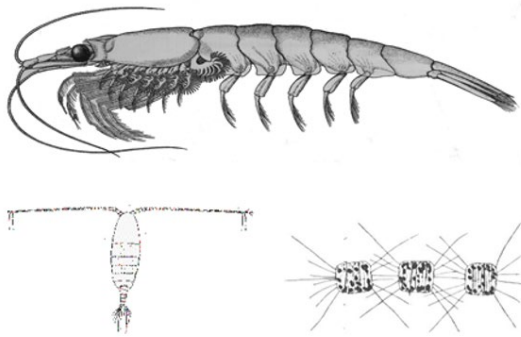
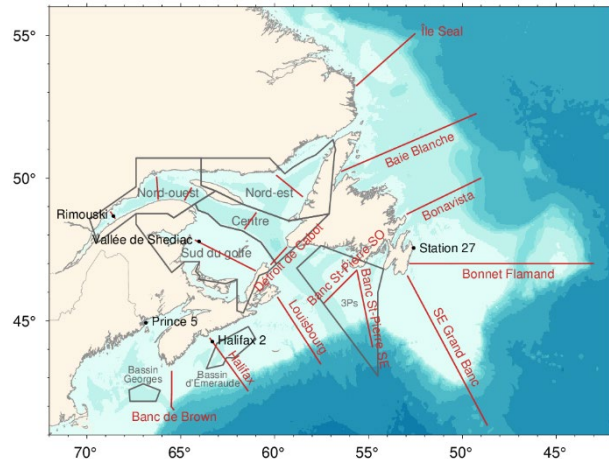




## CONDITIONS OCÉANOGRAPHIQUES DANS LA ZONE ATLANTIQUE EN 2021



*Taxons clés du réseau trophique pélagique : euphausiacés (dans le haut), phytoplancton (dans le coin inférieur droit) et copépodes (dans le coin inférieur gauche). Images : Pêches et Océans Canada*



*Figure 1. Stations d'échantillonnage à haute fréquence (noir), sections sélectionnées du Programme de monitoring de la zone atlantique (rouge) et aires de moyenne (gris).*

### Contexte :

*Mis en œuvre en 1998, le Programme de monitoring de la zone atlantique (PMZA) vise à accroître la capacité de Pêches et Océans Canada à comprendre, à décrire et à prévoir l'état de l'écosystème marin, de même qu'à quantifier les changements observés quant aux propriétés physiques, chimiques et biologiques de l'océan.*

*Une description des profils saisonniers de la répartition du phytoplancton (végétaux microscopiques) et du zooplancton (animaux microscopiques) fournit des renseignements importants sur les organismes qui constituent la base du réseau trophique marin. Or, pour appliquer une approche écosystémique à l'égard de l'évaluation des stocks et de la gestion des ressources marines, il est essentiel de comprendre les cycles de production du plancton et leur variabilité interannuelle.*

*Le présent avis scientifique découle de la réunion sur les avis scientifiques zonale du 21 au 23 mars 2022, vingt-quatrième réunion annuelle du Programme de monitoring de la zone atlantique (PMZA). Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le [calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada](#).*

## SOMMAIRE

- Les moyennes mensuelles et saisonnières de la température de la surface de la mer ont été généralement normales à supérieures à la normale dans les zones libres de glace, y compris de nombreux records de série mensuels régionaux établis en janvier, juin, de septembre à décembre ainsi que des records saisonniers dans le nord du golfe et dans l'estuaire. Les anomalies étaient plus faibles sur certaines parties des Grands Bancs. L'indice zonal moyenné spatialement était le troisième plus élevé de la série.
- Le transport du courant du Labrador a demeuré près de la normale au talus du plateau de Terre-Neuve-et-Labrador, tandis que le transport le long du talus du plateau néo-écossais est demeuré faible depuis 2014.
- Les conditions hivernales de glace de mer étaient à un record faible dans le golfe du Saint-Laurent et le troisième plus faible de la série sur le plateau de Terre-Neuve-et-Labrador.
- Les conditions de la couche intermédiaire froide (CIF) estivale étaient plus chaudes que la normale et d'étendues limitées dans la zone, incluant des records de séries dans le golfe du Saint-Laurent. L'indice sommaire zonal de la CIF et de glace pour la zone était le plus chaud de la série temporelle, depuis 1980.
- Les températures sur le fond marin étaient grandement supérieures à la normale dans toute la zone, incluant des records de séries dans le nord du golfe du Saint-Laurent ainsi qu'au large du sud de Terre-Neuve (3Ps). L'indice sommaire zonal des températures de fond influencées par la CIF était en égalité pour le plus chaud (depuis 1980). L'indice sommaire zonal des températures de fond sous la CIF était le plus élevé de la série temporelle, mais manquait plusieurs de ces composantes en 2021.
- Aux stations d'échantillonnage à haute fréquence, les températures moyennes saisonnières 0–50 m et près du fond étaient tous supérieures à la normale, y compris des records de série à l'une ou les deux de ces métriques à toutes les stations sauf à Halifax 2. La stratification était la plus faible depuis 2001 à la station Rimouski et de sous la normale à normale aux autres stations.
- Les inventaires de sels nutritifs en profondeur étaient variables dans la zone, avec de forts inventaires sur le bonnet flamand, dans le nord-est et centre du golfe du Saint-Laurent, et le centre et l'est du plateau néo-écossais, y compris un record élevé sur la ligne Halifax.
- Les inventaires de surface de chlorophylle *a* étaient généralement inférieurs à la normale sur le plateau de Terre-Neuve-et-Labrador et sur le plateau néo-écossais et au-dessus de la normale dans le golfe du Saint-Laurent. La fiabilité de cette mesure pour 2021 sur le plateau de Terre-Neuve-et-Labrador et sur le plateau néo-écossais est réduite à cause du nombre limité d'échantillons.
- Le début de la floraison printanière du phytoplancton a été très hâtif dans la majorité de la zone atlantique, avec l'exception des Grands Bancs, du sud de Terre-Neuve et du Banc de Georges.
- La magnitude de la floraison était sous la normale sur le plateau de Terre-Neuve et dans le golfe du Saint-Laurent et au-dessus de la normale dans la mer du Labrador, le plateau du Labrador et sur le plateau néo-écossais
- La durée de la floraison a suivi un gradient latitudinal partant de longue dans les régions nordiques jusqu'à courte sur le plateau néo-écossais.

- L'abondance des copépodes était inférieure à la normale sur le plateau de Terre-Neuve, dans l'est du golfe du Saint-Laurent et à Halifax 2, et supérieure à la normale dans l'ouest et le sud du golfe du Saint-Laurent.
- L'abondance des non-copépodes était près de la normale sur le plateau de Terre-Neuve, dans l'est du golfe du Saint-Laurent et à Halifax 2, et supérieure à la normale dans le nord-ouest et le sud du golfe du Saint-Laurent.
- L'abondance de *Calanus finmarchicus* était généralement normale ou inférieure à la normale dans la majeure partie du plateau de Terre-Neuve, le golfe du Saint-Laurent, avec un minimum record à Halifax 2.
- Les abondances de *Pseudocalanus* spp. étaient inférieures à la normale sur le plateau de Terre-Neuve et dans l'est du golfe du Saint-Laurent, et supérieures à la normale dans l'ouest et le sud du golfe du Saint-Laurent et à Halifax 2.
- La biomasse de zooplancton était principalement supérieure à la normale sur le plateau de Terre-Neuve et inférieure à la normale dans le golfe du Saint-Laurent et à Halifax 2, atteignant des niveaux record ou presque à plusieurs endroits dans chaque région.
- Les anomalies de zooplancton des sections du plateau néo-écossais n'étaient pas disponibles en raison des possibilités d'échantillonnage limitées et des retards dans le traitement des échantillons.
- La concentration d'oxygène dissous a généralement diminué dans les eaux profondes du golfe du Saint-Laurent et a atteint un niveau record à la station de Rimouski, tandis que le pH y est demeuré à une valeur quasi record.
- La convection profonde dans la mer du Labrador a atteint 850 m, la valeur la moins profonde depuis 2011 et la 3<sup>e</sup> moins profonde en 32 ans et plus. La superficie et l'étendue de la glace de mer étaient les plus basses depuis 2011 et les 3<sup>e</sup> plus basses depuis au moins 42 ans.
- Les mesures biogéochimiques ne sont pas disponibles pour la mer du Labrador en raison de l'annulation du relevé en 2021.

## RENSEIGNEMENTS DE BASE

Mis en œuvre en 1998 (Therriault *et al.* 1998), le PMZA vise à accroître la capacité de Pêches et Océans Canada à comprendre, à décrire et à prévoir l'état de l'écosystème marin, de même qu'à quantifier les changements observés quant aux propriétés physiques, chimiques et biologiques de l'océan. L'un des éléments essentiels du PMZA est l'évaluation annuelle des propriétés océanographiques physiques ainsi que de la répartition et de la variabilité des concentrations des sels nutritifs, du phytoplancton et du zooplancton.

Une description de la répartition spatio-temporelle des sels nutritifs dissous dans l'eau de mer (nitrates, silicates, phosphates) et de la concentration d'oxygène fournit des renseignements importants sur les mouvements des masses d'eau ainsi que sur la période et l'ampleur des cycles de production biologique, et sur les lieux où ils se manifestent. Une description de la répartition du phytoplancton et du zooplancton apporte quant à elle des renseignements importants sur les organismes qui forment la base du réseau trophique marin. Il est essentiel de comprendre les cycles de production du plancton pour appliquer une approche écosystémique à l'égard de l'évaluation des stocks et de la gestion des pêches.

L'information sur l'état de l'écosystème marin fournie par le PMZA est dérivée de données recueillies à partir d'un réseau de points d'échantillonnage (stations d'échantillonnage à haute fréquence, transects traversant le plateau continental, stations faites lors de relevés écosystémiques) dans chaque région (Québec, Maritimes, Golfe, Terre-Neuve-et-Labrador), qui sont échantillonnées à une fréquence allant d'à toutes les semaines jusqu'à une fois l'an (Figure 1). Les paramètres échantillonnés visent à fournir des renseignements de base sur la variabilité naturelle des propriétés physiques, chimiques et biologiques du plateau continental de l'Atlantique nord-ouest. Les relevés au chalut (écosystémiques) et l'échantillonnage sur des transects du plateau continental donnent des renseignements géographiques régionaux détaillés, dont la portée saisonnière est toutefois limitée. Des stations visitées régulièrement et qui sont placées dans des points stratégiques servent à compléter l'échantillonnage à grande échelle, en donnant des renseignements plus détaillés sur les changements temporels (saisonniers) observés quant aux propriétés de l'écosystème pélagique. De plus, 11 missions de planeurs comprenant 7 895 profils de température, de salinité, d'oxygène, de rétrodiffusion optique, de chlorophylle et de fluorescence CDOM ont été effectuées sur la ligne Halifax. Pour la ligne de Bonavista, 4 missions ont recueilli 2 659 profils. Les bouées océanographiques Viking de la zone ont recueilli 1033 profils verticaux.

Cette évaluation annuelle des conditions océanographiques de la zone atlantique inclut les observations de la mer du Labrador fournies par le Programme de monitoring de la zone atlantique au large du plateau continental (PMZAO) depuis le rapport sur les conditions de 2015, et inclut l'acidification de l'océan depuis celui sur les conditions de 2018.

Les conditions environnementales sont généralement exprimées comme des anomalies, à savoir, les écarts de leur moyenne à long terme. Les conditions moyennes ou normales à long terme sont calculées lorsque possible pour la période de référence de 1991–2020 pour les paramètres physiques, et pour 1999–2020 pour les paramètres biochimiques. En outre, parce que ces séries ont différentes unités (°C, km<sup>3</sup>, km<sup>2</sup>, etc.), chaque série temporelle d'anomalies est normalisée en divisant par l'écart-type, qui est également calculé en utilisant les données de la période de référence, si possible. Cela permet une comparaison plus directe des différentes séries. Les données manquantes sont représentées par les cellules grises, les valeurs au sein de  $\pm 0,5$  écart-type de la moyenne pour les données physiques et  $\pm 1/3$  écart-type de la moyenne pour les données biochimiques sont considérées comme près de la normale et illustrées avec des cellules blanches, et les conditions correspondant à plus chaudes que la normale (des températures plus élevées, la réduction des volumes de glace ou des superficies et volumes d'eau froide) par des cellules rouges, avec des rouges plus intenses pour des conditions de plus en plus chaudes ou des inventaires plus élevés que la normale pour les variables biogéochimiques. De même, le bleu représente des conditions plus froides que la normale ou des inventaires plus bas que la normale pour les variables biogéochimiques. Des conditions supérieures à la normale en apports d'eau douce, de salinité ou de stratification sont illustrées en rouge, mais ne correspondent pas nécessairement à des conditions plus chaudes que la normale. Si l'on décrit souvent l'environnement en termes d'anomalies relatives à la période climatologique, il reste important de s'intéresser aux tendances à long terme. Nous parlons aussi souvent en termes d'enregistrements de rang et de record de série, ce qui aide à broser un tableau plus large.

## ÉVALUATION

### Conditions océanographiques physiques

Voici un résumé des conditions océanographiques physiques observées au cours de l'année 2021 en ce qui concerne les eaux océaniques de l'est du Canada (Figures 1 et 2), telles que détaillées dans trois documents de recherches rédigés dans le cadre du PMZA (p. ex. Hebert *et al.* 2021 et Galbraith *et al.* 2021a pour les conditions en 2020 et Cyr *et al.* 2021 pour les conditions en 2019). Exceptionnellement, une publication principale décrit les conditions en 2020 sur le plateau de Terre-Neuve-et-Labrador (Cyr et Galbraith 2021).

#### L'oscillation nord-atlantique

L'indice d'oscillation nord-atlantique (ONA) est basé sur la différence de pression atmosphérique au niveau de la mer entre la haute pression sous-équatoriale et la basse pression subpolaire de l'océan Atlantique. Nous utilisons ici la moyenne de décembre à mars de l'indice mensuel retrouvé sur le site de la National Oceanic and Atmospheric Association ([NOAA](#)). Il quantifie le forçage atmosphérique hivernal dominant sur l'océan Atlantique Nord qui affecte les vents, la température de l'air, les précipitations et les propriétés hydrographiques sur le littoral de l'est du Canada, soit directement ou par advection. Les forts vents du nord-ouest, les températures froides de l'air et de la mer et les forts couverts de glace dans la mer du Labrador sont généralement associés à un indice ONA positif élevé, avec des effets opposés négatifs. La valeur minimale enregistrée a été atteinte en 2010 à -1,5, ce qui coïncidait avec des conditions plus chaudes que la normale. En 2021, l'indice ONA d'hiver était de -0,1, brisant une séquence consécutive positive de 7 années de suite. Cette séquence positive n'a cependant pas coïncidé avec des conditions aussi froides que lors de la précédente séquence positive de la fin des années 1980/début des années 1990.

#### Cycle annuel de température

La température varie verticalement à travers les saisons dans la zone atlantique (Figure 3). La structure de la température d'été (T) dans la zone atlantique se compose de trois couches distinctes : la couche de surface chaude estivale, la couche intermédiaire froide (CIF) et la couche d'eau plus profonde. Pendant l'automne et l'hiver, la couche de surface s'approfondit et se refroidit principalement à cause du mélange du vent avant la formation de la glace, mais aussi en partie à cause du refroidissement, du ruissellement réduit et du rejet de sel là où la glace se forme. La couche hivernale de surface s'étend jusqu'à une profondeur moyenne d'environ 50 m sur le plateau néo-écossais, 75 m dans le golfe du Saint-Laurent (GSL) en mars et peut s'étendre jusqu'au fond (> 150 m) sur les plateaux du Labrador et de Terre-Neuve. La température de la couche mélangée hivernale s'approche du point de congélation dans les deux dernières régions. Au printemps, le réchauffement de surface, les eaux de fonte des glaces et les eaux de ruissellement continentales conduisent à une salinité plus faible et à une température plus élevée, en dessous desquelles les eaux froides de l'hiver précédent sont partiellement isolées de l'atmosphère. Cette couche persiste jusqu'à l'hiver suivant, se réchauffant et s'approfondissant progressivement durant l'été. La CIF est en majeure partie formée localement en hiver dans des régions séparées autour de la zone atlantique. Par exemple, le minimum de température de la couche mélangée hivernale se produit à peu près au même moment en mars, tant sur le plateau néo-écossais que dans le GSL, atteignant des températures minimales différentes; une indication de formation locale plutôt que de l'advection d'une région à l'autre. Cependant, un transport a lieu plus tard dans l'année, du plateau du Labrador au golfe et au plateau de Terre-Neuve et du golfe vers l'estuaire du Saint-Laurent et vers le plateau néo-écossais. Le minimum de température dans les parties sud du plateau de

Terre-Neuve (p. ex., à la station 27) peut se produire bien après l'hiver; par exemple, en 2021, il a été observé en juin-juillet. Les eaux profondes sont définies ici comme étant celles situées au-dessous de la CIF qui n'ont que de faibles cycles saisonniers.

### Températures de surface de la mer

Le produit satellitaire de température de surface de la mer utilisé combine les données de Pathfinder version 5.3 (1982–2021), de l'Institut Maurice-Lamontagne (1985–2013) et de l'Institut Océanographique de Bedford (1997–2021) pour lequel un composite mensuel est calculé à partir de la moyenne des anomalies journalières à laquelle la moyenne climatologique mensuelle est ajoutée (Galbraith *et al.* 2021b). Les figures 4 et 5 montrent les composites de température mensuels et les anomalies, et les figures 6 et 7 montrent les valeurs moyennes par région, mensuellement et pour la saison sans glace.

Moyennée sur des périodes sans glace aussi courte que de juin à novembre sur le plateau du Labrador, de mai à novembre dans le GSL, et jusqu'à l'ensemble de l'année sur le plateau néo-écossais, la température de l'air a été identifiée comme un bon substitut de la surface de la mer et ainsi la tendance au réchauffement observée dans la température de l'air depuis les années 1870, soit environ 1 °C par siècle, devrait également s'être produite dans les eaux de surface du Canada atlantique (Galbraith *et al.* 2021b). La zone a connu ses températures de surface les plus chaudes en 2012 lorsque toutes ses régions ont eu des anomalies positives pour leurs périodes libres de glace, avec des records atteints dans l'est du golfe du Maine et la baie de Fundy (4X eGdM+BdF), sur le plateau néo-écossais (4X SS, 4W, 4Vn, 4Vs), le banc Saint-Pierre (3P) et la passe flamande (3M).

En 2021, les températures mensuelles moyennes à la surface étaient généralement normales à supérieures à la normale dans les zones libres de glace. Sur les 131 moyennes mensuelles régionales rapportées dans la figure 6, seuls six étaient inférieurs à la normale et 22 étaient des records de série. Le plateau néo-écossais (4W et 4X SS), l'est du golfe du Maine et la baie de Fundy ont atteint des sommets records en janvier. Ce dernier et le nord du plateau du Labrador (2G) ont atteint des sommets records en juin. En septembre, il y a eu un record de température élevée dans 2G et l'estuaire, suivi d'autres records de température élevée en octobre dans de nombreuses régions du plateau du Labrador (2H), de l'estuaire, du GSL, du plateau néo-écossais (4Vn, 4W, 4X SS) et de l'est du golfe du Maine et baie de Fundy. Ces fortes anomalies ont persisté jusqu'en novembre dans plusieurs régions et même en décembre dans cette dernière région. Au cours de la même période, en octobre, le sud du plateau de Terre-Neuve (3LNO) était la seule partie de la côte est sous la normale.

Les températures de la surface de la mer moyennes durant les mois libres de glace (Figure 7) étaient normales à supérieures à la normale à travers la zone dans toute la zone, avec des records de séries saisonnières établis dans le nord du golfe et dans l'estuaire.

### Couche Intermédiaire Froide

Pour le plateau de Terre-Neuve-et-Labrador, les indices de la CIF montrés dans la figure 7 sont les sections transversales des eaux avec  $T < 0$  °C en été le long des sections du PMZA Île Seal, White Bay, Bonavista et bonnet flamand (Cyr *et al.* 2021). Pour le golfe, le volume d'eau ayant  $T < 1$  °C observé en août-septembre est utilisé (Galbraith *et al.* 2021a). Puisque la CIF atteint le fond du plateau madelinien dans le sud du golfe, la superficie du fond occupée par des eaux plus froides que 1 °C lors du relevé de septembre est aussi utilisée comme indice de la CIF (Galbraith *et al.* 2021a). Les indices de la CIF rapportés ici sont pris à peu près au même moment dans leurs cycles annuels respectifs, mais pas simultanément entre eux.

Préalablement aux observations faites en 2021, le volume de la CIF du golfe du Saint-Laurent et celui du plateau néo-écossais étaient à des niveaux records minimums en 2012, ce qui représente des conditions chaudes records. Bien que les conditions aient été plus chaudes que la normale dans les transects de Terre-Neuve-et-Labrador en 2011 et 2013, elles ont été suivies de conditions normales à plus froides que la normale de 2014 à 2017. En 2021, les conditions de la CIF étaient plus chaudes que la normale et d'étendue limitée aux endroits où elles étaient mesurées, par un quasi-record de +2,1 ÉT sur la ligne de l'île Seal et de +3,1 ÉT dans le sud du golfe où la superficie du fond ayant des températures inférieures à 1 °C en septembre était à un niveau record (depuis 1964) de seulement un tiers de la moyenne climatologique. Le volume des eaux de la CIF plus froides que 1 °C en août/septembre dans le golfe du Saint-Laurent était à un niveau record. Les mesures de la CIF habituellement présentées pour le plateau néo-écossais n'ont pas été faites en raison d'un échantillonnage limité et par conséquent son record de 2012 demeure.

### Glace de mer

Comme la CIF et le couvert de glace de mer sont tous deux formés en hiver, il n'est pas surprenant que les indices pour les deux soient bien corrélés entre eux et avec la température de l'air en hiver, et qu'ils démontrent la nature advective des propriétés sur le plateau de Terre-Neuve-et-Labrador. Le volume moyen saisonnier de glace de mer sur le plateau de Terre-Neuve-et-Labrador est corrélé avec la superficie de la CIF plus au sud le long du transect Bonavista (1981–2020,  $R^2 = 0,70$ ) tandis que les paramètres décrivant la glace sur le plateau de Terre-Neuve sont corrélés avec la température de décembre à mars plus au nord à Cartwright (1981-2019,  $R^2 = 0,65-0,81$ ; Cyr *et al.* 2021). Dans le golfe du Saint-Laurent, la corrélation entre la température de l'air de décembre à mars moyennée sur plusieurs stations météorologiques côtières et le volume maximal annuel de glace atteint  $R^2 = 0,73$  (1969–2021). La température de l'air est également bien corrélée à la superficie et à la durée du couvert de glace de mer ( $R^2 = 0,79-0,82$ ; Galbraith *et al.* 2021a). La sensibilité du couvert de glace du golfe du Saint-Laurent aux changements climatiques peut par conséquent être estimée en utilisant les changements de température de l'air et de glace de mer qui indiquent des pertes de 18 km<sup>3</sup>, de 31 000 km<sup>2</sup> et de 13 jours pour chaque augmentation de 1 °C de la température de l'air en hiver (Galbraith *et al.* 2021a).

L'état de la glace de mer sur le plateau de Terre-Neuve-et-Labrador est fourni par un indice qui englobe la durée et la superficie maximale saisonnière dans trois régions : le nord et le sud du plateau du Labrador et le plateau de Terre-Neuve (Cyr et Galbraith 2021).

Au cours de la dernière décennie, les conditions de glace sur le plateau de Terre-Neuve-et-Labrador, le golfe du Saint-Laurent et le plateau néo-écossais ont généralement été plus faibles que la normale (à l'exception d'un rebond de 2014 à 2017 sur le plateau de Terre-Neuve-et-Labrador lorsque de fortes conditions de glace de mer ont été observées) et ont atteint un niveau record dans le golfe du Saint-Laurent en 2021 et l'indice le plus faible sur le plateau de Terre-Neuve-et-Labrador en 2011 (Figure 7). Au cours de la période de douze ans entre 2010 et 2021, le volume moyen saisonnier de la glace de mer dans le golfe avait huit des douze valeurs les plus basses de la série, tandis que le plateau de Terre-Neuve-et-Labrador avait cinq des douze indices les plus bas (dont 2020 et 2021). En 2021, l'indice de glace de mer de Terre-Neuve-et-Labrador était inférieur à la normale (-1,7 ÉT) et le 3<sup>e</sup> plus bas de la série chronologique. Le volume de glace de mer moyen saisonnier dans le golfe du Saint-Laurent était à un niveau record (depuis 1969; -1,4 ÉT) et le volume de glace exporté sur le plateau néo-écossais était proche de zéro (0,46 km<sup>3</sup>; -0,8 ÉT).

### Températures des eaux profondes et sur le fond

Les changements interdécennaux de température, de salinité et d'oxygène dissous dans les eaux profondes du GSL, du plateau néo-écossais et du golfe du Maine sont liés à la proportion variable de leurs sources d'eau : les eaux du courant du Labrador qui sont froides, de faible salinité et riches en oxygène dissous, et les eaux du talus qui sont plus chaudes, plus salées et moins riches en oxygène dissous. La couche d'eau sous 150 m de profondeur du golfe, situé sous la CIF, provient de l'entrée du chenal Laurentien et circule vers les têtes des chenaux Laurentien, Anticosti et Esquiman en environ trois à quatre ans à 300 m après avoir passé le détroit de Cabot, avec un échange limité avec les eaux moins profondes. Les parties les plus profondes du plateau néo-écossais et du golfe du Maine sont également reliées au talus par des canaux profonds. Les variations du transport océanique vers l'ouest des eaux de la région de Terre-Neuve ont un effet important sur les masses d'eau des bassins profonds du plateau néo-écossais, avec une augmentation du transport dans le col flamand associée à des températures et salinités sous la normale sur le plateau néo-écossais et dans le golfe du Maine. Les bassins profonds tels que le bassin d'Émeraude subissent une très grande variabilité interannuelle et interdécennale de la température de l'eau sur le fond associée à des événements de renouvellement profond. Des changements plus réguliers associés à la circulation sont observés dans la température de l'eau sur le fond dans le centre et l'est du plateau néo-écossais (Divisions 4W et 4Vs de l'OPANO, respectivement). La bathymétrie dans ces zones est répartie de manière assez uniforme de 30 m à 170 m, avec 4Vs qui comprend des profondeurs atteignant 400–450 m de profondeur dans le chenal Laurentien. Ces deux zones sont donc affectées par les eaux de la CIF ainsi que par les eaux plus profondes.

En 2021, les températures sur le fond étaient sensiblement au-dessus de la normale dans toute la zone, y compris un record de série de la température au fond à moins de 200 m dans le nord du golfe en août et un record de série dans 3Ps au printemps, au sud de Terre-Neuve (Figure 7). Cependant, aucune mesure n'a été effectuée sur le plateau néo-écossais en raison d'un relevé annulé. Il y a eu de nouveaux records centenaires de haute température pour le golfe à 150, 200, 250 et 300 m qui se reflètent dans la température moyenne du fond du nord du golfe à plus de 200 m. Le réchauffement récent des eaux profondes du golfe a débuté par une anomalie chaude observée pour la première fois dans le détroit de Cabot en 2010 et qui s'est propagée vers les têtes des chenaux, soutenues par des apports d'eau chaude ultérieurs.

### Ruissellement et stratification

Le ruissellement d'eau douce dans le golfe du Saint-Laurent, particulièrement dans l'estuaire du Saint-Laurent, influe fortement sur la circulation, la salinité et la stratification (et donc les températures de la couche de surface) dans le golfe et sur le plateau néo-écossais. Notre produit décrivant le débit a changé dans cette édition du rapport. Il est maintenant basé sur une estimation du débit quotidien à Québec qui est ensuite décalé de trois semaines pour tenir compte du temps de transit vers l'estuaire. Il est ensuite combiné avec une sortie de modèle hydrologique de bassin versant des rivières qui s'écoulent dans l'estuaire. La variabilité interannuelle de la stratification saisonnière (mai-octobre, 0–50 m) à la station Rimouski dans l'estuaire est fortement corrélée au ruissellement saisonnier moyen du fleuve Saint-Laurent (1991–2021;  $R^2 = 0,58$ ; Figure 8). Le ruissellement moyen de 2021 était bien au-dessous de la normale à  $16\ 100\ \text{m}^3\text{s}^{-1}$  (- 1,3 ÉT).

La stratification sur le plateau néo-écossais était près la normale en 2021 (+ 0,1 ÉT). Depuis 1948, il y a eu une augmentation de la stratification moyenne sur le plateau néo-écossais, entraînant une variation de la différence de densité entre 0 et 50 m de  $0,38\ \text{kg}\ \text{m}^{-3}$  sur 50 ans (Figure 8). Ce changement dans la stratification moyenne est dû principalement à une



diminution de la densité de surface, composé de manière égale de réchauffement et de baisse de la salinité. La stratification était sous la normale à la station de Rimouski (- 1,4 ÉT), la valeur la plus faible depuis 2001, concordant avec le faible débit du fleuve Saint-Laurent (Figure 8).

### **Conditions aux stations d'échantillonnage à haute fréquence**

Aux sites d'échantillonnage à haute fréquence, les températures moyennes saisonnières au fond et celles moyennées de 0-50 m étaient toutes supérieures à la normale, y compris des records de séries dans une ou les deux mesures à toutes les stations sauf à Halifax 2 (Figure 9). Toutes sauf Halifax 2 avaient des records de température moyenne de 0-50 m et les stations Rimouski et Vallée de Shediac avaient toutes deux des records de température au fond. Les records de température de surface de septembre à novembre dans l'estuaire (voir ci-dessus) ne se limitaient pas aux eaux de surface; la station Rimouski a enregistré des températures moyennes 0-50 et 0-100 m plus élevées au cours de ces trois mois qu'en août, indiquant un événement important dans la circulation estuarienne. La température au fond a lentement augmenté au cours des dernières années à Rimouski et l'on s'attendait à ce qu'elle franchisse le seuil de 6 °C en 2021. La température a plutôt bondi brusquement dans la fourchette de 6,15 °C à 6,20 °C au cours de l'hiver 2021.

La stratification était la plus faible depuis 2001 à la station Rimouski et inférieure à la normale à normale aux autres stations. Il n'y avait pas de tendance claire dans la salinité moyenne saisonnière de 0-50 m, car elle était inférieure à la normale à la station 27 et à Halifax 2, supérieure à la normale à Prince 5 et près de la normale à la station Rimouski où la stratification était inférieure à la normale.

### **Indice de transport du courant du Labrador**

L'indice de transport annuel moyen du courant du Labrador montre que le transport sur le talus de Terre-Neuve-et-Labrador est généralement en opposition de phase par rapport à celui du talus néo-écossais (Figure 7). Le transport était le plus fort au début des années 1990 et le plus faible au milieu des années 2000 sur le talus de Terre-Neuve-et-Labrador, et le contraire sur le talus néo-écossais. L'indice de transport est positivement et négativement corrélé avec l'indice hivernal de l'ONA sur le talus de Terre-Neuve-et-Labrador et sur le talus néo-écossais, respectivement. Le transport du courant du Labrador est demeuré près de la normale sur le talus de Terre-Neuve-et-Labrador et le transport des eaux du talus a été faible sur le talus néo-écossais depuis 2014 (-1,4 ET en 2021).

