

Université du Québec
Institut national de la recherche scientifique
Centre Eau Terre Environnement

**ÉTUDE DES PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES DANS LE NORD DE
LA BAIE DE BAFFIN POUR LA PÉRIODE 1950-2014**

Par

Fannie Tremblay

Mémoire présenté pour l'obtention du grade de
Maître es Sciences, M.Sc.
en Sciences de la Terre

Jury d'évaluation

Examineur externe	Louis-Philippe Nadeau ISMER-UQAR
Examineur interne	André St-Hilaire Institut National de la Recherche Scientifique
Codirecteur de recherche	Jean-Éric Tremblay Département Biologie - Université Laval
Directeur de recherche	Yves Gratton Institut National de la Recherche Scientifique

Remerciements

Mes premiers remerciements sont pour mon directeur de recherche, M. Gratton, pour son incroyable soutien dans les moments plus difficiles, notamment causés par quelques problèmes de santé. Son aide, ses conseils, son expérience et sa disponibilité ont permis la complète réalisation de l'aventure de longue haleine qu'à été ma maîtrise. Ce fut une nouvelle étape tellement plus agréable après un premier départ difficile auprès d'un autre professeur. Un gros merci.

Je me dois d'essayer, même si aucuns mots ne peuvent vraiment me permettre de le faire pleinement, de remercier mon compagnon de vie, sans qui rien de tout cela n'aurait été possible. Ton aide, ton soutien, tes bêtises ou tes bons conseils m'ont permis de comprendre et de traverser bon nombre de difficultés. Ta compréhension a jeté un baume sur les petits comme les gros bobos. Personne ne sait mieux que toi comment m'arracher un sourire en pleine déprime. Tout comme l'Univers que tu aimes observer, ma gratitude n'a pas vraiment de limites quantifiables.

Je tiens à remercier mes parents, pour leur amour, leur soutien et leurs conseils, en plus de leur confiance inébranlable en mes capacités. Votre présence, parfois lointaine, mais toujours palpable, et ce, depuis le début de mes études, m'a permis d'accomplir un de mes rêves les plus chers. De vous savoir toujours avec moi a été très important. Mille fois merci.

Je ne veux pas oublier de remercier, d'une part, ma belle-famille, qui m'a également soutenue et encouragée, à l'aide de conseils fortifiés par l'expérience, qui se sont révélés forts judicieux. D'autre part, je m'en voudrais de ne pas mentionner tous mes amis, physiciens et non physiciens, qui m'ont soutenue et encourager. Votre présence et vos anecdotes, si souvent semblables aux miennes, m'ont permis de me sentir bien entourée et bien plus sereine. Puissiez-vous restiez dans ma vie encore longtemps.

Finalement, j'adresse un remerciement à Tom Yao, anciennement de BIO et maintenant à la retraite, pour les résultats des simulations le long de la même section que la mienne, ainsi que Jean-Daniel Bourgault, soldat inébranlable de la recherche documentaire, sans qui bien des rapports historiques auraient été hors d'atteinte.

Résumé

Ce mémoire avait pour objectif de détecter et d'analyser la présence de changements dans l'environnement physico-chimique du nord de la baie de Baffin, le long d'une section au niveau du parallèle 76,5°N. À cette fin, des séries temporelles de température, salinité et d'éléments nutritifs ont été construites à partir de données historiques. Ainsi, les tendances ont pu être calculées sur chacune d'elles, pour les périodes estivales (juillet à octobre) allant de 1952 à 2014.

En ce qui concerne la température, un réchauffement marqué de 0,43 à 1,55°C a pu être observé le long de l'ensemble de la colonne d'eau, soit de 50 à 600 mètres, près de la côte ouest du Groenland et ce, pour la période étudiée. Du côté ouest, à proximité de l'île d'Ellesmere, une désalinisation de 0,7 a été observée, de 100 à 200 mètres. Le contenu en eau douce dans la région semble donc avoir augmenté depuis 1952. Les nutriments font également face à certains changements puisqu'une augmentation des concentrations en nitrates et en phosphates est visible dans la portion est de la section.

Grâce aux données disponibles, les courants baroclines perpendiculaires à la section ont pu être estimés à l'aide de la méthode géostrophique. Les résultats ont confirmé le sens de la circulation dans la région, soit des courants vers le nord à l'est, concentrés près du Groenland, et des courants vers le sud à l'ouest et au centre de la section. La présence de tourbillons a également pu être observée. Ceux-ci ont un diamètre d'environ 30 km et sont majoritairement anticycloniques. De plus, les différents transports (eau douce, chaleur et nutriments) ont également été estimés à l'aide des courants géostrophiques. Finalement, à l'aide des résultats de simulations numériques de Yao et Tang (2003) pour la même section, une estimation du pourcentage des transports « manquants » associés aux difficultés d'échantillonnage près de la côte a pu être établi. Ce pourcentage varie de 10% à 30% du côté de la côte de l'île d'Ellesmere et de 1% à 50% du côté du Groenland, avec un plus fort impact pendant la saison hivernale. La région semble donc avoir été sujette à une multitude de changements au cours des soixante dernières années.

Mots clés baie de Baffin; détroit de Smith; variations interannuelles dans les transports à travers 76,5°N entre 1952 et 2014; transports d'eau douce; transports de chaleur; transports de nutriments.

Abstract

The objective of this thesis was to detect and analyze changes in the physical and chemical environment of the waters in northern Baffin Bay, along the 76,5° North section. To achieve this goal, temporal series of temperature, salinity and nutrients were built using historical data. From these, trends were computed for each series for the period between 1952 and 2014.

For the temperature, a warming of 0,43 to 1,55 °C was observed in the water column, from depths of 50 to 600 meters, near the west coast of Greenland over the study period. On the west side of the section near Ellesmere Island, a decrease in salinity of 0,7 was found between 100 and 200 meters. The results also showed an increase in the nutrients (nitrates and phosphates) concentrations in the eastern part of the section.

Using the data on hand, the baroclinic currents perpendicular to the section were estimated. The results confirmed the direction of the flow, being a narrow northward flow on the east side of the section and southward flows on the western and central parts of the section. The currents also showed the presence of eddies, mostly anticyclonic, with mean diameters close to 30 km. The data was also used to compute the freshwater, heat and nutrients transports.

Finally, using the numerical transports perpendicular to 76,5 °N of Yao and Tang (2003), an estimate was obtained for the fraction of the section not sampled because of the landfast ice near the coasts. The missing transports vary from 10% to 30% near Ellesmere Island and from 1% to 50% on the Greenland side, the under estimations being at their highest in winter. Based on the results of this work, it is safe to state that this section of Baffin Bay has indeed witnessed variations in its physical and chemical properties over the last sixty years.

Keywords Baffin Bay; Smith Sound; interannual variations in transports through 76,5 °N between 1952 and 2014; freshwater transports; heat transports; nutrient transports.

Table des matières

Remerciements	iii
Résumé	v
Abstract	vii
Table des matières	ix
Liste des figures	xi
Liste des tableaux	xiii
1 Introduction	1
2 Revue de littérature	5
2.1 Polynie des Eaux du Nord	5
2.1.1 Historique	5
2.1.2 Description générale	6
2.2 Masses d'eau	8
2.3 Circulation générale	9
2.4 Transports	11
2.5 Tendances	12
3 Méthodologie	19
3.1 Sources des données	19
3.2 Distribution des données	20
3.3 Traitement des données	23
3.3.1 Bathymétrie	23
3.3.2 Profils de température et de salinité	23
3.3.3 Profils de nutriments	27
3.3.4 Température potentielle versus température <i>in situ</i>	30
3.3.5 Échelle de salinité	30
3.4 Estimation des courants	31
3.5 Calcul des transports	35
3.5.1 Chaleur et eau douce	35
3.5.2 Nutriments	39
3.5.3 Erreur sur les transports	40
3.6 Moyennes annuelles et tendances	42
3.6.1 Erreur sur la pente	46

4 Résultats	47
4.1 Température et salinité	47
4.2 Circulation générale	52
4.2.1 Simulations numériques	54
4.2.2 Composante barotrope	56
4.3 Transports nets	59
4.3.1 Simulations numériques	62
4.3.2 Transports de nutriments	66
4.4 Moyenne sectorielles	74
4.4.1 Température	74
4.4.2 Salinité	79
4.4.3 Nutriments	82
5 Tendances 1950-2014	89
5.1 Température	89
5.2 Salinité	93
5.3 Nutriments	96
5.3.1 Nitrate et silicate	96
5.3.2 Phosphate et N*	101
5.4 Transports	103
5.5 Variantes	104
5.5.1 Meilleur échantillonnage	104
5.5.2 Années 1990 et plus	107
6 Sommaire et conclusion	113
Références	119
A Informations supplémentaires	127
B Contours de température et de salinité	133
C Courants	159
D Transports volumiques, de chaleur et d'eau douce	179
E Éléments nutritifs	205

Liste des figures

1.1	Carte générale de la région de l'Archipel canadien et de la baie de Baffin (Wikimedia, 2017)	2
2.1	Carte de la région de l'Archipel Arctique Canadien et surtout du nord de la baie de Baffin. L'étoile jaune représente Cape York, la rouge le bassin Kane et la mauve, l'île Disko.	8
3.1	Position de la section référence (1999).	20
3.2	Localisation de tous les profils utilisés pour l'étude autour de la section choisie.	21
3.3	Distribution du nombre de profils en fonction des décennies couvertes par l'étude.	22
3.4	Distribution du nombre de profils en fonction des mois de l'année.	22
3.5	Contours de température de l'année 1999, choisie comme section de référence, avec interpolation horizontale aux 10 km et position des profils initiaux. L'axe horizontal est en kilomètre avec à droite, la côte du Groenland et à gauche, celle d'Ellesmere. L'axe vertical est la profondeur de la colonne d'eau, en mètre.	26
3.6	Contours de salinité de l'année 1999, choisie comme section de référence, avec interpolation horizontale aux 10 km et position des profils initiaux. L'axe horizontal est en kilomètre avec à droite, la côte du Groenland et à gauche, celle d'Ellesmere. L'axe vertical est la profondeur de la colonne d'eau, en mètre.	26
3.7	Nombre de profils de nutriments par mois ayant été sélectionnés pour les calculs.	27
3.8	Distribution caractéristique des courants estimés le long de la section de référence (1999) en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest et de la profondeur.	33
3.9	Transports volumiques estimés le long de la section de référence (1999) en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest et de la profondeur.	37
3.10	Transports de chaleur estimés le long de la section de référence (1999) en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest et de la profondeur.	38
3.11	Transports d'eau douce estimés le long de la section de référence (1999) en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest et de la profondeur.	38
3.12	Illustration des concentrations de silicates moyennées par secteurs pour la section de référence. Celles-ci sont subséquemment utilisées dans l'estimation des transports de silicates à travers la section.	39
3.13	Localisation des points sur les côtes (rouge) et des limites de chacun des secteurs (noir).	43
3.14	Régression linéaire de la température pour le secteur Groenland et la couche 100-200 mètres (ligne rouge). Les lignes pointillées représentent l'intervalle de confiance de 95%.	45

4.1	Contours de température pour le mois de juin 1998. L'axe vertical représente la profondeur et l'horizontale, la distance, en km, par rapport au point de référence sur la côte ouest. La position des stations initiales est représentée par les pointillés. . . .	49
4.2	Courants estimés par géostrophie pour septembre 1999 par rapport au point de référence sur la côte ouest et en fonction de la profondeur.	55
4.3	Courants totaux moyens et mensuels calculés par modèle numérique pour septembre par rapport à la côte ouest et en fonction de la profondeur (Yao, comm. personnelle).	56
4.4	Moyennes verticales des courants perpendiculaires à la section. La courbe rouge représente la moyenne verticale des courants géostrophiques pendant le mois de septembre 1999. La courbe en bleue est la moyenne verticale des courants perpendiculaires à la section selon les simulations de Yao et Tang (2003) pour le mois de septembre. . . .	57
4.5	Carte bathymétrique du détroit de Smith en coordonnées MTU (Mercator Transverse Universal): la côte est en noir tandis que la ligne noire plus épaisse indique la position du parallèle 76,5°N. Les contours bathymétriques suivants sont identifiés : 200 m (magenta), 400 m (bleu), 500 m (rouge) et 600 m (vert). L'échelle en km est la même sur les deux axes. Le début de la section de référence (1999) correspond à l'origine de l'axe horizontal.	58
5.5	Tendances linéaires calculées sur l'ensemble des données de salinité (rouge) pour le secteur Ellesmere, avec intervalle de confiance de 95% (pointillés noirs) et l'écart type de chacune des moyenne sectorielles utilisées dans le calcul (bleu). L'axe horizontal représente les années et l'axe vertical, les unités de salinité.	112
5.6	Tendances linéaires calculées la salinité (rouge) des années les mieux échantillonnées, pour le secteur Ellesmere, avec intervalle de confiance de 95% (pointillés noirs) et l'écart type de chacune des moyenne sectorielles utilisées dans le calcul (bleu). L'axe horizontal représente les années et l'axe vertical, les unités de salinité.	112

Liste des tableaux

2.1	Tableau récapitulatif des différentes campagnes océaniques ayant parcouru la région étudiée. ND signifie qu'aucune information n'est disponible.	6
2.2	Tableau récapitulatif des transports volumiques, d'eau douce et de chaleur calculés et présentés dans différentes études autour de la région étudiée. ND signifie que l'information est non-disponible.	12
2.3	Tableau récapitulatif des tendances sur la température présentées dans la littérature autour de la section étudiée. ND signifie que l'information est non-disponible.	16
2.4	Tableau récapitulatif des tendances sur la salinité présentées dans la littérature autour de la section choisie. ND signifie que l'information est non-disponible.	17
2.5	Tableau récapitulatif des tendances sur la température en fonction des différentes masses d'eau visibles dans la baie de Baffin présenté par Grivault et al. (2017). Le détail des acronymes est présenté à l'Annexe A.	18
2.6	Tableau récapitulatif des tendances sur la salinité en fonction des différentes masses d'eau visibles dans la baie de Baffin présenté par Grivault et al. (2017). Le détail des acronymes est présenté à l'Annexe A.	18
3.1	Campagnes océanographiques ayant des jeux de données sélectionnés pour les calculs. Les années avec * ont des valeurs d'éléments nutritifs.	27
3.2	Différence entre les calculs des transports volumiques (Sv).	41
3.3	Différence entre les calculs des transports de chaleur (10^{12} Watts).	42
3.4	Différence entre les calculs des transports de d'eau douce (Sv).	42
3.5	Détails sur la localisation des secteurs.	43
4.1	Maximum et minimum des courants estimés à travers la section sélectionnée pour chacune des années.	53
4.2	Transports nets calculés à travers la section sélectionnée pour chacune des années.	60
4.3	Transports volumiques nets mensuels calculés à partir du modèle numérique à travers la section de référence.	63
4.4	Transports volumiques nets mensuels calculés à partir du modèle numérique pour chacun des secteurs de la section de référence.	64
4.5	Transports volumiques nets positifs et négatifs mensuels calculés à partir du modèle numérique pour les secteurs Ellesmere et Groenland.	64
4.6	Transports volumiques nets mensuels calculés à partir du modèle numérique à travers le secteur Ellesmere et de la partie non-échantillonnée du secteur.	65
4.7	Transports volumiques nets mensuels calculés à partir du modèle numérique à travers le secteur Groenland et de la partie non-échantillonnée du secteur.	66

4.8	Transports de silicate nets à travers la section calculés à partir des moyennes sectorielles, pour chaque secteur, de 1963 à 1999 et pour les trois couches de surface : 0-50m, 50-100, 100-200m. ND signifie que l'information n'est pas disponible.	68
4.9	Transports de silicate nets à travers la section calculés à partir des moyennes sectorielles, pour chaque secteur, de 2005 à 2013 et pour les trois couches de surface : 0-50m, 50-100, 100-200m. ND signifie que l'information n'est pas disponible.	69
4.10	Transports de phosphate nets à travers la section calculés à partir des moyennes sectorielles, pour chaque secteur, de 1963 à 1999 et pour les trois couches de surface : 0-50m, 50-100, 100-200m. ND signifie que l'information n'est pas disponible.	70
4.11	Transports de phosphate nets à travers la section calculés à partir des moyennes sectorielles, pour chaque secteur, de 2005 à 2013 et pour les trois couches de surface : 0-50m, 50-100, 100-200m. ND signifie que l'information n'est pas disponible.	71
4.12	Transports de nitrate nets à travers la section calculés à partir des moyennes sectorielles, pour chaque secteur, de 1963 à 1999 et pour les trois couches de surface : 0-50m, 50-100, 100-200m. ND signifie que l'information n'est pas disponible.	72
4.13	Transports de nitrate nets à travers la section calculés à partir des moyennes sectorielles, pour chaque secteur, de 2005 à 2013 et pour les trois couches de surface : 0-50m, 50-100, 100-200m. ND signifie que l'information n'est pas disponible.	73
4.14	Concentrations maximales observées le long de la section pour chaque nutriment et chaque année.	83
4.15	Concentrations minimales observées le long de la section pour chaque nutriment et chaque année.	83
5.1	Tendances sur la température pour chaque couche et les secteurs Ellesmere et C1 avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.	91
5.2	Tendances sur la température pour chaque couche et les secteurs C2 et Groenland, avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.	91
5.3	Tendances sur la salinité pour chaque couche et les secteurs Ellesmere et C1 avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.	94
5.4	Tendances sur la salinité pour chaque couche et les secteurs C2 et Groenland, avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.	94
5.5	Tendances sur le nitrate pour chaque couche et les secteurs Ellesmere et C1 avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.	99
5.6	Tendances sur le nitrate pour chaque couche et les secteurs C2 et Groenland, avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.	99
5.7	Tendances sur le silicate pour chaque couche et les secteurs Ellesmere et C1 avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.	100
5.8	Tendances sur le silicate pour chaque couche et les secteurs C2 et Groenland, avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.	100
5.9	Tendances sur le phosphate pour chaque couche et les secteurs Ellesmere et C1 avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.	102
5.10	Tendances sur le phosphate pour chaque couche et les secteurs C2 et Groenland, avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.	102
5.11	Tendances sur la valeur de N* pour chaque couche et les secteurs Ellesmere et C1 avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.	102
5.12	Tendances sur la valeur de N* pour chaque couche et les secteurs C2 et Groenland, avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation	103

5.13	Tendances sur les transports volumiques pour chaque couche et les secteurs Ellesmere et C1 avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.	103
5.14	Tendances sur les transports volumiques pour chaque couche et les secteurs C2 et Groendland, avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.	104
5.15	Tendances sur la température pour les années les mieux échantillonnées, pour chaque couche et les secteurs Ellesmere et C1 avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.	105
5.16	Tendances sur la température pour les années les mieux échantillonnées, pour chaque couche et les secteurs C2 et Groendland, avec leur erreursur la pente et leur coefficient de corrélation.	105
5.17	Tendances sur la salinité pour les années les mieux échantillonnées, pour chaque couche des secteurs Ellesmere et C1, avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.	106
5.18	Tendances sur la salinité pour les années les mieux échantillonnées, pour chaque couche des secteurs C2 et Groendland, avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.	106
5.19	Tendances sur les transports volumiques pour les années les mieux échantillonnées, pour chaque couche et les secteurs Ellesmere et C1, avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.	107
5.20	Tendances sur les transports volumiques pour les années les mieux échantillonnées, pour chaque couche et les secteurs C2 et Groendland, avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.	107
5.21	Tendances sur la température pour les années 1999 à 2014, pour chaque couche et les secteurs Ellesmere et C1 avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.	109
5.22	Tendances sur la température pour les années 1999 à 2014, pour chaque couche et les secteurs C2 et Groendland, avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.	109
5.23	Tendances sur la salinité pour les années 1999 à 2014 pour chaque couche et les secteurs Ellesmere et C1 avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.	111
5.24	Tendances sur la salinité pour les années 1999 à 2014, pour chaque couche et les secteurs C2 et Groendland, avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.	111
A.5	Informations complémentaires concernant les sections des différentes années illustrant les conséquence d'une différence d'échantillonnage.	131

Chapitre 1

Introduction

Ces dernières années, le réchauffement de l'océan Arctique et la fonte accélérée de la glace de mer ont énormément retenu l'attention, avec raison. Certains scientifiques considèrent même qu'il est possible que la glace d'été en Arctique soit complètement fondue d'ici 2030 (Stroeve et al. 2008). Comme cette région est unique et connectée au reste du monde, les bouleversements qui s'y passent ont une influence sur tous les écosystèmes qui l'entourent, notamment ceux comme les polynies, considérées comme un milieu de vie unique. La réduction de la glace de mer pourrait augmenter la productivité biologique dans la partie supérieure de l'océan (ou polynie) et améliorer certains itinéraires maritimes (Wang 2012). Cependant, les changements observés jusqu'à présent dans les régions arctiques et sub-arctiques, qui sont d'une importance capitale dans la circulation globale, ne permettent pas de dresser un portrait seulement positif. Les mers sub-arctiques sont des lieux de transformation pour les masses d'eau. Parmi celle-ci, il y a le refroidissement des eaux salines amenées par l'Atlantique Nord. Cette transformation est le précurseur du renouvellement des eaux profondes de l'Atlantique Nord (Aagaard et Carmack 1989), notamment dans la mer du Labrador. Celle-ci est un site critique pour le système climatique terrestre, puisque c'est à cet endroit que les eaux qui détermineront le taux de circulation de la gyre Atlantique sont formées. De 1966 à 1992, la désalinisation de cette mer est équivalente à l'ajout d'une couche d'une épaisseur de 6 mètres d'eau douce en surface (Dickson et al. 2002). Au niveau de l'Atlantique Nord, c'est la circulation Méridional Atlantique (AMOC) qui est étudiée, puisque celle-ci est responsable des transports de chaleur vers le nord, qui varient selon la circulation. Or, les changements globaux observés dans les transports de chaleur et les températures de surface ont altéré les patrons d'échanges de chaleur entre

l'atmosphère et l'océan (Smeed et al. 2018). Une légère diminution dans les échanges totaux entre l'Arctique et les mers environnantes a également été constatée. Cela a un impact sur la circulation entre les deux océans, conséquence des pertes dans le contenu en eau douce des hautes latitudes (Nummelin et al. 2016). Ces systèmes, même s'ils ne sont pas géographiquement proches, sont liés et sont une des composantes de la grande machine climatique. Il devient, dans le contexte actuel, fort pertinent d'étudier les changements à long terme visibles dans des régions clés d'échanges, comme le nord de la baie de Baffin (fig. 1.1), où les eaux Arctique et Atlantique se mélangent et où la circulation générale est fortement dépendante des conditions climatiques, comme le contenu en eau douce et le régime des glaces.



Figure 1.1 – Carte générale de la région de l'Archipel canadien et de la baie de Baffin (Wikimedia, 2017)

Ce mémoire s'inscrit dans cette volonté d'étudier les changements à long terme, au niveau d'une section clé visitée à de nombreuses reprises au cours des années, pour une période couvrant plus de 50 ans, soit de 1952 à 2014. L'analyse est effectuée à l'aide de tendances calculées sur la température, la salinité et les nutriments, mais aussi via l'estimation des différents transports (volume, chaleur, eau douce) pendant cette période. Comme ceux-ci sont estimés à partir de données, parfois avec une plus ou moins grande résolution, ce mémoire étudie également l'impact de l'échantillonnage sur les résultats des estimations, puisqu'aucune autre étude n'en discute précisément. L'aspect chimique

est également étudié, pour une première fois sur une si longue période de temps, de concert avec l'aspect physique.

La présente étude est séparée en six chapitres. Le premier est une présentation du contexte et de la pertinence de cette étude. Le deuxième contient les informations rassemblées jusqu'à maintenant concernant la région et la section étudiées qui sont utiles au lecteur pour comprendre les résultats. L'ensemble de la collecte, de la préparation et de l'utilisation des données est expliqué en détail au chapitre 3. Les résultats, ainsi que leur analyse, sont présentés dans le chapitre 4. Le choix de ne pas analyser chaque résultat dans une section différente est motivé par leur grand nombre. Il est plus facile de les comprendre et de les analyser directement en les présentant. Le chapitre 5 est dédié à la présentation et à l'analyse des tendances interannuelles. Finalement, le chapitre 6 présente quelques compléments d'information à ceux présentés dans les chapitres précédents et résume les résultats les plus intéressants. En conclusion, des pistes d'analyse supplémentaires sont présentées, celles-ci encourageant la continuation de la présente étude.

Chapitre 2

Revue de littérature

2.1 Polynie des Eaux du Nord

2.1.1 Historique

Plusieurs navires et missions se sont aventurés dans les eaux de la baie de Baffin au fil des décennies. C'est William Baffin, en 1916, qui fut le premier à atteindre la baie, pour finalement découvrir la polynie, qui porte son nom (Dunbar 1951). Deux des premières campagnes de mesure parmi les plus complètes répertoriées et ayant fortement contribué à l'amélioration des connaissances dans l'arctique sont celles du GODTHAAB et du MARION, en 1928. Celle du MARION, effectuée par la garde côtière américaine, couvrent quelques sections le long de la côte ouest du Groenland, jusqu'à l'île Disko (fig. 2.1). L'expédition danoise (GODTHAAB) a quant à elle effectué des mesures similaires aux Américains, mais dans la mer du Labrador et la baie de Baffin et ils ont été nettement plus au nord que l'expédition américaine. De 1954 à 1957, c'est le HMCS LABRADOR qui a effectué des recherches pendant l'été dans l'est de l'Arctique. Les années 1950 et 1960 marquent le début d'études interannuelles plus intensives des différentes caractéristiques de la polynie. D'ailleurs, pour les années 1960-1965, plusieurs études se sont concentrées sur la baie de Baffin (tableau 2.1). Au début des années 1960 c'est le LABRADOR, puis l'EVERGREEN, qui ont collecté des données détaillées dans le nord de la baie de Baffin et dans le détroit de Smith (1963). C'est ensuite à bord de l'EDISTO que les données ont été amassées, dans plusieurs régions, dont le nord de la baie, les détroits de Smith, Jones et Lancaster. Finalement, c'est le USCG WESTWIND

en 1968 qui complète ces campagnes de la décennie 1960, dans les régions du détroit de Smith et de Cape York, plus au sud-ouest (Muench 1970). Finalement, les deux campagnes les plus récentes sont celles de NOW (NOrth Water) et d'ArcticNet, qui visaient à instaurer des mesures interannuelles systématiques le long de sections fixes et choisies dans des régions clés, pour une analyse à long terme des conditions océaniques. D'ailleurs, la section choisie pour cette étude est une de celles-là.

Tableau 2.1 – Tableau récapitulatif des différentes campagnes océaniques ayant parcouru la région étudiée. ND signifie qu'aucune information n'est disponible.

Années	Campagnes
1952	Edisto
1957	Labrador
1961	Labrador
1962	Labrador
1963	Evergreen
1964	Labrador
1966	Edisto
1968	Westwind
1969	Westwind
1970	Westwind
1978	Hudson
1979	ND
1986	ND
1991	ND
1997-1999	NOW
2005-2014	ArcticNet

2.1.2 Description générale

La formation de la polynie, à l'extrême nord de la baie de Baffin, est un événement récurrent, caractérisé par des conditions de glaces anormalement minces. C'est la plus grande polynie de l'arctique canadien et une des régions les plus productives (Rasmussen et al. 2011). Sa superficie réelle varie tout au long de l'année, car elle n'est pas constamment libre de glace. Au cours des mois de février et de mars, elle peut même être recouverte à 95% de glace, sans que celle-ci dépasse toutefois les 30 cm d'épaisseur (Rail 2005). La polynie s'étend aux détroit de Smith, Jones et Lancaster lorsqu'elle est complètement formée en été. Sa limite nord est bien définie par le pont de glace qui se forme dans la partie sud du bassin Kane, d'une largeur d'environ 50 km. Celui-ci bloque la circulation de la glace en provenance du nord et permettant l'émergence de la polynie, au printemps. La formation et la durée du pont de glace sont hautement variables, il semble d'ailleurs

se former plus tard et se démanteler plus tôt dans les années 1990 comparativement aux années 1980 (Barber et al. 2001). D'ailleurs, ce pont ne s'est pas formé en 1990, 1993, 1995, 2007, 2008, 2009 et 2010. Lorsque cela se produit, il y a une augmentation du passage des glaces vers le nord de la baie de Baffin, ce qui suggère une fonte et une stratification accrue (Blais et al. 2017), en plus de la modification des courants et des transports dans le détroit de Nares (Ryan et Münchow 2017). La limite sud de la polynie est quant à elle moins bien définie, parce que les caractéristiques de glace de celle-ci se confondent graduellement à celles de la baie (Tang et al. 2004). La bathymétrie de la région est quant à elle complexe et varie entre 200 et 700 mètres. Elle est sillonnée par plusieurs chenaux, entre lesquels il y a des plateaux peu profonds, de 200 à 400 mètres. À l'embouchure du détroit de Jones, la bathymétrie redescend toutefois sous les 500 mètres (Rail 2005). Les eaux composant la polynie sont un mélange arctique (même pacifique) et atlantique, mais il semble que ces dernières années, la proportion d'eau de la mer d'Irminger (WGIW) et de l'ouest du Groenland (WGSW) dans la polynie soit plus importante dans la région (Grivault et al. 2017), ce qui suggère que la région est sujette à des changements océaniques. La figure 2.1 présente la position des régions clés discutées dans cette section.

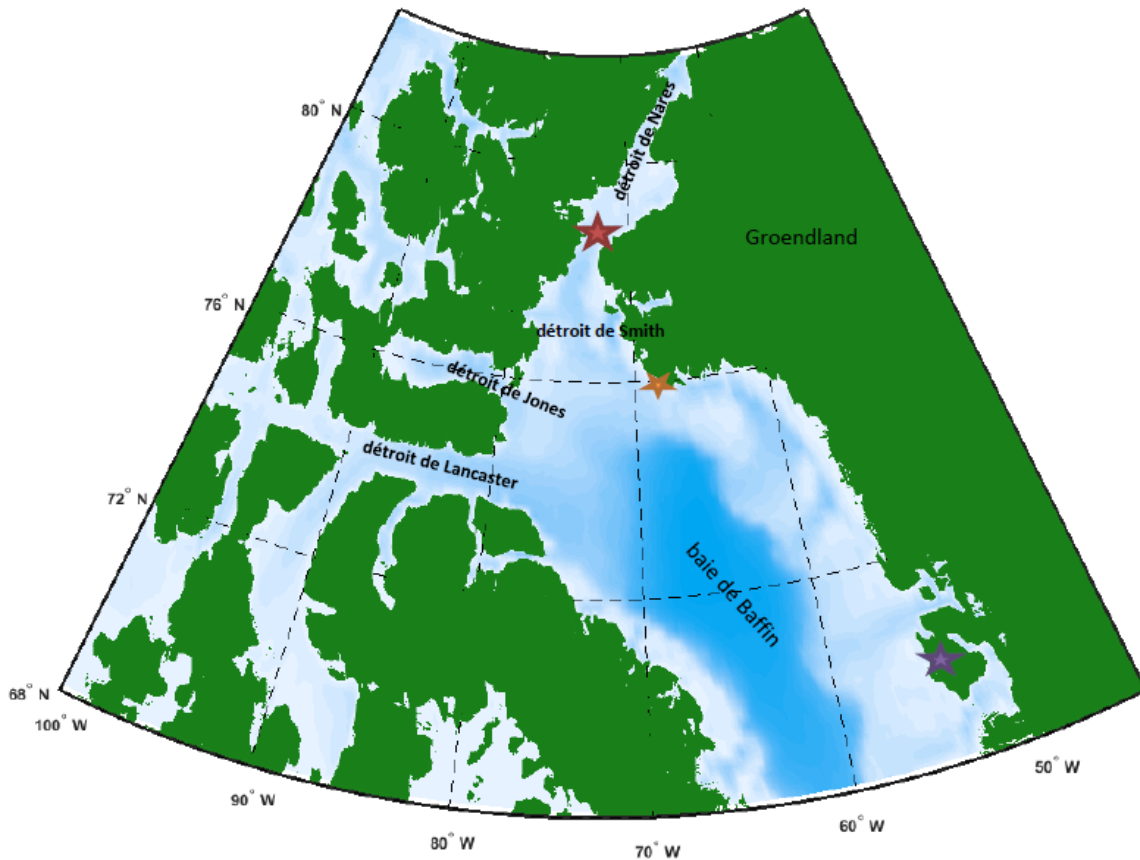


Figure 2.1 – Carte de la région de l’Archipel Arctique Canadien et surtout du nord de la baie de Baffin. L’étoile jaune représente Cape York, la rouge le bassin Kane et la mauve, l’île Disko.

2.2 Masses d’eau

Les définitions des masses d’eau utilisées dans la région varient légèrement en fonction des études et des objectifs de celles-ci. Dans le cadre de cette étude, les masses d’eau utilisées dans l’analyse des contours de température, salinité et nutriments sont les mêmes que celles décrites par Bâcle (2000), Muench (1970) et Addison (1987). Ces auteurs identifient trois grandes couches dans la région: Arctique, Atlantique et eaux profondes. En surface, c’est la couche Arctique qui domine, avec une couche saisonnière formée par la fonte de la glace de mer en été. Les températures y sont en général supérieures à 0°C, la salinité plus petite que 33,5 et l’épaisseur de la couche ne dépasse généralement pas 75 mètres. L’autre partie de la couche Arctique est composée d’eau Arctique importée du bassin Arctique par les Archipels Canadiens (CAA) ou le Courant du Groenland ouest (WGC). L’eau

transportée via les CAA a des températures inférieures à 0°C couplée à une salinité plus basse que 34,5. Celle transportée par le WGC a également des températures plus petites que 0°C mais une salinité typique plus basse que 34,25. La couche Arctique est également plus profonde au nord-ouest (Ellesmere) qu'au nord-est (Groendland). Sous la couche Arctique, on retrouve de l'eau en provenance de l'Atlantique, transportée par le WGC dans la baie de Baffin jusqu'à $76,5^{\circ}\text{N}$ (Melling et al. 2001). Cette eau est majoritairement plus chaude ($T > 0^{\circ}\text{C}$) et plus salée ($33,8 < S < 34,45$) que l'eau Arctique et couvre une bonne partie de la colonne d'eau. Finalement, dans les parties plus profondes de la baie de Baffin, deux masses d'eau sont associées à ces profondeurs : l'eau profonde et l'eau de fond. L'eau y est froide, entre $-0,25^{\circ}\text{C}$ et $-0,50^{\circ}\text{C}$ et la salinité, pratiquement uniforme (34,45). Comme ces masses d'eau n'apparaissent que sous les 1200 mètres, elles ne sont observables que dans la partie centrale de la baie de Baffin et ne sont donc pas visibles le long de la section choisie.

2.3 Circulation générale

La région de la polynie est alimentée par un apport d'eau froide de l'Océan Arctique, qui circule vers le sud à travers les détroits de Nares et de Smith, ainsi que par un apport d'eau plus chaude du sud-est, dérivées du WGC. Celui-ci circule vers le nord le long de la côte ouest du Groendland jusqu'à l'extrême nord de la baie de Baffin, avant de retraverser la baie et rejoindre l'export d'eau Arctique des CAA par le courant de Baffin (BC). Il n'y a cependant pas que l'eau d'origine Arctique qui traverse les CAA, mais bien d'origine Pacifique également. En effet, pratiquement la totalité de l'eau traversant les détroits de Smith, Lancaster et Jones ainsi que les 100 premiers mètres du détroit de Smith est composée d'eau d'origine Pacifique (Jones et al. 2003). Outre les différents apports, il y a également une gyre cyclonique dans le nord de la baie, surtout localisée entre les détroit de Jones, Lancaster et le Cape York, qui transporte de la chaleur et du sel jusque dans le nord de la baie. Les courants moyens enregistrés dans la baie s'étendent de 0 à 17 cm s^{-1} (Tang et al. 2004) et sont surtout contrôlés par un gradient barocline (Grivault et al. 2017). L'exportation d'eau Arctique dans le nord-ouest de la baie de Baffin occupe l'entièreté de la colonne d'eau jusqu'à 500 mètres (Melling et al. 2001). De plus, les intrusions d'eau chaude et salée dans une couche de fond à la fin de l'hiver illustrent un apport qui n'est pas exclusivement saisonnier, mais plutôt intermittent. Cette intrusion s'effectue par le sud-est via un courant faible d'environ $3 \text{ à } 5 \text{ cm s}^{-1}$.

Cependant, la composante dominante de la région est l'export vers le sud d'eau froide arctique, avec le plus fort courant identifié dans le détroit de Smith ($10-15 \text{ cm s}^{-1}$) (Melling et al. 2001). La région est également soumise au rythme des saisons, l'été s'étalant de juillet à septembre et l'automne, d'octobre à décembre, ce qui entraîne une certaine variabilité saisonnière dont il faut être conscient. Cette variabilité dans la baie de Baffin n'est pas précisément quantifiée, mais dans le détroit de Lancaster, elle est d'environ $\pm 0,3 \text{ Sv}$ (Prinsenberget al. 2009), ce qui donne une idée de son importance. Qui plus est, les courants d'été et d'automne sont nettement plus forts que ceux mesurés en hiver (Tang et al. 2004). Le niveau d'eau dans la baie diminue de février à avril, pour ensuite remonter le reste de l'année. Cette diminution coïncide avec une diminution du transport volumique vers le nord du WGC (McGeehan et Malowski, 2012). De plus, un lien entre la circulation atmosphérique et océanique à grande échelle a été démontré, via l'Oscillation Nord Atlantique (NAO), qui est la différence entre la pression atmosphérique au-dessus de l'Islande et celle au-dessus de Açores. L'analyse des données de la baie de Baffin, de 1916 à 2003, indique que la NAO module la distribution des gradients baroclines, créant une plus forte circulation géostrophique (cyclonique) pour les années avec un index NAO positif (Münchow et al. 2015). L'influence de la NAO semble très étendue puisqu'elle serait également liée à la Great Salinity Anomaly (GSA), une grande anomalie d'eau douce observée à la fin des années 1960 et 1970. Cet événement se propage dans l'arctique et est typiquement plus fort en surface dans les mers nordiques et l'Atlantique Nord (Dickson et al. 1988). L'anomalie a été attribuée à un export anormal d'eau douce Arctique sur une période de cinq ans. Deux autres événements similaires ont également été observés dans les années 1980 et 1990. Ce genre d'anomalie est généralement visible dans les données de salinité, sur environ une décennie. Les modèles de propagation de la GSA indiquent des anomalies également dans les transports d'eau douce et/ou dans la circulation (Haine et al. 2015). L'influence de la NAO ne s'arrête cependant pas au contenu en eau douce, puisque les périodes prolongées avec un index NAO anormal sont caractérisées par une altération de la quantité de chaleur se dégageant de l'océan et de l'apport d'eau douce, sur la fonte de la glace et sur le ruissellement continental. Ce qui pourrait potentiellement affecter la formation des eaux profondes de l'Atlantique Nord (Hurrell, 1995). Finalement, la stratification joue également un rôle majeur dans la circulation. Par exemple, la légère stratification de la gyre convective du Groenland est largement maintenue par l'excès de précipitation local et par un apport latéral d'eau douce par le Courant du Groenland Est (EGC). Quand les eaux de surface des gyres sont refroidies pendant l'hiver, leur léger déficit en salinité est transféré plus en profondeur par convection. Si la couche de surface se désalinise trop, le

refroidissement, même jusqu'au point de congélation, devient insuffisant pour initier la convection. La gyre devient donc en quelque sorte bouchée par l'eau douce (Aagaard et Carmack, 1989), qui ne fait alors que s'accumuler, ce qui a un impact direct sur la circulation de l'eau douce, mais aussi sur la formation des masses d'eau plus denses, essentielles à la circulation globale.

