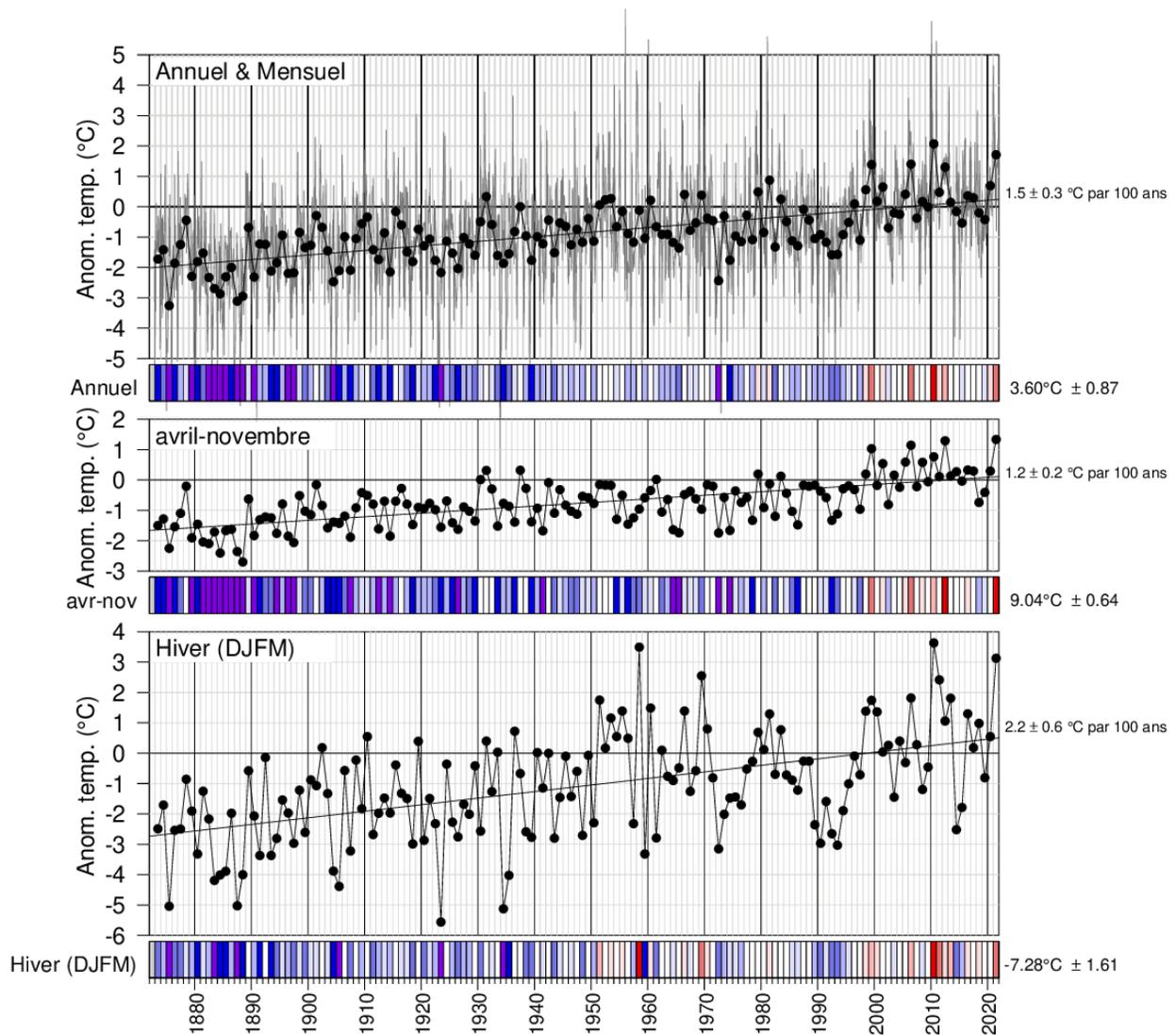


Fig. 5. Anomalies de la température de l'air moyenne annuelle, d'avril à novembre et de décembre à mars, moyennées pour les stations autour du golfe comme pour la Fig. 4. Les tableaux du bas sont codés par couleurs en fonction des anomalies normalisées d'après la climatologie de 1991-2020. Les tendances 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; Galbraith et al. 2021), 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).

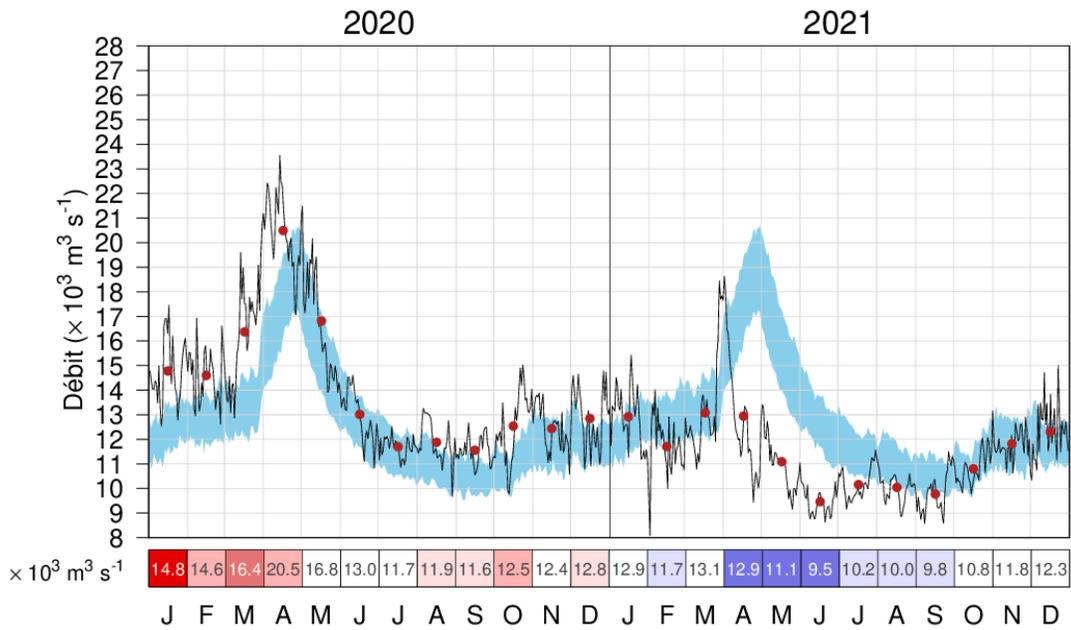


Fig. 6. Débit moyen quotidien du fleuve Saint-Laurent à Québec.). La moyenne climatologique de 1991–2020 ($\pm 0,5$ ÉT) est représentée (ombrage bleu). Les moyennes mensuelles sont indiquées par des points rouges. Les tableaux sont codés par couleurs en fonction des anomalies mensuelles normalisées pour chaque mois de l'année, mais les chiffres sont les anomalies mensuelles réelles, en $10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

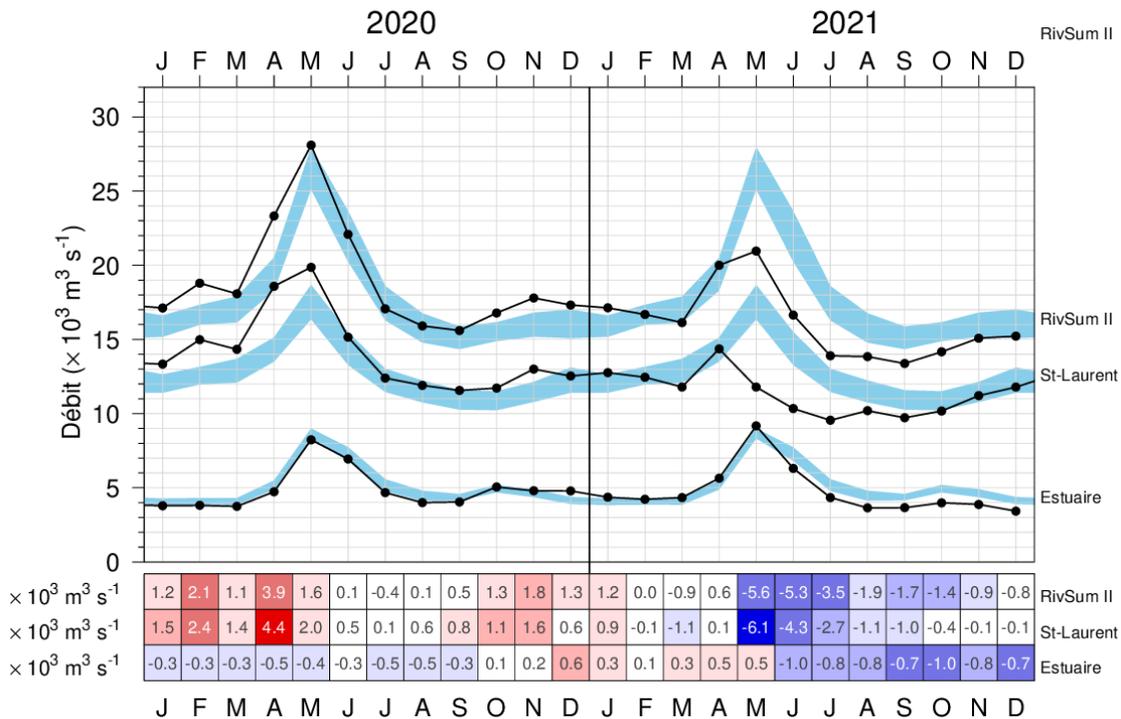


Fig. 7. Débit moyen mensuel d'eau douce du RIVSUM II (courbe du haut) qui consiste au débit du Saint-Laurent à Québec retardé de 21 jours (courbe du milieu) et sa somme avec celui des rivières qui se jettent dans l'estuaire du Saint-Laurent (courbe du bas). La moyenne climatologique de 1991–2020 ($\pm 0,5$ ÉT) est représentée (ombrage bleu). Les tableaux sont codés par couleurs en fonction des anomalies mensuelles normalisées pour chaque mois de l'année, mais les chiffres sont les anomalies mensuelles réelles, en $10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

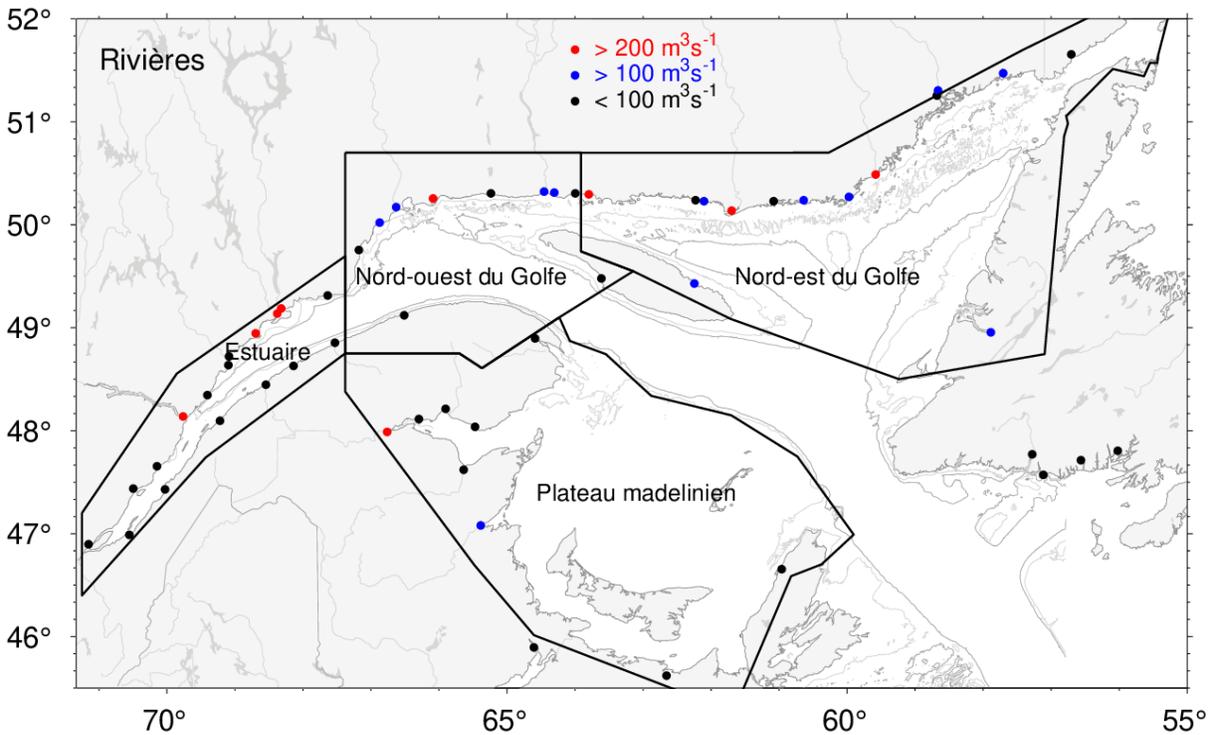


Fig. 8. Emplacements de l'embouchure des rivières utilisées pour calculer les sommes régionales du ruissellement de la Fig. 9. Les points rouges et bleus indiquent les rivières dont le ruissellement moyen climatologique est supérieur à $200 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ et compris entre 100 et $200 \text{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

RivSum II	17123	18794	18073	23313	28102	22084	17065	15909	15602	16777	17795	17317	17125	16677	16137	20000	20957	16645	19893	13842	13377	14162	15085	15216	17778 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
Fleuve St-Laurent	13331	14983	14327	18584	19865	15151	12395	11907	11561	11722	12999	12531	12764	12452	11795	14357	11787	10337	9549	10196	9719	10177	11208	11786	12746 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
Estuaire	3792	3811	3746	4729	8237	6933	4670	4002	4041	5055	4796	4786	4361	4225	4342	5643	9170	6308	4344	3646	3658	3985	3877	3430	5090 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
Nord-ouest du golfe	29	1	77	558	1939	3316	1653	919	934	1468	1335	1227	399	43	254	1336	3137	3639	1606	851	1481	1563	923	271	1177 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
Nord-est du Golfe	239	36	213	923	3699	7478	3016	1400	1031	2216	2984	2375	796	219	849	3031	5662	7049	2636	1493	2916	2956	2854	1593	2228 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
Plateau madelinien	315	188	391	1202	2077	694	321	233	161	675	965	1002	390	226	697	1953	1903	502	206	64	325	423	895	730	735 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
	2020												2021												

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 2020 et 2021. Les tableaux sont codés par couleurs en fonction des anomalies normalisées mensuelles d'après les climatologies de 1991–2020 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).

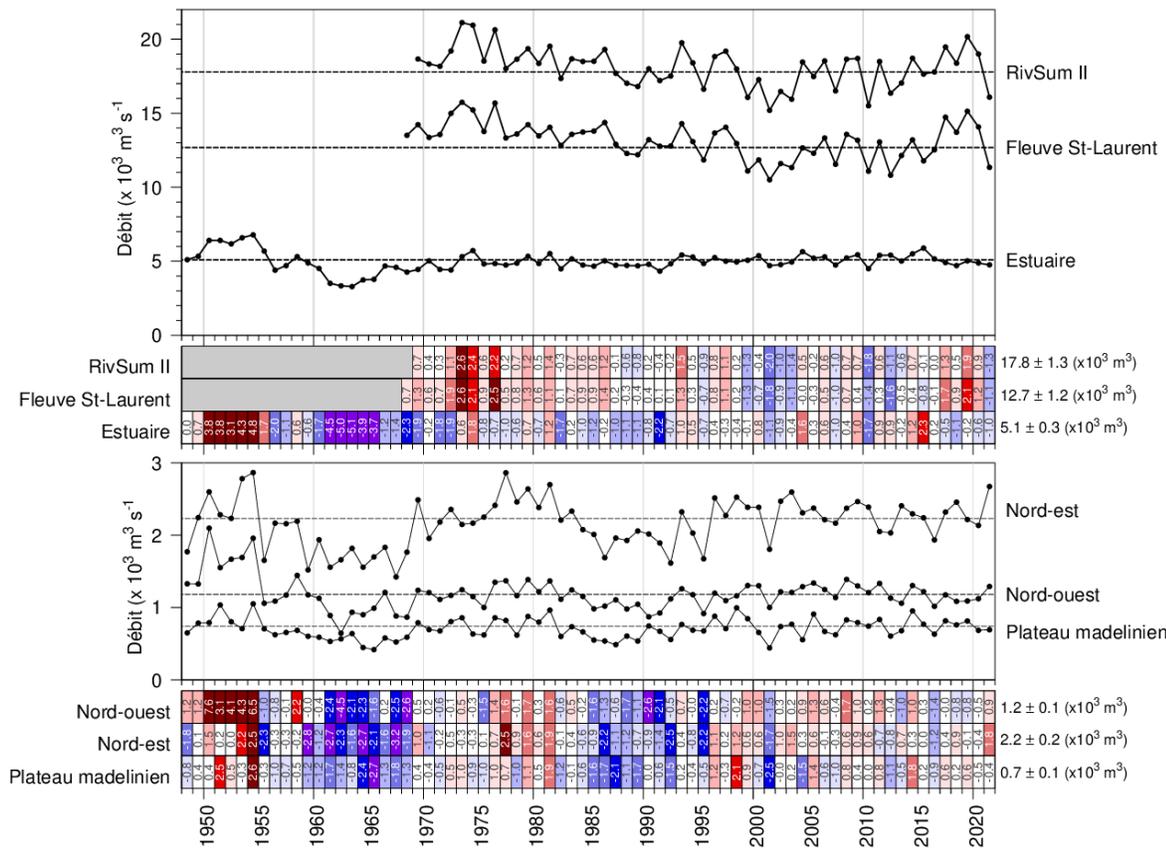


Fig. 10. Débit moyen annuel d'eau douce du Saint-Laurent à Québec et somme de toutes les rivières qui se jettent dans les régions de l'estuaire et du golfe, et de la somme de ces deux : le RivSum II. La moyenne climatologique de 1991–2020 est indiquée par les lignes horizontales et sur la droite des tableaux. Les nombres indiqués dans les tableaux sont les anomalies normalisées.

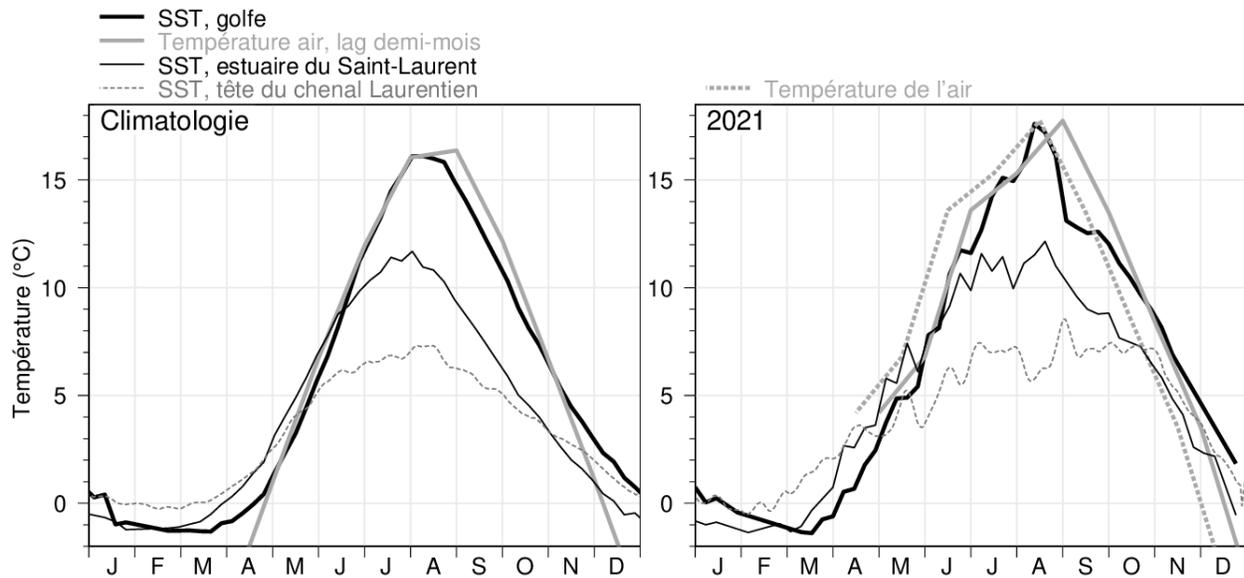


Fig. 11. Cycle saisonnier climatologique et pour 2021 de la température de surface de la mer dans le golfe du Saint-Laurent. Les moyennes hebdomadaires des données satellitaires pour le golfe sont indiquées en trait noir épais ainsi que pour l'estuaire en trait noir mince. Les moyennes des données des thermosalinographes sont indiquées pour la tête du chenal Laurentien (à 69° 30'O, ligne grise pointillée). La température de l'air mensuelle, moyennée sur les stations dans le golfe du Saint-Laurent (excluant l'estuaire), est représentée décalée de deux semaines (ligne grise épaisse; les mois d'hiver ne sont pas représentés) ainsi que sans décalage dans le panneau de droite. Figure adaptée de Galbraith et al. (2012).

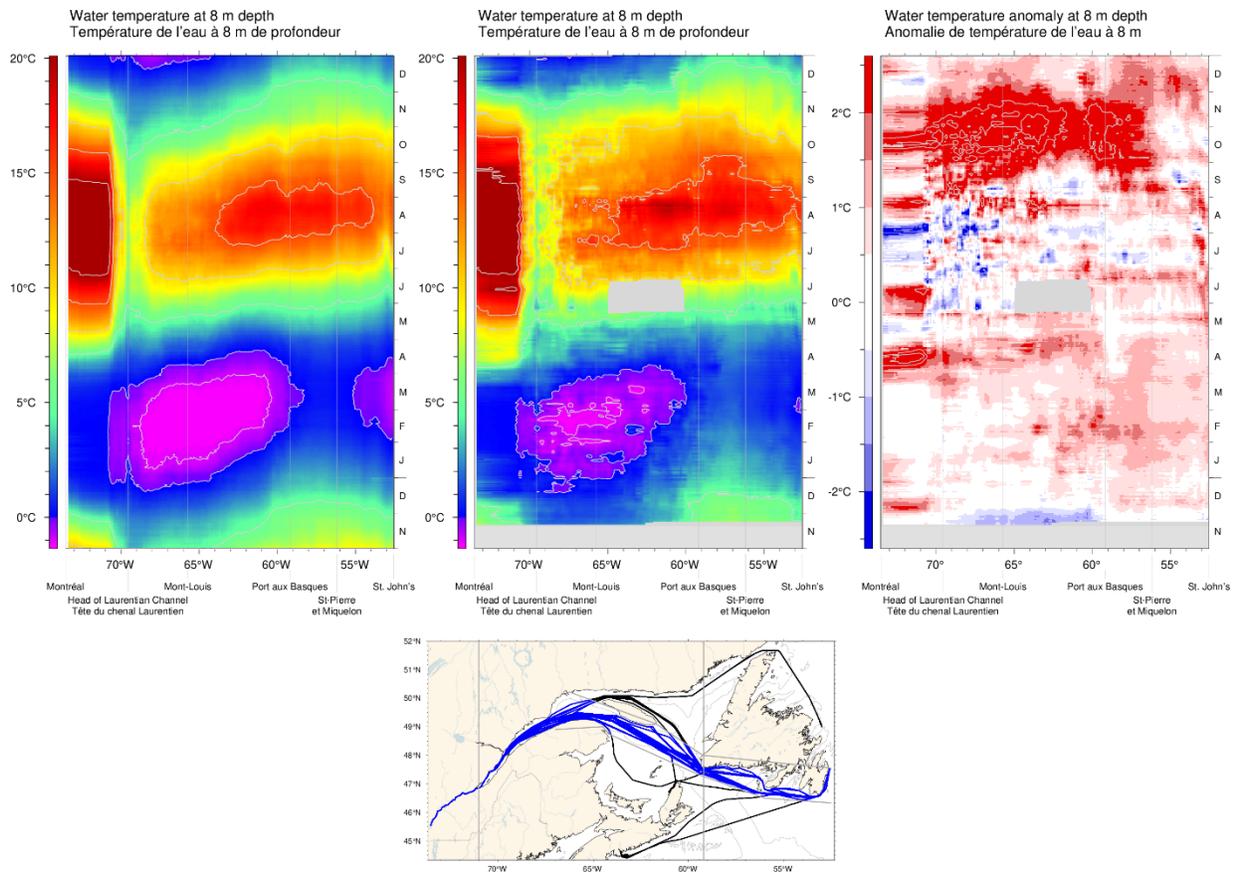


Fig. 12. Diagramme de Hovmöller des données des thermosalinographes à une profondeur de 8 m le long du corridor de navigation entre Montréal et St. John's : cycle annuel moyen composite de la température de l'eau de 2000 à 2020 (panneau supérieur gauche), cycle annuel composite de la température de l'eau en 2021 (panneau supérieur centre) et anomalie de la température de l'eau en 2021 par rapport au composite pour 2000-2020 (panneau supérieur droit). La carte indique tous les trajets du navire en 2021, avec ceux utilisés dans l'analyse en bleu.

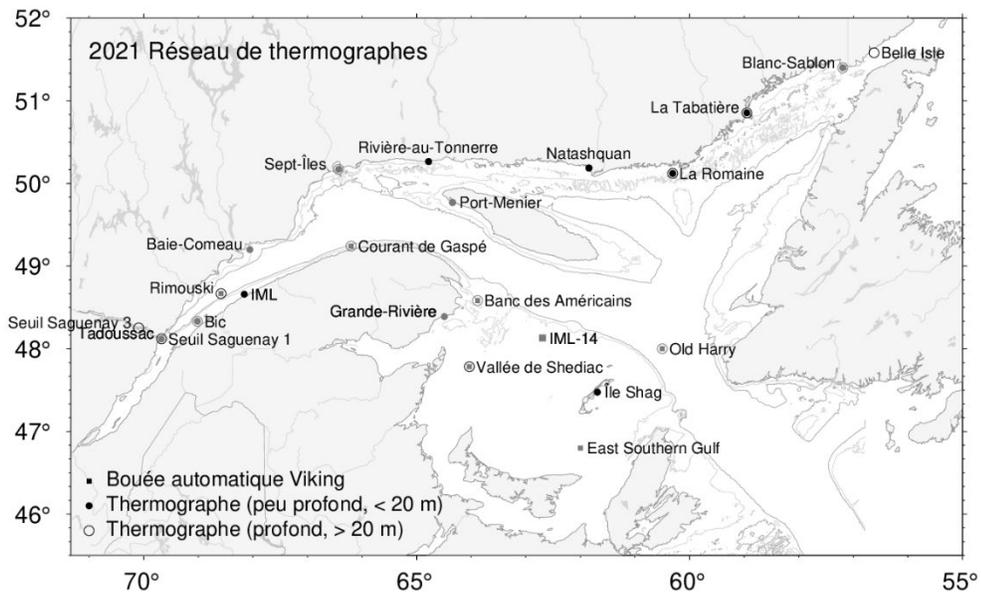


Fig. 13. Stations du réseau de thermographes côtiers de l'Institut Maurice-Lamontagne en 2021, incluant les bouées océanographiques Viking (carrés) qui transmettent des données en temps réel. Les instruments profonds et peu profonds sont démarqués par des cercles ouverts et des points, tandis que les déploiements saisonniers et à l'année sont distingués par la couleur en gris ou en noir.

Estuary and NW Gulf / Estuaire et NO du Golfe

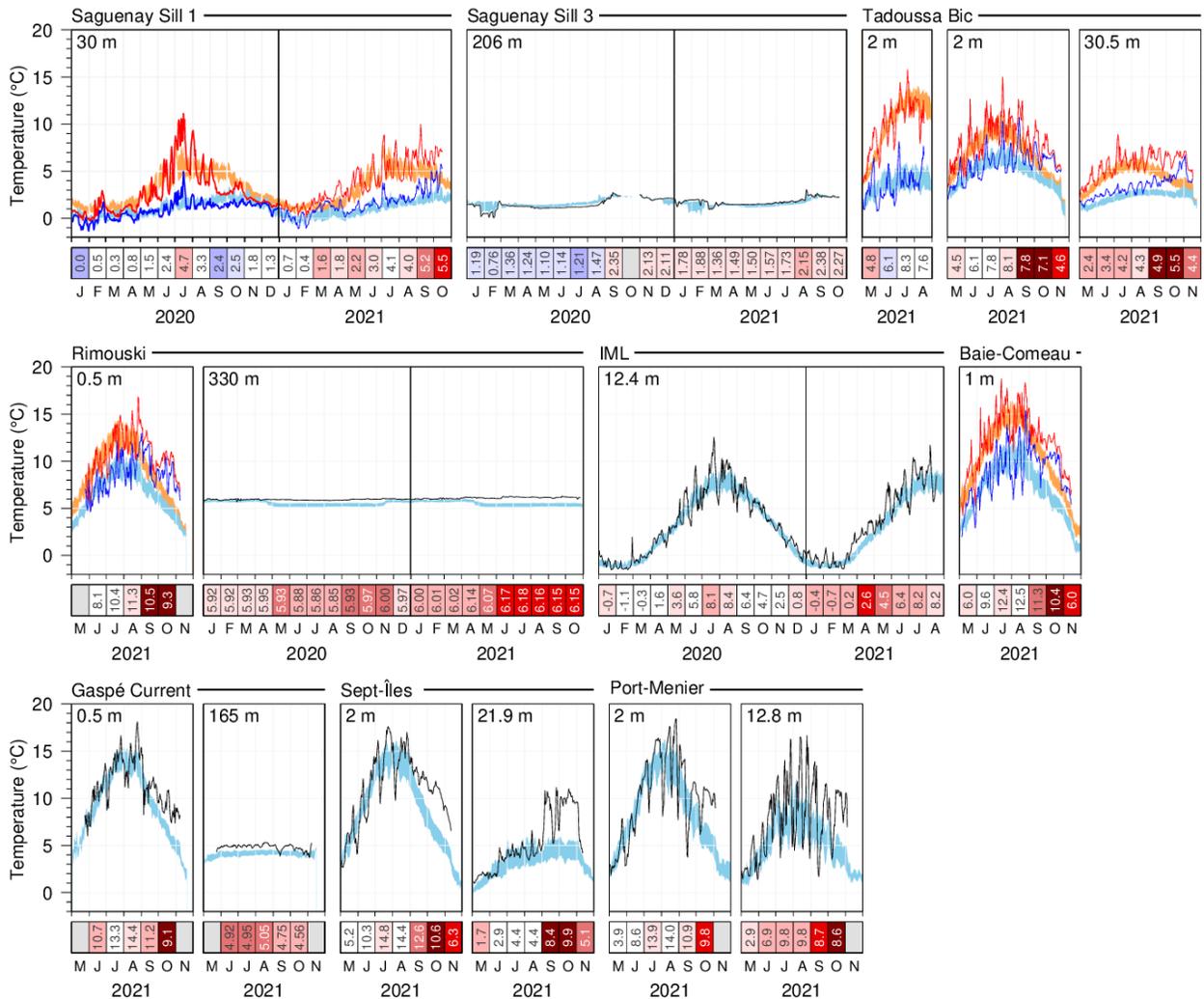


Fig. 14. Données du réseau de thermographes côtiers de l'estuaire et nord-ouest du golfe, montrant la température moyenne quotidienne (ligne noire) comparée à la climatologie historique (moyenne climatologique $\pm 0,5$ ÉT en bleu). Les stations ayant une grande variabilité associée à la marée indiquent plutôt le minimum (bleu) et le maximum (rouge) quotidien, comparés à leurs climatologies respectives en bleu et orange. Les données de 2020 sont incluses pour les stations qui échantillonnent à l'année. 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

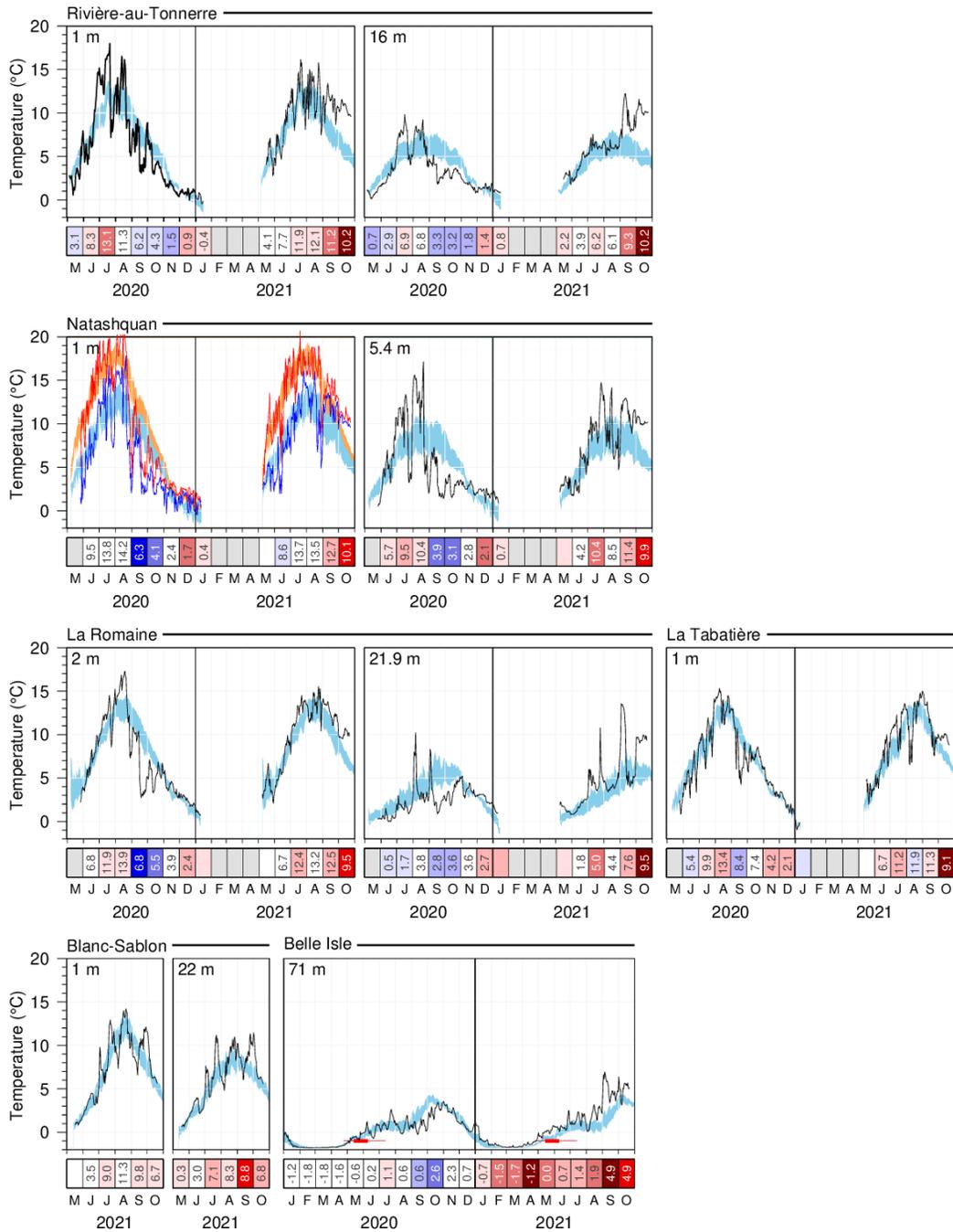


Fig. 15. Données du réseau de thermographes côtiers de la basse côte nord, montrant la température moyenne quotidienne (ligne noire) comparée à la climatologie historique (moyenne climatologique $\pm 0,5$ ET en bleu). Les stations ayant une grande variabilité associée à la marée indiquent plutôt le minimum (bleu) et le maximum (rouge) quotidien, comparés à leurs climatologies respectives en bleu et orange. Les données de 2020 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 $0,5$ ET. 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

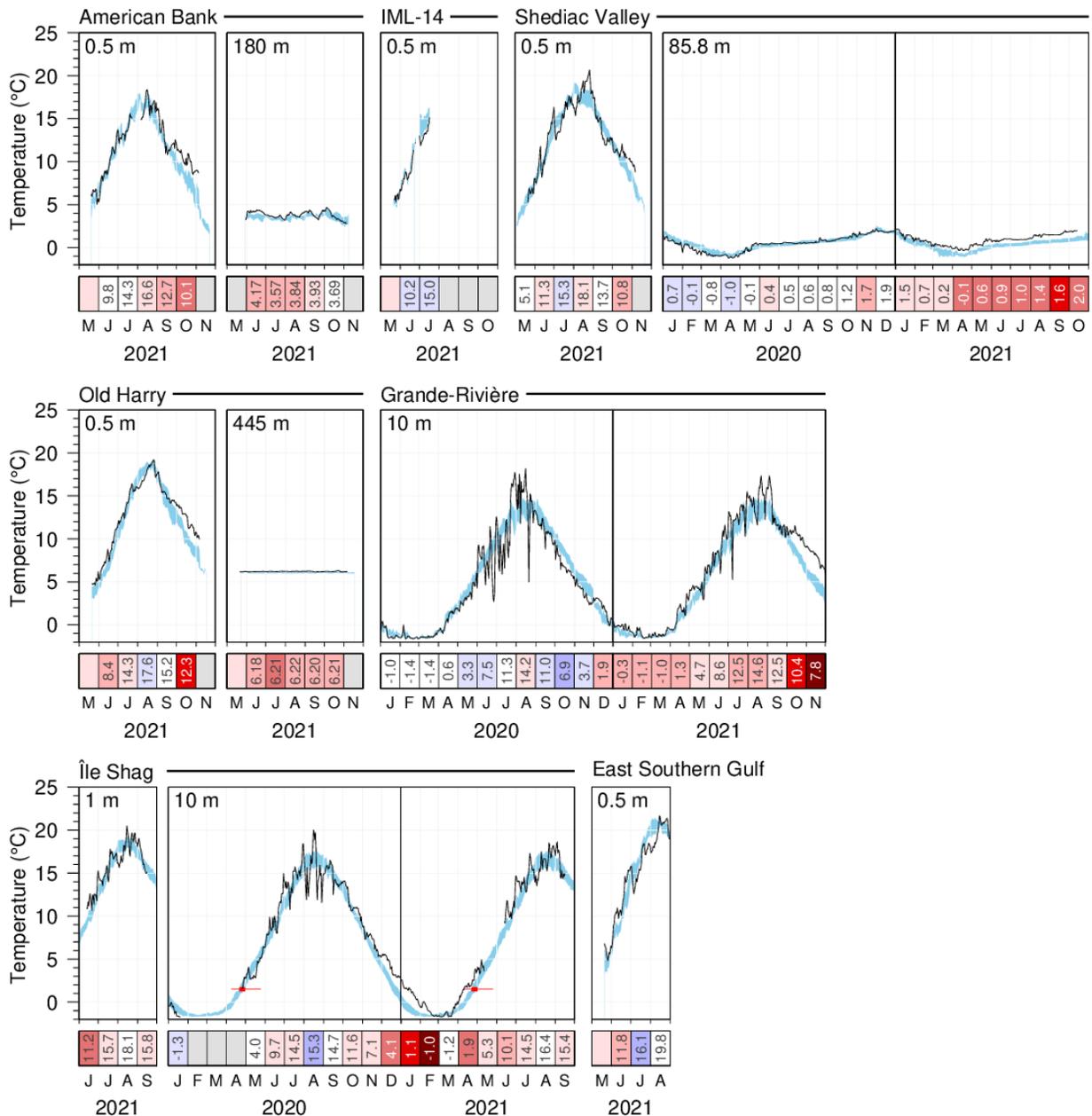


Fig. 16. Données du réseau de thermographes côtiers du sud du golfe, montrant la température moyenne quotidienne (ligne noire) comparée à la climatologie historique (moyenne climatologique $\pm 0,5$ ÉT en bleu). Les données de 2020 sont incluses pour les stations qui échantillonnent à l'année. Les lignes 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.

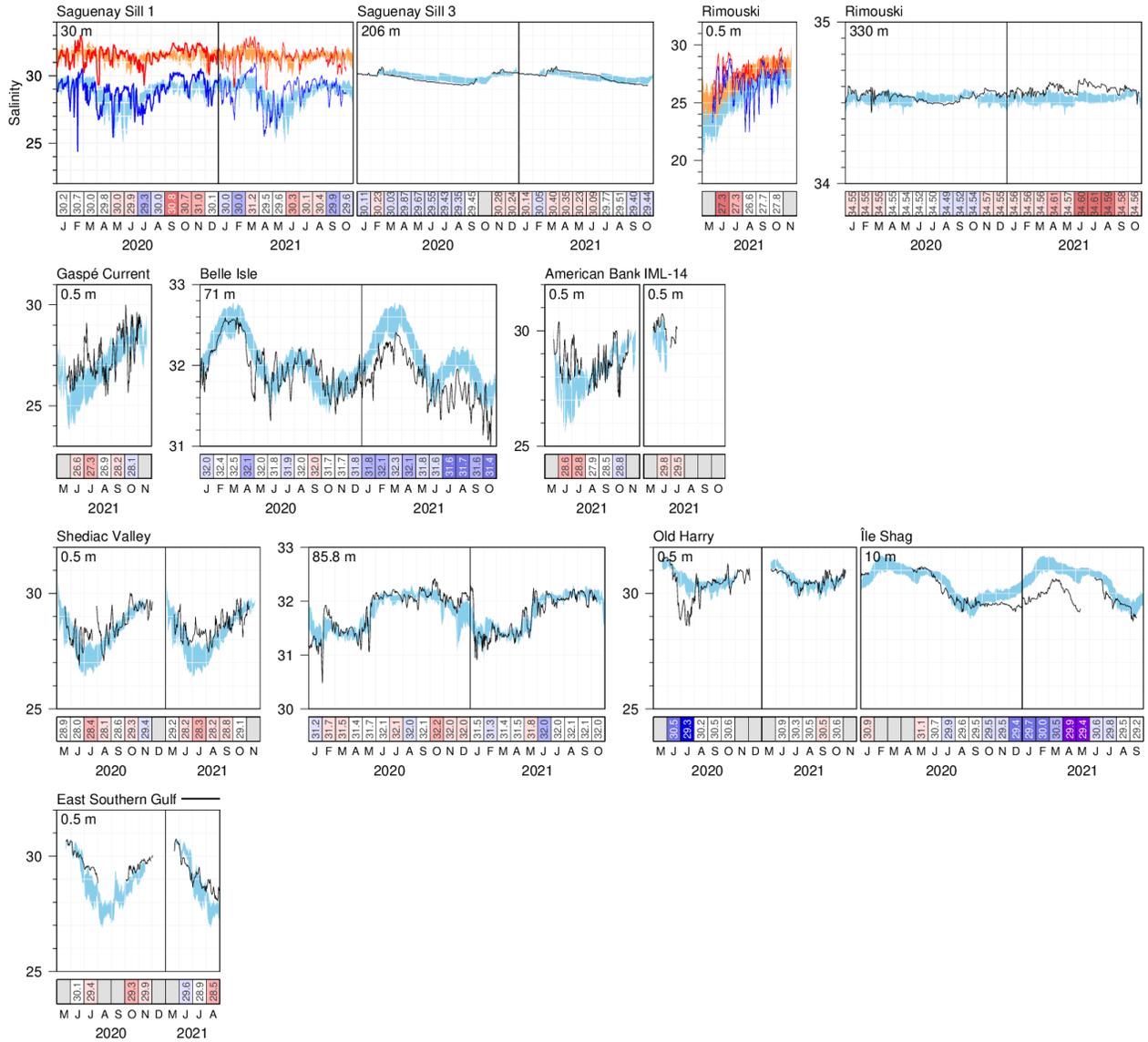


Fig. 17. Données du réseau de thermographes montrant la salinité moyenne quotidienne (ligne noire) comparée à la climatologie historique (moyenne climatologique $\pm 0,5$ ÉT en bleu). Les stations ayant une grande variabilité associée à la marée indiquent plutôt le minimum (bleu) et le maximum (rouge) quotidien, comparés à leurs climatologies respectives en bleu et orange. Les données de 2020 sont incluses pour les stations qui échantillonnent à l'année. Les tableaux montrent la salinité mensuelle moyenne codée par couleur en fonction des anomalies normalisées d'après les climatologies pour chaque mois.

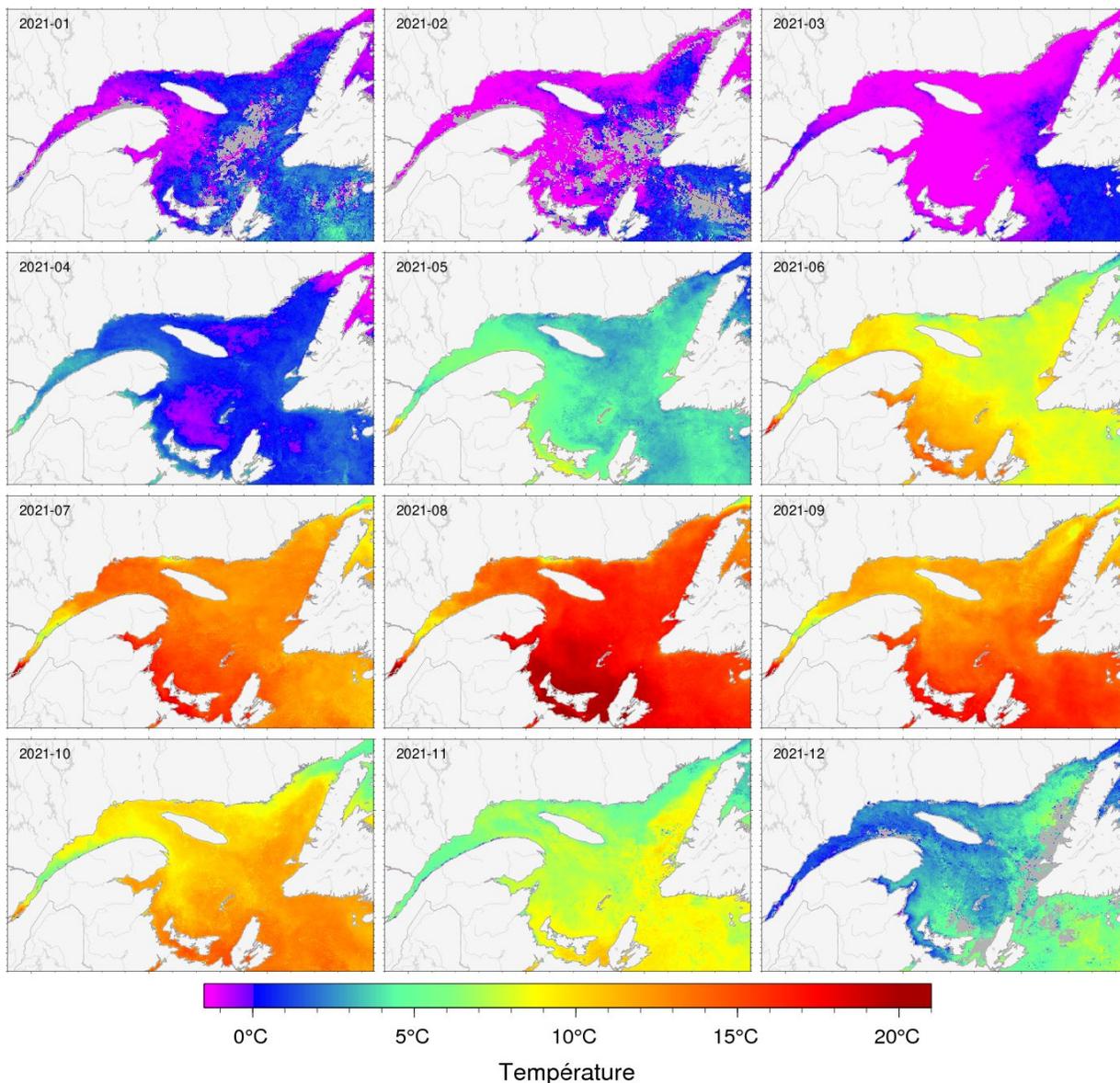


Fig. 18. Moyennes mensuelles de la température de surface de la mer en 2021 telles qu'observées avec les données de télédétection AVHRR. Les zones grises indiquent les zones pour lesquelles les données manquent en raison du couvert de glace ou de nuages.

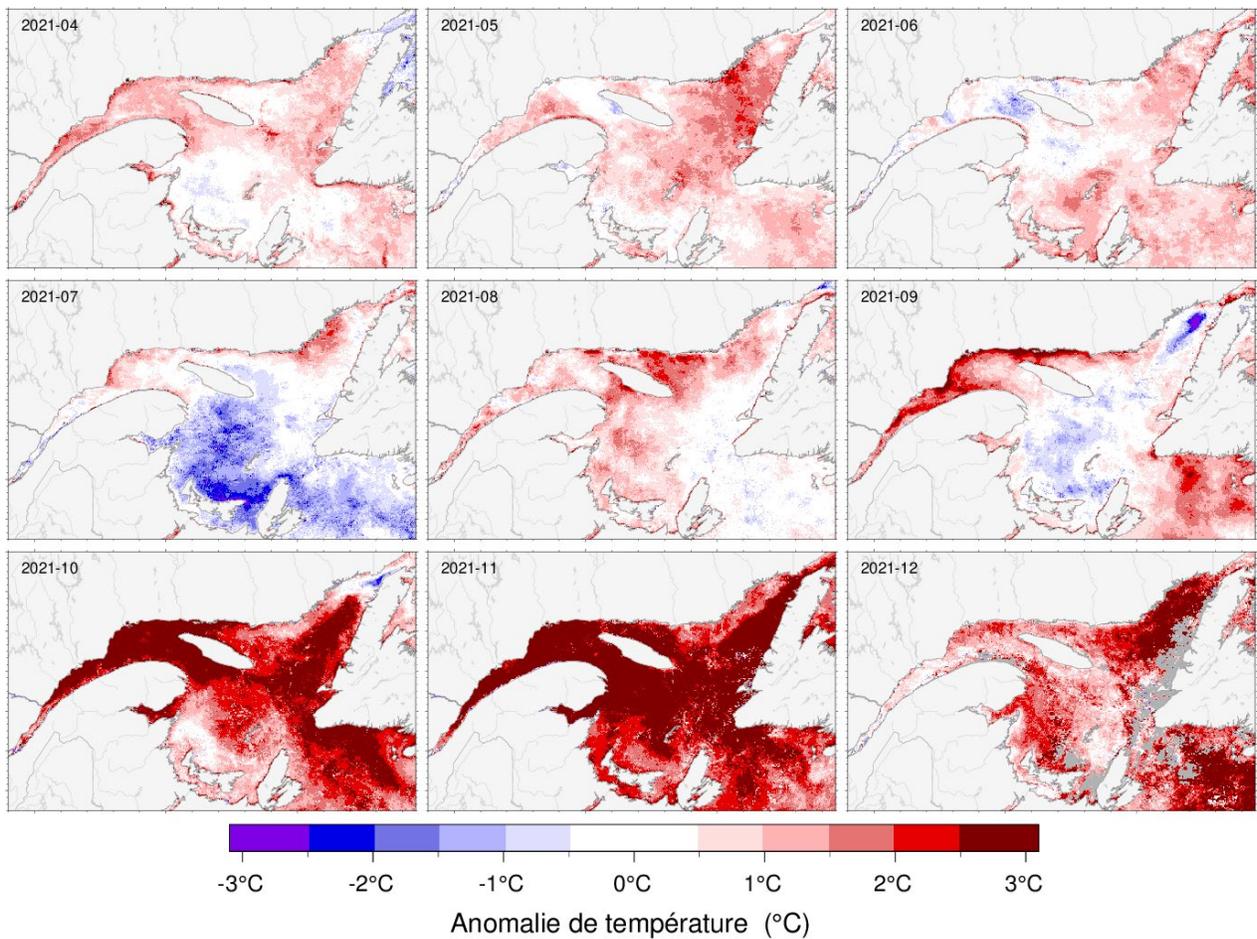


Fig. 19. Anomalies de la température de surface de la mer pour avril à décembre 2021 d'après les climatologies mensuelles calculées pour la période 1985-2010, observées avec les données de télédétection AVHRR. Ceci est l'unique produit de ce rapport qui n'est pas mis à jour avec une climatologie 1991-2020.

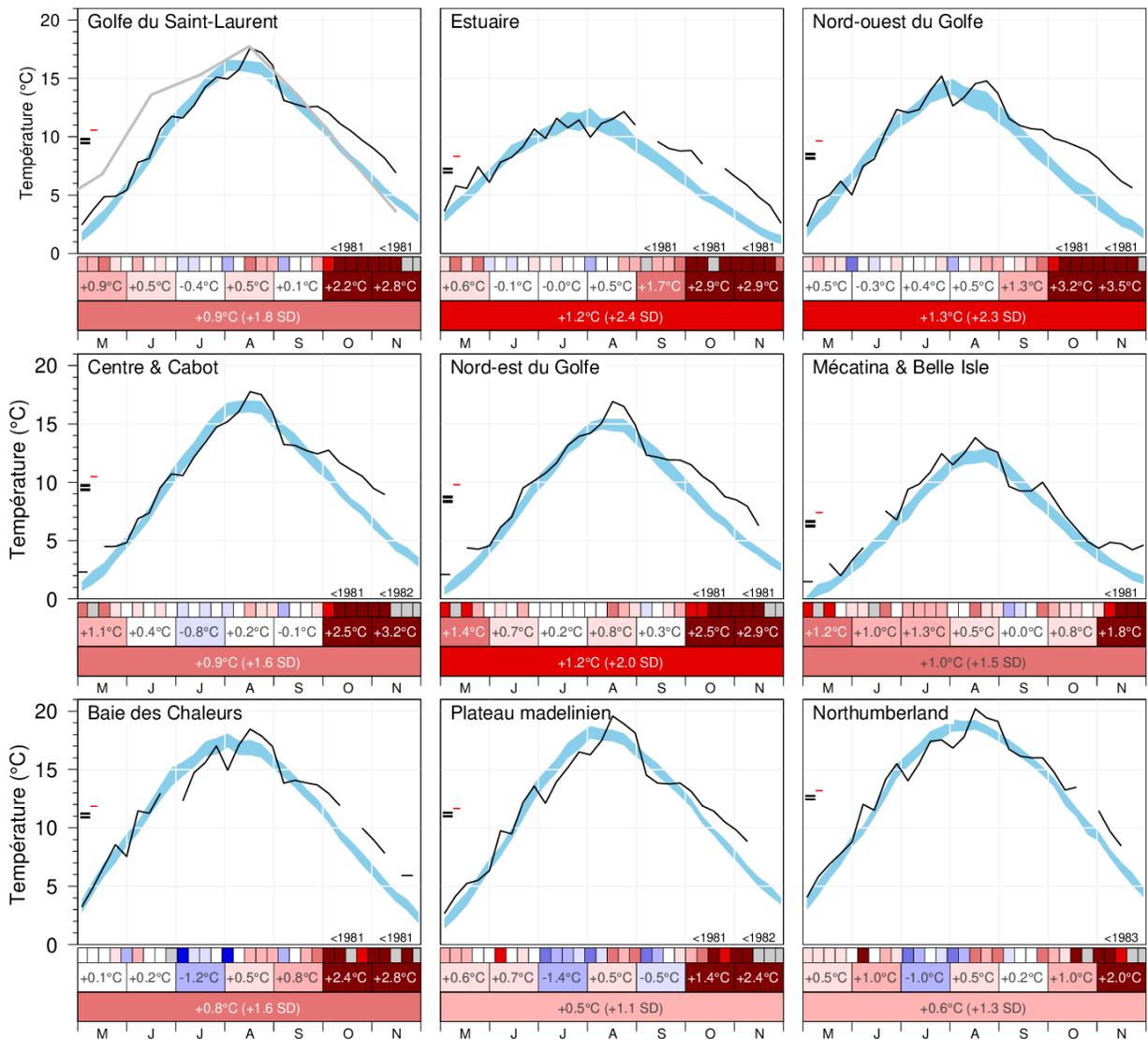


Fig. 20. Moyennes mensuelles de mai à novembre de la SST tirée des données AVHRR pour le golfe et pour huit régions du golfe. La zone bleue représente la moyenne mensuelle climatologique pour 1991–2020 \pm 0,5 ÉT. La moyenne climatologique plus et moins un demi-écart-type de la moyenne de température 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. Pour les anomalies supérieures à 2 ÉT par rapport à la normale, la précédente année avec une anomalie plus importante est indiquée, le symbole inférieur à (<) indiquant un record de série depuis cette première année d'observations. Les tableaux sont codés par couleurs en fonction des anomalies normalisées d'après les climatologies de 1991–2020 pour chaque semaine, mois ou pour la période de mai à novembre (ligne du bas), mais les nombres sont les anomalies de la température moyenne mensuelle.

