

Exploration of Sea Pens Data

Vincent Bellavance

3/16/23

Table of contents

Introduction	4
1 Données d'occurrence	5
1.1 Sources de données	5
1.2 Inférence des absences	6
1.3 Cartes des données d'occurrence	7
1.3.1 <i>Anthoptilum grandiflorum</i>	7
1.3.2 <i>Balticina finmarchica</i>	7
1.3.3 <i>Pennatula aculeata</i>	7
1.3.4 <i>Ptilella grandis</i>	7
I Variables environnementales	12
Connaissances sur l'habitat des plumes de mer	13
Listes des données environnementales présentées	15
Fond marin	15
Surface	15
2 Bathymétrie	16
3 Oxygène dissous dans les eaux de fond	18
3.1 Pêches et Océans Canada	18
3.2 Bio-Oracle	18
4 Salinité des eaux de fond	22
4.1 Pêches et Océans Canada	22
4.2 Bio-Oracle	23
5 Température des eaux de fond	26
5.1 Pêches et Océans Canada	26
5.2 Bio-Oracle	26
6 Vélocité du courant	30

7 Biomasse de phytoplankton et concentration de chlorophylle a	33
7.1 Biomasse de phytolankton	33
7.2 Concentration de chlorophylle a	34
8 Molécules et éléments dissous dans les eaux de fond	38
8.1 Fer	38
8.2 Nitrate	38
8.3 Phosphate	39
8.4 Silicate	39
8.5 Aragonite	40
9 Les sédiments de fond	48
10 Fraction de la couverture de la glace marine	49
11 Biomasse de phytoplankton, concentration de chlorophylle a et productivité primaire dans les eaux de surface	50
11.1 Biomasse de phytolankton	50
11.2 Concentration de chlorophylle a	50
11.3 Productivité primaire	51
12 Concentration de calcite dissous dans les eaux de surface	58
II Modèles de distribution d'espèce	59
Sélection de modèles	61
Types de modèles	61
Présences-absences	61
Biomasse	61
Approximation de Laplace imbriquée et intégrée (INLA)	62
References	63

Introduction

Ce rapport a pour but de documenter l'avancement sur le projet d'identification de l'habitat potentiel de la plume de mer dans l'estuaire maritime et le golfe du Saint-Laurent. Il se décline en trois parties:

- **Les données d'occurrence de plumes de mer**
 - Sources des données
 - Traitement des données
 - Cartes des occurrence pour chaque espèce
- **Les variables environnementales**
 - Variables environnementales potentielles à utiliser dans les modèles.
 - Liste d'articles sur la distribution de la plume de mer avec la liste de variables environnementales associées à sa présence.
 - Liste des données à considérer pour la modélisation de l'habitat potentiel de la plume de mer dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent.
- **La modélisation de l'habitat potentiel**
 - Modèles choisis pour les données de:
 - * Présences-absences,
 - * Biomasse.
 - Outil utiliser pour construire les modèles.

1 Données d'occurrence

1.1 Sources de données

Les données d'occurrence des plumes de mer proviennent de deux sources:

1. Relevé au chalut par navire de recherche de poisson de fond de la Division 4T de l'OPANO. Ces données ont été récoltées de 1970 à 2021.

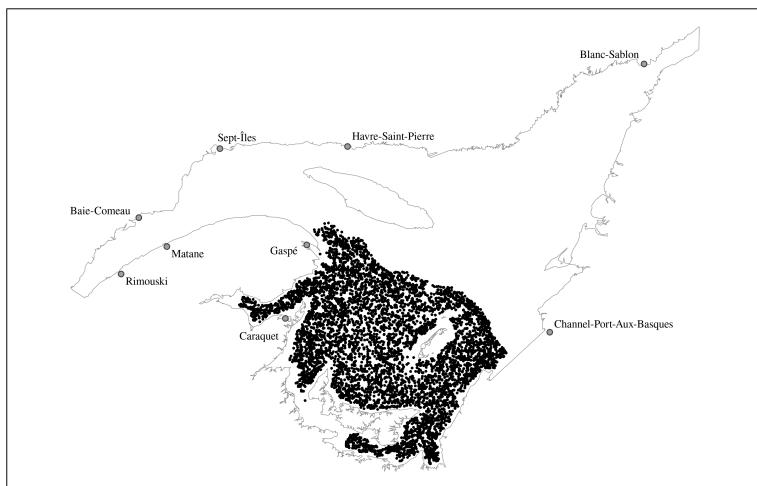


Figure 1.1: Localisation des points d'échantillonnages lors du relevé au chalut par navire de recherche de poisson de fond de la Division 4T de l'OPANO

2. Relevé multidisciplinaire de poissons de fond et de crevette d'août dans l'estuaire et le nord du golfe du Saint-Laurent

Pour le nord du golfe, il semble y avoir d'autres relevés disponibles sur open.canada.ca qui ont été réalisés sur d'autres navires:

- NM Gadus Atlantica (1978-1994)

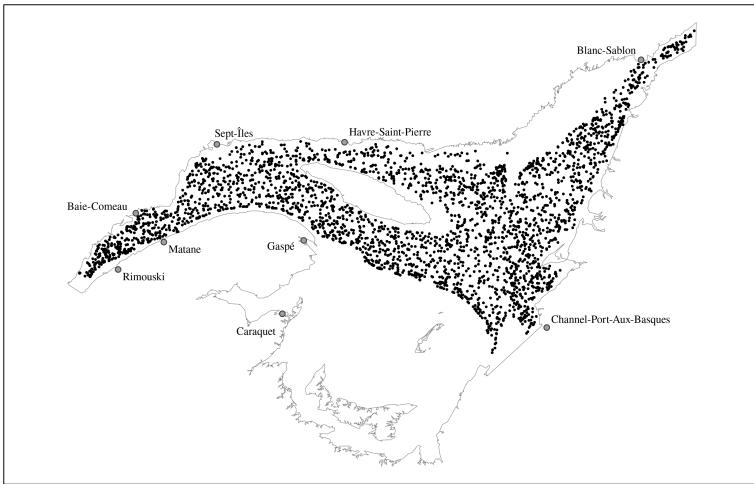


Figure 1.2: Localisation des points d'échantillonnages lors du relevé multidisciplinaire de poissons de fond et de crevette d'août dans l'estuaire et le nord du golfe du Saint-Laurent de 2004 à 2021 effectué à bord du NGCC Teleost

- NM Lady Hammond (1984-1990)
- NGCC Alfred Needler (1990-2005)

Par contre, il est spécifié que la qualité des données s'est améliorée au fil du temps et que les données ne sont pas directement comparables entre ces différents relevés.

1.2 Inférence des absences

Les données utilisées contiennent l'identification de toutes les espèces récoltées à chacun des traits de pêche. Il est donc possible d'inférer les absences d'une espèce pour chaque trait de pêche où elle n'a pas été identifiée. Ces absences ne sont évidemment pas parfaites pour plusieurs raisons (e.g. problèmes d'identification, non-détection alors que l'espèce est bien présente), mais elles amènent tout de même de l'information très utile lors de la modélisation des aires de distribution d'espèces.

Nous avons donc inférer les absences pour les quatres espèces se situant dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent:

1. *Anthoptilum grandiflorum*
2. *Balticina finmarchica*

3. *Pennatula aculeata*

4. *Ptilella grandis*

1.3 Cartes des données d'occurrence

1.3.1 *Anthoptilum grandiflorum*

1.3.2 *Balticina finmarchica*

1.3.3 *Pennatula aculeata*

1.3.4 *Ptilella grandis*

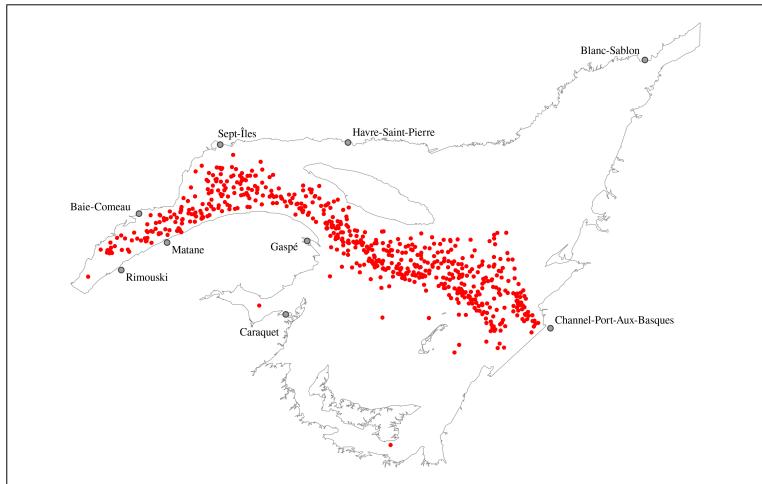


Figure 1.3: Données de présence d'*Anthoptilum grandiflorum* dans l'estuaire maritime et le golfe du Saint-Laurent

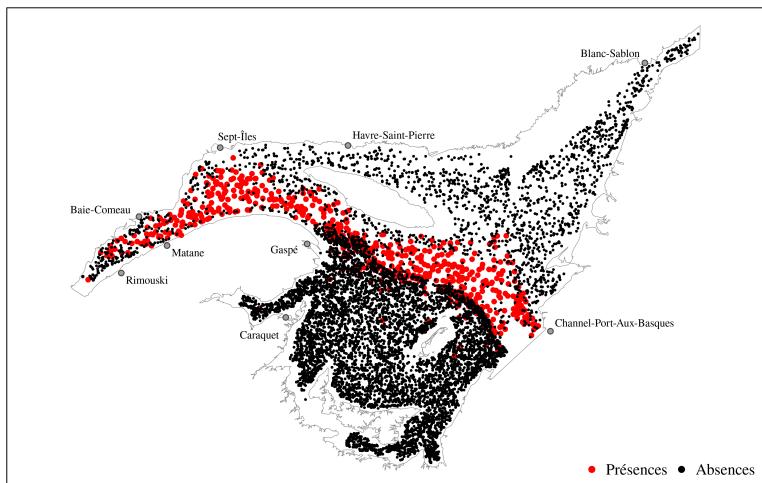


Figure 1.4: Données de présence/absence d'*Anthoptilum grandiflorum* dans l'estuaire maritime et le golfe du Saint-Laurent

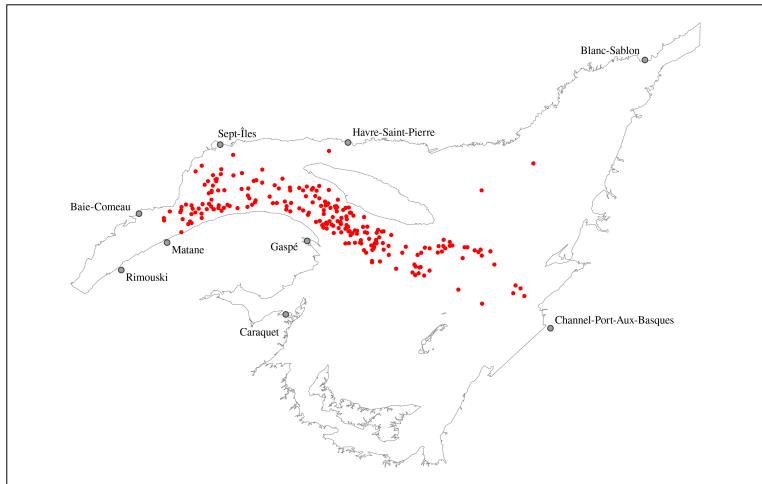


Figure 1.5: Données de présence de *Balticina finmarchica* dans l'estuaire maritime et le golfe du Saint-Laurent

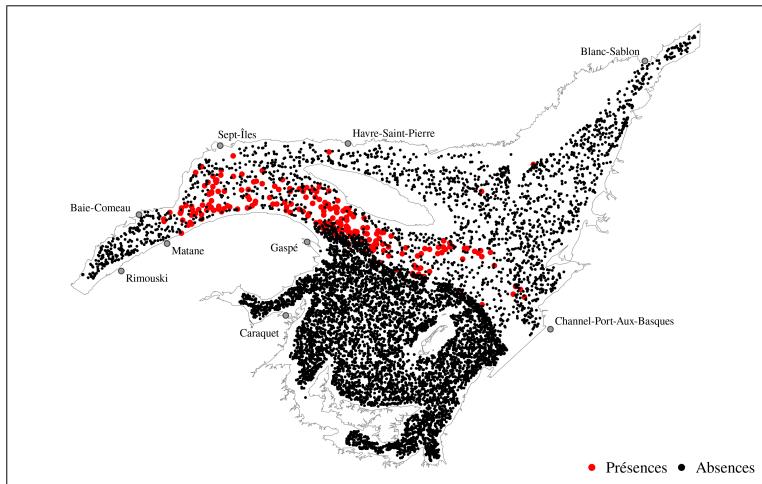


Figure 1.6: Données de présence/absence de *Balticina finmarchica* dans l'estuaire maritime et le golfe du Saint-Laurent

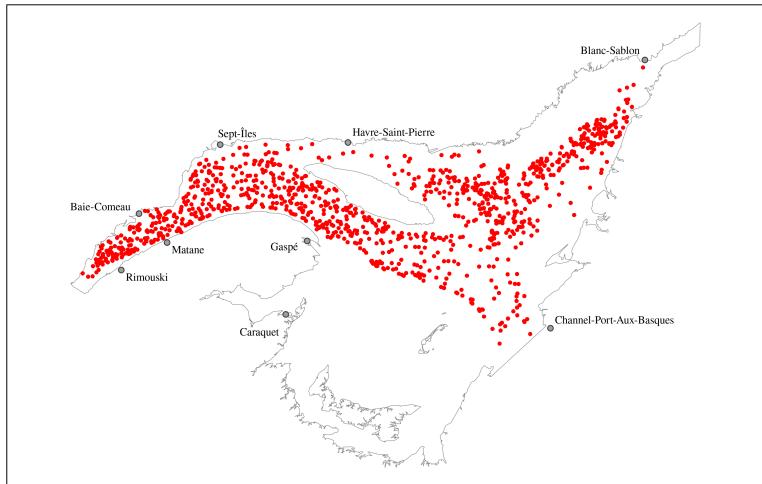


Figure 1.7: Données de présence de *Pennatula aculeata* dans l'estuaire maritime et le golfe du Saint-Laurent

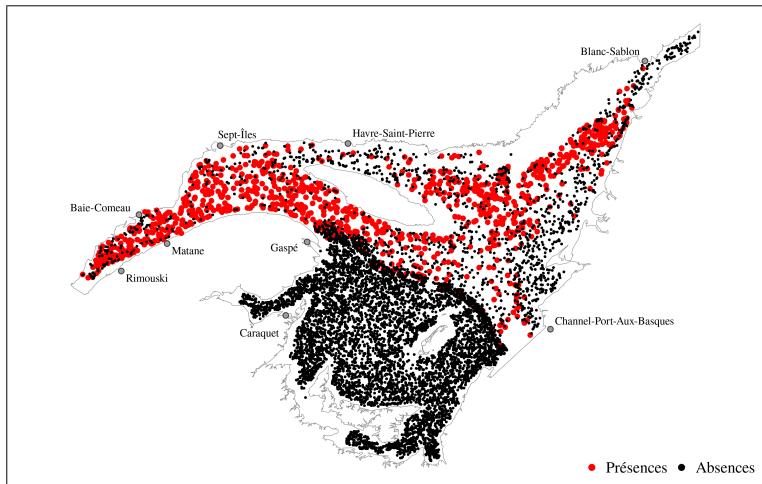


Figure 1.8: Données de présence/absence de *Pennatula aculeata* dans l'estuaire maritime et le golfe du Saint-Laurent