### **Sommaire**

Les eaux océaniques de surface de la zone atlantique pendant les mois sans glace ont plus ou moins suivi les tendances de réchauffement dues au changement climatique observées dans l'atmosphère. Les températures moyennes à la surface de la mer au cours des mois sans glace de 2021 étaient de normales à supérieures à la normale dans toute la zone, avec des records de séries saisonniers établis dans le nord du golfe et de l'estuaire, en partie dû à des températures exceptionnellement très élevées dans les 100 premiers mètres. Les hivers plus chauds ont également entraîné une diminution du couvert de glace de mer et une diminution des couches intermédiaires froides. La période de 2010 à 2021 a été caractérisée par des records minimums en 2012 pour les volumes de la CIF du golfe du Saint-Laurent et du plateau néo-écossais, ce qui représente des conditions chaudes records. Au cours de la dernière décennie, les volumes de glace sur le plateau de Terre-Neuve-et-Labrador, le golfe du Saint-Laurent et le plateau néo-écossais ont généralement été inférieurs à la normale et ont atteint un

niveau record minimum dans le golfe du Saint-Laurent en 2021 et sur le plateau de Terre-Neuve-et-Labrador en 2011.

Les températures des eaux profondes sur le plateau néo-écossais et dans le golfe du Saint-Laurent sont grandement influencées par une proportion croissante de l'eau du Gulf Stream par rapport à l'eau du Labrador. Alors que le plateau de Terre-Neuve-et-Labrador était caractérisé par des températures normales à au-dessus de la normale au début et à la fin de la période 2010–2020 avec des températures sous la normale en 2014–2017, presque toutes les anomalies étaient supérieures à la normale sur le plateau néo-écossais et dans le nord du golfe pendant cette période. Des records de série ont été enregistrés pendant cette période dans le plateau central (4W) et l'ouest (4X) du plateau néo-écossais, le bassin de Georges (200 m), le bassin d'Émeraude (250 m), au sud de Terre-Neuve (3Ps), les eaux moins profondes (< 200 m) du nord du golfe, ainsi qu'un record de plus de 100 ans dans les eaux profondes du nord du golfe du Saint-Laurent (> 200 m) et le détroit de Cabot (300 m)

La figure 10 montre quatre séries temporelles d'indices composites annuels construites comme la moyenne des anomalies montrées précédemment, représentant l'état des différentes composantes du système, chaque contribution de série chronologique étant représentée par des barres empilées. Les composants décrivent les températures de surface et de fond de la mer, ainsi que la couche intermédiaire froide et le volume de glace de mer qui sont tous deux formés en hiver. Deux indices de température de fond regroupent les zones avec des eaux plus froides affectées par les conditions de la CIF et des eaux qui sont plus profondes que la CIF. Ces quatre indices composites mesurent l'état global du système climatique avec des valeurs positives représentant des conditions chaudes et négatives représentant des conditions froides (par exemple, moins de glace de mer et les superficies et volumes moindres de la CIF sont traduits en anomalies positives). Les indices cumulés donnent également une idée du degré de cohérence entre les différentes mesures des conditions environnementales et les différentes régions de la zone. Les anomalies de température de surface sont pondérées selon leur superficie (par contre pas selon le nombre de mois qui entre dans chacune des moyennes), et chacun des quatre indices est pondéré pour les valeurs manquantes. En moyenne sur la zone, les conditions en 2021 étaient au-dessus de la normale et 3e plus élevées pour les températures de surface, à un record chaud pour les anomalies de la CIF et de la glace de mer ainsi que pour les températures de fond plus profondes que la CIF (les eaux plus chaudes), mais ce dernier indice manque plusieurs composants pour 2021. Les températures de fond influencées par la CIF sont les plus chaudes de la série en égalité avec 2011. Un total de 44 indices répertoriés dans les figures 7 et 9 décrivent les conditions océaniques liées à la température dans la zone en 2021 (SST; glace; superficie, volumes et minimum de température de la CIF d'été; température au fond; température moyenne de 0 à 50 m). Parmi ceux-ci, aucun n'a présenté des conditions plus froides que la normale, 3 étaient dans les valeurs normales ( $\pm 0,5$  ÉT) et 41 étaient au-dessus de la normale, indiquant la poursuite de conditions océanographiques plus chaudes que la normale en 2021 dans une grande partie de la zone atlantique malgré un indice NAO près de la normale.

## Environnement biogéochimique

Les niveaux trophiques inférieurs sont les composantes des réseaux trophiques marins qui transfèrent l'énergie solaire vers les animaux du niveau trophique supérieur comme les mollusques et crustacés (p. ex. crabes, homards, pétoncles et moules), les poissons (p. ex. capelan, morue, hareng et flétan), les mammifères marins. (p. ex. les phoques et les baleines), reptiles (tortues luths et caouannes) et les oiseaux de mer. Les organismes du niveau trophique inférieur comprennent le phytoplancton et le zooplancton. Le phytoplancton est une plante

microscopique qui forme la base du réseau trophique aquatique et occupe une position similaire à celle des plantes terrestres sur le réseau trophique terrestre. Le zooplancton est formé d'une grande variété de petits animaux de 0,2 à 20 mm de longueur qui dérivent avec les courants océaniques. Il y a une grande variation dans la taille du phytoplancton, de grandes diatomées aux petits flagellés, chaque taxon remplissant une fonction écologique différente. Le phytoplancton est la principale source de nourriture du zooplancton, qui constitue le lien critique entre le phytoplancton et les organismes plus gros. Il existe de nombreux types d'animaux dans la communauté du zooplancton, tels que les copépodes, les filtreurs gélatineux et les prédateurs, ainsi que les stades larvaires éphémères des invertébrés benthiques. Comme pour le phytoplancton, il existe un grand éventail de tailles dans le zooplancton. Les petits stades et les petites espèces sont les proies principales des jeunes stades de poissons et les copépodes plus gros sont consommés principalement par les poissons juvéniles et adultes qui se nourrissent près de la surface.

La productivité des écosystèmes marins dépend de la photosynthèse, de la synthèse de la matière organique issue du dioxyde de carbone et des sels nutritifs dissous par le phytoplancton. La lumière fournit l'énergie nécessaire à la transformation des éléments inorganiques en matière organique. Le taux de croissance du phytoplancton dépend de la disponibilité de la lumière et des sels nutritifs sous forme d'azote (nitrates, nitrites et ammonium), de phosphore (phosphate) et de silice (silicate), ce dernier étant essentiel pour la production de diatomées. Au printemps, le phytoplancton subit une explosion en abondance connue sous le nom de floraison printanière. La floraison printanière se produit principalement dans les eaux proches de la surface. À l'automne, une floraison secondaire, moins intense que la floraison printanière, contribue également au fonctionnement de l'écosystème marin. Dans ce rapport, nous donnerons un compte rendu de la quantité de sels nutritifs disponibles pour le phytoplancton, la biomasse globale du phytoplancton et les caractéristiques importantes de la floraison printanière, ainsi que l'abondance de taxa clés de zooplancton d'après les données disponibles de 1999 à aujourd'hui.

Les indices des inventaires de nitrates, des inventaires d'abondance de phytoplancton, les caractéristiques de la floraison printanière du phytoplancton provenant des observations satellites, et l'abondance du zooplancton sur le plateau de Terre-Neuve (Maillet *et al.* 2019), dans le golfe du Saint-Laurent (Blais *et al.* 2021) et sur le plateau néo-écossais (Casault *et al.* 2022) sont résumés en séries chronologiques de valeurs annuelles sous forme matricielle dans les figures 11 à 14. Les anomalies sont calculées en utilisant une référence climatologique 1999–2020 pour les paramètres biogéochimiques dérivés des observations *in situ* lors des relevés océanographiques saisonniers, et 2003–2020 pour les paramètres de floraison printanière dérivés des observations satellitaires de la couleur de l'eau.

Bien que les séries chronologiques relativement courtes des variables biogéochimiques du programme tendent à mettre en évidence le degré élevé de variabilité interannuelle de l'information plutôt que les tendances à long terme apparentes pour l'environnement physique, il y a eu des changements distincts pour plusieurs variables au cours des dernières années. Il y a aussi un certain degré de synchronie dans les modèles de variation des variables biogéochimiques individuelles dans les régions adjacentes, et le signe des anomalies tend à persister pendant plusieurs années, bien que dans certains cas, il puisse y avoir une variabilité considérable entre les sites à l'intérieur d'une région.

### **Sels nutritifs**

Dans les eaux du plateau continental, le nitrate, la forme dominante d'azote, est généralement le nutriment limitant pour la croissance du phytoplancton. La quantité de nitrate contenue dans

les eaux au-dessous de la couche de mélange de surface à des profondeurs de 50 à 150 m est appelée « inventaire des nitrates en eau profonde ». Généralement, cet inventaire n'est pas grandement influencé par la croissance du phytoplancton, il fournit donc un bon indicateur des ressources qui peuvent être mélangées dans la colonne d'eau pendant l'hiver ou l'été et l'automne par les remontées d'eau et le mélange et ainsi devenir disponibles pour la croissance du phytoplancton. Les inventaires de nitrates et l'abondance relative des autres sels nutritifs dépendent principalement de l'origine des eaux constituant les eaux profondes des plateaux continentaux, qui peuvent varier d'une année à l'autre. Les inventaires profonds de nitrates (50 à 150 m) en 2021 étaient très variables dans la zone atlantique, avec des inventaires élevés sur le bonnet flamand, dans le nord-est et le centre du golfe du Saint-Laurent et sur le centre et l'est du plateau néo-écossais, y compris un record élevé sur la ligne Halifax (Figure 11). Les inventaires profonds de nitrate plus élevés dans le centre et l'est du plateau néo-écossais sont un renversement des conditions principalement faibles observées sur le plateau néo-écossais depuis 2016.

### Phytoplancton

Les inventaires de chlorophylle dans la couche de surface (entre 0 et 100 m) représentent la biomasse du phytoplancton. Ils démontrent un degré élevé de variabilité d'une année à l'autre, y compris des valeurs exceptionnelles supérieures ou inférieures à la moyenne à long terme (Figure 11). Une partie de cette variation est due au programme d'échantillonnage qui est relativement fixe dans le temps dans toute la zone alors que le cycle de production du phytoplancton peut varier annuellement en fonction des conditions environnementales.

Les inventaires annuels de chlorophylle *a* en 2021 étaient généralement inférieurs à la normale sur le plateau de Terre-Neuve-et-Labrador. Cependant, la fiabilité des variations interannuelles de cette mesure pour les données de 2021 du plateau de Terre-Neuve-et-Labrador est préoccupante en raison de l'échantillonnage limité et du peu d'activités sur le terrain à la période estivale lorsque la biomasse de phytoplancton est faible. Les inventaires de chlorophylle *a* supérieurs à la normale dans le golfe du Saint-Laurent, en particulier dans le nord-ouest du golfe, montrent un patron similaire à la période 2018-2020. Les inventaires principalement inférieurs à la normale sur le plateau néo-écossais en 2021 présentent un patron similaire à la période 2016-2020.

Étant donné que le phytoplancton dépend de la disponibilité des sels nutritifs et de la longueur croissante des séries chronologiques respectives, les variations des stocks de sels nutritifs semblent démontrer des tendances semblables à ceux de la biomasse du phytoplancton à l'échelle régionale. Bien que les inventaires de sels nutritifs fournissent un certain seuil pour limiter la dynamique de production saisonnière dans la zone, d'autres facteurs influencent probablement localement les dynamiques entre les sels nutritifs et le phytoplancton, et l'équilibre de ces facteurs est susceptible de différer à l'échelle spatiale du golfe de Maine jusqu'au sud du Labrador, qui comprend des environnements estuariens à océaniques.

Les caractéristiques de la floraison (début, durée et magnitude) fournissent des informations importantes sur les variations régionales de la productivité des écosystèmes et sont liées à la productivité des organismes qui dépendent des niveaux trophiques inférieurs. L'ampleur de la floraison printanière (la production totale) dépend en partie de la quantité de sels nutritifs qui est mélangée dans les eaux de surface au cours de l'hiver. Les caractéristiques de la floraison printanière du phytoplancton sont dérivées des observations composites journalières de la concentration de chlorophylle *a* à la surface de l'océan (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer [MODIS] 2003-2021; Figure 12). Le début de la floraison printanière de phytoplancton a été hâtif dans la majeure partie de la zone atlantique, à l'exception des Grands

Bancs, du sud de Terre-Neuve et du banc Georges. La magnitude de la floraison était inférieure à la normale sur le plateau de Terre-Neuve et le golfe du Saint-Laurent et supérieure à la normale dans la mer du Labrador, sur le plateau du Labrador et sur le plateau néo-écossais. La durée de la floraison a généralement diminué avec la latitude décroissante, avec des floraisons plus longues dans la mer du Labrador, sur le plateau du Labrador, dans le nord-est du golfe du Saint-Laurent et l'ouest du plateau néo-écossais, tandis que des floraisons normales ou plus courtes se sont produites dans d'autres parties de la l'Atlantique.

### Zooplancton

La structure de la communauté de zooplancton est fortement influencée par la profondeur, la température et la saison, et la complexité de la communauté diffère considérablement entre les trois biorégions de l'Atlantique nord-ouest. Malgré sa complexité et sa diversité dans différentes parties de la zone, quatre indices d'abondance fournissent de bons indicateurs de l'état de la communauté zooplanctonique. Les indices d'abondance du zooplancton démontrent un haut degré de cohérence à grande échelle spatiale dans leur signal à travers différentes parties de la zone atlantique. Les copépodes sont de loin le groupe le plus abondant, mais les organismes non copépodes contribuent également de manière significative à l'abondance totale du zooplancton. Deux taxons de copépodes servent à représenter différents groupes ayant des cycles de vie similaires : *Calanus finmarchicus* et *Pseudocalanus* spp. *Calanus finmarchicus* est un grand copépode omniprésent qui développe de grandes réserves d'énergie à des stades de développement ultérieurs et est donc une source riche de nourriture pour les poissons pélagiques et une espèce dominante par la biomasse dans une grande partie de la région. *Pseudocalanus* spp. sont de petits copépodes répandus dans toute la région Atlantique qui ont des réserves énergétiques beaucoup plus faibles que celles de *C. finmarchicus*, mais leurs caractéristiques biologiques sont généralement représentatives de petits taxons de la communauté des copépodes. Nous rapportons aussi sur la biomasse (poids sec) du zooplancton dans la fraction des tailles de 0,2 à 10 mm qui est généralement dominée par les copépodes.

Les forts changements dans la communauté de zooplancton observé en 2014–2018 caractérisée par une plus faible abondance du gros copépode *Calanus finmarchicus* riche en énergie et une plus grande abondance de petits copépodes et de non-copépodes, a modéré en 2019–2021 avec des augmentations de *Calanus finmarchicus* et des déclinés de certains petits copépodes, bien que l'abondance globale des non-copépodes soit demeurée élevée (Figure 13). En 2021, l'abondance des copépodes était inférieure à la normale sur le plateau de Terre-Neuve, dans l'est du golfe du Saint-Laurent et à Halifax 2, et supérieure à la normale dans l'ouest et le sud du golfe du Saint-Laurent. L'abondance des non-copépodes était proche de la normale sur le plateau de Terre-Neuve, dans l'est du golfe du Saint-Laurent et à Halifax 2, et supérieure à la normale dans le nord-ouest et le sud du golfe du Saint-Laurent. L'abondance de *Calanus finmarchicus* était généralement normale ou inférieure à la normale dans la majeure partie du plateau de Terre-Neuve, dans le golfe du Saint-Laurent et à Halifax 2. L'abondance de *Pseudocalanus* spp. était inférieure à la normale sur le plateau de Terre-Neuve et dans l'est du golfe du Saint-Laurent, et supérieure à la normale dans l'ouest et le sud du golfe du Saint-Laurent et à Halifax 2. Les données sur le zooplancton des lignes du plateau néo-écossais n'étaient pas disponibles en raison des possibilités d'échantillonnage limitées et des retards dans le traitement des échantillons.