Golfe du Saint-Laurent	4.2	9.1	13.4	16.4	12.9	10.6	7.3	0.9	0.5	-0.4	0.5	0.1	2.2	2.8
nord du Golfe du Saint-Laurent	3.8	8.2	12.8	15.5	12.2	10.2	7.1	1.0	0.4	-0.0	0.6	0.4	2.6	3.1
Estuaire supérieur	5.9	10.0	12.1	13.8	11.7	8.3	5.2	-0.4	-0.4	-0.8	0.8	1.1	1.4	2.2
Estuaire	5.4	8.6	10.9	11.2	9.5	7.6	5.0	0.6	-0.1	-0.0	0.5	1.7	2.9	2.9
Nord-ouest du Golfe	4.5	8.9	13.4	13.8	11.2	9.2	6.4	0.5	-0.3	0.4	0.5	1.3	3.2	3.5
Nord-est du Golfe	3.6	7.9	12.4	15.5	12.1	10.1	7.0	1.4	0.7	0.2	0.8	0.3	2.5	2.9
Mécatina & Belle Isle	2.4	5.9	10.6	12.6	9.6	6.4	4.3	1.2	1.0	1.3	0.5	0.0	0.8	1.8
Centre & Cabot	3.8	8.2	12.8	16.5	13.0	11.2	7.9	1.1	0.4	-0.8	0.2	-0.1	2.5	3.2
Baie des Chaleurs	6.1	12.1	15.0	17.3	14.3	11.1	7.0	0.1	0.2	-1.2	0.5	0.8	2.4	2.8
Northumberland	6.5	12.8	16.1	19.1	16.4	12.7	8.7	0.5	1.0	-1.0	0.5	0.2	1.0	2.0
Plateau madelinien	4.6	10.8	14.5	18.3	14.2	11.4	7.9	0.6	0.7	-1.4	0.5	-0.5	1.4	2.4
Est du PI. madelinien	3.9	10.3	14.4	18.5	14.8	12.1	8.2	0.6	1.0	-1.4	0.1	-0.5	1.2	2.0
Ouest du PI. madelinien	4.6	10.6	14.5	18.3	13.8	11.1	7.7	0.8	0.6	-1.5	0.7	-0.6	1.3	2.5
	M	J	J	A	S	O	N	M	J	J	A	S	O	N
	2021							2021						

Fig. 21. Anomalies mensuelles de mai à novembre de la SST tirée des données AVHRR, moyennées pour le golfe et pour des régions du golfe en 2021. 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 1991–2020 pour chaque mois. La région du nord du golfe correspond aux régions du Nord-ouest, Nord-est, Centre et Cabot et est rapportée dans l'Avis Scientifique zonale du PMZA.

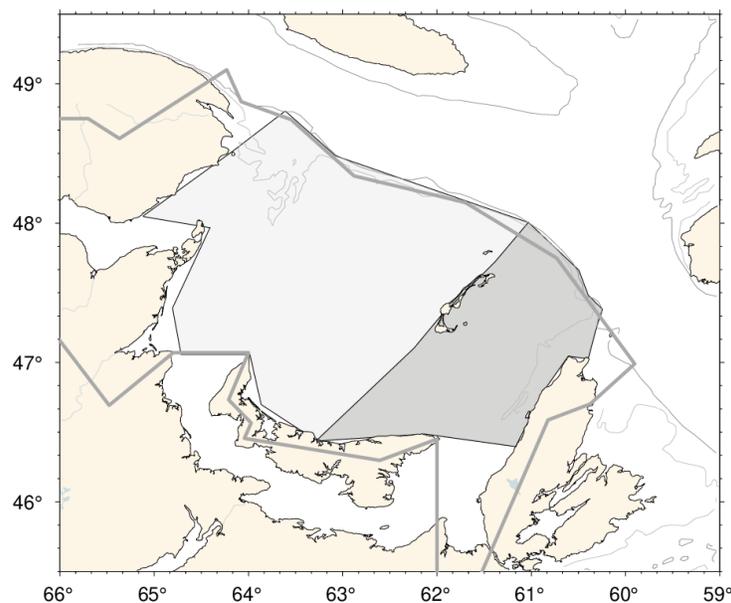


Fig. 22. Zones définies comme l'ouest et l'est du plateau madelinien. La ligne grise en trait épais montre le contour de la région du plateau madelinien (Fig. 2).

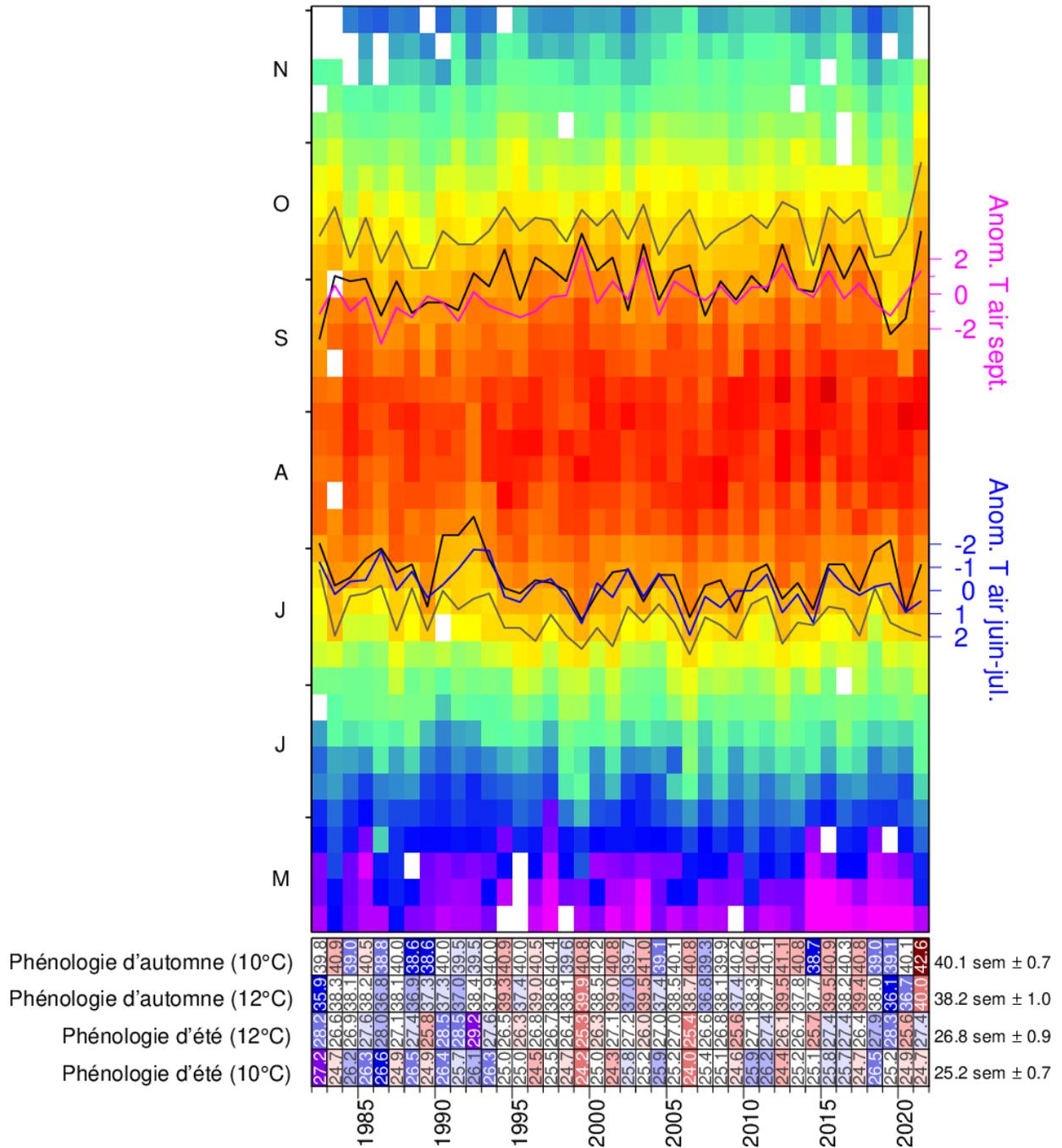


Fig. 23. Matrice de la SST hebdomadaire moyenne (1982–2021) pour le golfe du Saint-Laurent. Les lignes noires représentent la première et la dernière occurrence de l'isotherme de 12 °C et les indicateurs indirects tirés de la température moyenne de l'air en juin-juillet (bleu) ainsi qu'en septembre (magenta) 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 1991–2020, mais les nombres indiquent le nombre de semaines pendant lesquelles le seuil a été dépassé. Actualisé à partir de Galbraith et Larouche 2013.

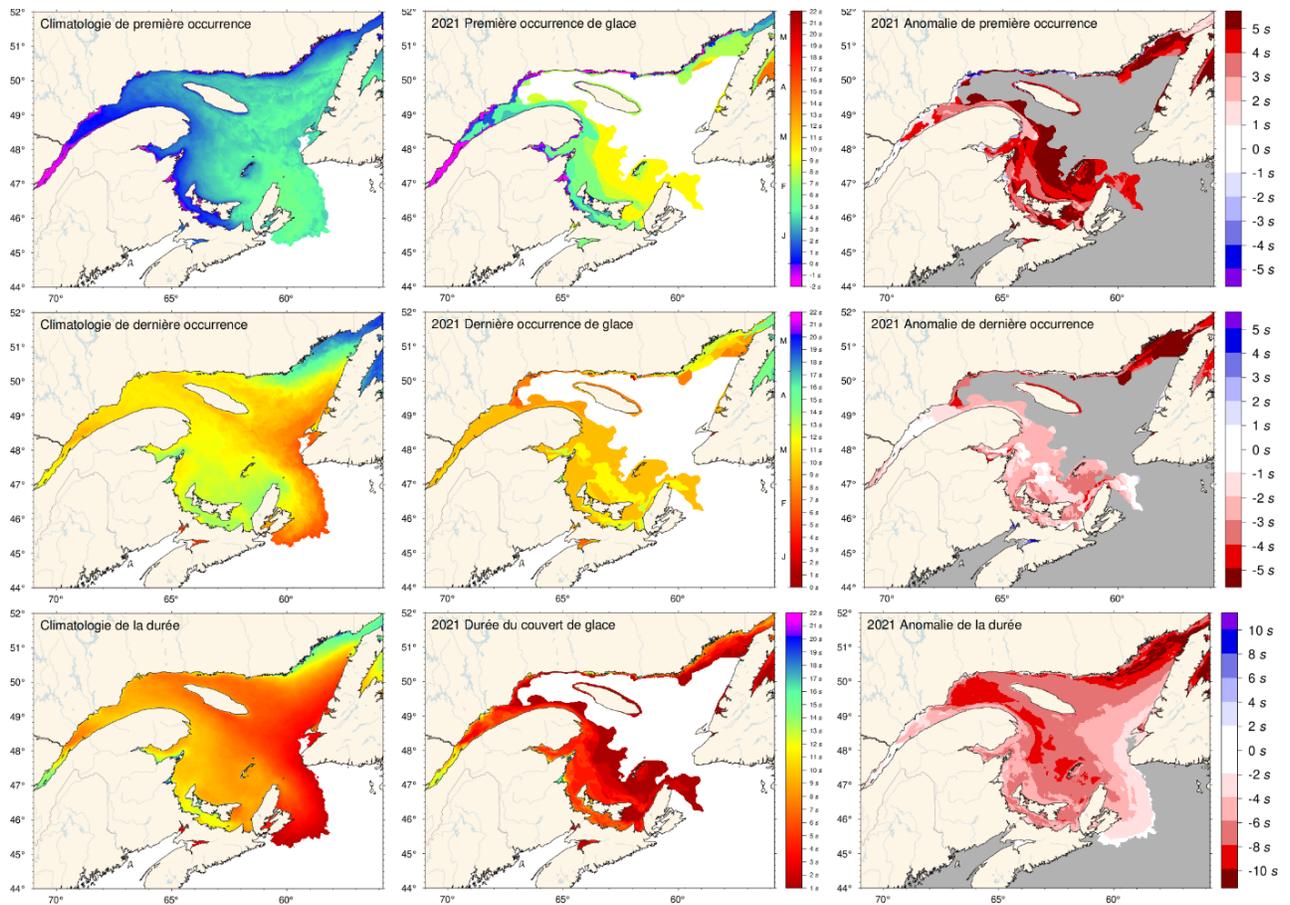


Fig. 24. Première apparition et dernière apparition de glace, et durée de la saison des glaces selon les données hebdomadaires. Les climatologies de 1991–2020 sont indiquées (gauche), de même que les valeurs de 2021 (milieu) et les anomalies (droite). La première apparition et la dernière occurrence 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)		Mean ± S.D.
	Année	Anomalie	Année	Anomalie	Années	Anomalie	Année	Anomalie	
Estuaire supérieur	1970	54	103	84	0	0.87	1.6	1.8	0.3
	1975	12	104	104	50	33	1.2	1.6	0.8
	1980	12	104	104	50	33	1.2	1.6	0.8
	1985	12	104	104	50	33	1.2	1.6	0.8
	1990	12	104	104	50	33	1.2	1.6	0.8
	1995	12	104	104	50	33	1.2	1.6	0.8
	2000	12	104	104	50	33	1.2	1.6	0.8
	2005	12	104	104	50	33	1.2	1.6	0.8
	2010	12	104	104	50	33	1.2	1.6	0.8
	2020	12	104	104	50	33	1.2	1.6	0.8
Estuaire	1970	17	103	84	0	1.7	67	69	76
	1975	17	103	84	0	1.7	67	69	76
	1980	17	103	84	0	1.7	67	69	76
	1985	17	103	84	0	1.7	67	69	76
	1990	17	103	84	0	1.7	67	69	76
	1995	17	103	84	0	1.7	67	69	76
	2000	17	103	84	0	1.7	67	69	76
	2005	17	103	84	0	1.7	67	69	76
	2010	17	103	84	0	1.7	67	69	76
	2020	17	103	84	0	1.7	67	69	76
Nord-ouest du Golfe	1970	25	103	84	0	1.7	67	69	76
	1975	25	103	84	0	1.7	67	69	76
	1980	25	103	84	0	1.7	67	69	76
	1985	25	103	84	0	1.7	67	69	76
	1990	25	103	84	0	1.7	67	69	76
	1995	25	103	84	0	1.7	67	69	76
	2000	25	103	84	0	1.7	67	69	76
	2005	25	103	84	0	1.7	67	69	76
	2010	25	103	84	0	1.7	67	69	76
	2020	25	103	84	0	1.7	67	69	76
Nord-est du Golfe	1970	29	103	84	0	1.7	67	69	76
	1975	29	103	84	0	1.7	67	69	76
	1980	29	103	84	0	1.7	67	69	76
	1985	29	103	84	0	1.7	67	69	76
	1990	29	103	84	0	1.7	67	69	76
	1995	29	103	84	0	1.7	67	69	76
	2000	29	103	84	0	1.7	67	69	76
	2005	29	103	84	0	1.7	67	69	76
	2010	29	103	84	0	1.7	67	69	76
	2020	29	103	84	0	1.7	67	69	76
Centre & Cabot	1970	31	103	84	0	1.7	67	69	76
	1975	31	103	84	0	1.7	67	69	76
	1980	31	103	84	0	1.7	67	69	76
	1985	31	103	84	0	1.7	67	69	76
	1990	31	103	84	0	1.7	67	69	76
	1995	31	103	84	0	1.7	67	69	76
	2000	31	103	84	0	1.7	67	69	76
	2005	31	103	84	0	1.7	67	69	76
	2010	31	103	84	0	1.7	67	69	76
	2020	31	103	84	0	1.7	67	69	76
Mécatina & Belle Isle	1970	35	103	84	0	1.7	67	69	76
	1975	35	103	84	0	1.7	67	69	76
	1980	35	103	84	0	1.7	67	69	76
	1985	35	103	84	0	1.7	67	69	76
	1990	35	103	84	0	1.7	67	69	76
	1995	35	103	84	0	1.7	67	69	76
	2000	35	103	84	0	1.7	67	69	76
	2005	35	103	84	0	1.7	67	69	76
	2010	35	103	84	0	1.7	67	69	76
	2020	35	103	84	0	1.7	67	69	76
Plateau madelinien	1970	37	103	84	0	1.7	67	69	76
	1975	37	103	84	0	1.7	67	69	76
	1980	37	103	84	0	1.7	67	69	76
	1985	37	103	84	0	1.7	67	69	76
	1990	37	103	84	0	1.7	67	69	76
	1995	37	103	84	0	1.7	67	69	76
	2000	37	103	84	0	1.7	67	69	76
	2005	37	103	84	0	1.7	67	69	76
	2010	37	103	84	0	1.7	67	69	76
	2020	37	103	84	0	1.7	67	69	76
Baie des Chaleurs	1970	41	103	84	0	1.7	67	69	76
	1975	41	103	84	0	1.7	67	69	76
	1980	41	103	84	0	1.7	67	69	76
	1985	41	103	84	0	1.7	67	69	76
	1990	41	103	84	0	1.7	67	69	76
	1995	41	103	84	0	1.7	67	69	76
	2000	41	103	84	0	1.7	67	69	76
	2005	41	103	84	0	1.7	67	69	76
	2010	41	103	84	0	1.7	67	69	76
	2020	41	103	84	0	1.7	67	69	76
Northumberland	1970	43	103	84	0	1.7	67	69	76
	1975	43	103	84	0	1.7	67	69	76
	1980	43	103	84	0	1.7	67	69	76
	1985	43	103	84	0	1.7	67	69	76
	1990	43	103	84	0	1.7	67	69	76
	1995	43	103	84	0	1.7	67	69	76
	2000	43	103	84	0	1.7	67	69	76
	2005	43	103	84	0	1.7	67	69	76
	2010	43	103	84	0	1.7	67	69	76
	2020	43	103	84	0	1.7	67	69	76
Laurentien Hermitage	1970	45	103	84	0	1.7	67	69	76
	1975	45	103	84	0	1.7	67	69	76
	1980	45	103	84	0	1.7	67	69	76
	1985	45	103	84	0	1.7	67	69	76
	1990	45	103	84	0	1.7	67	69	76
	1995	45	103	84	0	1.7	67	69	76
	2000	45	103	84	0	1.7	67	69	76
	2005	45	103	84	0	1.7	67	69	76
	2010	45	103	84	0	1.7	67	69	76
	2020	45	103	84	0	1.7	67	69	76

Fig. 25. 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 1991–2020, 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.

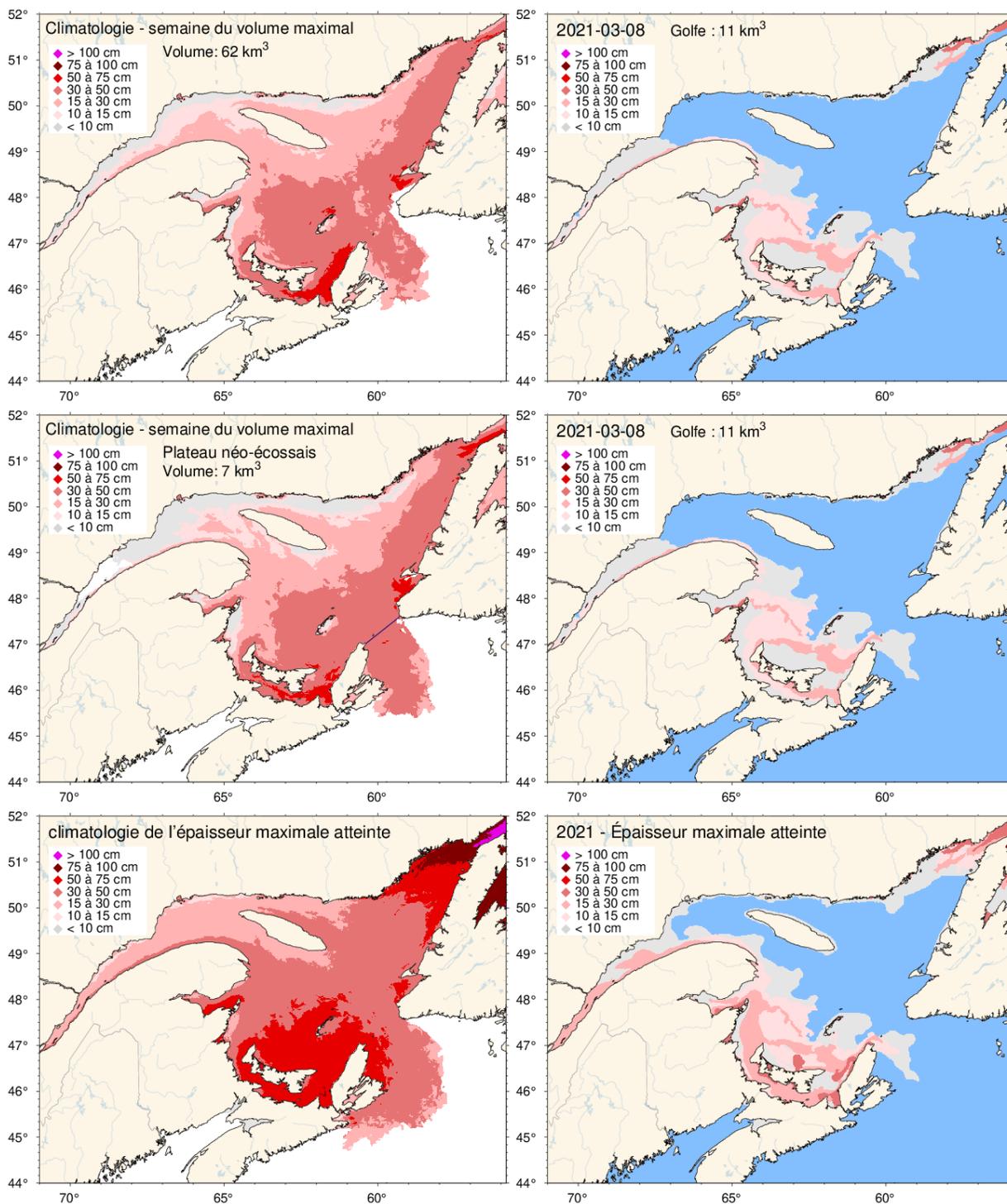


Fig. 26. Carte de glace hebdomadaire où l'épaisseur moyenne était maximale en 2021, y compris la partie couvrant le plateau néo-écossais (panneau supérieur droit) et de même pour la semaine durant laquelle le volume couvrant seulement le plateau néo-écossais était maximal (milieu droit). Les climatologies 1991-2020 sont illustrées du côté 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 1991-2020 et la répartition en 2021 de la glace la plus épaisse enregistrée pendant la saison dans un emplacement quelconque.

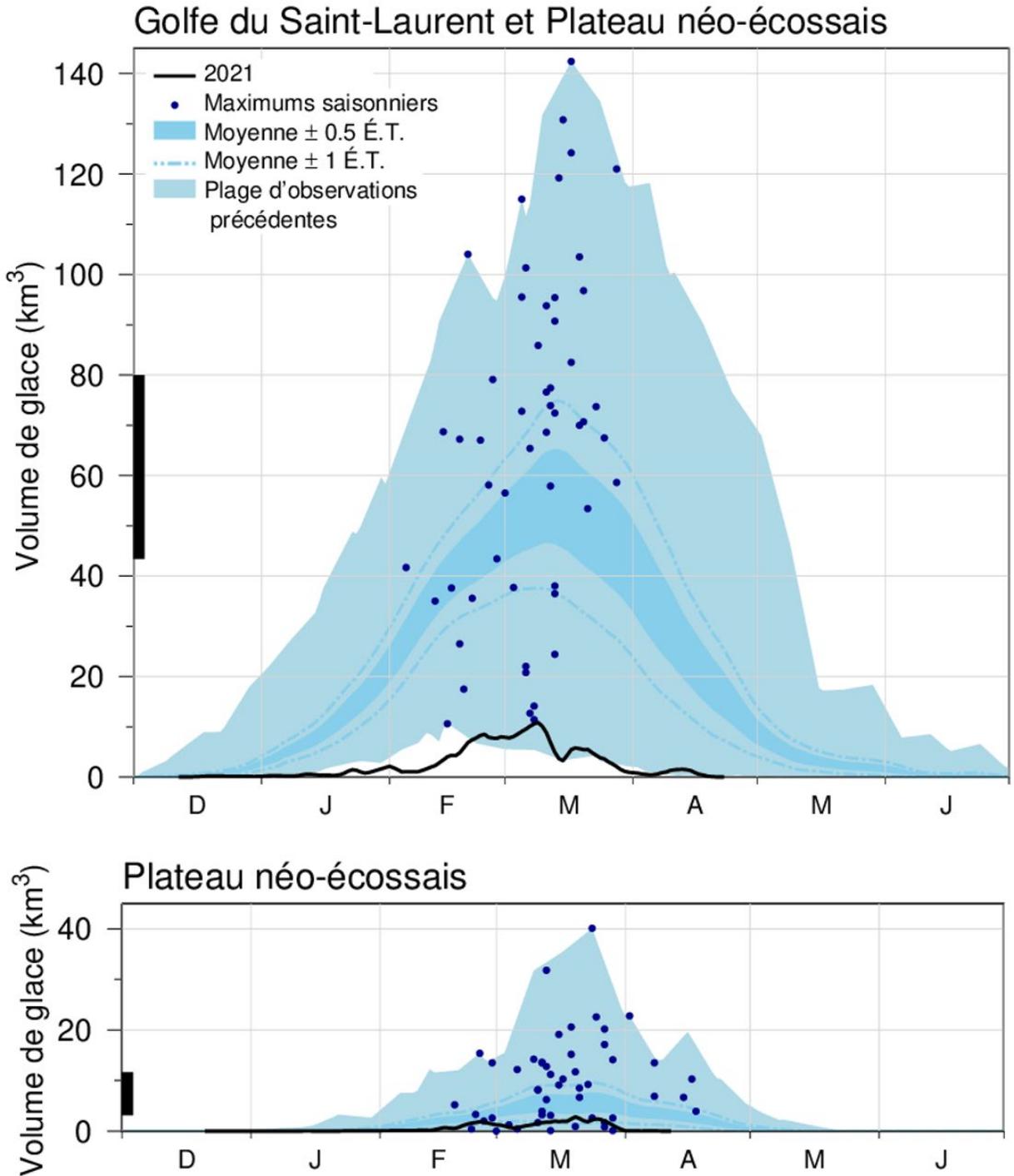


Fig. 27. Série chronologique du volume de glace quotidien moyen en 2020-2021 pour le golfe du Saint-Laurent et le plateau néo-écossais (panneau du haut, ligne noire) ainsi que pour le plateau néo-écossais seul (panneau du bas, ligne noire). Aussi illustrés sont les volumes moyens climatologiques de 1991–2020 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 2020 (bleu clair) ainsi que la date et le volume des maximums saisonniers de 1969 à 2020 (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.

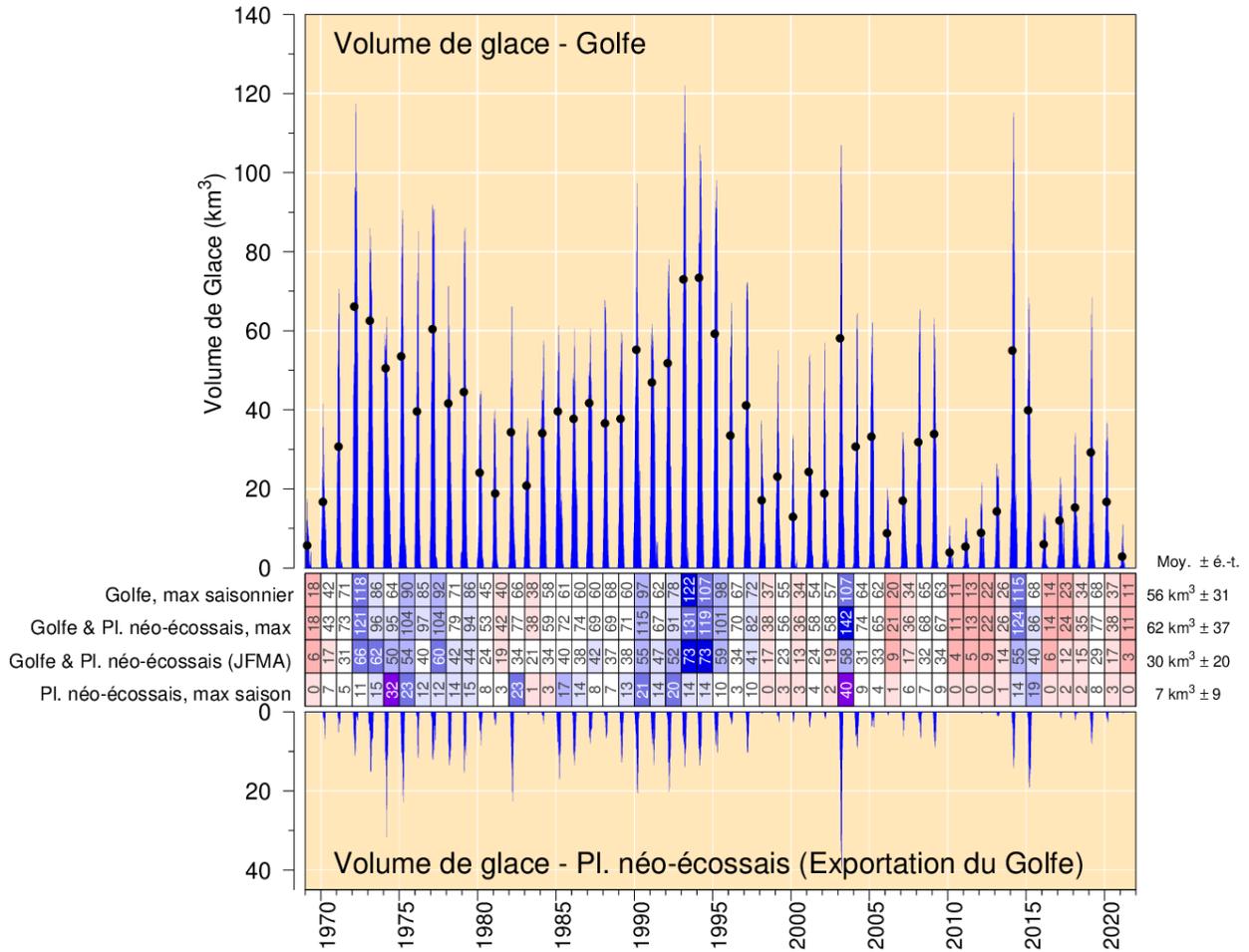


Fig. 28. Estimé du volume hebdomadaire maximal de glace dans le golfe du Saint-Laurent (panneau du haut) et sur le plateau néo-écossais au large du détroit de Cabot, défini par son passage le plus étroit (panneau du bas). Les points noirs montrent les moyennes saisonnières de janvier à avril du volume combiné du golfe avec le Plateau. Les tableaux donnent les anomalies normalisées des volumes maximaux annuels pour le golfe, le golfe et le plateau combinés, le golfe et le plateau combiné moyenné de janvier à avril, et le plateau seul, à partir des données hebdomadaires de glace. La moyenne et l'écart-type sont indiqués à droite des tableaux à l'aide de la climatologie de 1991-2020.

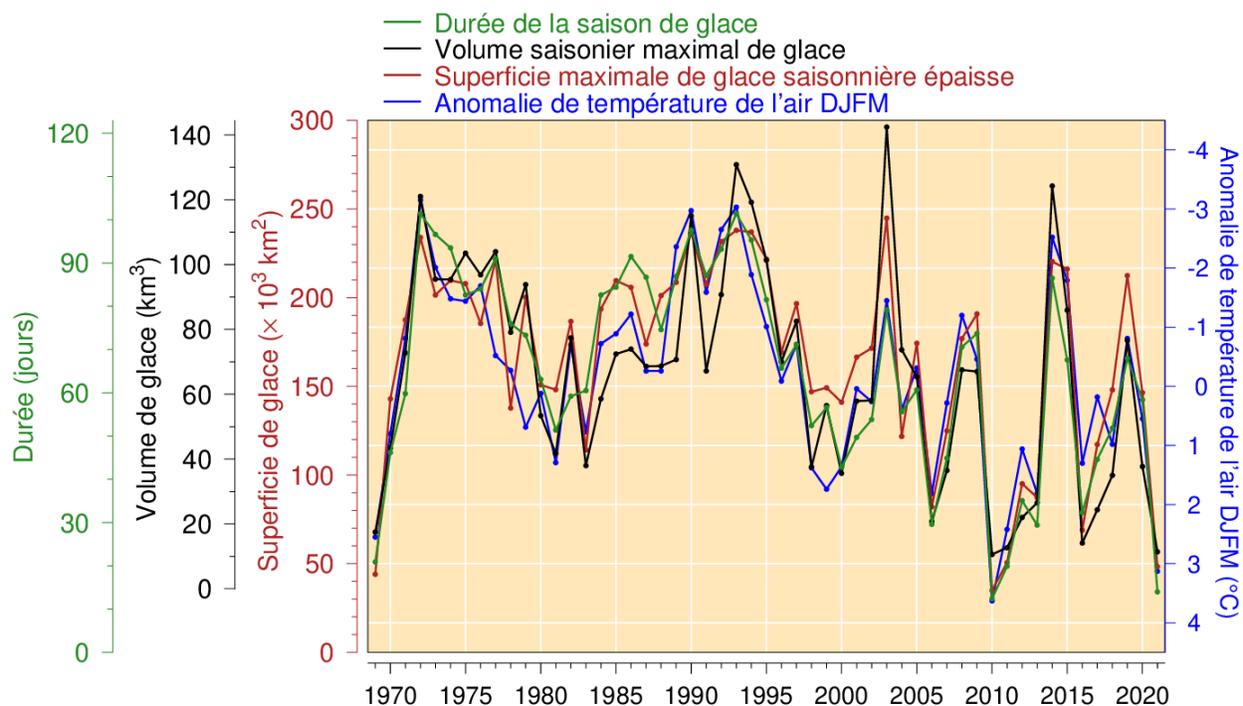


Fig. 29. Volume et superficie saisonniers maximaux de glace, y compris la partie sur le plateau néo-écossais (mais excluant la glace de moins de 15 cm d'épaisseur), durée de la saison de glace et anomalie de la température de l'air de décembre à mars (figure adaptée de Hammill et Galbraith 2012, mais 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. 24, 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 14 jours de la saison des glaces pour chaque augmentation de 1 °C de la température de l'air en hiver (R^2 de 0,74, 0,80 et 0,83 respectivement).

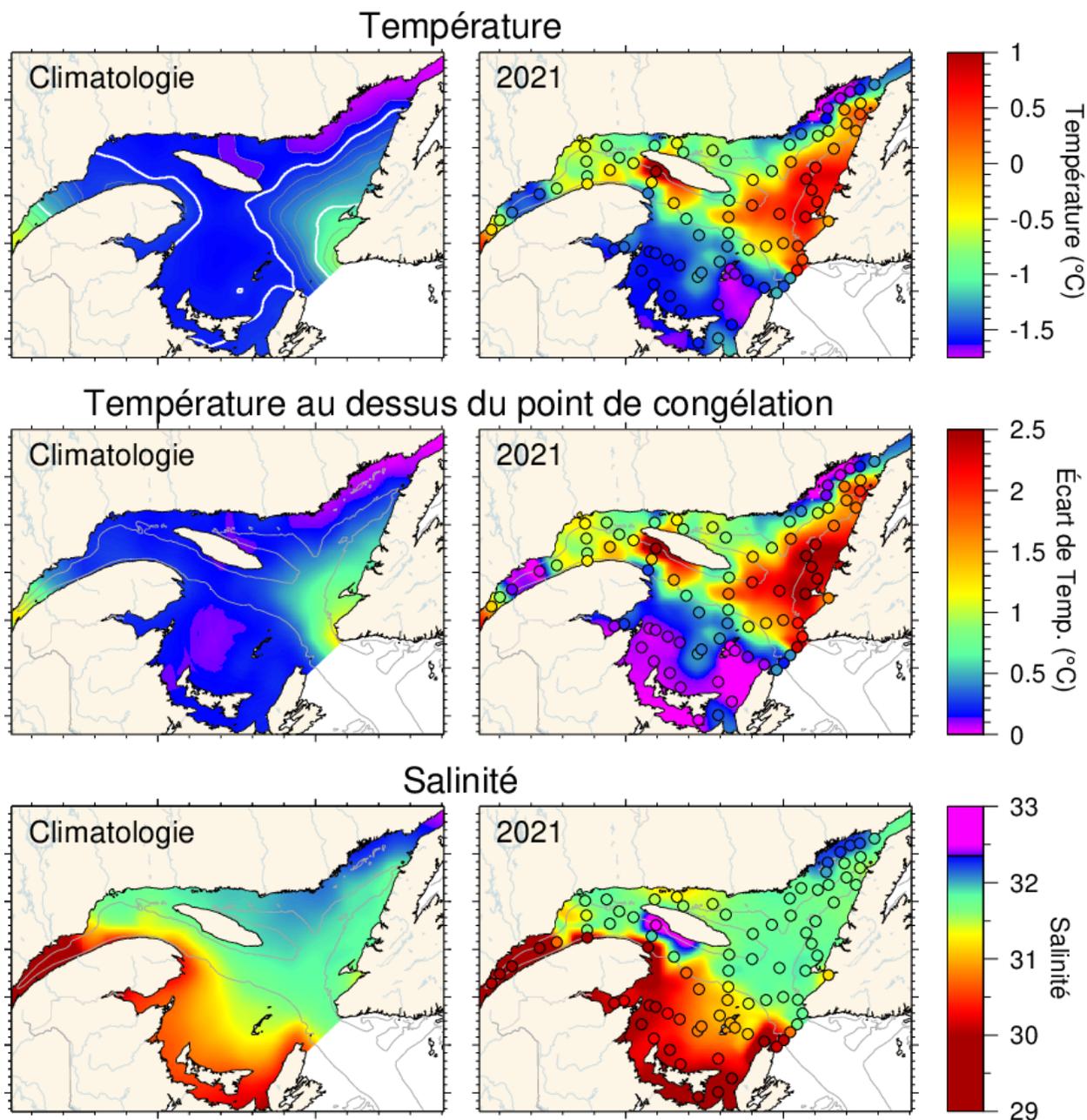


Fig. 30. Caractéristiques de la couche de surface hivernale, d'après le relevé de mars 2021, par rapport aux moyennes climatologiques : température de l'eau en surface (panneau du haut), différence de température entre la température de l'eau en surface et le point de congélation (panneau du milieu) 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 2020 pour la salinité, mais excluent 2010 en tant qu'extrême pour la température et la température au-dessus du point de congélation.

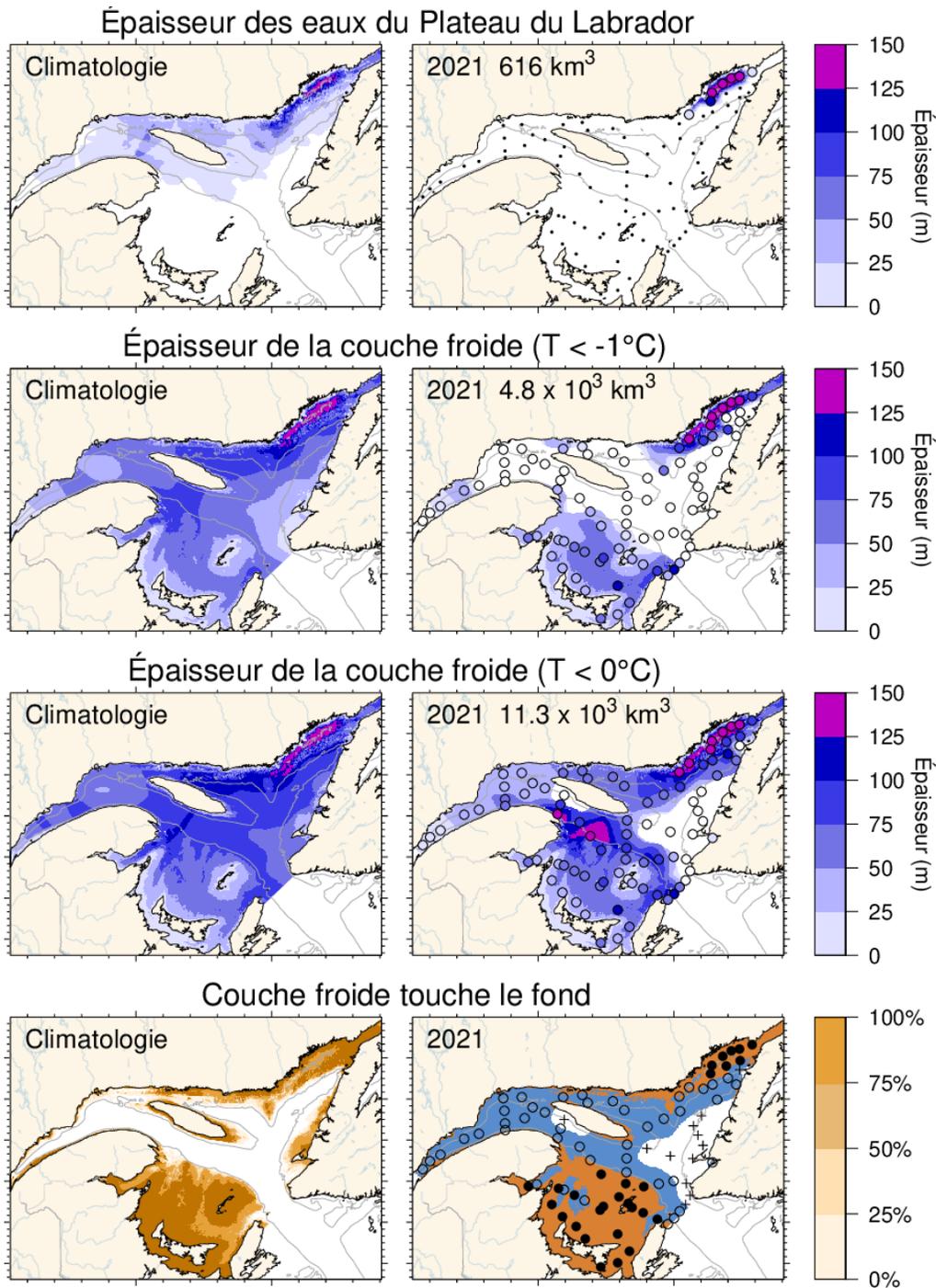


Fig. 31. Comparaison des caractéristiques de la couche de surface hivernale, tirées du relevé de mars 2021, aux moyennes climatologiques : estimations de l'épaisseur de l'intrusion d'eau du plateau du Labrador (panneaux du haut), épaisseur de la couche froide ($T < -1^{\circ}\text{C}$, $T < 0^{\circ}\text{C}$) (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. 30. 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 1997–2020 pour l'intrusion d'eau du plateau du Labrador, de 1996–2020 pour la couche froide ($T < 0^{\circ}\text{C}$), mais ne comprennent pas 2010 pour $T < -1^{\circ}\text{C}$.

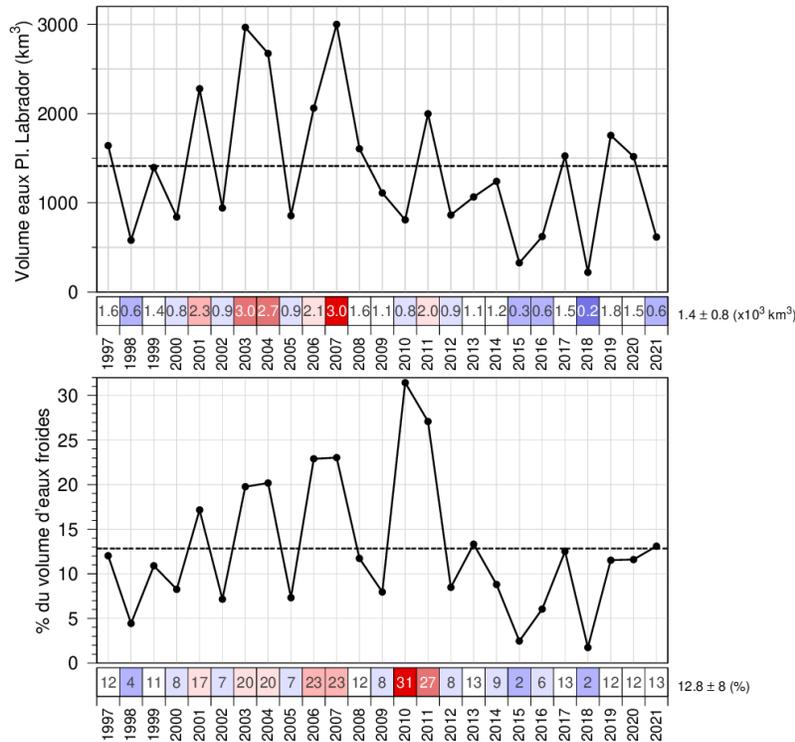


Fig. 32. Volume estimé de l'eau froide et saline du plateau du Labrador qui a pénétré dans le golfe pendant l'hiver en traversant le détroit de Belle Isle. Le panneau du bas indique le volume en pourcentage du volume total d'eau froide (< -1 °C). Les nombres dans les cases sont les valeurs réelles, codées par couleurs selon leur climatologie de 1997–2020. La couverture de la cuvette de Mécatina n'était pas suffisante en 1996 pour fournir une estimation du volume.

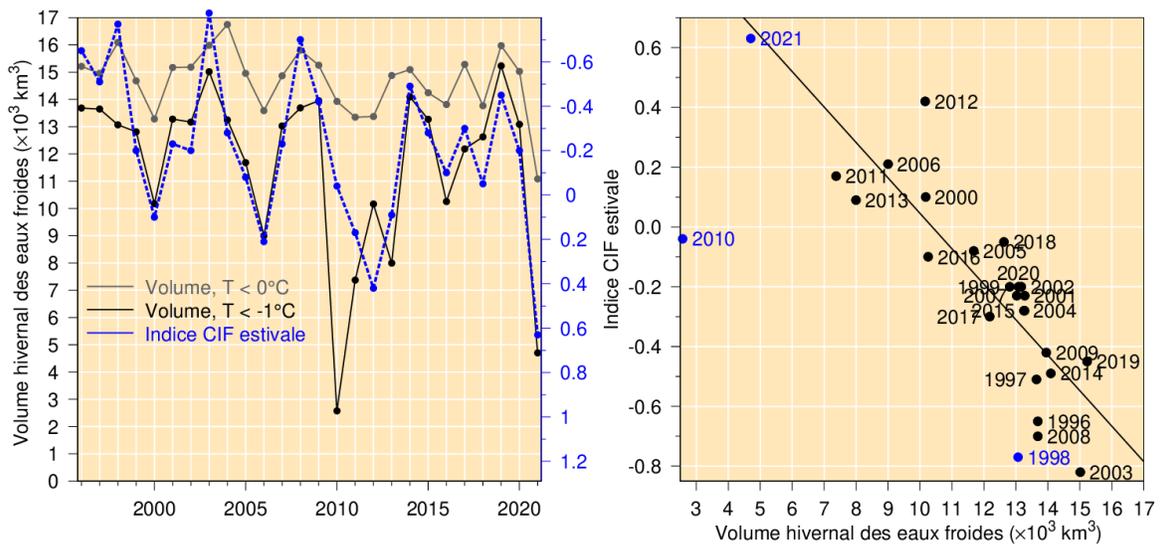


Fig. 33. Panneau de gauche : Série chronologique du volume de la couche froide ($T < -1$ °C et $T < 0$ °C) de surface hivernale (à l'exclusion de l'estuaire et du détroit de Belle Isle) (lignes noires et grises) et indice de la CIP estivale (ligne pointillée bleue). Panneau de droite : Relation entre l'indice de la CIP estivale et le volume d'eau froide en hiver avec $T < -1$ °C (régression pour les paires de données de 1996–2020, à l'exclusion de 1998 [voir Galbraith 2006] et de l'hiver doux 2010 et de la valeur de 2021 pour laquelle la prévision de la CIP avait été faite). Noter que l'échelle de la CIP dans le panneau de gauche est inversée.

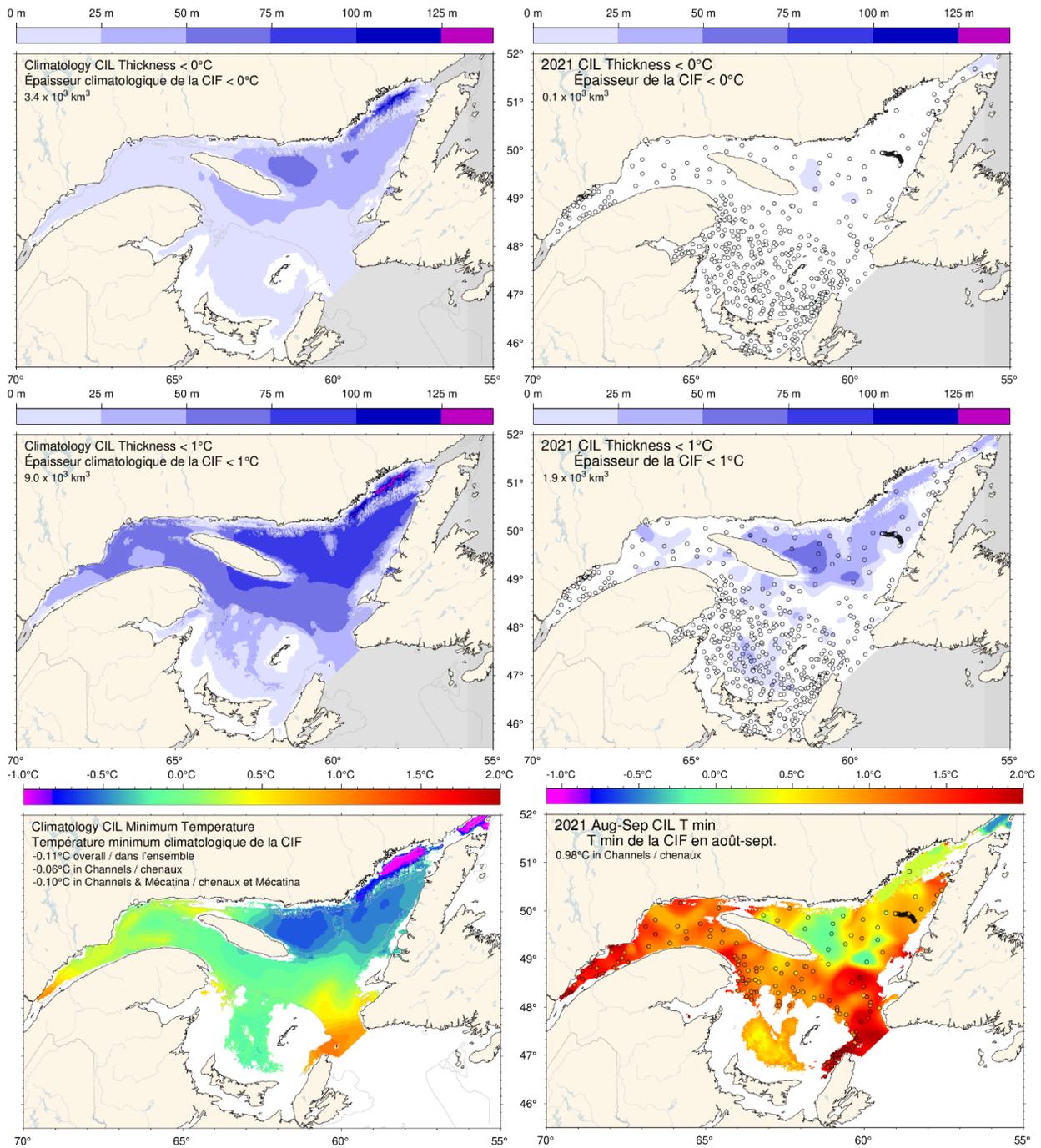


Fig. 34. Épaisseur de la couche intermédiaire froide ($T < 0^\circ\text{C}$, panneaux du haut; $T < 1^\circ\text{C}$, panneaux du milieu) et température minimale (panneaux du bas) en août et septembre 2021 (à droite) et climatologie de 1991–2020 (à gauche). Les symboles des stations sont codés par couleurs 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.

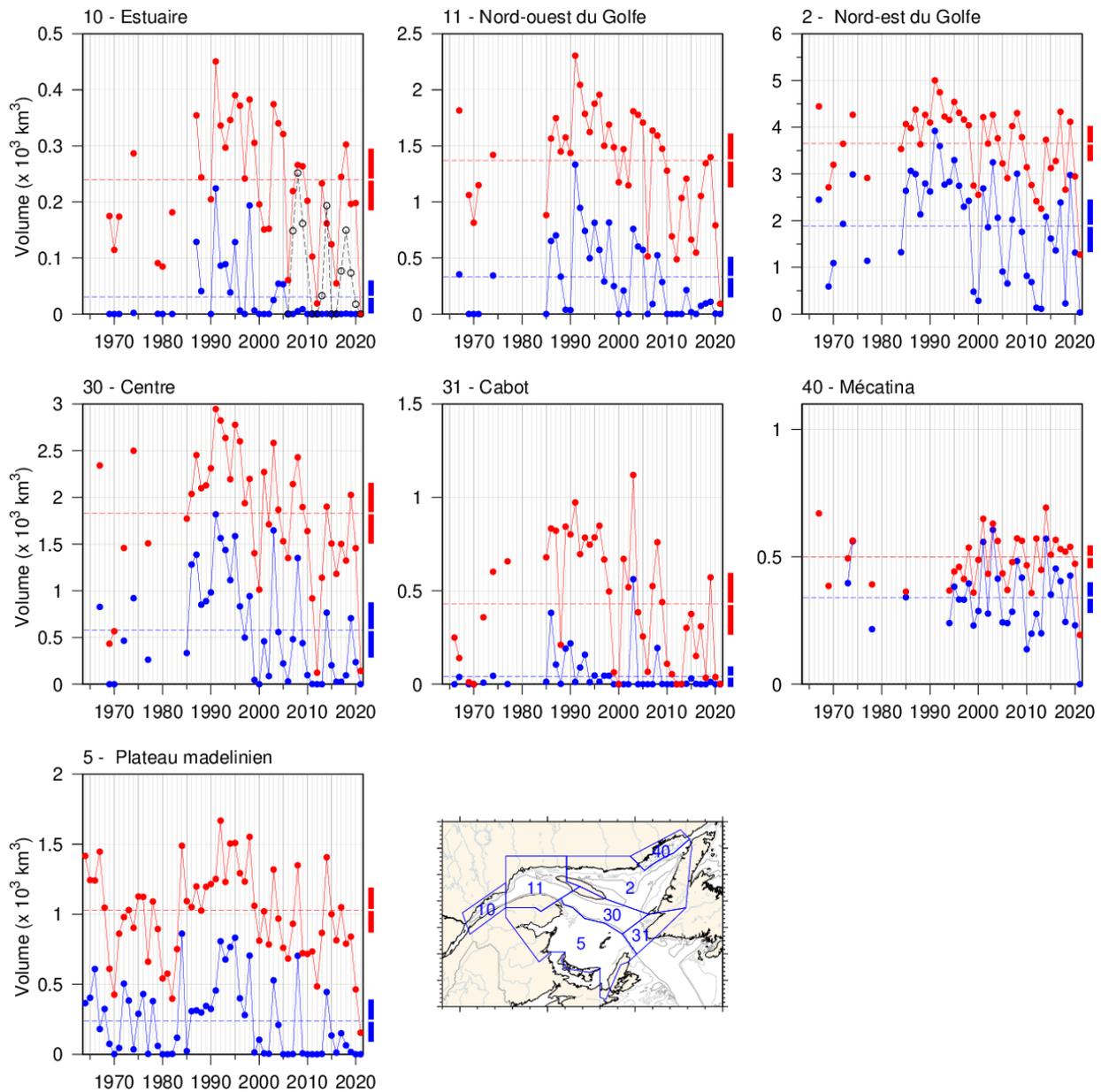


Fig. 36. Volume de la CIF d'une température inférieure à 0°C (en bleu) et à 1°C (en rouge) en août et septembre (essentiellement en septembre sur la plateau madelinien et en août ailleurs). Le volume de la CIF d'une température inférieure à 1°C en novembre pour les années pour lesquelles il est connu depuis 2006 est également indiqué pour l'estuaire du Saint-Laurent (ligne pointillée). Les lignes pointillées rouges et bleues illustrent les moyennes 1991-2020 et les rectangles du côté droit indiquent les moyennes 1991-2020 $\pm 0,5$ ÉT.

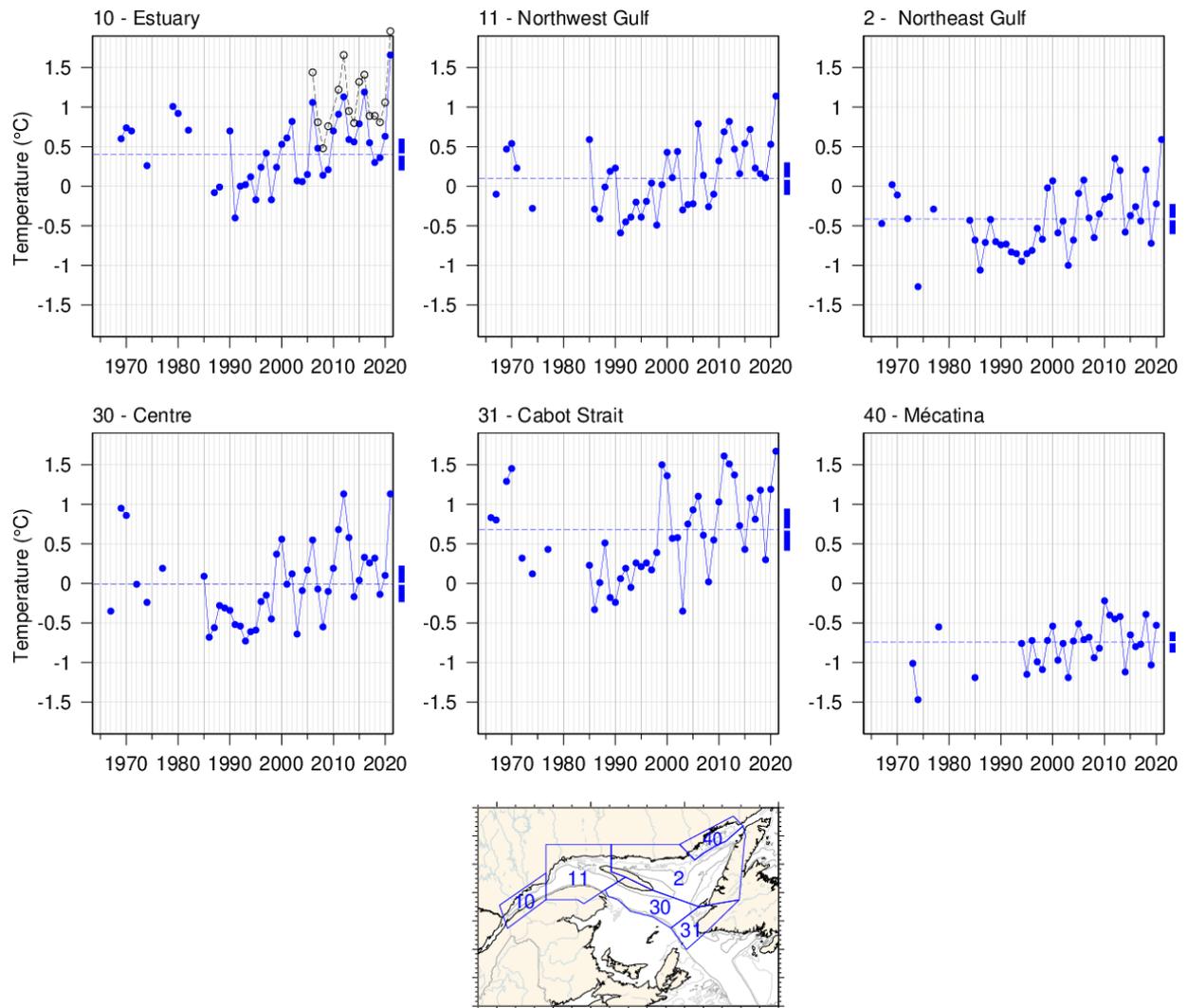


Fig. 37. Minimum de température de la CIF, moyenné spatialement pour des régions où la température minimale de la CIF peut être clairement déterminée. La moyenne spatiale du minimum de température de la CIF en novembre pour les années pour lesquelles il est connu depuis 2006 est également indiquée pour l'estuaire du Saint-Laurent (ligne pointillée). Les lignes pointillées bleues illustrent les moyennes 1991-2020 et les rectangles du côté droit indiquent les moyennes 1991-2020 \pm 0,5 ÉT.

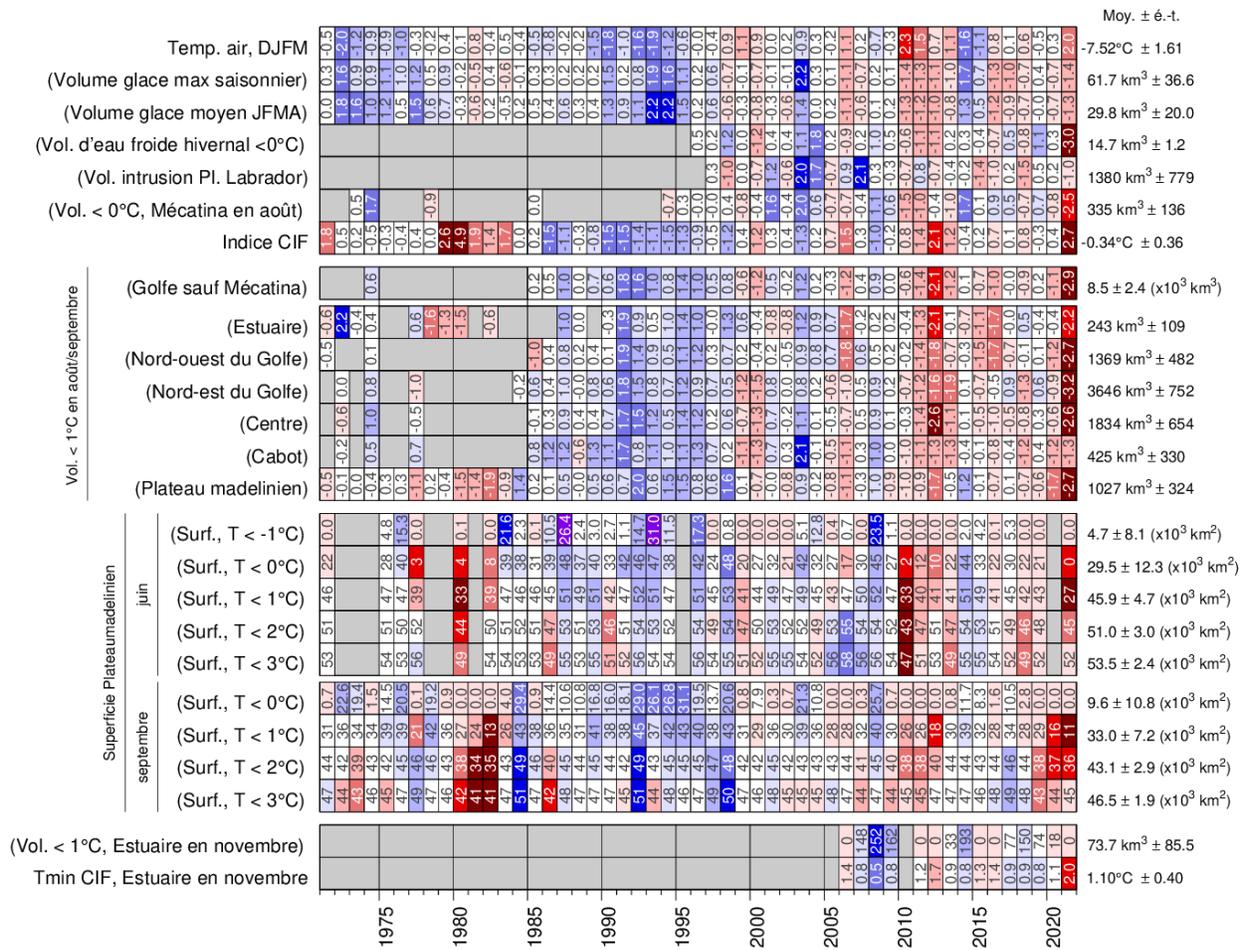


Fig. 38. Propriétés hivernales et de la CIF estivale. Le bloc du haut représente les séries chronologiques pour la température de l'air de décembre-janvier-février-mars (Fig. 5), l'indice de la CIF de Gilbert et Pettigrew (1997), le volume annuel maximal de glace de mer (golfe + plateau néo-écossais), le volume moyen de glace de mer de décembre à avril, 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 six 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).

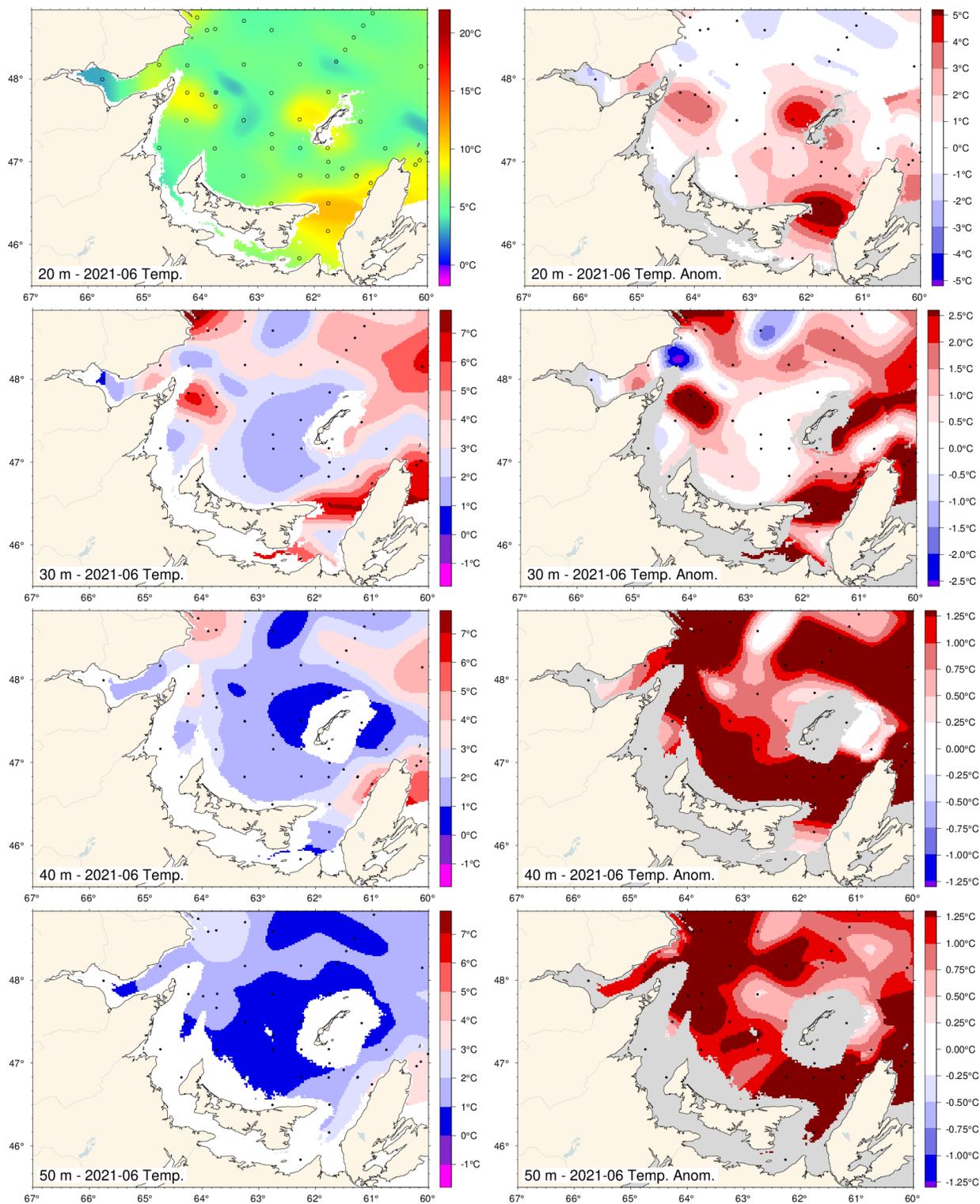


Fig. 39. Champs interpolés de température par couches de profondeur, et leurs anomalies, sur le plateau madelinien à 20, 30, 40 et 50 m. Les anomalies sont calculées par rapport aux climatologies de 1991 à 2020 pour toutes les années pour lesquelles les données étaient disponibles (apparaissant sur la Fig. 40).

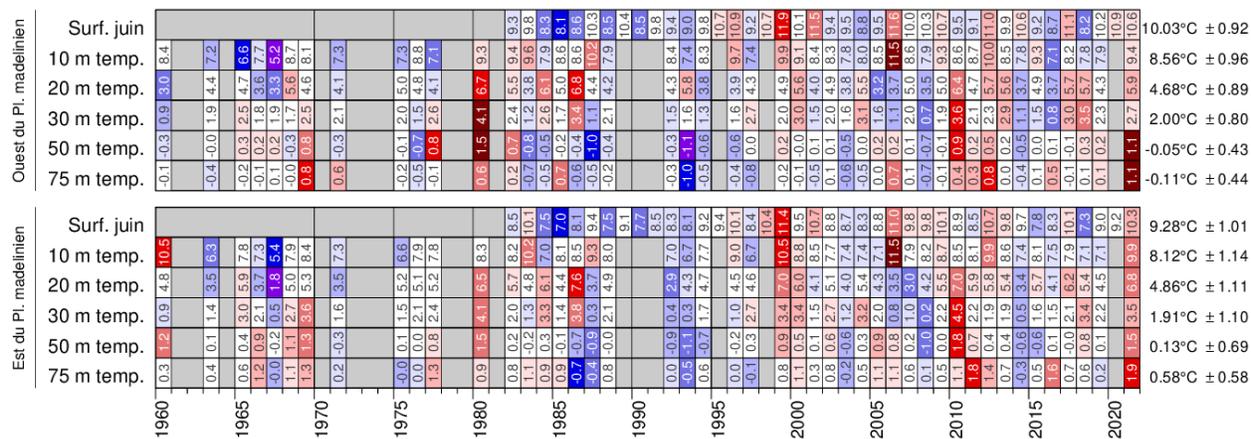


Fig. 40. Anomalies de la température moyenne par couches de profondeur pour les régions ouest et Est du plateau madelinien pour le relevé du maquereau en juin. Les données de la SST sont les moyennes de juin tirées des données de télédétection. Le code de couleurs correspond aux anomalies normalisées d'après les climatologies de 1991 à 2020, mais les nombres sont les températures moyennes en °C.

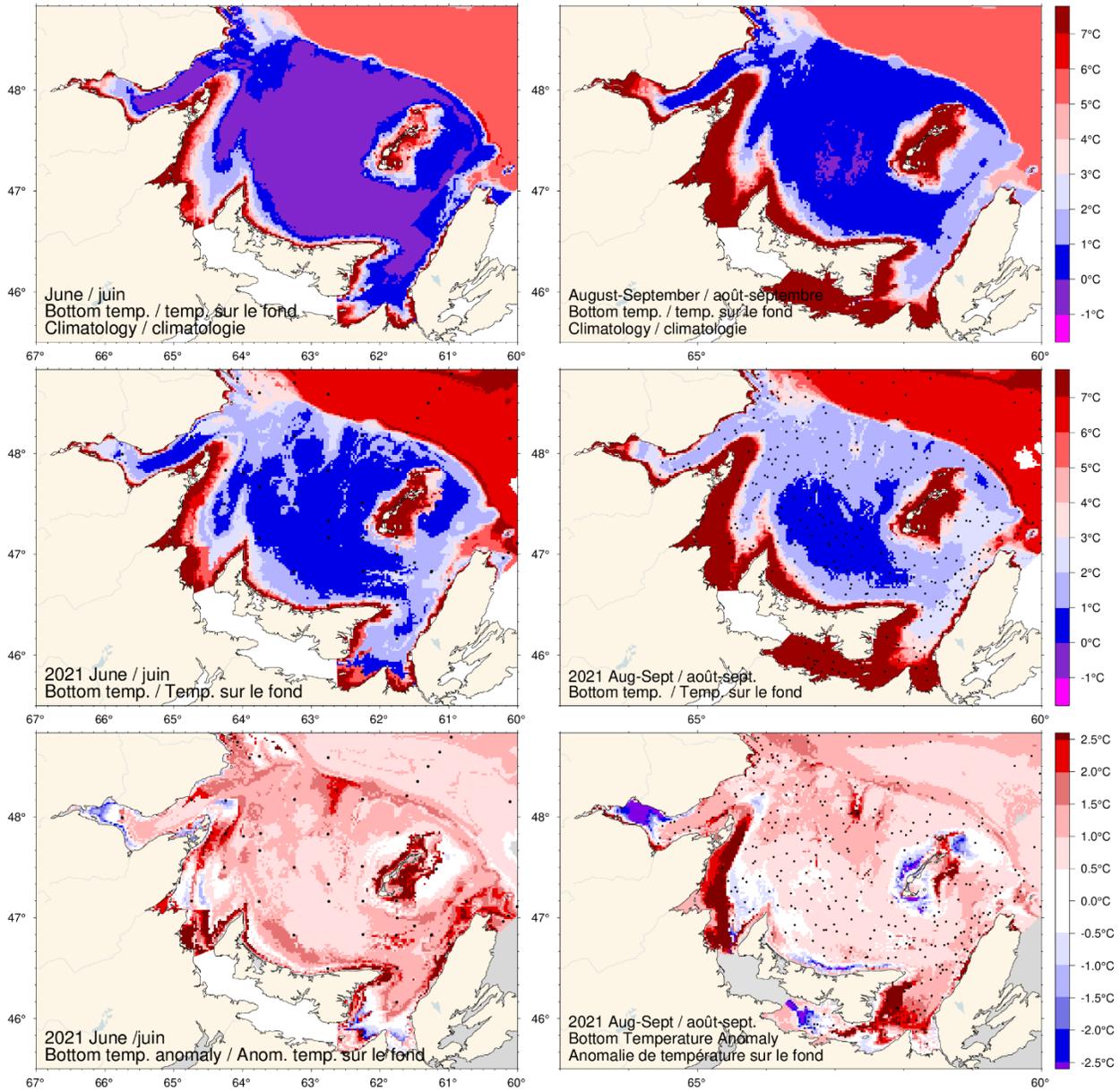


Fig. 41. Haut : Climatologie 1991-2020 de la température au fond en juin (à gauche) et en août-septembre (à droite); milieu : observations en 2021; bas : anomalies.

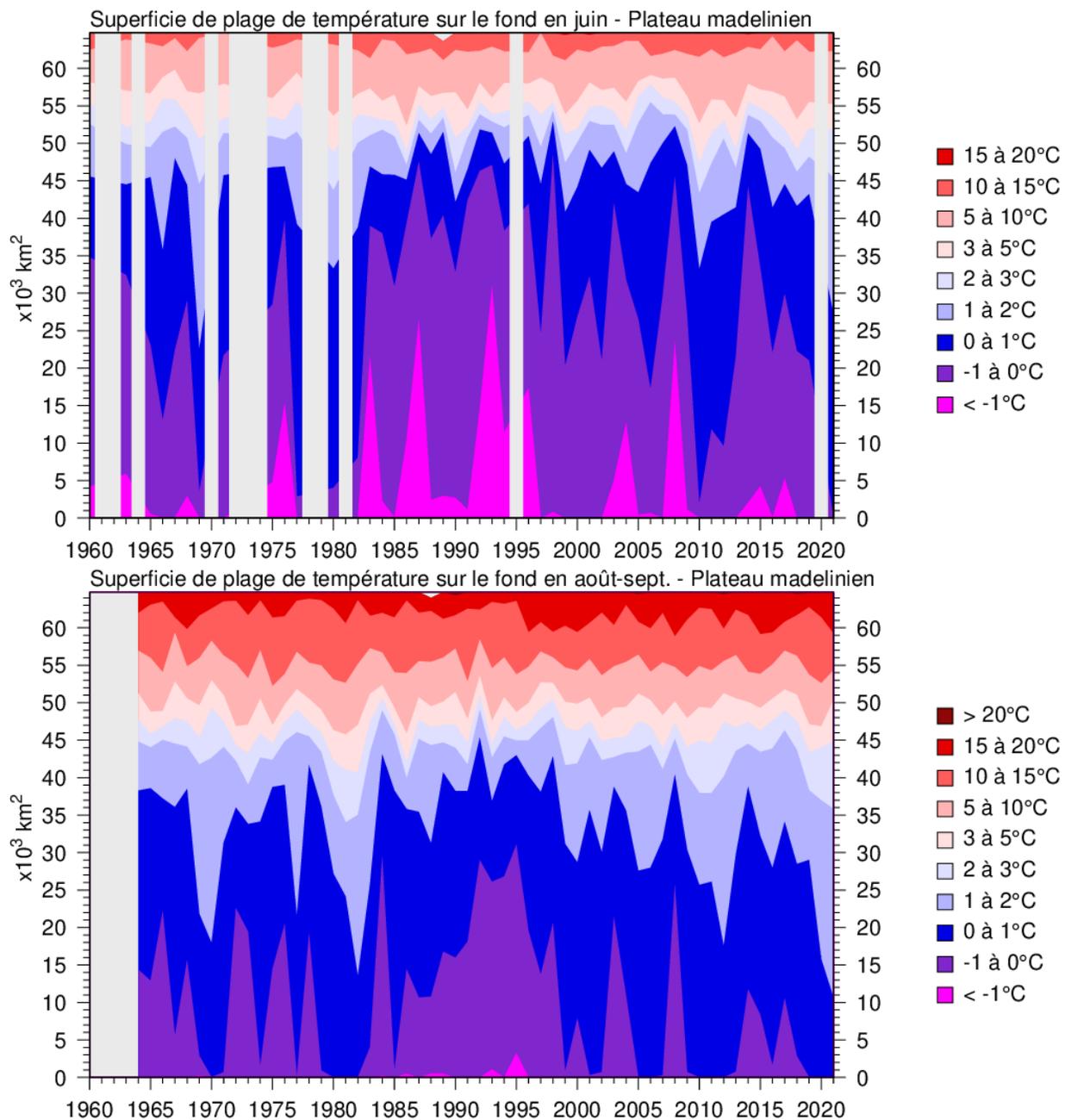


Fig. 42. Série chronologique des superficies du fond recouvertes par différentes plages de températures en juin (haut) et en août-septembre (bas) pour le plateau madelinien (incluant la Baie des Chaleurs).

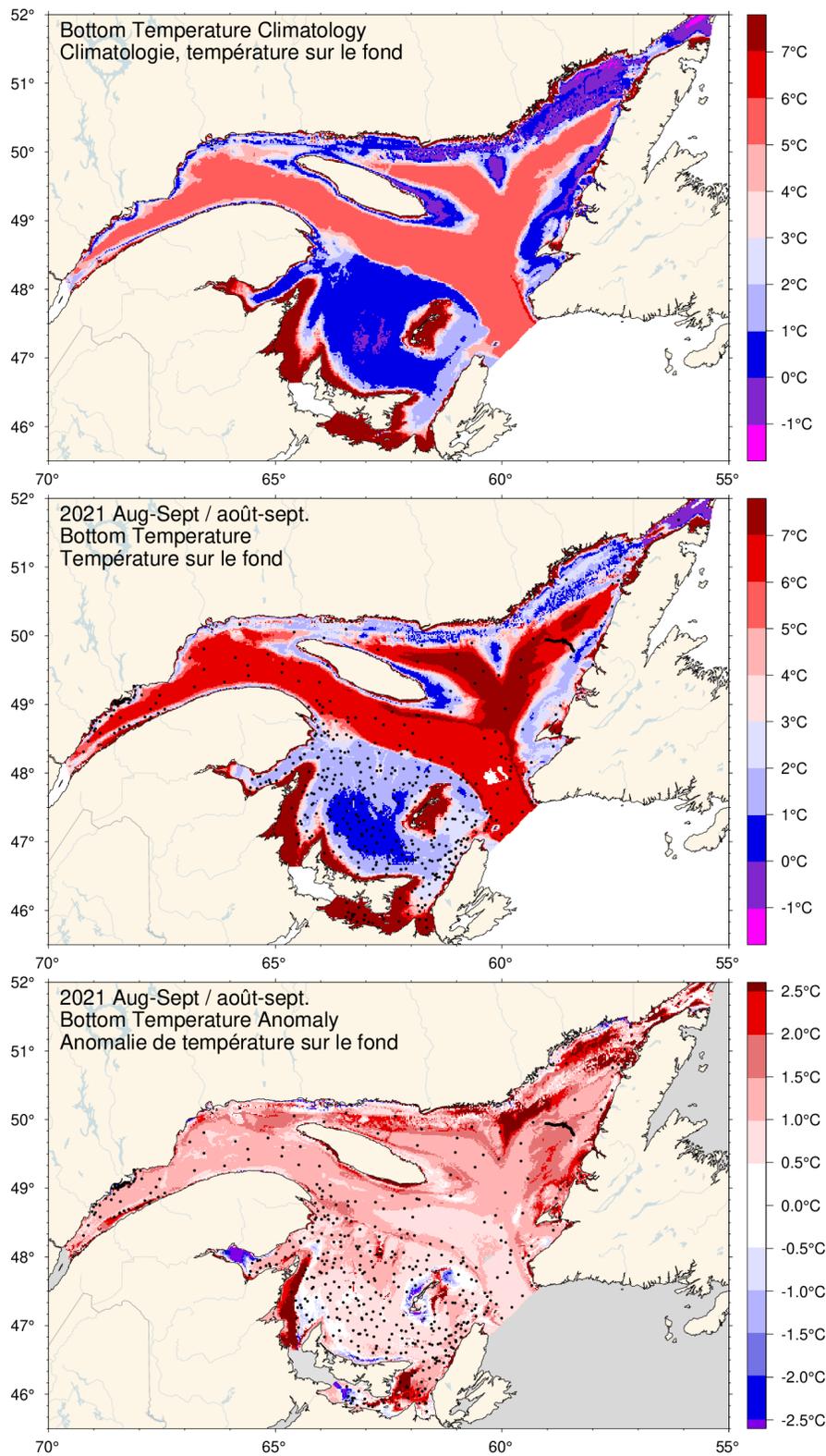


Fig. 43. Climatologie 1991-2020 de la température au fond en août-septembre (haut), observations en 2021 (milieu) et anomalies (bas).

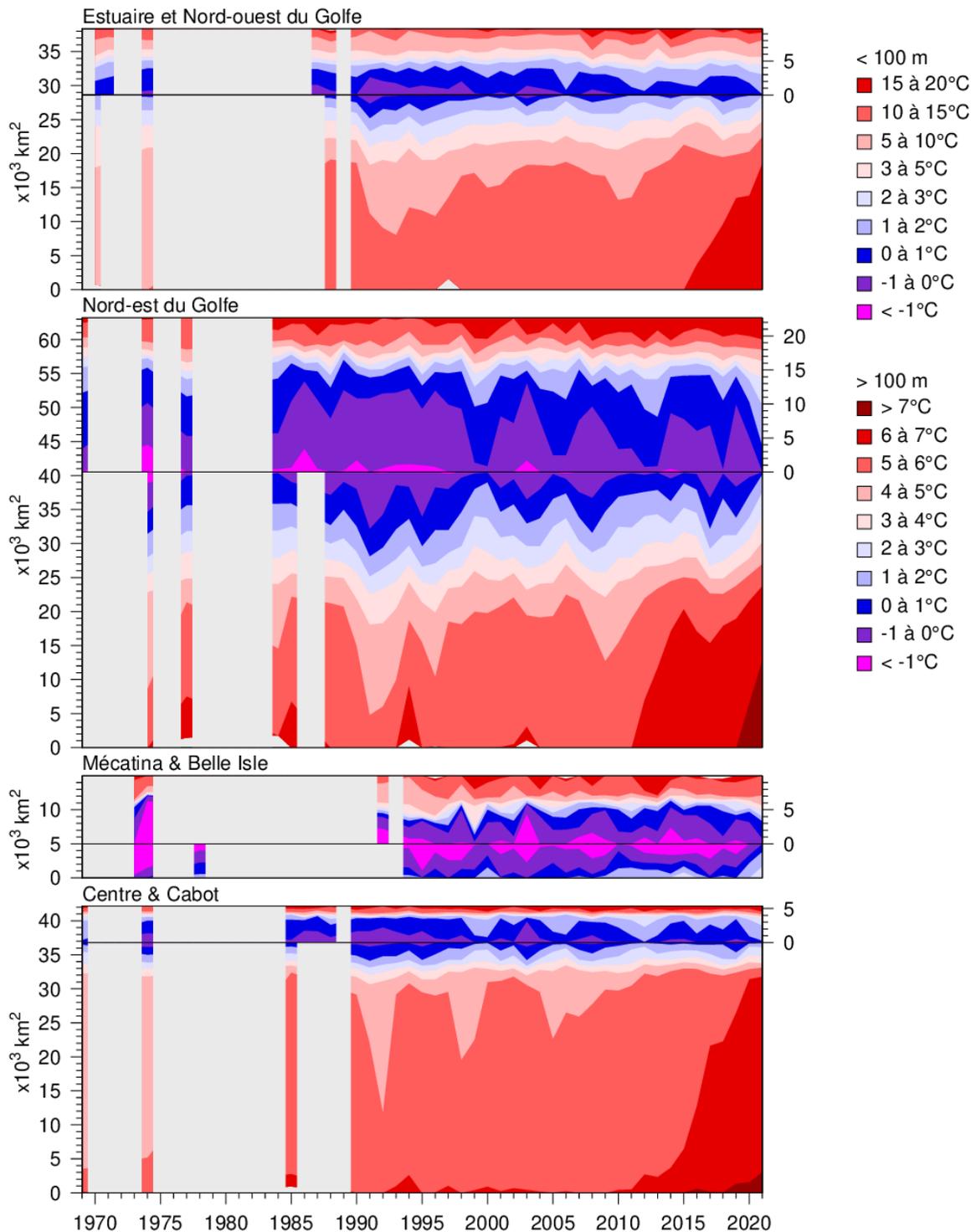


Fig. 44. Série chronologique des superficies du fond recouvertes par différentes plages de températures en août-septembre pour des régions du golfe. Dans les panneaux, la ligne horizontale noire sépare les superficies peu profondes (< 100 m) et profondes (> 100 m) afin de distinguer les eaux plus chaudes 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.

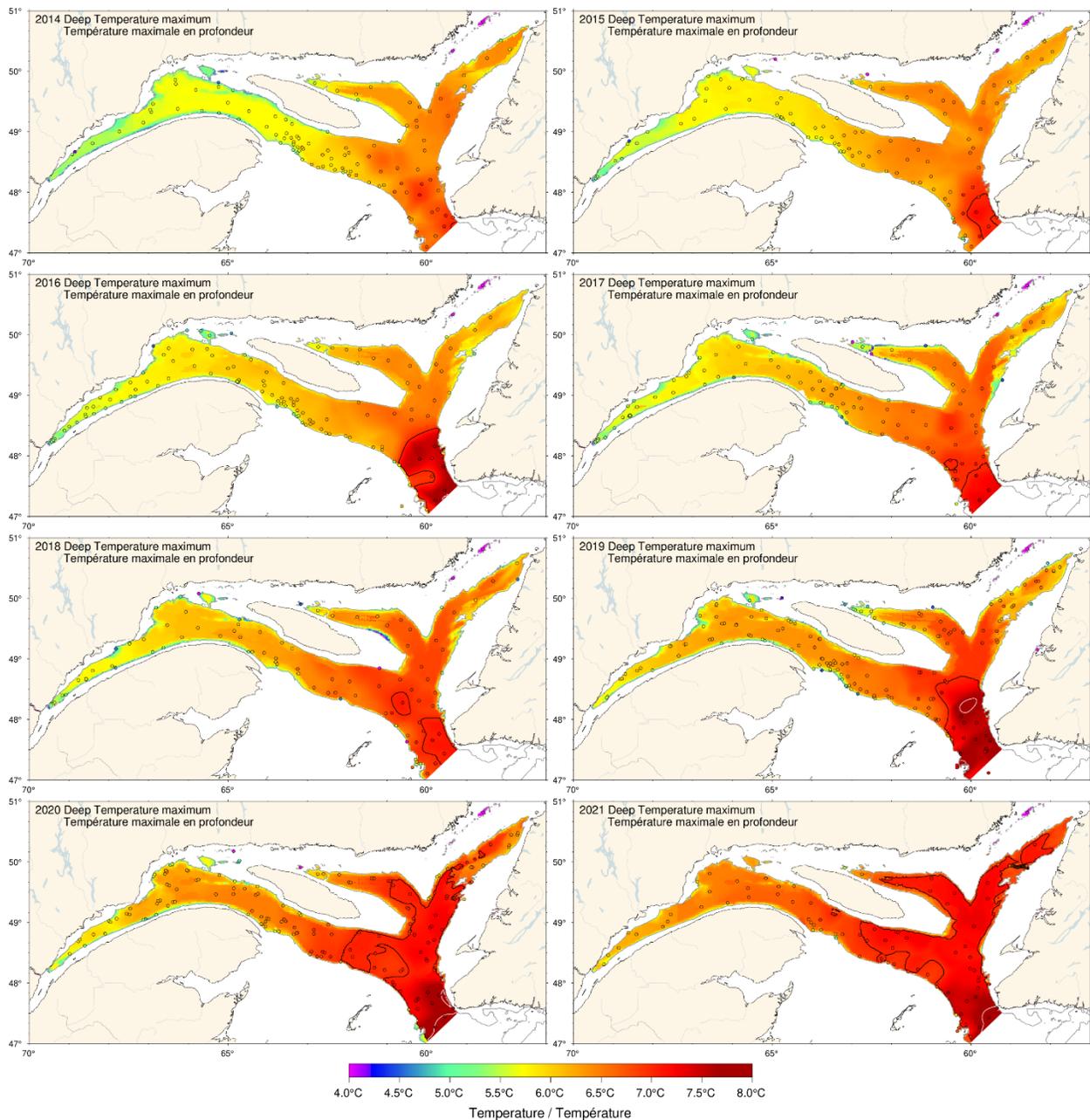


Fig. 45. Carte du maximum profond de température généralement observé entre 200 et 300 m, 2014–2021. Les cartes ont été interpolées à partir des données d'août-septembre disponibles pour chaque année. Pour 2013, 2017, 2020 et 2021 les profils réalisés dans le détroit de Cabot pendant le relevé d'automne ont été utilisés pour combler les lacunes de l'échantillonnage d'août. Les contours en noir et en blanc sont des isothermes de 7 et 8 °C.

		S moyenne Golfe												Moy. ± é.-t.				
S moyenne Golfe	150 m	-1.1	0.7	0.6	1.5	-1.3	2.1	2.1	2.7	-1.5	0.9	0.3	0.0	-1.1	0.3	0.0	1.0	33.41 ± 0.13
	200 m	-1.3	2.9	-1.3	-0.6	-1.8	1.9	1.9	1.9	-1.5	0.5	0.4	1.3	-1.0	0.3	0.6	1.1	34.08 ± 0.11
	250 m	-1.8	1.9	-1.5	-0.1	-1.5	0.5	0.4	1.3	-1.5	0.5	0.4	1.3	-1.0	0.3	0.6	1.1	34.48 ± 0.08
	300 m	-1.3	2.4	1.1	2.8	-1.5	2.1	2.1	2.7	-1.5	0.5	0.4	1.3	-1.0	0.3	0.6	1.1	34.67 ± 0.06
Salinité 200 m	Estuaire	-0.7	0.4	0.5	1.0	0.1	1.0	1.0	1.7	-0.4	-0.5	-0.6	-0.3	0.8	0.1	1.7	33.96 ± 0.14	
	Nord-ouest du Golfe	-1.6	1.7	-0.7	-0.6	-1.8	-1.9	0.1	0.6	-0.1	0.4	2.0	2.1	1.7	0.6	34.11 ± 0.09		
	Nord-est du Golfe	-1.6	2.0	-2.1	-0.8	-1.1	1.1	1.1	1.1	0.6	0.2	0.7	-0.5	1.9	-0.8	-0.2	34.00 ± 0.13	
	Centre	0.2	1.5	-1.6	1.3	0.7	0.7	0.7	0.7	0.2	1.5	-1.6	1.3	0.7	0.7	0.7	34.10 ± 0.12	
	Cabot	-3.1	0.6	2.5	-1.7	1.3	1.2	1.2	1.2	-0.4	1.6	2.5	-1.7	1.3	1.2	1.2	34.19 ± 0.15	
	Laurentien Hermitage	-0.4	0.1	0.3	1.7	0.9	2.7	2.4	2.4	-0.4	0.1	0.3	1.7	0.9	2.7	2.4	34.36 ± 0.19	
Salinité 300 m	Laurentien Embouchure	-3.9	-0.2	-2.1	0.0	-0.3	0.1	0.1	0.1	-0.1	-0.4	0.7	0.2	1.5	0.8	1.6	34.62 ± 0.25	
	Estuaire	-2.6	-1.6	2.0	-0.1	-0.1	-2.8	2.8	-2.6	-1.6	2.0	-0.1	-0.1	-2.8	2.8	34.43 ± 0.08		
	Nord-ouest du Golfe	-1.8	0.9	0.3	1.4	1.3	0.9	0.6	0.6	-1.8	0.9	0.3	1.4	1.3	0.9	0.6	34.62 ± 0.06	
	Centre	-0.7	-0.5	1.4	1.7	1.8	0.4	0.4	-0.7	-0.5	1.4	1.7	1.8	0.4	0.4	34.69 ± 0.06		
	Cabot	-2.3	-1.3	-0.3	0.2	0.2	-2.2	-0.3	-0.3	-2.3	-1.3	-0.3	0.2	0.2	-2.2	-0.3	34.72 ± 0.07	
	Laurentien Hermitage	-1.8	1.9	-3.3	-2.2	-0.7	-1.4	2.1	2.1	-1.8	1.9	-3.3	-2.2	-0.7	-1.4	2.1	34.77 ± 0.08	
S moyenne Golfe	1975	-1.9	-1.5	-0.3	1.5	0.3	10.2	10.2	-1.9	-1.5	-0.3	1.5	0.3	10.2	10.2	34.81 ± 0.12		
	1980	-0.8	-1.2	-2.0	-2.4	-1.3	-1.1	-1.1	-0.8	-1.2	-2.0	-2.4	-1.3	-1.1	-1.1	34.43 ± 0.08		
	1985	0.9	-0.8	2.0	1.5	-1.0	-1.1	-1.1	0.9	-0.8	2.0	1.5	-1.0	-1.1	-1.1	34.62 ± 0.06		
	1990	-0.9	-0.6	-1.7	-2.3	-1.1	0.6	0.6	-0.9	-0.6	-1.7	-2.3	-1.1	0.6	0.6	34.69 ± 0.06		
	1995	-0.2	0.5	2.2	-2.1	-1.1	-1.4	-1.4	-0.2	0.5	2.2	-2.1	-1.1	-1.4	-1.4	34.72 ± 0.07		
	2000	0.2	-0.7	0.7	0.5	1.6	1.8	1.8	0.2	-0.7	0.7	0.5	1.6	1.8	1.8	34.81 ± 0.12		
	2005	-0.4	0.5	0.3	1.0	1.3	1.1	1.1	-0.4	0.5	0.3	1.0	1.3	1.1	1.1	34.77 ± 0.08		
	2010	0.4	-1.1	-1.3	-1.3	-0.5	0.5	0.5	0.4	-1.1	-1.3	-1.3	-0.5	0.5	0.5	34.62 ± 0.06		
	2015	0.2	0.4	1.0	0.8	-0.3	-0.4	-0.4	0.2	0.4	1.0	0.8	-0.3	-0.4	-0.4	34.43 ± 0.08		
	2020	1.4	1.9	1.3	0.8	-0.3	0.0	0.0	1.4	1.9	1.3	0.8	-0.3	0.0	0.0	34.62 ± 0.06		
	2020	2.4	1.8	2.0	1.3	1.6	1.3	1.3	2.4	1.8	2.0	1.3	1.6	1.3	1.3	34.69 ± 0.06		
	2020	1.8	3.0	2.8	2.7	2.1	1.6	1.6	1.8	3.0	2.8	2.7	2.1	1.6	1.6	34.77 ± 0.08		

Fig. 47. 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 1991–2020. Les nombres qui figurent dans les cellules sont les anomalies normalisées.

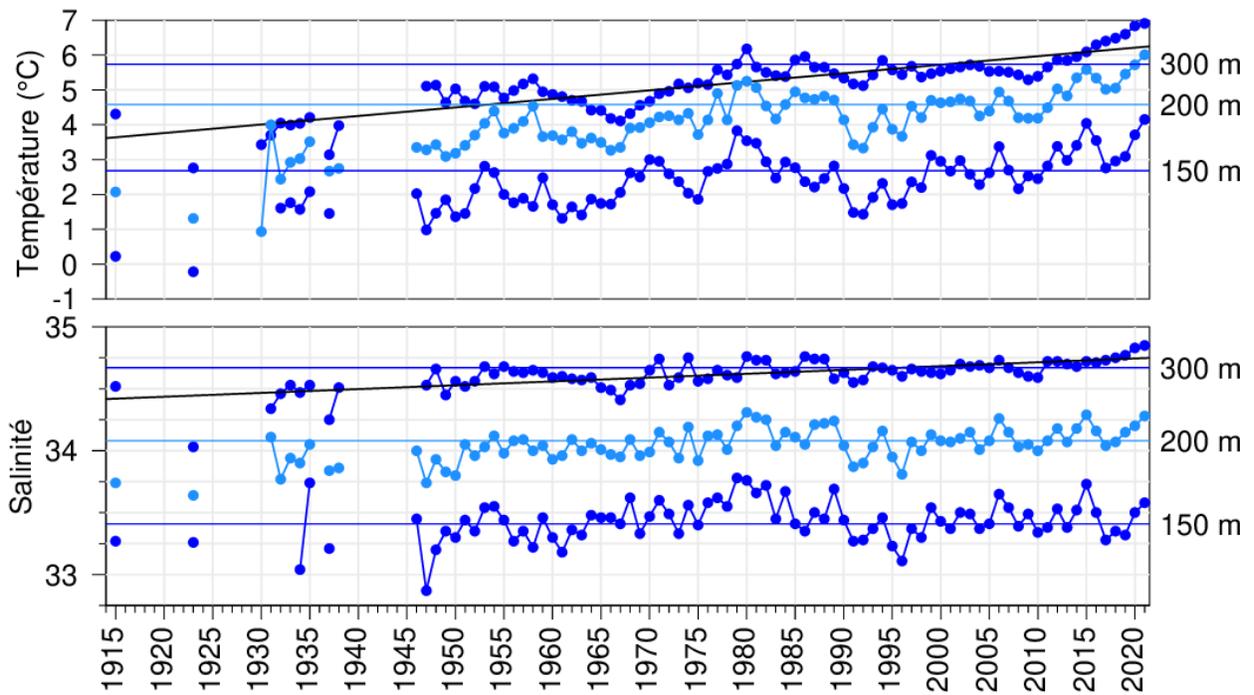


Fig. 48. Série chronologique de la température et de la salinité moyennée par couche de profondeur pour le golfe du Saint-Laurent. Les panneaux de température et de salinité représentent les moyennes annuelles à 150, 200 et 300 m et les lignes horizontales sont les moyennes de 1991-2020. Les lignes obliques indiquent les régressions, de 2,4 °C et 0,3 respectivement par siècle, de la température et de la salinité à 300 m.

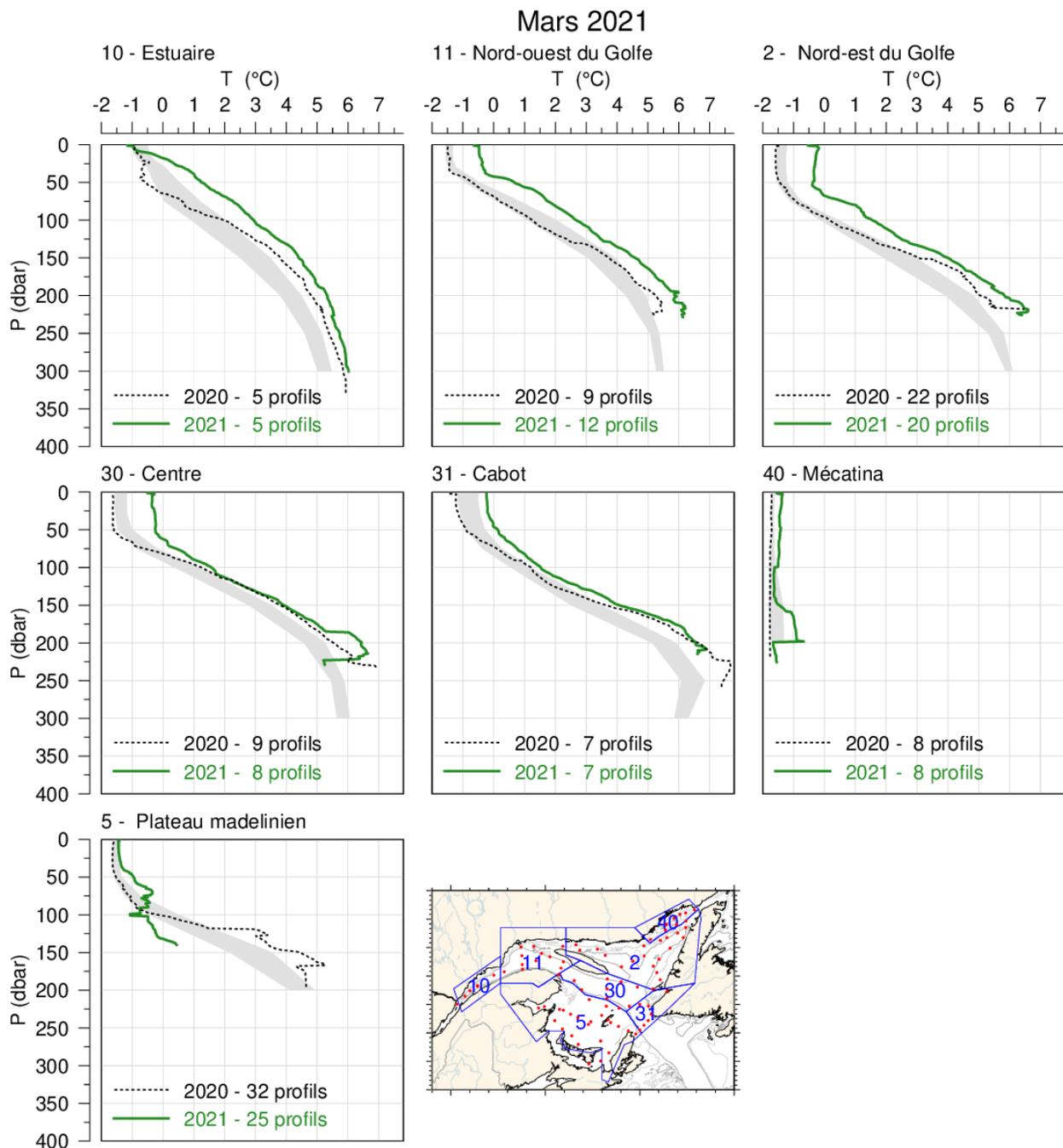


Fig. 49. Profils moyens de la température observés dans chaque région du golfe pendant le relevé de mars 2021. La zone ombrée représente la moyenne mensuelle climatologique de 1991–2020 (mais surtout 1996–2020) $\pm 0,5$ ÉT. Les profils moyens de 2020 sont également indiqués aux fins de comparaison.

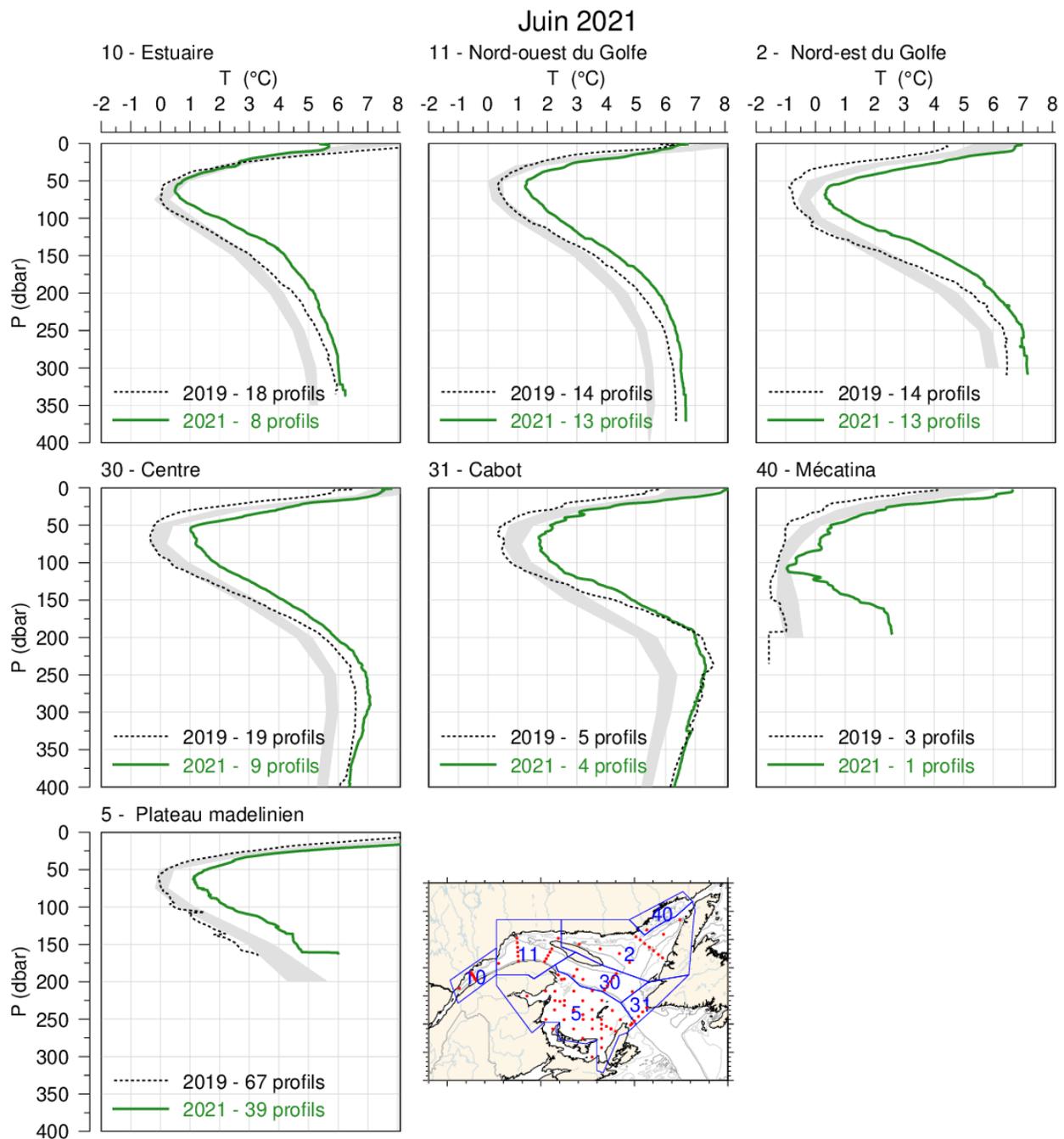


Fig. 50. Profils moyens de la température observés dans chaque région du golfe en juin 2021. La zone ombrée représente la moyenne mensuelle climatologique de 1991–2020 $\pm 0,5$ ÉT. Les profils moyens de 2019 sont également indiqués aux fins de comparaison (aucun relevé en juin 2020).

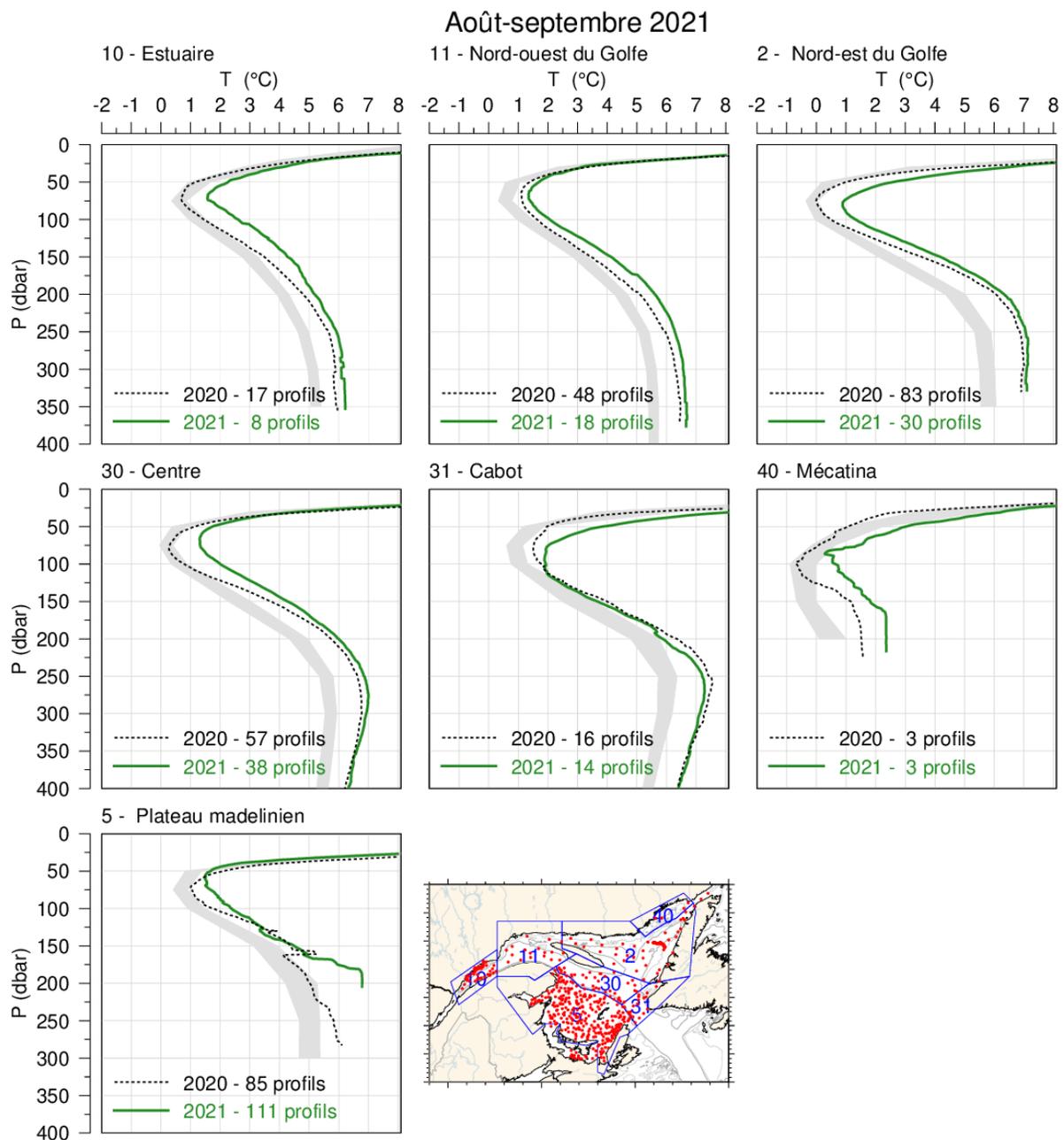


Fig. 51. Profils moyens de la température observés dans chaque région du golfe en août et septembre 2021. La zone ombrée représente la moyenne mensuelle climatologique de 1991–2020 \pm 0,5 ÉT pour août pour toutes les régions sauf septembre pour le plateau madelinien. Les profils moyens de 2020 sont également indiqués aux fins de comparaison.

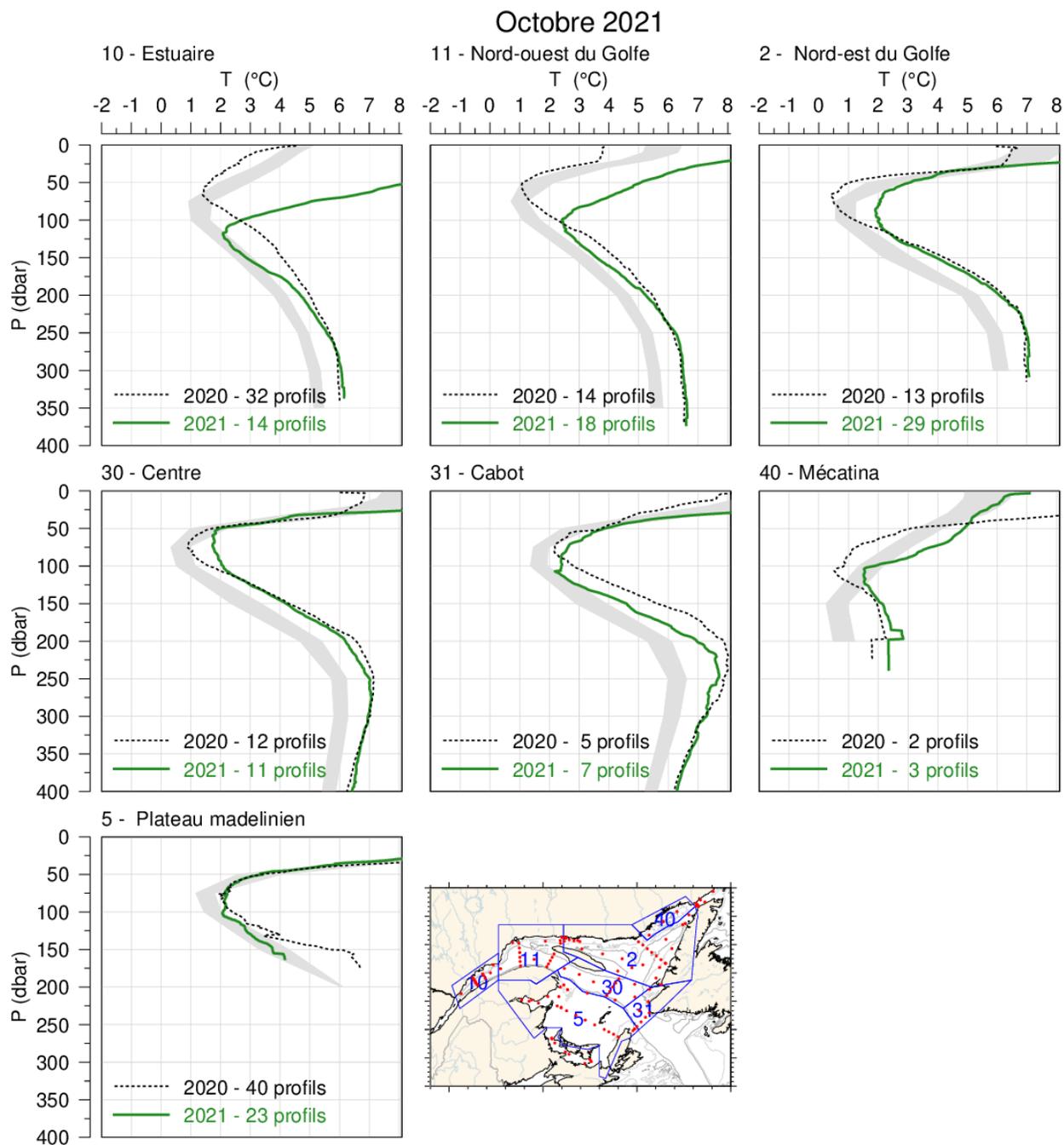


Fig. 52. Profils moyens de la température observés dans chaque région du golfe pendant le relevé d'octobre 2021 du PMZA. La zone ombrée représente la moyenne mensuelle climatologique de 1991–2020 \pm 0,5 ÉT. Les profils moyens de 2020 sont également indiqués aux fins de comparaison.

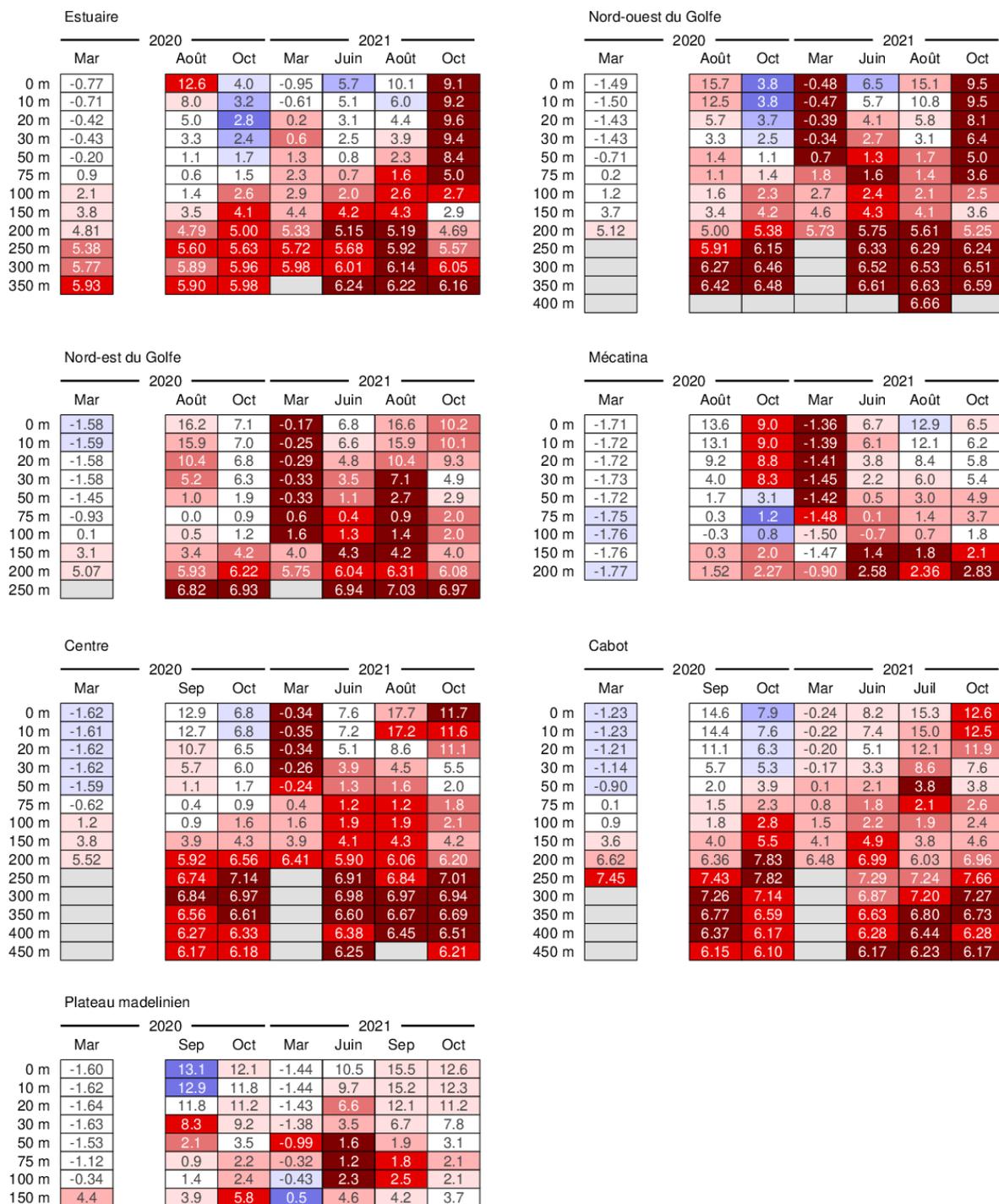


Fig. 53. Récapitulatif de la température mensuelle moyenne des couches par profondeur pour les mois durant lesquels les relevés océanographiques ont été réalisés à l'échelle du golfe en 2020 et 2021. Le code de couleurs correspond à l'anomalie de température par rapport à la climatologie mensuelle de 1991–2020 de chaque région.

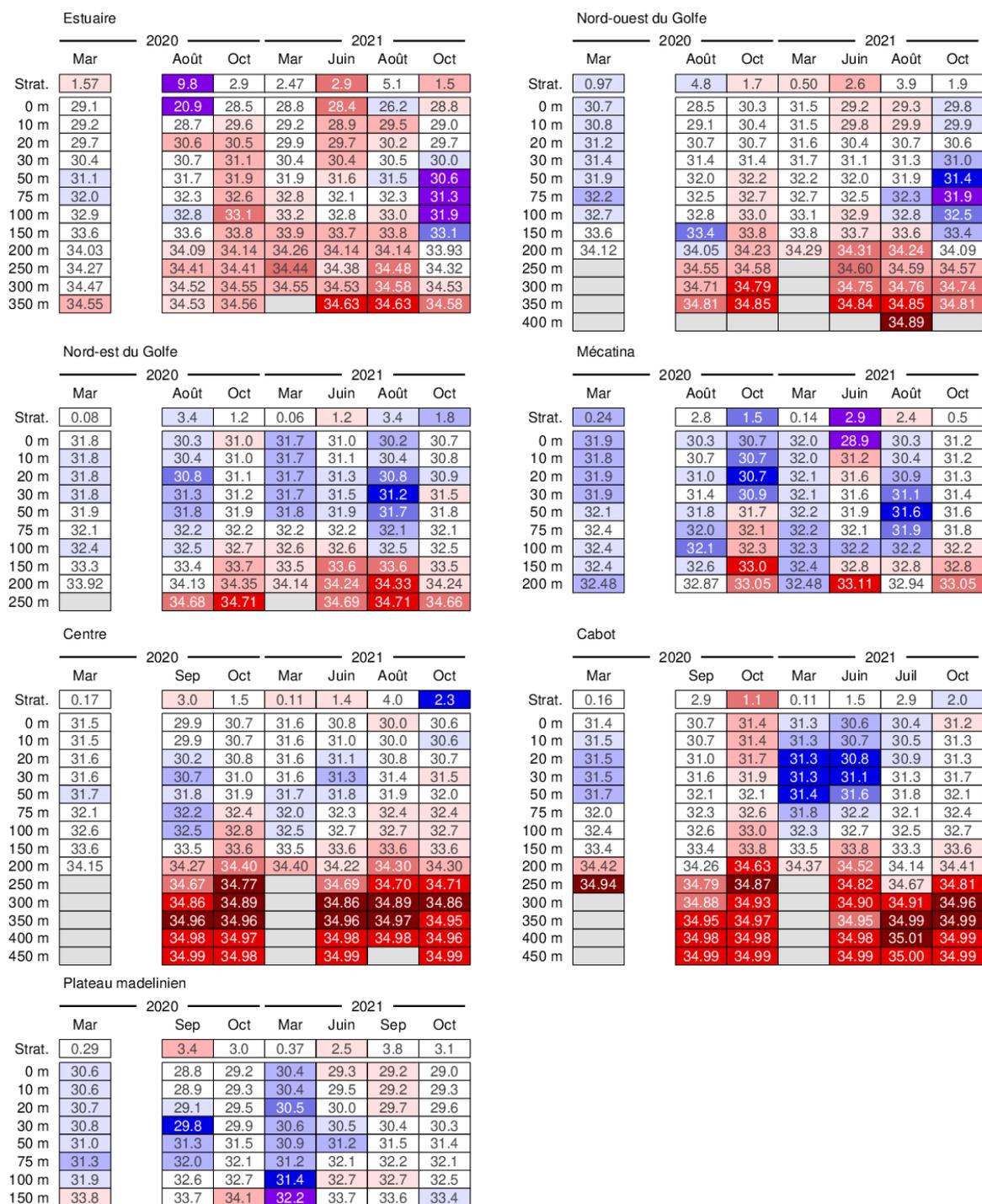


Fig. 54. Récapitulatif de la stratification et de la salinité mensuelles moyennes des couches par profondeur pour les mois durant lesquels les relevés océanographiques ont été réalisés à l'échelle du golfe en 2020 et 2021. La stratification est définie comme la différence de densité entre 50 m et la surface et son code de couleurs est inversé (bleu pour une anomalie positive, car habituellement associée à une faible salinité de surface).

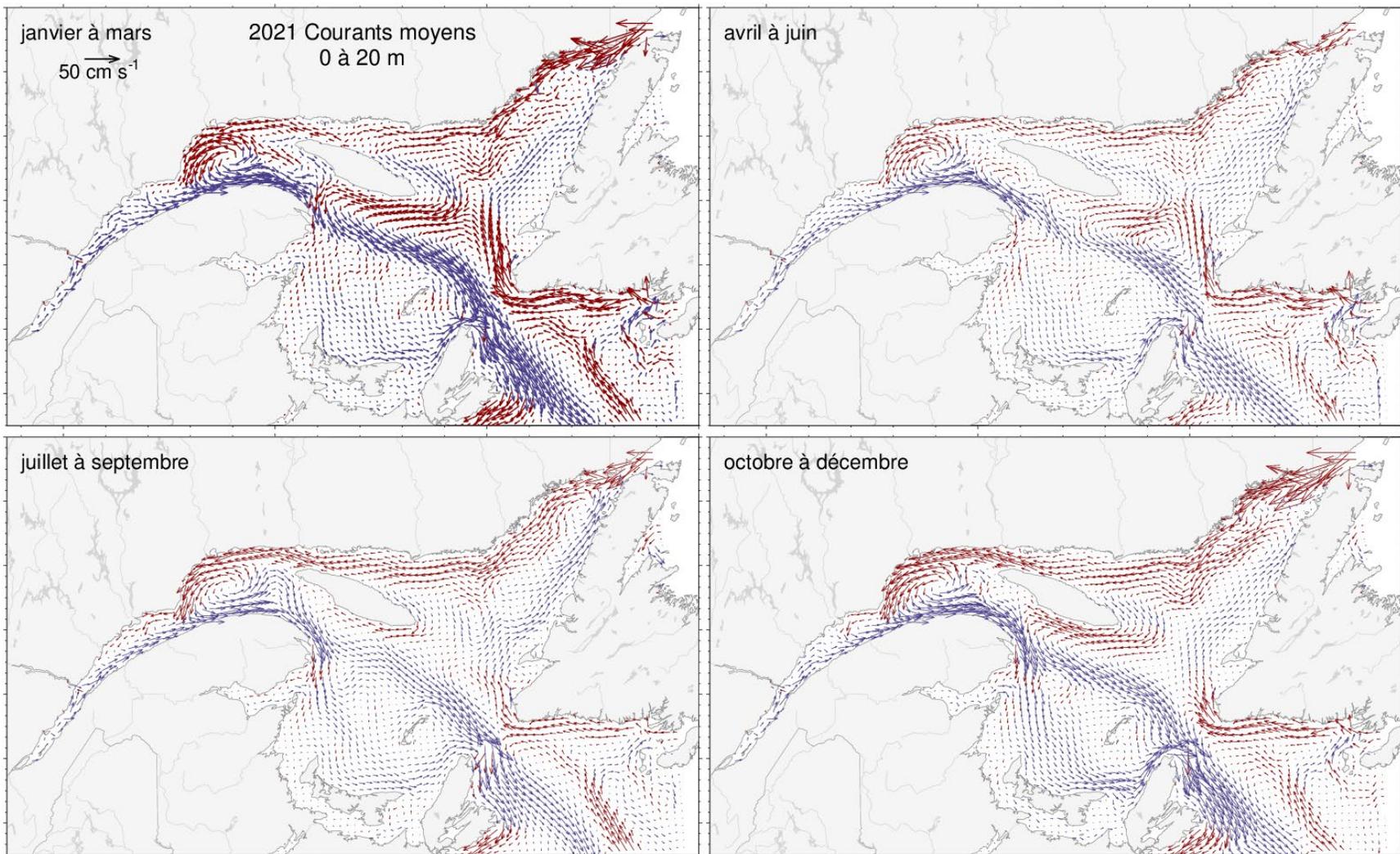


Fig. 55. Courants moyennés de 0 à 20 m pour chaque période de trois mois en 2021. Les vecteurs tracés en bleu vont vers l'est et ceux qui sont tracés en rouge vers l'ouest.

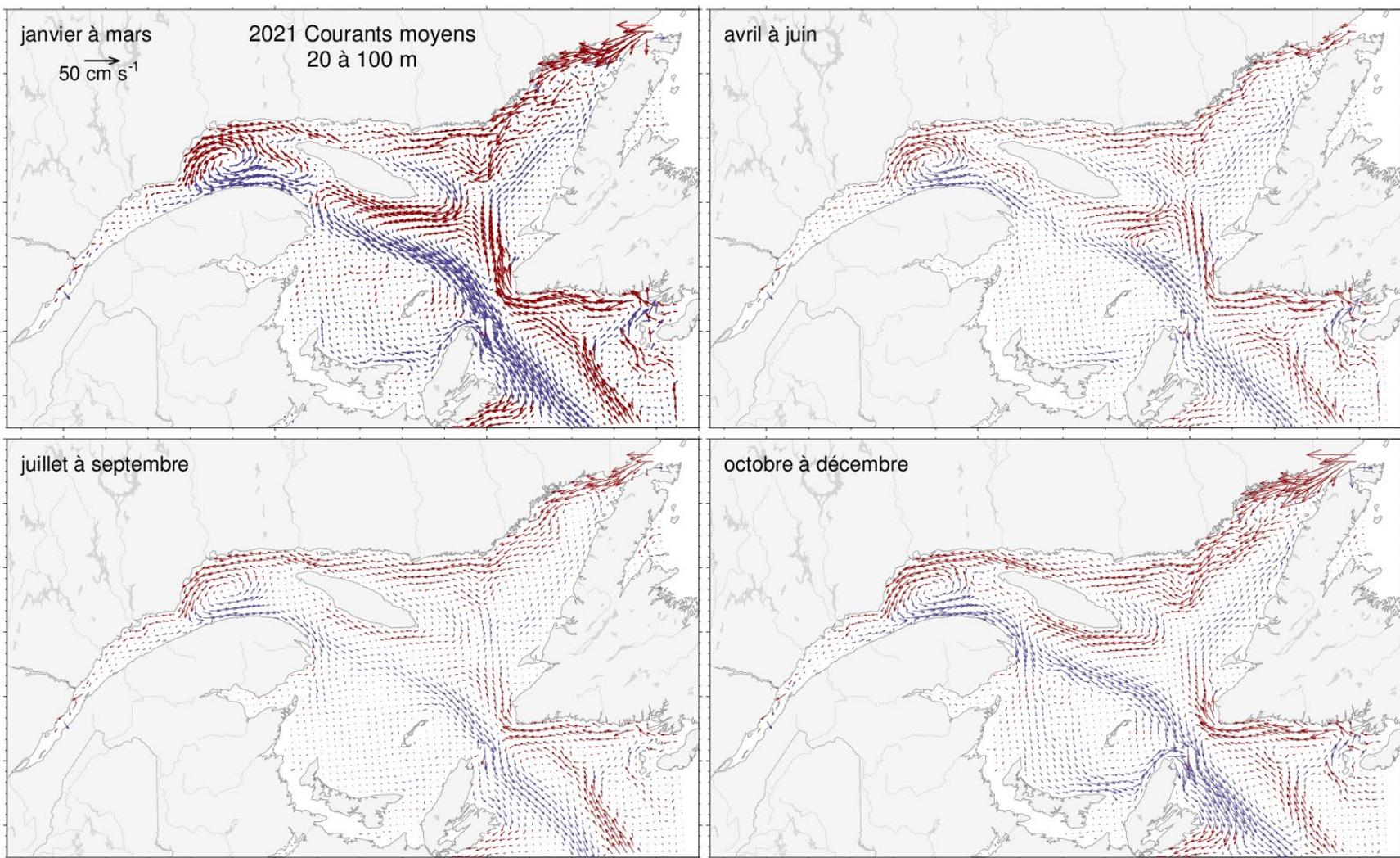


Fig. 56. Courants moyennés de 20 à 100 m pour chaque période de trois mois en 2021. Les vecteurs tracés en bleu vont vers l'est et ceux qui sont tracés en rouge vers l'ouest.

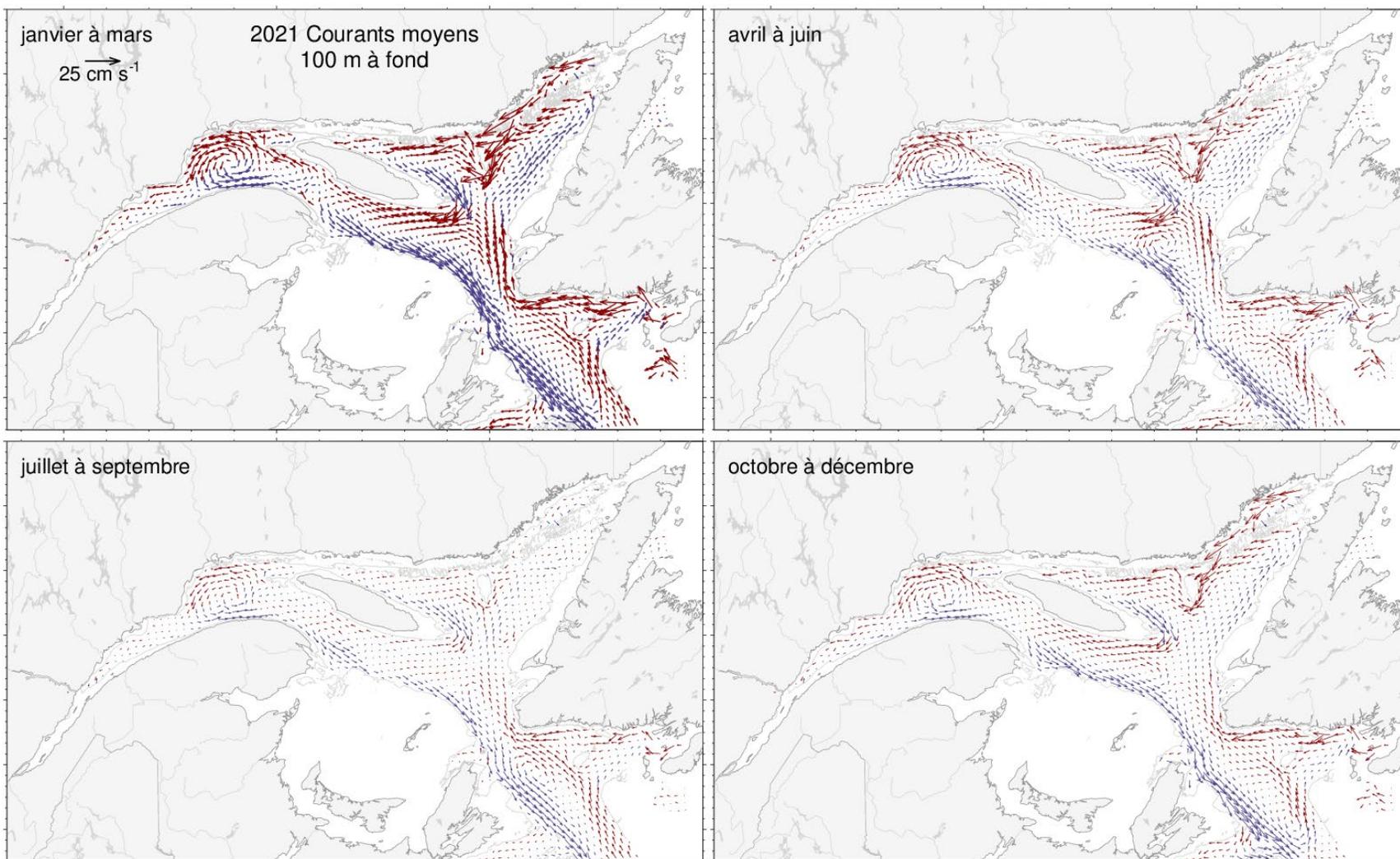
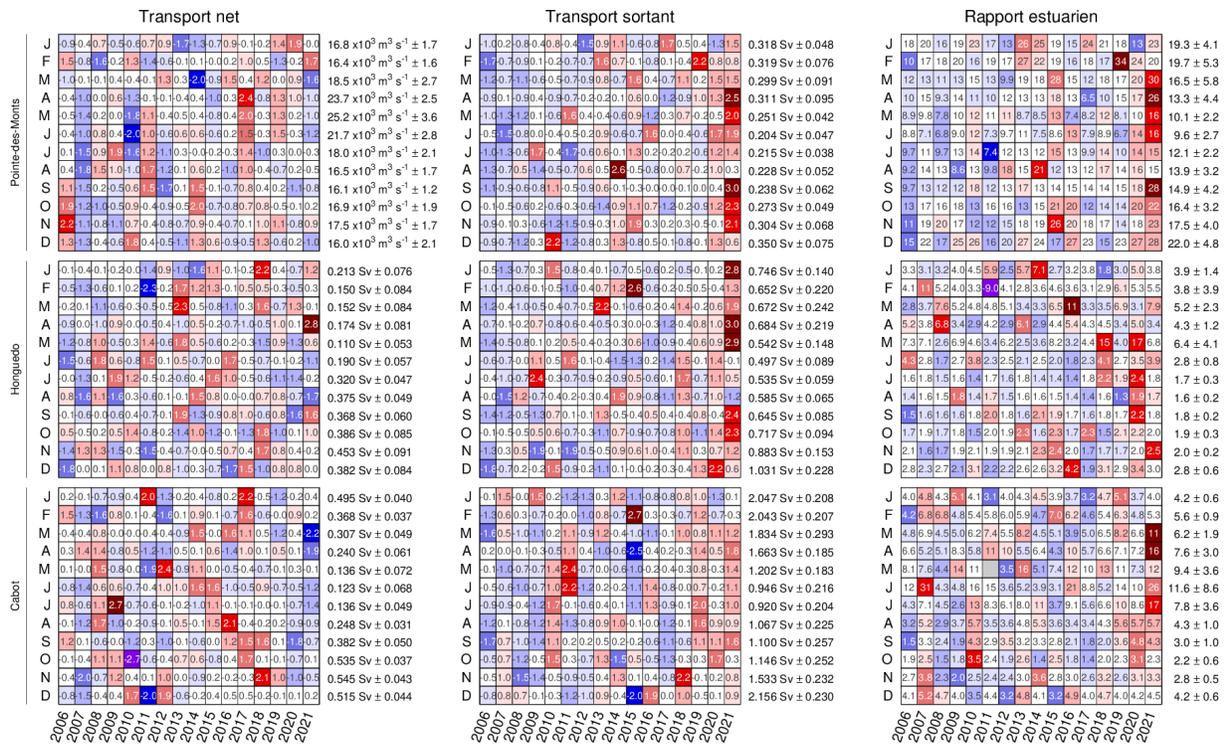


Fig. 57. Courants moyennés de 100 m jusqu'au fond pour chaque période de trois mois en 2021. Les vecteurs tracés en bleu vont vers l'est et ceux qui sont tracés en rouge vers l'ouest.



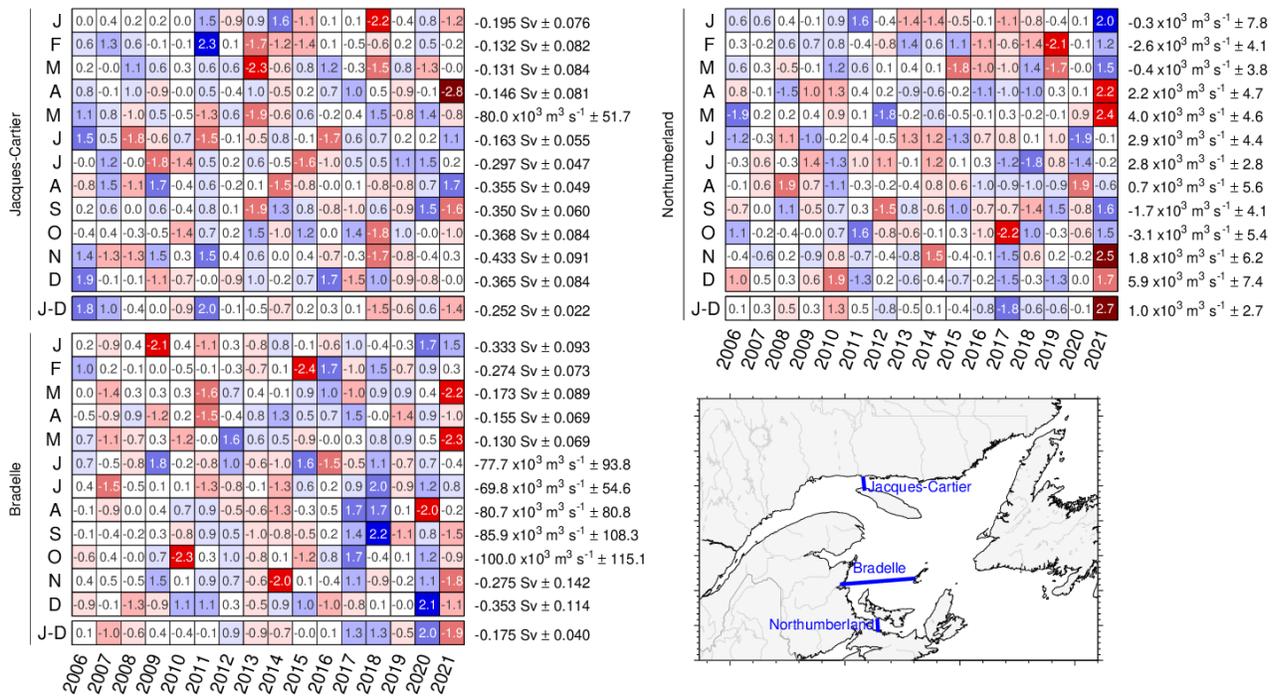


Fig. 59. Transports mensuels moyennés modélisés sur des sections du golfe du Saint-Laurent depuis 2006. Les nombres indiqués à droite sont les moyennes et les écarts-types pour 2006-2020, avec les valeurs positives vers l'est et le nord. Les nombres qui figurent dans les cellules sont les anomalies normalisées. 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).

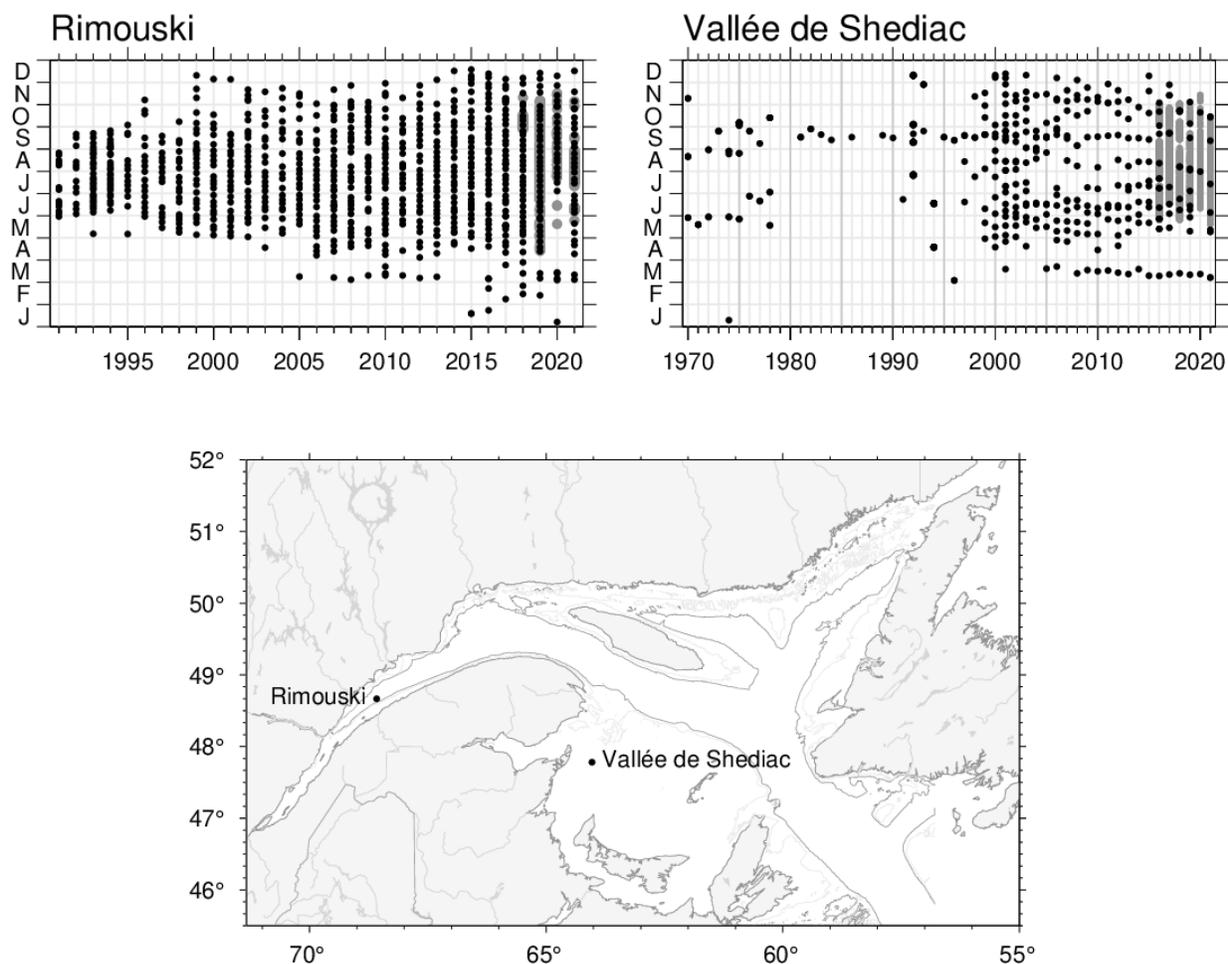
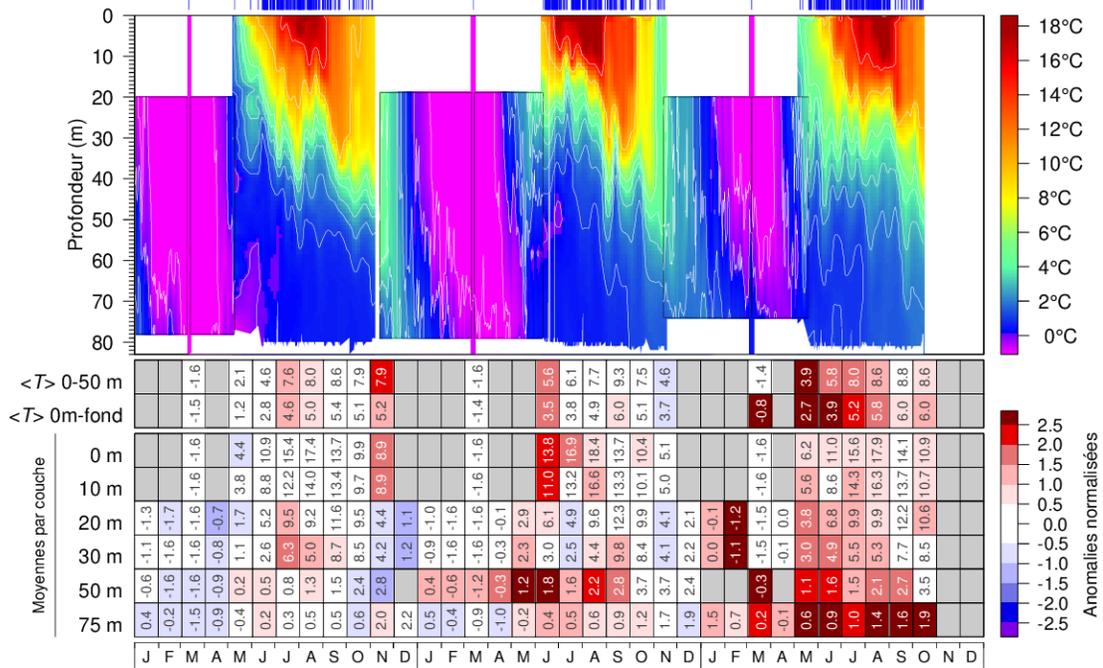


Fig. 60. Fréquence d'échantillonnage et emplacement des stations du PMZA de Rimouski et de la vallée de Shediac. La superposition en gris en 2021 à la station vallée de Shediac représente les 246 profils de température et de salinité réalisés par la bouée océanographique automatique PMZA-VAS du 2021-05-20 au 2021-10-12. La superposition en gris en 2021 à la station Rimouski représente les 114 profils de température et de salinité réalisés par la bouée océanographique automatique PMZA-Riki du 2021-05-25 au 2021-11-01.

Vallée de Shediac - Température



Salinité

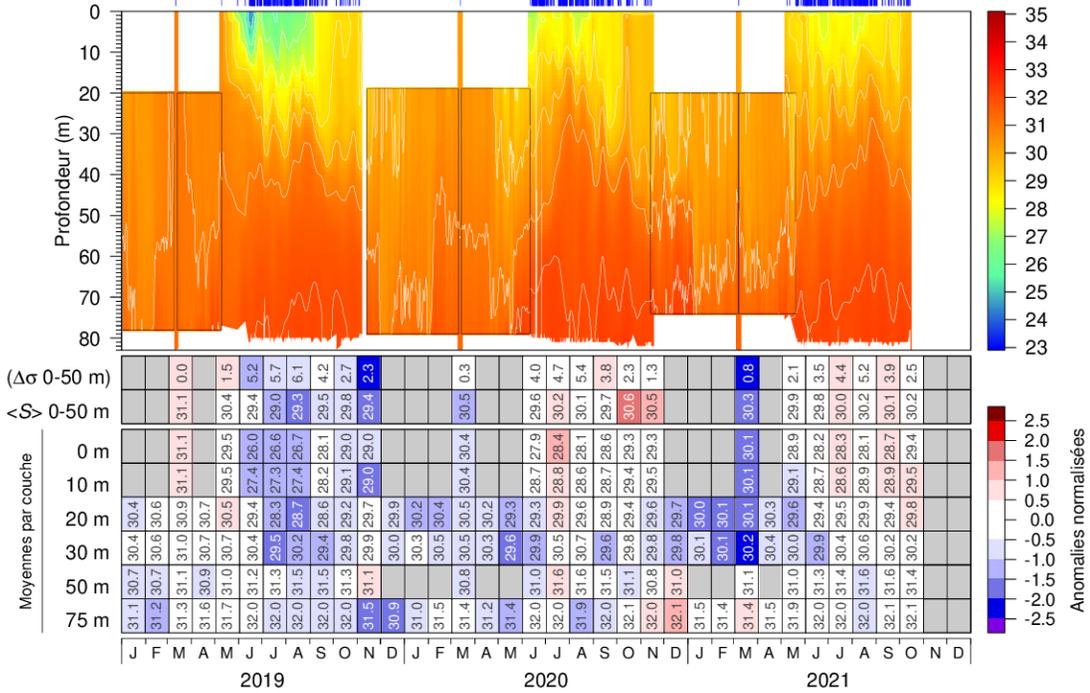


Fig. 62. Séries chronologiques des isothermes et isohalines à la station vallée de Shediac; les marques en haut indiquent les profils (principalement provenant des bouées automatiques depuis 2016). Les tableaux indiquent les moyennes mensuelles à différentes profondeurs, codées par couleur selon l'anomalie par rapport à la climatologie mensuelle de 1991–2020 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 encadrées et les moyennes mensuelles des couches à 10, 20, 30 et 75 m sont tirées des données de mouillages océanographiques. Les oscillations de marée interne sont lissées.

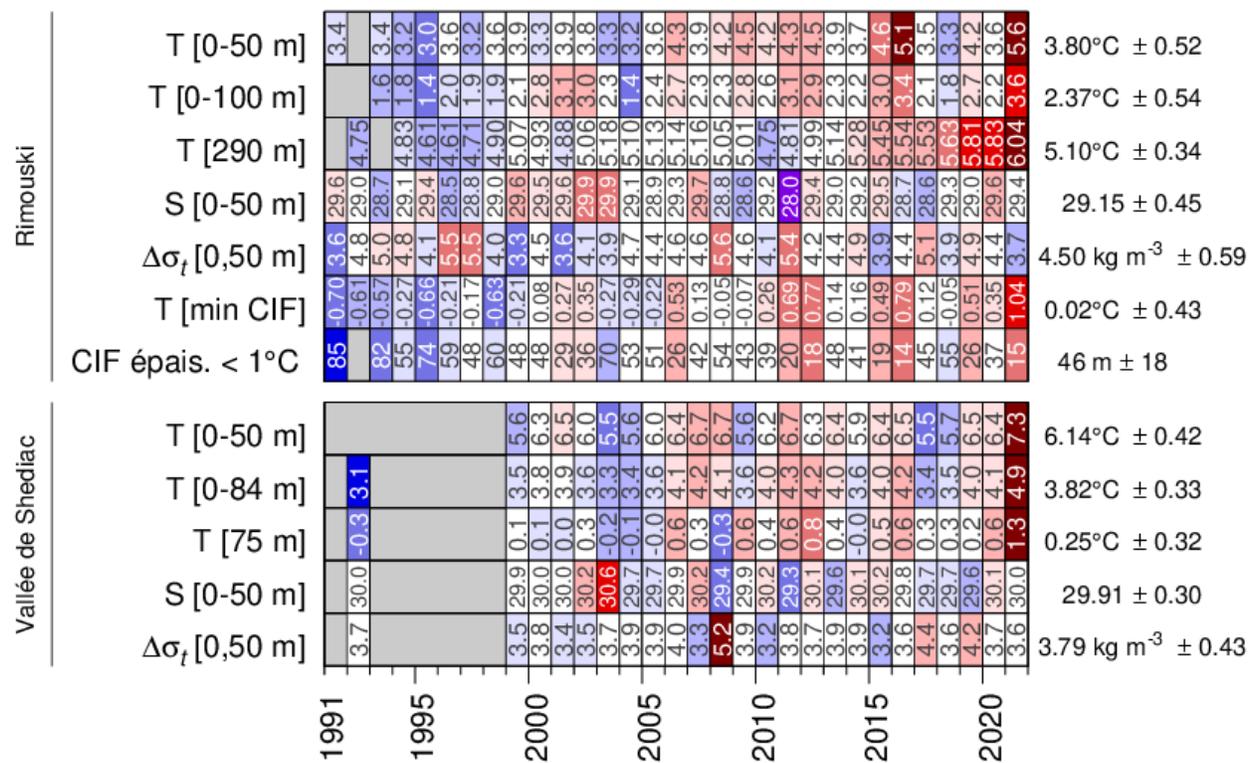


Fig. 63. Moyennes par couche de la température et de la salinité de mai à octobre, stratification (exprimée en tant que différence de densité entre 0 et 50 m) et minimum de température ($T < 1^\circ\text{C}$) et épaisseur de la CIF pour les stations de monitoring à haute fréquence. Les nombres indiqués dans les panneaux sont les moyennes mensuelles codées par couleur en fonction de l'anomalie par rapport à la série chronologique de 1991–2020. 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.

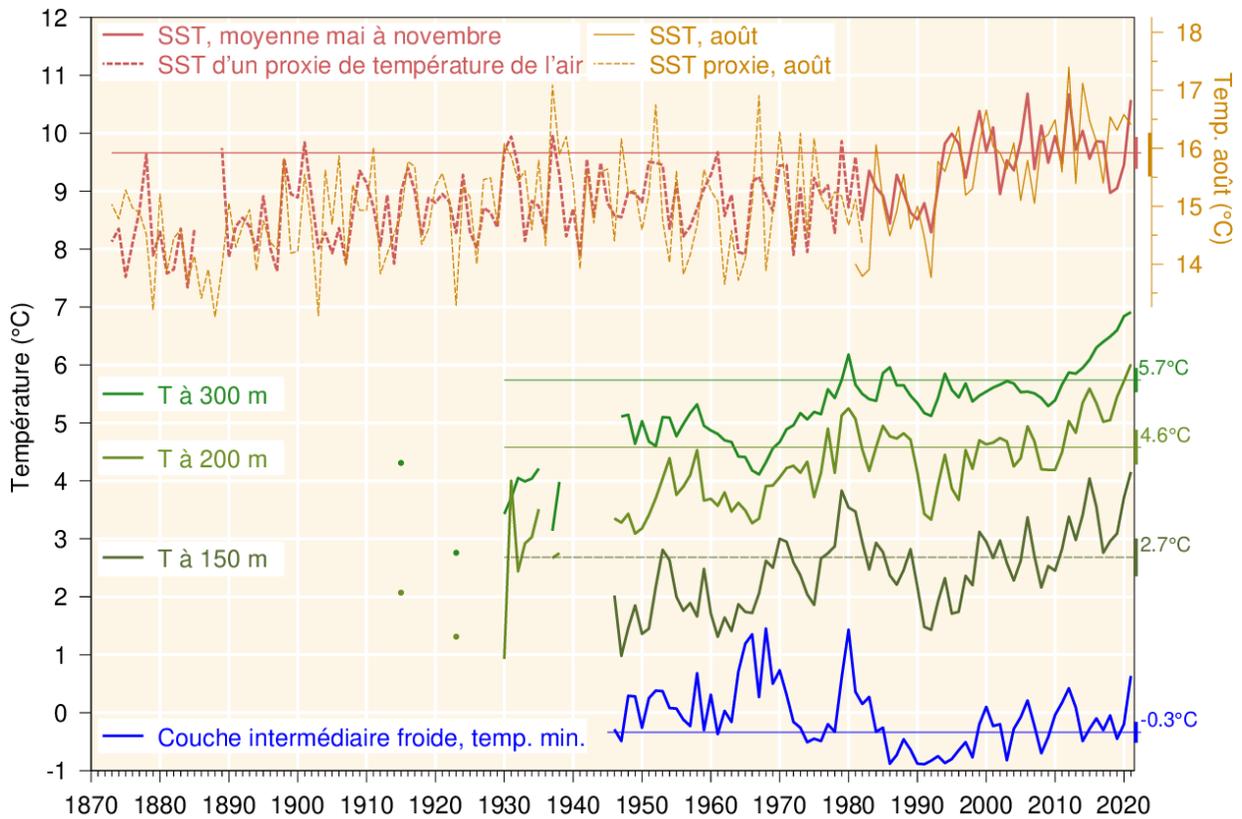


Fig. 64. Températures de l'eau dans le golfe du Saint-Laurent. SST de mai à novembre moyennée sur l'ensemble du golfe, en excluant l'estuaire (1982–2021, ligne rouge), complété par un indicateur indirect tiré de la température de l'air d'avril à novembre (1873–1981, ligne pointillée rouge; moyenne de toutes les stations des Données canadiennes sur le climat ajustées et homogénéisées (DCCAH) 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 6,3 °C; son indicateur indirect est tiré de la température moyenne de l'air en juillet et en août. Température moyenne 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 1991–2020 sont indiquées par les lignes fines dont la valeur moyenne est notée à droite. Figure adaptée de Benoît et al. (2012).

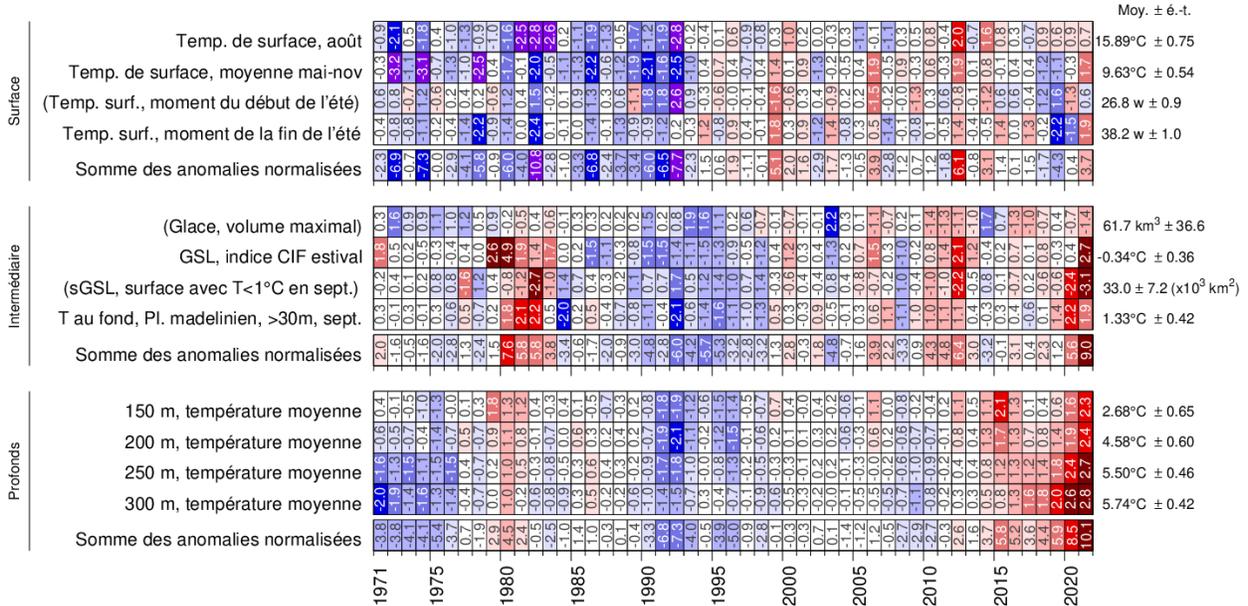


Fig. 65. Indicateurs de la couche de surface, de la couche intermédiaire (et de glace de mer) et de la couche profonde utilisés dans l'indice climatique composite (Fig. 66).

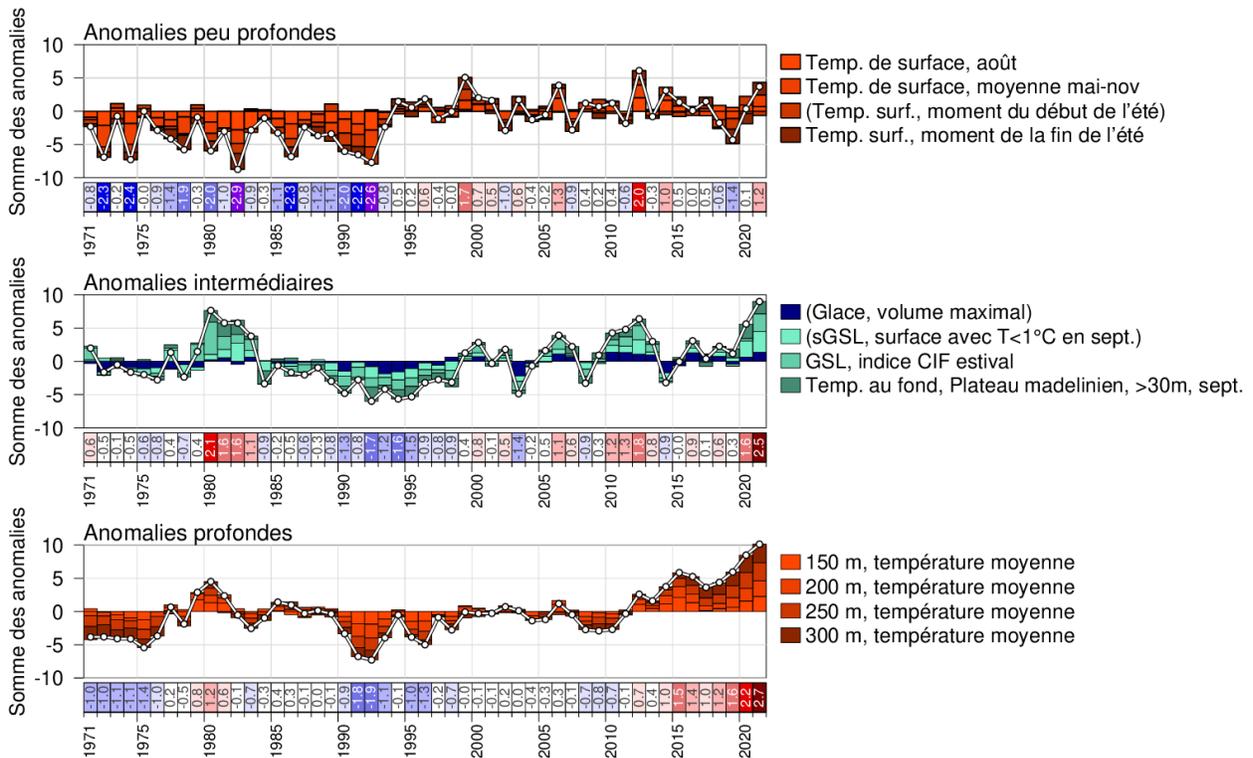


Fig. 66. Indices climatiques composites (lignes et points blancs) calculés en additionnant diverses anomalies normalisées de différentes parties de l'environnement (les cellules colorées empilées au-dessus des abscisses sont les anomalies positives et les anomalies négatives en dessous des abscisses). 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.

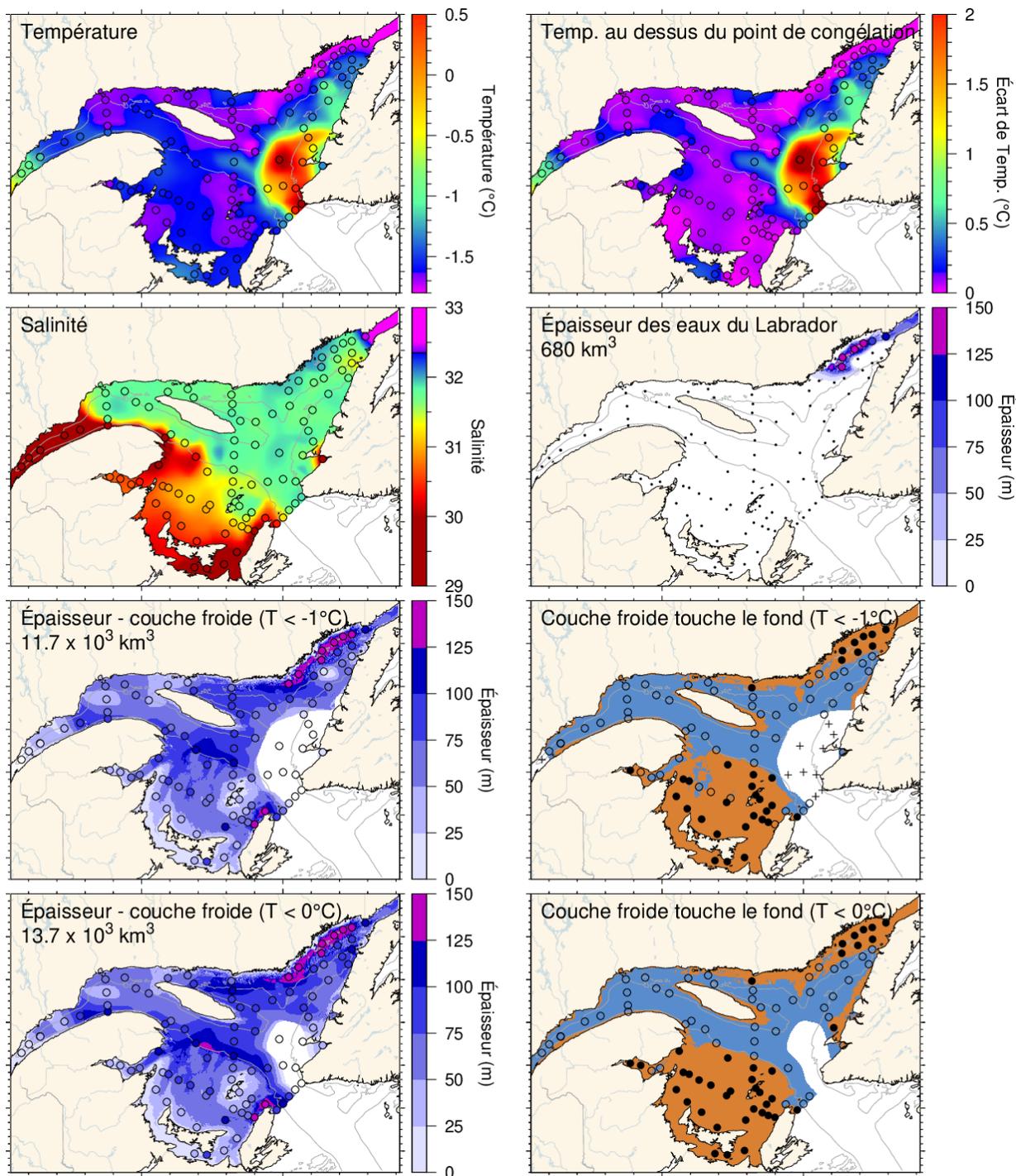


Fig. 67. Caractéristiques de la couche froide de surface en mars 2022 : température de la couche de surface (en haut à gauche), différence de température avec le point de congélation (en haut à droite), salinité (deuxième ligne à gauche), estimation de l'épaisseur de l'intrusion d'eau du plateau du Labrador (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.