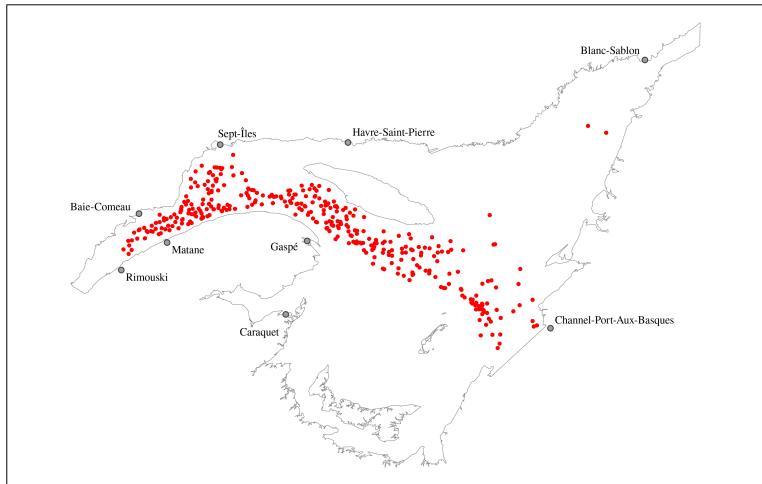


Figure 1.9: Données de présence de *Ptilella grandis* dans l'estuaire maritime et le golfe du Saint-Laurent

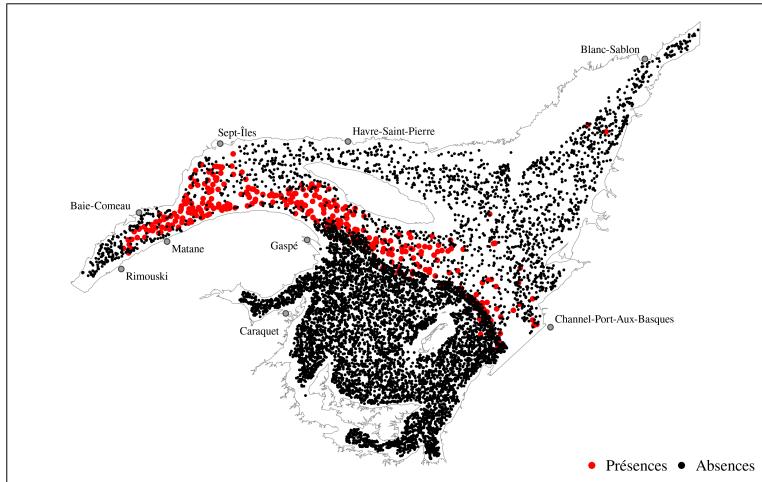


Figure 1.10: Données de présence/absence de *Ptilella grandis* dans l'estuaire maritime et le golfe du Saint-Laurent

Part I

Variables environnementales

Connaissances sur l'habitat des plumes de mer

Les connaissances sur l'habitat de la plume de mer dans le golfe du Saint-Laurent sont limitées à ce jour. Les travaux de Kenchington et al. (2016) ont délimité des zones d'importance pour la plume de mer est élevées avec la méthode du noyau. Ces zones où la concentration de plumes de mer est particulièrement élevée se situent le long du Chenal Laurentien Figure 1.11.

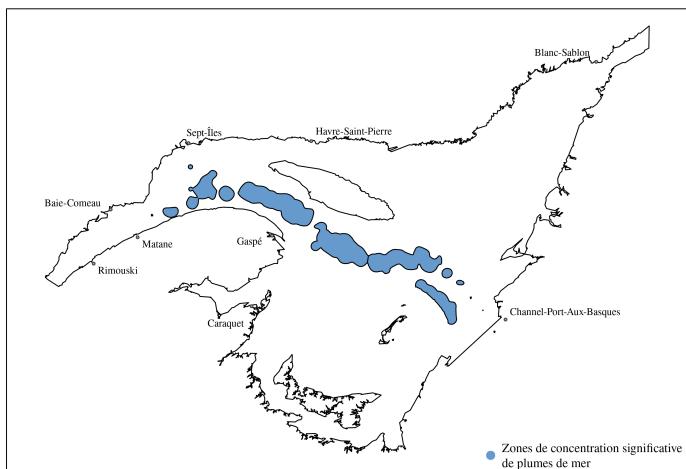


Figure 1.11: Zones de concentration significative de plumes de mer dans le golfe du Saint-Laurent identifiées par Kenchington et al. (2016)

Ces polygones ont été complémentés par les modèles d'espèces réalisés par Murillo et al. (2016). Les modèles basés sur des arbres décisionnels ont permis d'identifier la salinité et la température des eaux de fond ainsi que la profondeur comme variables les plus importantes pour la prédiction de la présence de plumes de mer Murillo et al. (2016). La productivité primaire et la température des eaux de surface sont quant à elles les deux variables les plus importantes à la prédiction de la biomasse de plume de mer Murillo et al. (2016).

D'autres modèles de distribution de la plume de mer ont également été réalisés pour compléter les travaux de Kenchington et al. (2016). Ces modèles visent la région des Maritimes (Beazley, Kenchington, et al. 2016), les plates-formes de Terre-Neuve et du Labrador (Guijarro et al. 2016) et l'est de l'Arctique (Beazley, Murillo, et al. 2016). La profondeur

est une variable importante à la prédiction de la présence de la plume de mer dans ces trois régions (Beazley, Kenchington, et al. 2016; Beazley, Murillo, et al. 2016; Guijarro et al. 2016), alors que l'étendue des valeurs de salinité des eaux de fond s'est également avérée importante pour le modèle de la région de l'Arctique (Guijarro et al. 2016).

Nous nous sommes également fiers sur d'autres études portant sur la distribution et l'habitat de la plume de mer ailleurs dans le monde afin d'élaborer la liste de variables environnementales à utiliser avec nos modèles. La Table 1.1 présente un résumé de ces études avec les taxons visés, l'aire d'étude et les variables les plus importantes pour la prédiction de la présence de la plume de mer.

Table 1.1: Variables les plus importantes pour la prédiction de la présence de plumes de mer selon cinq études aidant modéliser sa distribution

Études	Taxons visés	Aires d'étude	Variables
Gullage, Devillers, and Edinger (2017)		Plates-formes de Terre-Neuve et du Labrador	
Yesson et al. (2012)		Global	
Greathead et al. (2015)		Royaume-Uni	
Downie et al. (2021)		Royaume-Uni	
Ross et al. (2021)		Norvège	

Listes des données environnementales présentées

En raison de l'état des connaissances relativement limitée sur l'habitat de la plume de mer dans le golfe du Saint-Laurent, il est préférable d'explorer un grand nombre de variables avant de commencer la modélisation afin d'éviter d'exclure une variable potentiellement importante dès le départ. Les prochaines sections présentent les 61 variables environnementales intégrées jusqu'à présent pour modéliser l'habitat potentiel de la plume de mer. Ces données proviennent de Pêches et Océans Canada ainsi que de Bio-Oracle. Les données ont toutes été reprojetées sur une grille de 36 secondes d'arc de résolution, à l'exception des données de sédiments puisqu'elles sont sous forme de polygones.

Fond marin

- Bathymétrie et dérivés
- Oxygène dissous dans les eaux de fond
- Salinité des eaux de fond
- Température des eaux de fond
- Vitesse du courant
- Biomasse de phytoplankton et concentration de chlorophylle a
- Molécules et éléments dissous dans l'eau
- Sédiments

Surface

- Couvert glacier
- Biomasse de phytoplankton, concentration de chlorophylle a et productivité primaire
- Calcite

2 Bathymétrie

Source: GEBCO Compilation Group (2022) GEBCO_2022 Grid (doi:10.5285/e0f0bb80-ab44-2739-e053-6c86abc0289c)

Résolution spatiale originale: 15 secondes d'arc

Étendue temporelle: 2022

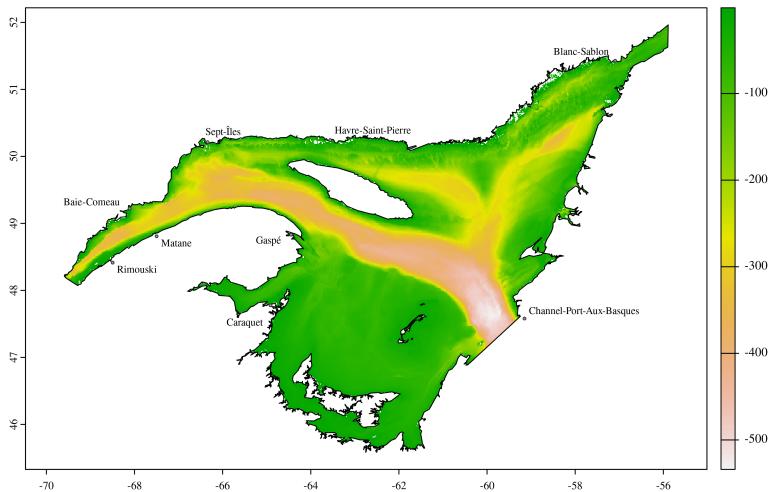


Figure 2.1: Données de bathymétrie du GEBCO (m)

Les données de pente ont été calculées les données de bathymétrie et la fonction `terrain` du paquet R `terra` (Hijmans 2023).

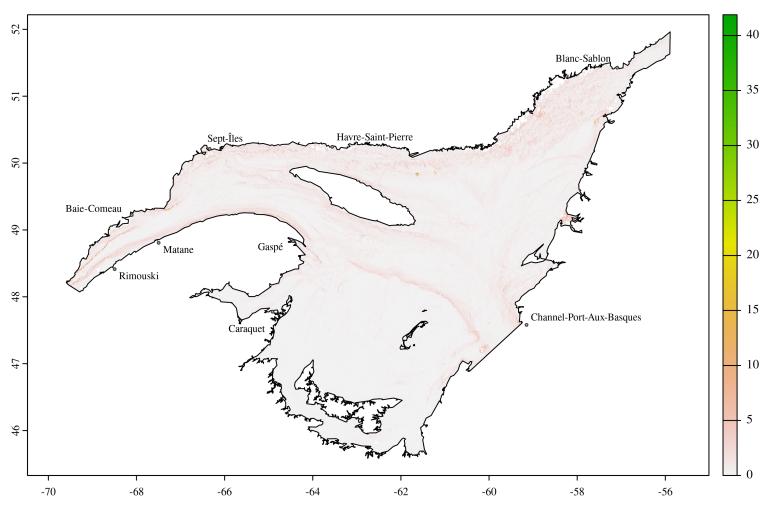


Figure 2.2: Données de pente calculées avec la bathymétrie (degrés)

3 Oxygène dissous dans les eaux de fond

Deux sources de données sont disponibles pour l’oxygène dissous dans les eaux de fond:

- Pêches et Océans Canada
- Bio-Oracle

3.1 Pêches et Océans Canada

Source: Blais, M. et al. Chemical and Biological Oceanographic Conditions in the Estuary and Gulf of St. Lawrence during 2017. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2019/009. Iv + 56 p. iv + 56 p. (2019).

Résolution spatiale originale: 1km²

Étendue temporelle: 2017

3.2 Bio-Oracle

Les données de Bio-Oracle permettent d’avoir des données sur l’oxygène dissous minimal, maximal et moyen dans les eaux de fond à une profondeur moyenne.

Source: Assis J, Tyberghein L, Bosch S, Heroen V, Serrão E, De Clerck O, Tittensor D (2018). “Bio-ORACLE v2.0: Extending marine data layers for bioclimatic modelling.” *Global Ecology and Biogeography*, 27(3), 277-284. doi:10.1111/geb.12693

Résolution spatiale originale: 5 minutes d’arc

Étendue temporelle: 2000 à 2014

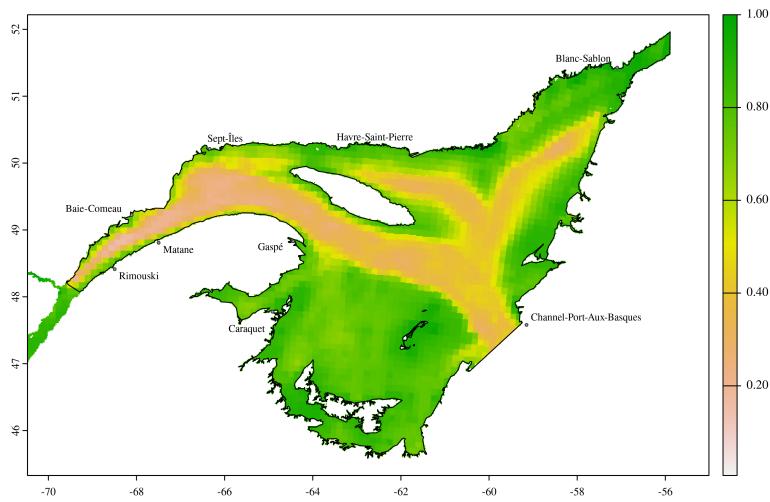


Figure 3.1: Saturation d'oxygène moyenne des eaux de fond

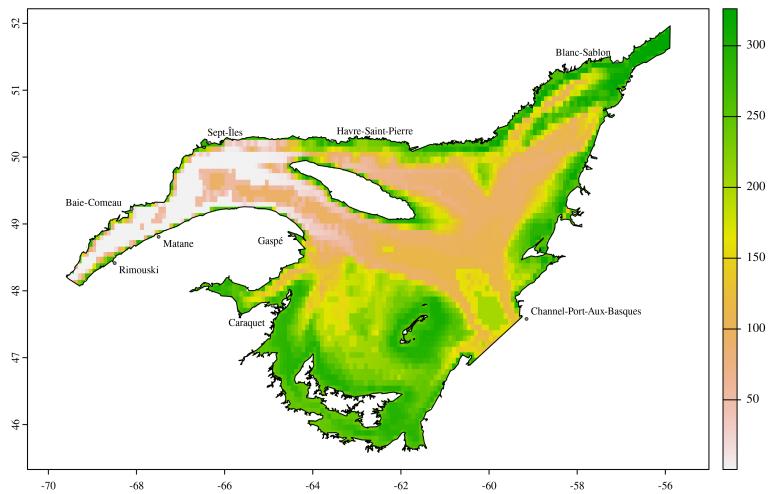


Figure 3.2: Minimum d'oxygène dissous dans les eaux de fond ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$)

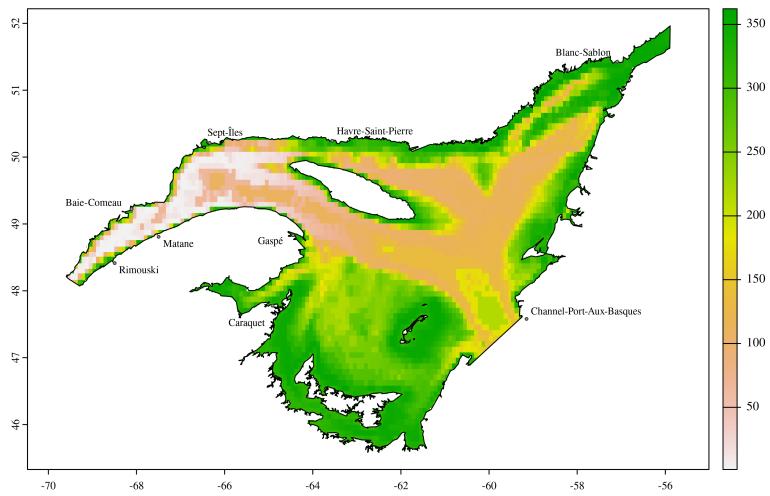


Figure 3.3: Moyenne d'oxygène dissous dans les eaux de fond ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$)

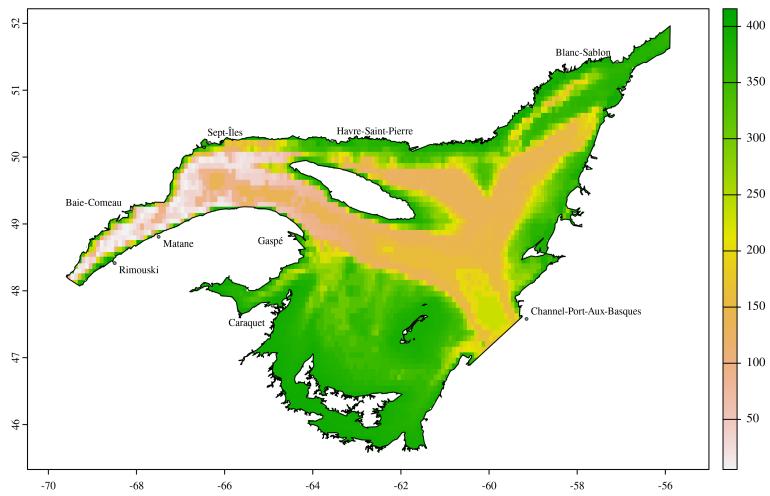


Figure 3.4: Maximum d'oxygène dissous dans les eaux de fond ($\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$)

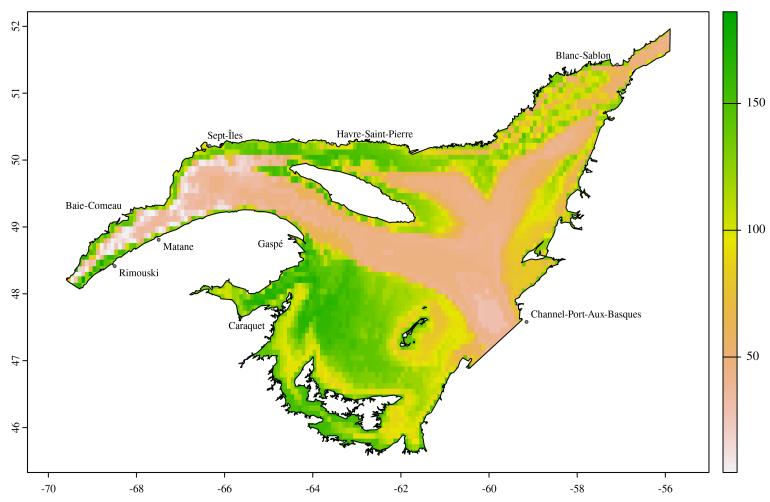


Figure 3.5: Étendue des valeurs d'oxygène dissous dans les eaux de fond (mol.m⁻³)

4 Salinité des eaux de fond

Deux sources de données sont disponibles pour la salinité des eaux de fond:

- Pêches et Océans Canada
- Bio-Oracle

4.1 Pêches et Océans Canada

Source: Pêches et Océans Canada (2022). Température et salinité au fond dans l'estuaire et le golfe du St-Laurent. Pêches et Océans Canada. <https://ouvert.canada.ca/data/fr/dataset/10987662-c496-4ba8-a6b9-21cb5a134da2>.

Résolution spatiale originale: 1km²

Étendue temporelle: 2011 à 2020

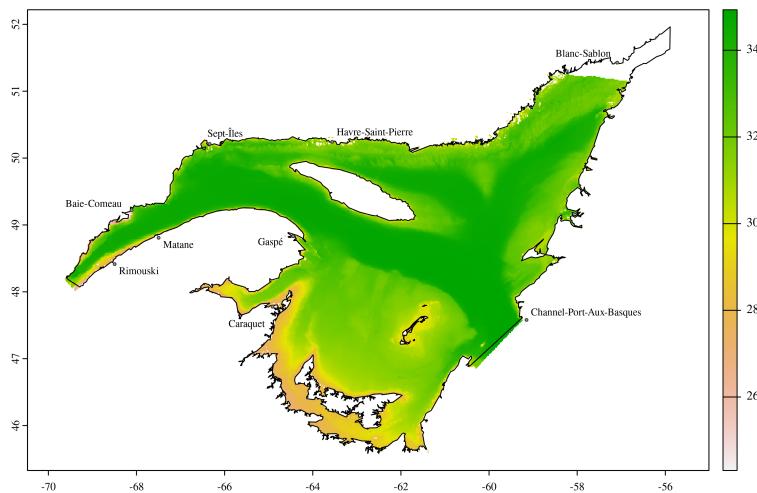


Figure 4.1: Salinité moyenne des eaux de fond

4.2 Bio-Oracle

Les données de Bio-Oracle permettent d'avoir des données sur la salinité minimale, maximale et moyenne dans les eaux de fond à une profondeur moyenne.

Source: Assis J, Tyberghein L, Bosch S, Heroen V, Serrão E, De Clerck O, Tittensor D (2018). “Bio-ORACLE v2.0: Extending marine data layers for bioclimatic modelling.” *Global Ecology and Biogeography*, 27(3), 277-284. doi:10.1111/geb.12693

Résolution spatiale originale: 5 minutes d'arc

Étendue temporelle: 2000-2014

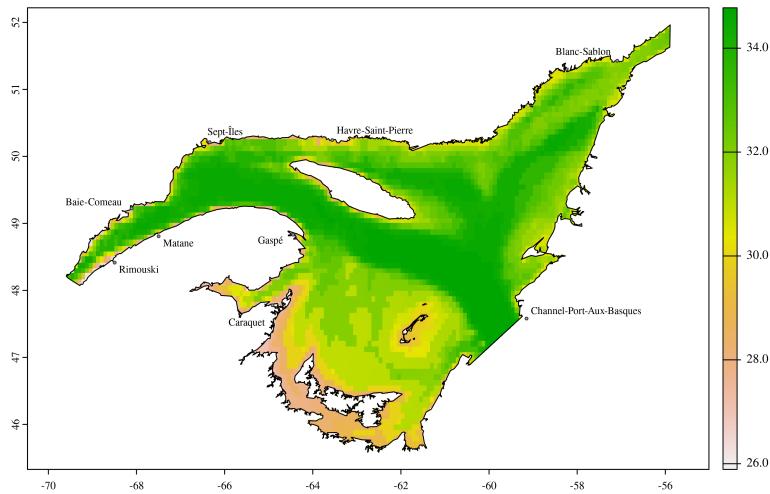


Figure 4.2: Salinité minimale des eaux de fond (PSS)

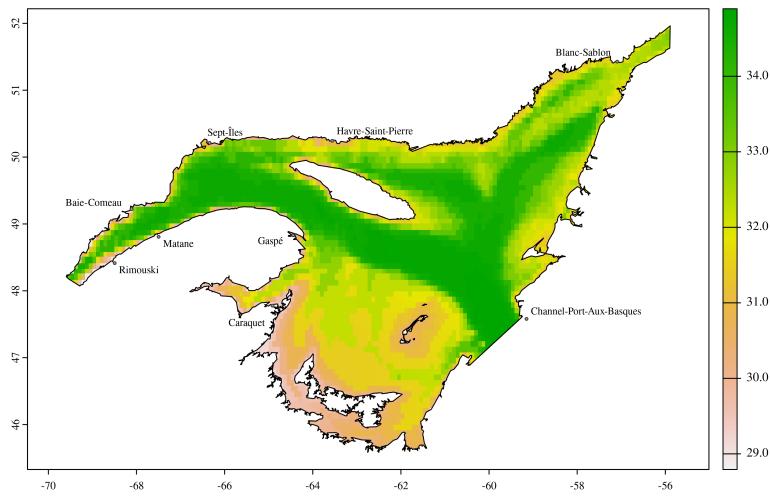


Figure 4.3: Salinité moyenne dissous des eaux de fond (PSS)

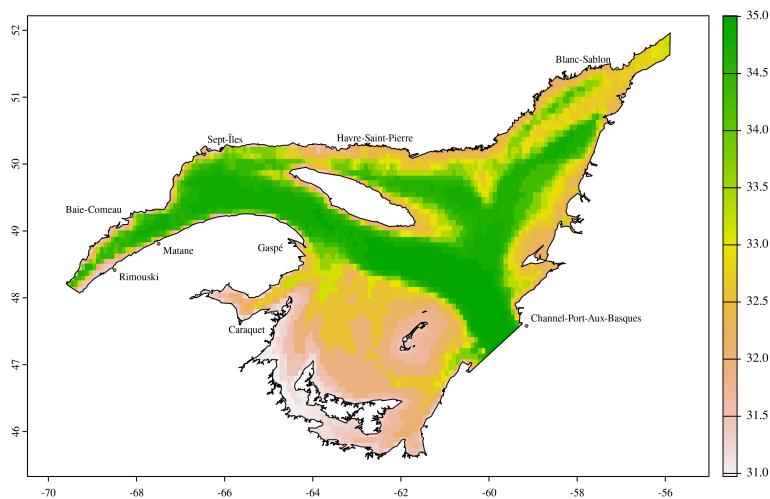


Figure 4.4: Salinité maximale dissous des eaux de fond (PSS)

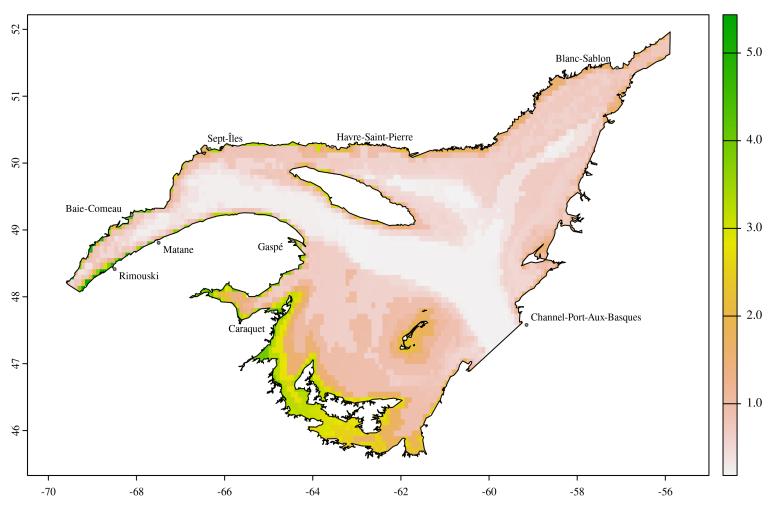


Figure 4.5: Étendue des valeurs de salinité des eaux de fond (PSS)

5 Température des eaux de fond

Deux sources de données sont disponibles pour la salinité des eaux de fond:

- Pêches et Océans Canada
- Bio-Oracle

5.1 Pêches et Océans Canada

Source: Pêches et Océans Canada (2022). Température et salinité au fond dans l'estuaire et le golfe du St-Laurent. Pêches et Océans Canada. <https://ouvert.canada.ca/data/fr/dataset/10987662-c496-4ba8-a6b9-21cb5a134da2>.

Résolution spatiale originale: 1km²

Étendue temporelle: 2011 à 2020

5.2 Bio-Oracle

Les données de Bio-Oracle permettent d'avoir des données sur la température minimale, maximale et moyenne dans les eaux de fond à une profondeur moyenne.

Source: Assis J, Tyberghein L, Bosch S, Heroen V, Serrão E, De Clerck O, Tittensor D (2018). “Bio-ORACLE v2.0: Extending marine data layers for bioclimatic modelling.” *Global Ecology and Biogeography*, 27(3), 277-284. doi:10.1111/geb.12693

Résolution spatiale originale: 5 minutes d'arc

Étendue temporelle: 2000-2014

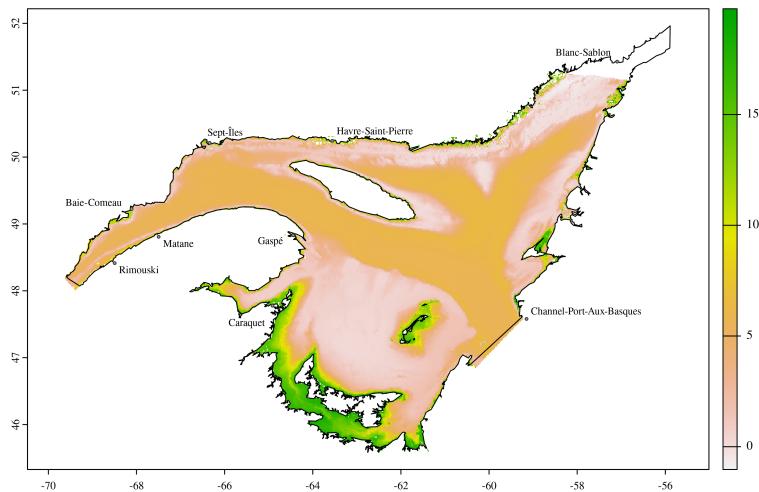


Figure 5.1: Température moyenne des eaux de fond

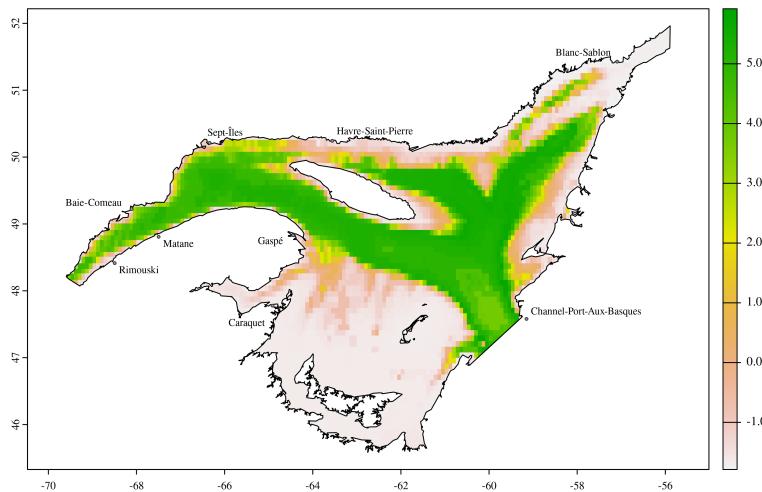


Figure 5.2: Température minimale des eaux de fond ($^{\circ}\text{C}$)

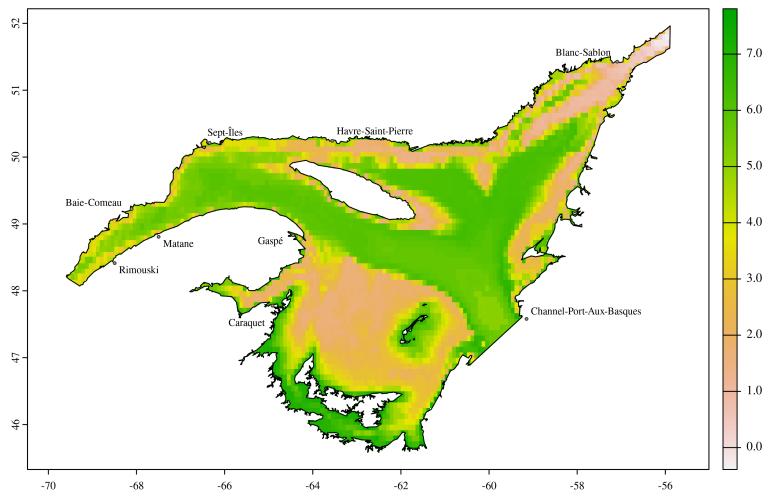


Figure 5.3: Température moyenne dissous des eaux de fond ($^{\circ}\text{C}$)

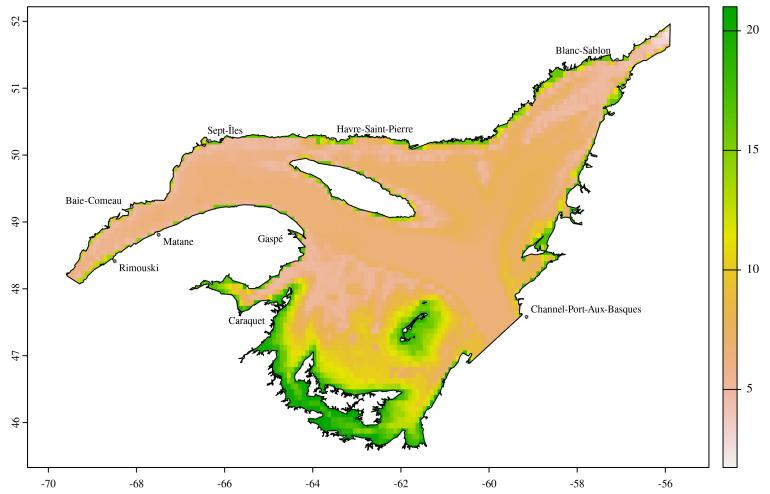


Figure 5.4: Température maximale dissous des eaux de fond ($^{\circ}\text{C}$)

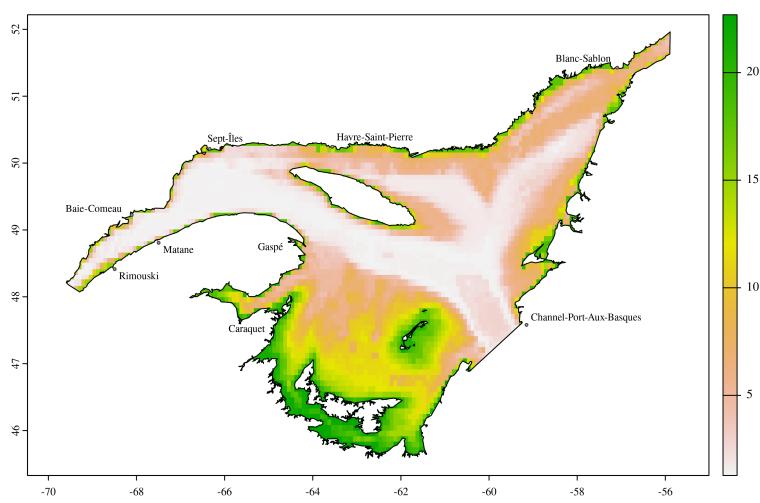


Figure 5.5: Étendue des valeurs de température des eaux de fond ($^{\circ}\text{C}$)

6 Vélocité du courant

Source: Assis J, Tyberghein L, Bosch S, Heroen V, Serrão E, De Clerck O, Tittensor D (2018). “Bio-ORACLE v2.0: Extending marine data layers for bioclimatic modelling.” *Global Ecology and Biogeography*, 27(3), 277-284. doi:10.1111/geb.12693

Résolution spatiale originale: 5 minutes d'arc

Étendue temporelle: 2000-2014

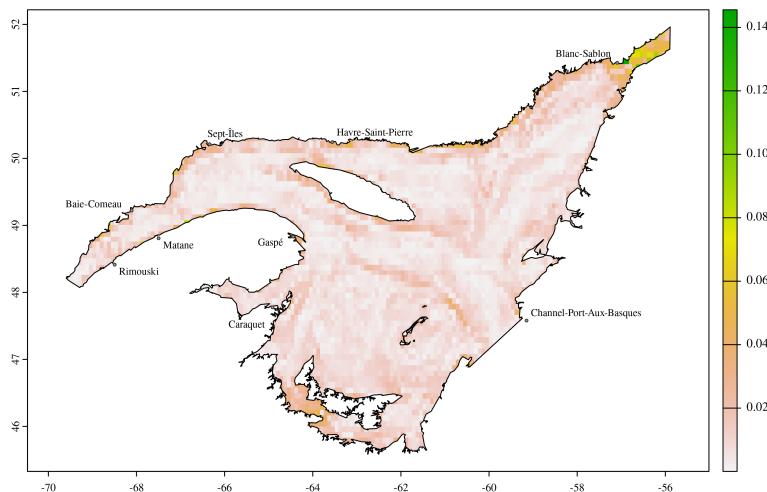


Figure 6.1: Vélocité minimale du courant des eaux de fond (m/s)

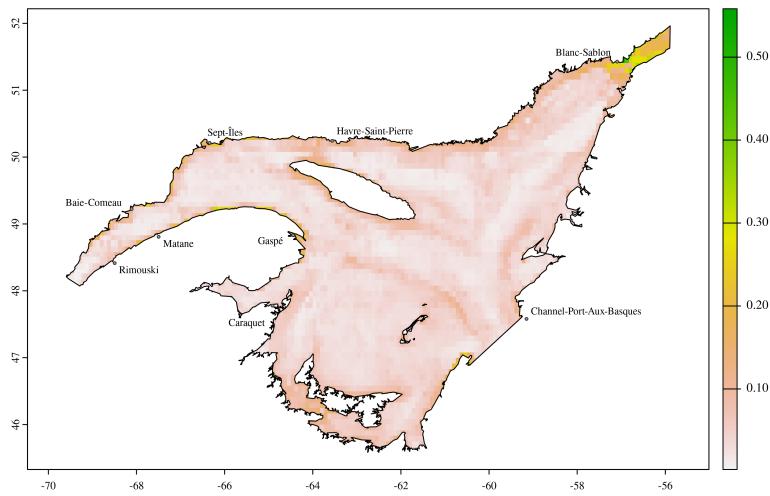


Figure 6.2: Vélocité moyenne du courant des eaux de fond (m/s)

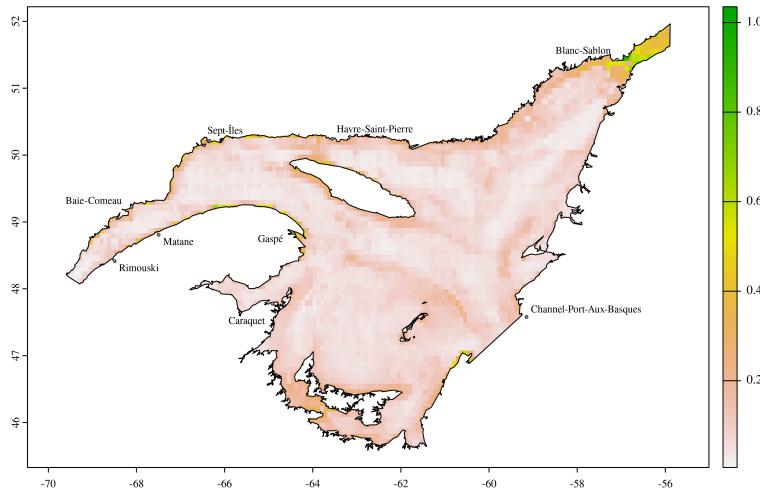


Figure 6.3: Vélocité maximale du courant des eaux de fond (m/s)

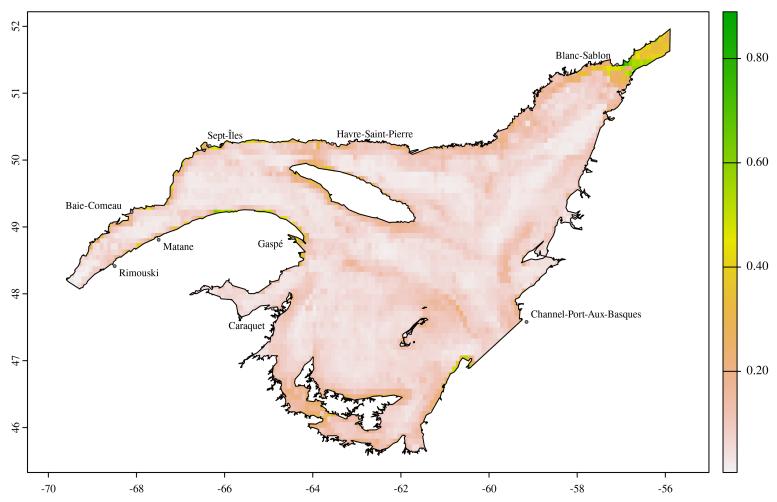


Figure 6.4: Étendue des valeurs de vitesse du courant des eaux de fond (m/s)

7 Biomasse de phytoplankton et concentration de chlorophylle a

7.1 Biomasse de phytolankton

Source: Assis J, Tyberghein L, Bosch S, Heroen V, Serrão E, De Clerck O, Tittensor D (2018). “Bio-ORACLE v2.0: Extending marine data layers for bioclimatic modelling.” *Global Ecology and Biogeography*, 27(3), 277-284. doi:10.1111/geb.12693

Résolution spatiale originale: 5 minutes d’arc

Étendue temporelle: 2000-2014

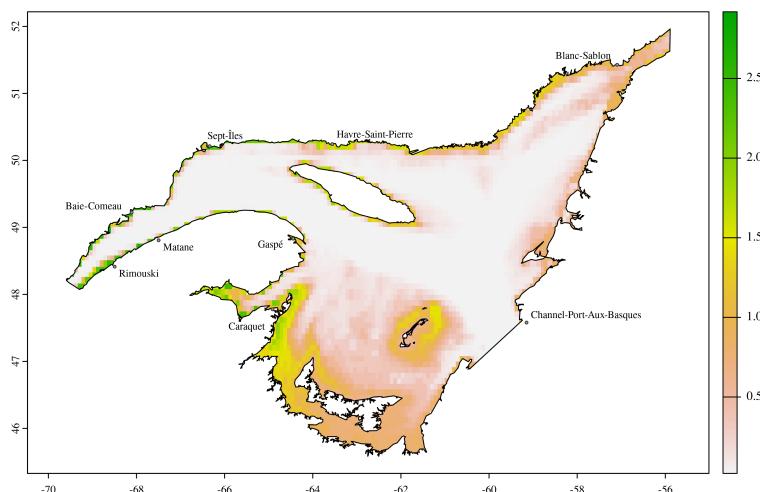


Figure 7.1: Biomasse de phytoplankton minimale dans les eaux de fond (mol/m³)

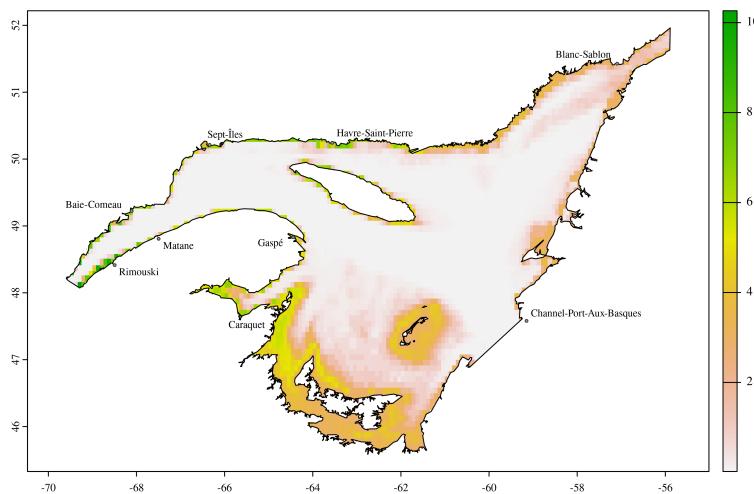


Figure 7.2: Biomasse de phytoplancton moyenne dans les eaux de fond (mol/m³)

7.2 Concentration de chlorophylle a

Source: Assis J, Tyberghein L, Bosch S, Heroen V, Serrão E, De Clerck O, Tittensor D (2018). “Bio-ORACLE v2.0: Extending marine data layers for bioclimatic modelling.” *Global Ecology and Biogeography*, 27(3), 277-284. doi:10.1111/geb.12693

Résolution spatiale originale: 5 minutes d’arc

Étendue temporelle: 2000-2014

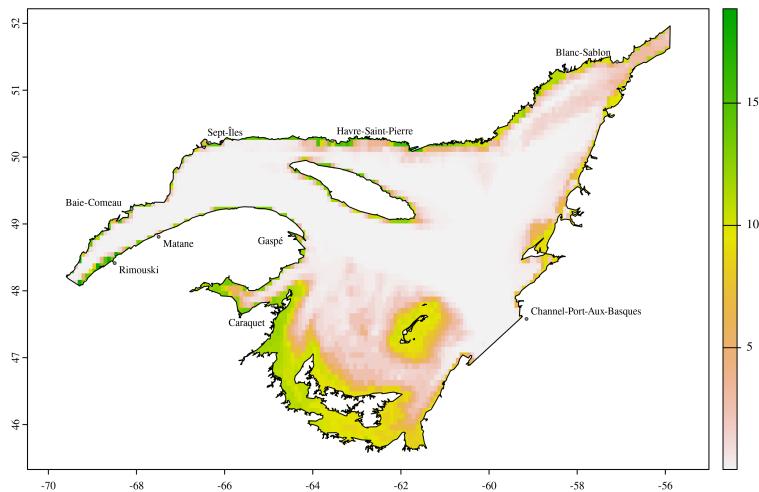


Figure 7.3: Biomasse de phytoplanктон maximale dans les eaux de fond (mol/m³)

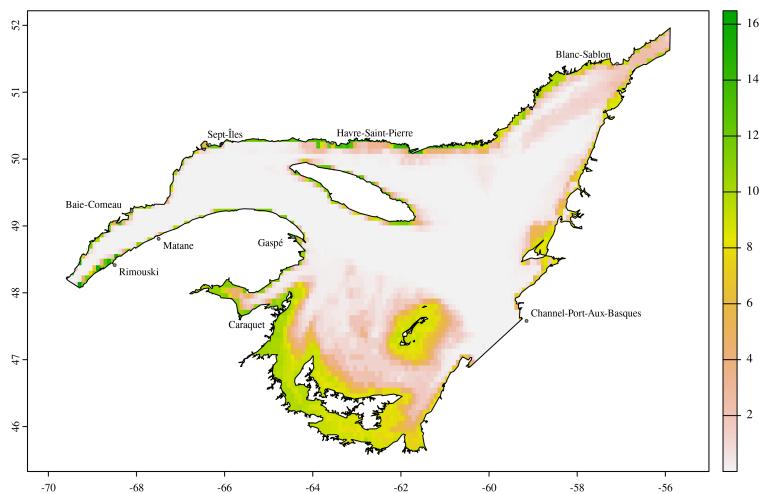


Figure 7.4: Étendue des valeurs de biomasse de phytoplanктон dans les eaux de fond (mol/m³)

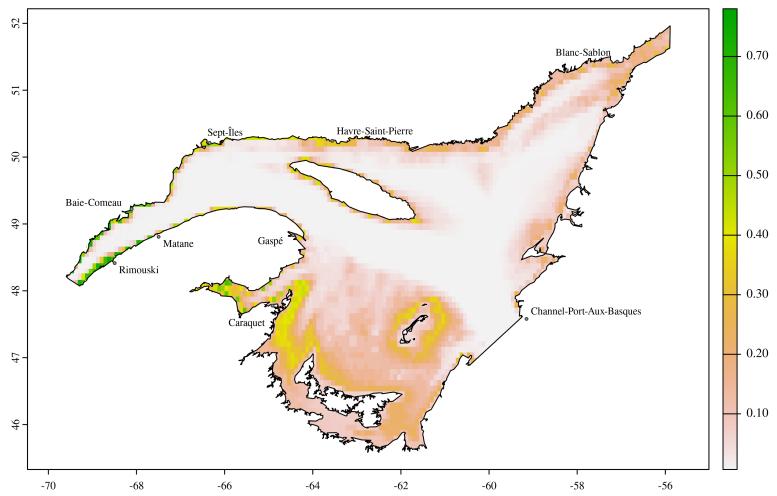


Figure 7.5: Concentration minimale de chlorophylle a dans les eaux de fond (mg/m^3)

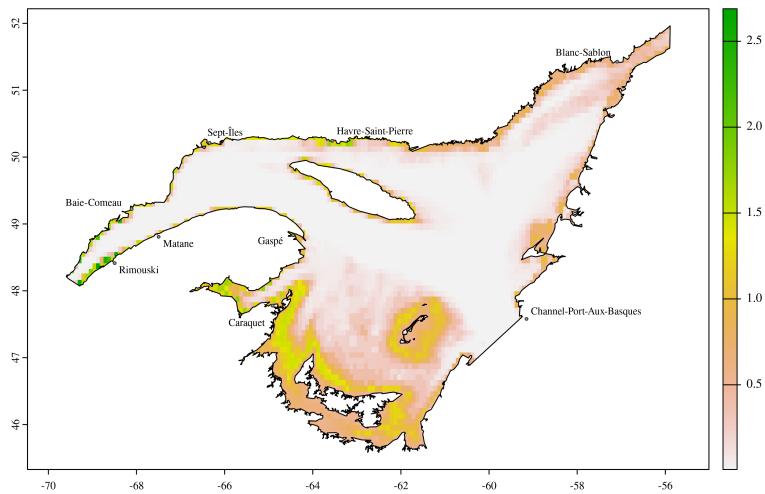


Figure 7.6: Concentration moyenne de chlorophylle a dans les eaux de fond (mg/m^3)

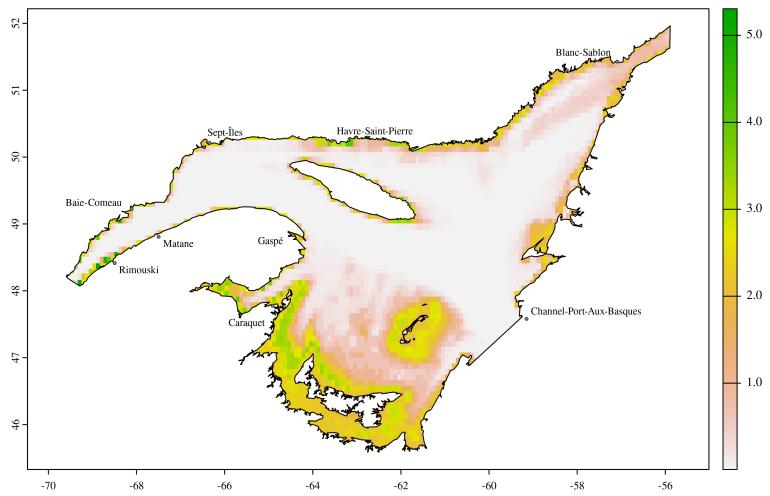


Figure 7.7: Concentration maximale de chlorophylle a dans les eaux de fond (mg/m^3)

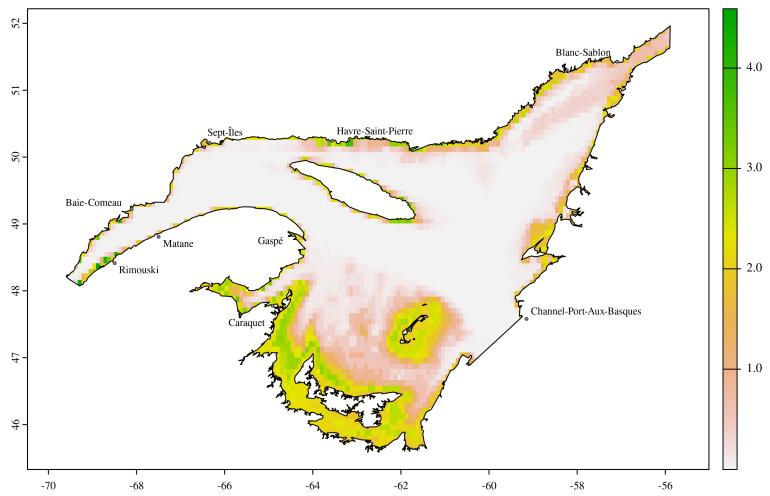


Figure 7.8: Étendue des valeurs de concentration de chlorophylle a dans les eaux de fond (mg/m^3)

8 Molécules et éléments dissous dans les eaux de fond

8.1 Fer

Source: Assis J, Tyberghein L, Bosch S, Heroen V, Serrão E, De Clerck O, Tittensor D (2018). “Bio-ORACLE v2.0: Extending marine data layers for bioclimatic modelling.” *Global Ecology and Biogeography*, 27(3), 277-284. doi:10.1111/geb.12693

Résolution spatiale originale: 5 minutes d’arc

Étendue temporelle: 2000-2014

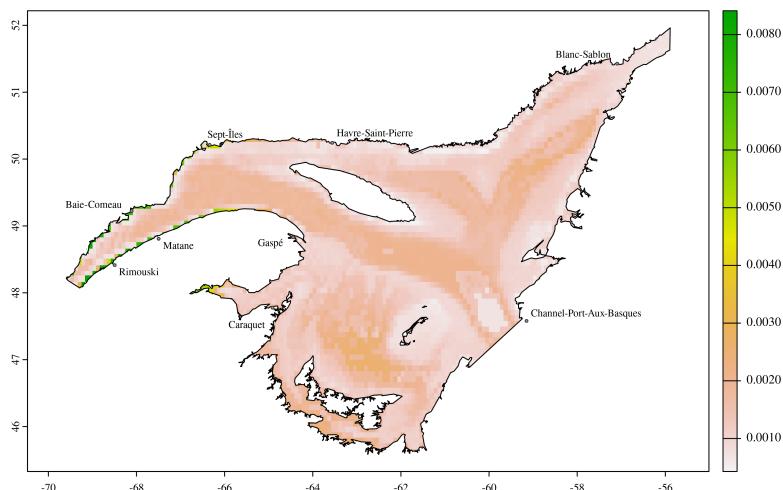


Figure 8.1: Concentration minimale de fer dissous des eaux de fond (mol/m^3)

8.2 Nitrate

Source: Assis J, Tyberghein L, Bosch S, Heroen V, Serrão E, De Clerck O, Tittensor D (2018). “Bio-ORACLE v2.0: Extend-

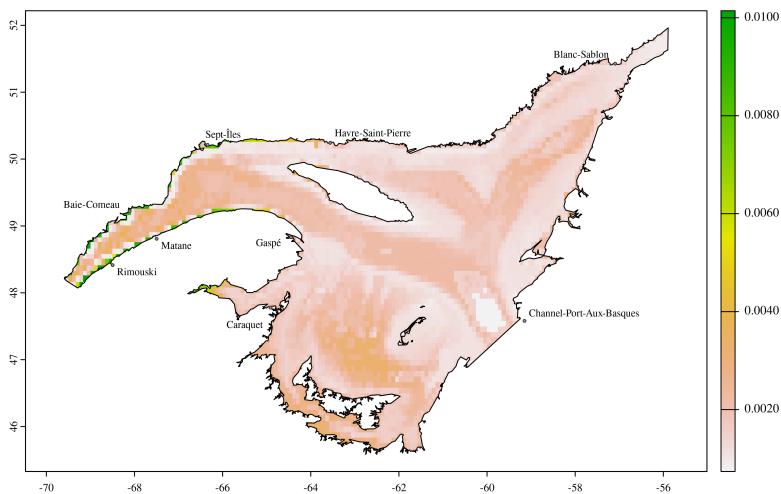


Figure 8.2: Concentration moyenne de fer dissous des eaux de fond (mol/m³)

ing marine data layers for bioclimatic modelling.” *Global Ecology and Biogeography*, 27(3), 277-284. doi:10.1111/geb.12693

Résolution spatiale originale: 5 minutes d’arc

Étendue temporelle: 2000-2014

8.3 Phosphate

Source: Assis J, Tyberghein L, Bosch S, Heroen V, Serrão E, De Clerck O, Tittensor D (2018). “Bio-ORACLE v2.0: Extending marine data layers for bioclimatic modelling.” *Global Ecology and Biogeography*, 27(3), 277-284. doi:10.1111/geb.12693

Résolution spatiale originale: 5 minutes d’arc

Étendue temporelle: 2000-2014

8.4 Silicate

Source: Assis J, Tyberghein L, Bosch S, Heroen V, Serrão E, De Clerck O, Tittensor D (2018). “Bio-ORACLE v2.0: Extending marine data layers for bioclimatic modelling.” *Global Ecology and Biogeography*, 27(3), 277-284. doi:10.1111/geb.12693

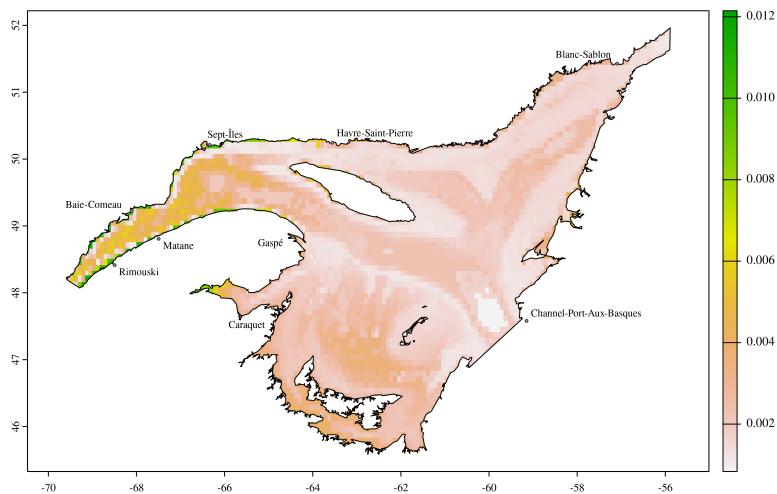


Figure 8.3: Concentration maximale de fer dissous des eaux de fond (mol/m³)

Résolution spatiale originale: 5 minutes d'arc

Étendue temporelle: 2000-2014

8.5 Aragonite

Source:

Résolution spatiale originale: 1km²

Étendue temporelle: 2017

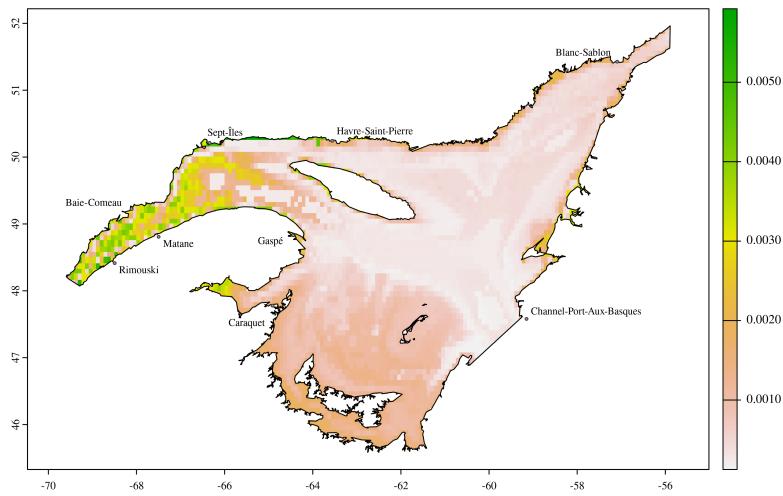


Figure 8.4: Étendue des valeurs de concentration de fer dissous des eaux de fond (mol/m³)

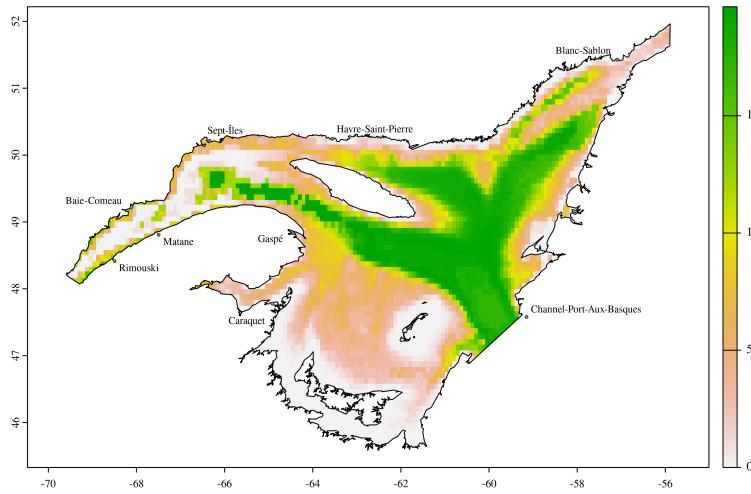


Figure 8.5: Concentration minimale de nitrate dissous des eaux de fond (mol/m³)

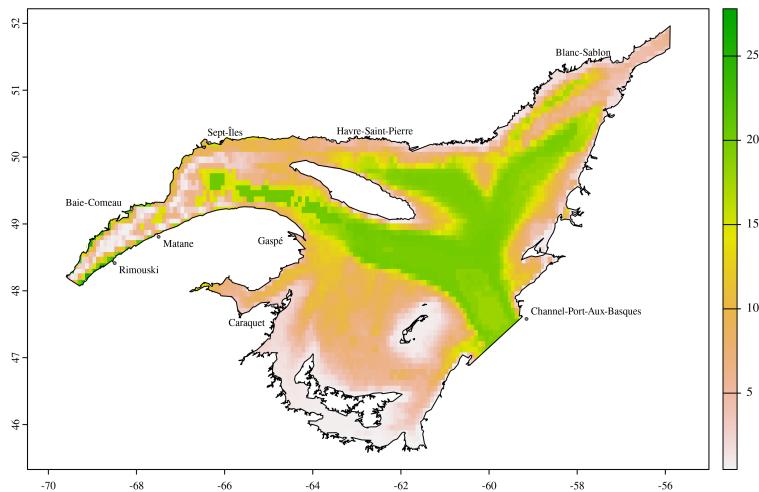


Figure 8.6: Concentration moyenne de nitrate dissous des eaux de fond (mol/m³)

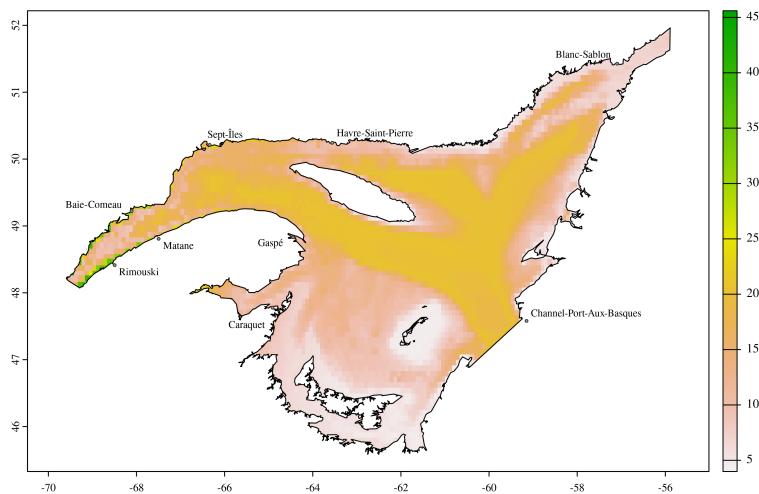


Figure 8.7: Concentration maximale de nitrate dissous des eaux de fond (mol/m³)

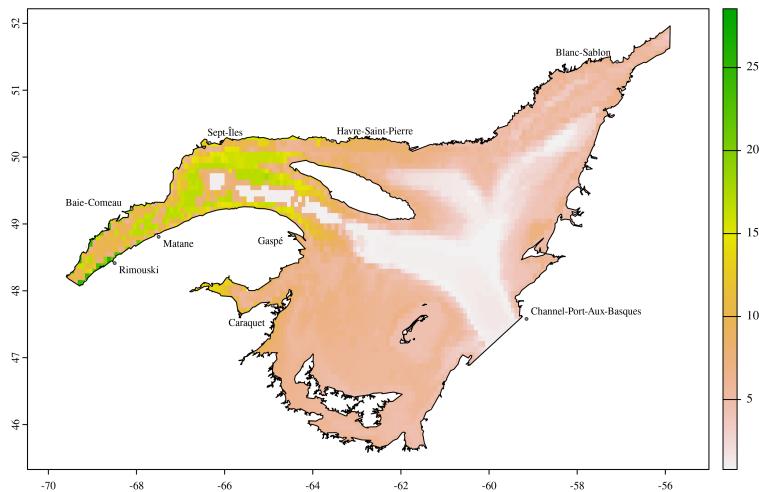


Figure 8.8: Étendue des valeurs de concentration de nitrate dissous des eaux de fond (mol/m³)

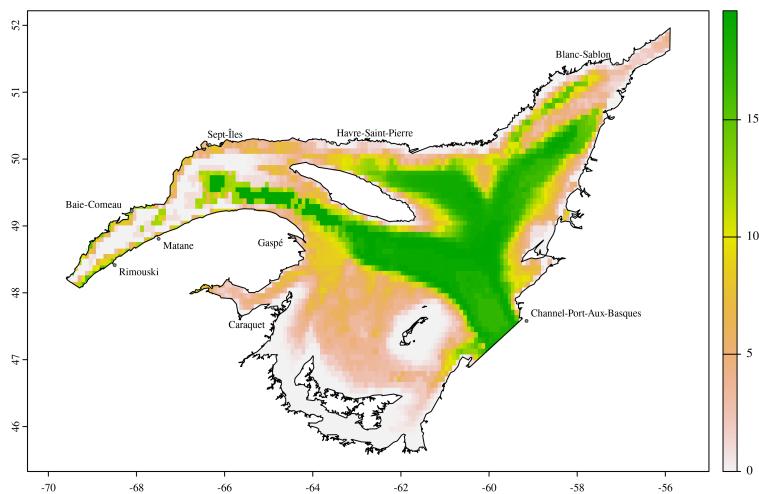


Figure 8.9: Concentration minimale de phosphate dissous des eaux de fond (mol/m³)

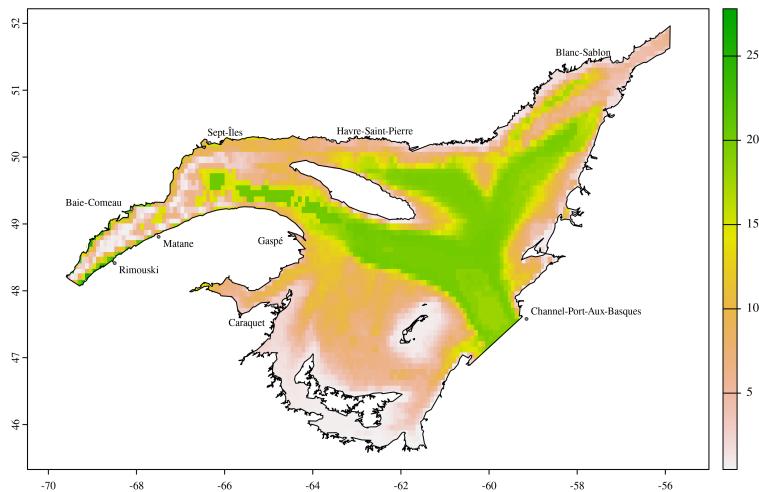


Figure 8.10: Concentration moyenne de phosphate dissous des eaux de fond (mol/m³)

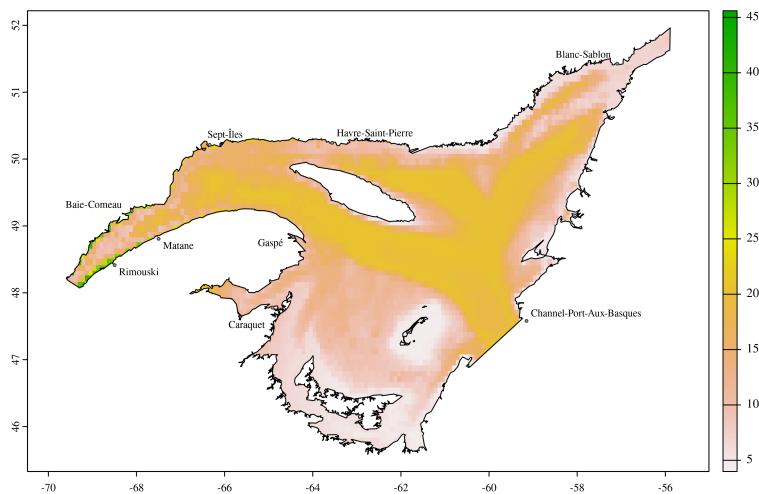


Figure 8.11: Concentration maximale de phosphate dissous des eaux de fond (mol/m³)

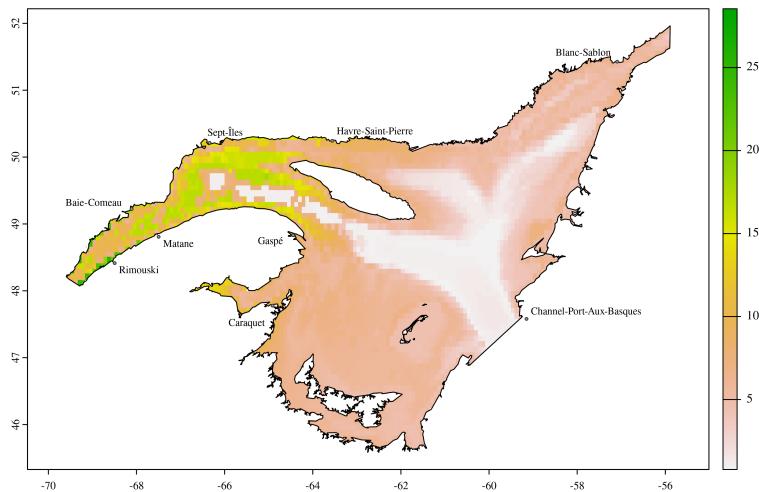


Figure 8.12: Étendue des valeurs de concentration de phosphate dissous des eaux de fond (mol/m³)

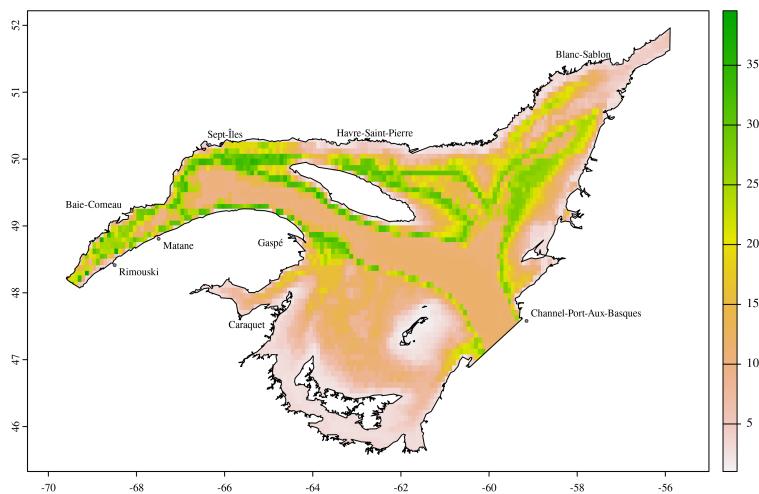


Figure 8.13: Concentration minimale de silicate dissous des eaux de fond (mol/m³)

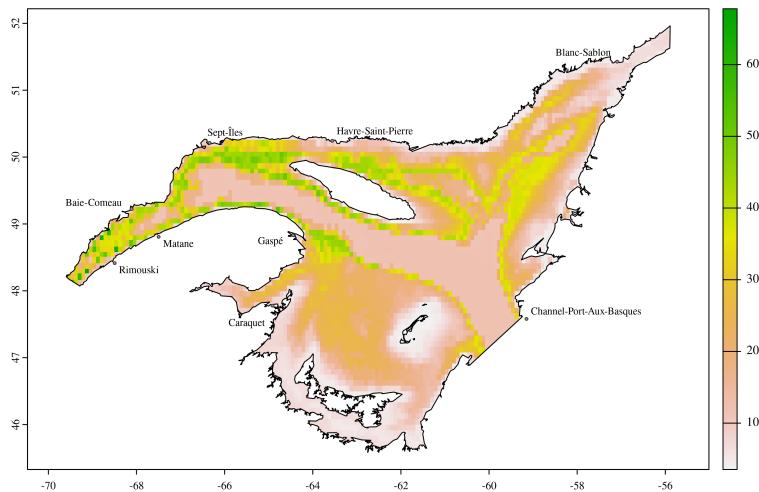


Figure 8.14: Concentration moyenne de silicate dissous des eaux de fond (mol/m³)

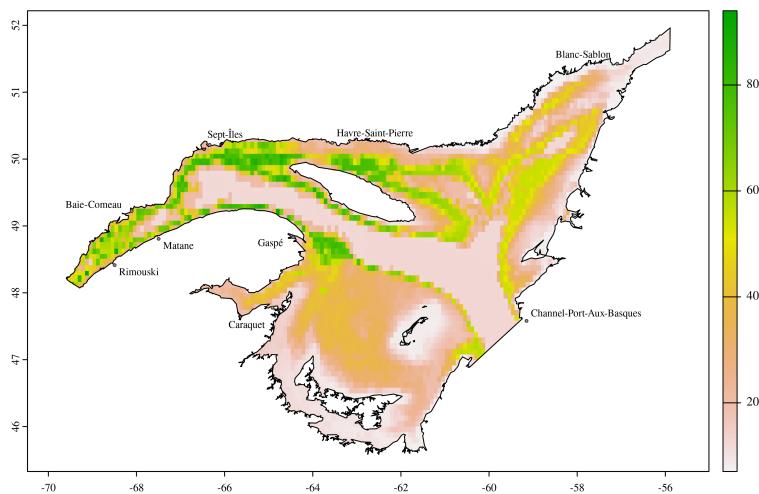


Figure 8.15: Concentration maximale de silicate dissous des eaux de fond (mol/m³)

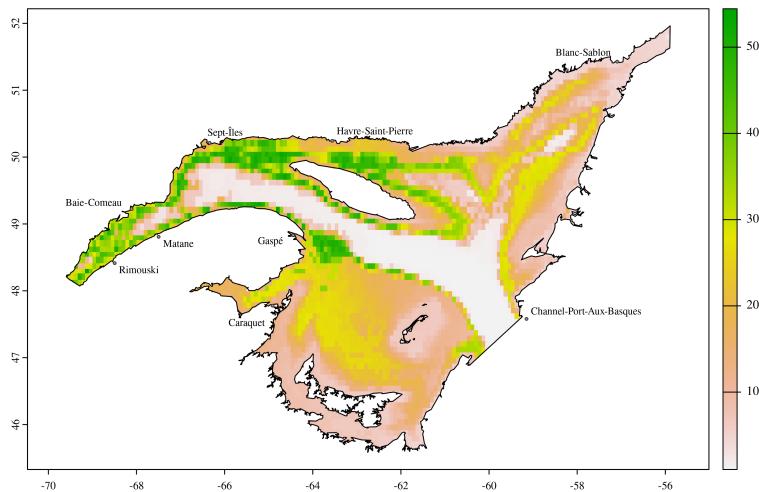


Figure 8.16: Étendue des valeurs de concentration de silicate dissous des eaux de fond (mol/m^3)

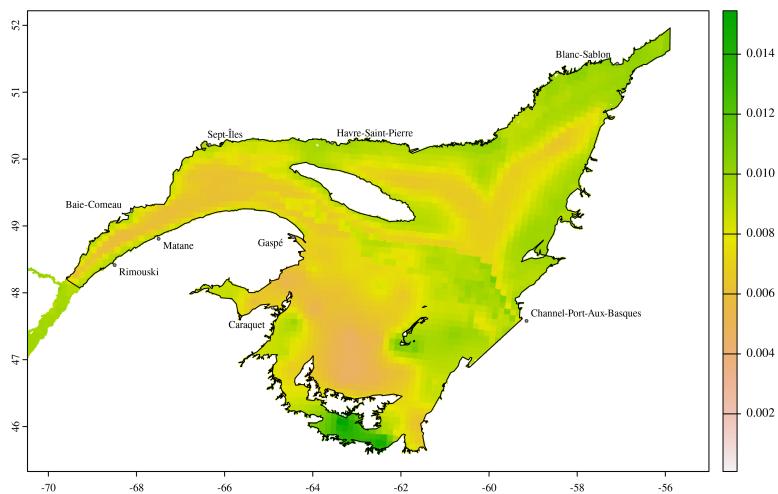


Figure 8.17: Horizon de saturation par l'aragonite des eaux de fond (Ω)

9 Les sédiments de fond

Source: Loring, D. H., and D. J. G. Nota. 1973. Morphology and sediments of the Gulf of St. Lawrence. Bull. Fish. Res. Bd. Can. 182. 147 p. + 7 charts.

Résolution spatiale originale: Ne s'applique pas, les données sont des polygones

Étendue temporelle: 1961-1969

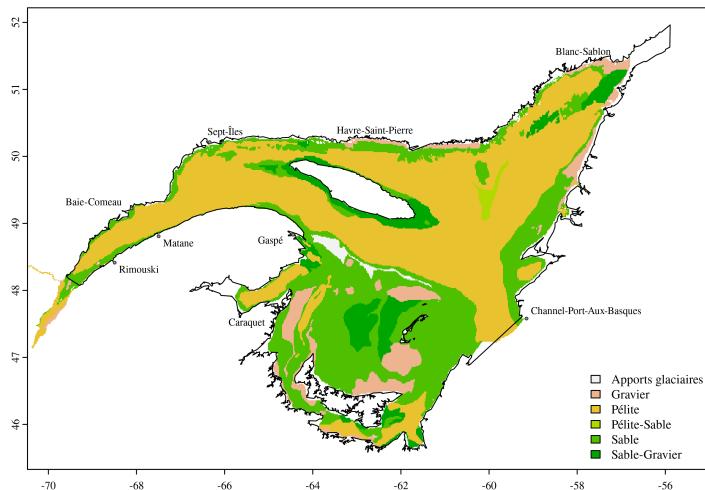


Figure 9.1: Catégories générales des sédiments de surface

10 Fraction de la couverture de la glace marine

Source: Assis J, Tyberghein L, Bosch S, Heroen V, Serrão E, De Clerck O, Tittensor D (2018). “Bio-ORACLE v2.0: Extending marine data layers for bioclimatic modelling.” *Global Ecology and Biogeography*, 27(3), 277-284. doi:10.1111/geb.12693

Résolution spatiale originale: 5 minutes d'arc

Étendue temporelle: 2000-2014

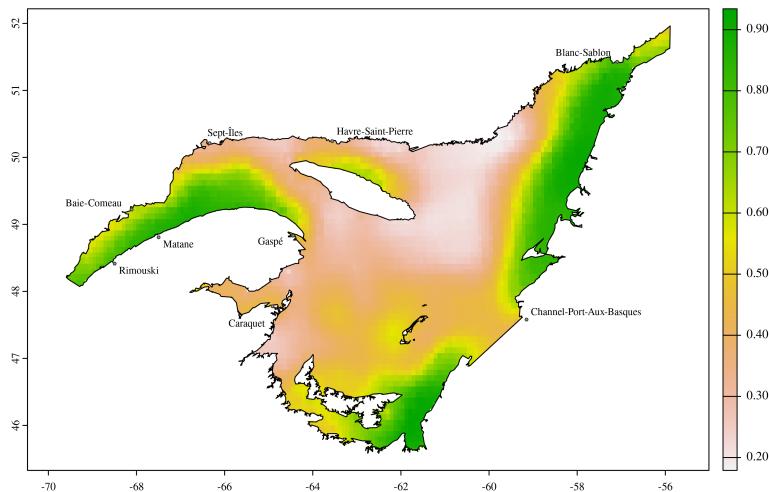


Figure 10.1: Fraction maximale de la couverture de la glace marine

11 Biomasse de phytoplankton, concentration de chlorophylle a et productivité primaire dans les eaux de surface

11.1 Biomasse de phytolankton

Source: Assis J, Tyberghein L, Bosch S, Heroen V, Serrão E, De Clerck O, Tittensor D (2018). “Bio-ORACLE v2.0: Extending marine data layers for bioclimatic modelling.” *Global Ecology and Biogeography*, 27(3), 277-284. doi:10.1111/geb.12693

Résolution spatiale originale: 5 minutes d’arc

Étendue temporelle: 2000-2014

11.2 Concentration de chlorophylle a

Source: Assis J, Tyberghein L, Bosch S, Heroen V, Serrão E, De Clerck O, Tittensor D (2018). “Bio-ORACLE v2.0: Extending marine data layers for bioclimatic modelling.” *Global Ecology and Biogeography*, 27(3), 277-284. doi:10.1111/geb.12693

Résolution spatiale originale: 5 minutes d’arc

Étendue temporelle: 2000-2014

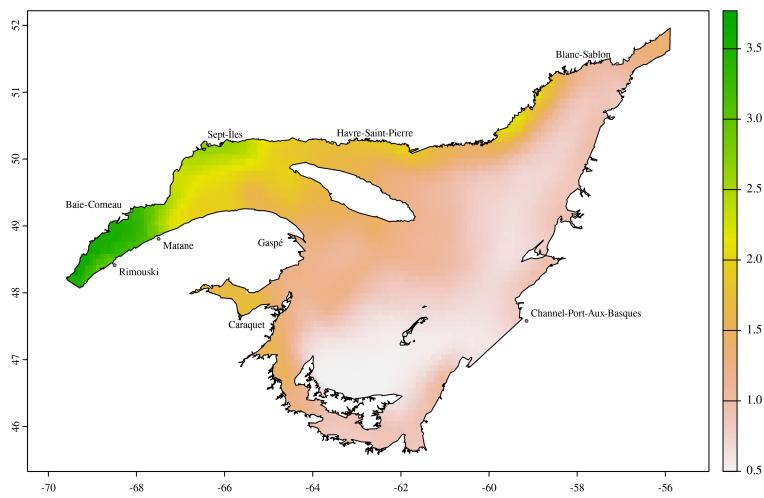


Figure 11.1: Biomasse de phytoplancton minimale à la surface de la mer (mol/m³)

11.3 Productivité primaire

Source: Assis J, Tyberghein L, Bosch S, Heroen V, Serrão E, De Clerck O, Tittensor D (2018). “Bio-ORACLE v2.0: Extending marine data layers for bioclimatic modelling.” *Global Ecology and Biogeography*, 27(3), 277-284. doi:10.1111/geb.12693

Résolution spatiale originale: 5 minutes d’arc

Étendue temporelle: 2000-2014

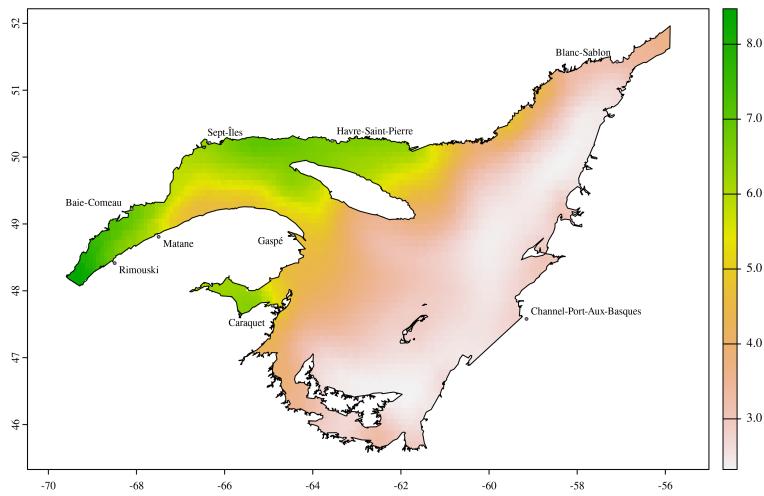


Figure 11.2: Biomasse de phytoplancton moyenne à la surface de la mer (mol/m³)

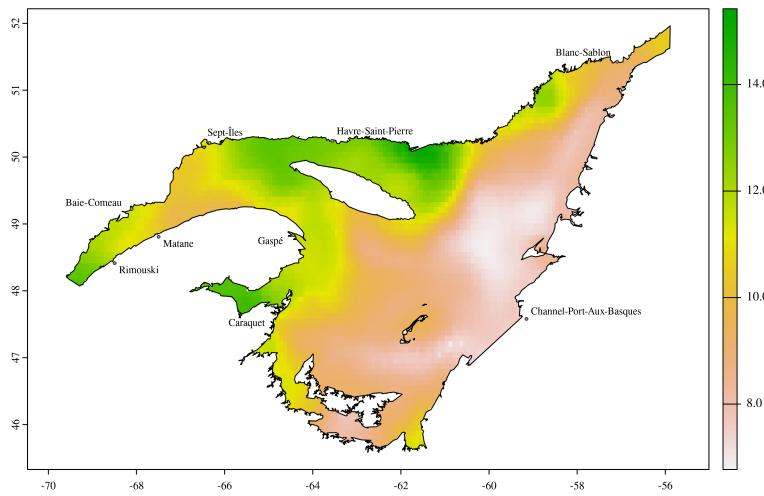


Figure 11.3: Biomasse de phytoplancton maximale à la surface de la mer (mol/m³)

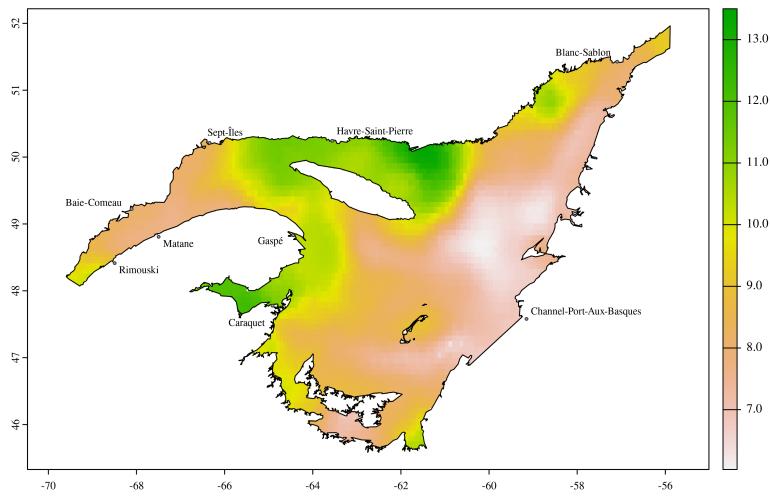


Figure 11.4: Étendue des valeurs de biomasse de phytoplancton à la surface de la mer (mol/m³)

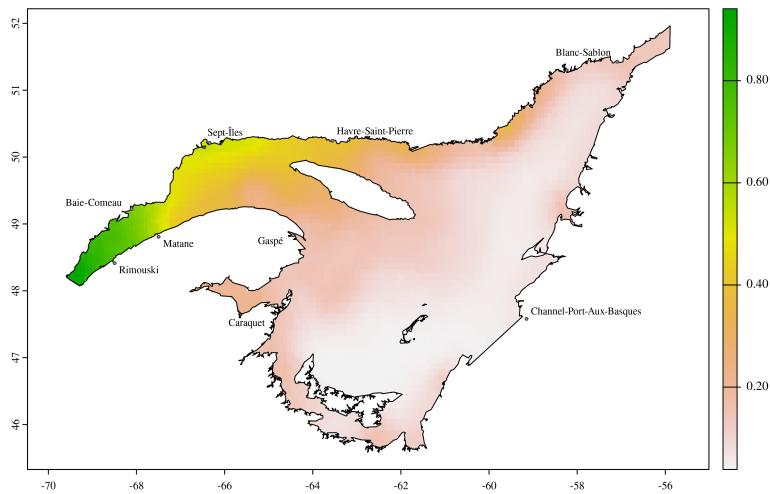


Figure 11.5: Concentration minimale de chlorophylle a à la surface de la mer (mg/m³)

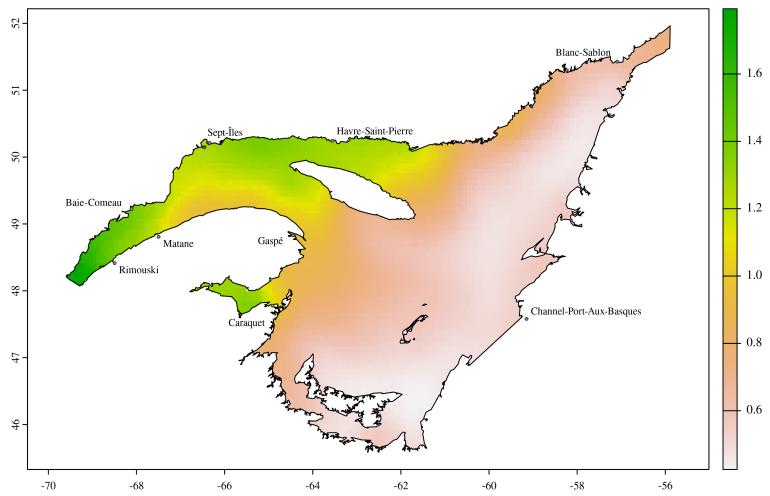


Figure 11.6: Concentration moyenne de chlorophylle a à la surface de la mer (mg/m^3)

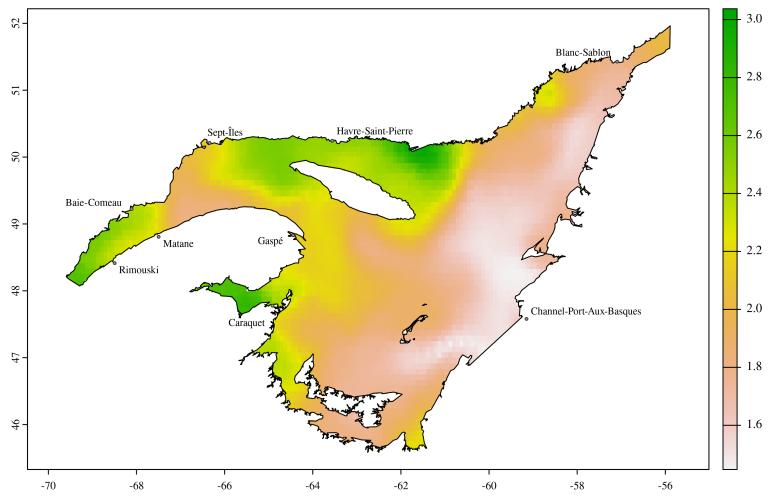


Figure 11.7: Concentration maximale de chlorophylle a à la surface de la mer (mg/m^3)

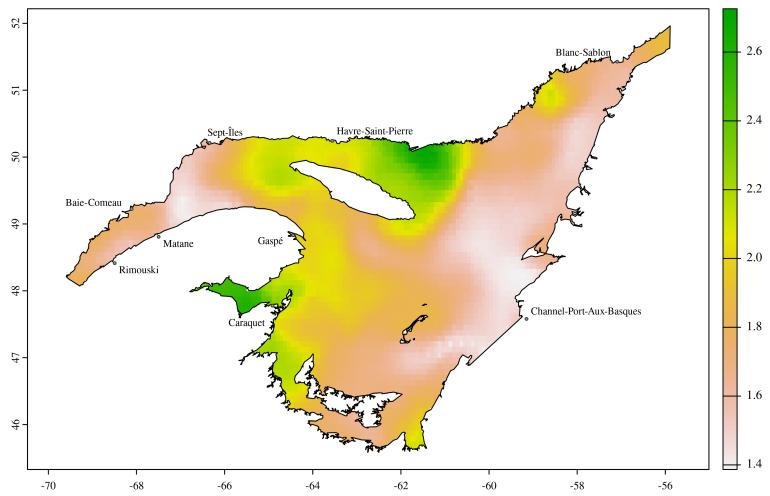


Figure 11.8: Étendue des valeurs de concentration de chlorophylle a à la surface de la mer (mg/m^3)

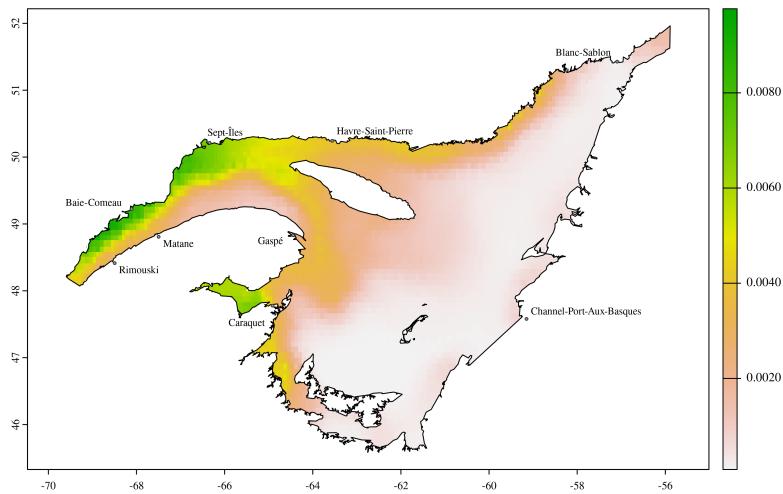


Figure 11.9: Productivité primaire à la surface de la mer ($\text{g}/\text{m}^3/\text{day}$)

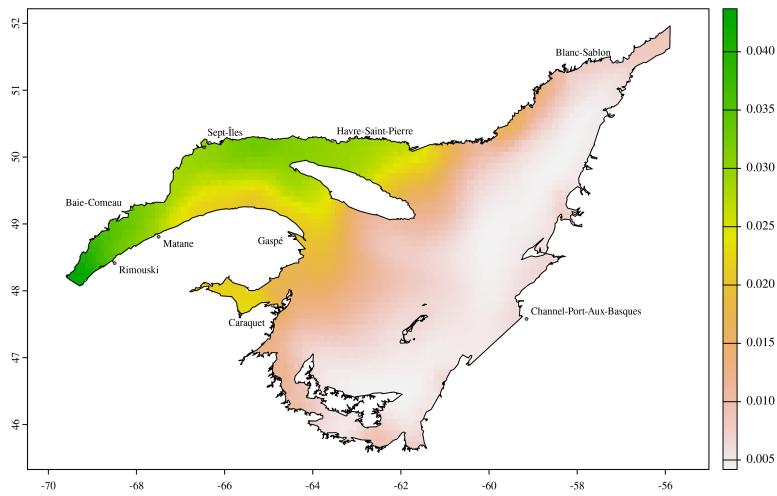


Figure 11.10: Productivité primaire à la surface de la mer ($\text{g}/\text{m}^3/\text{day}$)

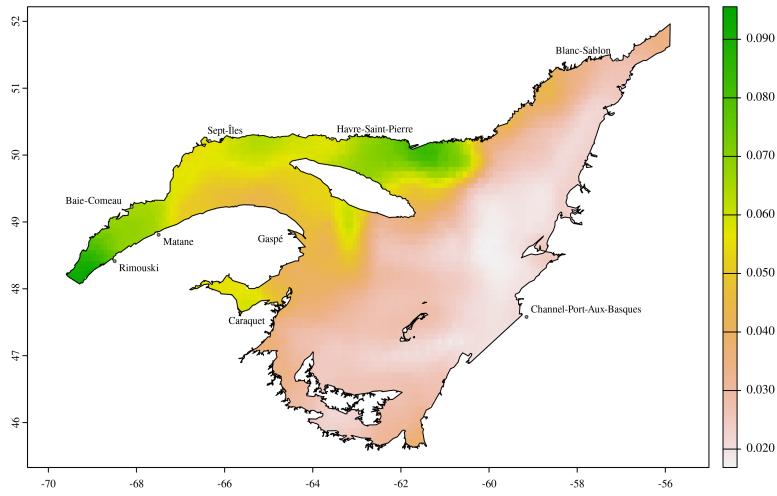


Figure 11.11: Productivité primaire à la surface de la mer ($\text{g}/\text{m}^3/\text{day}$)

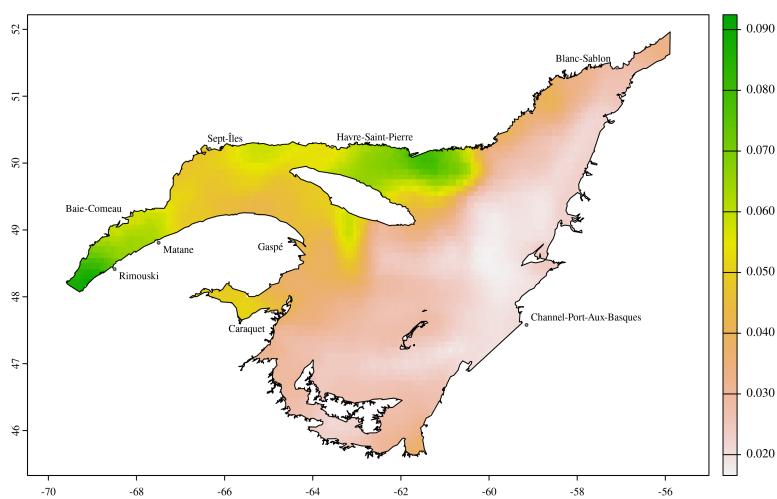


Figure 11.12: Étendue des valeurs de productivité primaire à la surface de la mer ($\text{g/m}^3/\text{day}$)

12 Concentration de calcite dissous dans les eaux de surface

Source: Assis J, Tyberghein L, Bosch S, Heroen V, Serrão E, De Clerck O, Tittensor D (2018). “Bio-ORACLE v2.0: Extending marine data layers for bioclimatic modelling.” *Global Ecology and Biogeography*, 27(3), 277-284. doi:10.1111/geb.12693

Résolution spatiale originale: 5 minutes d’arc

Étendue temporelle: 2000-2014

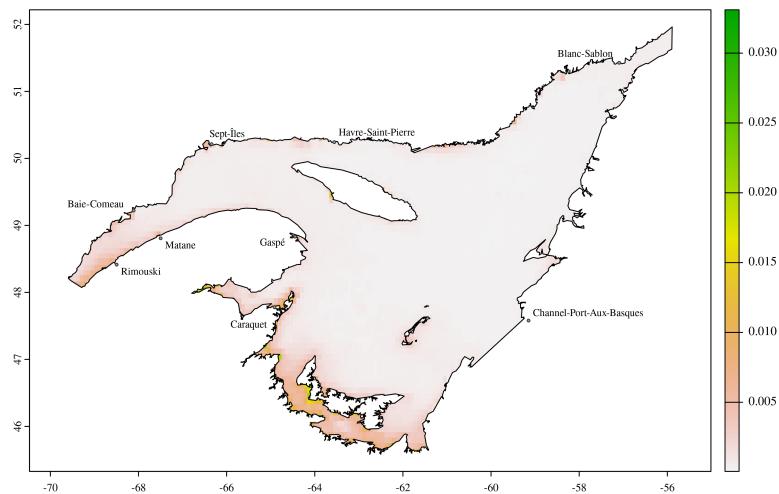


Figure 12.1: Concentration de calcite dissous moyenne (mol/m^3)

Part II

Modèles de distribution d'espèce

Les modèles de distribution d'espèces et les modèles de niches écologiques sont des modèles qui visent à déterminer la distribution actuelle ou l'habitat potentiel d'une espèce (Melo-Merino, Reyes-Bonilla, and Lira-Noriega 2020). Ces cartes de distributions peuvent entre autres servir à prédire les impacts des perturbations anthropiques et des changements climatiques sur la distribution d'une espèce à des fins de conservation (Melo-Merino, Reyes-Bonilla, and Lira-Noriega 2020). Le modèle le plus commun est le modèle corrélatif, qui consiste à expliquer la distribution de l'espèce en se basant sur les corrélations entre ses occurrences et un ensemble de variables environnementales (Franklin 2010). D'autres modèles sont méchanistiques, orientés sur les processus tels que la capacité de dispersion et les interactions biotiques, alors que d'autres ne sont que des interpolations spatiales (Bahn and McGill 2007; Peterson and Soberón 2012; Peterson, Papeş, and Soberón 2015; Melo-Merino, Reyes-Bonilla, and Lira-Noriega 2020). Bien que les modèles de distribution d'espèces et les modèles de niches écologiques ont d'abord été introduits avec les espèces terrestres, de plus en plus de ces modèles sont appliqués aux systèmes marins (Melo-Merino, Reyes-Bonilla, and Lira-Noriega 2020).

La prochaine section porte sur les [choix de modèles de distribution d'espèces](#) qui ont été faits jusqu'à présent afin d'identifier l'habitat potentiel des quatres espèces de plume de mer présentées dans la section des [données d'occurrence](#).

Sélection de modèles

Types de modèles

Présences-absences

Les données de présences-absences seront d'abord ramenées sur une grille de 36 secondes d'arc de résolution afin d'avoir des succès (présences) et des essais (présences et absences combinées) aux centroïdes de chaque cellule. Les paramètres du modèle de distribution d'espèce seront estimés avec une régression logistique dans un cadre bayésien en utilisant l'par le biais du paquet R INLA (Rue, Martino, and Chopin 2009, voir [INLA](#)). L'autocorrélation spatiale sera prise en compte dans le modèle puisque son effet sur la qualité et l'incertitude des modèles spatiaux peut être importante (Guélat and Kéry 2018).

Les cartes de probabilités d'occurrence obtenues à partir des modèles seront binarisées en présence et absence à l'aide d'une valeur seuil de probabilité d'occurrence. Cette valeur seuil représente la probabilité d'occurrence où la sensibilité (taux de vrai positif) et la spécifité (taux de vrai négatif) du modèle sont maximisées et sera calculée à l'aide du paquet R dismo (Hijmans et al. 2022).

Biomasse

Des modèles de biomasse seront également construits avec les données de biomasse afin d'avoir un comparatif avec les modèles de présences-absences. Ces modèles seront fait à l'aide d'INLA et les cartes pourraient également être binarisées avec la méthode utilisée pour les modèles de présences-absences. Avec les zéros inférées de la même manière que les absences voir Section 1.2, il pourrait y avoir un excès de zéros dans les données.

Dans ce cas, une approche à deux probabilité serait utilisée en décomposant la distribution des données en deux parties (Rustand et al. 2023): 1. Issue binaire (présence-absence, régression logistique) 2. Masses positives continues (loi Gamma ou loi log-normale).

Approximation de Laplace imbriquée et intégrée (INLA)

INLA est une procédure d'estimation des paramètres et hyperparamètres d'un modèle bayésien extrêmement efficace (Rue, Martino, and Chopin 2009; Lindgren, Rue, and Lindström 2011). La modélisation spatiale est très intensives en terme de calcul et prendre en compte l'autocorrélation spatiale comme il est prévu peut devenir très lourd avec le nombre d'observations disponibles. INLA permet de contourner des procédures normalement très coûteuse en temps, permettant ainsi de construire des modèles spatiaux avec un très grand nombre d'échantillons (Lindgren, Rue, and Lindström 2011).

References

- Bahn, Volker, and Brian J. McGill. 2007. “Can Niche-Based Distribution Models Outperform Spatial Interpolation?” *Global Ecology and Biogeography* 16 (6): 733–42. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00331.x>.
- Beazley, L, E Kenchington, F. J. Murillo, C Lurette, J Guijarro, A McMillan, and A Knudby. 2016. “Species Distribution Modelling of Corals and Sponges in the Maritimes Region for Use in the Identification of Significant Benthic Areas.” *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences*, no. 3172: vi + 189p.
- Beazley, L, F. J. Murillo, E Kenchington, J Guijarro, C Lurette, T Siferd, M Treble, E Baker, M Bouchard Marmen, and G Tompkins MacDonald. 2016. “Species Distribution Modelling of Corals and Sponges in the Eastern Arctic for Use in the Identification of Significant Benthic Areas.” *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences* 3175: vii + 210p.
- Downie, Anna-Leena, Tamsyn Noble-James, Ana Chaverra, and Kerry L. Howell. 2021. “Predicting Sea Pen (Pennatulaceae) Distribution on the UK Continental Shelf: Evidence of Range Modification by Benthic Trawling.” *Marine Ecology Progress Series* 670 (July): 75–91. <https://doi.org/10.3354/meps13744>.
- Franklin, Janet. 2010. *Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction*. Cambridge University Press.
- Greathead, C., J. M. González-Irusta, J. Clarke, P. Boulcott, L. Blackadder, A. Weetman, and P. J. Wright. 2015. “Environmental Requirements for Three Sea Pen Species: Relevance to Distribution and Conservation.” *ICES Journal of Marine Science* 72 (2): 576–86. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsu129>.
- Guélat, Jérôme, and Marc Kéry. 2018. “Effects of Spatial Autocorrelation and Imperfect Detection on Species Distri-

- bution Models.” *Methods in Ecology and Evolution* 9 (6): 1614–25. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12983>.
- Guijarro, J, L Beazley, C Lurette, E Kenchington, V Wareham, K Gilkinson, M Koen-Alonso, and F. J. Murillo. 2016. “Species Distribution Modelling of Corals and Sponges from Research Vessel Survey Data in the Newfoundland and Labrador Region for Use in the Identification of Significant Benthic Areas.” *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences* 3171: vi + 126p.
- Gullage, Lauren, Rodolphe Devillers, and Evan Edinger. 2017. “Predictive Distribution Modelling of Cold-Water Corals in the Newfoundland and Labrador Region.” *Marine Ecology Progress Series* 582 (November): 57–77. <https://doi.org/10.3354/meps12307>.
- Hijmans, Robert J. 2023. “Terra: Spatial Data Analysis.”
- Hijmans, Robert J., Steven Phillips, John Leathwick, and Jane Elith. 2022. “Dismo: Species Distribution Modeling.”
- Kenchington, E, L Beazley, C Lurette, F J Murillo, J Guijarro, V Wareham, K Gilkinson, et al. 2016. “Delineation of Coral and Sponge Significant Benthic Areas in Eastern Canada Using Kernel Density Analyses and Species Distribution Models.” *DFO Canadian Science Advisory Secretariat Research Document* 2016/093: vi + 178p.
- Lindgren, Finn, Håvard Rue, and Johan Lindström. 2011. “An Explicit Link Between Gaussian Fields and Gaussian Markov Random Fields: The Stochastic Partial Differential Equation Approach.” *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)* 73 (4): 423–98. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9868.2011.00777.x>.
- Melo-Merino, Sara M., Héctor Reyes-Bonilla, and Andrés Lira-Noriega. 2020. “Ecological Niche Models and Species Distribution Models in Marine Environments: A Literature Review and Spatial Analysis of Evidence.” *Ecological Modelling* 415 (January): 108837. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108837>.
- Murillo, F J, E Kenchington, L Beazley, C Lurette, A Knudby, J Guijarro, H Benoît, H Bourdages, and B Sainte-Marie. 2016. “Distribution Modelling of Sea Pens, Sponges, Stalked Tunicates and Soft Corals from Research Vessel Survey Data in the Gulf of St. Lawrence for Use in the Identification of Significant Benthic Areas.” *Canadian Technical Report of*

- Fisheries and Aquatic Sciences*, no. 3170: vi + 132.
- Peterson, A. Townsend, Monica Papes, and Jorge Soberón. 2015. “Mechanistic and Correlative Models of Ecological Niches,” December. <https://doi.org/10.1515/eje-2015-0014>.
- Peterson, A. Townsend, and Jorge Soberón. 2012. “Species Distribution Modeling and Ecological Niche Modeling: Getting the Concepts Right.” *Natureza & Conservação* 10 (2): 102–7. <https://doi.org/10.4322/natcon.2012.019>.
- Ross, Rebecca E., Genoveva Gonzalez-Mirelis, Pablo Lozano, and Pål Buhl-Mortensen. 2021. “Discerning the Management-Relevant Ecology and Distribution of Sea Pens (Cnidaria: Pennatulacea) in Norway and Beyond.” *Frontiers in Marine Science* 8.
- Rue, Håvard, Sara Martino, and Nicolas Chopin. 2009. “Approximate Bayesian Inference for Latent Gaussian Models by Using Integrated Nested Laplace Approximations.” *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)* 71 (2): 319–92. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9868.2008.00700.x>.
- Rustand, Denis, Janet van Niekerk, Håvard Rue, Christophe Tournigand, Virginie Rondeau, and Laurent Briollais. 2023. “Bayesian Estimation of Two-Part Joint Models for a Longitudinal Semicontinuous Biomarker and a Terminal Event with INLA: Interests for Cancer Clinical Trial Evaluation.” *Biometrical Journal* n/a (n/a): 2100322. <https://doi.org/10.1002/bimj.202100322>.
- Yesson, Chris, Michelle L. Taylor, Derek P. Tittensor, Andrew J. Davies, John Guinotte, Amy Baco, Julie Black, Jason M. Hall-Spencer, and Alex D. Rogers. 2012. “Global Habitat Suitability of Cold-Water Octocorals.” *Journal of Biogeography* 39 (7): 1278–92. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2011.02681.x>.