2.4 Transports

Les transports totaux au niveau de la section sont généralement dirigés vers le sud et oscillent autour de -1 Sv (Tableau 4.3). Ceux-ci sont composés de l'apport des CAA, du ruissellement des rivières, de la glace de mer et des apports du Groenland et de l'Atlantique (Steiner et al. 2015). À l'ouest de la section, c'est surtout un transport d'eau douce vers le sud qui domine tandis qu'à l'est, c'est un transport de chaleur vers le nord. Depuis les années 2000, plusieurs études se sont concentrées sur l'estimation des différents transports à travers les CAA, le détroit de Nares et la polynie. La plupart des estimations sont effectuées grâce à une estimation géostrophique ou par modélisation. Rail (2005) a dressé l'historique des transports volumiques à travers 3 détroits et la baie de Baffin dans le cadre de son étude. Ainsi, dans le détroit de Smith, les transports varient entre 0,20 à 0,30 Sv dans le détroit de Smith, entre 0,18 à 0,42 Sv dans le détroit de Jones, entre 0,39 et 0,96 dans le détroit de Lancaster et entre 0,95 à 2,25 Sv dans la baie de Baffin. Dû à la circulation mixte dans la région, certaines études, comme celles de Münchow et al. (2015), ont quant à elles estimé les transports en terme de composante. Par exemple, ceux-ci ont estimé la contribution des détroits de Nares (0,3 Sv), Jones (0,3 Sv) et Lancaster (1,1 Sv) au transport volumique total vers le sud via le courant de Baffin (BIC), estimé à 2,3 Sv en tenant compte d'une recirculation du WGC de 0,5 Sv. Afin de compléter les transports recensés par Rail (2005), une recherche pour les années de 2005 à 2014, soit pour une partie de la période couverte, a été effectuée afin de compléter les valeurs disponibles des transports dans les régions entourant la section choisie: détroit de Smith, Nares, Jones, baie de Baffin. Des références sont également jointes pour le détroit de Lancaster et le détroit de Davis afin d'illustrer les échanges au sud de la section. Cette rétrospective des différents transports est présentée dans le tableau 2.2. Comme tous les transports de ces régions sont des exports en provenance de l'arctique, ils sont positifs dans le tableau.

Tableau 2.2 – Tableau récapitulatif des transports volumiques, d'eau douce et de chaleur calculés et présentés dans différentes études autour de la région étudiée. ND signifie que l'information est non-disponible.

Région	Étude	T_{vol} (Sv)	T_{fresh} (mSv)	T_{chal} ($10^{12}W$)
Détroit Nares Détroit Jones	Grivault et al. (2017)	0,4±0,05 0,1 - 0,3	3,8 - 13,2 4,0 - 10,7	0,7 - 3,0 0,4 - 1,1
CAA	Nummelin et al. (2016)	-2,00±0,02	ND	7,75±0,07
Détroit Nares	Münchow (2016)	(2003-2006) 0,71±0,06 (2007-2009) 1,03±0,07	32±2,5 54±3,9	ND ND
Détroit Nares Détroit Smith	Shroyer et al. (2015)	0,7 0,3 à 0,1	25-30 ND	ND ND
Détroit Jones CAA	Michel et al. (2015)	ND ND	15 81	ND ND
CAA	Rudels (2015)	1-2 Sv	ND	ND
Détroit Nares	Rabe et al. (2012)	0,47±0,05	28	ND
Détroit Nares	McGeehan et Malowski (2012)	0,77±0,17	10,38±1,67	ND
Détroit Nares	Rasmussen et al.(2011)	0,8	27	ND
Baie Baffin	Curry et Lee (2011)	0,6	5	ND
Détroit Nares Détroit Jones	Aksenov et al.(2010)	-0,58±0,14 0,16±0,03	-20,0±6 9,0±2	2,0±1 -1,0±1
Détroit Lancaster	Prinsenberget al. (2009)	0,4 à 1,0	48±15	ND
Detroit Nares	Münchow et Melling (2008)	0,57	ND	ND
Détroit Jones Détroit Nares	Melling et al. (2008)	0,3 0,8	ND 25	ND ND
CAA	White et al. (2007)	0,7 à 2,8	29-110	ND
Détroit Nares Détroit Smith	Münchow et al. (2007)	0,77 1,03	25,8 34,5	ND ND
Détroit Nares Détroit Nares	Münchow et al.(2006)	0,9 0,8±0,3	ND 25±12	ND ND
Détroit Davis	Cuny et al. (2005)	2,6±1	92±34	-18±17

2.5 Tendances

Comme la littérature présente plusieurs tendances sur la température et la salinité, celles-ci ont été regroupées sous forme de tableau pour en faciliter la synthèse. Les régions visées par la recherche des tendances se situent autour de la baie de Baffin, c'est-à-dire les régions du détroit de Smith,

du détroit de Nares, de la polynie des Eaux du Nord, des marges et des talus continentaux de l'île de Baffin, d'Ellesmere et du Groenland. Les tendances sur la température et la salinité identifiées pour ces régions sont listées aux tableaux 2.3 à 2.6.

Au niveau de la baie de Baffin, le réchauffement est plus prononcé au-dessus du bassin profond, là où les profondeurs atteignent 2400 mètres. Le réchauffement s'étend même de 200 à 2400 mètres et est même visible jusqu'au détroit de Davis. La couche intermédiaire, de 200 à 1200 mètres, se réchauffe également d'environ $0,11^{\circ}\text{C}/\text{décennie}$. Les eaux de l'ouest du Groenland ne sont pas épargnées, c'est dans la couche 600-1000 mètres que le réchauffement le plus prononcé a été identifié. Il y a également une légère augmentation de la salinité dans cette couche, ce qui signifie que les eaux du talus continental de l'ouest du Groenland, près des 900 mètres, sont devenues plus chaudes et plus salées de 1928 à 2003 (Zweng et Münchow, 2006). Aux hautes latitudes, comme celle de la section choisie, les fluctuations des températures contribuent peu aux fluctuations de densité et à la stratification verticale. Par contraste, les changements spatiaux et temporels de salinité sont toujours synonymes de changements de densité et ont potentiellement un impact sur la dynamique. Dans leurs analyses, Zweng et Münchow (2006) ont trouvé une tendance à la désalinisation sous la surface au nord du $77^{\text{ième}}$ parallèle nord, au niveau du détroit de Smith, dans la couche 400-600 mètres, de 1928 à 2003. Qui plus est, dans ce détroit, une tendance à la désalinisation a été précédemment identifiée par Zweng (2004) de 300 à 700 mètres. Cela semble indiquer un certain changement dans l'exportation d'eau Arctique à travers le détroit de Nares. Dans la baie de Baffin, une tendance significative à la désalinisation existe aussi, au-dessus du talus et du plateau continental, dans la couche 50-200 mètres, avec la plus forte tendance localisée sur la côte de l'île de Baffin. D'ailleurs, un lien semble s'établir entre le réchauffement de certaines régions et une augmentation de l'apport d'eau Atlantique par le WGC (Zweng et Münchow, 2006). Le courant de Baffin semble également touché puisqu'entre 1976 et 1985, une désalinisation a pu y être identifiée (Grivault et al. 2017).

Concernant les tendances sur les concentrations en nutriments, il y a très peu d'études s'étant attardées à ces données. Parmi celles identifiées clairement se trouvent les variations dans les concentrations en nitrate présentées par Lavoie et al. (2013) pour la période 1960-2005, dans les couches 100-400 mètres ($0,034 \text{ mmol m}^{-3} \text{ an}^{-1}$) et en surface ($-0,11 \text{ m}^{-3} \text{ an}^{-1}$). Bergeron et Tremblay (2014) ont quant à eux rapporté une diminution de 65% de la consommation des nitrates dans la baie de Baffin, avec une diminution de $26,3 \text{ mmol m}^{-2}$ par an. Les blooms phytoplanctoniques semblent arriver plus tôt que dans le passé et les conditions favorables à l'*upwelling* et au mélange sous la

glace ou dans les étendues d'eaux libres semblent plus fréquentes dans les CAA (Michel et al. 2015). Il semble également que l'accélération du cycle hydrique et une plus grande fonte en été soit la cause de l'augmentation globale de la stratification des couches supérieures aux hautes latitudes. La conséquence biologique majeure est une limitation du transport en nutriments à la zone euphotique, ce qui a le potentiel de réduire la production primaire dans ce système déjà limité en nitrate (Carmack et McLaughlin 2011). D'ailleurs, Bélanger et al. (2013) ont rapporté une chute dramatique de la productivité biologique de quelques unes des régions les plus productives de l'Arctique, comme la polynie, au cours de la dernière décennie.

En ce qui concerne la circulation dans la région, un changement dans l'équilibre barocline de la baie de Baffin a été constaté. La force de la gyre en a été réduite, ainsi que les transports à travers la baie. L'apport nordique décroît aussi, tout comme l'export au niveau du détroit de Davis. Dans l'ensemble, le gradient barocline décroît entre les CAA et l'Atlantique Nord, tout comme le transport général entre eux (Grivault et al. 2017). De plus, avec une glace plus mince, le pont de glace deviendrait moins stable, l'échange de glace entre le détroit de Nares et la mer de Lincoln augmenterait, du moins tant qu'il y aura de la glace dans le nord du Groenland (Rasmussen et al. 2011). Qui plus est, il y a eu un énorme renversement dans les valeurs de l'index de la NAO dans les années précédant 1995, avec de très fortes valeurs positives, ce qui implique des bouleversements sur la circulation générale (Hurrell, 1995).

Les transports, quant à eux, ont été analysés dans plusieurs études, dû à leur importance sur la circulation océanique. Certains grands changements ont d'ailleurs été identifiés. Par exemple, basée sur une reconstruction annuelle des échanges d'eau douce dans la région sub-polaire de l'Atlantique Nord, Yang et al. (2016) ont déterminé que les transports d'eau douce avaient augmenté de 20 mSv dans les 2 dernières décennies. Le transport d'eau douce dans le détroit de Nares aurait également augmenté de 27 mSv (1961-1990) et augmenterait à 73 mSv pour la période 2051-2080. Cette augmentation serait majoritairement causée par une désalinisation de surface (Rasmussen et al. 2011). Une autre étude a d'ailleurs montré que l'augmentation de la décharge d'eau douce du Groenland dans la baie de Baffin réduit le transport à travers les CAA (différences de niveaux d'eau) et désalinise les eaux de surface, dans un laps de temps de seulement 5 ans (de la Guardia et al. 2015). La désalinisation stabilise quant à elle la colonne d'eau près de la surface, ce qui réduit le mélange vertical et la perte de chaleur par les couches sous la surface. Des simulations ont montré que le transport annuel moyen à travers les CAA dans la baie de Baffin était réduit de 0,2 à 0,6 Sv,

dépendant des paramètres appliqués. Résultat du changement de circulation et de la stratification, le contenu en chaleur de la marge nord-ouest du Groenland augmente progressivement avec le ruissellement, le tout ayant un impact sur les échanges de chaleur (De la Guardia et al. 2015). Un changement sur l'ampleur de la stratification a d'ailleurs été observé, même en tenant compte de la variabilité saisonnière et d'une dynamique de glace altérée (Blais et al. 2017).

Tableau 2.3 – Tableau récapitulatif des tendances sur la température présentées dans la littérature autour de la section étudiée. ND signifie que l'information est non-disponible.

Étude	Couche (m)	Région	Période	Tendance	Incertitude
Zweng et Munchow (2006)	50-200	détroit Smith	1928-2003	0,04°C/10 ans	0,03
	50-200	bassin Baffin	1940-2003	-0,03°C/10 ans	0,2
	50-200	talus Groendland	1928-2003	-0,03°C/10 ans	0,14
	50-200	marge Groendland	1916-1999	-0,00°C/10 ans	0,07
	50-200	talus Baffin	1940-2003	0,02°C/10 ans	0,04
	50-200	marge Baffin	1924-2003	-0,00°C/10 ans	0,07
	400-600	détroit Smith	1928-2003	0,01°C/10 ans	0,03
Myers et al.(2007)	ND	mer du Labrador (IW)	1984-2005	0,03°C/an	ND
Munchow et al. (2011)	228-366	détroit Nares	2003-2009	0,023°C/an	95%
Hamilton et Wu (2013)	50-200	marge Baffin	1950-2003	-0,06°C/10 ans	ND
	0-50	bassin Baffin	1960-2005	-0,16°C/10 ans	94%
	600-800	bassin Baffin	1960-2005	0,13°C/10 ans	ND
Lambert et Lavoie (2013)	Surface	baie de Baffin	1960-2005	0,09°C/10 ans	0,05
Steiner et al. (2015)	0-50	centre baie de Baffin	1952-2005	-0,16°C/10 ans	94%
	50-200	marge Baffin	1950-2005	0,05°C/10 ans	92%
	400-600	détroit Davis	ND	0,10°C/10 ans	0,09%
	600-800	centre Baffin	1950-2005	0,13°C/10 ans	ND
Grivault et al. (2017)	ND	baie de Baffin	1970-2007	0,79°C	0,18
	ND	baie de Baffin	1995-2007	-0,24°C	0,15

Tableau 2.4 – Tableau récapitulatif des tendances sur la salinité présentées dans la littérature autour de la section choisie. ND signifie que l'information est non-disponible.

Étude	Couche (m)	Région	Période	Tendance	Incertitude
Zweng et Munchow (2006)	50-200	détroit Smith	1928-2003	-0,034/10 ans	0,033
	50-200	bassin Baffin	1940-2003	0,009/10 ans	0,033
	50-200	talus Groendland	1928-2003	-0,048/10 ans	0,027
	50-200	marge Groendland	1916-1999	-0,041/10 ans	0,016
	50-200	talus Baffin	1940-2003	-0,066/10 ans	0,053
	50-200	marge Baffin	1924-2003	-0,086/10 ans	0,039
	400-600	détroit Smith	1928-2003	-0,032/10 ans	0,021
Myers et al.(2007)	ND	mer du Labrador (IW)	1984-2005	0,004/an	ND
Rabe et al.(2012)	Section	détroit Nares	2003-2006	0,054	0,009
Hamilton et Wu (2013)	50-200	marge Baffin	1978-2001	-0,15/10 ans	88%
Lambert et Lavoie (2013)	Surface	baie de Baffin	1960-2005	-0,07/10 ans	0,03
Bergeron et Tremblay (2014)	Section référence	baie de Baffin	1997-2011	-0,22/an	ND
Steiner et al. (2015)	50-20	marge Baffin	1976-2002	-0,15/10 ans	88%
Grivault et al. (2017)	ND	baie de Baffin	1970-2007	-0,125/10 ans	ND

Tableau 2.5 – Tableau récapitulatif des tendances sur la température en fonction des différentes masses d'eau visibles dans la baie de Baffin présenté par Grivault et al. (2017). Le détail des acronymes est présenté à l'Annexe A.

Masse d'eau	Période	Tendance	Incertitude
AW	1970-1995	0,63°C	0,04
WGIW	1970-1995	0,37°C	0,06
WGIW	1995-2007	0,48°C	0,07
TrW	1970-1995	1,27 °C	0,07
WGSW	1970-1995	0,51°C	0,14
WGSW	1995-2007	0,30°C	0,12

Tableau 2.6 – Tableau récapitulatif des tendances sur la salinité en fonction des différentes masses d'eau visibles dans la baie de Baffin présenté par Grivault et al. (2017). Le détail des acronymes est présenté à l'Annexe A.

Masse d'eau	Période	Tendance	Incertitude
WGIW	1970-1995	-0,39	0,07
TrW	1970-1995	-0,10	0,02
WGSW	1970-1995	-0,12	0,39

Chapitre 3

Méthodologie

3.1 Sources des données

Dans le cadre de cette étude, une base de données permettant de décrire l'environnement physico-chimique dans le nord de la baie de Baffin a été construite. Elle comprend des données de température, de salinité, d'oxygène dissous, d'alcalinité totale et des différents nutriments (nitrite, nitrate, phosphate, silicate), pour la période 1950 - 2014. Celles-ci ont été collectées à partir de plusieurs sources. Les données précédant 1997 ont été rassemblées à partir de base de données internationales: BIO, NODC , ARC NUT (Cota et al., 2007), ICES, PANGEA, ainsi que le NSF Arctic Data Center. Le détail des acronymes des bases de données sont présentés dans l'annexe A. Des données ont également été fournies par Pêches et Océans Canada et via certains rapports dont ceux de Palfrey et Day (1968), Moynihan et Muench (1971) et Muench (1972). Les données post-1997 ont quant à elles été recueillies dans le cadre de deux projet d'envergure dans l'Arctique canadien, le projet NOW et les campagnes ArcticNet (2005 - 2014). Aucune donnée pré - 1950 n'a été retenue, celles-ci étant historiquement trop éparses. Les profils précédant 1970 proviennent tous de bouteilles ou de bathythermographes, les sondes de mesure de conductivité, température et profondeur (CTD) n'étaient pas encore en action. Les profils CTD ont été priorités lorsque disponibles.

3.2 Distribution des données

La section de référence choisie pour cette étude se situe dans le nord de la baie de Baffin, au niveau du 76,5^{ième} parallèle nord (fig. 3.1). Celle-ci a été choisie pour plusieurs raisons. Elle figure parmi les années les mieux échantillonnées, surtout du côté de la côte du Groenland. C'est également une section ayant été visitée de manière récurrente depuis 1998. Pour ces raisons, elle a été jugée représentative des conditions physiques et biologiques de cette région et, par conséquent, elle a servi de guide pour la sélection des autres sections. Les données ont ainsi été choisies afin de couvrir une région la plus limitée possible autour de la section tout en gardant le plus grand nombre de profils. Ce faisant, la distribution des profils couvre une région de 75,70 à 76,74° nord et de 69,98 à 78,12° ouest, s'étendant du sud du Déroit de Smith au sud de la polynie des Eaux du Nord (fig. 3.2).

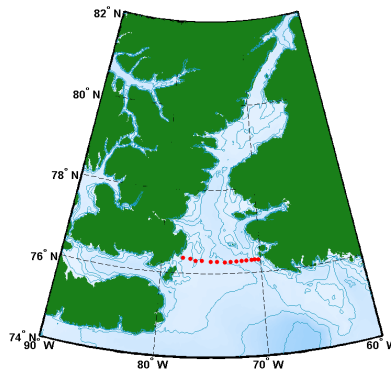


Figure 3.1 – Position de la section référence (1999).

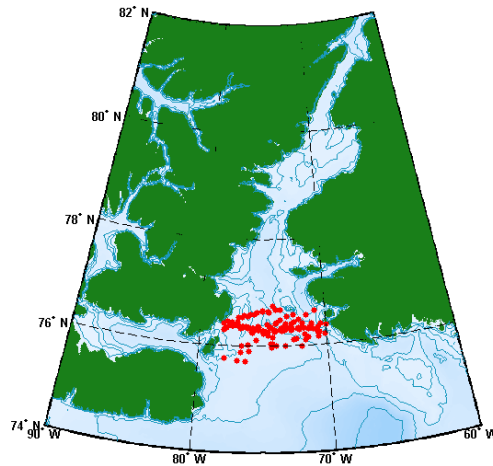


Figure 3.2 – Localisation de tous les profils utilisés pour l'étude autour de la section choisie.

La section à l'étude n'ayant pas été systématiquement visitée avant 1998, la quantité de données historiques varient donc en fonction de la décennie. La majorité des données se concentrent dans les années 1960, 1970 et 2000 (fig. 3.3). Quelques ensembles éparpillés parmi les autres décennies ont permis de relier temporellement l'ensemble des données. Il y a un certain manque de données pour la décennie 1980-1990. Il y avait des jeux de données pour ces années, mais ils n'ont majoritairement pas survécus au processus complet de sélection (sauf 1986) défini plus précisément à la section 3.3. La période d'échantillonnage est également variable, dû à l'important couvert de glace près des côtes. Elle se situe majoritairement en été ou en automne (fig. 3.4). Comme le mentionne Zweng et Münchow (2006), la période d'échantillonnage a un impact sur l'interprétation des résultats. Dans le but de minimiser le biais du mois d'échantillonnage, les profils ont été comptabilisés en terme de saison plutôt que par mois.

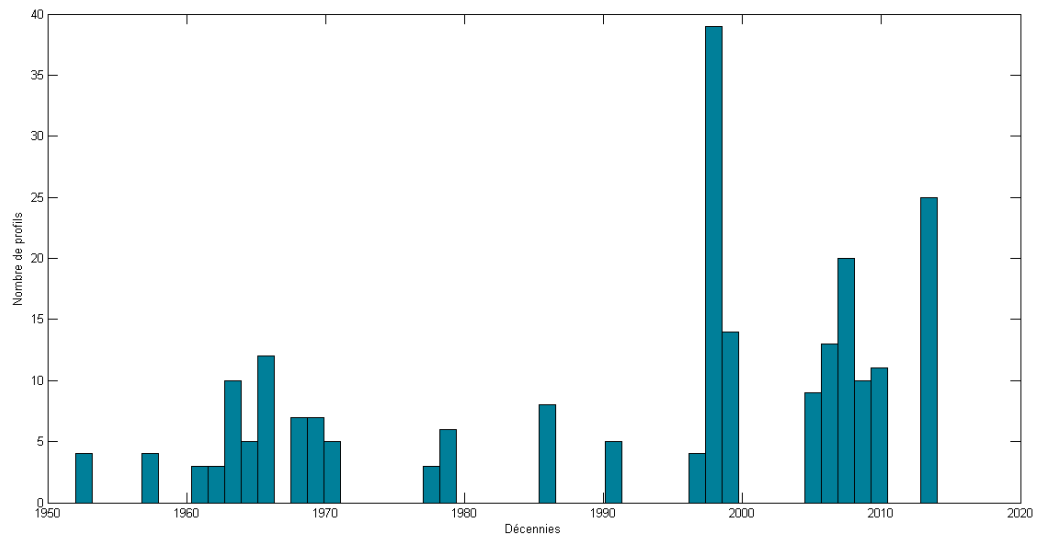


Figure 3.3 – Distribution du nombre de profils en fonction des décennies couvertes par l'étude.

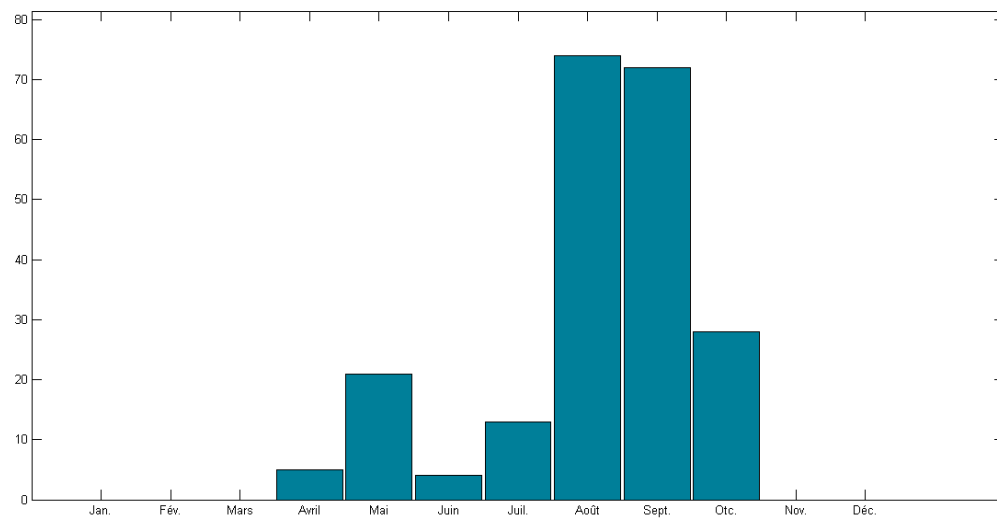


Figure 3.4 – Distribution du nombre de profils en fonction des mois de l'année.

3.3 Traitement des données

3.3.1 Bathymétrie

Certains jeux de données historiques n'avaient pas d'informations sur la profondeur des stations. Celle-ci est nécessaire pour ajuster les valeurs des grilles de données interpolées afin de les rendre réalistes, ainsi que pour le tracé des contours. Pour les jeux de données concernés, la bathymétrie a donc été acquise à partir des données bathymétriques d'Etopo1 disponibles sur le site de la NOAA et utilisée selon la méthode de Snyder (1993). La précision d'Etopo1 est nettement meilleure que celle d'Etopo2 (1 minute d'arc versus 2 minutes, respectivement) mais induit tout de même une petite différence par rapport à une bathymétrie directement mesurée. Afin d'essayer de quantifier cette marge d'erreur et de s'assurer de pouvoir utiliser Etopo1, les profondeurs acquises ont été comparées à celles directement mesurées et ce, pour quelques années, choisies au hasard parmi celles les mieux échantillonnées. Ainsi, en moyenne, le pourcentage d'écart entre la profondeur réelle et celle acquise via Etopo1 ou Etopo2 est d'environ 4%. De plus, l'erreur quadratique moyenne (RMSE) des profondeurs acquise avec Etopo1 (25) est également meilleure que celle acquise avec Etopo2 (33). Sachant cela, l'utilisation d'Etopo1 a été jugée préférable.

3.3.2 Profils de température et de salinité

Le traitement a débuté par la sélection des profils le long de la section couverte. Celle-ci a été influencée par différents facteurs. Parmi ceux-ci, le nombre de profils pour une année donnée. Les données historiques ayant majoritairement peu de résolution, un compromis sur le nombre minimal de profil pour une année a dû être fait. Ce nombre a été fixé à 3 profils par année puisque qu'avec une valeur inférieure, aucune interpolation ou aucun calcul n'aurait été acceptable, les jeux de données ne respectant pas cette condition ont été écartés. Cette condition a permis de garder plus d'années. Le facteur le plus discriminant est cependant la localisation des profils. Dans plusieurs cas, certaines années prometteuses ont dû être laissées de côté parce que les profils étaient beaucoup trop bas ou trop haut en latitude par rapport à la section de référence choisie. L'inclinaison des sections a aussi été prise en compte, puisque les calculs effectués nécessitent une section la plus droite possible. Parmi les années préalablement retenues, une deuxième sélection, plus minutieuse, a été appliquée. En effet, une distance minimale (au moins 5 km) doit être respectée entre les profils pour que

l'interpolation horizontale soit valide, tout en assurant une couverture optimale de la section. Pour certaines stations, l'échantillonnage n'est pas unique et les différents profils ne sont espacés que de quelques kilomètres parce que le bateau a dérivé entre les mesures. Un choix doit donc être fait sur les profils sélectionnés et c'est ce qui explique en partie le petit nombre de profils finaux sélectionnés pour certaines années. Finalement, la profondeur des profils a également été examinée, les profils les plus profonds ayant été priorisés lors de la sélection (tout particulièrement ceux s'étendant jusqu'à 600 mètres ou plus).

L'étude ne comprend pas de test de validation propre des données. Comme les données ont toutes été amassées à partir de base de données internationales connues et mises à jour régulièrement, il a été assumé que les tests de validité des bases de données étaient suffisants. Ce choix a également été motivé afin de transformer le moins possible les données originales. L'ensemble des profils ont ensuite été tracés afin de valider les valeurs. Comme les salinités varient de 28,79 à 34,56 et les températures de -1,82 à 5,27 °C pour l'ensemble des données, aucun profil n'a dû être écartés en raison de valeurs non représentatives de la région. Cependant, cet examen du comportement des profils a mis à jour certains problèmes verticaux dans les profils. Tout d'abord, certains profils n'avaient pas de données en surface. Pour uniformiser le processus d'acquisition et éviter un manque de données en surface, tous les profils ont été importés à partir de 10 mètres. Ils ont également été coupés à 600 mètres, cette profondeur étant pratiquement la plus grande disponible avec des valeurs dans les profils historiques. Pour des raisons inconnues, il y avait, dans certains profils, majoritairement historiques, certains "trous" dans les données verticales. Afin de combler les espaces manquants, une régression polynômiale a été appliquée à tous les profils verticaux avec un intervalle fixe de 10 mètres et ce, à partir de la surface. Les profils ayant été importés à partir de 10 mètres, cela a également permis d'éviter l'extrapolation des profils en surface. Cela permet également d'éviter la propagation (en Matlab) de ces "trous" lors de l'interpolation horizontale subséquente. Les profils corrigés ont ensuite été comparés aux profils initiaux afin d'en valider le comportement et les valeurs. Les profils corrigés conservent bien l'intégrité des profils initiaux.

Une fois les profils validés verticalement, le problème de leur répartition horizontale le long de la section s'est posé. Certaines années fournissent une couverture complète de la section, autant du côté de l'île d'Ellesmere que du côté du Groenland. Ce n'est malheureusement pas le cas pour toutes les années, notamment parce que la couverture de glace varie d'une année à l'autre lors de l'échantillonnage. Dans certains cas, l'espacement entre 2 profils était trop important pour effectuer

des calculs sur les données brutes tout en les considérant valides. Pour palier le mieux possible et équilibrer les différences annuelles, une distribution horizontale uniforme aux 10 kilomètres a été créée en interpolant les profils verticaux corrigés de température et de salinité via des polynômes d’Hermite cubiques (option ‘pchip’ sous Matlab[®]) et ce, pour chaque jeu de données. La valeur de 10 kilomètres a été choisie afin de pouvoir comparer les données les mieux échantillonnées avec les années historiques, qui ont pour certaines une piètre résolution, tout en assurant un point de comparaison le plus uniforme possible. Cela permet également de minimiser les «trous» le long de pente dans les contours, c’est-à-dire les espaces blancs dans les figures 3.5 et 3.6 et, par la suite, dans le calcul des courants. Un maillage plus fin aurait été applicable aux données plus récentes (années 2000 et plus), mais ce n’était pas le cas pour les données historiques. Les grilles de données résultantes sont représentatives tout en étant mieux réparties. Les calculs ont ensuite été effectués à partir de ces grilles uniformes. Les contours résultants de température et de salinité des sections retenues ont été tracés et sont présentés à l’annexe B. À titre d’exemple, les figures 3.5 et 3.6 présentent les contours de température et de salinité de la section de référence (1999). Celle-ci a été spécifiquement choisie parce qu’elle est très bien échantillonnée de chaque côté des côtes et comparable entre les années puisque c’est celle qui est la plus visitée interannuellement. On y remarque de l’eau plus chaude et plus salée du côté du Goendland (noyau du WGC) et de l’eau froide et moins salée du côté de l’île d’Ellesmere, en provenance de l’Arctique. Ce sont des structures typiques de la région. La position et le numéro des stations initiales sont visibles en noir dans le haut de tous les contours de température et de salinité afin d’illustrer la distribution des stations le long de la section. Les années ayant été sauvegardées pour la suite des calculs sont listées par décennie dans le tableau 3.1. Sur les 43 années disposant de données dans la région, seules 24 ont passées le processus de sélection.

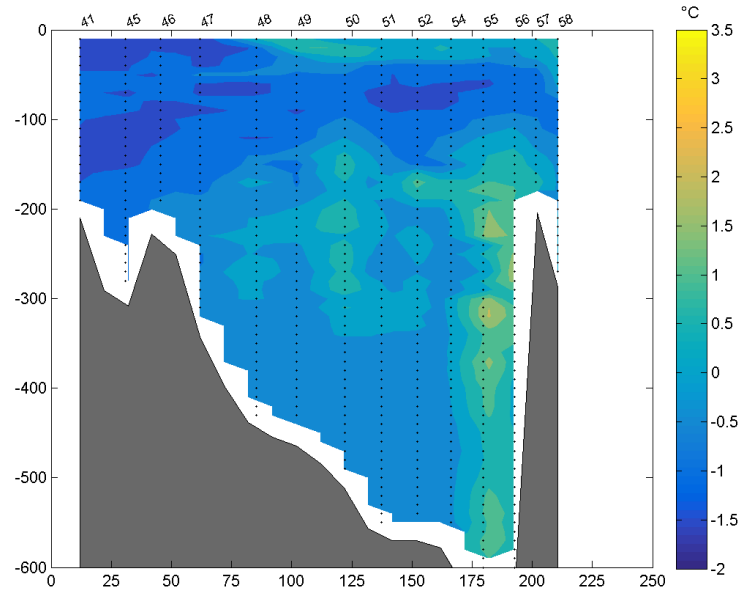


Figure 3.5 – Contours de température de l'année 1999, choisie comme section de référence, avec interpolation horizontale aux 10 km et position des profils initiaux. L'axe horizontal est en kilomètre avec à droite, la côte du Groenland et à gauche, celle d'Ellesmere. L'axe vertical est la profondeur de la colonne d'eau, en mètre.

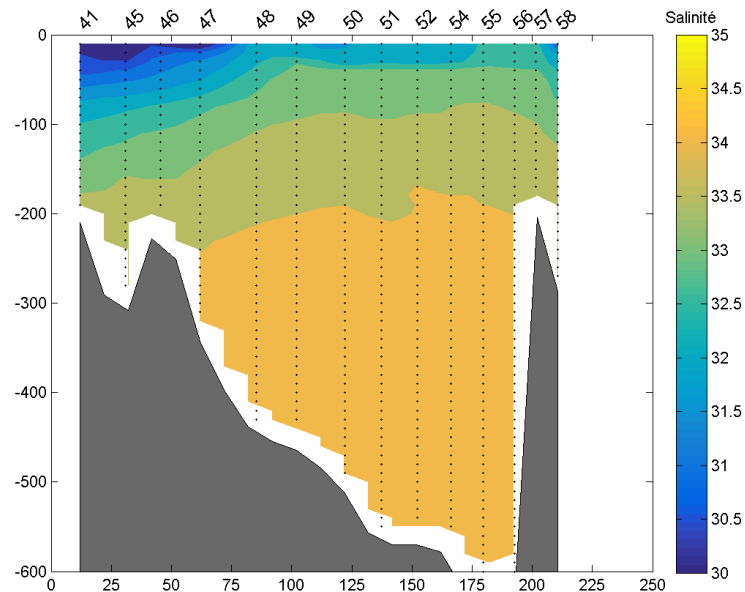


Figure 3.6 – Contours de salinité de l'année 1999, choisie comme section de référence, avec interpolation horizontale aux 10 km et position des profils initiaux. L'axe horizontal est en kilomètre avec à droite, la côte du Groenland et à gauche, celle d'Ellesmere. L'axe vertical est la profondeur de la colonne d'eau, en mètre.

Tableau 3.1 – Campagnes océanographiques ayant des jeux de données sélectionnés pour les calculs. Les années avec * ont des valeurs d'éléments nutritifs.

Décennie	Années
1950 - 1960	1952, 1957
1960 - 1970	1961, 1962, 1963*, 1964, 1966, 1968*, 1969
1970 - 1980	1970, 1978*, 1979
1980 - 1990	1986
1990 - 2000	1997*, 1998, 1999*
2000 - 2010	2005*, 2006*, 2007*, 2008*, 2009*, 2010*
2010 - 2020	2013*, 2014

3.3.3 Profils de nutriments

Le traitement des profils de nutriments a été un peu différent de celui de la température et de la salinité. En général, ce sont des bases de données pour lesquelles la résolution est plus faible que celle de la température et de la salinité. Ils sont donc dès le départ moins nombreux, surtout en ce qui concerne le nitrate. Leur recherche a d'ailleurs été nettement plus difficile. Les valeurs historiques sont peu nombreuses, malgré l'éventail de bases de données consultées. L'effet d'avoir une région aussi limitée a réduit les possibilités et les données de certaines croisières, pourtant répertoriée, se sont perdues. Peu de profils ont survécu à la même sélection que celle de la température ou de la salinité, notamment en ce qui touche à la profondeur des profils. Trop peu ne s'étendaient pas plus profondément que 200 mètres, ce qui n'était pas suffisant pour les calculs. De plus, certains jeux de données comportaient trop de profils à trop faible résolution verticale, cela ayant par conséquent entraîné leur rejet immédiat. La figure 3.7 illustre le nombre final de profils par mois.

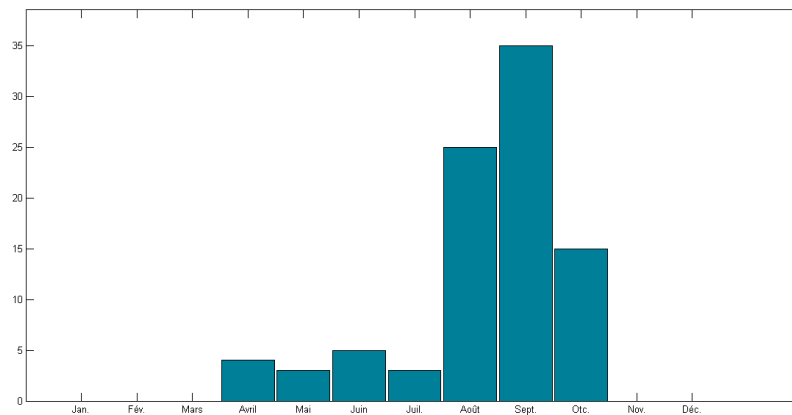


Figure 3.7 – Nombre de profils de nutriments par mois ayant été sélectionnés pour les calculs.

Finalement, les jeux de données devaient inclure les trois nutriments visés : nitrate (ou la somme nitrate et nitrite), silicate et phosphate. Cette condition a également entraîné le rejet de certaines années mais permettait d'avoir les mêmes séries temporelles à comparer dans le calcul de tendances et dans la distribution des nutriments. Finalement, il est nécessaire de mentionner que seuls les profils de bouteilles ont été sélectionnés. Le jeux de données depuis 2005 contiennent des mesures de concentration en nitrate provenant d'une sonde installée sur la rosette CTD. Les valeurs de concentration mesurées ont été examinées. Malheureusement, certaines aberrations non négligeables sont apparues, laissant supposer un problème avec le capteur. C'est ce qui a motivé l'utilisation des mesures des bouteilles plutôt que celle du CTD. Cela a de plus permis d'avoir sensiblement les mêmes profondeurs pour l'ensemble des valeurs d'éléments nutritifs puisque les valeurs historiques proviennent elles aussi de bouteilles.

Par la suite, la même régression polynomiale que pour les profils de température et de salinité a été appliquée aux profils, eux-aussi importés à partir de 10 mètres. Les profils de nutriments exhibaient également certains "trous" verticaux, qui ont été corrigés par la régression. Vu la grande variabilité des valeurs de nutriments entre 2 stations et leur faible résolution (surtout pour les données historiques), l'interpolation horizontale a été écartée après avoir été testée afin de minimiser l'apparition de structure ou de comportement seulement attribuable à la méthode d'interpolation. Les contours ont tout de même été tracés, sans interpolation horizontale, afin d'observer le comportement général des différents éléments nutritifs.

Finalement, pour certaines années, seule la valeur de la concentration en nitrate plus nitrite était disponible. Cette valeur a donc été calculée lorsque c'était possible pour les autres années. C'est la valeur utilisée dans les calculs de transports et de tendances, référencée comme la concentration de nitrate dans les calculs et les contours (sauf pour l'année 1968, pour laquelle seule la concentration en nitrate était disponible). En plus de permettre l'ajout de plus d'années pour les calculs de tendances, il se trouve que la concentration en nitrite ne représente en moyenne, dans les données, que 2.4% de la concentration totale. Ce pourcentage, calculé à partir de quelques années parmi les mieux échantillonnées, varie en fonction de la couche, allant de 11% en surface (0-50 m) à moins de 1% en profondeur (400-600 m). L'utilisation de la somme des concentrations de nitrate et de nitrite reste donc tout de même valable et est représentative de celle du nitrate, qui constituent pratiquement toute sa composition. Les années comportant des profils de nutriments sélectionnées sont indiquées par un astérisque dans le tableau synthèse des années sauvegardées pour les calculs (3.1).

Calcul du N^*

Plusieurs traceurs peuvent être utilisés afin d’obtenir de l’information sur le comportement des nutriments lorsque des réactions chimiques sont à l’œuvre dans une région (comme lorsqu’il y a du phytoplancton). Le N^* est un des traceurs qui est utilisé afin de tenir compte des réactions de dénitrification ($2NO_3 + 10e^- + 12H^+ \rightarrow N_2 + 6H_2O$). En effet, celui-ci permet de tracer un des réactants, le nitrate. Dans la plupart des océans il est également possible d’identifier de fortes relations entre le nitrate et le phosphate, celle-ci s’approchant d’un rapport de Redfield (Redfield 1963) de 16 pour 1. Le N^* mesure en fait la déviation relative par rapport à ce ratio, ce qui permet de déterminer s’il y a un déficit ou un surplus relatif de nitrate (Reeve, 2014). Sa valeur a été déterminée via la formulation suivante, communément utilisée depuis quelques années dans la littérature (Deutsch et Weber, 2012):

$$N^* = [NO_3] - 16[PO_4] \quad (3.1)$$

avec NO_3 , la concentration en nitrate et PO_4 , la concentration en phosphate. D’autres formulations peuvent être utilisées, notamment lorsqu’il est nécessaire de considérer que plus d’espèces fixent l’azote dans la colonne d’eau. Dans la cas de cette étude, il a été considéré que les masses d’eau étaient oxygénées et que la réaction de nitrification convertissait l’ensemble du nitrogène fixé d’origine non-organique en nitrate. C’est un traceur facile à calculer si les concentrations en nutriments sont connues et qui est souvent utilisé afin de tracer les masses d’eau dans l’Arctique, dû à la grande différence entre les valeurs de N^* des eaux Pacifiques ou Atlantiques. Cependant, de fait de sa définition même, ce traceur reste tout de même sensible aux variations du ratio N:P attribuables à l’utilisation de ces nutriments par le phytoplancton (Reeve, 2014). En particulier, Mei et al. (2003) ont montré que ce rapport pouvait également varier dans le nord de la baie de Baffin i.e. dans la région d’étude, mais qu’il se stabilisait à mesure que l’été avançait. Afin d’avoir tout de même un outil qui serait moins directement influencé par la communauté biologique que le phosphate (PO_4) ou le nitrate (NO_3) seuls, la valeur du N^* a été calculée lorsque c’était possible. La concentration en nitrate a été remplacée par celle du nitrate plus nitrite, pour les raisons que celles mentionnées précédemment.

3.3.4 Température potentielle versus température *in situ*

La base de données construite contient les températures *in situ* mesurées lors des campagnes. Comme l'étude ne porte pas sur de grandes profondeurs (pas plus de 600 mètres), comme ce serait le cas dans le centre de la baie de Baffin par exemple, l'utilisation de la température potentielle n'a pas été jugée nécessaire. Malgré le fait qu'il y a toujours une différence entre les mesures *in situ* et potentielles, la différence, de la surface jusqu'à une profondeur de 5000 mètres, n'est que d'environ 0,5°C. Qui plus est, pour des profondeurs d'environ 100 mètres et des température autour de 5°C, la différence atteint presque la limite de résolution instrumentale de 0,01°C de la plupart des thermistance historiquement utilisés (Emery et Thomson, 2001). Malgré tout, une vérification a tout de même été effectuée sur les profils pour s'assurer que la différence était minime. Ainsi, il a été constaté qu'à 600 mètres, la différence était d'environ 0,03°C, ce qui n'est pas un écart assez important pour fausser ou empêcher la comparaison des résultats.

3.3.5 Échelle de salinité

Au fil du temps, les méthodes de calcul et les définitions de la salinité ont changé. C'est au début des années 1950 que la détermination de la salinité a été basée sur la conductivité électrique de l'eau de mer, en remplaçant notamment la titration. Ce changement a permis le développement et l'utilisation des CTD. Comme l'étude couvre la période 1950 - 2014, l'évolution des techniques de mesures de la salinité a nécessairement un effet sur les données, notamment sur la précision, puisque la précision des titrations est généralement évaluée à $\pm 0,01$ versus $\pm 0,005$ pour les anciens CTD (Birch et al. 1983) et plus d'environ $\pm 0,002$ pour les CTD plus modernes. Dans le cadre de cette étude et de l'utilisation des données de salinité, ces différences de calcul et de précision n'ont pas été considérées comme un facteur d'erreur majeur. D'ailleurs, il a été démontré que ces différences n'étaient pas significatives dans le cadre d'une étude à grande échelle, encourageant des différence de moins de 0,1 entre les différentes méthodes de calcul de la salinité (Millero et al. (2008), Mantyla (1987)). Comme la salinité n'a pas d'unité, pour la suite de l'étude, celle-ci n'est pas suivi d'unité. Le détail des incertitudes historiques et modernes sur les mesures utilisées dans cette étude sont présentées dans le tableau 3 de l'Annexe A.

3.4 Estimation des courants

Malgré l'intérêt marqué des scientifiques pour l'Arctique canadien, peu de mouillages ont été placés de manière systématique dans la région sur une période de temps prolongée. Par conséquent, la détermination des courants ne pouvait pas s'effectuer, pour une étude comme celle-ci, avec seulement des valeurs de courants provenant de mouillages, surtout que si celles-ci ne correspondent pas au moment exact de l'échantillonnage des profils de température, salinité ou autres, elles sont inutilisables. Afin d'estimer des valeurs de courants de manière systématique et uniforme pour les années sélectionnées, la méthode dynamique de calcul des courants géostrophiques a été utilisée. Cette méthode s'appuie sur l'hypothèse que la force de Coriolis est égale et opposée au gradient de pression si les courants sont en équilibre géostrophique (éqns. 3.1 et 3.2) et hydrostatique (éqn. 3.3)(Stewart, 2006). Elle permet d'estimer la grandeurs des vitesses géostrophiques perpendiculairement aux stations hydrographiques, ordonnées sous forme d'une section.

$$v = \frac{1}{\rho f} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (3.2)$$

$$u = -\frac{1}{f\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \quad (3.3)$$

$$-g = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \quad (3.4)$$

avec f , la force de coriolis (s^{-1}), v et u les valeurs scalaires de vitesse ($m s^{-1}$), ρ , la densité de l'eau de mer ($kg m^{-3}$) et x , y et z , les coordonnées cartésiennes. On obtient ces équations à partir de celles du mouvement, en négligeant tous les autres termes. Des ces trois équations, on peut obtenir celle du vent thermique (Rail, 2005):

$$v_{i,j} = \frac{g}{\rho_0 f} \int_{z_0}^z \frac{\partial \rho}{\partial x} dz + C_j \quad (3.5)$$

avec f , le paramètre de Coriolis pour la région, ρ_0 , une densité de référence, z_0 une profondeur de référence et C , la constante d'intégration. Pour déterminer la valeur de la constante d'intégration,

il faut jumeler la méthode dynamique à une autre qui tient compte des équations de continuité et de conservation de la masse pour la détermination de la vitesse absolue au niveau de référence. La méthode de la section simple introduite par Killworth en 1983, celle du β -spirale de Schott et Stommel (1977) et la méthode inverse de Wunsch (1977 et 1978) tiennent compte de ce dernier aspect (Rail 2005). Dans le cadre de cette étude, les vitesses géostrophiques (V) à une profondeur p_2 par rapport à un niveau de référence p_0 , entre deux stations A et B, séparées par une distance L a été obtenue par l'équation suivante (3.6) (Pond et Pickard, 1983):

$$V_{A,B} = \frac{10}{Lf} [\Delta D_B - \Delta D_A] \quad (3.6)$$

où ΔD est défini comme (3.7):

$$\Delta D = \int_{p_1}^{p_2} \delta dp \quad (3.7)$$

avec f est la force de Coriolis (s^{-1}), p la pression (db ou 10^5 Pa) et δ , l'anomalie de volume spécifique ($m^3 kg^{-1}$) (Rail 2005). Les courants ont été calculés à partir de la grille régulière obtenue après interpolation afin d'obtenir la plus fine estimation possible. Les résultats sont donc répartis sous la forme d'un quadrillage de 10 mètres de profondeur par environ 10 kilomètres horizontalement (visible sur la figure 3.8). Comme l'estimation geostrophique est valide entre 2 stations, chaque case (10m x 10km) de ce quadrillage a donc une valeur de courant associée. Toutes les distances ont été transformées en mètres afin d'obtenir des courants en $m sec^{-1}$.

Afin d'estimer le mieux possible ces courants le long du 76^{ième} parallèle, les positions des stations ont été calculées par rapport à un point fixe sur la côte de l'île d'Ellesmere, situé à 76,43°N et -78,21°W, qui est représenté par le point 0 km (l'origine) sur les graphiques de contours. Cela permet de géographiquement localiser, en quelque sorte, les stations, de façon à mieux pouvoir les comparer par la suite. Les distances sont donc directement reliées à la côte. Afin d'illustrer également la longueur de la section par rapport à la largeur maximale possible, un point de référence sur la côte du Groenland a également été choisi. Il se situe à 76,24°N et -68,89°W et est illustré par la fin de l'axe horizontal de distance, représenté par le kilomètre 250 sur les graphiques de contours. À titre d'exemple, pour la section de référence, les contours de courants estimés montrent une distribution caractéristique de la région (figure 3.8): des courants positifs (vers le nord) du côté du Groenland et des courants négatifs (vers le sud) sont visibles du côté de l'île d'Ellesmere. Les courants estimés varient de 40 $cm s^{-1}$ à -50 $cm s^{-1}$ sur l'ensemble des sections. Les valeurs peuvent

sembler grandes, mais ces valeurs sont visibles que pour quelques années, la majorité exhibe plutôt des courants variant de 20 cm s^{-1} à -20 cm s^{-1} . Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celles présentées dans le mémoire de Rail (2005), qui avait également estimé les courants le long de la même section avec pratiquement les mêmes stations. Les résultats de l'estimation des courants entre les stations pour toutes les années sont consultables à l'annexe C. La méthode d'affichage de la valeur des courants estimés est différente de celle habituellement utilisée dans la littérature. Comme la valeur des courants est estimée entre deux stations, la valeur est représentative sur un intervalle de profondeur et de distance entre les deux stations. C'est pourquoi une tuile a été choisie comme affichage. Cela permet d'éviter notamment des changements de courants estimés progressifs obtenus par les méthodes d'interpolation continues. Sur chaque graphique de contours, les positions des stations initiales est également affichée.

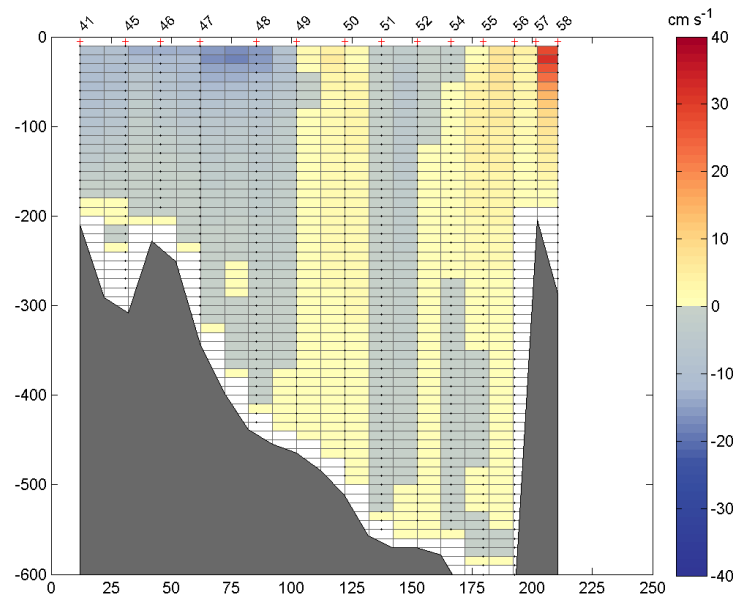


Figure 3.8 – Distribution caractéristique des courants estimés le long de la section de référence (1999) en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest et de la profondeur.

Comme toute méthode d'estimation, celle-ci n'est pas parfaite. En effet, l'utilisation des équations géostrophiques, comme mentionnée ci-haut, implique de négliger certains termes comme les variations temporelles, les termes non-linéaires, la friction, les marées et les ondes internes. Ainsi, les différences d'échantillonnage temporelles entre les stations d'une même section ne sont pas considérées. On suppose que le temps d'échantillonnage de la section est inférieur au temps de variation des vitesses. Comme les résultats sont basés sur des différences horizontales de densité, elle ne tient

pas non plus compte du transport d'Ekman, qui peut être plus ou moins important en fonction des vents pour une région donnée. Comme dans les études similaires dans la région, ce facteur a été négligé (Rail 2005).

Finalement, le facteur le plus influent sur l'estimation des courants est sans contredit le choix du niveau de référence. Lorsque des mesures directes de courants sont disponibles, il est possible de déterminer pour quelle profondeur il est valide de considérer un courant nul ou négligeable. Cette situation est assez rare. En compensation, certaines alternatives existent. Defant (1961) recommandait par exemple de choisir un niveau de référence pour lequel le cisaillement vertical des courants est le plus petit possible, souvent fixé à 2000 dbar au coeur des océans. Cependant, dans les régions peu profondes, comme les plateaux continentaux, le niveau de référence est souvent le fond marin, ce qui devient plus problématique, puisque cela suppose un fond plat et aucune friction avec celui-ci. Pour la région choisie dans le cadre de cette étude, un niveau de courant nul est peu probable et le niveau de référence choisi reste le fond marin, où les courants sont connus comme étant faibles. C'est un choix couramment utilisé pour les régions où la répartition des champs de masses est moins bien définie, comme c'est le cas pour la région de la polynie des Eaux du Nord en général. Par exemple, pour son étude, Muench (1970) avait évalué que les courants à 500 dbar étaient si petits qu'ils étaient du même ordre de grandeur que l'erreur instrumentale. Addison (1987) avait quant à lui considéré 400 dbar, puisque les calculs à 200 dbar sous-estimaient de 25% les valeurs par rapport à 400 dbar. Comme la plupart des profils historiques n'allaient pas au-delà de 600 mètres, les hauteurs dynamiques ont été calculées par rapport au points les plus profonds en estimant que la vitesse y était nulle. Il est également parfois possible d'utiliser des données de courantomètre pour calculer la vitesse des courants au niveau de référence. Toutefois, cette méthode implique une très bonne résolution dans les données de courant. Rail (2005) avait d'ailleurs essayé d'utiliser les données de courantomètres dans l'estimation des courants le long de la section de référence (1999), sans succès. Outre le manque de résolution, pour pouvoir appliquer cette méthode à l'étude, il aurait fallu jumeler tous les jeux de données avec celles de courantomètre, pour les mêmes périodes d'échantillonnage. Cela va sans dire que cette approche n'a pas été retenue parce qu'elle n'était pas vraiment possible, surtout au niveau des données historiques.

3.5 Calcul des transports

3.5.1 Chaleur et eau douce

L'estimation des différents transports a été effectuée afin, d'une part, d'en analyser les variations temporelles et, d'autre part, d'illustrer leur distribution le long de la section au cours du temps. L'estimation des transports d'eau douce et de chaleur sur une aussi grande période de temps (1950-2014) dans la région n'avait jamais été effectuée à partir de données *in situ*. Qui plus est, les transports de nutriments pour la région n'ont jamais été calculés dans le cadre d'une étude interannuelle pour la période visée, bien que celle-ci ait été étudiée pour ses particularités biologiques dû à la présence de la polynie. L'estimation des transports à travers les sections a été effectuée par une méthode classique, en estimant d'abord les différents contenus à la manière de Bignami et Hopkins (1997). Ceux-ci sont ensuite multipliés par la vitesse à travers la surface d'une case couverte par une valeur de courant. Plus précisément, le contenu en chaleur se calcule comme suit:

$$Q_c = \rho \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (3.8)$$

où Q est la quantité de chaleur (W m^{-2}), ρ est la densité de l'eau de mer (kg m^{-3}), C_p est la capacité thermique de l'eau à pression constante exprimée en Kelvins ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$) et finalement ΔT , la différence entre la température moyennée sur une case et la température de référence, choisie en fonction de la région. Dans le cas de la polynie, les valeurs présentées dans la littérature divergent. Afin d'éviter des contenus en chaleur négatifs, la valeur choisie dans cette étude est de $-1,88 \text{ }^\circ\text{C}$. C'est la valeur minimale obtenue sur l'ensemble des données. Elle est près des valeurs de la littérature et c'est également la valeur utilisée par Rail (2005) pour le calcul des mêmes transports le long de la même section. Comme la capacité thermique de l'eau varie légèrement en fonction de la température, la valeur utilisée est de $3985 \text{ (J kg}^{-1}\text{)}$ (National Physical Laboratory, 1970), soit pour des températures qui oscillent autour du point de congélation (0°C) comme c'est le cas pour les données de température utilisées. Par la suite, on multiplie le contenu en chaleur, Q_c , par la vitesse v (m s^{-1}) à travers la case, puis finalement par l'aire A de cette même case (m^2) pour obtenir le

transport de chaleur, T_c , à travers chaque petite tuile de 10 mètres de profondeur par 10 km de largeur:

$$T_c = Q_c \cdot v \cdot A \quad (3.9)$$

Il a été mentionné que les données de température et de salinité dans les calculs de transport sont celles de la grille régulière obtenue après interpolation. Ces valeurs sont toutefois positionnées à chaque extrémités des cases (sur les coins). Comme la valeur de courant utilisée est celle représentant toute la case, les valeurs de température et de salinité ont donc été moyennées afin d'obtenir également une seule valeur représentant une case, comme celles de courant. Cela étant, comme les données commençaient à 10 mètres de profondeur, après le calcul des moyennes de case, celles-ci commençaient plutôt à 15 mètres (moitié de l'intervalle fixe de 10 mètres ajouté à la tuile de surface). C'est pourquoi les tuiles de surface couvrent 15 mètres au lieu de 10 et que celles du fond finissent à 595 mètres (pas de données sous 600 mètres). L'estimation des transports nets à travers la section est finalement obtenue en sommant toutes les tuiles entre elles, de la surface jusqu'au fond.

Pour l'estimation des transports d'eau douce, le processus est le même. On calcul d'abord le contenu en eau douce, Q_f , en calculant la différence entre les valeurs de salinité moyennées pour chaque tuile par rapport à une salinité de référence choisie, toujours en fonction de la région. La valeur de 34,8 a été sélectionnée dans le cadre de cette étude. Celle-ci a d'ailleurs été utilisée dans d'autres études, pour des calculs similaires dans la même région (tableau 2, annexe A). Pour chaque case composant la section, on multiplie par leur valeur de courant estimé v et leur aire A . Les transports nets sont obtenus de la même manière que ceux de chaleur mais notés T_F :

$$T_f = Q_f \cdot v \cdot A \quad (3.10)$$

Finalement, les transports volumiques sont tout simplement obtenus en multipliant la valeur du courant estimée pour une case par son aire. Ceux-ci sont également sommés pour obtenir le transport volumique net à travers la section. Les transports, ayant été estimés sur les mêmes cases que les courants, sont présentés de la même manière, sous forme de grillage. L'ensemble des figures est consultable à l'annexe D. Les figures 3.9 à 3.11 présentent les transports volumiques, de chaleur

et d'eau douce estimés le long de la section de référence à des fins d'exemple. Sur chacune des figures, 2 régimes de transports différents d'une côte à l'autre sont visibles. Plus précisément, du côté de la côte du Groenland, il est possible de rencontrer des transports estimés de chaleur et d'eau plus salée vers le nord (positifs), tandis que du côté de l'île d'Ellesmere, les transports estimés d'eau plus froide et plus douce, vers le sud (négatifs).

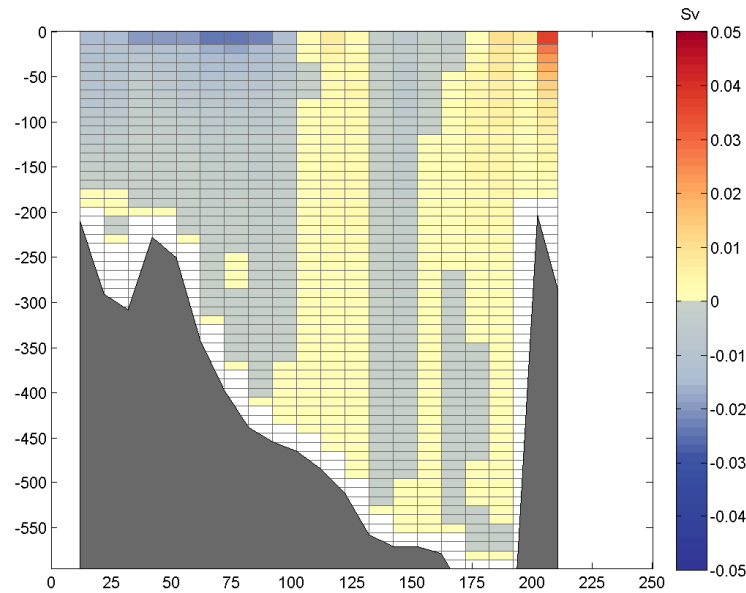


Figure 3.9 – Transports volumiques estimés le long de la section de référence (1999) en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest et de la profondeur.

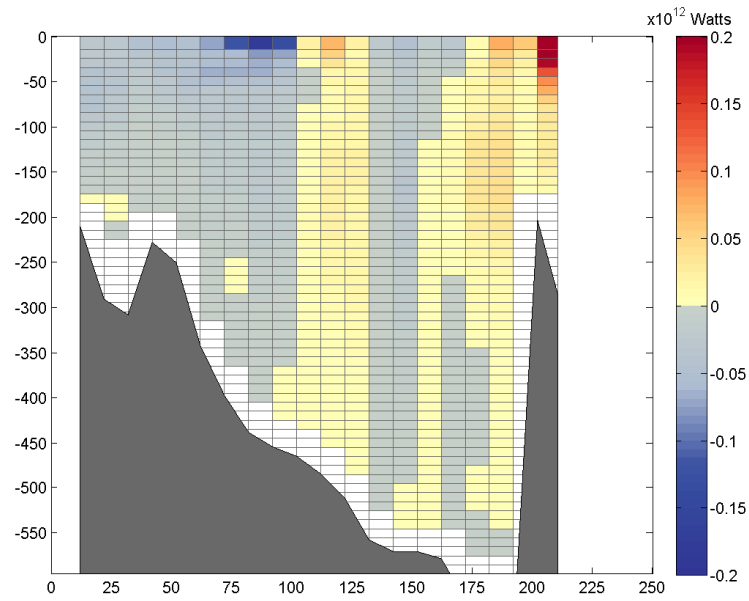


Figure 3.10 – Transports de chaleur estimés le long de la section de référence (1999) en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest et de la profondeur.

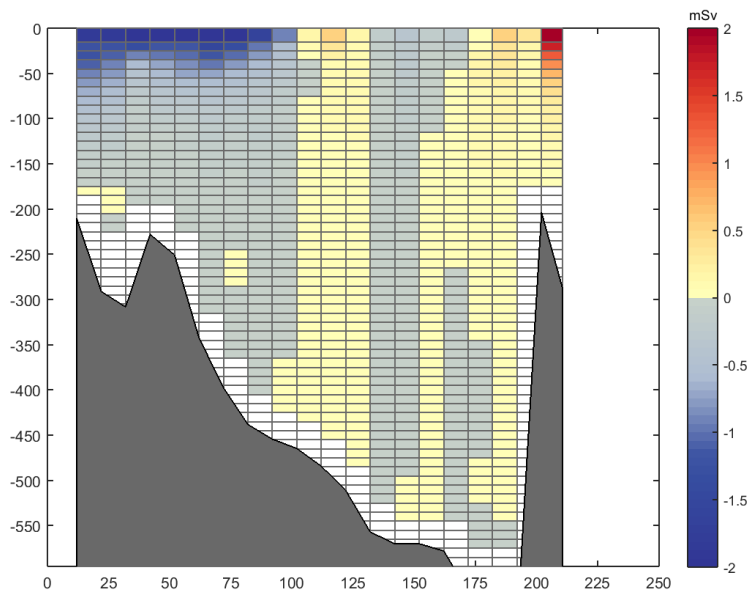


Figure 3.11 – Transports d'eau douce estimés le long de la section de référence (1999) en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest et de la profondeur.

3.5.2 Nutriments

L'estimation des transports de nutriment a été effectuée légèrement différemment. Comme mentionné précédemment, le nombre de profils de nutriments est moins élevé que celui de température ou de salinité. Ils ont tout de mêmes été moyennés, mais sur de plus grandes surfaces, puisque les valeurs n'ont pas subit d'interpolation horizontale. Ces surfaces se trouvent à être les régions coupées par les différentes couches et secteurs. Les détails de la séparation des différents secteurs et des différentes couches sont donnés à la section suivante mais, à titre d'exemple, pour la section de référence, le résultat de la moyenne des concentrations de silicate le long de la section est visible sur la figure 3.12.

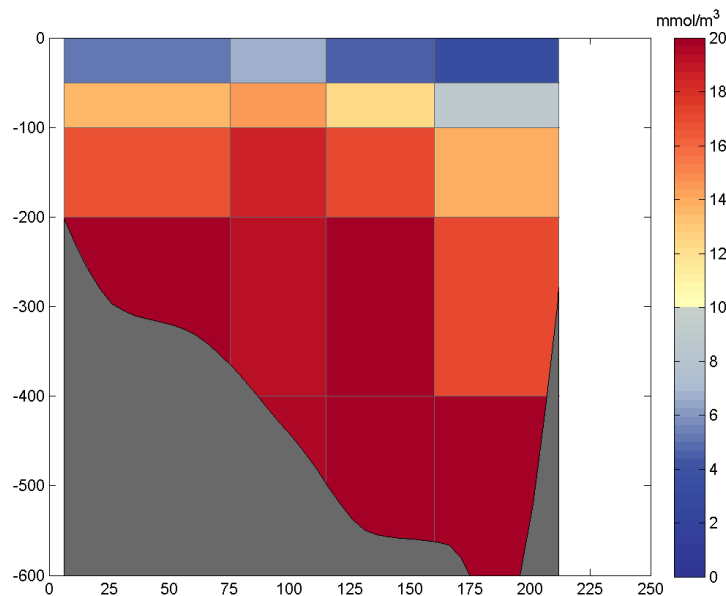


Figure 3.12 – Illustration des concentrations de silicates moyennées par secteurs pour la section de référence. Celles-ci sont subséquemment utilisées dans l'estimation des transports de silicates à travers la section.

En suivant la même logique que pour les transports d'eau douce ou de chaleur, les différentes concentrations de nutriments moyennées ont été multipliées par la vitesse et l'aire de la surface pour laquelle les données sont moyennées, comme Torrès-Valdès et al. (2013) l'ont fait pour estimer leurs transports de nutriments. Comme l'estimation des transports volumiques était possible avec des données à meilleure résolution (avec interpolation horizontale), ceux-ci ont été moyennés pour couvrir les mêmes surface que les concentrations de nutriments moyennées. La multiplication de

ces deux valeurs a permis d'obtenir une estimation des transports pour les différents nutriments (nitrate, silicate et phosphate) pour les différents secteurs de la section.

3.5.3 Erreur sur les transports

Il y a plusieurs sources d'erreur reliées à l'estimation des transports. D'une part, ils sont calculés à partir de l'estimation des courants avec la méthode géostrophique, qui est en soi une approximation. Cette source d'erreur est cependant difficile à quantifier autrement qu'en comparant avec les valeurs acceptées dans la littérature. Cependant, comme l'estimation des courants est associée au calcul de la densité, elle-même indissociable des valeurs de température et de salinité, elle aussi pourrait être influencée par l'incertitude expérimentale des mesures (tableau A.3). Afin de déterminer l'impact de celle-ci sur les valeurs de courants estimés, les calculs ont été refaits, à partir du début, en soustrayant, puis en additionnant l'incertitude instrumentale maximale rencontrée dans les mesures ($\pm 0,02^\circ\text{C}$ et $\pm 0,002$). La différence maximale observée en tenant compte de cette incertitude expérimentale n'est que de $0,06 \text{ cm s}^{-1}$ pour les courants, de $0,003 \text{ Sv}$ pour les transports volumiques, de $0,12 \text{ mSv}$ pour les transports d'eau douce et de $0,023 \times 10^{12} \text{ W}$ pour les transports de chaleur. Il va sans dire que ces valeurs ne sont pas significatives comme erreur, elles ont donc négligées.

D'autre part, les transports dépendent également des contenus en chaleur et en eau douce le long de la section, eux-même dépendants de la température et de la salinité de référence choisies. Sur ce point, certaines études ont quantifié l'impact d'une différence sur la valeur de référence, comme par exemple Kliem et Greenberg (2003), qui, à l'aide de leur modèle, ont déterminé qu'une différence de $0,1^\circ\text{C}$ sur la température de référence et de $0,2$ sur la salinité de référence occasionnait une différence d'environ 10% sur les transports de chaleur et d'eau douce à travers les archipels canadiens. Melling (2000) a également estimé à 8% l'écart obtenu sur les transports d'eau douce en utilisant 35 plutôt que le 34,8 communément utilisé dans la littérature. Afin d'estimer cet écart pour les transports d'eau douce et de chaleur calculés dans cette étude, les calculs ont été refaits en utilisant une température et une salinité de référence différente ($-1,85^\circ\text{C}$ de Muench (1970) et 34,8 de Bâcle (2000)), pour quelques années, historiques et récentes, bien et moins bien échantillonnées (1957, 1962, 1964, 1969, 1978, 1986, 1997, 1998, 1999, 2005, 2007, 2009 et 2013). Le pourcentage d'écart moyen sur les transports de chaleur obtenu pour une différence de température de référence de $0,18^\circ\text{C}$ est de 3%

et celui sur les transports d'eau douce, pour une différence de salinité de référence de 0,32 est de 9%. Ce n'est donc pas une source d'erreur majeure, il est néanmoins nécessaire d'en être conscient. Les contenus dépendent eux aussi des mesures *in situ* et, comme mentionné précédemment, celle-ci sont accompagnées d'une erreur expérimentale. De la même manière qu'avec les courants, les estimations des différents transports ont été refaits avec plus ou moins l'incertitude expérimentale maximale afin, encore une fois, d'estimer l'ampleur de la variation qu'elle peut occasionner. Il se trouve que l'impact est minime, comme pour les courants. En effet, pour les mêmes incertitudes expérimentales, la variation maximale calculée est de $0,02 \times 10^{12}$ Watts pour les transports de chaleur, de 0,003 Sverdrup (Sv) pour les transport volumiques et de 0,0001 Sv pour les transports d'eau douce. Ces variations sont négligeables comparativement aux transports eux-mêmes.

Finalement, la plus importante cause de variation, selon les observations faites durant les calculs, se trouvent dans la méthode utilisée pour traiter les données brutes avant l'estimation des courants avec la méthode géostrophique. Il se trouve que la section choisie a déjà été étudiée et les courants et les transports ont déjà été estimés, avec les mêmes données brutes, en utilisant également la méthode géostrophique (Rail 2005). Cependant, certaines variations entre le traitement des données ont été remarquées. Par exemple, dans cette étude, l'interpolation a été appliquée aux 10 km, comparativement à 5 km pour l'autre étude. Un lissage a également été utilisé après l'interpolation par Rail (2005), ce qui n'est pas le cas de cette étude, même si la correction verticale des profils a un effet similaire. Qui plus est, le calcul des distances pour l'axe horizontal ne s'effectue pas de la même manière. En comparant les résultats des transports nets à travers les mêmes sections (celle de référence plus 3 autres), il y a tout de même certaines différences, attribuables, justement, à des différences de traitement. Les tableaux 3.2, 3.3 et 3.4 présentent les résultats des calculs obtenues dans cette étude et ceux listés dans le mémoire de Rail (2005) sur 4 sections (avril, mai, juin et septembre) identiques.

Tableau 3.2 – Différence entre les calculs des transports volumiques (Sv).

Sections	Rail (2005)	Cette étude	Écart
Avril	-0,82	-0,81	0,010
Mai	-0,82	-0,64	0,18
Juin	-0,60	-0,85	0,25
Septembre	-0,71	-0,78	0,07

Tableau 3.3 – Différence entre les calculs des transports de chaleur (10^{12} Watts).

Sections	Rail (2005)	Cette étude	Écart
Avril	-0,67	-1,55	0,88
Mai	-1,52	-1,92	0,40
Juin	-1,85	-2,88	1,03
Septembre	-2,11	-2,10	0,01

Tableau 3.4 – Différence entre les calculs des transports de d'eau douce (Sv).

Sections	Rail (2005)	Cette étude	Écart
Avril	-0,028	-0,025	0,003
Mai	-0,029	-0,019	0,01
Juin	-0,023	-0,028	0,005
Septembre	-0,057	-0,062	0,005

L'écart moyen pour les transports volumiques est de 0,13 Sverdrup (Sv), celui pour les transports de chaleur de 0,58 (10^{12} Watts) et finalement, celui pour les transports d'eau douce, de 0,006 Sv. Cet écart représente une marge d'erreur possible sur l'estimation des différents transports dû au traitement des données brutes. Cette source a été jugée comme la plus importante parmi celles énumérées ci-haut, considérant que les seules différences sont la méthode de calcul et l'ajout d'une seule station à l'est en septembre. Comme elle est de plus quantifiable, elle a par conséquent été utilisée comme marge d'erreur pour les valeurs de transports nets présentés au chapitre 4.

3.6 Moyennes annuelles et tendances

Les différences de régimes de chaque côté de la section ont été mentionnées précédemment lorsqu'il a été question des transports et des courants estimés. Moyenner les différentes valeurs le long de la section était impensable, même sur un petit intervalle de profondeur. La section de référence a donc été séparée en 4 secteurs distincts, afin d'isoler les différents comportements du mieux possible. Les 2 secteurs avec les différences les plus évidentes sont situés de part et d'autre de la section, près des côtes. Comme il est généralement accepté dans la littérature que le courant du Groenland Ouest (WGC) suit la marge continentale du Groenland, le premier secteur a été choisi de manière à isoler cette composante. C'est pourquoi le premier secteur, nommé Groenland, couvre toute la marge continentale et même un peu plus jusqu'à 600 mètres. Du côté de l'île d'Ellesmere, il est également reconnu qu'un courant dirigé vers le sud parcourt la partie est de la baie de Baffin pour devenir le courant de Baffin, celui-ci prenant naissance plus au nord. Comme sa localisation exacte

le long de la marge continentale de l'île d'Ellesmere n'est pas précise, la région non-couverte par le secteur Groenland a été divisée en 3 parties : une couvrant le début de la marge continentale, les 2 autres couvrant le centre de la section de manière à peu près équivalente (secteurs C1 et C2, respectivement). Le détail des limites de chaque secteur est présentée au tableau 3.5 et leur localisation, au niveau de la région, à la figure 3.13.

Tableau 3.5 – Détails sur la localisation des secteurs.

Secteurs	Latitude ($^{\circ}$ N)	Longitude ($^{\circ}$ W)	Distance (km)
Point côte Ouest	76,43	-78,21	0
Secteur Ellesmere	76,38	-78,21 à -75,35	0 à 75
Secteur C1	76,33	-75,36 à -73,82	75 à 115
Secteur C2	76,28	-73,83 à -72,10	115 à 160
Secteur Groenland	76,28	-72,11 à -68,89	160 à 250
Point côte Est	76,24	-68,89	250

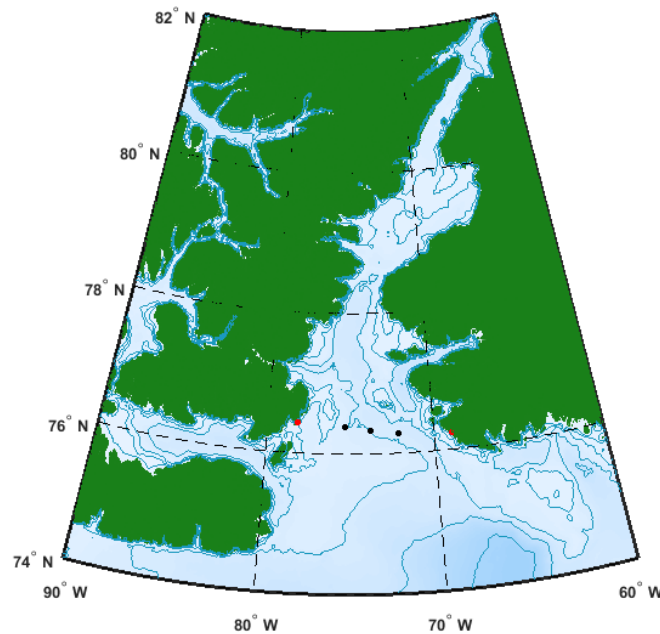


Figure 3.13 – Localisation des points sur les côtes (rouge) et des limites de chacun des secteurs (noir).

Comme plusieurs masses d'eau sont généralement identifiables au niveau de la section de référence, la section a également été séparée en couches afin d'essayer de bien les représenter. La couche de surface, fortement sujette aux variations saisonnières, notamment dûes à la fonte de la glace de mer et des glaciers, a été fixée de 0 à 50 mètres. L'eau en provenance de l'Arctique (PSW) est géné-

ralement visible peu profondément, une couche s'étendant de 50 à 200 mètres aurait pu être utilisée (Zweng, 2006) mais a été jugée légèrement trop grande dans le cadre de cette étude. C'est pourquoi celle-ci a été séparée en 2, soit de 50 à 100 mètres et de 100 à 200 mètres. Finalement, l'influence de l'eau transportée par la fin du WGC est généralement visible un peu plus profondément, donc le reste de la colonne d'eau a été divisée en 2 : une couche de 200 à 400 mètres et une autre de 400-600 mètres. Ce choix a permis d'obtenir un nombre de données à moyennner du même ordre que celui des autres couches pour celle de 200-400 mètres et ainsi couvrir la plus grande partie de la colonne d'eau. La couche de 400-600 mètres contient en général moins de données puisque ce ne sont pas tous les profils qui sont aussi profonds.

Des moyennes ont ensuite été calculées pour chaque secteur, puis pour chaque couche. En ce qui concerne les profils de température, de salinité et de nutriments, ils ont simplement été moyennés en fonction de leurs positions (km), c'est-à-dire en fonction du secteurs auxquels ils appartenaient. Ce sont les données interpolées qui ont été utilisées dans les calculs de moyennes. Pour les transports, la méthode a varié légèrement. Comme ceux-ci dépendent de l'aire couverte par les cases, les valeurs utilisées pour les moyennes ont été ajustées en conséquence. En effet, lorsque la limite d'un secteur se trouvaient quelque part sur une case, la valeur de transport associée à celle-ci et utilisée dans le calcul des moyennes a été en fonction du pourcentage de l'aire de part et d'autre du secteur. Lorsqu'une limite de secteur était positionnée pile sur une des limites des cases, le problème ne se posait toutefois pas. Finalement, seules les données des mois de juillet à octobre ont été utilisées et ce, pour deux principales raisons : cet intervalle regroupe la grande majorité des données et le laps de temps est représentatif des conditions d'été et du début de l'automne. Comparer des données du début de printemps avec des données d'automne aurait été plus hasardeux, puisque ces saisons ont des régimes (océaniques et biologiques) trop différents.

Finalement, chacun des secteurs, dans chacune des couches, est représenté par une seule valeur et ce, pour les données de température, de salinité, de transports estimés (volume, eau douce, chaleur), du traceur N* et des différents nutriments (silicate, phosphate, nitrate). Il est toutefois nécessaire de mentionner que certaines moyennes n'ont pas été conservées pour les calculs subséquents, pour différentes raisons. Parmi celles-ci, le nombre de profils qui, dans certains secteurs, étaient trop petit (moins que 3) ou encore les profils, trop peu profonds. Vu la taille des secteurs\couches, au moins la moitié de celui-ci devait être couvert par des données pour être sélectionné. Finalement, dans certains cas, la bathymétrie couvrait la moitié (ou plus) du secteur\couche et celui-ci a dû être laissé

de côté. C'est notamment le cas pour la plupart des secteurs Ellesmere des couches 200-400 mètres et 400-600 mètres et du secteur C1 de la couche 400-600 mètres.

L'ensemble des moyennes annuelles calculées forment des séries de valeurs, pour chaque propriétés étudiées, pour la période 1950-2014. Ce sont ces séries qui contiennent l'information sur les variations internannuelles. C'est donc sur celles-ci que le calcul de tendance a été effectué. Il consiste simplement à appliquer une régression linéaire aux différentes distributions, disponibles pour chaque couche, dans chaque secteur. Un test de Maan-Kendall aurait également été applicable afin de déterminer la présence d'une tendance dans les données mais le choix de la régression linéaire permettait de comparer les résultats avec la littérature. Les régressions ont été calculées sur les moyennes de température, de salinité, de concentrations en éléments nutritifs (nitrate, silicate et phosphate) ainsi que sur les transports estimés (eau douce, chaleur et volume) même si pour ces derniers, l'exercice est plus qualitatif, puisque les calculs proviennent de l'estimation des courants géostrophiques et non de mesures directes de courants. Pour chaque régression, un intervalle de confiance de 95% a été calculé, suivant la méthode de Fofonoff et Bryden (1975) et est représenté par les lignes pointillées noire sur les graphiques de tendance (exemple figure 3.14), de part et d'autre de la ligne de régression, en rouge.

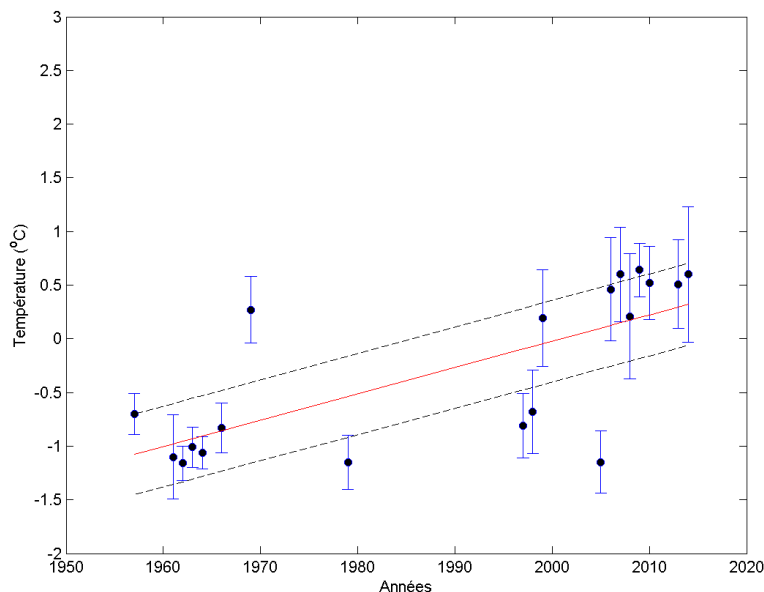


Figure 3.14 – Régression linéaire de la température pour le secteur Groenland et la couche 100-200 mètres (ligne rouge). Les lignes pointillées représentent l'intervalle de confiance de 95%.

Des intervalles d'erreur sont aussi associés à chaque moyenne annuelle sur les graphique et ces barres représentent l'écart-type de la moyenne. Comme les distributions sous-jacentes aux séries de moyennes annuelles n'étaient pas normales, l'écart-type a été privilégié à un calcul d'erreur classique. Cela permet également de comparer les résultats avec les valeurs présentées dans la littérature, puisque la plupart d'entre elles sont présentées avec l'écart-type comme mesure de dispersion (comme, par exemple, les valeurs de transports de nutriments présentées par Torrès-Valdes et al. 2013).

3.6.1 Erreur sur la pente

Il y a une erreur associée au calcul de la tendance, soit de la pente de la régression linéaire. Celle-ci peut être calculée selon deux méthodes, tout dépend si les erreurs de mesure associées à chacun des points sont connues. Comme ce n'est pas une erreur de mesure qui est associée aux points utilisés pour les régressions (moyennes sectorielles) mais bien l'écart-type, la méthode sans les erreurs a été choisie. En posant x_i , chacun des points utilisés dans le calcul de la régression, l'erreur sur la pente, notée s , est définie comme (Lyon , 1991) :

$$\frac{1}{s^2} = \frac{1}{\sigma^2} \sum_1^n (x_i - \langle x_i \rangle)^2 \quad (3.11)$$

Avec sigma, défini tel que:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-2} \sum_1^n (a + bx_i - y_i)^2 \quad (3.12)$$

où les y_i représente les données telles que la température, la salinité, les nutriments et x_i sont les années correspondantes aux données (moyennes temporelles). La régression linéaire nous permet d'obtenir les coefficients a et b . Cela nous permet alors d'associer une erreur unique aux points de régression dont on ne connaît pas l'erreur associée à chacun des points. C'est cette erreur sur la pente de la régression qui accompagne les tendances présentées au chapitre 5. De plus, les intervalles de confiance autour des pentes des régressions ont été calculés au niveau $\alpha = 0,025$. Le coefficient de détermination (R^2) est une mesure de la qualité de l'ajustement (« goodness of fit », en anglais) des droites de régression. Il est parfois très faible, ce qui suggère alors que ces R^2 ne sont pas significatifs.

Chapitre 4

Résultats

4.1 Température et salinité

Cette section est réservée à la présentation et à l'interprétation des valeurs de température et de salinité illustrées sous forme de contours, entièrement présentés à l'annexe B. Les valeurs présentées ont été supposées représentatives des valeurs moyennes mensuelles et même annuelles, dépendamment du propos abordé. Cette hypothèse amène bien entendu une source d'erreur supplémentaire, mais nécessaire pour interpréter les résultats. Les caractéristiques des différentes masses d'eau présentées dans cette section sont les mêmes que celles présentées par Rail (2005) pour la même section et décrite plus précisément dans la revue de littérature. Les dates d'échantillonnage pour l'ensemble des années sont détaillées au tableau A.4 de l'annexe A.

De manière générale, sur la plupart des contours, autant ceux de salinité que de température, il est possible de distinguer trois structures distinctes. La première est une couche généralement assez chaude, visible en surface et qui s'étend rarement au-delà de 50 mètres. Ses caractéristiques sont attribuables à la fonte saisonnière, résultat du réchauffement solaire et du mélange avec l'eau de fonte. Cette couche est également présentée par Bâcle (2000) et est caractérisée par des températures plus grandes que 0°C , avec de faibles salinité ($S < 33,5$). Sur les contours présentés, cette couche saisonnière exhibe des salinités plus petites que 33, voir moins, comme par exemple pour 1963 (fig. B.10), qui montre des salinités plus petites que 32 près du kilomètre 75. En août, la couche de saison est toujours visible mais semble de plus en plus chaude et de moins en moins salée pour

les années 2000 et plus. Même si l'échantillonnage n'est pas fait exactement au même moment pour les années en question (2005, 2013, 2014) (fig. B.34, 46 et 48), la différence de moment d'échantillonnage ne peut pas expliquer à elle seule l'ampleur des différences avec les années historiques. En septembre, la couche saisonnière est également visible sur pratiquement tous les contours et semble plus prononcée. La tendance observée en août sur le changement des caractéristiques de la couche de surface en fonction des années est également visible en septembre, les années 1999 et plus exhibent systématiquement des salinités plus petites que 32 en surface. En octobre, la couche saisonnière est encore visible, quoique moins étendue et très localisée du côté de l'île d'Ellesmere. À la fin octobre (2009), elle est nettement moins visible. La présence de cette couche moins salée est également visible dans les résultats de Munchow et al. (2015) pour sensiblement la même région.'

La seconde couche est la plus froide ($T < 0^{\circ}\text{C}$) en plus d'être la moins salée ($S < 34,45$). Ces caractéristiques sont associées à des eaux en provenance de l'Océan Arctique. Cette couche est visible de 45 à 200 mètres sur les contours (température et salinité), mais surtout de 100 à 200 mètres. De plus, elle est généralement plus profonde à l'ouest, du côté de l'île d'Ellesmere. La présence évidente de cette couche a motivé la création d'une couche distincte de 100 à 200 mètres pour le calcul des moyennes interannuelles à la place d'une seule couche de 50-200 mètres, généralement utilisée dans la littérature. Finalement, la dernière couche s'étend systématiquement de 200 mètres (parfois plus) jusqu'au fond (600 mètres). Elle est en général plus chaude ($T > 0^{\circ}\text{C}$), notamment du côté du Groenland et nettement plus salée que le reste de la colonne d'eau ($S > 33,8$). Celle-ci est donc associée à de l'eau en provenance de l'océan Atlantique, qui pénètre et circule dans la baie de Baffin via le WGC. La trace des eaux plus profondes de la baie de Baffin n'est pas visible sur les contours, c'est d'ailleurs normal puisque celle-ci se retrouve généralement au-delà de 1200 mètres (Lobb, 2004) et ce, surtout dans le centre de la baie de Baffin.

La limite d'influence nordique du WGC n'est pas fixe, puisqu'il se sépare en plusieurs branches, mais selon le modèle employé par Tang et al. (2004), celui-ci pénètre dans le détroit de Smith jusqu'à environ 77°N . La présence d'eau plus chaude d'origine Atlantique n'est donc pas une surprise le long de la section, même si celle-ci est située à $76,5^{\circ}\text{N}$ (voir plus au nord pour certaines années). Son influence est donc confirmée à de hautes latitudes comme celle de la section étudiée. Cette intrusion d'eau chaude est d'ailleurs nettement plus évidente pour les années les mieux échantillonnées, notamment à partir de 1999 et ce, pour les mois d'août à octobre. Aucun changement sur l'ampleur de l'intrusion d'eau chaude n'est clairement évident sur les contours, excepté le fait qu'elle

soit nettement moins évidente et plus profonde en 1963 (fig B.9) et en 1966 (fig. B.13). Il serait cependant nécessaire d’avoir plus de données avec une meilleure résolution pour les mêmes mois afin d’examiner cela plus amplement, surtout pour les mois d’août et de septembre, qui rassemblent la majorité des données. La présence d’eau plus chaude varie également en fonction de la longueur de la section. Celles qui ont des stations les plus à l’est (1963, 1966 et 1999, fig. B.9, 13 et 31) dressent un meilleur portrait de la section, puisque celles-ci sont échantillonnées plus près de la côte du Groenland, là où l’on retrouve l’eau la plus chaude. Malgré tout, même pour les sections qui s’étendent moins à l’est, il est tout de même possible de voir une légère intrusion d’eau chaude, qui est persistante (1969, 1970 et 1979, fig. B.17, 19 et 23). Afin d’essayer de déterminer à quel moment elle commence, les données du mois de juin 1998, même si elles ne faisaient pas partie des mois étudiés (juillet à octobre), ont été utilisées afin de tracer les mêmes contours.

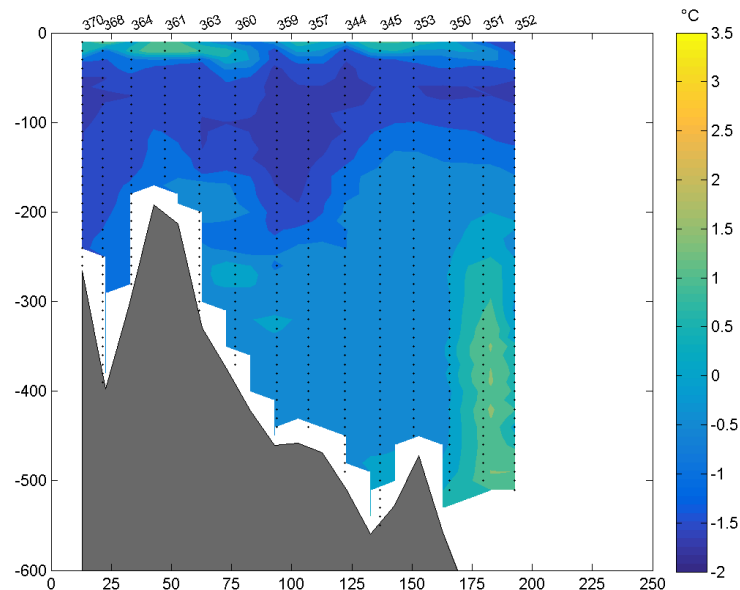


Figure 4.1 – Contours de température pour le mois de juin 1998. L’axe vertical représente la profondeur et l’horizontale, la distance, en km, par rapport au point de référence sur la côte ouest. La position des stations initiales est représentée par les pointillés.

Sur ces contours (fig. 4.1), il y a bien une légère intrusion d’eau chaude visible en profondeur. Celle-ci serait donc déjà en cours en juin et semble s’accroître en août (2014, fig. B.47) pour légèrement diminuer en septembre (2006, fig. B.35), voir même persister en octobre (2009, fig. A.41). Les seules années historiques directement comparables aux années les mieux échantillonnées post-1999 sont 1963 (fig B.9) et 1966 (fig. B.13), puisqu’elles offrent une bonne couverture de la

section. Pour ces deux années, l'intrusion d'eau chaude est nettement moindre que pour 2014 (fig. A.47) alors que les prises de mesures ont été effectuées dans un laps de temps très court, entre le 31 juillet et le 2 août. Ce comportement est également observable parmi d'autres années (1970, 1979, 1986, 1997 et 2005, fig. B.19, 23, 25, 27 et 33), pour lesquelles l'intrusion d'eau chaude reste légère du début à la fin août, tout cela en parfaite opposition au contours de 2013 (fig. B.45) et de 2014 (fig. B.47), pour lesquels l'intrusion d'eau chaude est plus importante. Cela semble suggérer que l'intrusion, du moins après 2005 (fig. B.33), est plus grande sous les 200 mètres. Cette hypothèse semble confirmée par la tendance à la hausse des températures détectées dans la couche 200-400 mètres (section 4.5.1). Il semble également que l'intrusion d'eau chaude ne soit pas uniforme, certaines années (1999, 2009, 2010 et 2013, fig. B.31, 41, 43 et 45) présentent des cellules d'eau chaude ne semblant pas reliées directement à la masse d'eau chaude principale, plus à l'est. Le phénomène est particulièrement visible en 2009 (fig. B.41). Par contre, comme ces trois années ont été échantillonnées à des moments très différents, débutant en août (1999, fig. B.31) et terminant à la fin octobre (2013, fig. B.45), il pourrait seulement s'agir de structures temporaires. En examinant les températures et les salinités associées aux cellules d'eau chaude, celles-ci semblent d'origine Atlantique, probablement transportées par le WGC dans la région. Malgré la différence des eaux observable à l'est et à l'ouest, notamment dû à l'intrusion plus ou moins importante d'eau chaude et le mélange avec les eaux arctiques, le front décrit par Lobb (2003) est également visible sur certaines sections présentées, notamment en 1999 (fig. B.31), 2007 (fig. B.37), 2008 (fig. B.39) et légèrement en 2010 (fig. B.43). Il est cependant surtout observable sur les contours de salinité.

Il est également nécessaire de mentionner que deux années, 1952 (fig. A.1) et 2007 (fig. A.37), montrent des distributions générales qui ne correspondent pas à celles des autres pour les mêmes mois. Dans le cas de 1952, les températures sont très élevées, plus que toutes les autres années, variant de $0,5^{\circ}\text{C}$ à plus de 2°C , sans température sous 0°C . Cela implique notamment qu'il n'y aurait pas du tout d'eau en provenance de l'Arctique pour cette année-là le long de la section, ce qui paraît peu probable en tenant compte des autres années, mêmes les moins bien échantillonnées, qui montrent systématiquement une couche arctique. La distribution des salinités ne suit pas un schéma caractéristique non plus, de l'eau très salée (> 34) est visible avant une profondeur de 100 mètres du côté de l'île d'Ellesmere, ce qui n'arrive jamais si l'on compare avec les autres années. Ce n'est pas non plus logique puisqu'il est connu que la circulation dans cette région est vers le sud et transporte de l'eau froide et peu salée provenant majoritairement de l'Océan Arctique. Afin

d'expliquer l'ampleur des différences observées, des pistes d'explication ont été envisagées, comme la position de la section par rapport aux autres ou l'intensité du mélange de la colonne d'eau. En tenant compte du nombre réduit d'années disponibles, cette année a tout de même été conservée dans les calculs de tendance. L'année 2007 montre également des patrons de distribution différents des autres. Le moment d'échantillonnage se situant à la fin septembre et au début d'octobre (29 septembre au 3 octobre), cette piste a été examinée. Les distributions générales de température et de salinité ont tout d'abord été comparées à celles des années échantillonnées dans un même laps de temps (1969 et 1999, fig. B.17 et 31). Aucune des deux années ne montre une intrusion d'eau chaude aussi grande, s'étendant sur plus de 75 km, de 200 à 600 mètres. Même au milieu septembre (2006 et 2008, fig. B.35 et 39), l'intrusion n'est pas aussi importante. Même les distributions du milieu (2010, fig. B.43) et de la fin octobre (2009, fig. B.41) ont été comparées et aucune n'a le même comportement. Cependant, l'examen des moyennes sectorielles de 2007 (fig. B.37) et de 1969 (fin septembre, fig. B.17) laisse croire que ces distributions, quoique spéciales, sont pourtant minimalement reproductibles (section 4.4.1). C'est d'ailleurs pour cette raison que l'année 2007 (fig. B.37) a été conservée dans le calcul des tendances. Qui plus est, en 2007, le pont de glace au nord de la polynie ne s'est pas formé, entraînant des différences dans les courants induits par des déplacements différents des glaces (Münchow et al., 2011). Le comportement atypique de l'année 2007 a également été observé en mer de Beaufort et n'est donc pas restreint à la région d'étude. Une plus grande intrusion des eaux profondes de la baie de Baffin, qui auraient en quelque sorte remontées obliquement vers le nord, pourrait expliquer les distributions observées ainsi que la signature particulière en nutriments. Toutefois, il s'agit seulement d'une hypothèse. Par la suite, les minimums et les maximums de température pour chacune des années ont également été examinés. En ce qui concerne les données historiques (avant 1990), les années avec des températures assez élevées ($> 3^{\circ}\text{C}$) ont toutes été échantillonnées au mois d'août (1952, 1963, 1966, 1970 et 1979, fig. B.1, 9, 13, 19 et 23). C'est en 1963 que la température maximale de $5,27^{\circ}\text{C}$ a été détectée, dans la couche saisonnière de surface. En examinant les années plus récentes (après 1990), deux années (2013 et 2014, fig. B.45 et 47) se sont démarquées parce qu'elles présentent des maximums de température assez élevés, frôlant les $4,3^{\circ}\text{C}$, pour un échantillonnage au mois de septembre, ce qui est un peu surprenant. Cela est toutefois moins surprenant si on considère l'hypothèse soit d'un réchauffement, soit d'une intrusion d'eau chaude plus importante dans les dernières années.

L'examen des contours de salinité permet de confirmer certains comportements attendus pour la région étudiée, notamment le gradient de salinité visible d'ouest en est. En effet, la salinité est plus basse du côté ouest (Ellesmere) et les salinité plus faibles sont visibles plus profondément que du côté est (Groenland). Cela est tout à fait normal, car c'est par la côte Ouest que l'eau descend de l'Océan Arctique, tandis que la côte Est est dominée par la présence d'eau Atlantique. Il y a d'ailleurs de fortes pentes visibles dans les contours de salinité du côté de l'île d'Ellesmere et cela implique de plus forts courants du côté ouest de la section. Les plus fortes pentes sont visibles en 2007 (fig. B.38), en 2008 (fig. B.40) et en 2010 (fig. B.44), années pour lesquelles la salinité atteint de très basses valeurs et ce, très profondément, jusqu'à 100 mètres ou plus. Ces très basses valeurs de salinité ont d'ailleurs été également observés par Bergeron (2013) pour 2007 et 2008 pour les mêmes jeux de données. De plus, la stratification est plus forte pour ces années, comparativement aux autres pour la même période de temps. En effet, les mesures ont été prises du milieu à la fin septembre, une période où la stratification est plus marquée comparativement à celle du mois d'août dû à l'apport de plus en plus grand d'eau de fonte, mais ces années se distinguent tout de même des autres pour un mois de septembre.

4.2 Circulation générale

La circulation générale a été estimée grâce à la méthode géostrophique. Les courants présentés sont donc baroclines, la composante barotrope n'ayant pas été calculée. Le tableau 4.1 présente les minimums et les maximums des courants estimés et ce, pour chacune des années.

Comme il est possible de le constater, certaines années exhibent des valeurs très fortes (40 à -50 cm s^{-1}) contrairement à la moyenne des autres, qui est autour de $\pm 15 \text{ cm s}^{-1}$. Pour certaines années, comme 2007 (fig. C.19), ce n'est pas une surprise, les contours de salinité avaient de fortes pentes du côté de l'île d'Ellesmere, qui correspondent à ces fortes valeurs. Les maximums (tout comme les minimums) sont observés d'août au milieu octobre. En général, les forts maximums exceptés, les valeurs de courants estimées sont comparables à celles présentées par Rail (2005) (vitesses totales de $\pm 25 \text{ cm s}^{-1}$), Tang et al. (2004) (courants moyens de 0 à 17 cm s^{-1}) et Münchow et al. (2015) (maximums en surface autour de 30 cm s^{-1}) pour la même région. Près de Cape York, un peu plus bas que la section choisie pour cette étude, le noyau de courants forts du côté de l'île d'Ellesmere varient de -20 à -30 cm s^{-1} , pratiquement jusqu'à 200 mètres. Il y aussi un maximum d'environ 20 cm s^{-1} du

Tableau 4.1 – Maximum et minimum des courants estimés à travers la section sélectionnée pour chacune des années.

Année	Minimum (cm/s)	Maximum (cm/s)
2014	9,51	-10,33
2013	6,96	-21,77
2010	11,09	-46,11
2009	4,51	-20,87
2008	14,48	-29,90
2007	7,06	-50,08
2006	16,43	-14,83
2005	23,78	-11,47
1999	31,84	-17,66
1998	10,19	-9,21
1997	19,64	-5,12
1991	8,81	-7,06
1986	18,17	-11,06
1979	40,29	-32,01
1978	3,71	-8,55
1970	1,26	-6,22
1969	18,80	-16,96
1968	7,47	-10,72
1966	12,57	-16,58
1964	14,41	-2,00
1963	17,38	-26,73
1962	1,70	-2,76
1961	5,10	-0,99
1957	4,24	-19,01
1952	25,18	-21,31

côté du Groenland (Münchow et al. (2015)). Ainsi, les valeurs obtenues et les distributions sont en accord avec ce qui est décrit dans la littérature. En examinant les courants estimés, trois composantes principales sont identifiables, celles-ci confirmant la circulation cyclonique communément acceptée pour cette région (Tang et al. (2004)):

- Un courant positif (vers le nord) dans les secteurs Groenland et C2 d'environ 20 cm s^{-1} , visible après le kilomètre 160, associable à une plume du WGC, plus fort en surface mais bien visible sous les 200 mètres
- Un courant négatif (vers le sud) fort en surface localisé dans les secteurs Ellesmere et C1, très visible pour les années les mieux échantillonnées (1963, 1999, 2008, 2007, 2009, 2010,

fig. C.5, 16, 20, 19, 21 et 22) et d'une largeur d'environ 30 km et ne s'étendant pratiquement jamais sous les 100 mètres

- Une structure variable le long de la section, surtout sous les 200 mètres, avec des courants positifs et négatifs, successivement, près de 0 cm s^{-1}

À partir des courants estimés, il est également possible de constater la présence de tourbillons anticycloniques (1952, 1963, 1966, 1979, 2006, fig. C.1, 5, 7, 12 et 18) entre les kilomètres 50 et 160, environ, le long de la section. Le centre des tourbillons est situé semble situé autour de 80 kilomètre, sauf pour l'année 1979, où il est plus autour de 160. Ce n'est pas en soi une surprise, leur présence a été rapportée à plusieurs reprise dans la région et plus récemment par Münchow et al. (2015). Dans leur cas, ce sont par des variations des courants de $\pm 15 \text{ cm s}^{-1}$ en moins de 20 km. Pour cette étude, les variations sont plus autour de $\pm 20 \text{ cm s}^{-1}$ sur environ 30 km et sont donc semblables aux leurs. De plus, la majorité des tourbillons sont anticycloniques, comme ceux généralement observés dans la région. Ils sont également localisés majoritairement en surface, ne dépassant pas ou peu les 100 mètres (sauf 1979). Leur diamètre semble varier de 30 à 40 km, voir jusqu'à 50. Considérant que le rayon interne de Rossby est d'environ 12,5 km pour la région (Dumont (2009), Mysak et Huang(1992) et Pease (1987)), un tourbillon pourrait donc avoir au moins 25 km de diamètre et des courants opposés observables jusqu'à environ 40 ou 50 km de son centre présumé. Les rayons de déformation internes locaux (basés sur un modèle à deux couches) calculés pour les quatre tourbillons observés sont de 9 km (1963), 8 km (1966), 6 km (1979 et 18 km (2006). Les rayons calculés sont un peu plus petits que la moyenne calculée par Dumont (2009), mais restent comparables.

4.2.1 Simulations numériques

Finalement, afin de valider les différentes structures obtenues par la méthode géostrophique, les résultats ont été comparés à ceux fournis par Yao et Tang (2003), obtenus à l'aide d'une simulation numérique pour la même section que celle de cette étude. L'origine de leur section est cependant située à $-79,17^\circ\text{W}$ versus $-78,22^\circ\text{W}$ pour le point de référence de la côte Ouest. Cette différence sera particulièrement intéressante au niveau des transports (section suivante). Même si les courants obtenus via le modèle numérique sont totaux et pas seulement baroclines, une comparaison générale est tout de même intéressante pour valider les grands patrons de distribution des courants, notam-

ment les courants plus fortement positifs (est) et négatifs (ouest). Comme l'année 1999 (fig. C.16) a été jugée la plus représentative de la section et ayant été échantillonnée en septembre, celle-ci a été comparée aux courants totaux moyens mensuels du modèle numérique pour septembre (fig. 4.2 et fig. 4.3). Les courants ont pratiquement la même distribution et les grandes composantes est-ouest identifiées précédemment sont également visibles. Parmi les différences notables entre les deux figures, il y a notamment des courants totaux moins élevés que les courants estimés via la méthode géostrophique et la localisation du courant fort négatif, associé au courant de Baffin, qui est plus décalé vers le centre de la section qu'avec les courants estimés. Tous les courants totaux moyens mensuels sont présentés à l'annexe C, à la suite des courants estimés. Ceux-ci confirment d'ailleurs l'augmentation de la force des courants de juillet à août décrite dans différentes études, avec les plus forts courants en août et en septembre. Pour les autres mois, les courants sont variables et très peu marqués (autour de 0).

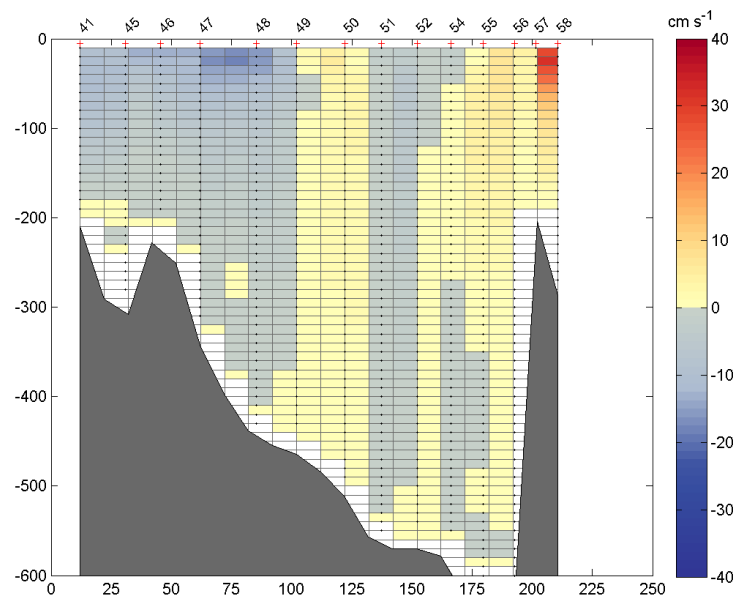


Figure 4.2 – Courants estimés par géostrophie pour septembre 1999 par rapport au point de référence sur la côte ouest et en fonction de la profondeur.

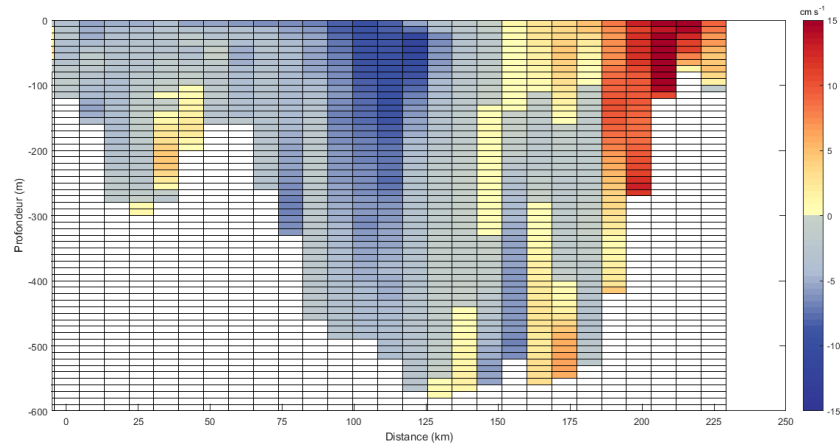


Figure 4.3 – Courants totaux moyens et mensuels calculés par modèle numérique pour septembre par rapport à la côte ouest et en fonction de la profondeur (Yao, comm. personnelle).

4.2.2 Composante barotrope

Dans le cadre de cette simulation, Yao et Tang (2003) ont utilisé des transports de 1,0 Sv vers le sud comme condition frontière au niveau du détroit de Nares. Cette valeur semble un peu élevée comparativement à celle présentée dans la littérature (tableau 2.2). Ils obtiennent des transports totaux à travers la section d'environ 1,2 Sv, alors que la valeur obtenue pour septembre 1999, la section de référence, est de 0,71 Sv, soit plus proche des valeurs présentées dans la littérature pour la région. Rail (2005) a tenté d'estimer la valeur de la composante barotrope le long de la même section de référence à partir de données de courantomètre de juin 1998, sans succès. Une autre des méthodes possibles pour estimer la composante barotrope consiste à calculer la moyenne verticale des courants. Celle-ci est présentée à la figure le long de la section de référence pour septembre 1999 (fig. 4.4).

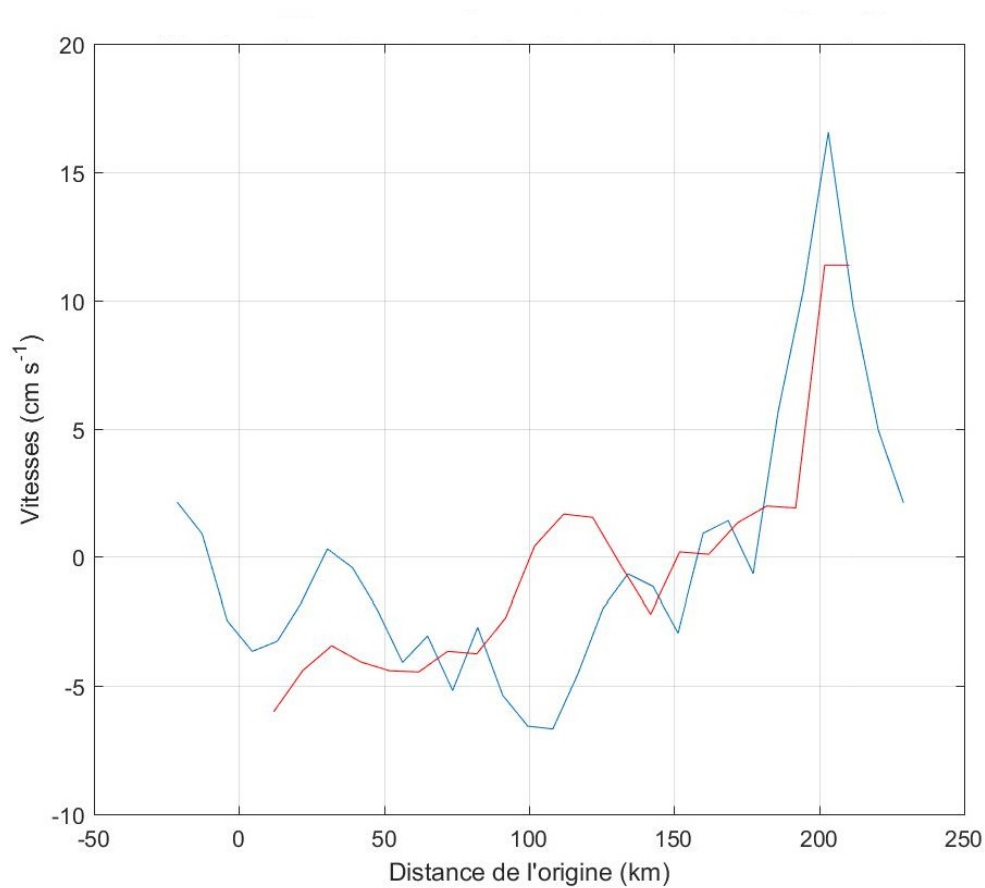


Figure 4.4 – Moyennes verticales des courants perpendiculaires à la section. La courbe rouge représente la moyenne verticale des courants géostrophiques pendant le mois de septembre 1999. La courbe en bleue est la moyenne verticale des courants perpendiculaires à la section selon les simulations de Yao et Tang (2003) pour le mois de septembre.

Il est possible d'observer que les moyennes verticales sont semblables dans les deux cas. La seule différence plus visible se situe entre 75 et 150 kilomètres, où il existe un chenal plus profond (autour de 600 mètres, (fig.4.5) qui forme un angle avec la section de référence au niveau de la section du parallèle 76,5 °N.

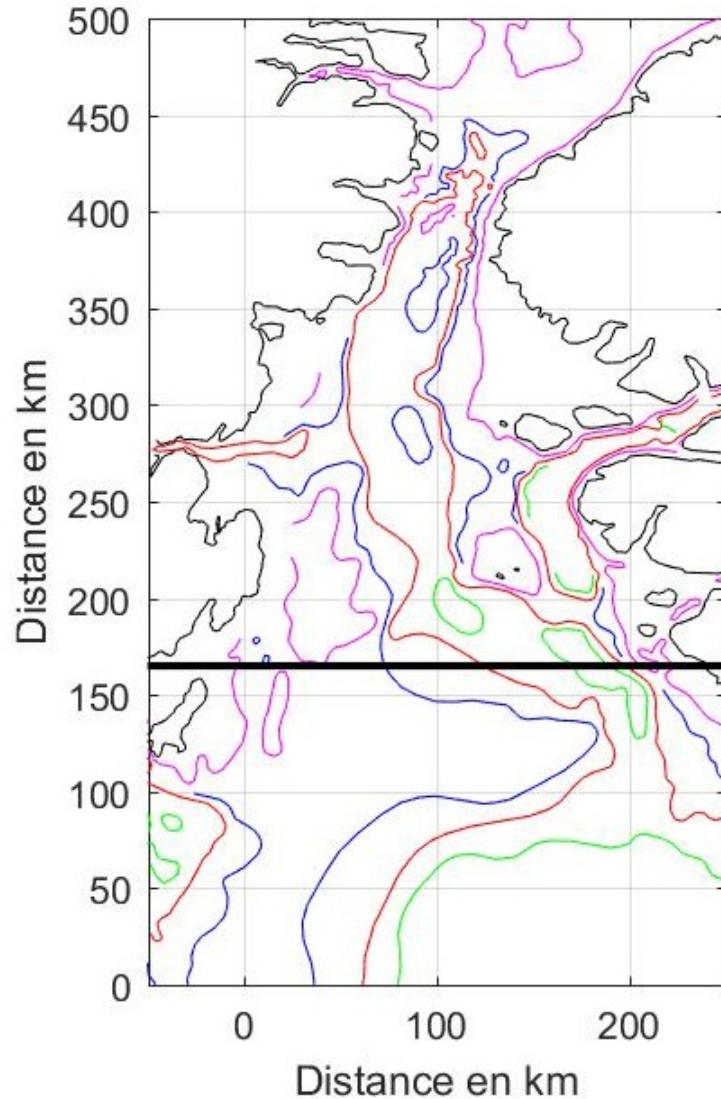


Figure 4.5 – Carte bathymétrique du détroit de Smith en coordonnées MTU (Mercator Tranverse Universal): la côte est en noir tandis que la ligne noire plus épaisse indique la position du parallèle 76,5°N. Les contours bathymétriques suivants sont identifiés : 200 m (magenta), 400 m (bleu), 500 m (rouge) et 600 m (vert). L'échelle en km est la même sur les deux axes. Le début de la section de référence (1999) correspond à l'origine de l'axe horizontal.

À cet endroit, les vitesses moyennes calculées par Yao et Tang (2003) sont dirigées vers le sud tandis que celles de cette étude sont vers le nord. Une des explications possibles à cette différence serait que les vitesses barotropes sont presque nulles partout sauf possiblement entre les kilomètres 75 et 150, c'est-à-dire le long du chenal profond. Qui plus est, la différence entre les deux courbes, possiblement des valeurs résiduelles barotropes, ne dépassent pas 5 cm s^{-1} . Ce qui n'est pas suffisant pour fausser l'estimation des courants par la méthode géostrophique. Cela montre également qu'il

n'est pas possible de se fier uniquement aux moyennes verticales pour représenter la composante barotrope.

4.3 Transports nets

Les transports nets calculés à travers la section pour les différentes années sont présentés au tableau 4.1. Leur distribution complète le long de la section est présentée à l'annexe D et non dans ce chapitre par souci de concision. Comme il est possible de le constater, les transports varient beaucoup d'une année à l'autre, ce comportement était attendu vu la différence entre les sections. L'année 2007 (fig. D.19) sort du lot, encore une fois parce que les valeurs sont très fortes, notamment celle des transports volumiques, ce qui confirme l'unicité de cette année particulière. Pour l'année 1999 (fig. D.16), les transports nets sont directement comparables à ceux calculés par Rail (2005) et il est possible d'affirmer que les résultats sont semblables. Les transports volumiques présentés par Rail (2005) sont de $-0,95$ Sv pour la section, versus $-0,59$ Sv pour cette étude. Les transports d'eau douce sont sensiblement les mêmes ($-0,057$ pour Rail (2005) et $-0,053$ cette étude). La seule grosse différence se trouve dans les transports de chaleur nets, qui est de $-2,11$ (10^{12} W) pour Rail (2005) et de $0,71$ pour cette étude. L'explication possible de cette différence serait la présence d'une station beaucoup plus à l'est (vers le Groenland) dans cette étude qui n'a pas été retenue par Rail (2005) et dont le contenu en chaleur est très grand, assez pour occasionner une grosse différence dans le transport net de la section. D'ailleurs, celle-ci a été retiré afin de valider les transports obtenus, qui étaient encore plus semblables. Les valeurs de transports volumiques et d'eau douce nets sont également comparable aux valeurs présentées dans la littérature et répertoriées au chapitre 2. Après comparaison et examen, les valeurs ont été jugées valides et représentatives.

Sur les figures de transport (en annexe), il est possible de voir que les plus forts échanges s'effectuent presque qu'exclusivement en surface, plus précisément dans une couche allant de 0 à 50 mètres, dans la plupart des cas, mais pouvant s'étaler à 75 mètres pour certaines années (1979 ou 2008, figs. D.12 et D.20). Cela concerne surtout les transports volumiques et de chaleur. La présence de tourbillons, précédemment identifiés via les courants, est également visible dans les figures de transports, par de forts échanges contraires (positifs vs négatifs) sur une petite distance (comme 1963, fig. D.5). À partir de 1999 (fig. D.16), il y a des transports de chaleur positifs en profondeur, de plus en plus visible pour une profondeur allant de 150 à 300 mètres (surtout 2009, fig. D.21), ce qui

Tableau 4.2 – Transports nets calculés à travers la section sélectionnée pour chacune des années.

Année	Volume (Sv)	Chaleur (10^{12} W)	Eau douce (mSv)
2014	2,92	0,29	1,62
2013	-7,41	-1,04	-41,52
2010	-1,74	-0,63	-49,36
2009	5,07	0,45	4,75
2008	-4,34	-0,65	-54,30
2007	-3,91	-1,13	-90,24
2006	-1,18	-0,37	-22,72
2005	1,70	0,25	9,52
1999	0,71	-0,59	-52,67
1998	1,35	-0,02	-6,86
1997	6,83	0,92	31,33
1991	0,11	-0,05	-1,34
1986	2,08	0,32	9,24
1979	-1,82	-0,34	-9,01
1978	-1,08	-0,28	-7,82
1970	-3,17	-0,57	-16,62
1969	4,78	0,45	13,51
1968	0,24	-0,02	-14,33
1966	-3,60	-0,74	-18,14
1964	3,53	0,87	22,02
1963	2,97	0,31	1,42
1962	0,13	0,05	-1,28
1961	1,76	0,40	8,20
1957	-5,20	-0,90	-50,59
1952	3,83	0,23	6,20

semble suggérer que l'eau en direction nord, notamment transportée par le WGC, est plus chaude que celle du nord de la baie de Baffin, ce qui est logique. C'est toutefois l'ampleur de l'échange qui semble varier et, surtout, augmenter. Cela est d'ailleurs en accord avec les tendances identifiées dans la couche 200-400 mètres du côté du Groenland (section 4.5.1).

D'ailleurs, pour la plupart des sections, l'apport de chaleur s'effectue du côté du Groenland, surtout en surface, tandis que du côté de l'île d'Ellesmere, les transports sont généralement négatifs, indiquant donc que l'eau qui se dirige vers le sud est plus froide, d'origine arctique, que celle du nord de la baie de Baffin, qui sera donc refroidie. Les échanges restent tout de même variables d'une année à l'autre. Pour la section de référence de 1999 (fig. D.16), les structures visibles pourraient

être décrites comme classiques, avec un apport d'eau chaude du côté Groenland et le contraire du côté de l'île d'Ellesmere. En ce qui concerne le transport d'eau douce, les sections sont légèrement plus positives, indiquant un transport dominant vers le nord, donc un apport d'eau légèrement plus salée que celle du nord de la baie de Baffin. De manière générale, le comportement des transports d'eau douce est plus difficile à interpréter puisqu'il est plus uniforme. Par contre, certaines années exhibent des intrusions évidentes d'eau nettement moins salée, probablement d'origine arctique, comme par exemple en 1999 (fig. D.16) ou en 2010 (fig. D.22). En terme de variations mensuelles, peu de particularités ont été notées, excepté le fait que les échanges sont légers fin juillet, très fort en août et en septembre, puis beaucoup moins à la fin octobre. Parmi les années échantillonnées en septembre (1964, 1968, 1969, 1999, 2006 et 2008, fig. D.6, 8, 9, 16, 18 et 20) les échanges en surface semblent s'intensifier avec les années, comportement moins notable en août puisque les échanges sont trop forts en permanence. Cependant, un nombre plus grand d'années serait nécessaire afin de pouvoir tirer une conclusion plus précise sur ce comportement.

Toutes les années ne sont pas discutées puisque leur apparence est très uniforme, avec de petites valeurs oscillant autour de 0. C'est le cas de 1961, 1962 et 1978 (fig. D.3, 4, 11). Ces années ont en commun leur petit nombre de stations le long de la section, ce qui illustre la nécessité d'avoir le plus de stations possibles afin de bien illustrer les différentes structures composant la section. Certaines années, par contre, montrent des composantes particulièrement intéressantes:

- 1970, parce que les transports de chaleur sont majoritairement négatifs, sans apport de chaleur, un refroidissement serait donc très dominant en surface.
- 1979, avec des valeurs très fortes pour une couche 0-150 mètres, à des endroits qui ne sont pas nécessairement classiques.
- 1986, parce qu'une composante positive, pour tous les transports calculés, est nettement visible, en plein milieu de la section.
- 2007 et 2008, pour leurs valeurs extrêmement fortes pour tous les transports.
- 2013, puisque ce sont des transports de chaleur négatifs qui dominant en surface, contrairement aux autres années pour le mois d'août.

D'ailleurs, quatre de ces années (1979, 1986, 2007 et 2013) correspondent, comme le mentionnent Munchow et al. (2015), à des épisodes d'eau froide et à des NAO annuels positifs, respectivement 0,14, 0,50, 0,17 et 0,21. Finalement, les différents résultats illustrent bien la variabilité des transports le long de la section, même si des comportements dominants restent identifiables. Les transports

en nutriments ont également été calculés via les moyennes de couches mais ne sont pas présentés individuellement dans le cadre de cette étude parce que ceux-ci ne sont disponibles que par secteurs et couches, en plus du fait que la résolution, autant verticale qu'horizontale n'est pas suffisante pour une analyse aussi détaillée que celle des transports de chaleur ou d'eau douce. Les calculs de tendances sur les transports de nutriments ont tout de même été faits à des fins exploratoires et sont présentés au chapitre 5.

4.3.1 Simulations numériques

À partir des courants totaux perpendiculaires à la section fournis par le modèle numérique pour la section de référence du 76,5^{ième} parallèle nord, les transports volumiques totaux ont également pu être calculés le long de la section, ainsi que pour chaque secteur. Il a été mentionné précédemment que les dernières positions à l'est et à l'ouest des valeurs de courants fournis par le modèle ne sont pas exactement aux mêmes endroits que celles de la section de référence choisie. Cela a été considéré dans le calcul et l'analyse des valeurs sectorielles. De plus, la petite portion supplémentaire couverte au niveau des côtes à l'est et à l'ouest est très intéressante puisqu'elle permet d'estimer la valeur du transport volumique qui n'est pas prise en compte dans les calculs à partir de l'échantillonnage, qui ne serait pas effectué jusqu'à la côte. Ce qui est d'ailleurs presque toujours le cas, puisque la glace empêche généralement la prise de mesure aussi près des côtes. Qui plus est, avoir une idée des valeurs de transports volumiques mensuels et annuels est pertinent dans le cadre de cette étude, pour discuter de leur variabilité annuelle. Finalement, ces calculs permettent également de confirmer les comportements observés via l'estimation des transports par les courants baroclines, comme par exemple les transports majoritairement vers le sud du côté de l'île d'Ellesmere ou ceux fortement positifs en été du côté du Groenland.

Les transports volumiques moyens et mensuels pour la section complète ainsi que pour chacun des mois de l'année, avec les composantes positives et négatives, sont présentés dans le tableau 4.3. Comme la section de référence a été séparée en secteurs, la même séparation a été appliquée aux résultats du modèle numérique et les transports volumiques résultants, par secteurs et par mois, sont présentés au tableau 4.4. Les transports moyen mensuels varient très peu d'un mois à l'autre, les plus grandes valeurs sont observables, sans surprise, d'août à novembre, avec une augmentation des composantes positives et négatives pour la même période, avec un maximum visible en septembre

(0,96 Sv et -2,04 Sv). En terme de secteurs, les transports moyens sont majoritairement négatifs et diminuent tranquillement vers l'est (secteur Groendland). D'ailleurs, dans ce secteur, les transports sont significativement positifs pour les mois d'août à novembre, tandis que les valeurs sont plus équilibrées pour les autres mois, voir même aussi grande que pour les secteurs Ellesmere pour les mois de mars à juillet.

Tableau 4.3 – Transports volumiques nets mensuels calculés à partir du modèle numérique à travers la section de référence.

Mois	Transport Volumique Net (Sv)	Transport Volumique Net positif (Sv)	Transport Volumique Net négatif (Sv)
Janvier	-0,91	0,26	-1,17
Février	-0,91	0,31	-1,22
Mars	-0,91	0,31	-1,23
Avril	-0,91	0,35	-1,26
Mai	-0,90	0,32	-1,22
Juin	-0,91	0,40	-1,31
Juillet	-0,95	0,54	-1,49
Août	-1,03	0,73	-1,76
Septembre	-1,08	0,96	-2,04
Octobre	-1,09	0,75	-1,83
Novembre	-1,00	0,51	-1,52
Décembre	-0,94	0,32	-1,26

Grâce au fait que les positions des points de référence à l'extrémité de la section, de chaque côté, sont plus près des côtes que pour la section de référence, il est clair qu'une partie des transports n'est pas prise en compte. Afin de déterminer quel pourcentage des valeurs de transport est perdu dans ces régions rarement échantillonnées, les transports ont été calculés pour ces régions exclusivement et comparés aux valeurs totales des transports pour le secteur. Les résultats sont présentés dans les tableaux 4.6 et 4.7. Comme les secteurs C1 et C2 sont souvent bien représentés lors de campagne océanographique, ils ne font pas parti des calculs. Dans le cas du secteur Ellesmere, le transport volumique de la partie non-échantillonnée représente de 10 à 30% de la valeur totale des transports volumiques de la section, avec un pourcentage (et un impact) plus important en hiver puisque les transports volumiques sont moins importants, donc toute omission dans les calculs est significative. Dans le secteur Groendland, les transports nets étant plus petits que ceux du secteur Ellesmere en hiver, l'impact de la région non échantillonnée est encore plus grand que dans le secteur Ellesmere,

Tableau 4.4 – Transports volumiques nets mensuels calculés à partir du modèle numérique pour chacun des secteurs de la section de référence.

Mois	Ellesmere (Sv)	C1 (Sv)	C2 (Sv)	Groendland (Sv)
Janvier	-0,30	-0,47	-0,14	-0,01
Février	-0,30	-0,38	-0,08	-0,15
Mars	-0,32	-0,35	-0,05	-0,29
Avril	-0,34	-0,31	-0,05	-0,20
Mai	-0,34	-0,29	-0,11	-0,16
Juin	-0,37	-0,33	-0,12	-0,09
Juillet	-0,36	-0,34	-0,23	-0,02
Août	-0,35	-0,63	-0,49	0,44
Septembre	-0,46	-0,89	-0,53	0,80
Octobre	-0,57	-0,64	-0,43	0,56
Novembre	-0,45	-0,62	-0,21	0,28
Décembre	-0,38	-0,51	-0,13	0,07

Tableau 4.5 – Transports volumiques nets positifs et négatifs mensuels calculés à partir du modèle numérique pour les secteurs Ellesmere et Groendland.

Mois	Ellesmere positif (Sv)	Ellesmere négatif (Sv)	Groendland positif (Sv)	Groendland négatif (Sv)
Janvier	0,04	-0,34	0,14	-0,15
Février	0,05	-0,35	0,11	-0,26
Mars	0,04	-0,36	0,08	-0,37
Avril	0,06	-0,40	0,13	-0,33
Mai	0,04	-0,39	0,18	-0,34
Juin	0,04	-0,42	0,25	-0,34
Juillet	0,04	-0,39	0,38	-0,40
Août	0,06	-0,41	0,60	-0,17
Septembre	0,05	-0,51	0,88	-0,09
Octobre	0,04	-0,60	0,69	-0,14
Novembre	0,03	-0,48	0,42	-0,14
Décembre	0,03	-0,41	0,21	-0,15

en plus du fait que les transports de la partie manquante sont souvent positifs, et parfois de 2 à 5 fois plus grands que le transport net du secteur (mois de juillet et de janvier surtout). La région non échantillonnée rassemble des valeurs manquantes dans la somme des transports allant de 1 à

50% (moyenne de 37%) de la valeur du transport net du secteur. Il va sans dire que ces résultats, en plus d'être une surprise quant à leur importance, sont à considérer dans l'estimation des valeurs de transport. Les valeurs particulièrement élevées de janvier et juillet ne sont pas explicables dans le cadre de cette étude.

Tableau 4.6 – Transports volumiques nets mensuels calculés à partir du modèle numérique à travers le secteur Ellesmere et de la partie non-échantillonnée du secteur.

Mois	Transports Nets (Sv)	Transports Nets non-échantillonnés(Sv)
Janvier	-0,30	-0,10
Février	-0,30	-0,10
Mars	-0,32	-0,09
Avril	-0,34	-0,07
Mai	-0,34	-0,06
Juin	-0,37	-0,09
Juillet	-0,36	-0,07
Août	-0,35	-0,11
Septembre	-0,46	-0,06
Octobre	-0,57	-0,11
Novembre	-0,45	-0,10
Décembre	-0,38	-0,10

Tableau 4.7 – Transports volumiques nets mensuels calculés à partir du modèle numérique à travers le secteur Groenland et de la partie non-échantillonnée du secteur.

Mois	Transports Nets (Sv)	Transports Nets non-échantillonnés(Sv)
Janvier	-0,01	0,03
Février	-0,15	0,01
Mars	-0,29	0,00
Avril	-0,20	-0,01
Mai	-0,16	-0,01
Juin	-0,09	0,02
Juillet	-0,02	0,06
Août	0,44	0,08
Septembre	0,80	0,13
Octobre	0,56	0,08
Novembre	0,28	0,05
Décembre	0,07	0,03

4.3.2 Transports de nutriments

Cette section est consacrée à la présentation des transports de nutriments. Leurs valeurs sont présentées sous forme de tableaux afin de faciliter leur comparaison avec la littérature ainsi que pour faciliter leur utilisation directe dans le cadre de modélisation, ce qui n'aurait pas été possible sous forme de graphique. Ceux-ci ont été calculés à partir des moyennes sectorielles et des transports volumiques sectoriels. Ils représentent une estimation des transports de nutriments de la surface jusqu'à 200 mètres, puisque l'activité biologique y est localisée. Les tableaux 4.8-4.9, 4.10-4.11 et 4.12-4.13 présentent respectivement les transports de nutriments en fonction des secteurs, pour chacune des années. Pour chacune de celles-ci, chaque ligne représente une couche. Ainsi, les valeurs de la couche 0-50 m sont présentées sur la première ligne, suivi de celles pour la couche 50-100 m et finalement celles de 100-200 m. La mention ND signifie qu'aucune donnée n'était disponible pour les calculs ou que leur nombre n'était pas suffisant, comme pour les moyennes sectorielles de la concentration des différents nutriments. En somme, en ce qui concerne les transports de silicate, les transports les plus forts sont surtout localisés dans la couche 50-100 mètres. Ils sont plus élevés du côté ouest (Ellesmere). Il est également possible de constater une tendance à augmenter en fonction de la profondeur du côté est, surtout dans le secteur Groenland. Les valeurs des

transports de phosphates sont plus uniformes, il y a moins d'augmentation brusque d'une couche à l'autre. Les transports les plus élevés sont surtout visibles dans la couche de surface (0-50 mètres). Fait intéressant, il semble que pour les années 1999 et moins, les transports soient plus grands du côté est (Groenland), tandis que pour les années 2000 et plus, ce soit plus du côté ouest (Ellesmere). Finalement, pour les transports de nitrates, les plus fortes valeurs sont visibles dans la couche 50-100 mètres, avec des valeurs plus fortes en surface du côté ouest et plus en profondeur du côté est. Qui plus est, les valeurs très élevées des autres paramètres physiques et biologiques pour 2006 et 2007 ne sont pas vraiment visibles dans celles des transports de nutriments.

Tableau 4.8 – Transports de silicate nets à travers la section calculés à partir des moyennes sectorielles, pour chaque secteur, de 1963 à 1999 et pour les trois couches de surface : 0-50m, 50-100, 100-200m. ND signifie que l'information n'est pas disponible.

Année	Ellesmere (kmol/s)	C1 (kmol/s)	C2 (kmol/s)	Groendland (kmol/s)
1963	6,6	-49,9	12,3	9,2
	9,1	-51,5	23,5	13,2
	6,7	-36,1	32,5	13,5
1968	-19,3	-28,7	ND	ND
	-18,3	-12,9	ND	ND
	ND	22,6	ND	ND
1978	ND	ND	10,2	ND
	ND	ND	9,1	ND
	ND	ND	6,5	ND
1997	-17,5	-17,7	ND	32,8
	-44,8	-27,8	ND	80,5
	-53,0	-32,8	ND	106,9
1998	-4,8	-19,7	ND	19,0
	-13,2	-33,4	ND	40,2
	-19,8	-23,5	ND	61,8
1999	-55,4	-44,9	-1,5	19,9
	-74,8	-42,3	-3,0	31,2
	-24,8	-24,0	-0,7	26,2

Tableau 4.9 – Transports de silicate nets à travers la section calculés à partir des moyennes sectorielles, pour chaque secteur, de 2005 à 2013 et pour les trois couches de surface : 0-50m, 50-100, 100-200m. ND signifie que l'information n'est pas disponible.

Année	Ellesmere (kmol/s)	C1 (kmol/s)	C2 (kmol/s)	Groendland (kmol/s)
2005	-12,9	-25,9	17,3	42,7
	-11,9	-38,4	15,3	51,8
	-8,4	-29,3	15,9	73,5
2006	2,3	-39,9	-2,4	0,2
	0,1	-53,5	8,8	-3,2
	-6,3	-26,1	10,2	4,7
2007	-83,2	-52,4	-0,3	9,6
	-13,9	-17,8	-2,1	34,3
	-22,2	-26,4	-2,9	50,99
2008	-16,2	-19,2	-26,7	7,4
	-55,7	-21,4	-28,4	33,44
	-23,0	-17,9	-15,3	38,8
2009	ND	-7,1	-8,5	59,2
	ND	-19,1	3,1	90,1
	ND	-13,1	5,1	96,6
2010	ND	-100,5	-32,8	14,1
	ND	-59,7	-21,7	20,0
	ND	-14,5	-18,5	21,8
2013	-8,8	-62,5	-27,5	0,4
	-18,7	-90,3	-24,3	1,8
	-7,6	-50,1	-10,0	-0,8

Tableau 4.10 – Transports de phosphate nets à travers la section calculés à partir des moyennes sectorielles, pour chaque secteur, de 1963 à 1999 et pour les trois couches de surface : 0-50m, 50-100, 100-200m. ND signifie que l'information n'est pas disponible.

Année	Ellesmere (kmol/s)	C1 (kmol/s)	C2 (kmol/s)	Groendland (kmol/s)
1963	1,0	-7,6	2,3	2,0
	1,2	-5,5	2,7	1,8
	0,7	-3,5	2,6	1,3
1968	-1,8	-2,1	ND	ND
	-1,2	-0,8	ND	ND
	ND	1,4	ND	ND
1978	ND	ND	2,2	ND
	ND	ND	1,3	ND
	ND	ND	0,7	ND
1997	-2,8	-2,0	ND	6,4
	-3,3	-2,1	ND	7,5
	-2,9	-1,9	ND	7,8
1998	-0,4	-2,1	ND	3,8
	-0,9	-2,0	ND	4,9
	-1,4	-1,9	ND	5,5
1999	-8,2	-2,8	-0,1	1,8
	-5,6	-2,6	-0,1	2,0
	-1,6	-1,3	0,00	1,5

Tableau 4.11 – Transports de phosphate nets à travers la section calculés à partir des moyennes sectorielles, pour chaque secteur, de 2005 à 2013 et pour les trois couches de surface : 0-50m, 50-100, 100-200m. ND signifie que l'information n'est pas disponible.

Année	Ellesmere (kmol/s)	C1 (kmol/s)	C2 (kmol/s)	Groendland (kmol/s)
2005	-2,6	-3,8	2,3	7,6
	-1,5	-3,9	1,6	7,3
	-0,8	-2,5	1,3	7,0
2006	0,3	-5,3	-0,2	0,0
	0,0	-4,9	0,8	-0,4
	-0,6	-2,0	0,8	0,4
2007	-14,2	-9,0	0,0	1,3
	-1,9	-1,8	-0,2	3,3
	-2,1	-2,2	-0,2	4,0
2008	-6,5	-4,8	-4,0	1,4
	-5,8	-3,3	-3,0	3,4
	-1,9	-2,4	-1,4	3,4
2009	ND	-0,5	-0,6	5,0
	ND	-1,2	0,2	7,1
	ND	-0,8	0,3	6,6
2010	ND	-12,2	-3,7	1,9
	ND	-6,1	-2,0	2,0
	ND	-1,3	-1,5	1,9
2013	-2,3	-8,0	-3,5	0,1
	-1,9	-7,3	-2,3	0,2
	-0,6	-4,0	-0,8	-0,1

Tableau 4.12 – Transports de nitrate nets à travers la section calculés à partir des moyennes sectorielles, pour chaque secteur, de 1963 à 1999 et pour les trois couches de surface : 0-50m, 50-100, 100-200m. ND signifie que l'information n'est pas disponible.

Année	Ellesmere (mmol/s)	C1 (mmol/s)	C2 (mmol/s)	Groendland (mmol/s)
1963	3,4	-25,9	10,4	6,2
	7,7	-35,7	22,4	11,4
	4,9	-29,4	25,5	11,1
1968	-4,7	-12,6	ND	ND
	-7,5	-7,4	ND	ND
	ND	17,5	ND	ND
1978	ND	ND	10,1	ND
	ND	ND	8,4	ND
	ND	ND	6,0	ND
1997	-9,2	-15,1	ND	27,1
	-29,8	-25,8	ND	64,5
	-36,6	-28,1	ND	84,9
1998	-2,4	-10,9	ND	23,0
	-6,7	-17,4	ND	45,3
	-13,2	-17,2	ND	59,8
1999	-25,8	-47,4	-1,1	19,2
	-43,2	-37,7	-2,8	37,0
	-16,9	-17,8	-0,6	27,2

Tableau 4.13 – Transports de nitrate nets à travers la section calculés à partir des moyennes sectorielles, pour chaque secteur, de 2005 à 2013 et pour les trois couches de surface : 0-50m, 50-100, 100-200m. ND signifie que l'information n'est pas disponible.

Année	Ellesmere (mmol/s)	C1 (mmol/s)	C2 (mmol/s)	Groendland (mmol/s)
2005	-4,8	-14,2	11,6	9,2
	-7,7	-31,0	13,9	32,2
	-7,3	-26,4	14,2	61,5
2006	1,3	-25,6	-1,7	0,4
	0,1	-39,7	7,1	-4,4
	-5,3	-21,7	9,9	5,4
2007	-28,2	-31,2	-0,2	6,9
	-7,7	-11,5	-1,4	24,4
	-17,2	-17,1	-1,7	34,0
2008	-5,5	-9,9	-22,2	13,6
	-18,4	-15,4	-29,3	46,7
	-9,9	-16,8	-17,3	54,8
2009	ND	-5,1	-7,3	68,6
	ND	-14,4	2,8	96,8
	ND	-9,7	4,5	94,6
2010	ND	-88,5	-31,7	18,1
	ND	-55,0	-22,9	23,9
	ND	-14,9	-19,0	24,1
2013	-6,2	-39,4	-20,6	0,4
	-12,3	-58,3	-21,9	2,0
	-5,9	-42,5	-9,5	-0,7

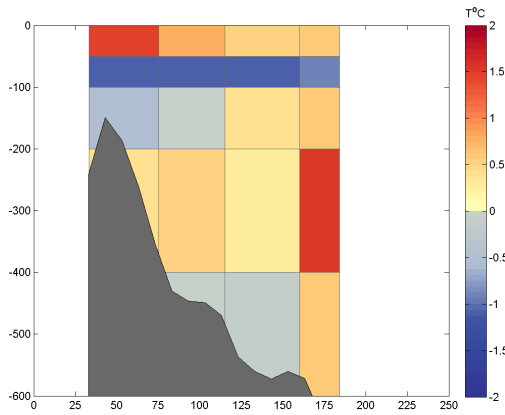
À titre comparatif, les transports nets pour l'année 1999, celle de référence, ont été comparés aux transports nets vers le sud présentés par Torrès-Valdès et al. (2013) à travers le détroit de

Davis. Les transports de nutriments ont été additionnés pour obtenir le transport net à travers la section pour une colonne d'eau de 0 à 200 mètres. Pour le silicate, le transport net en surface au niveau du nord de la baie de Baffin est de $-194,1 \text{ kmol s}^{-1}$ versus $-42,9 \text{ kmol s}^{-1}$ dans le détroit de Davis. En ce qui concerne le phosphate, les transports nets à travers la section est de $-16,8 \text{ kmol s}^{-1}$ versus $-3,7 \text{ kmol s}^{-1}$ au niveau du détroit de Davis. Finalement, pour le transport de nitrate à travers la section, il est de $-109,9 \text{ kmol s}^{-1}$ versus $-31,3 \text{ kmol s}^{-1}$ au détroit de Davis. Ainsi, les transports nets obtenus au niveau du nord de la baie de Baffin sont clairement dirigés vers le sud et plus grands que ceux estimés par Torrès-Valdès et al. (2013) au niveau du détroit de Davis. Dans le cadre de cette étude, seuls les 200 premiers mètres étaient considérés, versus toute la colonne d'eau jusqu'à presque 1000 mètres au niveau du détroit de Davis, ce qui peut expliquer une partie des différences. Qui plus est, l'aire de la section au niveau du détroit de Davis est nettement plus grande que celle de cette étude et subie directement l'influence du courant du Groenland ouest, qui balance le transport net vers le sud, ce qui n'est pas vraiment le cas au niveau du nord de la baie de Baffin, où un faible transport vers le nord est observé. Compte tenu des différences entre les deux études, les transports de nutriments estimés semblent raisonnables.

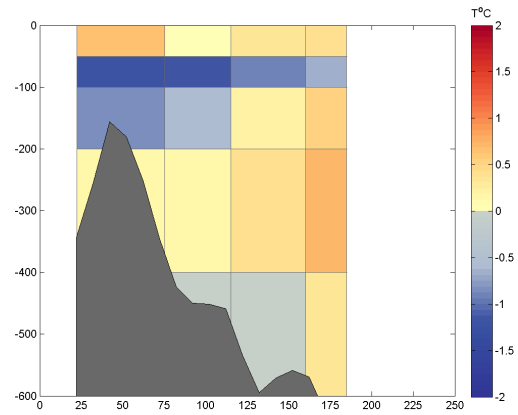
4.4 Moyenne sectorielles

4.4.1 Température

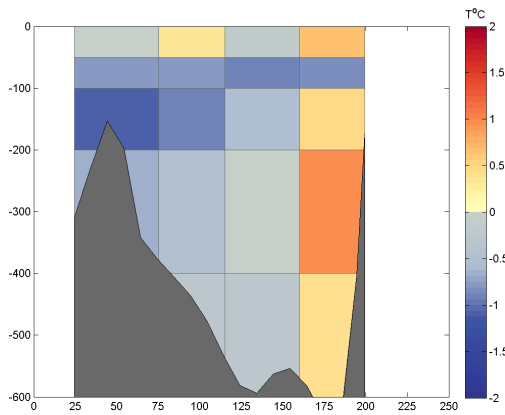
Les moyennes sectorielles de température ont permis d'identifier différentes masses d'eau, dont une couche d'eau arctique, de manière évidente dans la couche 50 - 100 mètres au début (2014) et au milieu (2013) du mois d'août et ce, peu importe les températures de la couche de surface (fig. 4.6). Elle est également visible au milieu du mois de septembre (2006) ainsi qu'au milieu octobre (2010) même si la couche de surface semble devenir plus froide elle aussi (fig. 4.6). L'ajout de cette couche a été judicieuse vu son comportement distinctif, qui aurait été moins visible pour une couche 50 - 200 mètres comme l'on fait plusieurs autres études.



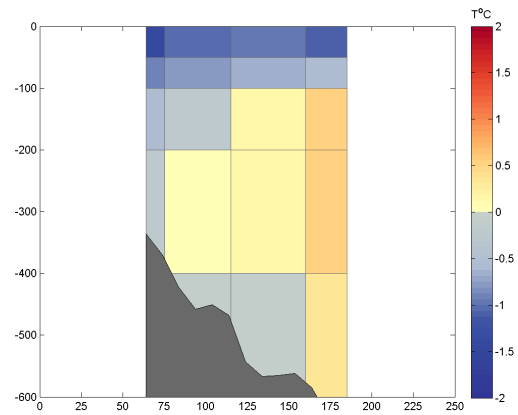
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 4.6 – Moyennes sectorielles de la température en 2014 (a), en 2013 (b), en 2006 (c) et en 2010 (d). L'axe horizontal représente la distance (km) par rapport à la côte ouest et l'axe vertical, la profondeur (m).

Les figures 4.7 et 4.8 présentent les moyennes sectorielles de la température en ordre temporel, soit de la fin juillet (2014)(fig. 4.5) à la fin octobre (2009) (fig. 4.6). Les moyennes permettent cet examen puisqu'elles illustrent mieux les structures sur une plus grande surface, tout en étant limitées spatialement, mais pour les mêmes secteurs. Les moyennes illustrent d'ailleurs quelques changements intéressants dans les couches d'eau. En effet, en commençant par 2014, échantillonnée à la fin juillet et au début d'août, il est tout de suite possible d'identifier une intrusion d'eau chaude dans la couche 200-400 mètres dans le secteur Groenland et une couche arctique de 50 à 100 mètres qui se distingue des autres, tous secteurs compris. Fait étonnant, il y a également de l'eau plus chaude dans le secteur Ellesmere, en surface. Toutefois, comme la saison estivale est commencée à cette période, il n'est pas impossible que la fonte en soit responsable puisque cette cellule est également accompagnée d'une salinité légèrement au-dessus de 32,5, ce qui est peu. Au milieu août (2013), contrairement à ce qui était attendu, l'intrusion d'eau plus chaude (plus de 2°C) semble moins importante et majoritairement localisée dans la couche 200-400 mètres. La couche arctique est encore très visible et la couche saisonnière reste plutôt chaude. Ce léger refroidissement semble se poursuivre à la fin août (1986), où toutes les couches, de 50 à 600 mètres exhibent des températures sous 0°C. Seule la couche saisonnière reste légèrement chaude. Toutefois, comme cette section ne couvre que les secteurs C1 et C2, il est impossible de savoir comment le secteur Groenland réagit. Ce comportement semble toutefois changer à partir du milieu septembre (pas de données avant le 12) puisque l'intrusion d'eau chaude semble légèrement reprendre de la vigueur jusqu'à être très évidente à la fin septembre (2007), toujours majoritairement visible dans la couche 200-400 mètres du secteur Groenland (également visible en 1969). La couche de surface se réchauffe également, surtout dans les secteurs C2 et Groenland, probablement grâce au rayonnement solaire vu que la couverture de glace devient minimale. Il est d'ailleurs plus évident avec les moyennes sectorielles que les températures sont toujours plus froides du côté de l'île d'Ellesmere, surtout de 50 à 200 mètres dans les secteurs Ellesmere et C1. Un nouveau refroidissement est visible au milieu (2010) et à la fin du mois d'octobre (2009), la couche de surface devient plus froide, l'eau chaude en profondeur frôle plus ou moins le 0°C, tout en étant un peu plus chaude à la fin du mois. Le refroidissement observé est normal au mois d'octobre puisque la saison estivale est terminée et l'automne commence (Tang et al. (2004)).

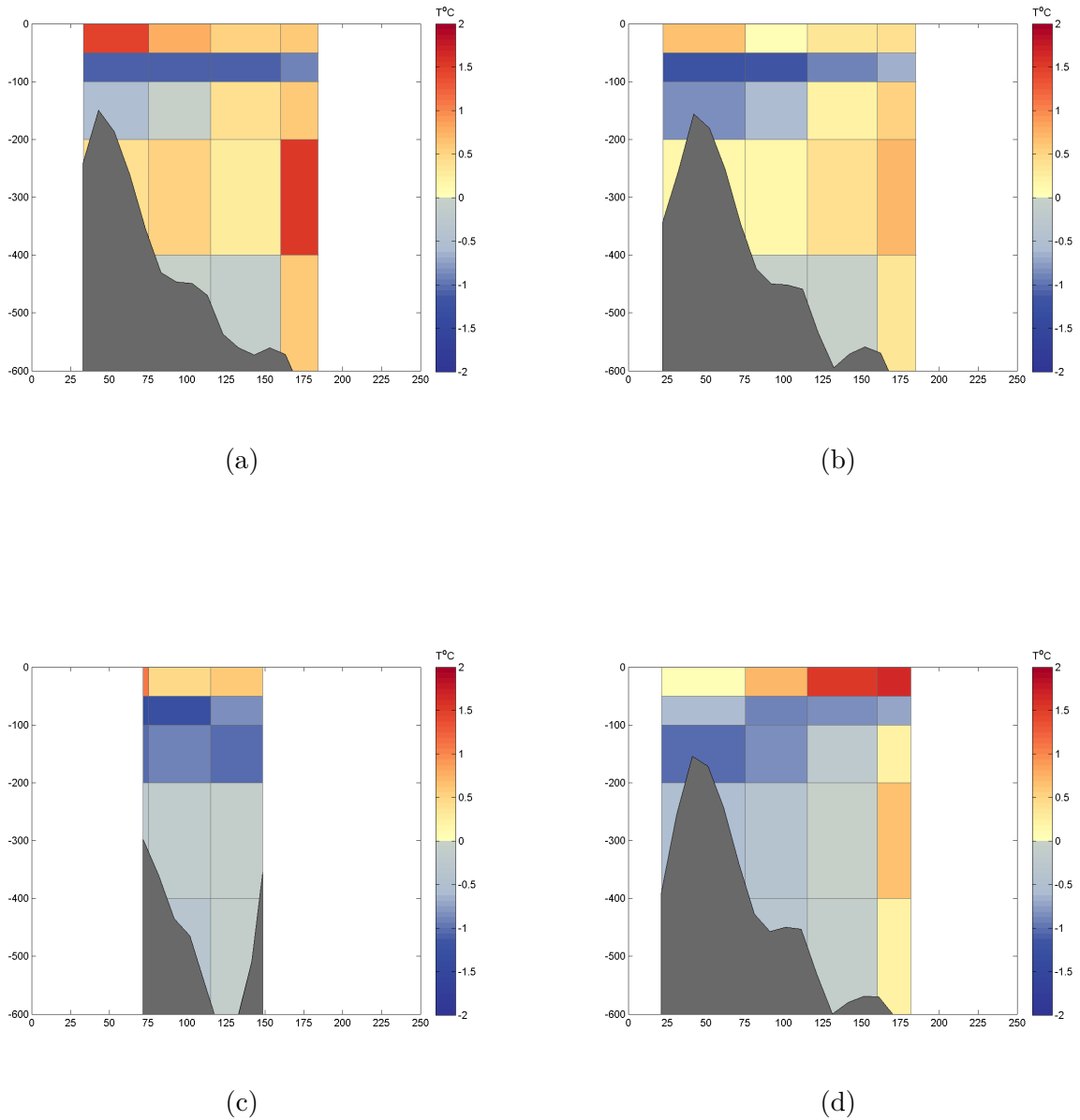


Figure 4.7 – Moyennes sectorielles de la température en 2014 (a), en 2013 (b), en 1986 (c) et en 2008 (d). L'axe horizontal représente la distance (km) par rapport à la côte ouest et l'axe vertical, la profondeur (m).

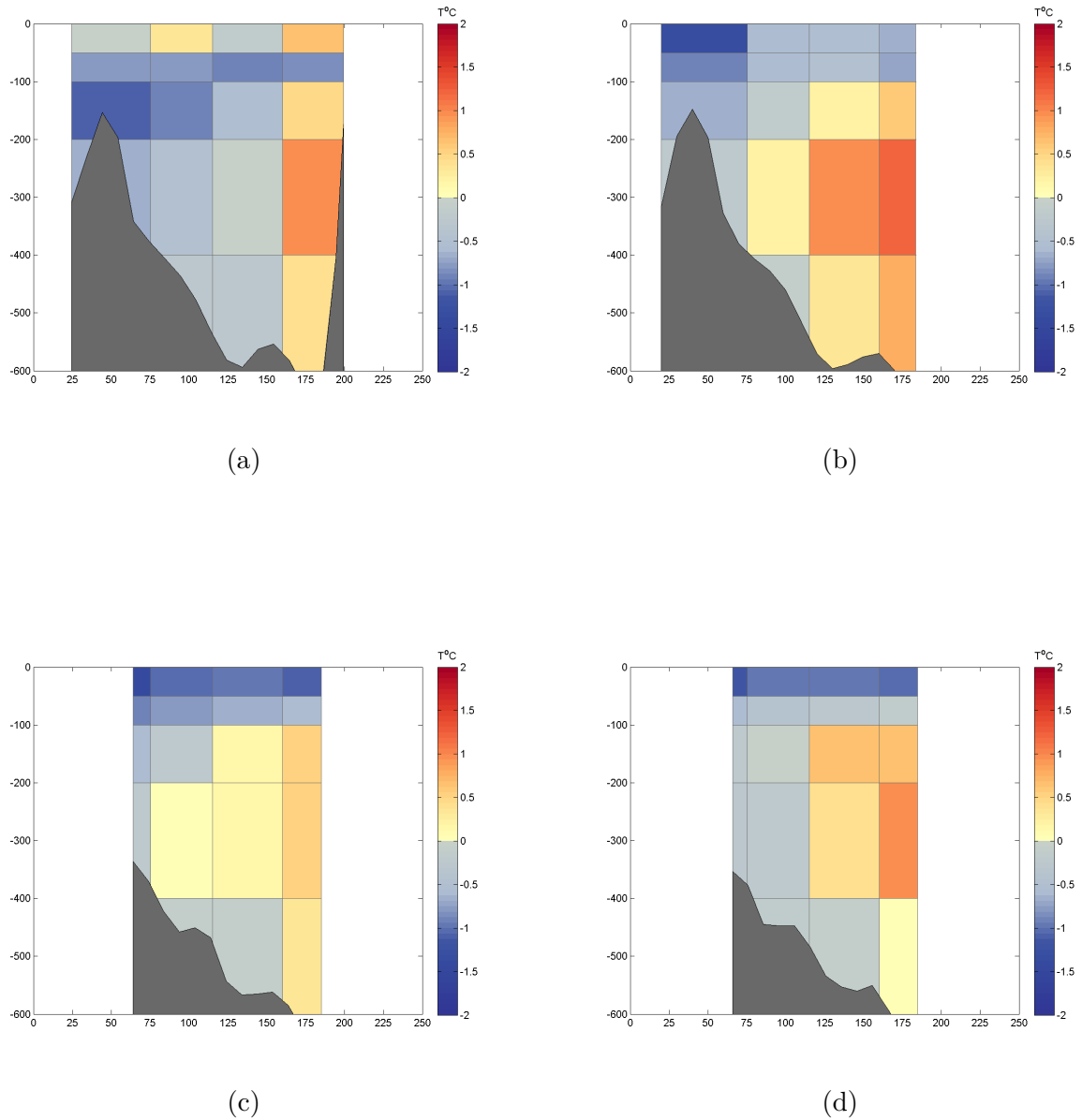


Figure 4.8 – Moyennes sectorielles de la température en 2006 (a), en 2007 (b), en 2010 (c) et en 2009 (d). L'axe horizontal représente la distance (km) par rapport à la côte ouest et l'axe vertical, la profondeur (m).

4.4.2 Salinité

Les moyennes sectorielles de salinité (figs. 4.9 et 4.10) ont des structures différentes de celles de la température, notamment en ce qui concerne la variabilité des valeurs d'un secteur ou d'une couche à l'autre, qui est nettement moins importante que pour les températures. D'ailleurs, la couche arctique, bien qu'identifiable, est moins apparente que sur les moyennes de température. Certaines années, comme 2014, ne montrent qu'un dégradé léger entre les différentes couches, indiquant peu de variabilité entre les différentes couches, ce qui n'était pas le cas pour la température. Il est tout de même possible de faire quelques observations, comme, par exemple, les très faibles salinités qui accompagnent les températures très basses observées en surface en 2007 et 2008. Les deux caractéristiques étant liées il s'agit probablement d'un apport plus grand d'eau en provenance de l'arctique. La structure générale des moyennes suit la distribution des couches d'eau précédemment discutée : de l'eau moins salée en surface, dans une couche saisonnière influencée par la fonte, puis une augmentation plus ou moins graduelle (selon les années) de la salinité, pour atteindre des valeurs maximales en profondeur, généralement à partir de 200 mètres, celles-ci étant caractéristiques de la présence d'eau atlantique. Outre cela, il y a trois types de distributions observables : une gradation légère de la salinité entre les couches (2014 ou 2009), une gradation plus forte accompagnée d'un ou de plusieurs minimums de salinité, plus ou moins grands, dans les secteurs Ellesmere et C1, pour les couches de surface (< 100 mètres)(2006, 2013, 1999 ou 2007) et finalement, une gradation plus ou moins graduelle avec des structures plus hétéroclites dans différents secteurs (2005 ou 1961). Temporellement, il est possible de constater que l'apparition d'une gradation moins uniforme et de plus faible salinité en surface, principalement dans les secteurs Ellesmere et C1, se produit en pleine saison estivale, du milieu d'août à la fin septembre, tandis qu'une faible augmentation de la salinité entre les différentes couches, tous secteurs confondus, n'est visible seulement qu'au début et à la fin de l'été (respectivement 2014 et 2009).

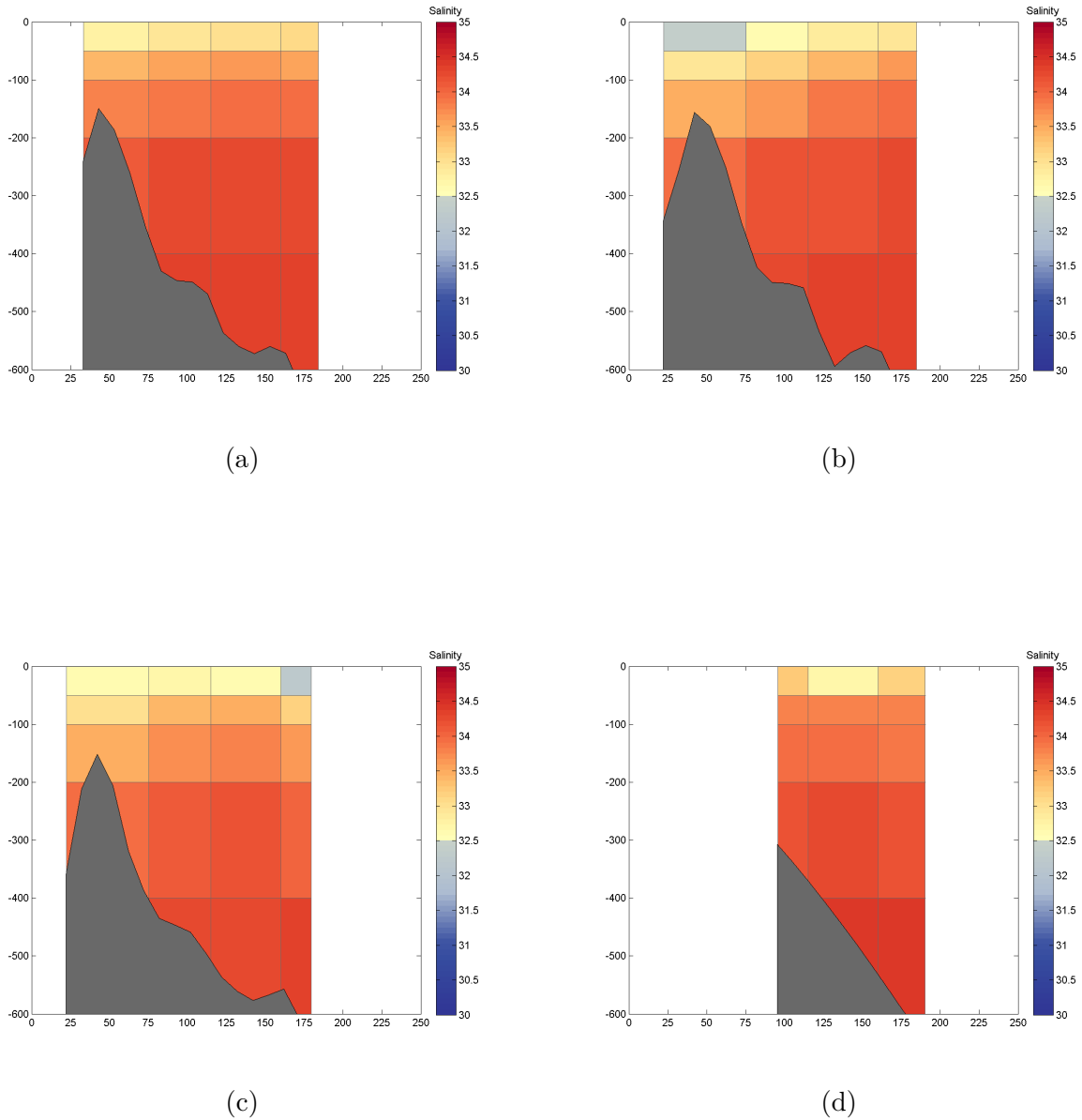


Figure 4.9 – Moyennes sectorielles de la salinité en 2014 (a), en 2013 (b), en 2005 (c) et en 1961 (d). L'axe horizontal représente la distance (km) par rapport à la côte ouest et l'axe vertical, la profondeur (m).

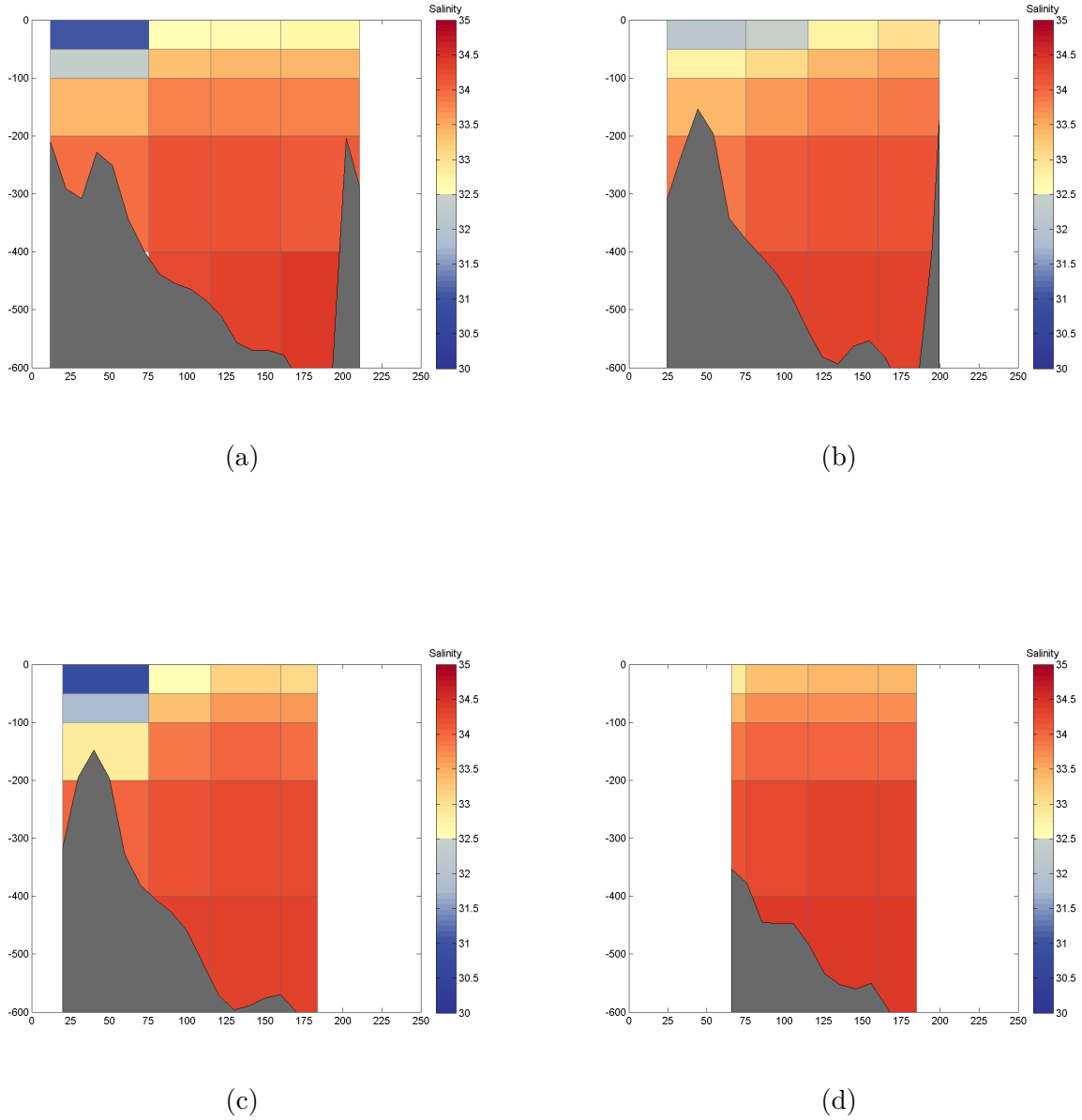


Figure 4.10 – Moyennes sectorielles de la salinité en 1999 (a), en 2006 (b), en 2007 (c) et en 2009 (d). L'axe horizontal représente la distance (km) par rapport à la côte ouest et l'axe vertical, la profondeur (m).

4.4.3 Nutriments

Dans cette section, les moyennes sectorielles et les contours des nutriments ont été examinés simultanément afin de décrire le mieux possible l'évolution des distributions horizontales et verticales, tout en tenant compte de l'activité biologique pour cette période. Les années ayant été conservées s'étendent de 1963 à 2013, couvrant une période du début juillet à la fin octobre. Les années 2007 et 1978 ont cependant été laissées de côté pour cette analyse qualitative. En effet, l'année 2007 (fig. E.18) exhibe de fortes concentrations pour tous les paramètres physiques, ce qui rend l'interprétation temporelle de ces valeurs impossible par rapport aux autres années. L'année 1978 (fig. E.5 et E.6), quant à elle, montre des distributions dans les concentrations en nutriments trop différentes des autres années pour un même moment d'échantillonnage. Sans détails sur la méthode d'échantillonnage, il est impossible d'ignorer cette possibilité. Il a donc été préférable de ne pas l'inclure dans l'analyse qualitative des distributions des nutriments. Toutefois, toutes les années ont été utilisées dans le calcul des tendances, puisqu'il doit inclure les oscillations naturelles. Les moyennes sectorielles et les contours des concentrations pour les différents nutriments de toutes les années présentées à l'annexe E. Qui plus est, les concentrations maximales (tableau 4.14) et minimales (tableau 4.15) rencontrées dans les jeux de données pour chaque année et pour chacun des nutriments sont présentées afin d'illustrer la plage des valeurs couvertes par les données.

Tableau 4.14 – Concentrations maximales observées le long de la section pour chaque nutriment et chaque année.

Année	Silicate (mmol/m ³)	Phosphate (mmol/m ³)	Nitrate (mmol/m ³)
2013	23,97	1,30	14,74
2010	19,77	1,17	15,22
2009	20,58	1,20	16,99
2008	36,21	2,16	20,41
2007	51,68	2,05	18,98
2006	23,32	1,27	18,46
2005	28,38	1,34	17,30
1999	39,00	1,25	16,95
1998	30,71	1,39	15,30
1997	28,58	1,19	16,49
1978	21,81	1,80	14,76
1968	16,96	1,54	13,95
1963	22,00	1,28	15,50

Tableau 4.15 – Concentrations minimales observées le long de la section pour chaque nutriment et chaque année.

Année	Silicate (mmol/m ³)	Phosphate (mmol/m ³)	Nitrate (mmol/m ³)
2013	0,33	0,21	0,21
2010	2,21	0,48	0,61
2009	4,56	0,36	2,20
2008	0,00	0,05	0,21
2007	0,53	0,49	0,08
2006	0,56	0,24	0,08
2005	0,61	0,39	0,09
1999	0,85	0,09	0,01
1998	0,78	1,04	9,46
1997	0,38	0,22	0,05
1978	0,88	0,82	0,15
1968	1,00	0,10	0,00
1963	0,00	0,24	0,00

Silicate

Les concentrations de silicate vont de 0 à 50 μMol , avec l'année 2007 (E.18) qui montre des concentrations particulièrement fortes comparativement aux autres années. Les moyennes sectorielles illustrent une bonne concentration de silicate en profondeur (200 m et plus) ainsi qu'en surface au début juillet (1998) du côté de l'île d'Ellesmere. Ce n'est pas la même chose côté Groenland, où les concentrations sont déjà pratiquement nulles. Au début août (1963, fig. E.2), le silicate est épuisé en surface (0-200 m) et leur quantité est variable plus en profondeur, ce qui semble toutefois se stabiliser et se stratifier plus clairement au milieu août (2005, 2013, fig. E.14 et E.26). Déjà, à la fin août, les concentrations en profondeur (plus de 200 m) sont en forte hausse. En surface (0-50m), toutefois, les concentrations restent très basses. Fait intéressant, la couche 50-100 m a un comportement intermédiaire entre la surface et les profondeurs, un peu de la même manière qu'avec les moyennes sectorielles de température. Au milieu septembre (1999, 2006, 2008 fig. E.12, 16 et 20), il semble que les distributions soient variables d'une année à l'autre. Les trois années n'illustrent pas les mêmes distributions, même pour un échantillonnage variant de seulement quelques jours, sauf pour la surface, où de faibles concentrations sont toujours visibles. Il y a un changement notable entre septembre et octobre, les concentrations sous les 100 mètres augmentent clairement à la fin octobre (2009, fig. E.22) comparativement au milieu du mois (2010, fig. E.24) ou à la fin septembre (1999, fig. E.12). La distribution verticale du silicate augmente systématiquement avec la profondeur, représentant de 2 à 4 fois la concentration en surface, surtout au niveau de la couche 200-400 m. Ce comportement est d'ailleurs mentionné par Franceschetti et al. (1964) et Tremblay et al. (2002), celui-ci étant associé aux eaux typiques de la baie de Baffin. Sur les contours, même si ce n'est pas visible systématiquement pour toutes les années, les concentrations en silicate semblent toujours plus fortes dans un noyau de 200 à 400 mètres, surtout vers le Groenland. Ce même noyau, nettement visible début août (1963, fig. E.2), semble s'étendre (2013, fig. E.26), pour finalement s'uniformiser en octobre (2009, 2010, fig. E.22 et E.24). Il y a peu de chance que ces fortes concentrations soient d'origine Pacifique, vu la profondeur du noyau et les valeurs associées (autour de $10\mu\text{Mol}$), tout comme il est peu probable la présence de ce noyau soit attribuable à la présence d'eau dérivée du WGC (Atlantique), pour lequel les valeurs en silicate sont d'environ $7\mu\text{Mol}$ (Tremblay et al. 2002). La présence de cette eau a d'ailleurs été précédemment mentionnée par Tremblay et al. (2002) pour la même région et est consistante avec les contours de température et de salinité. Ceux-ci émettaient d'ailleurs l'hypothèse que cette eau riche en silicate est générée par

la reminéralisation des diatomées produites en surface et que ce processus pourrait être responsable de l'anomalie profonde de nutriments dans la baie de Baffin. Aucun gradient Est-Ouest évident n'a pu être identifié comme l'a fait Bergeron (2013), mais les données couvrent toutefois toute la colonne d'eau dans le cadre de cette étude et non les 150 premiers mètres. Cela peut expliquer le fait que le gradient ne soit pas aussi facilement visible. Les grandes concentrations en silicates observées le long de la section ont donc été jugées acceptables. En effet, il avait déjà été mentionné que les concentrations dans le nord de la baie de Baffin, autour de 75°N, peuvent aller jusqu'à 35 μMol . La section à l'étude étant un peu plus au nord et la valeur ne dépassant majoritairement pas 30 μMol , elles sont élevées mais réalistes pour la région. Qui plus est, les concentrations en silicates semblent reliées aux valeurs de salinités. Par exemple, les plus fortes concentrations sont associables à des profondeurs de plus de 200 m et des salinités autour de 34, en plus de températures plus élevées. Ces températures et ces salinités sont d'ailleurs également associées au noyau du WGC.

Phosphate

La distribution des concentrations en phosphate s'étend de 0,10 à 2,16 μMol . Entre juillet et août, les moyennes sectorielles montrent des variations minimales dans les distributions, les concentrations oscillant autour de 1 μMol de 50 mètres jusqu'au fond. Les concentrations sont toutefois moins élevées en surface, oscillant autour de 0,50 μMol . Comme pour les silicates, les variations au milieu septembre (1999, 2006, 2008) sont très différentes entre les années, allant d'une sévère diminution dans le secteur C2 à de très fortes concentrations du côté de l'île d'Ellesmere (et C1), ce qui rend toute conclusion hasardeuse. Ces années ont toutefois un point commun: de très faibles concentrations en surface. Entre la fin septembre (1968) et le début octobre, il semble y avoir une diminution des concentrations dans toute la colonne d'eau, quoique toujours plus évidente en surface. Celle-ci semble s'estomper pour laisser place à une augmentation et une stabilisation des concentrations à la fin octobre (2010). Cette uniformisation à la fin octobre est d'ailleurs une observation commune aux différents nutriments. L'ensemble des contours tracés des concentrations en phosphate ne montrent pas de structures ou de distributions aussi particulières que celles des températures, par exemple. Les concentrations les plus fortes sont visibles en 2007 et en 2008, comme pour les autres nutriments. Il n'y a pas non plus de gradient est-ouest vraiment évident dans les distributions. Par ailleurs, le comportement particulier ayant motivé la décision de laisser de côté l'année 1978 est particulièrement évident avec le phosphate. Même si de plus grandes concentrations sont visibles

sous les 200 mètres, le lien avec la présence du WGC n'est pas aussi évident que pour le silicate ou le nitrate. Peut-être que le phosphate est moins dépendant de sa présence.

Nitrate

La distribution de nitrate varie de 0 à 20 μMol sur toute la section. Bergeron (2013), pour les mêmes données et la même section, avait noté que la concentration en nitrate pour la couche 0-150 mètres variait de 0 à 7.2 μMol . Pour la même couche, dans cette étude, les concentrations sont un peu plus élevées, variant de 0 à autour de 10 μMol . Les valeurs sont sensiblement les mêmes et sont comparables. Au début juillet (1998, fig. E.10), il est déjà possible de constater de basses concentrations (parfois nulles) en surface et ce, jusqu'à 200 mètres. Sous cette profondeur, les concentrations restent assez élevées, même au milieu août (2005, 2013, fig. E.14 et E.26). En août, on note que les concentrations deviennent de plus en plus faibles, comportement qui semble s'étendre à la couche 50-100 mètres, surtout du côté de l'île d'Ellesmere, et ce, jusqu'au milieu septembre (2008, fig. E.20). Les concentrations en profondeur (200 mètres et plus) augmentent légèrement en septembre, particulièrement du côté du Groenland (1999, 2006, 2008, fig. E.12, 16 et 20). Au milieu octobre (2010, fig. E.24), les concentrations sont assez élevées en profondeur, l'augmentation est même perceptible en surface, tendance qui se poursuit à la fin octobre (2009). Sans surprise, la colonne d'eau semble se stabiliser et s'uniformiser à la fin octobre, avec des concentrations légèrement plus élevées du côté du Groenland (aussi visible sur les contours). Les concentrations plus élevées sous les 200 mètres sont également remarquables sur les contours, ce qui est normal puisque l'activité biologique est plus concentrée près de la surface (0-50 mètres). Le gradient est-ouest mentionné par Bergeron (2013) est plus visible avec le nitrate. En effet, les concentrations du côté de l'île d'Ellesmere sont généralement plus faibles que du côté du Groenland. Le sévère déficit en nitrate noté par Bergeron (2013) pour les années 2007, 2009 et 2010 est surtout visible en 2007 et en 2010 (fig. E.17 et E.23) dans cette étude, avec des concentrations très basses s'étendant pratiquement jusqu'à 200 mètres. Cependant, le déficit est également visible en 2005 (fig. E.13) et en 2006 (fig. E.15) et localisé du côté de l'île d'Ellesmere. Finalement, tout comme le silicate, les plus fortes concentrations en nitrate sont visibles sous les 200 mètres et sont associables à la présence d'eau de la baie de Baffin.

N*

Les valeurs de ce traceur varient de 6 à -23. Les valeurs les plus négatives sont visibles du côté de l'île d'Ellesmere (et C1) pour des profondeurs de 0 à 100 mètres, voire jusqu'au fond dans le secteur Ellesmere en juillet et au milieu août, ce qui indique un sévère déficit en nitrate. Celui-ci est attendu si on considère l'activité biologique de la région. Les valeurs sont moins prononcées du côté du Groenland, allant de -5 à -8. Il y a cependant un déficit clair sur toute la section, puisque les valeurs de 0 ou près de 0 sont rares, de mêmes que les valeurs positives. Le comportement des valeurs de N* est très variable d'une année à l'autre. Par exemple, en 2008 (début septembre, fig. E.20), d'énormes valeurs négatives sont visibles du côté de l'île d'Ellesmere, suggérant une activité biologique intense. Puis, en 2007 (fig. E.18), le déficit est quasiment uniforme, suggérant que l'activité biologique a épuisé les ressources en nitrate. Les contours des valeurs calculées montrent un comportement et des distributions réalistes. En 2013, on voit bien un déficit marqué en surface au milieu août, déficit qui semble moins développé au début août (1997, fig. E.10), quoique toujours présent à la fin du mois (2005, fig. E.14) et au milieu septembre (1999, 2006, fig. E.12 et E.16). Comme pour les concentrations en nutriments, les valeurs du traceur semblent se stabiliser au mois d'octobre (2009, 2010, fig. E.22 et E.24). Les différences de comportement visibles dans les moyennes sectorielles sont associées à un moyennage de valeurs extrêmement variables, ce qui cause des variations qui ne sont peut-être pas totalement représentatives du comportement réel du traceur, d'une couche ou d'un secteur à l'autre. Les valeurs de concentrations en nitrates ou en phosphates ne sont pas remises en cause puisqu'elles sont consistantes entre elles. Cependant, il est certain qu'une analyse plus poussée des eaux sources avec ces valeurs de N* aurait été plus difficile à exécuter et les résultats, probablement difficile à interpréter. En effet, certaines valeurs très négatives sont associables à certaines masses d'eau de l'Océan Arctique (Pacific Upper Halocline (PUHL) présentée par Reeve (2016)) d'origine Pacifique avec des valeurs minimales autour de -16. La présence d'eau d'origine Pacifique au niveau de la section n'est pas officiellement démontrée mais dans le détroit de Smith, de la surface jusqu'à plus de 50 mètres, la colonne d'eau est pratiquement entièrement constituée d'eau pacifique. Autour de 150 m, elle semble encore constituée près de la moitié de l'eau (Jones et al. 2003). D'ailleurs, des eaux dérivées du Pacifique (de l'Arctique) ont déjà été observées dans le nord de la baie de Baffin pour la même section étudiée (Bergeron et Tremblay, 2014). Il est cependant possible d'identifier un comportement commun du traceur avec les années : son augmentation avec la profondeur. En effet, les valeurs ont tendance à augmenter (moins négatives) plus on se rapproche

du fond, comportement ayant précédemment été décrit dans le nord de la baie de Baffin (Tremblay et al. 2002).

Chapitre 5

Tendances 1950-2014

5.1 Température

Les tendances calculées sur les moyennes sectorielles de température, pour chacune des couches, sont présentées dans les tableaux 5.1 et 5.2. Un choix a été fait sur les formats de présentation des tableaux. Ils ont été divisés de façon à présenter seulement deux secteurs à la fois pour en faciliter la compréhension. La période couverte par les données est de 62 ans, soit de 1952 à 2014. Les tendances ne sont pas toutes discutées en détail dans chaque section puisqu'elles sont toutes présentées dans des tableaux. Seules celles qui se démarquent le plus par leur valeur (différente de 0 en considérant l'erreur) combinée avec un bon coefficient de corrélation sont présentées plus en détail. Certains R^2 présentés dans les tableaux sont très faibles. Lorsque c'est le cas, la pente (tendance) est légère et l'erreur est élevée, ce qui explique les petites valeurs au niveau du R^2 . Dans la plupart des cas, la pente se situe à l'intérieur de la déviation standard des données, ce qui est un bon résultat.

En ce qui concerne la température, la tendance globale de la section est au réchauffement, de manière plus ou moins importante dépendant des secteurs. Dans le secteur Ellesmere, aucune tendance ne se démarque clairement. Pour le secteur C1, la couche 200-400 mètres se distingue avec une valeur de $0,009 \pm 0,003^\circ\text{C}/\text{an}$, soit un réchauffement de $0,09^\circ\text{C}/10$ ans et une augmentation de $0,56^\circ\text{C}$ pour les 62 années couvertes par les calculs. Dans le secteur C2, c'est la couche 100-200 mètres qui se démarque, avec une tendance de $0,011 \pm 0,006^\circ\text{C}/\text{an}$, $0,11^\circ\text{C}/10$ ans et une augmentation de $0,68^\circ\text{C}$ pour 62 années. Finalement, le secteur Groenland se démarque au complet, avec un

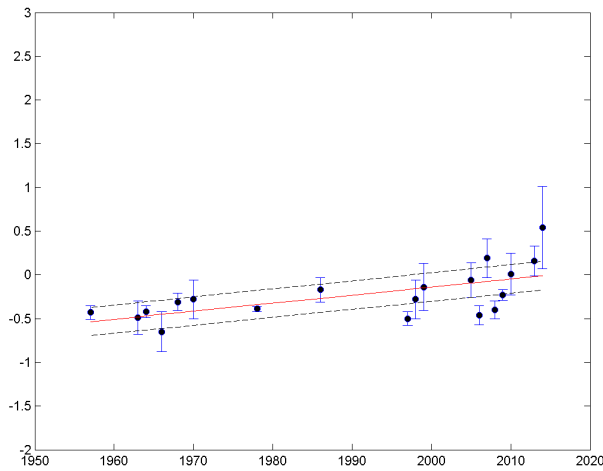
réchauffement majeur s'étendant de 50 à 600 mètres, allant de 0,43 à 1,55°C pour la période 1952-2014 (fig. 5.1). C'est la couche 100-200 mètres qui montre la plus forte tendance au réchauffement mais l'ensemble de la colonne d'eau se réchauffe, de 100 à 400 mètres. Les tendances comparables à celles recensées dans la littérature sont celles qui s'étendent de 50 à 200 mètres. Les résultats qui couvrent cette interval de profondeur montrent un réchauffement de 0,07 à 0,25°C/10 ans pour les secteurs C1 et Groenland (0,11°C/10 ans pour C1), ce qui est légèrement plus élevé que la valeur de 0,04°C/10 ans présentée par Zweng et Munchow (2006). Les valeurs obtenues sont également du même ordre que celle modélisées par Grivault et al. (2017) (0,63°C sur une période de 25 ans (1970-1995), spécifiquement pour la masse d'eau Atlantique dans la baie de Baffin. Le réchauffement observé dans la colonne d'eau au nord de la baie de Baffin n'est pas une surprise, celui-ci est également observé en profondeur (400 mètres et plus) au niveau du détroit de Davis, sur le talus et la marge de l'île de Baffin et du Groenland et même dans l'eau de la mer d'Irminger qui circule dans la mer du Labrador (Myers et al. 2007). Qui plus est, les tendances calculées dans la littérature couvrent des régions et non une section, des effets de position et de volume peuvent donc expliquer les différences observées. Les résultats confirment quand même la présence d'un réchauffement s'étant poursuivi au-delà de celui des années 2005 ou 2007 recensées dans la littérature, comme cela a été proposé par Laidre et al. (2010).

Tableau 5.1 – Tendances sur la température pour chaque couche et les secteurs Ellesmere et C1 avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.

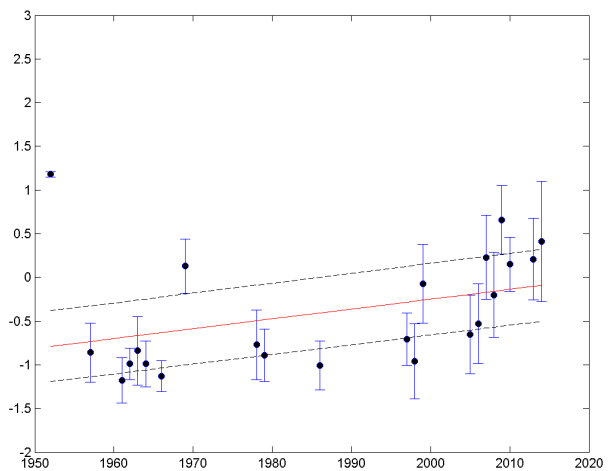
Couche	Ellesmere (°C/an)	Erreur	R2	C1 (°C/an)	Erreur	R2
0 -50	-0,01	0,01	0,05	-0,007	0,008	0,03
50-100	-0,009	0,008	0,1	-0,004	0,006	0,02
100-200	-0,006	0,008	0,04	0,005	0,006	0,03
200-400	ND	ND	ND	0,009	0,003	0,4
400-600	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Tableau 5.2 – Tendances sur la température pour chaque couche et les secteurs C2 et Groenland, avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.

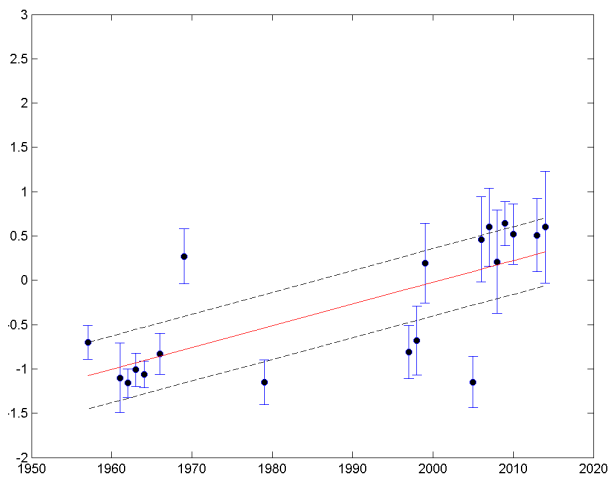
Couche	C2 (°C/an)	Erreur	R2	Groenland (°C/an)	Erreur	R2
0 -50	-0,002	0,008	0,002	0,00	0,01	0,004
50-100	-0,001	0,006	0,0005	0,007	0,004	0,2
100-200	0,011	0,006	0,13	0,025	0,006	0,51
200-400	0,005	0,005	0,05	0,019	0,006	0,41
400-600	-0,003	0,004	0,04	0,014	0,003	0,71



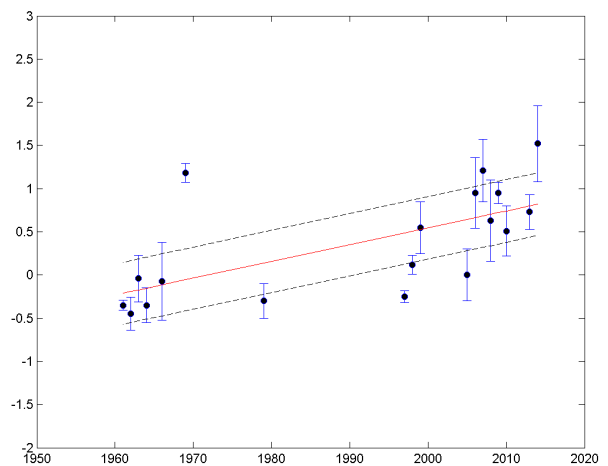
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 5.1 – Tendances linéaires calculées sur la température (rouge) avec intervalle de confiance de 95% (pointillés noirs) et l'écart type de chacune des moyenne sectorielles utilisées dans le calcul (bleu). L'axe horizontal représente les années et l'axe vertical est en degré celsius. En (a), secteur C1 couche 200-400 m, en (b), secteur C2, couche 100-200 m, en (c), secteur Groenland, couche 100-200 m et finalement en (d), secteur Groenland, couche 200-400 m.

5.2 Salinité

L'ensemble des tendances calculées sur les données de salinité sont présentées dans les tableaux 5.3 et 5.4. La tendance générale le long de la section est à la désalinisation, celle-ci étant plus importante du côté ouest (secteurs Ellesmere et C1). En effet, dans le secteur Ellesmere, une importante désalinisation est visible pour la période couverte, allant d'une perte de 0,1 à 0,7 pour 62 ans, sur une profondeur de 50 à 200 mètres. C'est loin d'être négligeable. Même si les tendances y sont calculées, leur interprétation pour la couche de surface reste sujette à caution parce qu'elle est soumise aux énormes variations interannuelles dues aux cycles de fonte de la glace de mer. Dans le secteur Ellesmere, la désalinisation est très évidente dans la couche 50-100 mètres (-0,12/10 ans), tendance qui s'étend dans le secteur C1, quoique moins forte (-0,02/10 ans) pour la couche 100-200 mètres, mais plus importante que celle de 50-100 mètres (-0,06/10 ans)(fig. 5.2). Dans le secteur C1, une tendance, cette fois positive, est même visible dans la couche 200-400 mètres. Même si elle n'est pas aussi imposante que les autres, elle est toutefois de 0,012/10 ans. Finalement, une désalinisation est également visible dans le secteur C2 pour les couches 50-100 mètres (-0,03/10 ans) et 400-600 mètres (-0,014/10 ans). Dans le secteur Groenland, rien ne ressort vraiment parmi les tendances. Pour les 3 secteurs touchés par une désalinisation (Ellesmere, C1 et C2), la couche 50-100 mètres est celle qui montre les plus forts changements (couche de surface exceptée), cette même couche avait été associée précédemment à l'eau d'origine Arctique. Les tendances observées ne sont donc pas une surprise, surtout si on considère le résultat d'études numériques ayant montré que l'eau de fonte des calottes du Groenland est de plus en plus présente, ce qui signifie plus d'eau de moins en moins salée, entraînant la réduction des différents transports à travers les Archipels Canadiens, en plus de stabiliser la colonne d'eau dans la baie de Baffin. Cela a un impact direct sur la salinité, qui diminue dans les eaux de surface (Castro de la Guardia et al., 2015). Lazier (1980) a également montré que pour la période 1968-1971, la convection des 200 premiers mètres de l'océan a été limitée par une différence de salinité de 0,2 (34,4 à 34,6). D'ailleurs, la couche de surface n'est pas la seule à être touchée, car la désalinisation est clairement visible au moins jusqu'à 200 mètres.

Comme certaines tendances ont déjà été discutées dans la littérature, celles de cette étude y sont comparées afin de vérifier les résultats. En somme, les tendances sont semblables. La couche directement utilisée est celle de 50-200 mètres. Dans le Déroit de Smith, Zweng et Münchow (2006) ont obtenu -0,034/10 ans, ce qui est un peu plus faible que celles calculées ici, mais le tout reste

semblable. Pour la marge continentale de l'île de Baffin, Hamilton et Wu (2013) ont présenté une tendance de -0,15/10 ans, tandis que Lavoie et Lambert (2013) obtenait une tendance de -0,07/10 ans pour la baie de Baffin, sans la polynie. Toutes les tendances, comprenant celles de cette étude, sont du même ordre et sont toutes à la désalinisation pour la région. Finalement, la présence de la Great Salinity Anomaly n'est pas visible dans les données ni dans les tendances calculées.

Tableau 5.3 – Tendances sur la salinité pour chaque couche et les secteurs Ellesmere et C1 avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.

Couche	Ellesmere (unité/an)	Erreur	R2	C1 (unité/an)	Erreur	R2
0 -50	-0,02	0,01	0,20	-0,010	0,004	0,28
50-100	-0,012	0,006	0,23	-0,006	0,002	0,26
100-200	-0,008	0,003	0,40	-0,002	0,001	0,10
200-400	ND	ND	ND	0,0012	0,0007	0,15
400-600	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Tableau 5.4 – Tendances sur la salinité pour chaque couche et les secteurs C2 et Groenland, avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.

Couche	C2 (unité/an)	Erreur	R2	Groenland (unité/an)	Erreur	R2
0 -50	-0,004	0,003	0,09	-0,001	0,004	0,00
50-100	-0,003	0,001	0,15	-0,001	0,002	0,00
100-200	-0,001	0,001	0,02	0,001	0,001	0,05
200-400	0,0002	0,0008	0,00	0,001	0,001	0,04
400-600	-0,0014	0,0006	0,32	-0,0009	0,0004	0,35

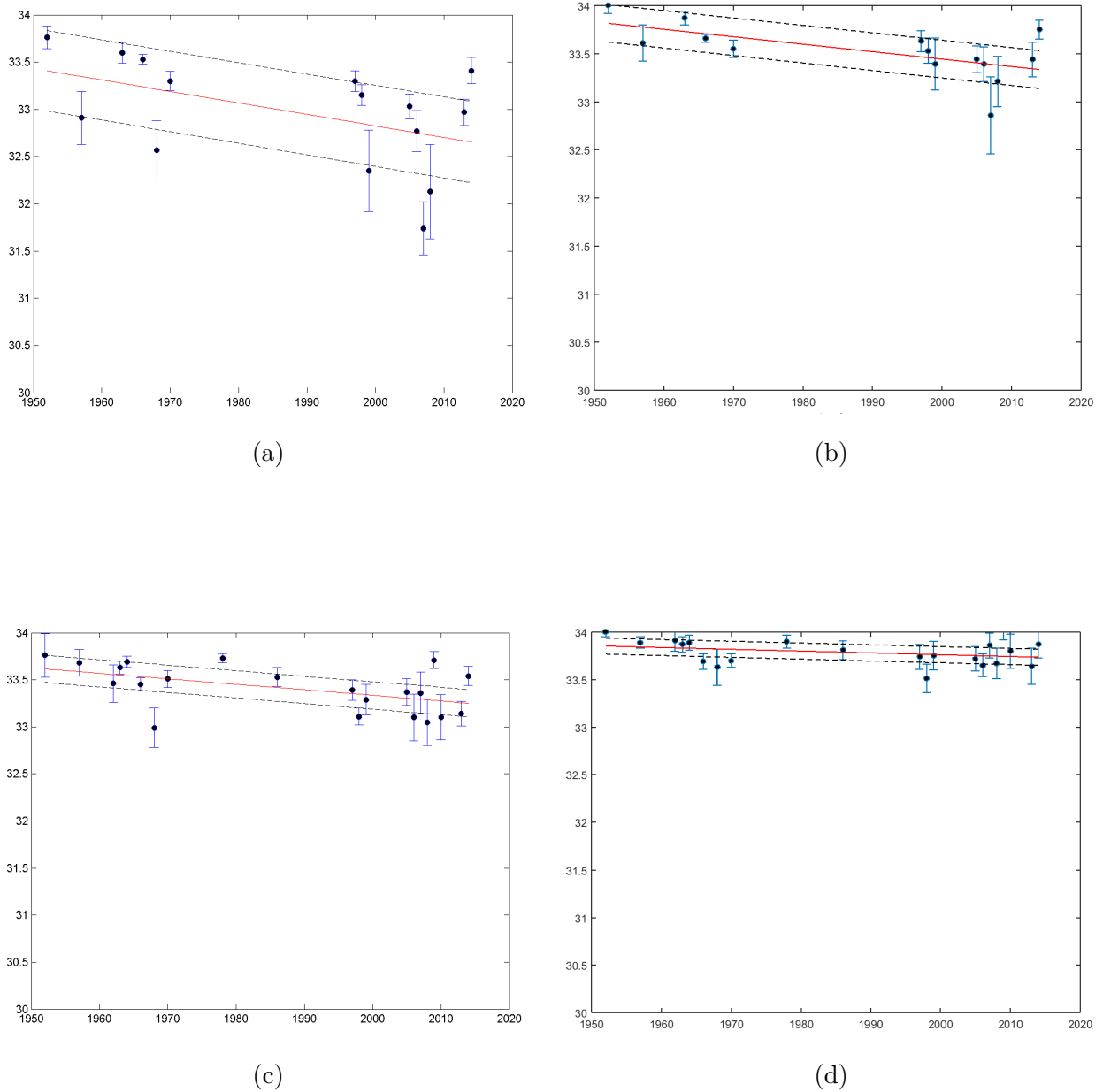


Figure 5.2 – Tendances linéaires calculées sur la salinité (rouge) avec intervalle de confiance de 95% (pointillés noirs) et l'écart type de chacune des moyenne sectorielles utilisées dans le calcul (bleu). L'axe horizontal représente les années et l'axe vertical, la salinité. En (a) et (b), secteur Ellesmere couche 50-100 m et 100-200, en (c) et (d), secteur C1, couche 50-100 m et 100-200 m.

5.3 Nutriments

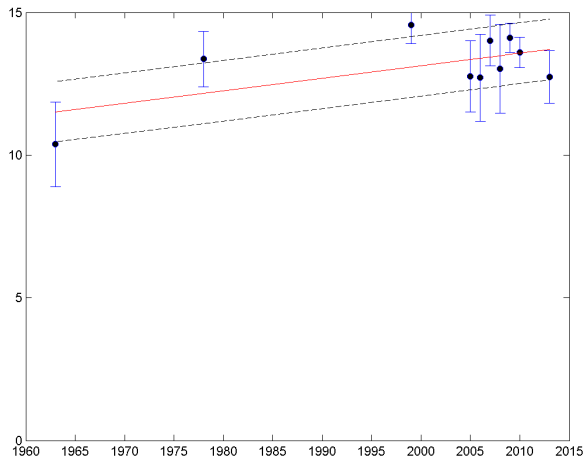
Comme les données de nutriments sont moins nombreuses que celles de température ou de salinité, les données couvrent cette fois l'intervalle de 1963 à 2013 avec 13 années pour le calcul des tendances, soit un peu plus que le minimum de 10 années suggéré dans la littérature. Les années utilisées sont 1963, 1978, 1981, 1997, 1998, 1999, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 et 2013. Comme la plupart des années sont bien échantillonnées, il était possible de calculer les tendances.

5.3.1 Nitrate et silicate

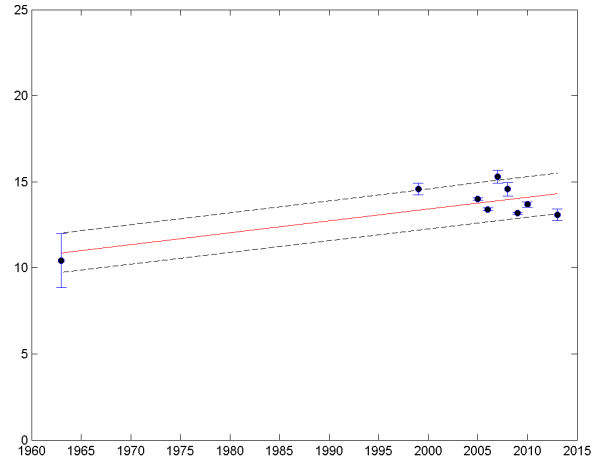
La tendance générale le long de la section est à l'augmentation et celle-ci est nettement plus marquée à l'est, surtout dans le secteur Groenland (tableaux 5.5 à 5.8). Dans ce secteur, la tendance varie de $1,0 \text{ mmol m}^{-3}/10 \text{ ans}$ dans la couche 50-100 mètres à $1,6 \text{ mmol m}^{-3}/10 \text{ ans}$ pour la couche 400-600 mètres, ce qui représente de 5 à 8 mmol m^{-3} pour la période de 50 ans couverte. La tendance du secteur C2 est également à l'augmentation, variant de $1,5$ à $3,5 \text{ mmol m}^{-3}$ sur 50 ans (fig. 5.3). Il est cependant nécessaire de mentionner ici que les tendances discutées sont fortement influencées par la valeur de 1963. Si ce point était retiré, probablement que les résultats ne seraient pas les mêmes. Comme il est possible de le voir, c'est la couche 100-200 mètres qui semble la plus touchée par une tendance, visible même dans les secteurs Ellesmere et C1 pour cette couche. Celles-ci tournent autour de 2 ou 3 mmol m^{-3} sur 50 ans. L'importance de ces variations estimées est non négligeable parce que la production primaire par unité de région dans les eaux libres de glaces saisonnières comme la polynie est contrôlée par l'approvisionnement en nitrates (Tremblay et Gagnon, 2009).

Du côté de la littérature, peu d'études ont calculé les tendances pour les éléments nutritifs dans la région. La seule ayant été trouvée est celle présentée par Lavoie et Lambert (2013), qui ont calculé une augmentation de $0,034 \text{ mmol m}^{-3}/10 \text{ ans}$ pour la couche 100-400 mètres, de 1960 à 2005, mais leur étude ne tenait pas compte de la polynie. L'augmentation est nettement plus importante pour cette étude, mais elle comprend la polynie, qui est une zone avec un fort potentiel biologique. Comme la consommation nette de nitrate au niveau de la section semble décroître, selon les calculs de Bergeron et Tremblay (2014), il n'est pas illogique que la concentration de nitrate, elle, augmente. Cependant, la plus forte diminution a été observée à l'ouest par Bergeron et Tremblay (2014), alors que l'augmentation la plus importante dans cette étude est à l'est. Une augmentation

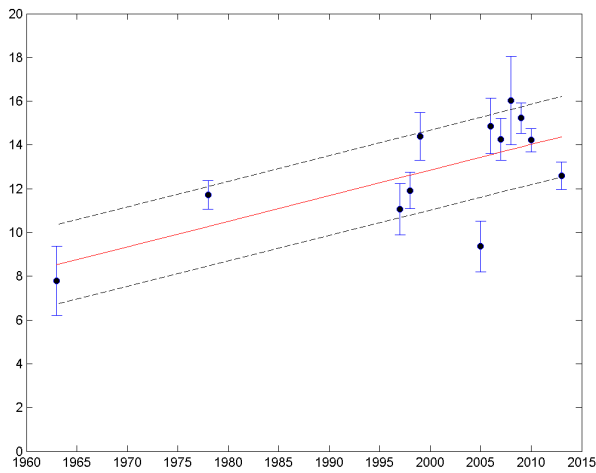
de nitrate et de nitrite a également été observée par Blais et al. (2017) dans la couche de mélange en surface. Pour les tendances sur la concentration en silicate, les tendances sont discutées en terme de significativité mais non de manière quantitative comme dans cette étude, c'est pourquoi aucune valeur n'est présentée à titre de comparaison.



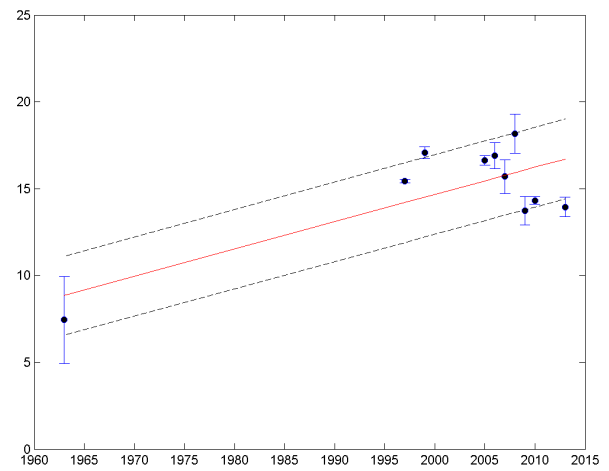
(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 5.3 – Tendances linéaires calculées sur le nitrate (rouge) avec intervalle de confiance de 95% (pointillés noirs) et l'écart type de chacune des moyenne sectorielles utilisées dans le calcul (bleu). L'axe horizontal est en année et l'axe vertical, en mmol m^{-3} . En (a) et (b), secteur C2 couche 100-200 m et 400-600 m et en (c) et (d), secteur Groenland, couche 100-200 m et 400-600 m.

Tableau 5.5 – Tendances sur le nitrate pour chaque couche et les secteurs Ellesmere et C1 avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.

Couche	Ellesmere (mmol m ⁻³ /an)	Erreur	R2	C1 (mmol m ⁻³ /an)	Erreur	R2
0 -50	0,01	0,03	0,02	0,04	0,04	0,10
50-100	0,01	0,04	0,01	0,05	0,04	0,10
100-200	0,05	0,03	0,20	0,06	0,02	0,40
200-400	ND	ND	ND	0,06	0,02	0,50
400-600	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Tableau 5.6 – Tendances sur le nitrate pour chaque couche et les secteurs C2 et Groendland, avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.

Couche	C2 (mmol m ⁻³ /an)	Erreur	R2	Groendland (mmol m ⁻³ /an)	Erreur	R2
0 -50	0,02	0,04	0,05	0,06	0,04	0,20
50-100	0,04	0,03	0,20	0,10	0,05	0,30
100-200	0,04	0,02	0,40	0,12	0,04	0,50
200-400	0,03	0,02	0,20	0,08	0,03	0,50
400-600	0,07	0,02	0,60	0,16	0,05	0,60

Tableau 5.7 – Tendances sur le silicate pour chaque couche et les secteurs Ellesmere et C1 avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.

Couche	Ellesmere (mmol m ⁻³ /an)	Erreur	R2	C1 (mmol m ⁻³ /an)	Erreur	R2
0 -50	0,02	0,05	0,01	0,03	0,04	0,05
50-100	0,03	0,06	0,02	0,03	0,06	0,02
100-200	0,04	0,06	0,03	0,06	0,06	0,12
200-400	ND	ND	ND	0,06	0,07	0,08
400-600	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Tableau 5.8 – Tendances sur le silicate pour chaque couche et les secteurs C2 et Groendland, avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.

Couche	C2 (mmol m ⁻³ /an)	Erreur	R2	Groendland (mmol m ⁻³ /an)	Erreur	R2
0 -50	0,05	0,04	0,16	0,04	0,03	0,17
50-100	0,06	0,05	0,12	0,06	0,05	0,15
100-200	0,03	0,07	0,02	0,01	0,06	0,16
200-400	0,0	0,1	0,00	0,05	0,08	0,05
400-600	0,1	0,2	0,06	0,2	0,1	0,16

5.3.2 Phosphate et N*

En ce qui concerne le phosphate, la tendance générale est à l'augmentation à l'ouest et à la diminution côté est, même si les tendances ne sont pas aussi marquées que pour les nitrates (tableaux 5.9 à 5.12). Les secteurs Ellesmere et C2 ne montrent pas de tendances évidentes et seule la couche 400-600 mètres du secteur Groenland présente une tendance plus visible de $0,08 \text{ mmol m}^{-3}/10$ ans. C'est le secteur C1, surprenamment, qui se démarque le plus avec des augmentations soutenues de 50 à 400 mètres, pour des tendances de $0,06 \text{ mmol m}^{-3}/10$ ans à $0,09 \text{ mmol m}^{-3}/10$ ans, respectivement. Comme les concentrations en phosphate augmentent avec la profondeur, il n'est pas surprenant que les tendances suivent la même logique. Selon les tendances calculées, l'augmentation des concentrations en phosphate pour la période de 1963 à 2013 (50 ans) est de $0,3$ à $0,5 \text{ mmol m}^{-3}$. Considérant que les concentrations minimales moyenne en phosphate le long de la section tournent autour de $0,3 \text{ mmol m}^{-3}$, l'augmentation serait non négligeable. Comme n'y a malheureusement pas de tendances similaires calculées par d'autres études dans la région pour les phosphate, aucune comparaison directe n'est possible. Cependant, sachant qu'il y a un export net en phosphate de l'Arctique vers l'Atlantique Nord (Torrès-Valdès et al. (2013)), la tendance à l'augmentation dans le secteur C1 est possible.

Finalement, les tendances ont également été calculées sur les valeurs du traceur N* afin de déterminer si un comportement était identifiable. Il n'y a que dans le secteur Groenland que les valeurs sont significativement à la hausse et ce, de 50 à 400 mètres. Comme mentionné dans les sections précédentes, les valeurs du traceur et sa distribution doivent être considérées avec prudence. L'augmentation des valeurs du traceur pour la période de 50 ans étudiée serait de 5 à 6, des valeurs jugées très élevées. C'est pourquoi l'analyse se borne à constater une tendance à l'augmentation à l'est (Groenland), qui est le signe d'une augmentation des transports et du contenu en eau atlantique. La tendance à la diminution observable du côté ouest de la section est également associable à l'augmentation de l'exportation d'eau arctique vers le sud.

Tableau 5.9 – Tendances sur le phosphate pour chaque couche et les secteurs Ellesmere et C1 avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.

Couche	Ellesmere (mmol m ⁻³ /an)	Erreur	R2	C1 (mmol m ⁻³ /an)	Erreur	R2
0 -50	0,001	0,003	0,02	0,006	0,004	0,20
50-100	0,001	0,004	0,00	0,006	0,004	0,20
100-200	0,003	0,004	0,05	0,008	0,006	0,20
200-400	ND	ND	ND	0,009	0,006	0,20
400-600	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Tableau 5.10 – Tendances sur le phosphate pour chaque couche et les secteurs C2 et Groendland, avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.

Couche	C2 (mmol m ⁻³ /an)	Erreur	R2	Groendland (mmol m ⁻³ /an)	Erreur	R2
0 -50	-0,005	0,006	0,06	-0,003	0,005	0,04
50-100	-0,003	0,006	0,03	-0,002	0,005	0,01
100-200	-0,002	0,006	0,02	0,003	0,005	0,00
200-400	-0,001	0,006	0,00	-0,001	0,005	0,01
400-600	0,005	0,007	0,06	0,008	0,006	0,20

Tableau 5.11 – Tendances sur la valeur de N* pour chaque couche et les secteurs Ellesmere et C1 avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.

Couche	Ellesmere	Erreur	R2	C1	Erreur	R2
0 -50	-0,01	0,05	0,00	-0,05	0,08	0,05
50-100	0,00	0,07	0,00	-0,05	0,09	0,03
100-200	-0,01	0,07	0,00	-0,07	0,09	0,05
200-400	ND	ND	ND	-0,1	0,1	0,07
400-600	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Tableau 5.12 – Tendances sur la valeur de N^* pour chaque couche et les secteurs C2 et Groenland, avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation

Couche	C2	Erreur	R2	Groenland	Erreur	R2
0 -50	0,09	0,08	0,10	0,11	0,07	0,20
50-100	0,1	0,1	0,10	0,12	0,08	0,20
100-200	0,1	0,1	0,10	0,11	0,09	0,10
200-400	0,04	0,09	0,02	0,10	0,09	0,10
400-600	0,0	0,1	0,00	0,0	0,1	0,01

5.4 Transports

Cette section n'est réservée qu'à la présentation des tendances calculées sur les transports volumiques. Comme la valeur des transports dépend de beaucoup de paramètres, ils ne sont pas analysés en profondeur. Il est cependant nécessaire de mentionner que les tendances générales soutiennent l'hypothèse de l'augmentation du transport volumique d'eau atlantique vers le nord, tout comme celui de l'eau arctique vers le sud (tableaux 5.13 et 5.14).

Tableau 5.13 – Tendances sur les transports volumiques pour chaque couche et les secteurs Ellesmere et C1 avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.

Couche	Ellesmere (Sv/an)	Erreur	R2	C1 (Sv/an)	Erreur	R2
0 -50	-0,00005	0,00007	0,04	-0,00008	0,00005	0,10
50-100	-0,00004	0,00004	0,07	-0,00004	0,00003	0,10
100-200	-0,00002	0,00001	0,10	-0,00002	0,00002	0,04
200-400	ND	ND	ND	0,00000	0,00001	0,01
400-600	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Tableau 5.14 – Tendances sur les transports volumiques pour chaque couche et les secteurs C2 et Groendland, avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.

Couche	C2 (Sv/an)	Erreur	R2	Groendland (Sv/an)	Erreur	R2
0 -50	-0,00006	0,00003	0,20	0,00004	0,00006	0,03
50-100	-0,00004	0,00002	0,20	0,00004	0,00004	0,06
100-200	-0,00002	0,00001	0,10	0,00004	0,00003	0,09
200-400	-0,000003	0,000006	0,02	0,00001	0,00001	0,05
400-600	-0,000002	0,000003	0,07	0,000002	0,000003	0,04

5.5 Variantes

5.5.1 Meilleur échantillonnage

Cette section est consacrée à la présentation de tendances recalculées à partir des années les mieux échantillonnées, c'est-à-dire celles couvrant le mieux la section, autant par leur nombre que par leur distribution. Bien que la période couverte soit de 51 ans (arrondie à 50 ans dans les calculs), seulement 11 années couvrent cette période. C'est peu, il faut en être conscient. Cependant, le but de ces calculs n'étant pas de déterminer la présence ou pas d'une tendance mais bien de comparer les tendances obtenues avec l'ensemble des années et celles avec les années les mieux échantillonnées, ils ont été faits, afin de voir si les tendances identifiées sur l'ensemble des données sont sensiblement les mêmes avec les années mieux échantillonnées. Cela donne également une idée de l'importance relative des années les mieux échantillonnées dans les résultats. Les années concernées par ces nouveaux calculs sont 1963, 1966, 1999, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2013 et 2014.

La tendance générale le long de la section, pour la température, est toujours à l'augmentation (tableaux 5.15 et 5.16). La colonne d'eau est touchée de 50 à 400 mètres, mais c'est encore la couche 100-200 mètres qui est la plus touchée. La tendance à l'augmentation est, dans ce cas-ci, également

Tableau 5.15 – Tendances sur la température pour les années les mieux échantillonnées, pour chaque couche et les secteurs Ellesmere et C1 avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.

Couche	Ellesmere (°C/an)	Erreur	R2	C1 (°C/an)	Erreur	R2
0-50	0,00	0,02	0,01	-0,01	0,01	0,06
50-100	0,009	0,004	0,50	0,009	0,005	0,30
100-200	0,012	0,005	0,50	0,019	0,006	0,50
200-400	ND	ND	ND	0,013	0,005	0,50
400-600	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Tableau 5.16 – Tendances sur la température pour les années les mieux échantillonnées, pour chaque couche et les secteurs C2 et Groendland, avec leur erreursur la pente et leur coefficient de corrélation.

Couche	C2 (°C/an)	Erreur	R2	Groendland (°C/an)	Erreur	R2
0-50	-0,01	0,01	0,04	-0,02	0,02	0,09
50-100	0,012	0,005	0,40	0,006	0,004	0,20
100-200	0,024	0,007	0,60	0,029	0,009	0,60
200-400	0,008	0,005	0,20	0,021	0,007	0,50
400-600	-0,003	0,004	0,05	0,00	0,02	0,00

visible dans les secteurs Ellesmere et C1, ce qui n'était pas le cas dans les tendances calculées sur l'ensemble des données. Dans le contexte actuel, une légère augmentation de température des eaux en provenance de l'arctique n'est pas impossible. Une augmentation de la tendance au réchauffement est également visible d'ouest en est, comportement non détectable avec l'ensemble des données. La progression le long de la section est intéressante. Dans le secteur Groendland, le plus touché, les tendances sont pratiquement les mêmes, quoique légèrement plus élevées. Cela semble donc confirmer le réchauffement déjà discuté pour l'ensemble des données. Dans les autres secteurs, les tendances générales (augmentation ou diminution) sont clairement plus importantes que celles obtenues sur l'ensemble des données. C'est tout de même normal, le nombre d'années considéré n'est pas le même. Cependant, pour valider l'interprétation des tendances dans les autres secteurs, une analyse de la provenance des masses d'eau devrait être faite.

En ce qui concerne la salinité (tableaux 5.17 et 5.18), la tendance à la désalinisation dans les secteurs Ellesmere, C1 et C2 précédemment discutée est également observable parmi les années

Tableau 5.17 – Tendances sur la salinité pour les années les mieux échantillonnées, pour chaque couche des secteurs Ellesmere et C1, avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.

Couche	Ellesmere (unité/an)	Erreur	R2	C1 (unité/an)	Erreur	R2
0-50	-0,03	0,02	0,30	-0,014	0,007	0,30
50-100	-0,02	0,01	0,30	-0,005	0,004	0,20
100-200	-0,008	0,005	0,30	0,000	0,002	0,00
200-400	ND	ND	ND	0,001	0,001	0,10
400-600	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Tableau 5.18 – Tendances sur la salinité pour les années les mieux échantillonnées, pour chaque couche des secteurs C2 et Groenland, avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.

Couche	C2 (unité/an)	Erreur	R2	Groenland (unité/an)	Erreur	R2
0-50	-0,011	0,005	0,40	-0,004	0,006	0,04
50-100	-0,003	0,002	0,20	0,001	0,003	0,00
100-200	0,008	0,002	0,02	0,003	0,002	0,20
200-400	0,001	0,001	0,04	0,003	0,001	0,30
400-600	-0,001	0,006	0,40	0,000	0,002	0,00

les mieux échantillonnées. Les valeurs sont comparables, toutefois l'erreur sur la tendance est plus grande (moins de données), mais les coefficients de détermination sont meilleurs. De 100 à 400 mètres, dans le secteur C1, les faibles tendances remarquées sur l'ensemble des données ne sont pas visibles avec les années les mieux échantillonnées. La tendance générale reste à la désalinisation, sauf dans le secteur Groenland (100-400 mètres), qui affiche des tendances positives, même si elles ne sont pas marquées. La couche 50-100 mètres reste la plus touchée si on ne tient pas compte de la surface, ainsi que le secteur Ellesmere, avec une perte de 0,4 à 1,5 de 0 à 200 mètres (sur 50 ans). Cela confirme donc les précédentes observations. Les plus fortes tendances sont encore une fois visibles en surface (0-50 mètres), ce qui n'est pas surprenant avec les cycles de fonte et de gel de la glace de mer dans la région.

Finalement, pour les transports volumiques, une rapide comparaison entre les résultats des tendances sur l'ensemble des données et les années les mieux échantillonnées (tableaux 5.19 et 5.20) montrent que le comportement des transports est semblable dans les secteurs Ellesmere, C2 et

Tableau 5.19 – Tendances sur les transports volumiques pour les années les mieux échantillonnées, pour chaque couche et les secteurs Ellesmere et C1, avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.

Couche	Ellesmere (Sv/an)	Erreur	R2	C1 (Sv/an)	Erreur	R2
0-50	-0,0002	0,0001	0,20	0,00006	0,00008	0,06
50-100	-0,00009	0,00006	0,30	0,00005	0,00004	0,20
100-200	-0,00003	0,00001	0,50	0,00006	0,00002	0,50
200-400	ND	ND	ND	0,000034	0,000009	0,60
400-600	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Tableau 5.20 – Tendances sur les transports volumiques pour les années les mieux échantillonnées, pour chaque couche et les secteurs C2 et Groenland, avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.

Couche	C2 (Sv/an)	Erreur	R2	Groenland (Sv/an)	Erreur	R2
0-50	-0,00011	0,00005	0,30	0,00004	0,00008	0,02
50-100	-0,00006	0,00003	0,40	0,00005	0,00006	0,08
100-200	-0,00004	0,00002	0,50	0,00005	0,00004	0,20
200-400	-0,000018	0,000008	0,40	0,00002	0,00002	0,20
400-600	0,000000	0,000003	0,08	0,00000	0,00002	0,20

Groenland. Le secteur C1 montre des tendances différentes pour les deux ensembles de données, étant pratiquement complètement négatives sur l'ensemble des données et positives avec les années les mieux échantillonnées. En général, la tendance est à la décroissance à l'ouest et à l'augmentation à l'est. Les coefficients de corrélation sont meilleurs avec les années les mieux échantillonnées, qui semblent plus consistantes, mais les erreurs, elles, ne sont pas nécessairement moins grandes. Les résultats sont en accord avec un plus fort WGC et une diminution des transports en provenance de l'Arctique (de la Guardia et al., 2015).

5.5.2 Années 1990 et plus

Cette section est consacrée à la présentation des tendances calculées pour les années 1990 et plus, afin de déterminer si effectivement, un changement récent est visible dans la valeur des tendances. Plusieurs grands bouleversements sont observés au niveau océanique, dont un changement notable

de la circulation de l'eau Atlantique dans les mers nordiques au milieu des années 1990 (Harbaut et al. 2017). La baie de Baffin semble d'ailleurs déjà répondre à des changements reliés à la fonte accrue et cette réponse implique une accélération de cette fonte, avec des conséquences connues et anticipées, comme une plus forte stratification (entraînée par une baisse de la salinité) et une augmentation du contenu en chaleur (de la Guardia et al., 2015). Comme la salinité et la température sont des indicateurs de ce genre de changements, dans un contexte climatique évoluant depuis les 1990, les tendances ont été calculées exclusivement pour cette période. Comme aucune donnée n'est disponible avant 1999, cette année est le point de départ des calculs. Il y a donc 9 années visées, soit 1999, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2013 et 2014, pour une période couverte de 15 ans. C'est très peu, mais le but de l'exercice est qualitatif et non quantitatif. Qui plus est, la comparaison avec les résultats de l'ensemble des données est toujours effectuée. Le but principal est vraiment d'observer le comportement des tendances pour cette période récente.

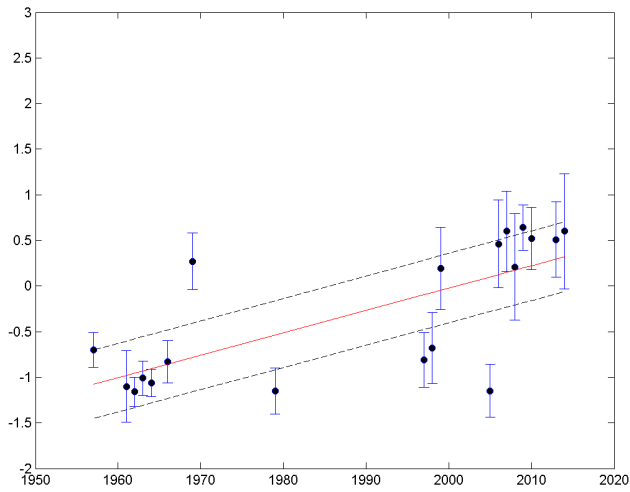
En ce qui concerne la température, les tendances pour la période 1999-2014 sont au réchauffement, elles sont plutôt uniformes, avec de meilleurs coefficients de détermination et une erreur comparable à celle calculée sur l'ensemble des données. Ce réchauffement s'étend de 50 à 400 mètres et les tendances du secteur Groenland sont sensiblement les mêmes que celles calculées sur l'ensemble des données et celles les mieux échantillonnées (fig. 5.4). Il va s'en dire que ce secteur en particulier se réchauffe et ce, hors de tout doute. Les autres secteurs semblent eux aussi se réchauffer, de 0,2 à 0,5°C en seulement 15 ans. C'est beaucoup, surtout sachant qu'aucun grand bouleversement comme un arrêt de circulation ou un inversement de courant n'a été documenté. Pour ce qui est des tendances sur la salinité, outre le secteur Ellesmere, les résultats sont différents de ceux pour les tendances calculées sur l'ensemble des données. Seule la tendance dans la couche 50-100 mètres du secteur Ellesmere sur l'ensemble des années est comparable à celle des années les mieux échantillonnées (figs. 5.5 et 5.6).

Tableau 5.21 – Tendances sur la température pour les années 1999 à 2014, pour chaque couche et les secteurs Ellesmere et C1 avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.

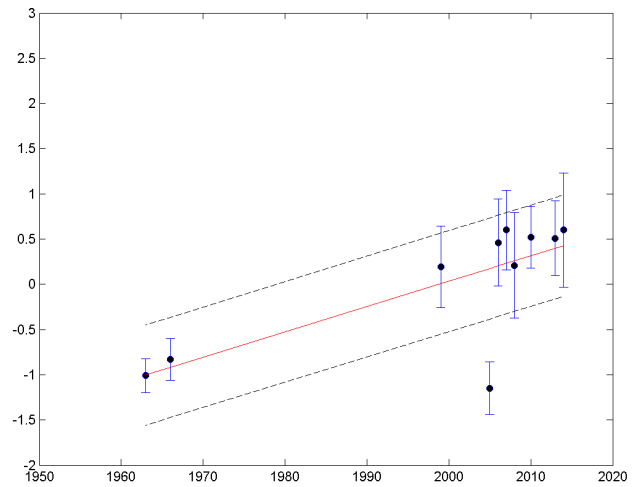
Couche	Ellesmere (°C/an)	Erreur	R2	C1 (°C/an)	Erreur	R2
0-50	-0,01	0,02	0,01	-0,01	0,01	0,04
50-100	0,009	0,004	0,50	0,007	0,004	0,30
100-200	0,012	0,005	0,50	0,018	0,006	0,60
200-400	ND	ND	ND	0,014	0,005	0,50
400-600	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Tableau 5.22 – Tendances sur la température pour les années 1999 à 2014, pour chaque couche et les secteurs C2 et Groendland, avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.

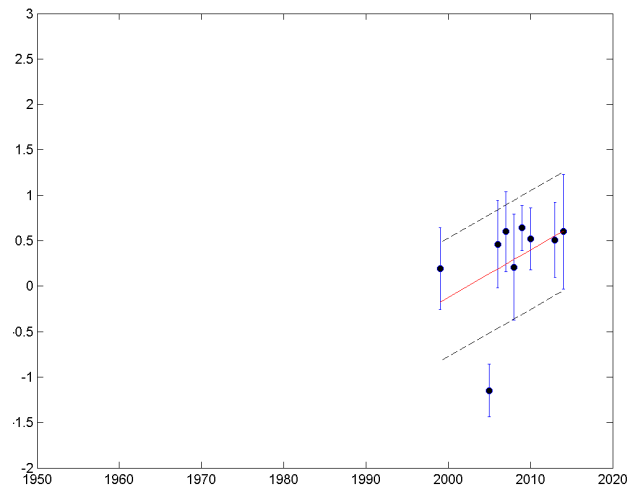
Couche	C2 (°C/an)	Erreur	R2	Groendland (°C/an)	Erreur	R2
0-50	-0,01	0,01	0,02	-0,01	0,02	0,06
50-100	0,011	0,005	0,40	0,005	0,002	0,40
100-200	0,022	0,006	0,70	0,028	0,009	0,50
200-400	0,007	0,006	0,20	0,020	0,007	0,50
400-600	-0,003	0,005	0,05	0,01	0,02	0,02



(a)



(b)



(c)

Figure 5.4 – Tendances linéaires calculées sur la température (rouge) avec intervalle de confiance de 95% (pointillés noirs) et l'écart type de chacune des moyenne sectorielles utilisées dans le calcul (bleu). L'axe horizontal représente les années et l'axe vertical est en degré celsius. En (a), tendance calculée sur l'ensemble des données, en (b), celle sur les années les mieux échantillonnées et en (c), celle des années 1999 et plus, pour le secteur Groenland, couche 100-200 m.

Tableau 5.23 – Tendances sur la salinité pour les années 1999 à 2014 pour chaque couche et les secteurs Ellesmere et C1 avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.

Couche	Ellesmere (unité/an)	Erreur	R2	C1 (unité/an)	Erreur	R2
0-50	0,14	0,06	0,60	0,01	0,06	0,00
50-100	-0,02	0,02	0,20	-0,02	0,02	0,07
100-200	0,02	0,02	0,20	0,02	0,03	0,10
200-400	ND	ND	ND	0,04	0,02	0,30
400-600	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Tableau 5.24 – Tendances sur la salinité pour les années 1999 à 2014, pour chaque couche et les secteurs C2 et Groenland, avec leur erreur sur la pente et leur coefficient de corrélation.

Couche	C2 (unité/an)	Erreur	R2	Groenland (unité/an)	Erreur	R2
0-50	0,01	0,07	0,01	0,00	0,08	0,00
50-100	0,01	0,03	0,01	0,00	0,02	0,01
100-200	0,05	0,03	0,30	0,05	0,04	0,20
200-400	0,02	0,03	0,08	0,05	0,03	0,20
400-600	0,02	0,01	0,20	0,00	0,02	0,00

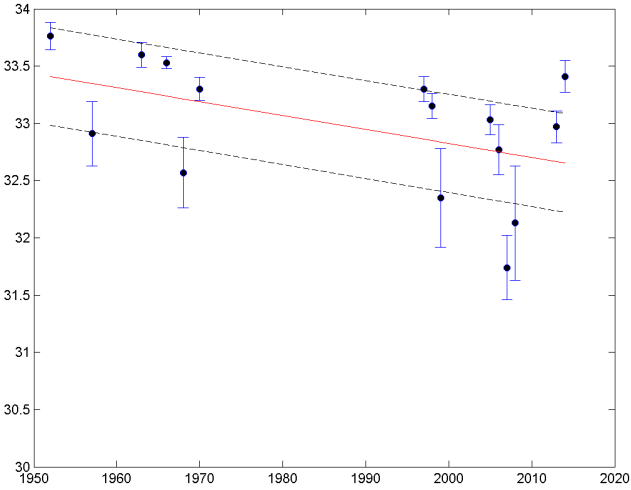


Figure 5.5 – Tendances linéaires calculées sur l'ensemble des données de salinité (rouge) pour le secteur Ellesmere, avec intervalle de confiance de 95% (pointillés noirs) et l'écart type de chacune des moyenne sectorielles utilisées dans le calcul (bleu). L'axe horizontal représente les années et l'axe vertical, les unités de salinité.

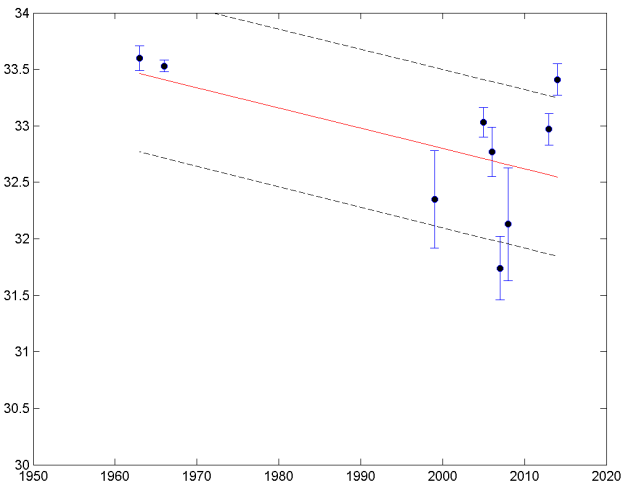


Figure 5.6 – Tendances linéaires calculées la salinité (rouge) des années les mieux échantillonnées, pour le secteur Ellesmere, avec intervalle de confiance de 95% (pointillés noirs) et l'écart type de chacune des moyenne sectorielles utilisées dans le calcul (bleu). L'axe horizontal représente les années et l'axe vertical, les unités de salinité.

Chapitre 6

Sommaire et conclusion

Ce mémoire avait comme but premier de déterminer si des tendances étaient visibles dans les données océaniques (chimiques et physiques) dans le nord de la baie de Baffin, un lieu d'échange et de mélange entre les océans Arctique et Atlantique. L'analyse des température et de la salinité a permis d'identifier trois couches d'eau distinctes : saisonnière, arctique et atlantique, avec des intrusions d'eau chaude persistantes et la présence d'un front. À partir des observations de température, de salinité et des différents nutriments, les tendances interannuelles ont été calculées. C'est ainsi qu'un réchauffement de 0,43 à 1,55°C a été identifié pour la période 1952-2014, dans le secteur Groenland, pour pratiquement toute la colonne d'eau, de 50 à 600 mètres. Une désalinisation a également été constatée surtout dans le secteur Ellesmere, dans la couche 100-200 mètres, d'environ -0,7 pour la période 1952-2014, ce qui est tout de même beaucoup, considérant que l'identification des masses d'eau s'effectue avec des valeurs de salinité qui ne sont différentes que de 0,7, voir moins tout dépendant de la description des masses d'eau choisies. En ce qui concerne les nutriments, les nitrates semblent augmenter dans les secteurs Groenland et C2, tout comme les phosphates. C'est le secteur C1 qui montre toutefois la plus forte tendance, pour la couche 50-400 mètres. Ces différentes tendances s'incrivent dans un contexte de bouleversements globaux. Durant les années 2000, l'épaisseur de la glace de plusieurs années dans le détroit de Fram a déchu d'environ un tiers comparativement à celle des années 1990 (Hansen et al. 2013). Le contenu en eau douce des couches supérieures est en train de changer. D'ailleurs, la désalinisation observée le long de la section est en lien direct avec l'augmentation de la décharge directe de la calotte glaciaire du Groenland le long de la côte de la baie de Baffin (22%), de la mer du Labrador(48%) et de la mer d'Irminger

(49%) (Barber et al. 2012). Les eaux supérieures du bassin Canadien sont de 1 à 3 unités moins salées en 2008 qu'en pré-1990 et de 1 à 2 unités plus salées dans le bassin de Marakov (Morrison et al. 2012). Du côté des transports, certains changements sont aussi visibles, notamment dans le détroit de Bering, où les transports volumiques ont augmenté de 0,4 Sv de 2001 à 2011 (Woodgate et al. 2012). Il est évident que la région constituée de l'arctique et des mers subarctiques est en pleine évolution, ce qui est d'ailleurs visible dans des lieux d'échange comme le nord de la baie de Baffin.

L'analyse combinée des données physiques et chimiques sur une aussi grande période dans la région n'avait pas été effectuée au niveau de la section choisie. En fait, habituellement, les études se concentrent sur l'aspect physique ou chimique, mais rarement les deux ensembles. Pourtant, ils sont liés. Dans cette étude, inclure une analyse des distributions des éléments nutritifs a permis de constater que la concentration de ceux-ci en surface illustre clairement la présence d'une forte activité biologique pour les mois d'août et de septembre. À la fin de l'été, une certaine stabilisation de la colonne d'eau est visible sur les distributions de température et de salinité, comportement adopté par les distributions des nutriments. Sous les 200 mètres, les éléments nutritifs sont moins touchés par le mélange en surface, tout comme les données physiques.

Cette étude visait également l'estimation des courants et des transports à travers la section. Cela a permis de confirmer la circulation cyclonique au niveau de la section, ainsi que la présence de tourbillons avec des diamètres d'environ 30 km. Ils sont majoritairement anticycloniques. Les simulations numériques perpendiculaires à la section du 76,5°N de Yao et Tang (2003) ont confirmé la distribution et la valeur des courants géostrophiques. En ce qui concerne les transports, les plus forts échanges s'effectuent surtout en surface. La distribution des transports illustre un apport de chaleur au niveau de la côte est (Groenland) et d'un export d'eau froide et moins salée provenant du nord. Avec la diversité des données utilisées dans cette étude, la caractérisation de l'impact de l'échantillonnage le long des côtes sur l'estimation des transports totaux perpendiculaires à la section devenait possible. De concert avec des simulations numériques estimant les transports totaux, il se trouve que les transports volumiques totaux le long de la section varient peu au cours de l'année, étant plus forts en août et septembre. Cette stabilité n'est pas visible avec les transports baroclines estimés, qui varient beaucoup plus. Finalement, l'impact de l'échantillonnage près des côtes est non-négligeable sur la valeur des transports totaux, puisque s'ils ne sont pas pris en compte, de 10% à 30% des transports totaux ne sont pas considérés dans le secteur Ellesmere et de 1% à 50% dans le secteur Groenland, avec une sous-estimation plus importante en hiver.

Même en considérant une variabilité naturelle et des différences sur le moment d'échantillonnage, les données et les tendances sont consistantes entre elles et des tendances ont pu être identifiées. Bergeron et Tremblay (2014) n'ont d'ailleurs pas trouvé de relation entre la date d'échantillonnage et la profondeur de la nitracline ou du déclin de la concentration en nitrates dans leur étude, ce qui leur indiquait qu'il n'y avait pas de biais évident dans la composition des données, même si elles étaient échantillonnées à différents moments entre les différentes années. Cela semble aussi être le cas dans cette étude. Il faut mentionner que le choix de ne conserver que les données estivales ou du début de l'automne a été un bon choix dans ce cas-ci. Sachant que les courants varient de manière saisonnières, étant plus forts en été et en automne (Tang et al. 2004), il aurait été mal avisé de comparer des données hivernales avec des estivales. Les seules années plus dissidentes sont 1952 et 2007. Dans le cas de 2007, l'absence du pont de glace pour cette année semble expliquer les fortes valeurs obtenues. Pour 1952, outre un plus fort *upwelling* ou mélange, aucune autre explication n'a pu être identifiée, le moment d'échantillonnage a d'ailleurs été écarté. En ce qui concerne les fortes valeurs de courants géostrophiques, elles sont le résultat de l'estimation et non d'un problème dans les données. D'ailleurs, Gratton et al. (2006) en ont discuté dans leur rapport sur la polynie. Ces valeurs plus fortes n'étaient pas attribuables à des profils de température ou de salinité problématiques mais à autre chose, peut-être un signal parasite dans les données ou la présence de structures hydrographiques sous-jacentes, comme les ondes internes. Il est également nécessaire de mentionner que les marées (tout comme les courants associés) n'ont pas été considérés dans cette étude, notamment parce qu'aucune donnée de courantomètre n'a été utilisée. Il est connu que ceux-ci peuvent avoir de fortes valeurs, comme par exemple au niveau du talus continental de la baie de Baffin, où ils peuvent atteindre 40 cm s^{-1} (Ingram et Prinsenberg, 1998). Au niveau du nord-ouest de la baie, au large, les courants de marées diurnes et semi-diurnes sont d'une amplitude inférieure à 8 cm s^{-1} . Près des côtes et en surface, cependant, ceux-ci peuvent atteindre 15 cm s^{-1} (Fissel 1982). Comme la section s'approche peu des côtes, ceux-ci ont donc un faible impact sur les valeurs de courants estimées. En ce qui concerne l'estimation des transports, cela ne semble toutefois pas être un facteur majeur de sur-estimation ou de sous-estimation dans la région (détroit de Nares), où les transports volumiques ne varient que de 0,8 à 0,6 Sv dépendant si les courants de marée sont soustraits ou pas, respectivement (Münchow et al. 2006). L'approche géostrophique comporte certaines limites, mais dans le cadre de cette étude, en fonction des valeurs estimées de courant et de transport, elle semble avoir généralement bien performé. Qui plus est, il a été

montré que cette approche est valide pour la région, sachant qu'environ les deux tiers du transport volumique est dynamiquement consistant avec la géostrophie (Münchow et al. 2006).

L'utilisation des moyennes sectorielles, autant dans les tendances que dans l'identification des masses d'eau a produit de bons résultats, surtout en ce qui concerne la séparation de la colonne d'eau en couche. Le comportement particulier de la couche 50-100 mètres en est un bon exemple. Il faut toutefois être prudent avant d'effectuer un moyennage, surtout s'il est temporel. En effet, il semble qu'une variance substantielle soit visible dans les moyennes mensuelles, pour une période de 10 à 20 jours. Celle-ci est toutefois généralement ignorée dans l'analyse des résultats (Rabe et al. 2012). Dans le cadre de cette étude, le nombre et la distribution temporelle des données ne permettait pas le calcul de telles moyennes mais, le cas échéant, des vérifications supplémentaires auraient été nécessaires avant de les utiliser dans les calculs.

Le choix d'utiliser les données en surface s'est avéré être un bon choix. Pour la plupart des années, les plus grands échanges s'effectuent en surface, dans la couche 0-50 mètres. Même si celle-ci est très influencée par les variations saisonnières, elle se doit d'être considérée. Les transports nets à travers la section auraient été fortement sous-estimés en ne considérant pas la surface. D'ailleurs, Melling (2000) a déterminé qu'il y a une perte d'environ la moitié des échanges d'eau douce arctique si on ne considère pas la surface, puisqu'ils s'effectuent jusqu'à des profondeurs d'environ 35 mètres.

Pour un ou des projets futurs, il serait intéressant de conjuguer d'autres traceurs biologiques pour valider le comportement ou les valeurs de N^* . La détermination des eaux sources le long de la section pourrait également être envisagée, cela permettrait de confirmer ou d'infirmer la présence de plus en plus forte d'eau de la mer d'Irminger dans la portion est (Groenland) de la section. C'est d'ailleurs l'hypothèse avancée dans cette étude, ainsi que dans certaines autres, pour expliquer le réchauffement des couches sous la surface pour ce secteur. Tenter d'isoler les composantes diurnes, semi-diurnes, hebdomadaires, voir mensuelles des séries de données serait également une nouvelle piste de travail. Cela aurait comme objectif d'identifier les source de la variance dans les différentes séries temporelles ainsi que l'influence de ces différentes composantes, un peu comme l'ont fait Tang et al. (2004) dans le détroit de Davis. Cela permettrait peut-être d'isoler une composante saisonnière quantifiable en lien avec la géostrophie. En ce qui concerne les variations saisonnières, les plus fortes identifiées dans la région sont visibles à l'entrée du détroit de Davis et sur le talus continental de la mer de Baffin (Tang et al. 2004), régions qui ne sont pas considérées dans le cadre

de cette étude, ce qui semble réduire l'impact des saisons sur les résultats. Qui plus est, celles-ci ont également un impact sur les échanges d'eau douce, puisqu'elles peuvent réguler les différents régimes de glace. Par exemple, dans le détroit de Nares, les différences induites par les différents régimes sont en moyenne de 20% sur les échanges, mais elles peuvent atteindre 40% (Rabe et al. 2012). Cet aspect n'a toutefois pas été traité dans cette étude, puisque cela ne faisait pas parti des objectifs que de quantifier l'impact des régimes de glace sur les différents transports. Cela pourrait toutefois faire partie d'un projet futur.

Références

- AAGARD, K. et E.C. CARMACK (1989). “The role of sea ice and other fresh water in the Arctic circulation”. In : *Journal of Geophysical Research* 94 (C10), p. 14 485–14 498.
- ADDISON, V.G. (1987). “The physical oceanography of the northern Baffin Bay - Nares Strait region”. M.Sc. thesis. Naval Post Graduate School. 99 p. Monterey, CA.
- AKSENOV, Y., S. BACON, A.C. COWARD et N.P. HOLLIDAY (2010). “Polar outflow from the Arctic Ocean : A high resolution model study”. In : *Journal of Marine Systems* 83, p. 14–37. DOI : 10.1016/j.jmarsys.2010.06.007.
- BAMBER, J., B. VAN DEN, M. ETTERNA, J. LENAERTS et E. RIGNOT (2012). “Recent large increases in freshwater fluxes from Greenland into the North Atlantic”. In : *Geophysical Research Letter* (39), p. L19501. DOI : 10.1029/2012GL052552.
- BAMBER, J., M. VAN DEN BROEKE, J. ETTERNA, J. LENAERTS et E. RIGNOT (2012). “Recent large increases in freshwater fluxes from Greenland into the North Atlantic”. In : *Journal of Geophysical Research* 39, p. L19501. DOI : 10.1029/2012GL052552.
- BARBER, D.G., J.M. HANESIAK, W. CHAN et J. PIWOWAR (2001). “Sea-ice and meteorological conditions in northern Baffin Bay and the North Water Polynya between 1979 and 1996”. In : *Atmosphere-Ocean* 39 (3), p. 343–359.
- BÂCLE, J. (2000). “The physical oceanography of water under the North Water Polynya”. M. Sc. thesis. Atmospheric, Oceanic Sciences Center for Climate et Global Change Research. 101 p. McGill, Montréal.
- BERGERON, M. (2013). “Utilisation du nitrate, de l’acide silicique et du phosphate pour l’estimation de la production primaire nette et la contribution des diatomées dans l’Arctique canadien (1997-2011)”. M.Sc. thesis. Université Laval. 60 p. Québec, CA.
- BERGERON, M. et J-É. TREMBLAY (2014). “Shifts in biological productivity inferred from nutrient drawdown in the southern Beaufort Sea (2003–2011) and northern Baffin Bay (1997–2011), Canadian Arctic”. In : *Geophysical Research Letters* (41), 3979–3987. DOI : 10.1002/2014GL059649.
- BIGNAMI, F. et T. S. HOPKINS (1997). “The water mass characteristics of the Northeast Water Polynya : Polar Sea data : 1992-1993”. In : *Journal of Marine Systems* 10, p. 139–156.
- BIRCH, J.R., D.B. FISSEL, D.D. LEMON et A.B. CORNFORD (1983). *Arctic Data Compilation and Appraisal. Baffin Bay : Physical Oceanography*. Volume 5. Canadian Data Report of Hydrography et Ocean Sciences. 372 p.
- BLAIS, Marjolaine, Mathieu ARDYNA, Michel GOSSELIN, Dany DUMONT, Simon BÉLANGER, Jean-Éric TREMBLAY, Yves GRATTON, Christian MARCHESE et Michel POULIN (2017). “Contrasting interannual changes in phytoplankton productivity and community structure in the coastal Canadian Arctic Ocean”. In : *Limnology and Oceanography* 62, p. 2480–2497. DOI : 10.1002/lno.10581.

- BÉLANGER, S., M. BABIN et J-É. TREMBLAY (2013). “Increasing cloudiness in Arctic damps the increase in phytoplankton primary production due to sea ice receding”. In : *Biogeosciences* 10, p. 6. DOI : 10.5194/bg-10-4087-2013.
- BULLARD, E. (2017). *Physical properties of sea water. Tables of Physical and Chemical Constants*. Version 1.0. National Physical Laboratory. URL : http://www.kayelaby.npl.co.uk/general_physics/2_7/2_7_9.html.
- CARMACK, E. et F. McLAUGHLIN (2011). “Towards recognition of physical and geochemical change in Subarctic and Arctic Seas”. In : *Progress in Oceanography* 90, p. 90–104. DOI : 10.1016/j.pocean.2011.02.007.
- COOTE, A.R. et E.P. JONES (1982). “Nutrient distributions and their relationship to water masses in Baffin Bay”. In : *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 39, p. 1210–1214.
- COTA, G., T. SIFERD et L. POMEROY (2007). *Arctic Nutrient Database 1997-1998*. Version 1.0. UCAR/NCAR-Eart Observing Laboratory. URL : <https://data.eol.ucar.edu/dataset/13.460>.
- CUNY, J., P.B. RHINES et R. KWOK (2005). “Davis Strait volume, freshwater and heat fluxes”. In : *Deep-Sea Research Part 1*. 52, p. 519–542. DOI : 10.1016/j.dsr.2004.10.006.
- CURRY, B., C.M. LEE et B. PETRIE (2011). “Volume, freshwater and Heat fluxes through Davis Strait, 2004-2005”. In : *Journal of Physical Oceanography* 41, p. 429–435. DOI : doi.org/10.1175/2010JP04536.1.
- DEFANT, J.A. (1961). *Physical Oceanography*. Pergamon Press, New York. Chap. VI. 786 p.
- DEUTSCH, C. et T. WEBER (2012). “Nutrient Ratios as a Tracer and Driver of Ocean Biogeochemistry”. In : *Annual Review of Marine Science* 4, p. 113–141. DOI : 10.1146/annurev-marine-120709-142821.
- DICKSON, R., B. RUDELS, S. DYE, M. KARCHER, J. MEINCKE et I. YASHAYAEV (2007). “Current estimates of freshwater flux through Arctic Ocean and subarctic seas”. In : *Progress in Oceanography* 73, p. 210–230.
- DICKSON, R., I. YASHAYAEV, J. MEINCKE, B. TURRELL, S. DYE et J. HOLFORT (2002). “Rapid freshening of the deep North Atlantic Ocean over the past four decades”. In : *Nature* (416). DOI : 10.1038/416832a.
- DICKSON, R.R., J. MEINCKE, S-A. MALMBERG et A.J. LEE (1988). “The "Great Salinity Anomaly" in the Northern North Atlantic 1968-1982”. In : *Progress in Oceanography* 20, p. 103–151.
- DUNBAR, M.J. (1951). “Eastern Arctic Waters”. In : *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 88.
- EMERY, W.J. et R.E. THOMSON (2001). *Data Analysis Methods in Physical Oceanography*. Second and Revised Edition. Elsevier. 638 p.
- FISSEL, D.B. (1982). “Tidal Currents and Inertial Oscillations in Northwestern Baffin Bay”. In : *Arctic* 35 (1), p. 201–210.
- FOFONOFF, N.P. et H. BRYDEN (1975). “Specific gravity and density of seawater at atmospheric pressure”. In : *Journal of Marine Research* 33, p. 69–82.
- FRANCESCHETTI, A.P., D.A. MCGILL, N. CORWIN et E. UCHUPI (1964). *Oceanographic observations Kennedy Channel, Kane Basin, Smith Sound dans Baffin Bay*. Oceanographic Report No.5. U.S Coast Guard. 98 p.
- GRATTON, Y., M. OUELLET, M-E RAIL et R.G. INGRAM (2006). *Distribution of temperature and salinity in northern Baffin Bay during the International Nort Water Program ((August 1997, April to July 1998, and September 1999)*. Internal Report No R897. Institut National de la Recherche Scientifique- ETE. 124 p.

- GRIVALT, N., X. HU et P.G. MYERS (2017). “Evolution of Baffin Bay Water Masses and Transports in a Numerical Sensitivity Experiment under Enhanced Greenland Melt”. In : *Atmosphere-Ocean* 55 (3), p. 169–194. DOI : 10.1080/07055900.2017.1333950.
- GUARDIA, L.C. de la, X. HU et P.G. MYERS (2015). “Potential positive feedback between Greenland Ice Sheet melt and Baffin Bay heat content on the west Greenland shelf”. In : *Geophysical Research Letters* (42), 4922–4930. DOI : 10.1002/2015GL064626.
- HAINÉ, Thomas W.N., Beth CURRY, Rüdiger GERDES, Edmond HANSEN, Michael KARCHER, Craig LEE, Bert RUDELS, Gunnar SPREEN, Laura de STEUR, Kial D. STEWART et Rebecca WOODGATE (2015). “Arctic freshwater export : Status, mechanisms, and prospects”. In : *Global and Planetary Change* 125, p. 13–35.
- HAMILTON, J.M. et Y. WU (2013). *Synopsis and trends in the physical environment of Baffin Bay and Davis Strait*. Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences 282. Fisheries et Oceans Canada. 39 p.
- HANSEN, E., S. GERLAND, M.A. GRANSKOG, O. PAVLOVA, A.H.H. RENNER, J. HAAPALA, J. LOYNING et T.B. TSCHUDI (2013). “Thinning of Arctic sea ice observed in Fram Strait : 1990–2011”. In : *Journal of Geophysical Research* (18), 5202–5221. DOI : 10.1029/2006JG000354.
- HERBAUT, C., M-N. HOUSSAIS, S. CLOSE et A-C. BLAIZOT (2017). “On the spatial coherence of the Atlantic Water inflow across the Nordic Seas”. In : *Journal of Geophysical Research : Oceans* 122, p. 4346–4363.
- HURRELL, J.W. (1995). “Decadal Trends in the North Atlantic Oscillation : Regional Temperatures and Precipitation”. In : *Science* 269, p. 676–678.
- INGRAM, R.G. et S. PRINSEBERG (1998). “Coastal Oceanography of Hudson Bay and surrounding eastern Canadian Arctic Waters coastal segment”. In : *The Sea* 11 (29).
- JONES, E.P., J.H. SWIFT, L.G. ANDERSON, M. LIPIZER, G. CIVITARESE, K.K. FALKNER, G. KATTNER et F. MCCLAUGHLIN (2003). “Tracing Pacific water in the North Atlantic Ocean”. In : *Journal of Geophysical Research* 108 (C4), p. 3116. DOI : 10.1029/2001JC001141.
- KILLWORTH, Peter D. (1983). “Absolute velocity calculations from single hydrographic sections”. In : *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers* 30.5, p. 513–542. DOI : [https://doi.org/10.1016/0198-0149\(83\)90087-0](https://doi.org/10.1016/0198-0149(83)90087-0). URL : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0198014983900870>.
- KLIEM, N. et D. A. GREENBERG (2003). “Diagnostic simulations of the summer circulation in the Canadian Arctic Archipelago”. In : *Atmosphere-Ocean* 41 (4), p. 273–289.
- LAIDRE, K.L., M.P. HEIDE-JORGENSEN, W. ERMOLD et M. STEELE (2010). “Narwhals document continued warming of southern Baffin Bay”. In : *Journal of Geophysical Research* 122 (C10049). DOI : 10.1029/2009JC005820.
- LAVOIE, D., N. LAMBERT et A. Van der BAAREN (2013). *Projections of future physical and biogeochemical conditions in Hudson and Baffin Bay from CMIP5 global climate models*. Canadian Technical Report of Hydrography and Ocean Sciences 289. Fisheries et Oceans Canada. 129 p.
- LAZIER, J.N.R. (1980). “Oceanographic conditions at ocean weather ship *Bravo*, 1964–1974”. In : *Atmosphere-Ocean* 18, p. 227–238.
- LOBB, J., A.J. WEAVER, E.C. CARMACK et R.G. INGRAM (2003). “Structure and mixing across an Arctic/Atlantic front in northern Baffin Bay”. In : *Geophysical Research Letters* 30 (16), p. 1833. DOI : 10.1029/2003GL017755.
- LYON, L. (1991). *A practical guide to data analysis for physical science students*. Cambridge University Press. 95 p. Cambridge.
- MANTYLA, A.W. (1987). “Standard Seawater Comparisons Updated”. In : *Journal of Physical Oceanography* 17, p. 543–548.

- MCGEEHAN, T. et W. MASLOWSKI (2012). "Evaluation and control mechanisms of volume and freshwater export through the Canadian Arctic Archipelago in a high-resolution pan-Arctic ice-model". In : *Journal of Geophysical Research* 117 (C00D14). DOI : 10.1029/2011JC007261.
- MELLING, H. (2000). *The freshwater budget of the Arctic Ocean*. E.L. Lewis. Dordrecht, The Netherlands : Kluwer Academic Publisher, p. 479–502.
- MELLING, Humfrey, Tom A. AGNEW, Kelly K. FALKNER, David A. GREENBERG, Craig M. LEE, Andreas MÜNCHOW, Brian PETRIE, Simon J. PRINSENBERG, Roger M. SAMELSON et Rebecca A. WOODGATE (2008). "Fresh-Water fluxes via Pacific and Arctic Outflows Across the Canadian Polar Shelf". In : *Arctic-Subarctic ocean fluxes : defining the role of the northern seas in climate*. Springer-Verlag, p. 193–247.
- MERTZ, G., S. NARAYANAN et J. HELBIG (1993). "The freshwater transport of the Labrador current". In : *Atmosphere-Ocean* 39 (3), p. 301–325.
- MICHEL, C., J. HAMILTON, E. HANDSEN, D. BARBER, M. REIGSTAD, J. LACCOZZA, L. SEUTHE et A. NIEMI (2015). "Arctic Ocean outflow shelves in the changing Arctic : A review and perspectives". In : *Progress in Oceanography* 139, p. 66–88. DOI : 10.1016/j.poccean.2015.08.007.
- MILLERO, F.K., R. FEISTEL, D.G. WRIGTH et T.J. MCDUGALL (2008). "The composition of Standard Seawater and the definition of the Reference-Composition Salinity Scale". In : *Deep-Sea Research : Part I* 55, p. 50–72. DOI : 10.1016/j.dsr.2007.10.001.
- MÜNCHOW, A. (2016). "Volume and Freshwater fluxes observations from Nares Strait to the west of Greenland at daily time scales from 2003 to 2009". In : *Journal of Physical Oceanography* 46, p. 141–157. DOI : 10.1175/JPO-D-15-0093.1.
- MÜNCHOW, A., K.K. FALKNER et H. MELLING (2007). "Spatial continuity of measured seawater and tracer fluxes through Nares Strait, a dynamical wide channel bordering the Canadian Archipelago". In : *Journal of Marine Research* 65, p. 759–788.
- MÜNCHOW, A., K.K. FALKNER et H. MELLING (2015). "Baffin Island and West Greenland Current Systems in northern Baffin Bay". In : *Progress In Oceanography* 132, 305–317. DOI : 10.1016/j.poccean.2014.04.001.
- MÜNCHOW, A. et H. MELLING (2008). "Ocean current observations from Nares Strait to the west of Greenland : Interannual to tidal variability and forcing". In : *Journal of Marine Research* 66, p. 801–833.
- MÜNCHOW, A., H. MELLING et K.K. FALKNER (2006). "An observational estimate of volume and freshwater flux leaving the Arctic Ocean through Nares Strait". In : *Journal of Physical Oceanography* 36, p. 2025–2041.
- MÜNCHOW, A.A., K.K. FALKNER, H. MELLING, B. RABE et H.L. JOHNSON (2011). "Ocean warming of Nares Strait bottom waters off Northwest Greenland, 2003-2009". In : *Oceanography* 24 (3), p. 114–123. DOI : 10.5670/oceanog.2011.62.
- MORRISON, J., R. KWOK, C. PERALTA-FERRIZ, M. ALKIRE, I. RIGOR, R. ANDERSON et M. STEELE (2012). "Changing Arctic Ocean freshwater pathways". In : *Nature* (481). DOI : 10.1038/nature10705.
- MOYNIHAN, M.J. et R.D. MUENCH (1971). *Oceanographic observations in Kane Basin and Baffin Bay May and August-October 1969*. Oceanographic Report No. 44. U.S Coast Guard. 143 p.
- MUENCH, R. D. (1970). "The physical oceanography of the northern Baffin Bay region". Ph.D thesis. Washington University. 150 p.
- MUENCH, R.D. (1972). *Oceanographic conditions in the northern Baffin Bay region*. Oceanographic Report No. 54. U.S Coast Guard.
- MYERS, P.G., N.KULAN et M.H. RIBERGAARD (2007). "Irminger Water variability in the West Greenland Current". In : *Geophysical Research Letter* 34 (L17601). DOI : 10.1029/2007GL030419.

- MYSAK, L.A. et F. HUANG (1992). “A latent- and sensible-heat polynya model for the North Water, northern Baffin Bay”. In : *Journal of Physical Oceanography* 22, p. 596–608.
- NUMMELIN, A., M. ILLICAK, C. LI et L.H. SMEDSRUD (2016). “Consequences of future increased Arctic runoff on Arctic Ocean stratification, circulation, and sea ice cover”. In : *Journal of Geophysical Research : Oceans* 121, p. 617–637. DOI : 10.1002/2015JC011156.
- PALFREY, K.M. et C.G. DAY (1968). *Oceanography of Baffin Bay and Nares Strait in the summer of 1966 and current measurements in Smith Sound, summer 1963*. Oceanographic Report No. 16. U.S Coast Guard. 204 p.
- PEASE, C.H. (1987). “The size of wind-driven polynyas”. In : *Journal of Geophysical Research* 92, p. 7049–7059.
- POND, S. et G.L. PICKARD (1983). *Introductory Dynamical Oceanography*. Elsevier Science. URL : <https://books.google.fr/books?id=S6X8BAAAQBAJ>.
- PRINSENBERG, S., J.HAMILTON et R. PETTIPAS (2009). “Observing and interpreting the seasonal variability of the oceanographic fluxes passing through Lancaster Sound of the Canadian Arctic Archipelago”. In : *Influence of climate change on the changing Arctic and Sub-Arctic conditions*. Springer, p. 549–587.
- RABE, B., P. A. DODD, E. HANSEN, E. FALCK, U. SCHAUER, A. MACKENSEN, A. BESZCZYNSKA-MÖLLER, G. KATTNER, E. J. ROHLING et K. COX (2013). “Liquid export of Arctic freshwater components through the Fram Strait 1998-2011”. In : *Ocean Science* 9 (1), p. 91–109.
- RABE, B., H.L. JOHNSON, A. MÜNCHOW et H. MELLING (2012). “Geostrophic ocean currents and freshwater fluxes across the Canadian polar shelf via Nares Strait”. In : *Journal of Marine Research* (70), 603–640.
- RAIL, M-E. (2005). “Polynie des Eaux du Nord : estimation des bilans et de la circulation à partir d’un modèle inverse simple”. M.Sc. thesis. Institut National de la Recherche Scientifique. 65 p. Québec, CA.
- RASMUSSEN, T.A.S., N. KLIEM et E. KAAS (2011). “The Effect of Climate Change on the Sea Ice and Hydrography in Nares Strait”. In : *Atmosphere-Ocean* 49 (3), p. 245–258.
- REDFIELD, A.C., D. KETCHUM et F. RICHARDS (1963). “Influence of organisms on the composition of sea-water”. The composition of sea-water : comparative and descriptive oceanography. In : *The Sea Vol. 2*. Hill, M.N. (Ed.) Interscience Publishers, p. 22–76. New York.
- REEVE, J. L. (2016). “Pairing $\Delta N_2/Ar$ and N^* tracers to observe denitrification in the Canada Basin”. M.Sc. thesis. University of Victoria. 71 p.
- RUDELS, B. (2011). “Volume and freshwater transports through the Canadian Arctic Archipelago-Baffin Bay system”. In : *Journal of Geophysical Research* 116 (C00D10). DOI : 10.1029/2011JC007019.
- RUDELS, B. (2015). “Arctic Ocean circulation, processes and water masses : A description of observations and ideas with focus on the period prior to the International Polar Year 2007–2009”. In : *Progress in Oceanography* 132, p. 22–67. DOI : 10.1016/j.pocean.2013.11.006.
- RYAN, P.A. et A. MÜNCHOW (2017). “Sea ice draft observations in Nares Strait from 2003 to 2012”. In : *Journal of Geophysical Research : Oceans* 122 (4), p. 3057–3080. DOI : 10.1002/2016JC011966.
- SCHOTT, Friedrich et Henry STOMMEL (1978). “Beta spirals and absolute velocities in different oceans”. In : *Deep Sea Research* 25.11, p. 961–1010. DOI : [https://doi.org/10.1016/0146-6291\(78\)90583-0](https://doi.org/10.1016/0146-6291(78)90583-0). URL : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0146629178905830>.
- SEA-BIRD (2018). *SBE 911plus CTD*. URL : <https://tex.stackexchange.com/questions/3587/how-can-i-use-bibtex-to-cite-a-web-page> (visité le 17/04/2018).

- SERREZE, Mark C., Andrew P. BARRETT, Andrew G. SLATER, Rebecca A. WOODGATE, Knut AAGAARD, Richard B. LAMMERS, Michael STEELE, Richard MORITZ, Michael MEREDITH et Craig M. LEE (2006). “The large scale freshwater cycle of the Arctic”. In : *Journal of Geophysical Research*, p. 139–156.
- SHROYER, E.L., R.M. SAMELSON, L. PADMAN et A. MÜNCHOW (2015). “Modeled ocean circulation in Nares Strait and its dependence on landfast-ice cover”. In : *Journal of Geophysical Research : Oceans* 120, p. 7934–7959. DOI : 10.1002/2015JC011091.
- SMEED, D.A., S.A. JOSEY, C. BEAULIEU, W.E. JOHNS, B.I. MOAT, E. FRAJKA-WILLIAMS, D. RAYNER, C.S. MEINEN, M. O. BARINGER, H. L. BRYDEN et G. D. MCCARTHY (2018). “The North Atlantic Ocean is in a state of reduced overturning”. In : *Geophysical Research Letter* 45 (3), p. 1527–1533. DOI : 10.1002/2017GL076350.
- SNYDER, J.P. (1993). *Flattening the Earth – 2000 Years of Map Projections*. University of Chicago Press, IL. 365 p.
- STEINER, N., K. AZETSU-SCOTT, J. HAMILTON, K. HEDGES, X. HU, M.Y. JANJUA, D. LAVOIE, J. LODER, H. MELLING, A. MERZOUK, W. PERRIE, I. PETERSON, M. SCARRATT, T. SOU et R. TALLMANN (2015). “Observed trends and climate projections affecting marine ecosystems in the Canadian Arctic”. In : *Environmental Reviews* 23.2, p. 191–239. DOI : 10.1139/er-2014-0066.
- STEWART, R.H. (2006). *Introduction To Physical Oceanography*. September 2006 Edition. