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 2026/076

Région du Québec

Prédiction de l'habitat favorable à la crevette nordique, *Pandalus borealis,* dans l'estuaire et le nord du Golfe du Saint-Laurent

Rosalie Shink, Diane Lavoie, Hugo Bourdages, Marie-Julie Roux et Laurie Isabel

Pêches et Océans Canada
Institut Maurice-Lamontagne
850, route de la Mer
Mont-Joli (Québec) G5H 3Z4

October 2026

Canada

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/
DFO.CSAS-SCAS.MPO@dfo-mpo.gc.ca



© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre du ministère des Pêches et des Océans, 2026

Ce rapport est publié sous la Licence du gouvernement ouvert – Canada

ISSN 2292-4272
ISBN 978-1-100-00879-0 N° cat. Fs70-5/2026-076F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Shink, R., Lavoie, D., Bourdages, H., Roux, M-J., et Isabel, L. 2026. Prédiction de l'habitat favorable à la crevette nordique, *Pandalus borealis*, dans l'estuaire et le nord du Golfe du Saint-Laurent. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2026/076. iv + 29 p.

Also available in English :

Shink, R., Lavoie, D., Bourdages, H., Roux, M-J., and Isabel, L. 2026. Prediction of the Suitable Habitat of the Northern Shrimp, Pandalus borealis*, in the Estuary and Gulf of St. Lawrence. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2026/076. iv + 28 p.*

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ iv
INTRODUCTION 1
MÉTHODOLOGIE 2
DESCRIPTION DE L'HABITAT FAVORABLE À LA CREVETTE 2
DESCRIPTION DU MODÈLE RÉGIONAL DU CLIMAT 3
PROJECTION DE L'HABITAT FAVORABLE 4
RÉSULTATS 4
AIRE DE L'HABITAT FAVORABLE 4
RÉPARTITION SPATIALE DES ZONES FAVORABLES DANS LE GOLFE DU SAINT-LAURENT 5
DISCUSSION 6
CONCLUSION 8
RÉFÉRENCES CITÉES 8
TABLEAUX 12
FIGURES 13

RÉSUMÉ

La crevette nordique (*Pandalus borealis*) est une espèce clé de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (EGSL). Les changements climatiques modifient rapidement les conditions de cet écosystème, provoquant une hausse de la température, une diminution de l'oxygène dissous et une acidification des eaux profondes. Ces altérations, combinées à une recrudescence de la prédation par les sébastes, contribuent à la diminution de l'aire occupée par la crevette et au déclin de ses stocks, plusieurs d'entre eux étant désormais dans la zone critique selon l'approche de précaution. Cette étude vise à caractériser et modéliser l'évolution de l'habitat favorable à la crevette nordique au stade adulte dans l'EGSL à l'aide des données du relevé annuel écosystémique réalisé par Pêches et Océans Canada et d'un modèle climatique régional. Notre analyse a déterminé que l'habitat favorable à la crevette nordique au stade adulte ciblé par la pêche dans l'EGSL, était défini par des températures se situant entre 1,9 et 5,7 °C, des concentrations en oxygène dissous supérieures à 77,8 mmol O_2/m^3, et des pH totaux (pH_T) supérieurs à 7,54. À l'aide des projections des conditions physiques (température) et chimiques (pH_T, oxygène dissous), l'évolution de l'aire de l'habitat favorable a été caractérisée pour l'ensemble de l'estuaire et du nord du golfe du Saint-Laurent. Le modèle numérique projette une chute progressive de l'habitat favorable à la crevette nordique de 58% entre les périodes 2011-2020 et 2041-2050. Cette perte d'habitat favorable est principalement due à une augmentation de la température, sauf dans la partie ouest de l'unité d'évaluation du stock de Sept-Îles et dans l'unité d'évaluation de l'Estuaire où les concentrations en oxygène dissous et le pH_T contribuent aussi à la diminution de l'habitat. À partir de 2050, l'aire de l'habitat favorable se stabilise dans toutes les unités d'évaluation des stocks.

INTRODUCTION

La crevette nordique (*Pandalus borealis,* appelée ci-après crevette) est une espèce d'eau froide distribuée dans l'Atlantique nord-ouest depuis le détroit de Davis au nord jusqu'au golfe du Maine au sud, incluant l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent (EGSL). Au stade adulte, elle est largement répandue sur les fonds marins de l'EGSL, mais se trouve principalement sous la couche intermédiaire froide (CIF), à des profondeurs variant entre 150 et 350 m (Bourdages *et al.* en préparation). Cette couche profonde est aussi appelée couche Atlantique et est majoritairement formée par les eaux entrant par le détroit de Cabot (Gilbert *et al.* 2005; Galbraith *et al*. 2025). La crevette est affectée par des conditions environnementales et écosystémiques en évolution sous l'effet des changements climatiques. On observe présentement que la couche profonde se réchauffe, s'appauvrit en oxygène et s'acidifie (Bernier *et al.* 2023; Blais *et al.* 2025; Galbraith *et al.* 2025; Lizotte *et al*. 2026). Face à ces changements, on observe, à certains endroits dans l'EGSL, une modification de la distribution spatiale de la population associée à une diminution de la superficie des zones de forte concentration de crevette. De plus, ces dernières années, le sébaste (S*ebastes mentella*), un prédateur de la crevette, a fait un retour en force dans l'EGSL (MPO 2025a). L'effet combiné de ces changements environnementaux et de l'augmentation de la pression de prédation ont été défavorables ces dernières années pour les stocks de crevettes de l'EGSL. Les crevettes de l'EGSL forment une population distincte des populations du plateau néo-écossais et Terre-Neuve/Labrador/Arctique (Bourret *et al.* 2024). On compte quatre unités d'évaluations des stocks de crevette dans l'EGSL, à savoir Estuaire, Sept-Îles, Anticosti et Esquiman (Figure 1). L'état de trois des stocks de crevette est présentement dans la zone critique de l'approche de précaution (MPO 2025b).

Les changements environnementaux influencent la disponibilité de l'habitat favorable à la crevette nordique et la productivité des stocks. Quantifier la disponibilité des habitats favorables passés, actuels et futurs pour la crevette est indispensable dans un contexte de changements climatiques et permettrait d'ajuster les mesures de gestion de la pêche en conséquence. Pour ce faire, il faut tout d'abord caractériser les conditions environnementales favorables à la crevette nordique dans l'écosystème de l'EGSL. Les caractéristiques de l'habitat sont répertoriées dans la littérature (Koeller *et al.* 2009; Zabihi-Seissan *et al.* 2024). Cependant, plusieurs facteurs écologiques régionaux comme la pression de prédation (Richards and Hunter 2021; Zabihi-Seissan *et al.* 2024) et la plasticité phénotypique des individus et des populations de l'EGSL (Leung *et al.* 2023) contribuent à préciser les patrons de distribution de la crevette en fonction des conditions physiques et chimiques observées. Ainsi, pour cette étude, nous nous sommes intéressés aux conditions environnementales favorisant l'abondance des stocks de crevette dans l'EGSL.

Après avoir déterminé de manière empirique les conditions de température, de concentration en oxygène dissous et de pH favorables à la crevette, nous avons projeté l'évolution de cet habitat favorable dans le futur à l'aide du modèle climatique régional du golfe du Saint-Laurent (Long *et al.* 2016; Lavoie *et al.* 2020; Lavoie *et al.* 2021). La connectivité entre chacune des unités d'évaluation semble limitée au stade adulte (Bourdages *et al.* 2023). Les résultats de ce travail sont donc présentés en fonction des délimitations des quatre unités d'évaluation de stock (Figure 1). De plus, tous les résultats présentés dans le cadre de cette étude utiliseront uniquement les données du mois d'août de chaque année puisque le relevé annuel écosystémique de l'EGSL réalisé par le MPO (Chamberland *et al.* 2025) est fait en août.

MÉTHODOLOGIE

DESCRIPTION DE L'HABITAT FAVORABLE À LA CREVETTE

Un relevé au chalut de fond est réalisé annuellement au mois d'août, depuis 1990, dans l'EGSL afin d'échantillonner les espèces de poissons et d'invertébrés qui vivent près du fond, dont la crevette nordique (Chamberland *et al.* 2025). Annuellement, environ 160 à 200 traits de chalut sont réalisés avec succès. En plus de monitorer l'abondance et la biomasse de crevette, des données océanographiques sont généralement recueillies à chacune des stations à l'aide d'un appareil CTD SBE 19PlusTM (données de température et salinité, depuis 1990) et d'une sonde à oxygène dissous (SBE 63, depuis 2004) installés sur le dos du chalut. Ce relevé est donc essentiel pour suivre la dynamique de cette population. Afin de déterminer les conditions environnementales correspondant à l'habitat favorable pour la crevette dans l'EGSL, nous avons utilisé les données de 2006 à 2008 (abondance de crevette, température et oxygène dissous, Figures 2A, B, C respectivement). La période de 2006 à 2008 est associée à une forte productivité pour les stocks de crevette de l'EGSL. Les abondances étaient très élevées, l'aire de répartition était à son maximum et les rendements dans la pêche commerciale étaient eux aussi à leur apogée.

Le pH n'étant pas mesuré lors des relevés, nous avons utilisé les pH totaux (pH_T) simulés par le modèle régional du climat (Lavoie *et al.* 2021) pour la même période (2006 à 2008, Figure 2E). Le modèle numérique fournit des données sur des cellules horizontales d'environ 6 km (voir section ci-dessous Description du modèle régional du climat). Puisque le modèle détermine la température au centre des cellules et que les observations peuvent se trouver entre celles-ci, les valeurs simulées de pH_T ont été interpolées horizontalement à l'emplacement des stations du relevé (Figure 3).

La méthode de Perry et Smith (1994) implémentée dans le package R habitatCDF (Isabel *et al.* 2025) a été utilisée pour déterminer de manière empirique les seuils des conditions environnementales associées aux captures de crevette dans le relevé. Cette méthode consiste à cumuler les captures en fonction des valeurs cumulées de variables environnementales mesurées in situ. Les valeurs moyennes de température au fond, correspondant aux 5^e et 95^e percentiles (90 %) des captures cumulées de crevette nordique dans le relevé, sont utilisées pour définir l'habitat favorable (Tableau 1).

Les conditions maximales d'oxygène dissous et de pH n'étant pas limitantes pour la crevette nordique, seules les valeurs moyennes correspondant au 5^e percentile des captures sont considérées pour ces variables (Tableau 1). Notons que ces valeurs correspondent aux conditions mesurées sur le fond. Pour les unités d'évaluation Estuaire, Sept-Îles, Anticosti et Esquiman, les mesures ont été prises à des profondeurs de 49 m à 359 m, 41 m à 438 m, 46 m à 484 m et 41 m à 511 m, respectivement (Figure 2D).

La population exploitable de crevette, soit les agrégations suffisamment denses pour permettre la pêche commerciale, se trouve majoritairement sous la couche intermédiaire froide puisque cette dernière est trop froide pour offrir des conditions environnementales favorables à la crevette nordique. Les zones côtières peuvent être défavorables à la crevette étant donné les températures trop élevées en saison estivale (lesquelles sont en moyenne supérieures à 9,8 °C de mai à novembre depuis 2005 (Galbraith *et al*. 2025)) et la nature du substrat (généralement grossier et constitué principalement de gravier (Sklar *et al.* 2024)), alors que la crevette est associée aux sédiments fins et aux fonds vaseux riches en matière organique (Krawczyk *et al*. 2022; 2024, Jónsdóttir *et al*. 2022). Pour prendre en considération ces facteurs et rejeter les zones côtières du diagnostic de l'habitat favorable, une contrainte de profondeur minimale de

75 m a été imposée. En excluant les zones moins profondes que 75 m, 20 % de la surface de l'EGSL est exclue.

DESCRIPTION DU MODÈLE RÉGIONAL DU CLIMAT

Le modèle régional du climat est basé sur une implémentation du modèle NEMO (Nucleus for European Modelling of the Ocean) dans le golfe du Saint-Laurent. La grille du modèle couvre l'EGSL, le plateau Néo-Écossais et le Golfe du Maine et a une résolution spatiale de 1/12eme de degrés (environ 6 km). La grille possède 46 couches sur la verticale d'épaisseur variable (plus mince à la surface, ~6 m, et plus épaisse près du fond). Dans cette étude, nous utilisons deux versions du modèle régional du climat; une version qui simule les conditions passées, de 2005 à 2024 (nommée HIND pour "hindcast"), et qui utilise des forçages atmosphériques réalistes du Centre Météorologique Canadien (Pellerin *et al.* 2003), et une version qui simule les conditions futures (jusqu'en 2100, nommée PROJ ci-après). Deux projections sont utilisées (PROJ1 pour la température et le pH, et PROJ2 pour l'oxygène). Pour obtenir les projections, nous utilisons une mise à l'échelle des conditions atmosphériques futures fournies par le modèle global de l'Institut de Max-Plank (MPI-ESM-LR; Ilyina *et al.* 2013) pour l'exercice du CMIP5 et avec le scénario de changement climatique RCP 8.5. Dans un modèle régional, les conditions aux frontières ouvertes du modèle doivent être spécifiées (*e.g.*, courants, température, salinité, oxygène dissous, nitrate, alcalinité et carbone inorganique dissous). Dans la première version du modèle (HIND) les conditions aux frontières ouvertes sont représentées par une climatologie des différentes variables physiques et biogéochimiques. Cette version du modèle a fait ses preuves pour représenter la dynamique du système (Lavoie *et al.* 2016, et Lavoie *et al.* 2021) à l'échelle saisonnière et interannuelle. Toutefois, depuis le milieu des années 2010, l'influence du Gulf Stream sur les eaux qui entrent dans les couches profondes de l'EGSL a été plus marquée, menant à un réchauffement et à une désoxygénation des couches profondes. Dans une première étape, nous désirons comparer les conditions environnementales mesurées lors de relevés de crevette avec les conditions simulées par le modèle numérique (HIND). Comme le modèle utilise des conditions frontières climatologiques pour les conditions passées, il ne reproduit pas les récents changements de température et d'oxygène dissous dans les couches profondes. Nous utilisons donc la période de 2006 à 2008 qui correspond aussi à la période de forte productivité des stocks mentionnés ci-haut. Afin de comparer adéquatement les observations aux données du modèle, nous avons sélectionné la cellule du modèle la plus proche de la position d'échantillonnage, ainsi que la journée équivalente ou la plus proche (la fréquence de sortie des résultats du modèle étant de 2 jours). De plus, comme la crevette se retrouve sur le fond à des profondeurs généralement supérieures à 150 m et que le modèle fournit une valeur moyenne pour toute la cellule, nous avons extrapolé les profils de température vers le fond en chaque point pour obtenir des valeurs plus représentatives de celle où les crevettes ont été pêchées.

Comme mentionné précédemment, le relevé annuel écosystémique de l'EGSL étant fait en août, seules les sorties du modèle pour le mois d'août ont été utilisées. Les Figures 4 et 5 comparent respectivement les températures et les concentrations en oxygène dissous mesurées dans les différentes unités d'évaluation de stock avec celles simulées par le modèle au même endroit et au même moment. Les températures et concentrations en oxygène dissous simulées par le modèle correspondent généralement bien aux concentrations mesurées lors du relevé du MPO. Le modèle sous-estime toutefois la température dans l'unité d'évaluation Estuaire. Globalement, le modèle HIND offre une bonne représentation des conditions biogéochimiques de l'EGSL entre 2006 et 2008.

Les conditions frontières de la deuxième version du modèle, qui simule les conditions futures, sont obtenues en appliquant les tendances dans les conditions océanographiques obtenues du

modèle global MPI-ESM-LR à la climatologie des conditions océanographiques utilisée dans la première version du modèle (voir Lavoie *et al.* 2020 pour une description complète de la méthode). Les conditions frontières pour cette version du modèle tiennent donc compte de tous les changements se produisant à l'extérieur de l'EGSL, dont l'importance accrue des eaux du Gulf Stream, du réchauffement climatique, de la désoxygénation et de l'acidification (Lavoie *et al.* 2019). Toutefois, la représentation des conditions historiques et actuelles est généralement moins précise qu'avec la version précédente du modèle (HIND), puisque le but des modèles globaux est de représenter les grandes tendances du climat.

PROJECTION DE L'HABITAT FAVORABLE

Afin d'estimer les changements futurs de l'habitat favorable de la crevette, nous avons utilisé les projections des conditions physiques (température) et chimiques (pH) de Lavoie *et al.* (2020) (PROJ1) et de Mei *et al.* (2024) (PROJ2) pour l'oxygène dissous et avons déterminé les régions qui respectent les seuils déterminés avec la méthode Perry et Smith (1994) dans ces nouvelles conditions. Pour les deux projections, les simulations utilisent le forçage atmosphérique basé sur le modèle global MPI-ESM-LR.

La température moyenne simulée pour le mois d'août (Figure 6) dans les unités d'évaluation est très similaire avec les trois simulations (HIND, PROJ1 et PROJ2) sur la période historique ainsi que dans le futur (pour PROJ1 et PROJ2). Des différences sont toutefois observables dans le cas de l'oxygène dissous et du pH_T (Figures 7 et 8). Dans les simulations de Lavoie *et al.* (2020), une erreur s'était glissée dans l'équation de nitrification qui résultait en une trop grande consommation d'oxygène par ce processus, qui transforme l'ammonium en nitrate. Les projections d'oxygène dissous n'avaient donc pas été présentées dans leur rapport. Cette erreur a été corrigée dans PROJ2. Cette simulation offre une bonne comparaison avec les résultats de la simulation HIND pour certaines des zones d'évaluation mais, dans la région Esquiman, notamment, les concentrations en oxygènes dissous sont plus élevées. Les concentrations obtenues avec PROJ2 ont donc été ajustées à la climatologie de la simulation HIND pour la période de 2006 à 2015 (Figure 7). La climatologie et les tendances ont été calculées pour chaque cellule du modèle. De cette manière, nous conservons les tendances futures de PROJ2 pour chaque zone d'évaluation tout en ramenant la période de base à celle simulée par HIND qui se compare bien aux observations (Figure 5). La simulation ajustée est nommée PROJ2A ci-après. La même méthode a été appliquée au pH_T qui est surestimé dans PROJ1 par rapport à HIND (Figure 8). La nouvelle simulation corrigée, PROJ1A, est utilisée pour la suite des analyses.

RÉSULTATS

AIRE DE L'HABITAT FAVORABLE

Tel que décrit à la section Description de l'habitat favorable à la crevette, les conditions environnementales correspondant à l'habitat favorable à la crevette ont été déterminées à l'aide de la méthode de Perry et Smith (1994) et sont présentées au Tableau 1. La concordance de ces seuils avec ceux trouvés dans la littérature est présentée dans la section Discussion plus en détail, mais de manière générale les seuils trouvés dans le cadre de cette étude sont en accord avec la littérature. Nous pouvons maintenant nous intéresser à l'évolution de cet habitat dans un contexte de réchauffement climatique.

Les tendances actuelles et futures des conditions océanographiques (Figures 6, 7 et 8) pointent vers une diminution de l'habitat favorable de la crevette dans l'EGSL. Pour quantifier la perte d'habitat de la crevette dans le futur, nous avons calculé la superficie moyenne de l'habitat

favorable au mois d'août entre 1990 et 2085 pour l'ensemble de l'EGSL et à l'intérieur de chacune des quatre unités d'évaluation. Pour l'ensemble de l'EGSL (Figure 9), l'aire favorable chute de 58 %, passant de 66 461 km^2 à 27 809 km^2 entre les périodes 2011-2020 et 2041-2050, et est contrainte principalement par la température (Figure 9B). Les effets de la concentration en oxygène dissous (Figure 9C) et du pH_T (Figure 9D) ne sont que légèrement limitants, tel qu'illustré par l'aire légèrement inférieure dans la Figure 9A comparé à 9B pour la période de 1990 à 2030. Pour les unités d'évaluation Esquiman (Figure 10) et Anticosti (Figure 11), seule la température détermine la superficie d'habitat favorable. L'unité de Sept-Îles (Figure 12) est comparable à l'ensemble de l'EGSL, avec une prédominance de la température sur l'habitat favorable mais avec une contribution de l'oxygène et du pH également. L'unité Estuaire (Figure 13) se distingue des autres régions. L'impact de l'oxygène dissous (Figure 13C) et du pH (Figure 13D) y est en effet plus important que la température (Figure 13B) et ce jusqu'à la fin des années 2030s. Par la suite les trois critères ont une importance relativement similaire. Pour les unités d'évaluation Esquiman (Figure 10), Anticosti (Figure 11) et Sept-Îles (Figure 12) la perte d'aire favorable est généralement plus marquée entre les périodes 2011 à 2020 et 2041 à 2050 (diminution de 38 %, 65 % et 71 % pour chaque unité d'évaluation respectivement) et demeure relativement stable par la suite. Les aires favorables passent donc de 19 445 km^2 à 12 089 km² (Esquiman), 16 401 km^2 à 5 659 km^2 (Anticosti) et 29 128 km^2 à 8 519 km^2 (Sept-Îles). Finalement, pour l'unité Estuaire (Figure 13), la diminution de l'aire favorable est plus progressive et atteint 20 % entre 2041 à 2050 et 2071 à 2080, en passant de 1 542 km^2 à 1 229 km^2.

RÉPARTITION SPATIALE DES ZONES FAVORABLES DANS LE GOLFE DU SAINT-LAURENT

Les changements dans la répartition des régions respectant les critères de l'habitat favorable pendant le mois d'août ont été déterminés à l'aide de PROJ1, PROJ1A et PROJ2A pour la période allant de 1991 à 2080 (moyennes décennales).

Les Figures 14 à 16 montrent les conditions pour chacun des critères environnementaux séparément. Malgré la présence d'une variabilité décennale, la Figure 14 montre que la température sur le fond est généralement favorable à la crevette dans les chenaux profonds entre 1991 et 2030. Les parties plus profondes des plateaux (>75 m) sont quant à elles trop froides (sous le seuil de 1,9 °C) dû à la présence de la CIF. À partir de 2031-2040, la couche Atlantique se réchauffe et dépasse le seuil supérieur de 5,7°C, ce qui mène à une expansion de l'habitat défavorable dans les chenaux profonds. Seule la tête des chenaux reste favorable pendant cette période (2031-2040) puisque la température y est plus fraîche, mais ces régions deviennent également défavorables à partir de 2041-2050. Le talus continental sur l'ensemble de l'EGSL est toutefois favorisé par l'augmentation de la température, qui se produit également dans la CIF et dont la température passe au-dessus du seuil de 1,92 °C. Le réchauffement se poursuit jusqu'en 2041 à 2080, la perte d'habitat dans les chenaux causée par le réchauffement se poursuit de manière plus modérée puisque les eaux profondes sont déjà défavorables. Le talus continental à >75 m de profondeur demeure favorable puisque le réchauffement se fait principalement à l'intérieur de l'étendue de températures favorables, i.e., les eaux froides se sont réchauffées mais demeurent sous 5,7 °C, ce qui contribue à stabiliser l'aire de l'habitat favorable à la crevette.

Contrairement à la température, les conditions défavorables à la crevette en ce qui a trait à l'oxygène dissous et au pH_T se retrouvent d'abord dans la partie est du domaine et progressent vers l'ouest (Figures 15 et 16). Des conditions d'oxygène dissous sous le seuil de 77,8 mmol/m^3 sont simulées dès 1991-2000 à la tête du Chenal Laurentien (Figure 15) et se propagent dans le nord-ouest du golfe du Saint-Laurent (GSL) dès 2001-2010. La zone

défavorable continue de s'étendre sur les pentes du Chenal Laurentien et vers l'est à partir de 2041-2050 mais sans aller au-delà du détroit d'Honguedo (voir Figure 1 pour l'emplacement). L'évolution des conditions défavorables pour le pH_T est similaire à celle de l'oxygène dissous, mais avec une aire défavorable légèrement plus étendue (*e.g.*, présente dans le nord-ouest du GSL dès 1991-2000, Figure 16).

La Figure 17 illustre le nombre de critères environnementaux (entre aucun (0) et 3) respectant les critères de l'habitat favorable pour chaque cellule du modèle, et ce pour les profondeurs supérieures à 75 m (critère de profondeur minimale). Un indice de favorabilité de 3 indique que tous les critères sont respectés, à savoir la température, la concentration en oxygène dissous et le pH_T. De 1990 à 2029, l'habitat favorable se trouve majoritairement dans les chenaux profonds (Laurentien, Anticosti et Esquiman), où tous les critères sont rencontrés, sauf dans l'unité Estuaire où l'oxygène et le pH_T sont défavorables. Avec le réchauffement de la couche Atlantique à partir de 2031-2040 (Figure 14), le Chenal Laurentien devient défavorable alors que seulement deux critères sont rencontrés. L'expansion des conditions défavorables d'oxygène et de pH_T vers l'ouest et de température vers l'est mène à des conditions défavorables pour les trois critères dans l'Estuaire et dans le nord-ouest du GSL (partie est de Sept-Îles) dès 2041-2050. Seules les régions bordant les chenaux profonds ainsi que les régions plus profondes sur le talus continental (> 75 m) demeurent favorables à la crevette (régions bleu foncé).

DISCUSSION

L'habitat de la crevette au stade adulte est affecté par la modification de l'ensemble des conditions environnementales, incluant des effets favorables localisés à moyen terme (p. ex., augmentation de la température de la CIF) et des effets défavorables généralisés à court et à long terme (augmentation de la température au-delà du seuil supérieur de 5,7 °C, diminution des concentrations en oxygène dissous et du pH). Ces changements diffèrent en intensité selon les unités d'évaluation des stocks en raison de différences dans l'hydrodynamique du système. La région Estuaire et la partie ouest de Sept-Îles connaissent dès 1990 de faibles conditions d'oxygène dissous et de pH, auxquelles s'ajoute l'augmentation de la température avec le temps. Bien que la version climatique du modèle utilisée pour effectuer les projections ne représentent pas exactement les conditions historiques observées (le modèle climatique reproduit les grandes tendances et la variabilité décennale), les résultats reflètent très bien la migration de la crevette vers des régions moins profondes observée au cours des dernières années. En effet, Bourdages *et al.* (2023) notent un déplacement significatif de la profondeur à laquelle plus de 95 % de la biomasse de crevette se trouve. Entre 2008 et 2017, la biomasse était répartie entre des profondeurs de 100 à 320 m dans l'Estuaire, alors que pour la période 2018 à 2023 elle se situait plutôt entre 70 et 170 m, évitant les conditions défavorables de la couche Atlantique. Basé sur le déplacement des efforts de pêche qui a concordé avec les changements dans l'emplacement des fortes abondances de crevette, Bourdages *et al.* (2023) suggèrent également que la pression environnementale sur la crevette sera plus marquée dans l'estuaire et dans la partie ouest du GSL dans le futur. Cette prédiction concorde avec celles du modèle présenté dans cette étude qui indiquent que pour la partie ouest de l'unité Sept-Îles et pour l'unité Estuaire, le déplacement de la crevette vers les régions moins profondes pourrait être dû au cumul des stress environnementaux dans les régions plus profondes avoisinantes. Avec l'augmentation projetée de la stratification dans le futur (Mei *et al.* 2024), la diminution de la concentration en oxygène et l'acidification seront exacerbées par la diminution de la ventilation des couches profondes, soit l'apport d'eaux de surface riche en oxygène vers les

profondeurs. Ces changements mèneront à une expansion de l'aire défavorable à la crevette dans les unités d'évaluation Estuaire et Sept-Îles. Cette expansion s'arrête toutefois au détroit d'Honguedo. Cette région bénéficie, en profondeur, de l'apport d'eaux plus oxygénées et moins acides en provenance du détroit de Cabot qui limitent les effets de l'eutrophisation tels qu'observés en amont dans l'estuaire et dans le nord-ouest du GSL. Les stocks d'Anticosti et d'Esquiman quant à eux sont uniquement sujets à l'impact négatif du réchauffement puisque le renouvellement des eaux profondes s'y fait sur une base saisonnière, assurant un apport en oxygène et en eaux moins acides. Cette dynamique mène à une stabilisation de l'habitat favorable à la crevette dans toutes les unités d'évaluation à partir de 2050, puisque le réchauffement sur les talus se fait à l'intérieur de l'intervalle de température favorable, et que l'expansion horizontale et verticale de l'aire défavorable pour le pH et l'oxygène se stabilise. Les régions déjà défavorables à la crevette le deviennent d'autant plus, mais n'influencent plus la superficie de l'habitat favorable.

Les stocks de crevette nordique du Canada Atlantique sont généralement associés à des profondeurs supérieures à 100 m et des conditions de température entre 1 et 6°C (Chemel *et al.* 2020, Garcia 2007). Le Corre *et al.* (2021) défini l'habitat thermique favorable à la crevette nordique sur le plateau continental du Labrador entre 1 et 5 °C (température moyenne annuelle au fond), des valeurs comparables à celles utilisées dans notre étude pour le mois d'août (1.9-5.7 °C). Les données disponibles sur la sensibilité de l'espèce aux variations de pH et d'oxygène proviennent essentiellement d'études effectuées en laboratoire (Bechmann *et al.* 2011; Arnberg *et al.* 2013; Hammer and Pedersen 2013; Dupont-Prinet *et al.* 2013; Pillet *et al.* 2016). Les études récentes confirment une plus grande sensibilité de la crevette au réchauffement qu'à l'acidification (Guscelli *et al.* 2023), et un effet négatif sur la survie d'une exposition simultanée au réchauffement, à l'acidification et à la désoxygénation des eaux (Guscelli *et al.* 2025).

À l'intérieur de l'aire de répartition connue de l'espèce, les populations de crevette nordique ont tendance à s'acclimater et s'adapter aux conditions environnementales locales ou régionales (Koeller *et al.* 2009, Ouellet *et al.* 2017). Il était donc pertinent de définir l'habitat favorable de la crevette au stade adulte en lien avec les conditions observées dans l'EGSL. La méthode empirique employée pour définir l'habitat favorable dans notre étude a permis de déterminer et de projeter les conditions locales associées à une forte abondance des stocks, mais ne tient pas compte du potentiel d'adaptation de l'espèce, de la distinction entre habitats essentiels et marginaux, et des effets cumulatifs de la prédation sur la distribution passée et future de la crevette dans l'écosystème. Les preuves disponibles, notamment la démonstration d'un faible potentiel d'adaptation aux changements de température au niveau de l'espèce (Leung *et al.* 2023), suggèrent néanmoins que cette approche est appropriée et informative à court terme.

Les projections utilisées dans cette étude ont été faites à l'aide du scénario RCP8.5 du CMIP5. Ce scénario projette un réchauffement plus important que les autres. Ce scénario a par la suite évolué vers le scénario SSP5-8.5 du CMIP6 qui résultait également en un réchauffement important à l'échelle globale. Les nouveaux scénarios développés dans le cadre du CMIP7 montrent des trajectoires d'émissions de gaz à effet de serre (GES) maximales plus modérées en raison d'actions entreprises pour mitiger la hausse des GES, ce qui mènerait à une diminution du réchauffement à partir des années 2070 ou 2100 selon le scénario (van Vuuren *et al.* 2026). La réalisation ou non de ces projections dépendra donc des actions entreprises (ou non) pour contrer les changements climatiques. Toutefois, les différences dans les projections obtenues avec ces différents scénarios se trouvent après 2050, période à laquelle les changements dans l'habitat favorable de la crevette se stabilisent. Le choix du scénario a donc

peu d'impact sur nos résultats. D'autant plus que plusieurs des changements projetés sont déjà en cours.

Les résultats de cette étude illustrent la complexité des changements en cours et anticipés dans les gradients physiques et chimiques qui déterminent la disponibilité actuelle et future des habitats favorables aux espèces démersales dans l'EGSL. L'augmentation des connaissances sur les conditions favorables aux différents stades de vie de la crevette, sur les conditions physiques et chimiques en milieux côtiers, la modélisation spatio-temporelle des densités de crevette en fonction des variables considérées (température, oxygène et pH), l'abondance de ses prédateurs, et la mise à jour des projections avec un modèle à plus haute résolution spatiale et utilisant les forçages de modèles globaux du CMIP6 (et du CMIP7 lorsque disponibles), permettront de préciser les résultats et renforcir les conclusions de la présente étude.

CONCLUSION

Après avoir déterminé les conditions environnementales de température, d'oxygène dissous et de pH_T correspondant à l'habitat favorable de la crevette au stade adulte dans l'EGSL au cours de la période de référence de 2006-2008, nous avons utilisé un modèle de projection climatique des conditions biogéochimiques du Saint-Laurent afin de caractériser l'évolution de l'habitat favorable à la crevette dans un contexte de réchauffement climatique. Nous avons constaté que pour l'ensemble de l'EGSL, selon les prédictions climatiques, l'habitat disponible décline de 58 % entre les périodes 2011-2020 et 2041-2050. Pour les unités d'évaluation Esquiman, Anticosti et la majorité de l'unité Sept-Îles, la température est le facteur limitant et dicte les zones favorables à la crevette nordique. Pour la partie ouest de l'unité de Sept-Îles et l'unité Estuaire, les faibles concentrations en oxygène et l'acidification sont les contraintes principales à l'habitat favorable et la température devient également défavorable avec le réchauffement des eaux de fond. Pour toutes les unités d'évaluations, le réchauffement engendre un déplacement de l'habitat favorable vers des profondeurs moindres mais supérieures à 75 m, sur le pourtour des chenaux profonds, et résulte en une forte diminution de sa superficie.

RÉFÉRENCES CITÉES

Arnberg, M., Calosi, P., Spicer, J.I., Tandberg, A.H.S., Nilsen, M., Westerlund, S., Bechmann, R.K. 2013. Elevated temperature elicits greater effects than decreased pH on the development, feeding and metabolism of northern shrimp (Pandalus borealis) larvae. Mar. Biol. 160: 2037–2048

Bechmann, R.K., Taban, I.C., Westerlund, S., Godal, B.F., Arnberg, M., Vingen, S., Ingvarsdottir, A., Baussant, T. 2011. Effects of ocean acidification on early life stages of shrimp (Pandalus borealis) and mussel (Mytilus edulis). J. Toxicol. Environ. Health. A 74: 424–438

Bernier, R.Y., Jamieson, R.E., Kelly, N.E., Lafleur, C., et Moore, A.M. 2023. State of the Atlantic Ocean Synthesis Report. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3544: v + 219 p

Blais, M., Clay, S.A., Galbraith, P.S., et Starr, M. 2025. Chemical and biological oceanographic conditions in the Gulf of St. Lawrence during 2024. Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean. Sci. 405: vi + 87 p.

Bourdages, H., Bourret, A. et Parent, G.J. 2023. Délimitation des unités d'évaluation des stocks de crevette nordique de l'estuaire et du nord du golfe du Saint-Laurent. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2023/082. vi + 30 p.

Bourdages, H., Marquis, M.-C., Isabel, L., Galbraith, P.S. et Blais, M. En préparation. Évaluation des stocks de crevette nordique de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent en 2025 : données de la pêche commerciale et des relevés de recherche. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech.

Bourret, A., Leung, C., Puncher, G.N., Le Corre, N., Deslauriers, D., Skanes, K., Bourdages, H., Cassista-Da Ros, M., Walkusz, W., Jeffery, N.W. et Stanley, R.R. 2024. Diving into broad-scale and high-resolution population genomics to decipher drivers of structure and climatic vulnerability in a marine invertebrate. Molecular Ecology, 33(15), p.e17448.

Chamberland, J.-M., Bourdages, H., Desgagnés, M., Galbraith, P., Isabel, L., Ouellette-Plante, J., Roux, M.-J., Scallon-Chouinard, P.-M. et Senay, C. 2025. Résultats préliminaires du relevé écosystémique d'août 2024 dans l'estuaire et le nord du golfe du Saint-Laurent. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2025/032. iv + 102 p.

Chemel, M., Noisette, F., Chabot, D., Guscelli, E., Leclerc, L. and Calosi, P. 2020. Good news—bad news: combined ocean change drivers decrease survival but have no negative impact on nutritional value and organoleptic quality of the northern shrimp. Frontiers in Marine Science, 7, p.611.

Dupont-Prinet, A., Pillet, M., Chabot, D., Hansen, T., Tremblay, R., Audet, C. 2013. Northern shrimp (Pandalus borealis) oxygen consumption and metabolic enzyme activities are severely constrained by hypoxia in the Estuary and Gulf of St. Lawrence. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 448: 298–307

Galbraith, P.S., Chassé, J., Shaw, J.-L., et Bourassa, M.-N. 2025. Physical oceanographic conditions in the Gulf of St. Lawrence during 2024. Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 397: v + 95 p.

Garcia, E.G. 2007. The northern shrimp (Pandalus borealis) offshore fishery in the Northeast Atlantic. Advances in marine biology, 52, pp.147-266.

Gilbert, D., Sundby B., Gobeil C., Mucci A., and Tremblay G. 2005. A seventy-two-year record of diminishing deep-water oxygen in the St. Lawrence estuary: The northwest Atlantic connection, Limnology and Oceanography, 5. doi: 10.4319/lo.2005.50.5.1654.

Guscelli, E., Noisette, F., Chabot, D., Blier, P.U., Hansen, T., Cassista-Da Ros, M., Pepin, P., Skanes, K.R., Calosi, P. 2023. Northern shrimp from multiple origins show similar sensitivity to global change drivers, but different cellular energetic capacity. J. Exp. Biol. 226(16).

Guscelli, E., Chabot, D., Noisette, F., Blier, P.U., Chemel, M. and Calosi, P. 2025. Survival and aerobic performance of the northern shrimp are threatened by exposure to combined ocean global change drivers. Conservation Physiology, 13(1), p.coaf076.

Hammer, K.M., Pedersen, S.A. 2013. Deep-water prawn Pandalus borealis displays a relatively high pH regulatory capacity in response to CO2-induced acidosis. Mar. Ecol. Prog. Ser. 492: 139–151.

Ilyina, T., Six, K.D., Segschneider, J., Maier-Reimer, E., Li, H.M., et Nunez-Riboni, I. 2013. Global ocean biogeochemistry model HAMOCC: Model architecture and performance as component of the MPI-Earth system model in different CMIP5 experimental realizations. J. Adv. Model. Earth Syst. 5(2), 287-315. doi: 10.1029/2012ms000178.

Isabel, L., Duplisea, D., et Roux, M.-J. 2025. habitatCDF: Construct Cumulative Density Function Curves of Habitat Preference. R package version 0.1.0. https://github.com/EA-Qc/habitatCDF

Jónsdóttir, I.G., Yesson, C., Kemp, K.M. et Ólafsdóttir, S.H. 2022. Benthic community structure on offshore northern shrimp (Pandalus borealis) grounds north of Iceland. Marine Biology Research, 18(1-2), pp.64-78

Koeller, P., Fuentes-Yaco, C., Platt, T., Sathyendranath, S., Richards, A., Ouellet, P., et al. 2009. Basin-Scale Coherence in Phenology of Shrimps and Phytoplankton in the North Atlantic Ocean. Science 324(5928), 791-793. doi: 10.1126/science.1170987.

Krawczyk, D.W., Vonnahme, T., Burmeister, A.D., Maier, S.R., Blicher, M.E., Meire, L. et Nygaard, R. 2024. Arctic puzzle: Pioneering a northern shrimp (Pandalus borealis) habitat model in Disko Bay, West Greenland. Science of the Total Environment, 929, p.172431.

Krawczyk, D.W., Yesson, C., Knutz, P., Arboe, N.H., Blicher, M.E., Zinglersen, K.B. et Wagnholt, J.N. 2022. Seafloor habitats across geological boundaries in Disko Bay, central West Greenland. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 278, p.108087.

Lavoie, D., Chassé, J., Simard, Y., Lambert, N., Galbraith, P.S., Roy, N., et al. 2016. Large-scale atmospheric and oceanic control on krill transport into the St. Lawrence Estuary evidenced with three-dimensional numerical modelling. Atmos.-Ocean 54(3), 299–325. doi: 10.1080/07055900.2015.1082965.

Lavoie, D., N. Lambert et D. Gilbert. 2019. Projections of future trends in biogeochemical conditions in the Northwest Atlantic using CMIP5 Earth System Models. Atmosphere-Ocean, 57, 18-40, doi: 10.1080/07055900.2017.1401973

Lavoie, D., Lambert, N., Rousseau, S., Dumas, J., Chassé, J., Long, Z., et al. 2020. "Projections of future physical and biochemical conditions in the Gulf of St. Lawrence, on the Scotian Shelf and in the Gulf of Maine using a regional climate model", in: Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 334.

Lavoie, D., Lambert, N., Starr, M., Chassé, J., Riche, O., Le Clainche, Y., et al. 2021. The Gulf of St. Lawrence Biogeochemical Model: A modelling tool for fisheries and ocean management. Front. Mar. Sci. 8(1427). https://doi.org/10.3389/fmars.2021.732269

Le Corre, N., Pepin, P., Han, G. and Ma, Z., 2021. Potential impact of climate change on northern shrimp habitats and connectivity on the Newfoundland and Labrador continental shelves. Fisheries Oceanography, 30(3), pp.331-347.

Leung, C., Guscelli, E., Chabot, D., Bourret, A., Calosi, P. et Parent, G.J. 2023. The lack of genetic variation underlying thermal transcriptomic plasticity suggests limited adaptability of the Northern shrimp, *Pandalus borealis*. Front. Ecol. Evol. 11:1125134. https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1125134

Lizotte, M., Blais, M., Chassé, J., Galbraith, P. S., Hébert, A.-J., Starr, M. 2026. Acidification and CO2-Driven Conditions in the Estuary and Gulf of St. Lawrence During 2024. Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean. Sci. 410 : vi + 71 p. https://doi.org/10.60825/rj0q-3t94

Long, Z. X., Perrie, W., Chassé, J., Brickman, D., Guo, L. L., Drozdowski, A., et Hu, H. B. 2016 Impacts of climate change in the Gulf of St. Lawrence. Atmos.-Ocean, 54(3) 337-351. https://doi.org/10.1080/07055900.2015.1029869

Mei, Z.-P., Lavoie, D., Lambert, N., Starr, M., Chassé, J., Perrie, W., et al. 2024. Modelling the bottom-up effects of climate change on primary production in the Gulf of St. Lawrence and eastern Scotian Shelf. Front. Mar. Sci. 11. doi: 10.3389/fmars.2024.1416744.

MPO. 2025a. Évaluation des stocks des sébastes (Sebastes fasciatus et Sebastes mentella) des unités 1 et 2 en 2024. Secr. can. des avis sci. du MPO. Avis sci. 2025/014.

MPO. 2025b. Mise à jour de l'état des stocks de crevette nordique (Pandalus borealis) de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent en 2024. Secr. can. des avis sci. du MPO. Rép. des Sci. 2025/002.

Ouellet, P., Chabot, D., Calosi, P., Orr, D., and Galbraith, P. S. 2017. Regional variations in early life stages response to a temperature gradient in the northern shrimp Pandalus borealis and vulnerability of the populations to ocean warming. J. Exp. Mar. Bio. Ecol. 497, 50–60. doi: 10.1016/j.jembe.2017.09.007

Pellerin, G., Lefaivre, L., Houtekamer, P., et Girard, C. 2003. Increasing the horizontal resolution of ensemble forecasts at CMC. Nonlinear Proc. Geoph. 10, 463–468.

Perry, R.J. et Smith, S.J. 1994. Identifying habitat associations of marine fishes using survey data: an application ot the northwest Atlantic. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 51: 589-602. https://cdnsciencepub.com/doi/10.1139/f94-061

Pillet, M., Dupont-Prinet, A., Chabot, D., Tremblay, R., Audet, C. 2016. Effects of exposure to hypoxia on metabolic pathways in northern shrimp (Pandalus borealis) and Greenland halibut (Reinhardtius hippoglossoides). J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 483: 88–96.

Richards, R.A., et Hunter, M. 2021. Northern shrimp Pandalus borealis population collapse linked to climate-driven shifts in predator distribution. Plos One 16(7). doi: 10.1371/journal.pone.0253914.

Sklar, E., Bushuev, E., Misiuk, B., Labbé-Morissette, G. et Brown, C.J. 2024. Seafloor morphology and substrate mapping in the Gulf of St Lawrence, Canada, using machine learning approaches. Front. Mar. Sci. 11:1306396. doi: 10.3389/fmars.2024.1306396

Van Vuuren, D. P., O'Neill, B. C., Tebaldi, C., Sanderson, B. M., Chini, L. P., Friedlingstein, P., Hasegawa, T., Riahi, K., Govindasamy, B., Bauer, N., Eyring, V., Fall, C. M. N., Frieler, K., Gidden, M. J., Gohar, L. K., Högner, A., Jones, A. D., Kikstra, J., King, A., Knutti, R., Kriegler, E., Lawrence, P., Lennard, C., Lowe, J., Mathison, C., Mehmood, S., Nicholls, Z., Prado, L. F., Zhang, Q., Rose, S. K., Ruane, A. C., Sandstad, M., Schleussner, C.-F., Seferian, R., Sillmann, J., Smith, C., Sörensson, A. A., Panickal, S., Tachiiri, K., Vaughan, N., Vishwanathan, S. S., Yokohata, T., Zecchetto, M., and Ziehn, T. 2026. The Scenario Model Intercomparison Project for CMIP7 (ScenarioMIP-CMIP7), Geosci. Model Dev., 19, 2627–2656, https://doi.org/10.5194/gmd-19-2627-2026, 2026.

Zabihi-Seissan, S., Baker, K.D., Stanley, R.R.E., Tunney, T.D., Beauchamp, B., Benoit, H.P. et al. 2024. Interactive effects of predation and climate on the distributions of marine shellfish in the Northwest Atlantic. Oikos 2024(9). doi: 10.1111/oik.10524.

TABLEAUX

Tableau 1. Conditions environnementales moyennes correspondant à 90 % des captures cumulées de crevette nordique dans le relevé écosystémique de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent entre 2006 et 2008.

Température (°C)	$[O_2]$ (mmol/m^3)	pH total (pH_T)
1,9 à 5,7	> 77,8	> 7,54

FIGURES

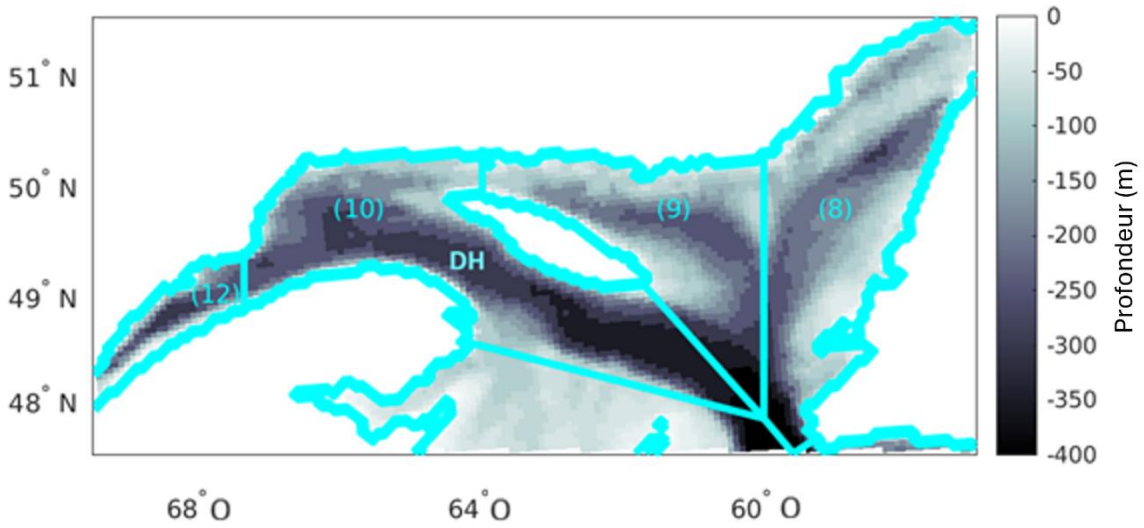


Figure 1. Bathymétrie de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent tirée du modèle biogéochimique et unités d'évaluation des stocks de crevette nordique. Les unités sont (8) Esquiman, (9) Anticosti, (10) Sept-Îles et (12) Estuaire. Le détroit d'Honguedo est identifié par la mention DH.

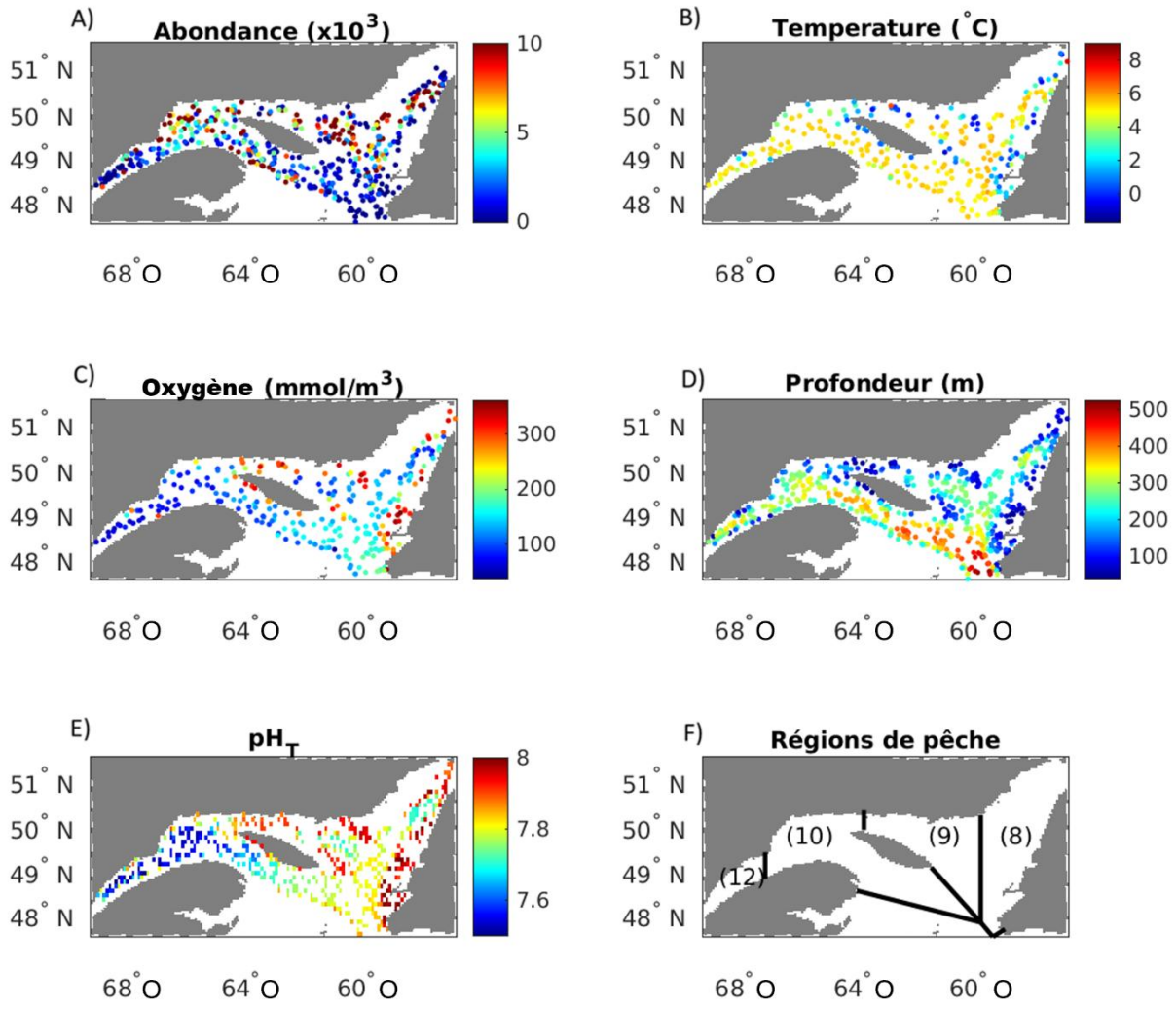


Figure 2. A) Abondance de crevettes (nombre par station), B) température, C) concentration en oxygène dissous, D) profondeur, E) pH total (pH_T) simulés aux stations échantillonnées lors du relevé du MPO de 2006 à 2008. Les unités d'évaluations sont (8) Esquiman, (9) Anticosti, (10) Sept-Îles et (12) Estuaire.

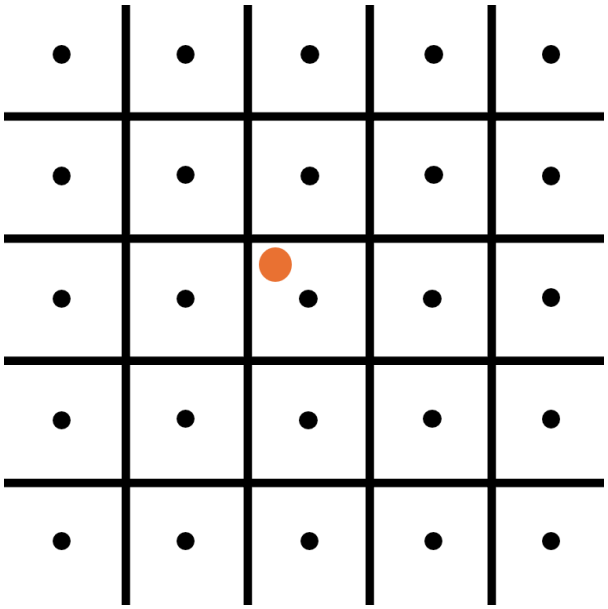


Figure 3. Représentation de la grille du modèle numérique utilisé. Les valeurs de pH total sont données aux points noirs. Le point orange illustre la position d'une station du relevé à laquelle le pH total est interpolé.

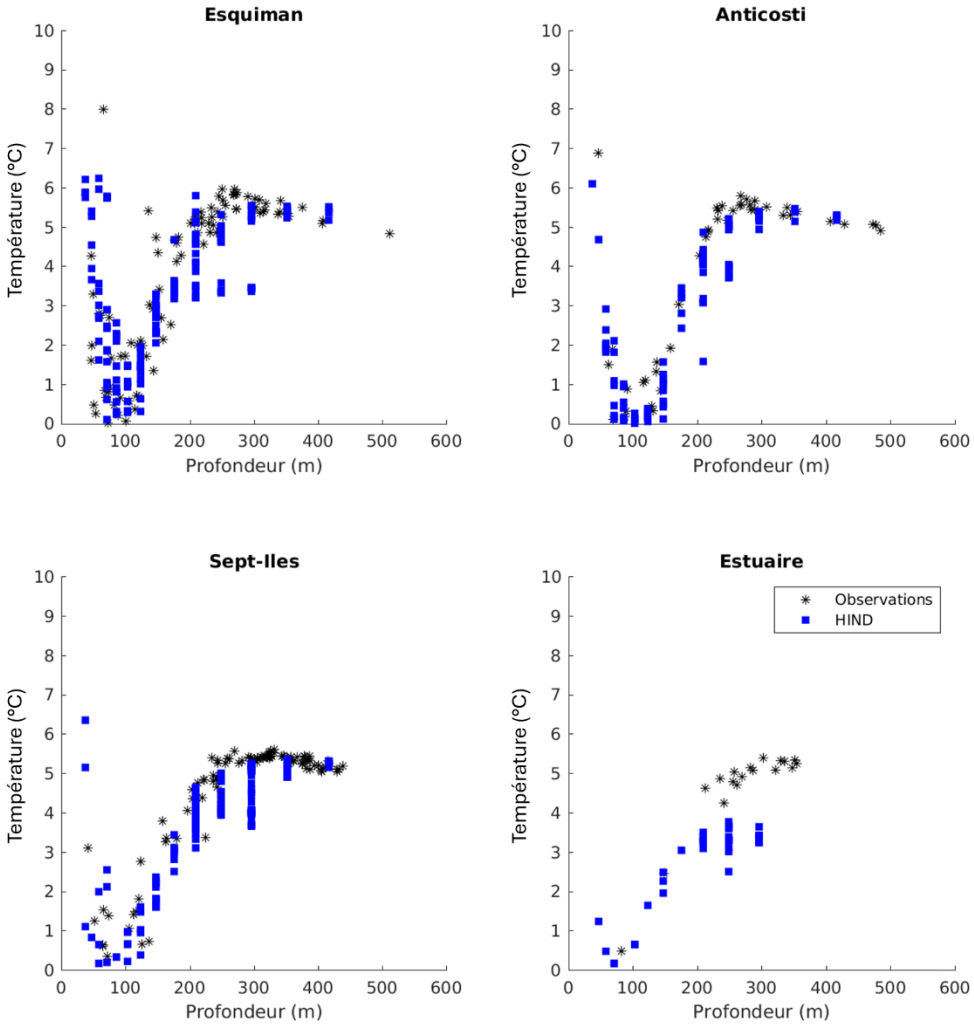


Figure 4. Comparaison de la température en fonction de la profondeur entre les observations (noir) du relevé et la simulation HIND (bleu) par unité d'évaluation de stocks. Les données présentées couvrent la période de 2006 à 2008. Les données du modèle ont été prises aux points les plus proches des observations.

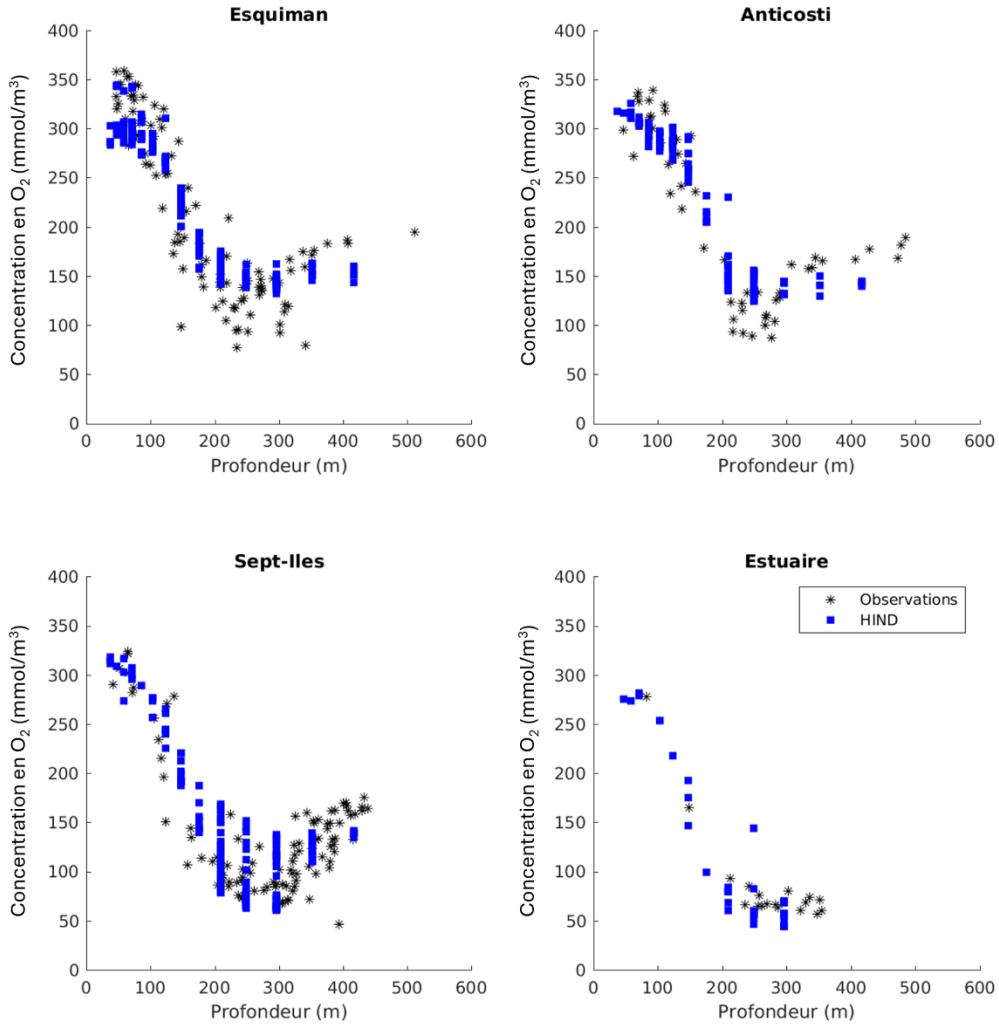


Figure 5. Comparaison de la concentration en oxygène dissous en fonction de la profondeur entre les observations (noir) du relevé et la simulation HIND (bleu), par unité d'évaluation de stocks. Les données présentées couvrent la période de 2006 à 2008. Les données du modèle ont été prises aux points les plus proches des observations.

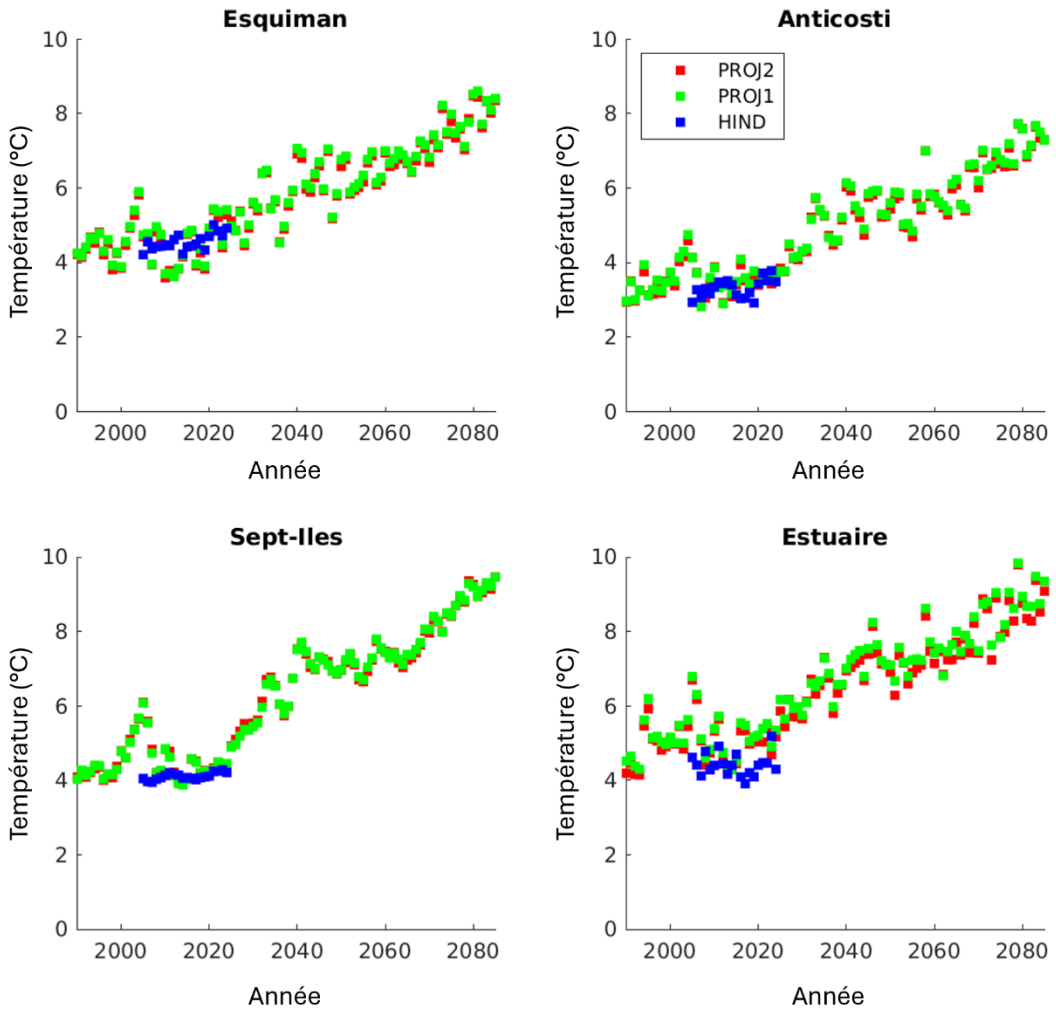


Figure 6. Température moyenne sur le fond au mois d'août pour les simulations HIND (bleu foncé), PROJ1 (vert) et PROJ2 (rouge) dans chacune des unités d'évaluation de stocks. Pour chaque modèle, tous les points de la grille au fond se trouvant dans les unités d'évaluations sont inclus dans la moyenne annuelle.

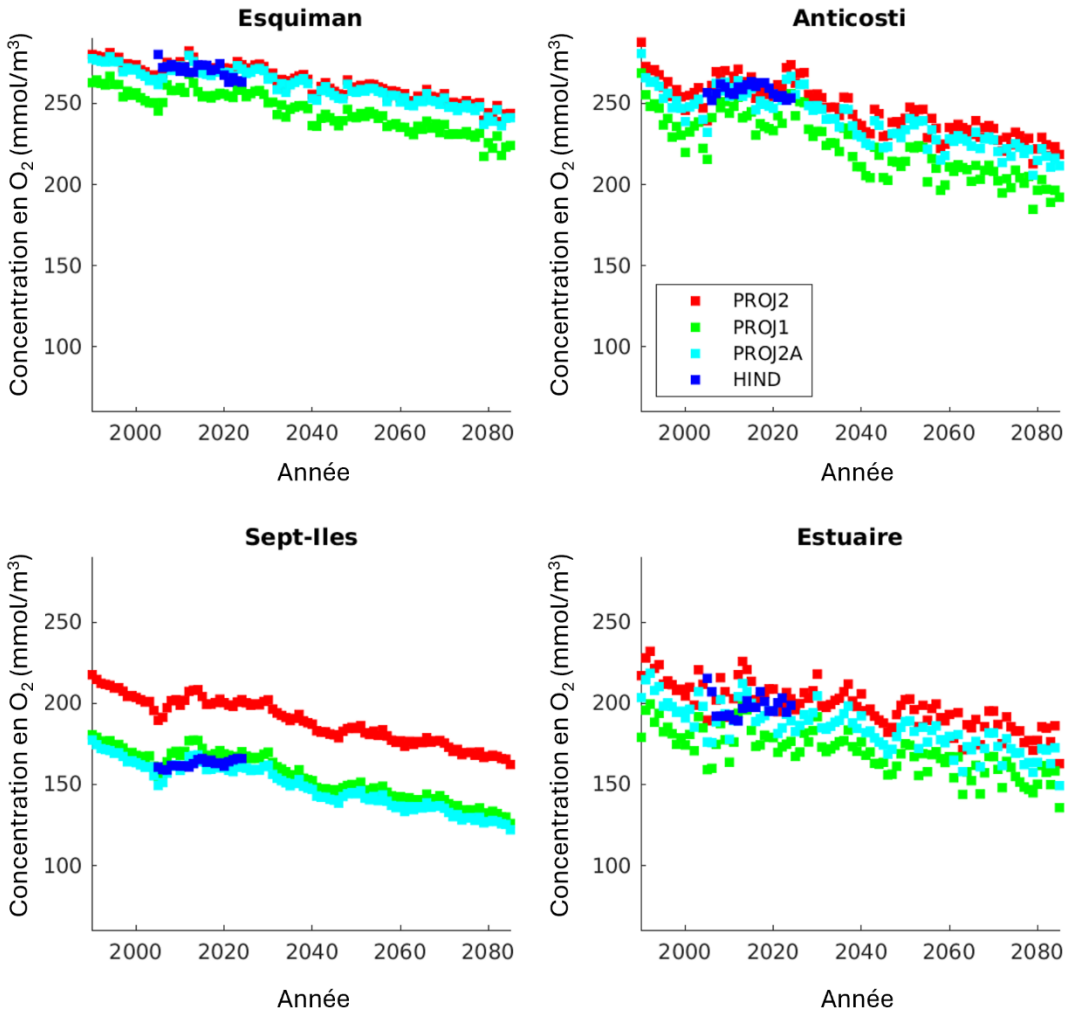


Figure 7. Concentrations en oxygène dissous moyenne sur le fond au mois d'août pour les simulations HIND (bleu foncé), PROJ1 (vert), PROJ2 (rouge) et PROJ2 ajustée (PROJ2A, cyan) dans chacune des unités d'évaluation. Pour chaque modèle, tous les points de grille au fond se trouvant dans les unités d'évaluations sont inclus dans la moyenne annuelle.

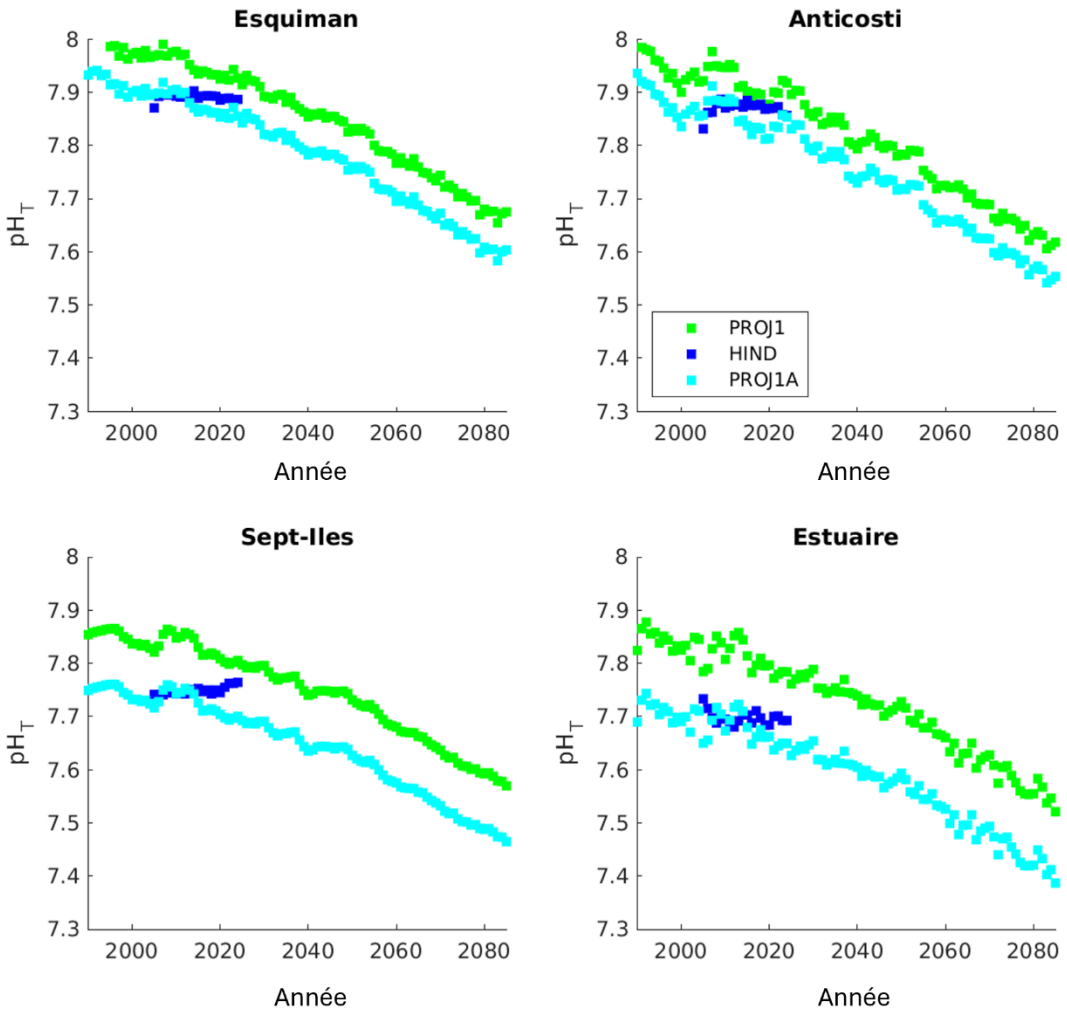


Figure 8. Moyenne du pH total (pH_T) sur le fond au mois d'août pour les simulations HIND (bleu foncé), PROJ1 (vert), et PROJ2 ajustée (PROJ1A, cyan) dans chacune des unités d'évaluation de stocks. Pour chaque modèle, tous les points de la grille au fond se trouvant dans les unités d'évaluations sont inclus dans la moyenne annuelle.

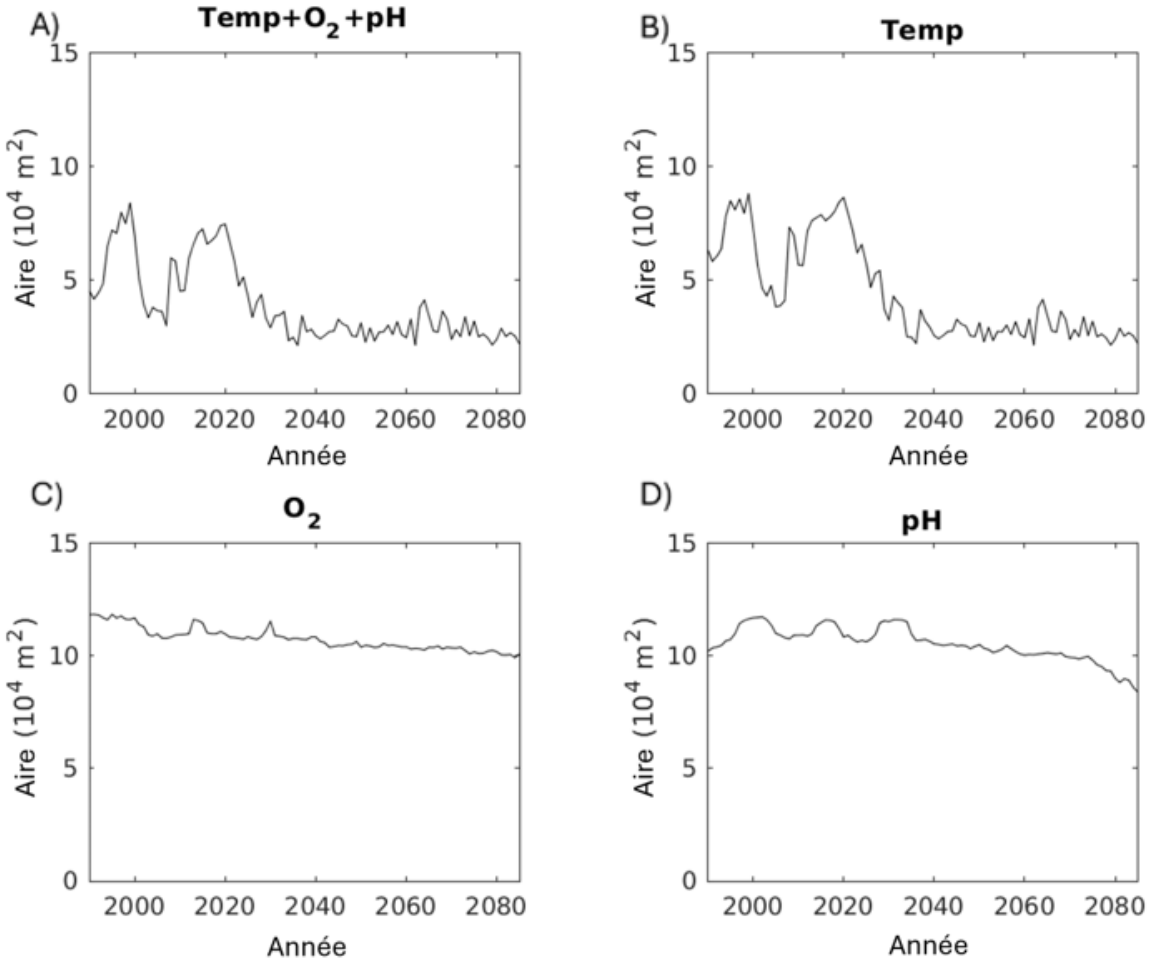


Figure 9. Aire moyenne pour le mois d'août de l'habitat favorable sur l'ensemble du golfe du Saint-Laurent. Le panneau A) considère l'ensemble des trois conditions environnementales. Le panneau B) correspond à l'aire respectant le critère de température. Les panneaux C) et D) respectent respectivement le critère de concentration en oxygène dissous et de pH total. Tous les panneaux respectent également le critère sur la profondeur minimale de 75 m.

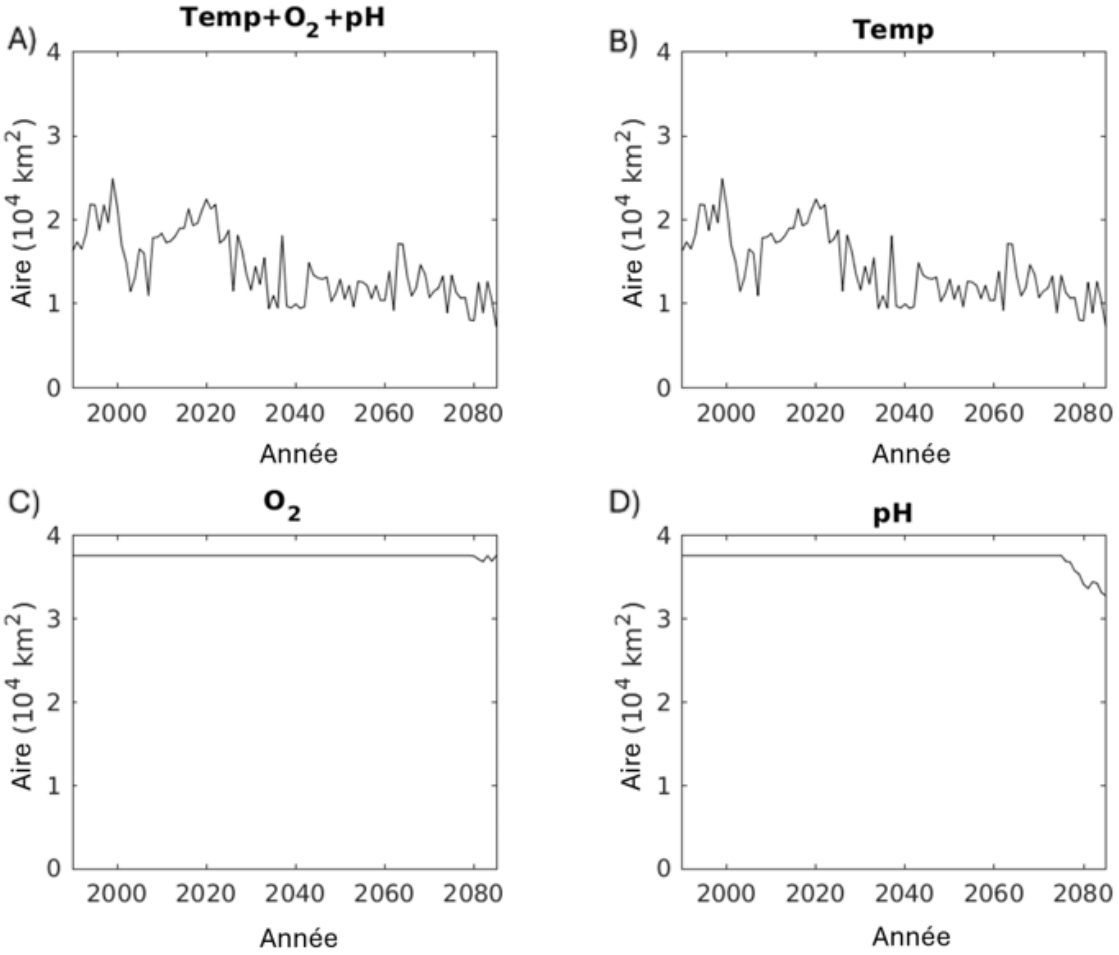


Figure 10. Aire moyenne pour le mois d'août de l'habitat favorable pour l'unité d'évaluation Esquiman. Le panneau A) considère l'ensemble des trois conditions environnementales. Le panneau B) correspond à l'aire respectant le critère de température. Les panneaux C) et D) respectent respectivement le critère de concentration en oxygène dissous et de pH total. Tous les panneaux respectent également le critère sur la profondeur minimale de 75 m.

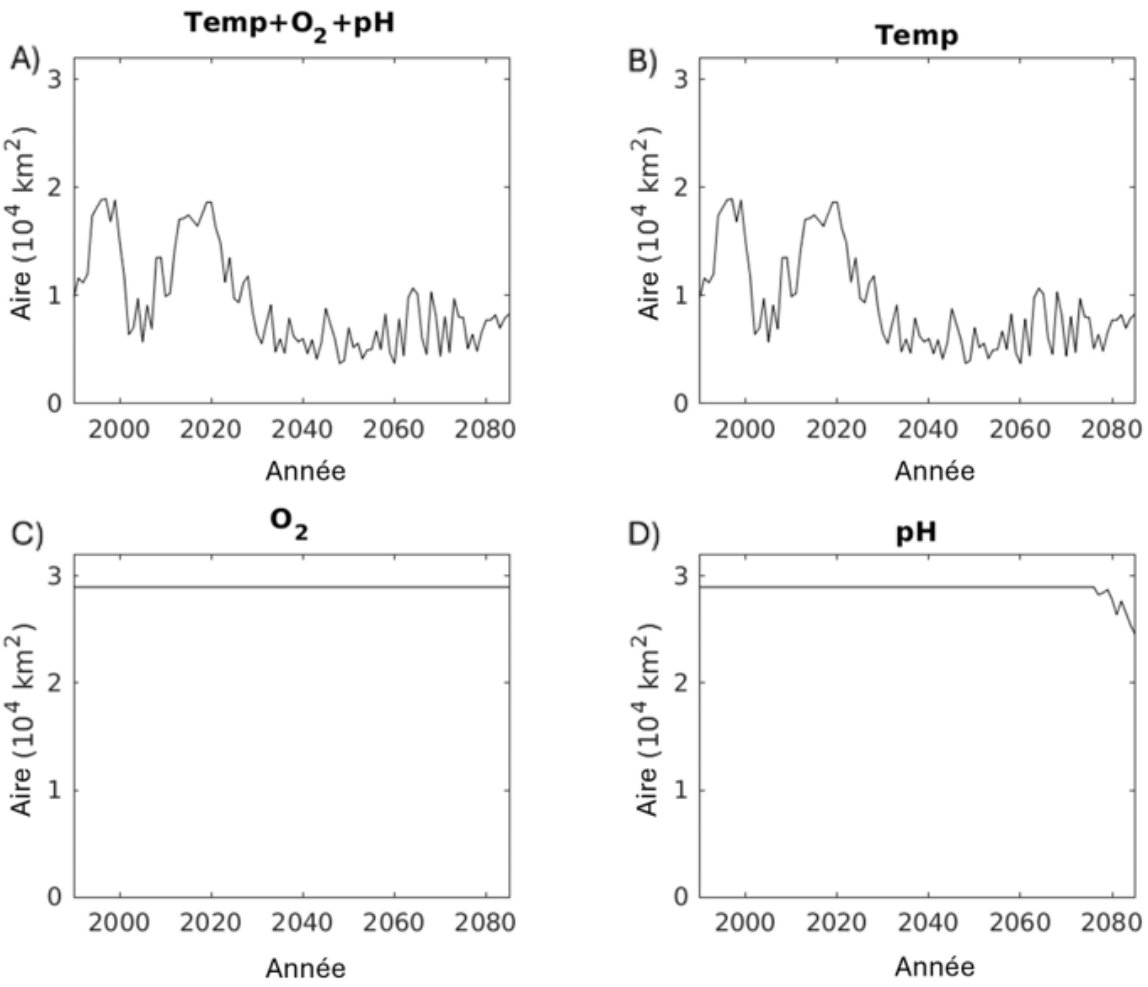


Figure 11. Aire moyenne pour le mois d'août de l'habitat favorable pour l'unité d'évaluation Anticosti. Le panneau A) considère l'ensemble des trois conditions environnementales. Le panneau B) correspond à l'aire respectant le critère de température. Les panneaux C) et D) respectent respectivement le critère de concentration en oxygène dissous et de pH total. Tous les panneaux respectent également le critère sur la profondeur minimale de 75 m.

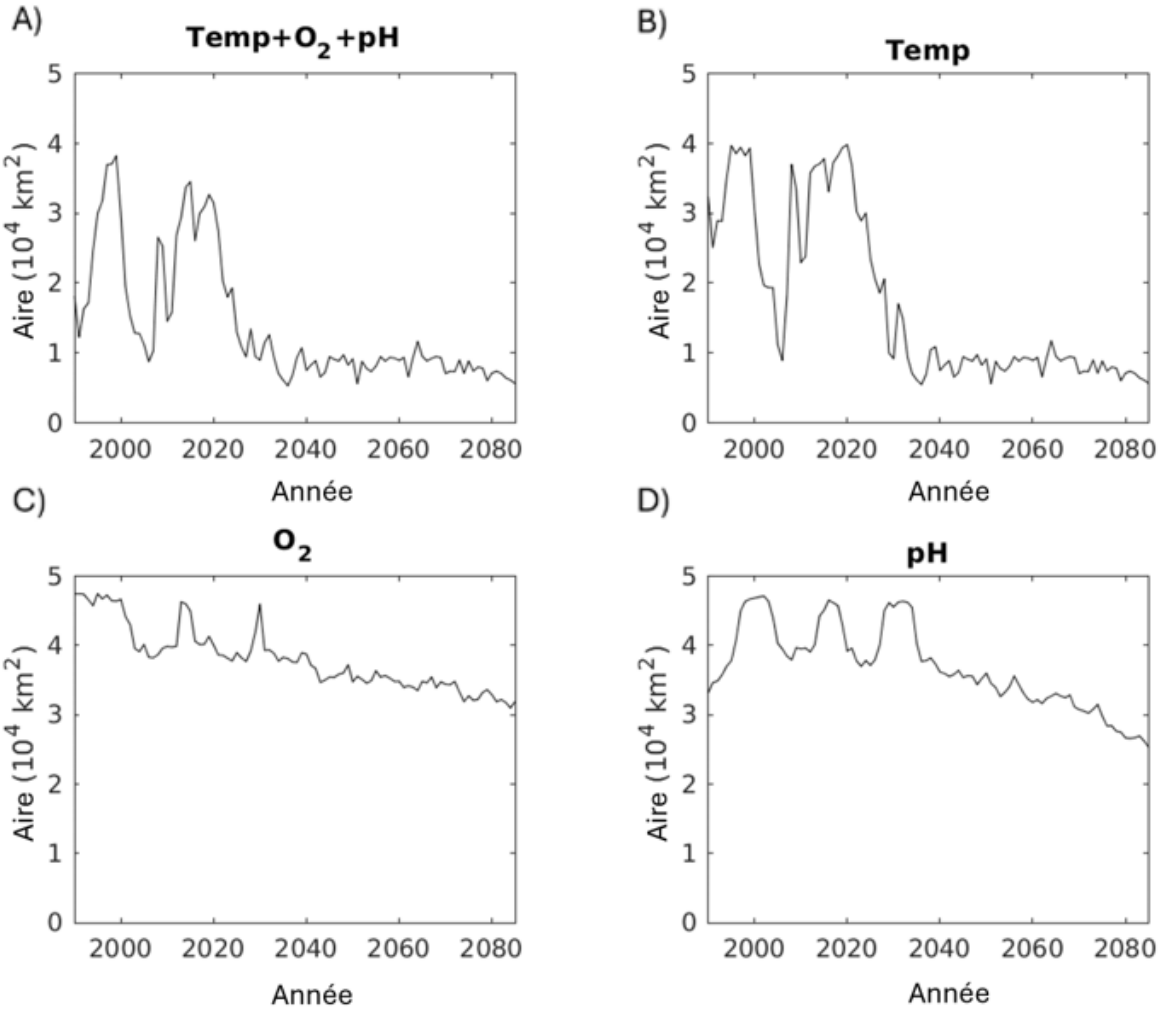


Figure 12. Aire moyenne pour le mois d'août de l'habitat favorable pour l'unité d'évaluation Sept-Îles. Le panneau A) considère l'ensemble des trois conditions environnementales. Le panneau B) correspond à l'aire respectant le critère de température. Les panneaux C) et D) respectent respectivement le critère de concentration en oxygène dissous et de pH total. Tous les panneaux respectent également le critère sur la profondeur minimale de 75 m.

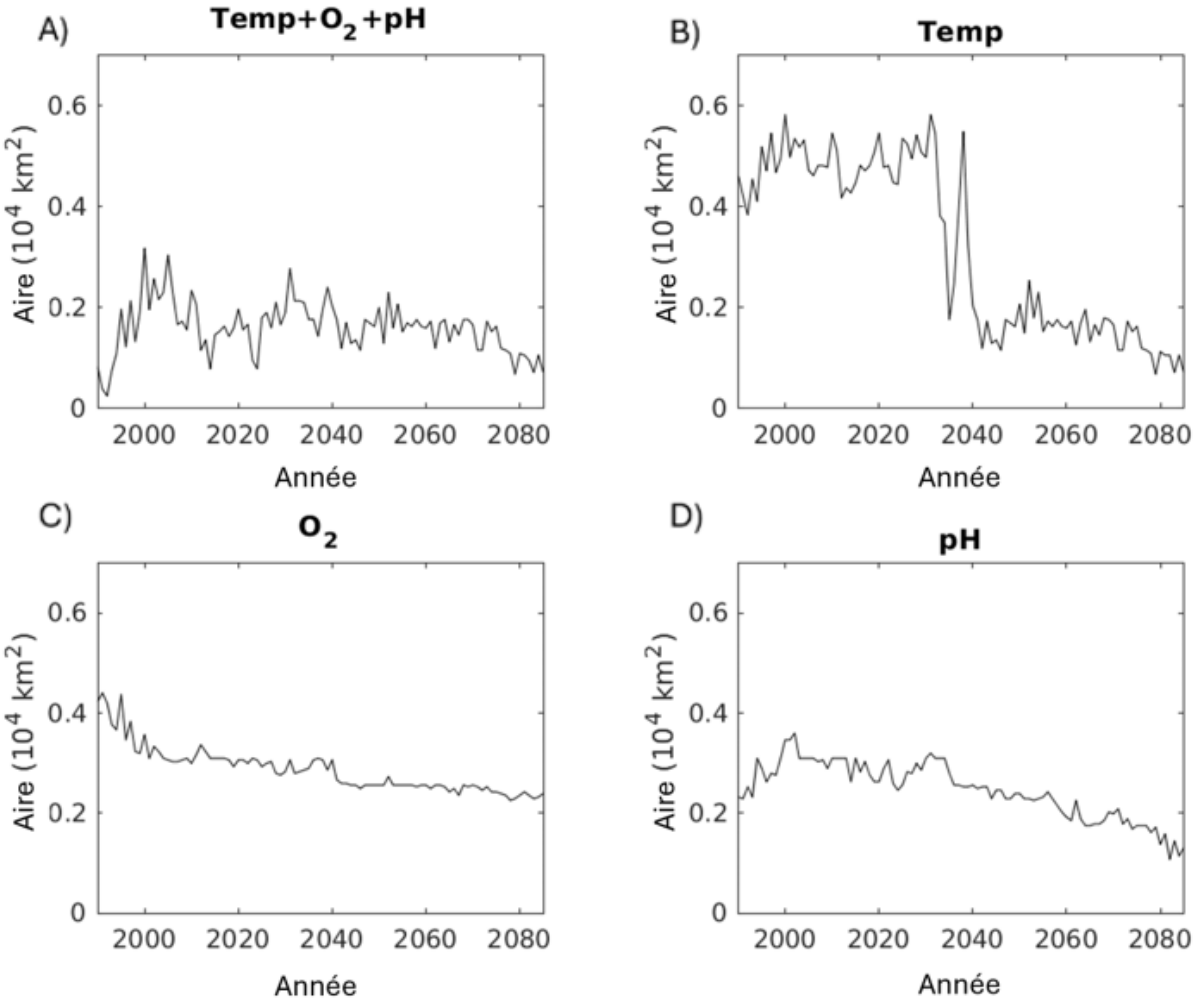


Figure 13. Aire moyenne pour le mois d'août de l'habitat favorable pour l'unité d'évaluation Estuaire qui respecte les 3 critères (A), le critère de température uniquement (B), le critère de concentration en oxygène dissous (C) et de pH total (D). Tous les panneaux respectent également le critère sur la profondeur minimale de 75 m.

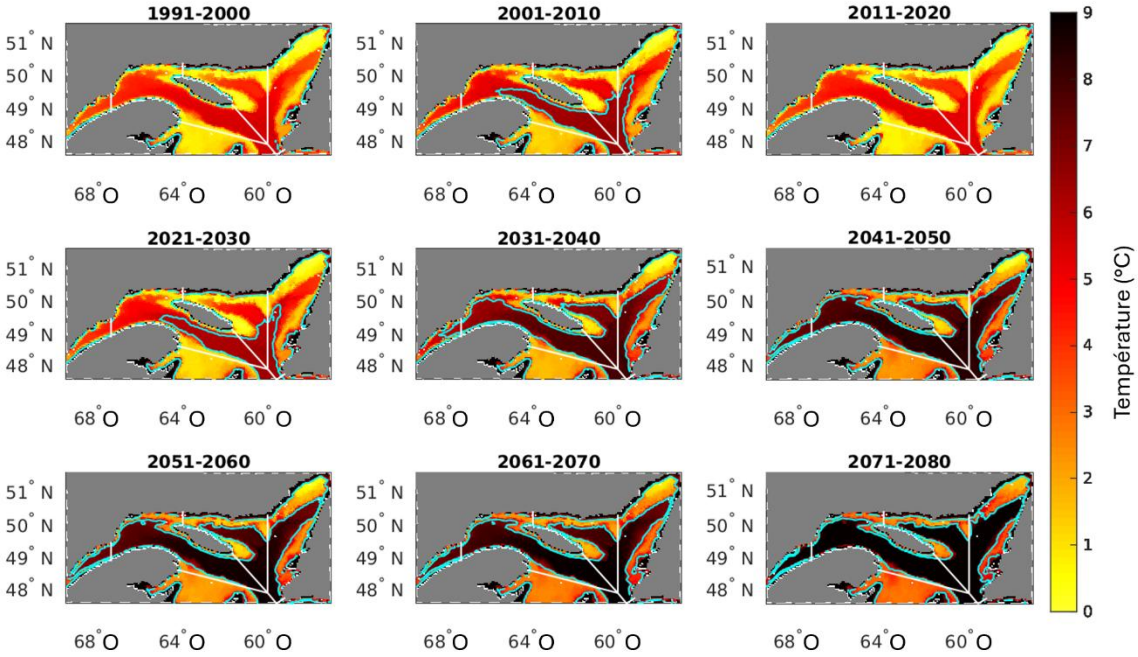


Figure 14. Moyennes décennales passées et futures de la température sur le fond pour le mois d'août obtenues avec la simulation PROJ1. Les lignes bleu cyan représentent la limite supérieure (5.7 °C) de la condition de température. Les températures à l'intérieur de la zone créée par cette limite sont donc trop chaudes pour la crevette. Les températures trop froides (< 1.9 °C) sont représentées par les régions en jaune. Les lignes blanches sont les délimitations des unités d'évaluation. Figure 1. Bathymétrie de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent tirée du modèle biogéochimique et unités d'évaluation des stocks de crevette nordique. Les unités sont (8) Esquiman, (9) Anticosti, (10) Sept-Îles et (12) Estuaire. Le détroit d'Honguedo est identifié par la mention DH.

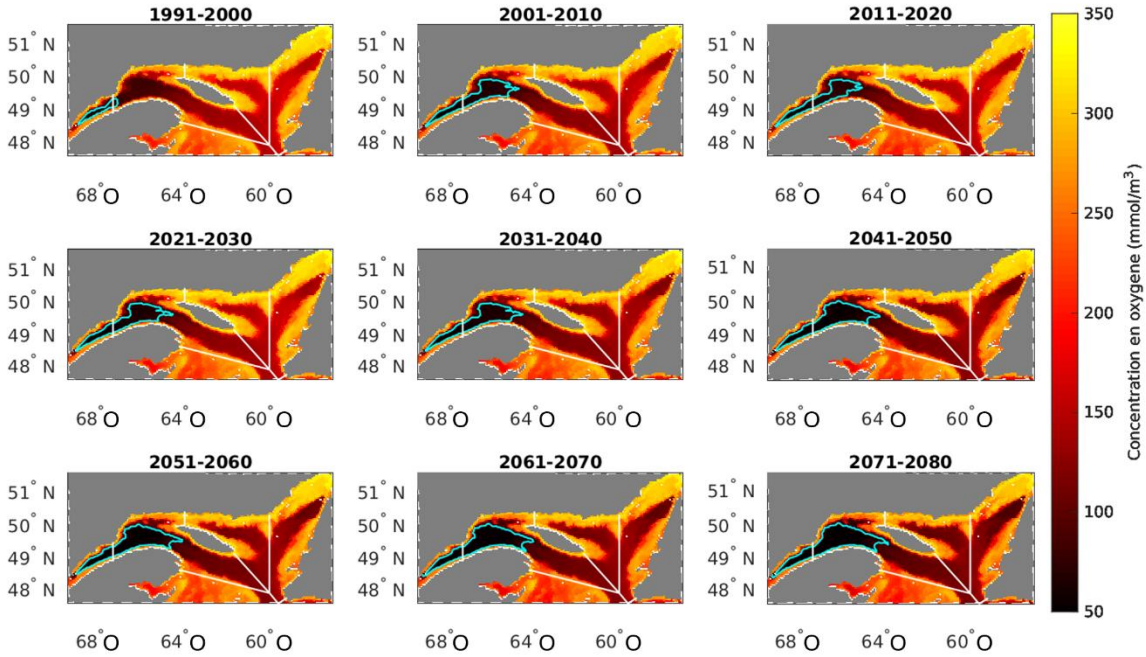


Figure 15. Moyennes décennales passées et futures de la concentration en oxygène dissous sur le fond pour le mois d'août obtenues avec la simulation PROJ2A. Les lignes bleu cyan sont la condition limite de concentration en oxygène dissous (77.8 mmol/m^3*). Les lignes blanches sont les délimitations des unités d'évaluation.*

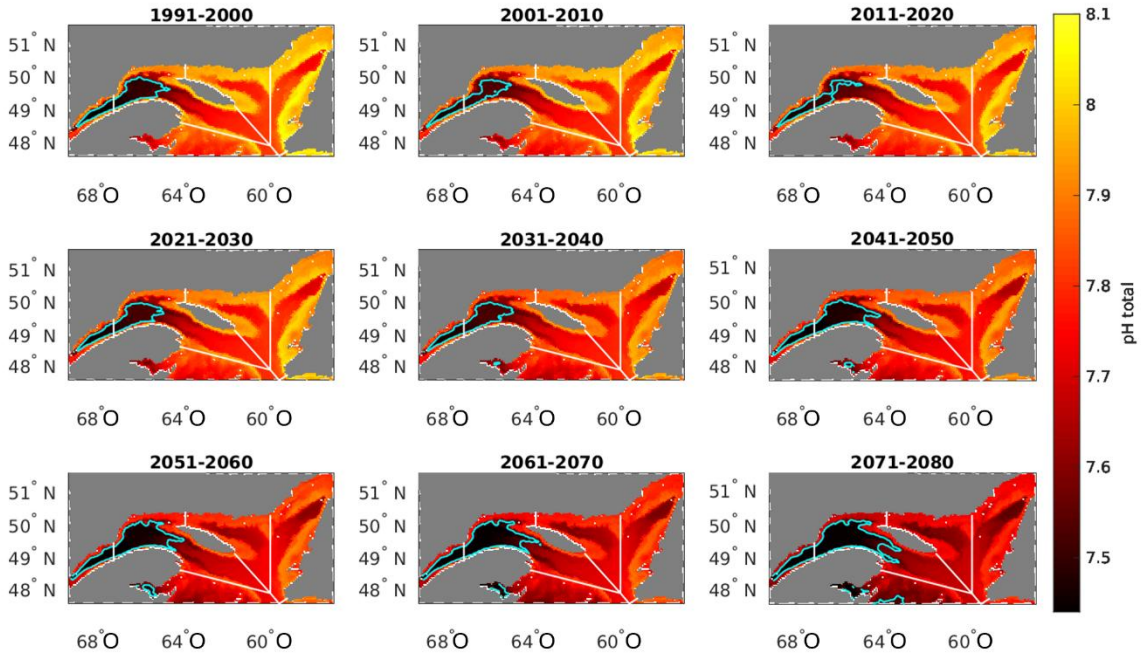


Figure 16. Moyennes décennales passées et futures du pH total sur le fond pour le mois d'août obtenues avec la simulation PROJ1A. Les lignes bleu cyan représentent la condition limite de pH total (7.54). Les lignes blanches sont les délimitations des unités d'évaluation.

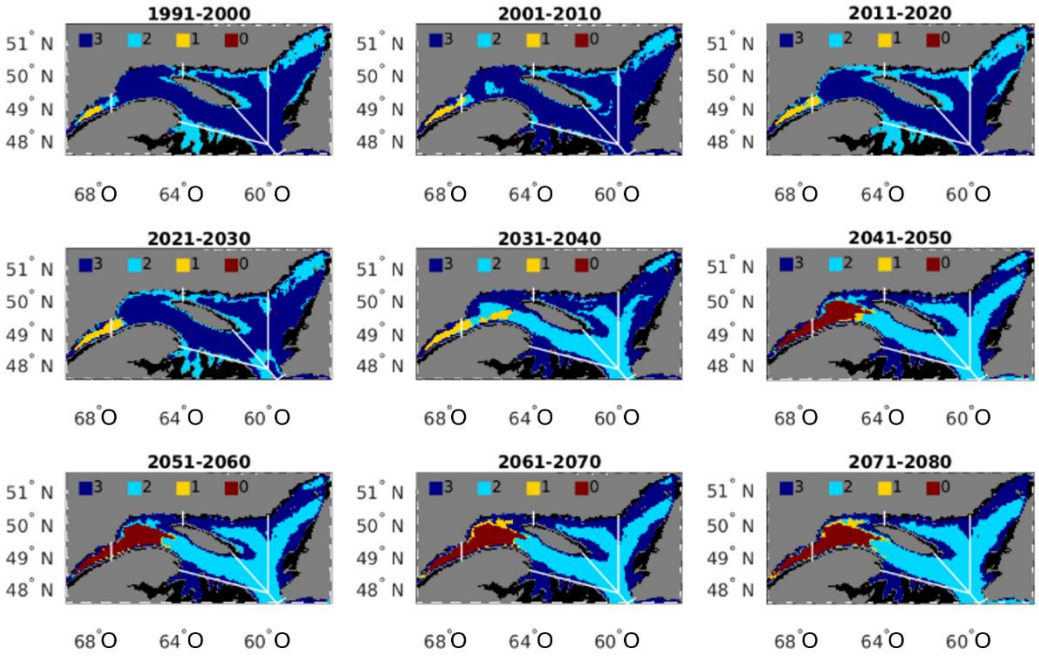


Figure 17. Nombre de variables (température, oxygène dissous et pH_T) dont les valeurs sur le fond correspondent aux conditions favorables à la crevette nordique dans le golfe du Saint-Laurent (voir Tableau 1). Les lignes blanches indiquent les délimitations des unités d'évaluation. Les conditions moyennes par décennie ont été calculées à partir de la simulation PROJ1 pour la température, PROJ2A pour l'oxygène dissous et PROJ1A pour le pH_T