La biomasse de zooplancton était principalement supérieure à la normale sur le plateau de Terre-Neuve et inférieure à la normale dans le golfe du Saint-Laurent et à Halifax 2, atteignant des niveaux record ou presque à plusieurs endroits dans chaque région (Figure 14). Dans l'ensemble, les changements récents dans la structure de la communauté zooplanctonique

continuent d'indiquer que des changements importants dans le flux d'énergie entre les niveaux trophiques inférieurs de l'écosystème marin dans les eaux du Canada atlantique ont lieu, mais les conséquences sur les niveaux trophiques supérieurs nécessiteront une enquête plus approfondie.

### Acidification des océans

Des paramètres d'acidification des océans sont mesurés dans le cadre du PMZA depuis l'automne 2014. Outre le pH, les états de saturation en carbonates de calcite et d'aragonite ( $\Omega_{\text{cal}}$  et  $\Omega_{\text{arg}}$ ) sont des mesures de l'acidification de l'océan qui indiquent le potentiel de précipitation/dissolution du carbonate. En dessous du seuil de 1, l'environnement est considéré comme sous-saturé et potentiellement corrosif pour les organismes qui construisent des coquilles de carbonate biogénique. L'état de saturation en carbonates diminue généralement avec la profondeur. Ainsi, les eaux profondes des talus ont tendance à avoir un  $\Omega$  plus faible que les eaux de fond des plateaux moins profonds. De 2020 à 2021, le pH près du fond dans le golfe du Saint-Laurent a montré une baisse générale, en particulier dans l'estuaire du Saint-Laurent. Sur le plateau de Terre-Neuve, alors que l'étendue spatiale de l'état de sous-saturation de l'aragonite survenue en 2020 sur la partie nord des Grands Bancs et dans le chenal d'Avalon s'est réduite, deux stations sur la partie nord-est des Grands Bancs montrent une diminution de  $\Omega_{\text{arg}}$  et du pH en 2021 par rapport à 2020 (Figure 15). Aucune donnée n'est disponible pour le plateau néo-écossais au cours de l'été 2021.

Pour le reste du plateau de Terre-Neuve-et-Labrador, les valeurs de pH au fond variaient de 7,8 à plus de 8 et montraient une variabilité spatiale considérable. La plupart des eaux de fond du golfe du Saint-Laurent, y compris le sud du golfe moins profond, étaient sous-saturées en aragonite. Les seules exceptions étaient certaines stations côtières dans le sud du golfe et près du détroit de Cabot et sur la côte ouest de Terre-Neuve. Les valeurs de pH et de  $\Omega$  les plus faibles ont été observées le long du chenal Laurentien profond, particulièrement dans l'estuaire du Saint-Laurent où la couche profonde (>300 m) était sous-saturée en aragonite et en calcite (les valeurs de pH étaient inférieures à 7,6 dans tout l'estuaire, avec une valeur minimum de 7,44) et représente une acidification accrue par rapport aux conditions de 2020. De plus, la saturation en oxygène à de nombreux sites d'échantillonnage est bien inférieure à 20 % (même proche de 13 % à certaines stations; Figure 15, panneau du bas) et a généralement diminué par rapport à 2020. Celles-ci correspondent à de nouveaux records de faible concentration d'oxygène pour l'estuaire maritime du Saint-Laurent, atteignant <1 mL/L à la Station Rimouski durant l'été.

À la surface, le pH et le  $\Omega_{\text{arg}}$  (non illustré) sont généralement plus bas sur le plateau de Terre-Neuve-et-Labrador et dans le golfe (particulièrement dans l'estuaire) que sur le plateau néo-écossais, principalement à cause de la température et/ou la salinité plus faible.

### Environnement de la mer du Labrador

Le Programme de monitoring de la zone atlantique au large du plateau continental (PMZAO) fournit des observations de la variabilité du climat océanique et du plancton affectant le climat et les écosystèmes de l'Atlantique canadien ainsi que le système climatique mondial. En 2021, en raison de multiples problèmes mécaniques sur le NGCC Hudson, le levé commencé le 19 mai a dû être annulé le 27 mai, sans occuper la ligne Atlantic Repeat 7-West (AR7W). De plus, les déploiements des flotteurs profilants Argo qui permettent de monitorer à l'année la variabilité de la température et de la salinité des conditions océanographiques dans la mer du Labrador ont été transférés au programme Amundsen Science.

Malgré l'indice ANO hivernal près de la normale en 2021, la convection dans la mer du Labrador a atteint la profondeur de 850 m cet hiver-là, soit la moins profonde depuis 2011 et la troisième moins profonde en au moins 32 ans (Figures 16 et 17). La température de l'air en hiver était supérieure à la normale et la perte de chaleur de surface inférieure à la normale, tandis que la superficie et l'étendue annuelles de la glace de mer étaient les plus basses depuis 2011 (Figure 7) et les troisièmes plus basses depuis au moins 42 ans. L'hiver doux et la convection océanique faible et peu profonde en 2021 sont dus à un effondrement du vortex polaire, qui à son tour a réduit la force des vents d'ouest, rendant l'hiver anormalement doux. En conséquence, l'océan profond est devenu légèrement plus chaud et moins dense qu'au cours des six années précédentes.

Les mesures biogéochimiques ne sont pas disponibles pour la mer du Labrador en 2021 en raison de l'annulation du relevé.

### Sources d'incertitude

Dans l'Atlantique nord-ouest, les patrons spatiaux et saisonniers des variables océanographiques physiques, chimiques et biologiques surveillées dans le cadre du PMZA sont demeurés relativement constants depuis le lancement du programme. Bien qu'il y ait des variations saisonnières relatives à la répartition des masses d'eau, des plantes et des animaux, ces variations affichent des patrons généralement prévisibles. Toutefois, il existe une incertitude considérable à l'égard des estimations de l'abondance générale du phytoplancton et du zooplancton. Cette incertitude est causée en partie par le cycle de vie des animaux, leur répartition éparse dans un espace donné et la portée limitée du programme de surveillance au sein de la région concernée.

Les variables océanographiques physiques (température, salinité) et chimiques (sels nutritifs, oxygène dissous) sont échantillonnées de façon adéquate puisqu'elles présentent des propriétés plutôt conservatrices qui sont peu susceptibles de montrer des changements précipités sur le plan spatial ou temporel. De plus, la mesure de ces variables est effectuée selon un bon degré de précision. La seule exception s'applique aux eaux de surface, où les changements rapides survenant dans l'abondance du phytoplancton peuvent causer rapidement l'appauvrissement des sels nutritifs, surtout lors de la floraison printanière.

La plus grande source d'incertitude découle de nos estimations d'abondance du phytoplancton en raison des difficultés liées à bien déterminer les variations de la date de début, de l'intensité et de la durée de la floraison printanière du phytoplancton d'une année à l'autre. L'abondance du phytoplancton peut changer rapidement sur des échelles temporelles s'étendant de quelques jours à plusieurs semaines. Puisque notre échantillonnage est limité en temps, est parfois interrompu en raison des intempéries ou limité par la non-disponibilité des navires, ce qui se produit souvent au cours de l'échantillonnage à nos stations à haute fréquence en hiver, il est possible que le phytoplancton et d'autres variables importantes ne soient pas échantillonnés de façon adéquate. De plus, les variations relatives à la date de la floraison printanière du phytoplancton dans l'ensemble de la zone en relation avec les dates des relevés océanographiques effectués au printemps peuvent limiter notre capacité à déterminer, d'une année à l'autre, les variations liées à l'abondance maximale du phytoplancton. En revanche, nous sommes davantage en mesure de décrire, d'une année à l'autre, les variations relatives à l'abondance des espèces dominantes de zooplancton puisque leur cycle saisonnier se déroule selon des échelles temporelles s'étendant de quelques semaines à plusieurs mois en raison de la longue durée de génération par rapport au phytoplancton. Cependant, la répartition spatiale du zooplancton varie davantage. Bien que l'on arrive à évaluer correctement les variations interannuelles de l'abondance des groupes dominants tels les copépodes, on ne peut

actuellement estimer avec confiance les variations de l'abondance d'espèces rares, éparses ou éphémères. L'annulation de relevés en 2020 (Covid) et 2021 a entraîné une incertitude accrue dans de nombreux indices océanographiques et peut modifier notre évaluation des changements interannuels des conditions océaniques, en particulier des variables biogéochimiques. Pour la mer du Labrador, la perte du relevé annuel en 2017 et 2021 signifie une absence de données *in situ* pour ces deux années. De plus, en 2019 et 2020, la disponibilité des navires ne permet l'occupation de l'AR7W qu'en dehors de la fenêtre horaire régulière, faisant de 2018 le seul relevé valide aux fins des séries chronologiques.

Dans plusieurs secteurs, l'occupation des stations d'échantillonnage à haute fréquence est particulièrement limitée durant l'hiver et au début du printemps, c'est pourquoi il nous arrive de ne pas être témoins d'événements majeurs du cycle saisonnier (p. ex., le début de la floraison printanière du phytoplancton).

## CONCLUSION

Alors que le passage à des conditions océaniques plus chaudes a eu lieu avant la mise en œuvre du PMZA, la température de l'eau a encore augmenté au cours des dix dernières années, atteignant des valeurs records à l'été 2012. En 2021, les températures de surface étaient les 3<sup>e</sup> plus élevées de la série chronologique qui a commencé en 1982. Le volume moyen de la glace de mer en hiver était à un niveau record dans le golfe du Saint-Laurent et les conditions de la glace de mer étaient les 3<sup>e</sup> plus faibles (c.-à-d. plus chaudes) de la série chronologique sur le plateau de Terre-Neuve-et-Labrador. Conformément à cela, les conditions estivales de la couche intermédiaire froide étaient plus chaudes et plus minces que la normale, y compris plusieurs records de séries dans le golfe du Saint-Laurent et un quasi record dans la section de l'île Seal. Les températures au fond ont été considérablement au-dessus de la normale dans toute la zone, y compris des records dans le nord du golfe du Saint-Laurent et au large du sud de Terre-Neuve.

Les patrons de variation des paramètres biogéochimiques semblent dominés par des fluctuations à court terme, compte tenu de la série chronologique de vingt-trois ans initiée en 1999. Cependant, il existe des évidences de changements pluriannuels au cours des dernières années. L'état actuel de l'environnement biogéochimique montre une certaine structuration spatiale à travers la zone atlantique. Dans l'ensemble, il semble y avoir eu des changements dans la productivité des niveaux trophiques inférieurs au cours des dernières années. Après une période de déclin général des stocks de nutriments et de chlorophylle et de la biomasse globale du zooplancton qui indiquait un potentiel de production de l'écosystème plus faible, les mesures des nutriments et du phytoplancton étaient plus mitigées en 2021, malgré des records de températures élevées. De plus, il y a eu une modération continue dans le changement de la structure de la communauté zooplanctonique des grands copépodes riches en lipides vers des taxons plus petits et des non-copépodes.

Dans la mer du Labrador, la convection a atteint 850 m, la moins profonde depuis 2011 et la 3<sup>e</sup> moins profonde en 32 ans ou plus. La superficie et l'étendue de la glace de mer étaient les plus basses depuis 2011 et les 3<sup>e</sup> plus basses depuis plus de 42 ans.



**LISTE DES PARTICIPANTS DE LA RÉUNION**

Nom	Affiliation
Bélanger, David	MPO, Sciences – Région de Terre-Neuve-et-Labrador
Boivin-Rioux, Aude	MPO, Sciences – Région du Québec
Brickman, David	MPO, Sciences – Région des Maritimes
Casault, Benoit	MPO, Sciences – Région des Maritimes
Caverhill, Carla	MPO, Sciences – Région des Maritimes
Chassé, Joël	MPO, Sciences – Région du Golfe
Clay, Stephanie	MPO, Sciences – Région des Maritimes
Cogswell, Andrew	MPO, Sciences – Région des Maritimes
Cyr, Frédéric	MPO, Sciences – Région de Terre-Neuve-et-Labrador
Devred, Emmanuel	MPO, Sciences – Région des Maritimes
Dumas, Jacqueline	MPO, Sciences – Région du Québec
Fife, Jack	MPO, Sciences – Région des Maritimes
Galbraith, Peter	MPO, Sciences – Région du Québec
Hebert, Dave	MPO, Sciences – Région des Maritimes
Johnson, Catherine	MPO, Sciences – Région des Maritimes
Lambert, Nicolas	MPO, Sciences – Région du Golfe
Lehoux, Caroline	MPO, Sciences – Région du Québec
Maillet, Gary	MPO, Sciences – Région de Terre-Neuve-et-Labrador
Penney, Jared	MPO, Sciences – Région de Terre-Neuve-et-Labrador
Pepin, Pierre	MPO, Sciences – Région de Terre-Neuve-et-Labrador
Plourde, Stéphane	MPO, Sciences – Région du Québec
Riche, Olivier	MPO, Sciences – Région du Québec
Ringuette, Marc	MPO, Sciences – Région des Maritimes
Shaw, Jean-Luc	MPO, Sciences – Région du Québec
Starr, Michel	MPO, Sciences – Région du Québec
Yashayaev, Igor	MPO, Sciences – Région des Maritimes

**SOURCES DE RENSEIGNEMENTS**

Le présent avis scientifique découle de la réunion sur les avis scientifiques zonale du 21 au 23 mars 2022, vingt-quatrième réunion annuelle du Programme de monitoring de la zone atlantique (PMZA). Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le [calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada](#).

Blais, M., Galbraith, P.S., Plourde, S., Devred, E., Clay, S., Lehoux, C. and Devine, L. 2021. [Les conditions océanographiques chimiques et biologiques dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent en 2020](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2021/060. iv + 70 p.

Casault, B., Johnson, C., Devred, E., Head, E., Beazley, L., et Spry, J. 2022. [Conditions océanographiques optiques, chimiques et biologiques sur le plateau néo-écossais et dans l'est du golfe du Maine en 2020](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2022/018. v + 86 p.

Cyr, F. et Galbraith, P.S. 2021. [A climate index for the Newfoundland and Labrador shelf](#). Earth Syst. Sci. Data, 13, 1807-1828. 2021.

- 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.
- 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. 2021. [A sea-surface temperature homogenization blend for the Northwest Atlantic](#). Can. J. Remote Sensing. DOI: 10.1080/07038992.2021.1924645.
- 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
- Maillet, G., Bélanger, D., Doyle, G., Robar, A., Fraser, S., Higdon, J., Ramsay, D. et P. Pepin. 2019. [Conditions optiques, chimiques et biologiques de l'océan sur le plateau de Terre-Neuve-et-Labrador au cours de 2016-2017](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2019/055. ix + 40 p.
- Therriault, J.-C., Petrie, B., Pepin, P., Gagnon, J., Gregory, D., Helbig, J., Herman, A., Lefavre, D., Mitchell, M., Pelchat, B., Runge, J., and Sameoto, D. 1998. Proposal for a northwest Atlantic zonal monitoring program. Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 194: vii+57p.

ANNEXE – FIGURES

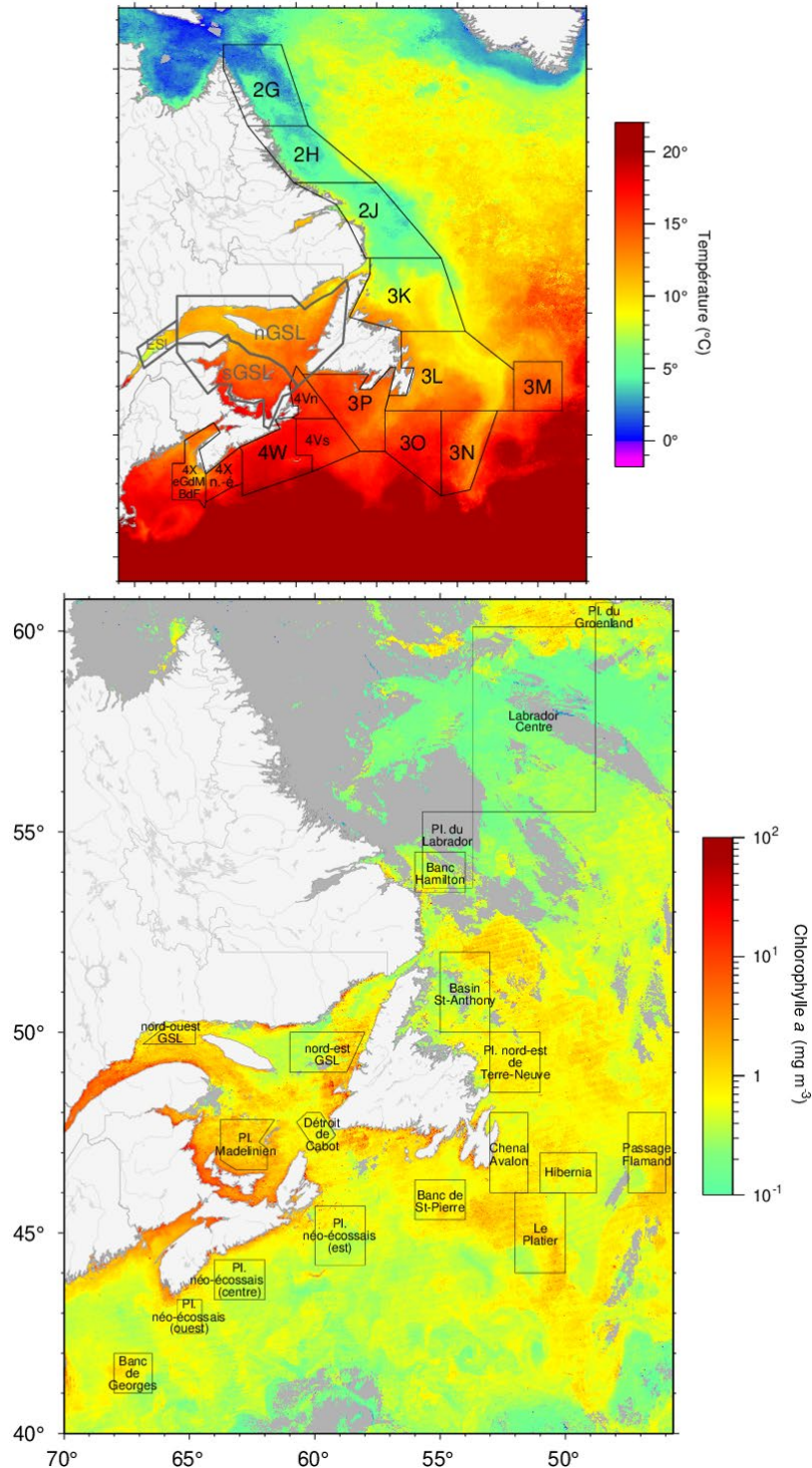


Figure 2. Régions utilisées pour les moyennes de température (haut) et de couleur de l'eau (bas). Les Divisions de l'OPANO ont été coupées au talus continental. Les acronymes GSL et ESL sont le golfe du Saint-Laurent et l'estuaire du Saint-Laurent respectivement. Le champ de température est celui de septembre 2021 tandis que la concentration de chlorophylle a est pour la seconde demie d'avril 2021.

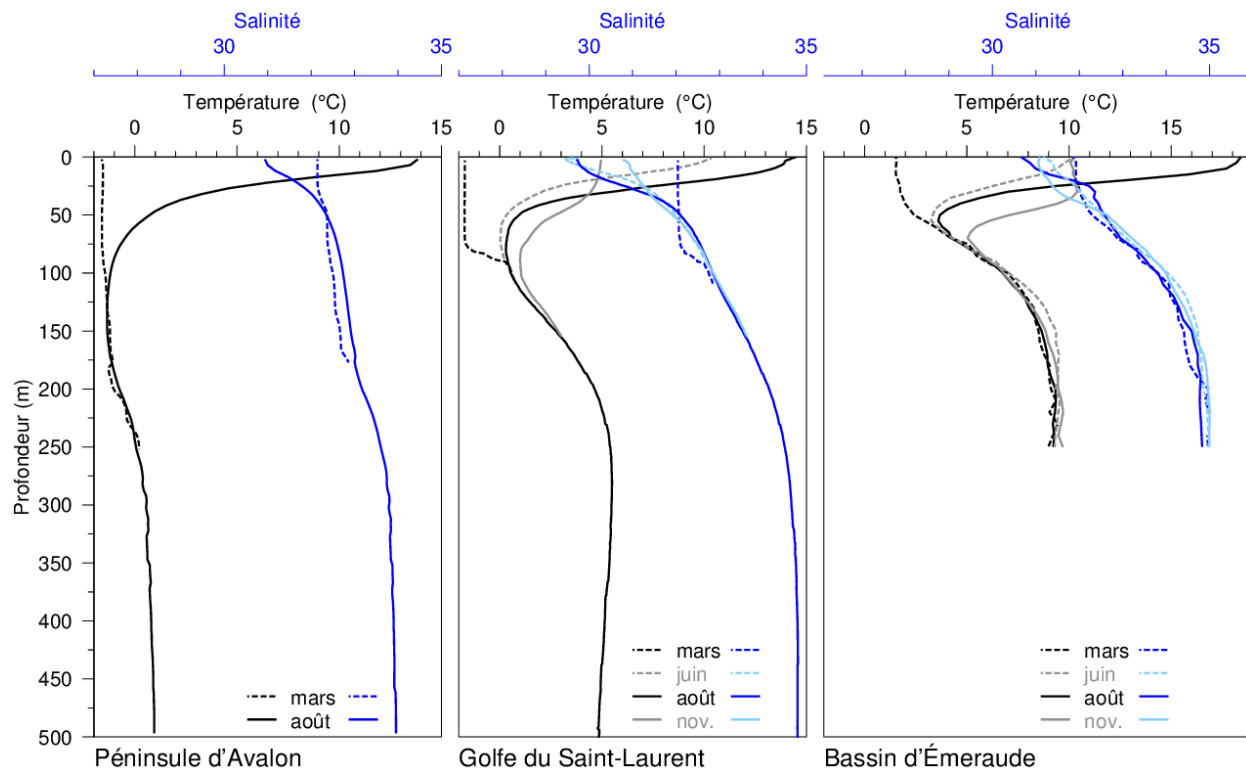


Figure 3. Progression saisonnière typique du profil de profondeur de la température et de la salinité observée dans trois régions représentatives de la zone. La région de la péninsule d'Avalon est délimitée par 45–50 °N et 50–55 °O et sont montrées ici les moyennes des profils de mars et août entre 2015 et 2017, calculées respectivement à partir de 5 et 302 profils. Les profils du golfe du Saint-Laurent sont des moyennes d'observations en juin, août et novembre 2007 dans le nord du golfe, tandis que le profil de mars montre un seul profil de température hivernale (mars 2008) avec des températures près du point de congélation dans les 75 premiers mètres. Les profils du bassin d'Émeraude sont des moyennes climatologiques mensuelles pour la période 1981–2010.



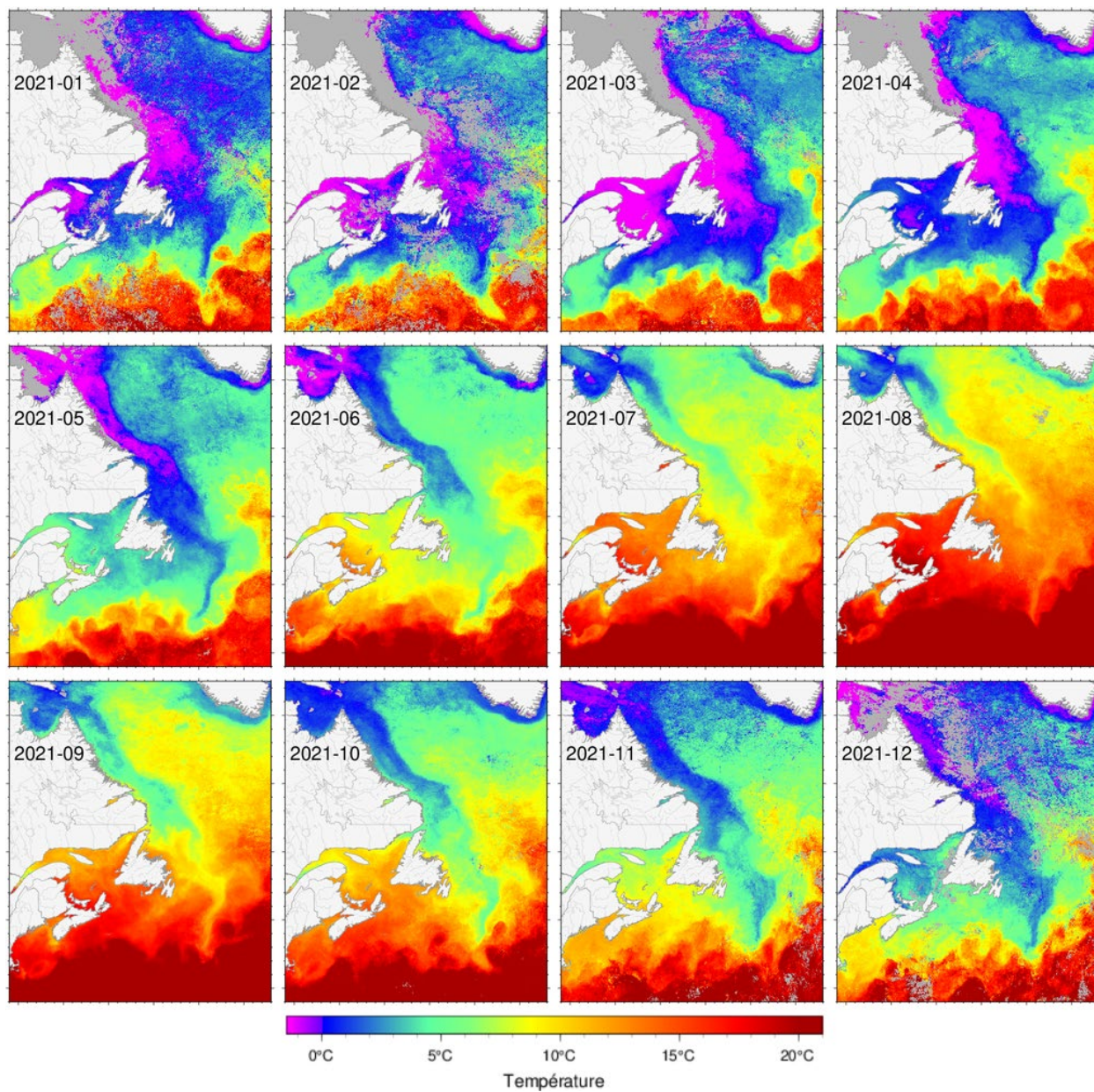


Figure 4. Température de la surface de la mer moyennée par mois de 2021 dans la zone atlantique.



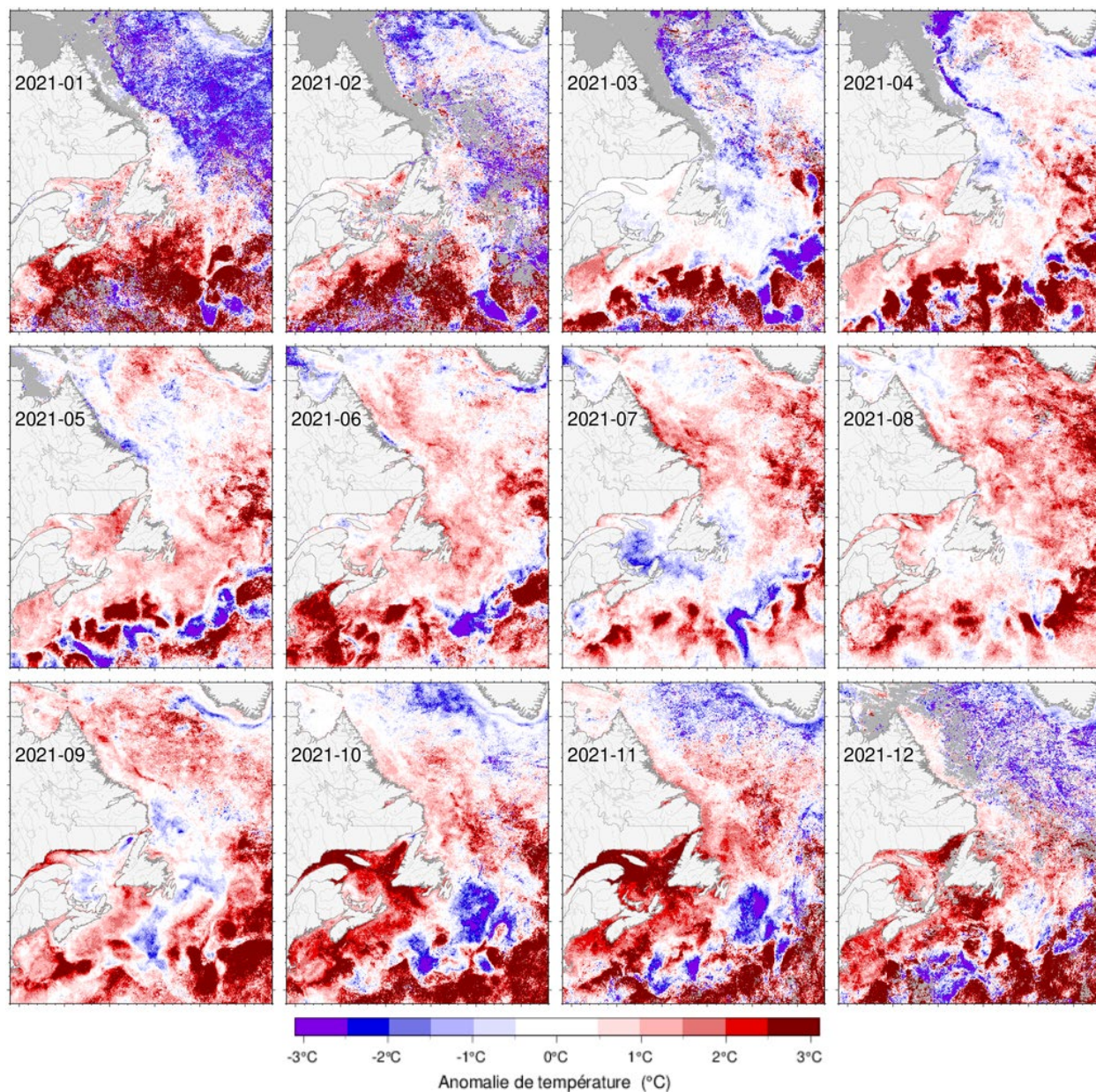


Figure 5. Anomalies mensuelles de température de la surface de la mer en 2021 dans la zone atlantique. Les anomalies de température sont basées sur une climatologie de 1985–2010 et non la climatologie de 1991–2020 utilisée partout ailleurs dans ce document.

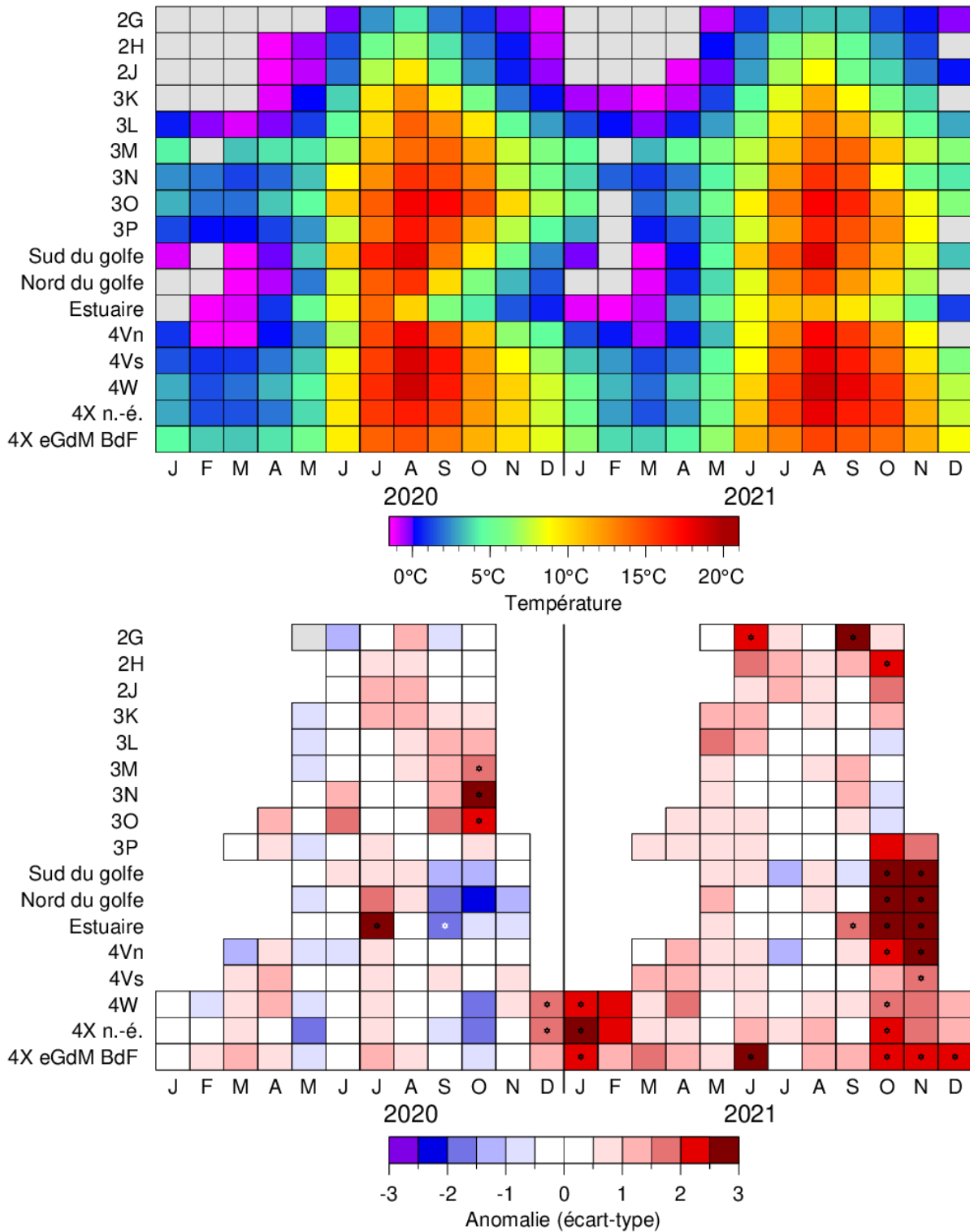


Figure 6. Températures (haut) et anomalies (bas) de la surface de la mer en 2020–21 moyennées mensuellement sur les 17 régions identifiées à la Figure 2. Les régions et mois pour lesquels la température moyenne était à un niveau record sont identifiés par une étoile. Les cases grises n'ont pas de données suffisantes pour rapporter une anomalie mensuelle moyenne (<7 %).

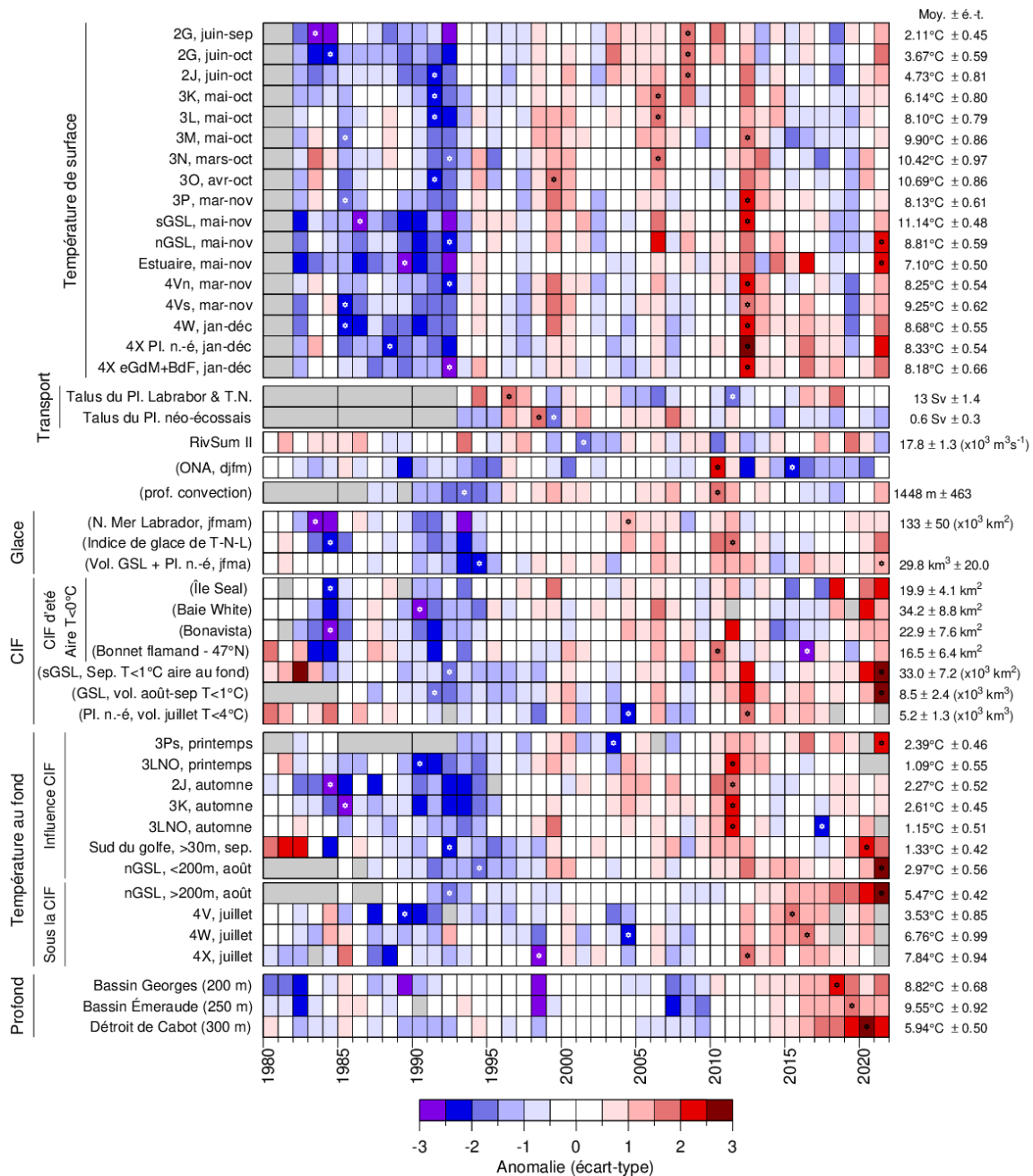


Figure 7. Série temporelle (de 1980 à 2021) des variables océanographiques. Une cellule grise indique une donnée manquante, une cellule blanche une valeur entre 0,5 écart-type de la moyenne à long terme calculée, lorsque possible, sur les données de 1991 à 2020. Les cellules rouges indiquent des conditions plus élevées que la normale, les cellules bleues plus basses que la normale. Les variables dont les noms apparaissent entre parenthèses ont un code de couleur inversé, où le rouge signifie une valeur basse qui correspond à des conditions chaudes. Les teintes plus fortes correspondent aux plus grandes anomalies. Les minimums et maximums des séries temporelles sont indiqués par des étoiles lorsqu'ils surviennent durant la période affichée. Les moyennes et écarts-types sont présentés à droite de la figure. (RivSum II est le débit d'eau douce combinée s'écoulant dans l'estuaire du Saint-Laurent, oscillation nord-atlantique [ONA], golfe du Saint-Laurent [GSL], plateau néo-écossais [Pl. n.-é.], sud du golfe du Saint-Laurent [sGSL], nord du golfe du Saint-Laurent [nGSL], couche intermédiaire froide [CIF]).



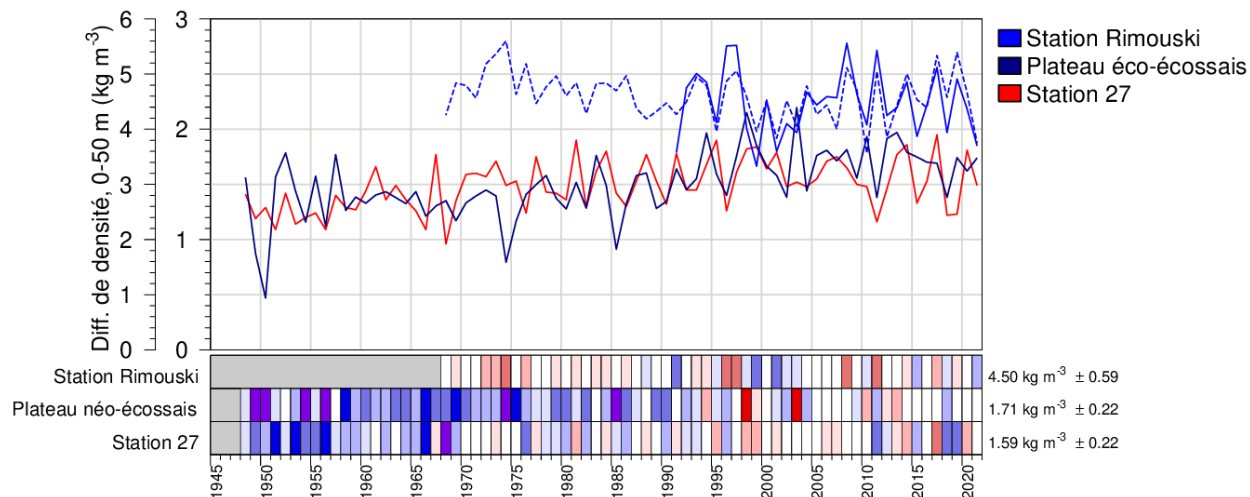


Figure 8. Tendances de la stratification dans le sud du plateau de Terre-Neuve-et-Labrador (moyenne mai-novembre à la station 27), sur le plateau néo-écossais et dans l'estuaire du Saint-Laurent (moyenne mai-octobre à la station Rimouski). L'axe interne est pour la Station 27 et le plateau néo-écossais, tandis que l'axe externe est pour la station Rimouski. La ligne pointillée pour la station de Rimouski est une approximation basée sur le débit d'eau douce de mai à octobre. Les trois lignes du bas montrent des anomalies normalisées basées sur les climatologies 1991–2020. Les cellules grises indiquent des données manquantes, les cellules blanches indiquent des conditions près de la normale à l'intérieur de 0,5 écart-type de la moyenne climatologique, les cellules rouges indiquent des conditions plus élevées que la normale et les cellules bleues sous la normale. Les teintes plus fortes correspondent à de plus grandes anomalies.

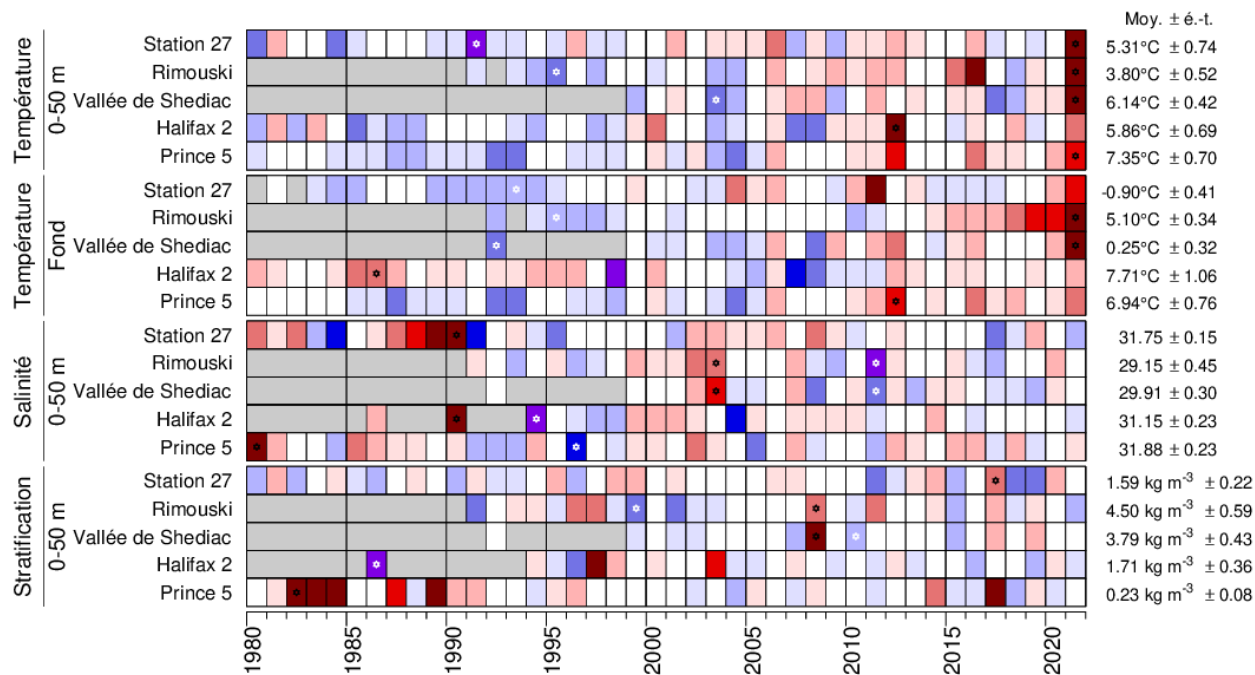


Figure 9. Séries temporelles (de 1980 à 2021) des variables océanographiques aux stations à haute fréquence d'échantillonnage du PMZA. Les moyennes sont annuelles à Halifax 2 et Prince 5, de mai à novembre à la Station 27 et de mai à octobre à la station Rimouski. Une cellule grise indique une donnée manquante, une cellule blanche une valeur à l'intérieur de 0,5 écart-type de la moyenne à long terme calculée, lorsque possible, sur les données de 1991 à 2020. Pour la température moyenne sur la profondeur aux stations fixes, les cellules rouges indiquent des conditions plus chaudes que la normale, les cellules bleues plus froides que la normale. Les teintes plus fortes correspondent aux plus grandes anomalies. Pour la salinité et la stratification, le rouge correspond aux conditions au-dessus de la normale. Les minimums et maximums des séries temporelles sont indiqués par des étoiles lorsqu'ils surviennent durant la période affichée. Les moyennes et écarts-types climatologiques sont présentés à droite de la figure. La palette est telle qu'aux Figures 6 et 7.

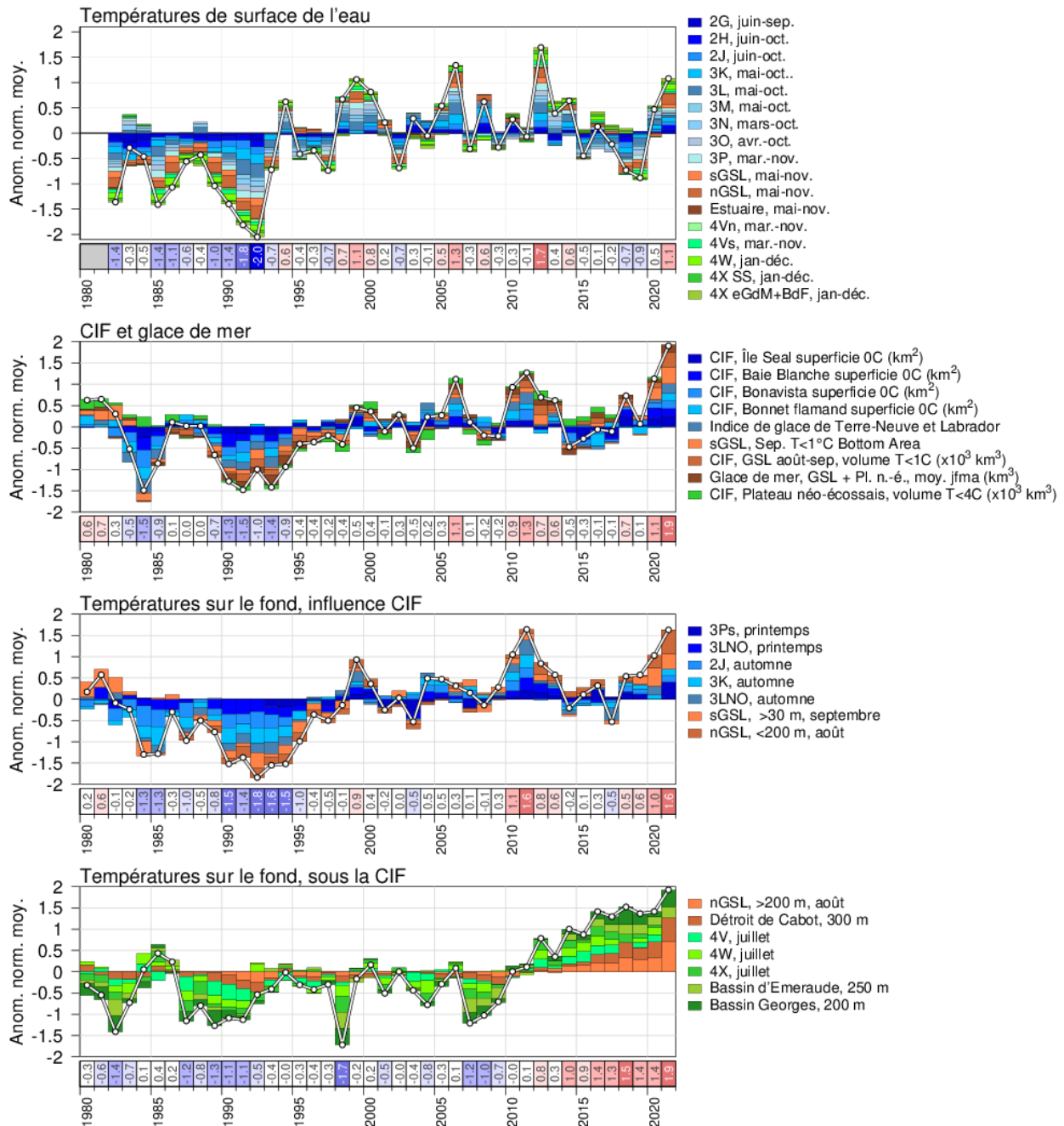


Figure 10. Indices climatiques composites (lignes blanches et symboles blancs) calculés par la moyenne des anomalies normalisées provenant de différentes parties de l'environnement (les boîtes empilées au-dessus de l'abscisse sont des anomalies positives tandis que celles sous l'abscisse sont négatives). Le panneau du haut montre la moyenne des anomalies de température de surface de l'eau pondérées par leurs superficies, le second la moyenne des anomalies de couches intermédiaires froides et de glace de mer (des anomalies positives représentent ici des conditions chaudes), et les panneaux du bas la moyenne des anomalies de température sur le fond d'influence de la CIF et, plus profondes, sous la CIF.

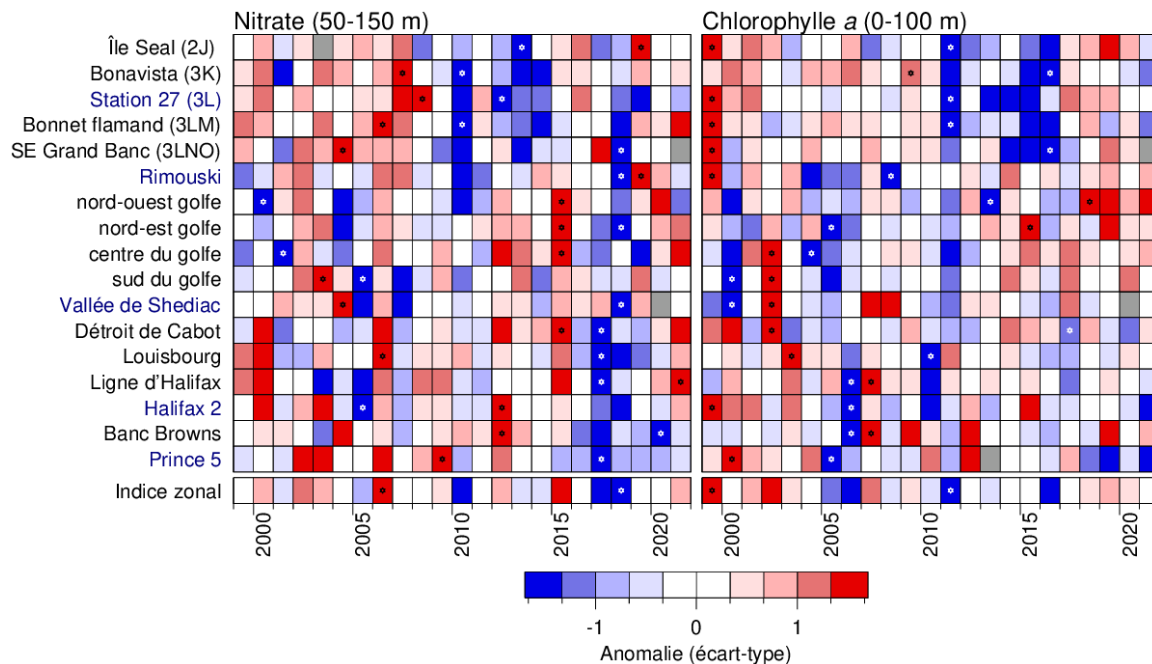


Figure 11. Séries temporelles (de 1999 à 2021) des inventaires de nitrates dans la couche profonde (50–150 m) et de l’abondance du phytoplancton en surface (concentration moyenne de chlorophylle a entre 0 et 100 m) sur les transects (en rouge à la Figure 1) et stations à haute fréquence (en noir à la Figure 1). Les valeurs de chlorophylle sont log transformées. Une cellule grise indique une donnée manquante. Notez le changement de la palette de couleur : une cellule blanche une valeur entre 0,33 écart-type de la moyenne à long terme calculée sur les données de 1999 à 2020. Les cellules rouges indiquent des conditions plus élevées que la normale, bleues sous la normale. Les teintes plus fortes correspondent à de plus grandes anomalies. Les minimums et maximums des séries temporelles sont indiqués par des étoiles. L’indice zonal est créé comme la moyenne de toutes les anomalies normalisées, puis ce résultat est ensuite normalisé à nouveau.

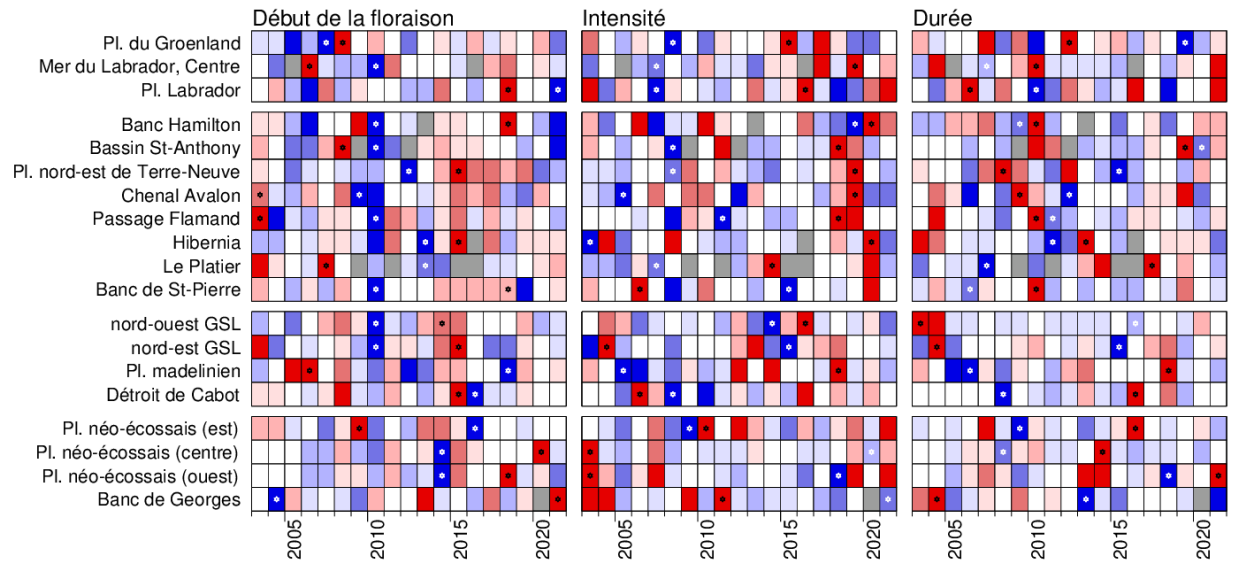


Figure 12. Séries temporelles (de 1998 à 2021) d'anomalies de paramètres de la floraison phytoplanctonique (début, intensité et durée). Données de MODIS. Les minimums et maximums des séries temporelles sont indiqués par des étoiles. Voir la figure 2 pour les définitions des régions. La palette est telle qu'à la figure 11.

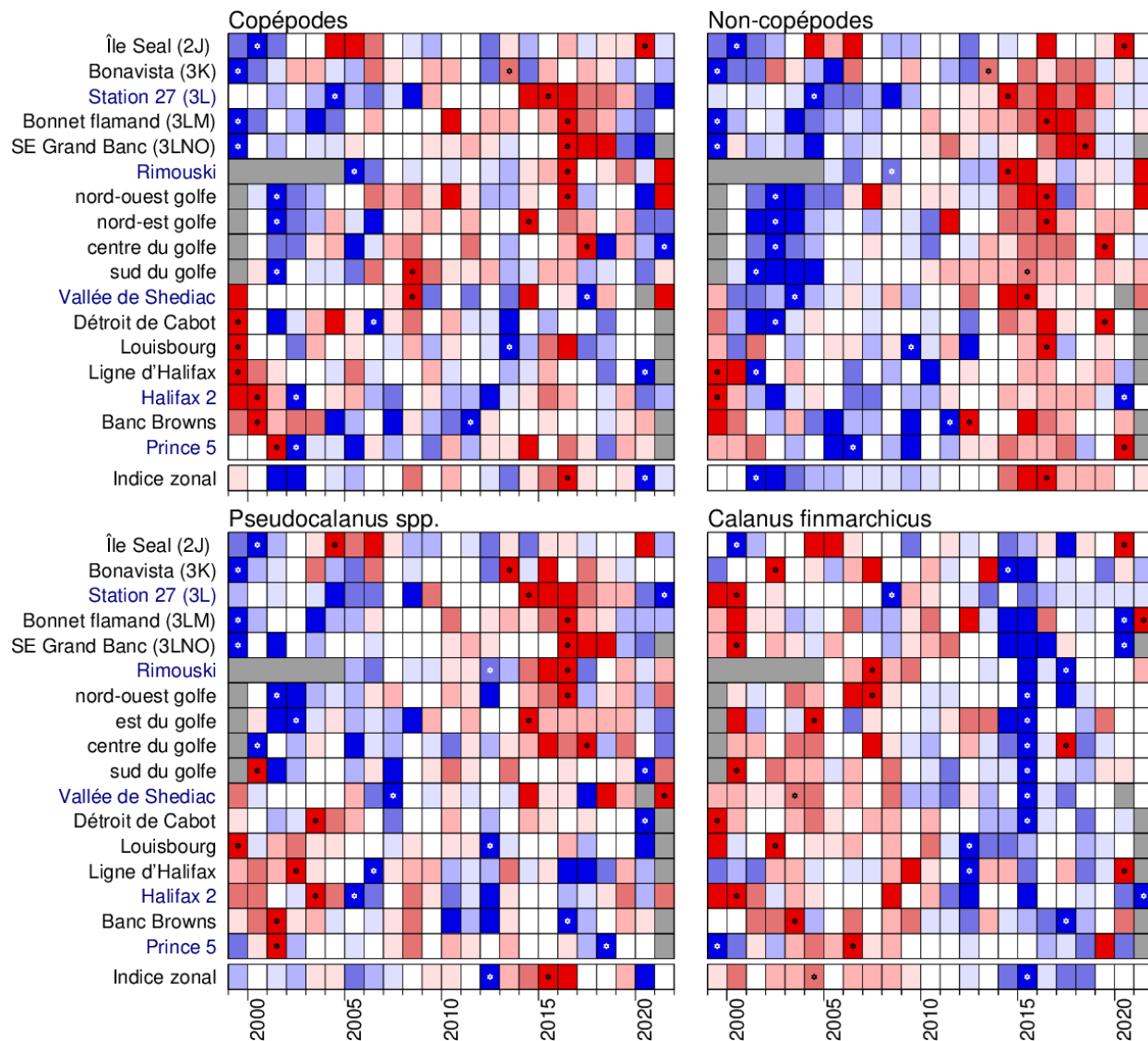


Figure 13. Séries temporelles log-transformées (de 1999 à 2021) des copépodes, *Calanus finmarchicus*, *Pseudocalanus* spp. et des zooplanctons autres que les copépodes. Une cellule grise indique une donnée manquante, une cellule blanche une valeur entre 1/3 écart-type de la moyenne à long terme calculée sur les données de 1999 à 2020. Les cellules rouges indiquent des conditions plus élevées que la normale, les cellules bleues sous la normale. Les teintes plus fortes correspondent à de plus grandes anomalies. Les minimums et maximums des séries temporelles sont indiqués par des étoiles. L'indice zonal est créé comme la moyenne de toutes les anomalies normalisées, puis ce résultat est ensuite normalisé à nouveau.

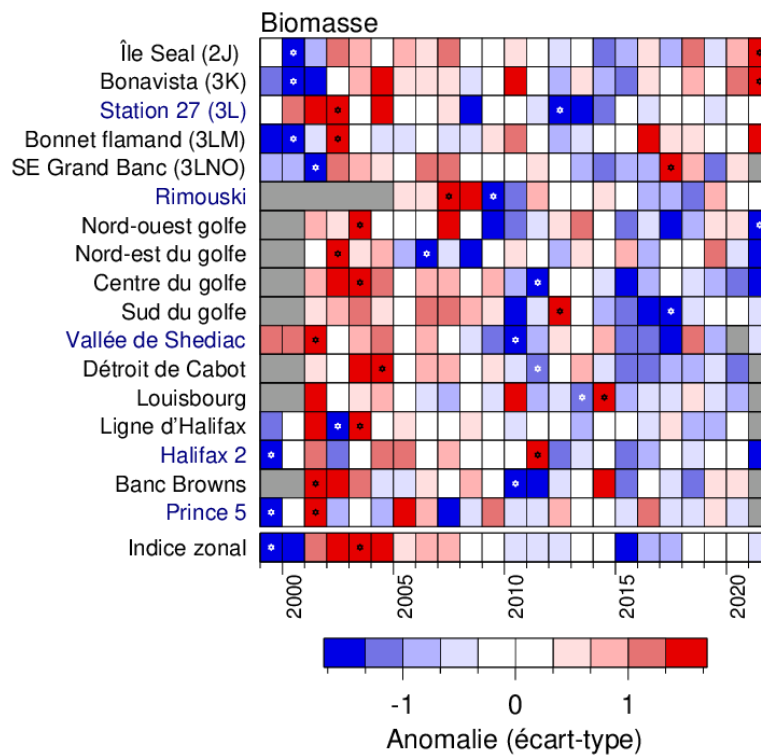


Figure 14. Séries temporelles de la biomasse du zooplancton (poids sec, log-transformé), 1999 à 2021. La biomasse est mesurée sur la fraction des tailles de 0,2 à 10 mm et est habituellement dominée par les copépodes. Une cellule grise indique des données manquantes, une cellule blanche une valeur entre 1/3 écart-type de la moyenne à long terme calculée sur les données de 1999 à 2020; une cellule rouge indique des stocks supérieurs à la normale, une cellule bleue inférieure à la normale. Des couleurs plus intenses indiquent des anomalies plus importantes. Les minimums et maximums de la série sont indiqués par une étoile. La rangée la plus basse est la moyenne (anomalie pour toutes les sections et stations fixes pour une année donnée). L'indice zonal est créé comme la moyenne de toutes les anomalies normalisées, puis ce résultat est ensuite normalisé à nouveau.



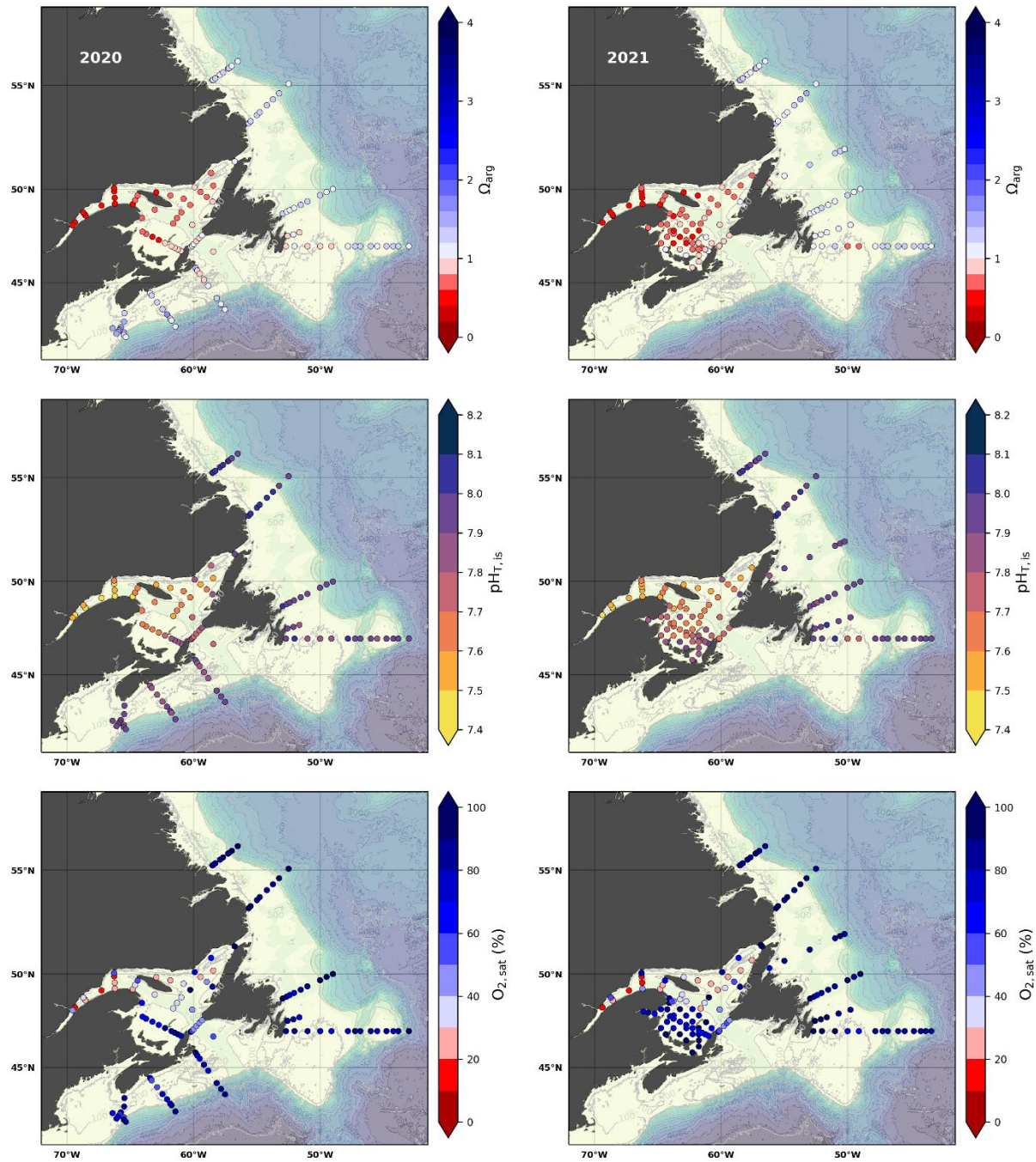


Figure 15. Conditions d'acidification près du fond de l'océan à l'été 2020 (gauche) et 2021 (droite) pour le golfe du Saint-Laurent, le plateau néo-écossais et le plateau de Terre-Neuve : état de saturation en aragonite (haut), pH in situ à l'échelle totale (au centre) et saturation en oxygène dissous (bas). Les conditions sous-saturées relatives à l'aragonite ainsi que les teneurs en oxygène hypoxique sont tracées en couleurs rouges.



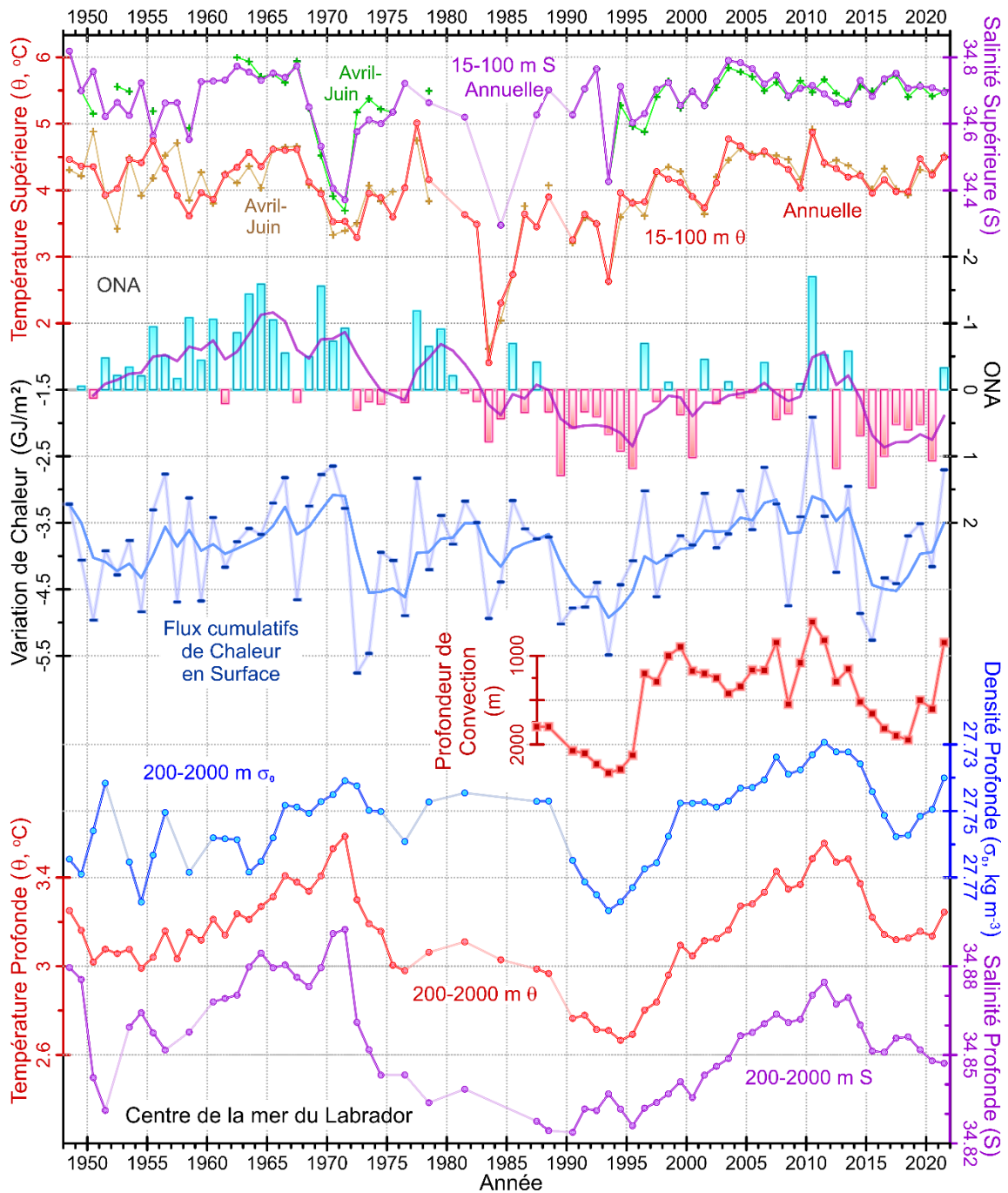


Figure 16. Principaux indices climatiques pour la mer centrale du Labrador depuis 1948. Moyenne annuelle et printanière de la salinité (S) et de la température ( $\theta$ ) moyenne sur la plage de profondeur de 15 à 100 m; l'indice de l'ONA hivernale normalisé (graphique à barres, échelle verticale inversée); le flux de chaleur de surface cumulatif basé sur une analyse du NCEP calculée pour le centre de la mer du Labrador au cours de saisons de refroidissement annuelles définies individuellement (bleu); profondeur de convection; densité moyenne annuelle de l'eau de mer ( $\sigma_0$ ),  $\theta$  et S moyennes sur la plage de profondeur de 200 à 2000 m dans le centre de la mer du Labrador. Les lignes pleines recouvrant les graphiques ONA et de flux thermique indiquent des séries filtrées à cinq points arrière.

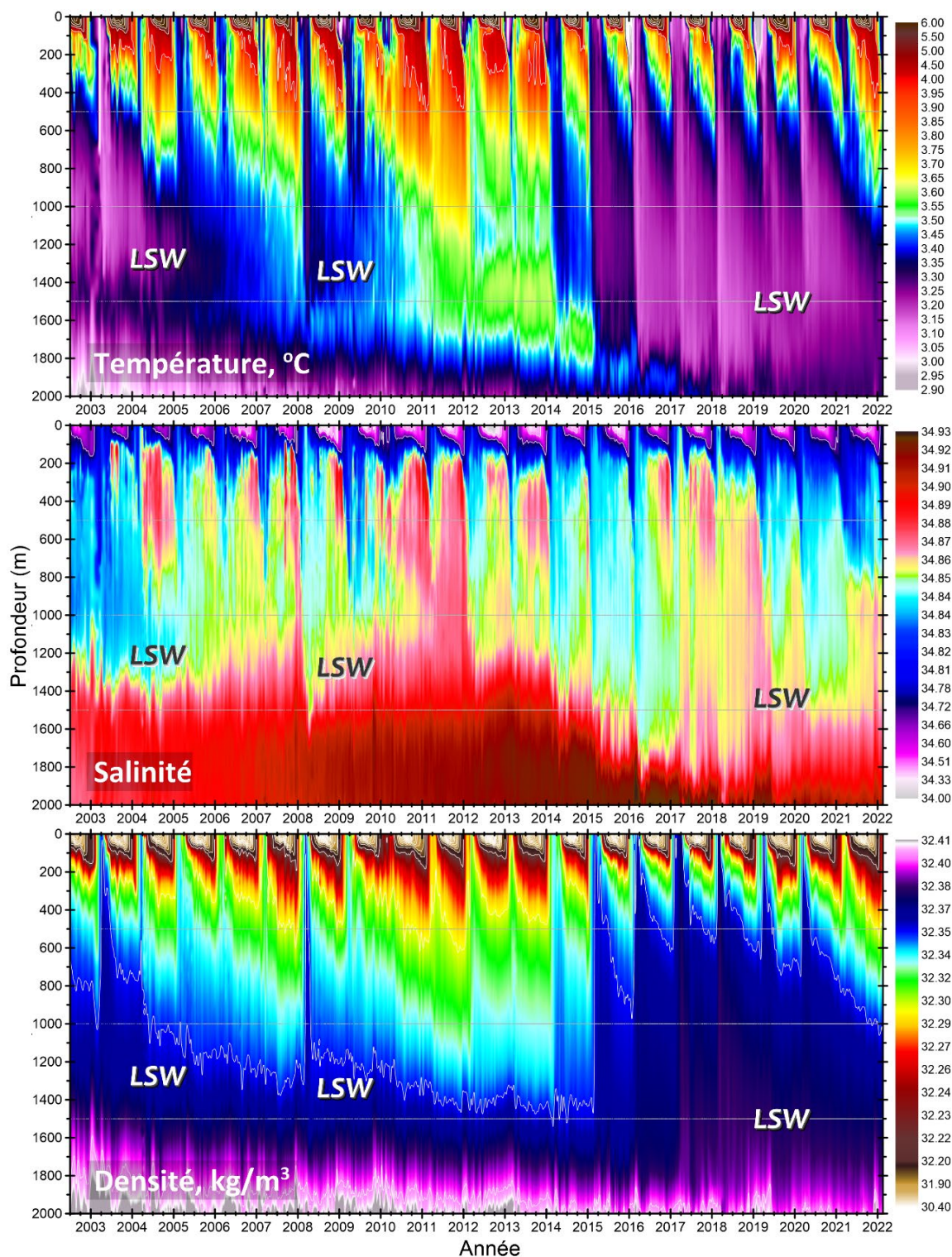


Figure 17. La température (panneau supérieur), la salinité (panneau central) et la densité (relative à 1000 dbar, panneau inférieur) dans la région centrale de la mer du Labrador entre 0 et 2000 m entre 2002 et 2022, d'après des observations en mer et par flotteurs Argo qui ont subi des contrôles de qualité, puis moyennées avec des fenêtres de 10 jours qui se chevauchent, espacées de 5 jours. LSW indique l'eau de mer du Labrador.

**CE RAPPORT EST DISPONIBLE AUPRÈS DU :**

Centre des avis scientifiques (CAS)  
Région du Québec  
Pêches et Océans Canada  
Institut Maurice-Lamontagne  
C.P. 1000  
Mont-Joli (Québec)  
Canada G5H 3Z4

Courriel : [bras@dfo-mpo.gc.ca](mailto:bras@dfo-mpo.gc.ca)

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

ISSN 1919-5117

ISBN 978-0-660-45016-2 N° cat. Fs70-6/2022-025F-PDF

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2022



La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2022. Conditions océanographiques dans la zone atlantique en 2021. Secr. can. des avis sci. du MPO. Avis sci. 2022. 2022/025.

*Also available in English:*

*DFO. 2022. Oceanographic Conditions in the Atlantic Zone in 2021. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2022/025.*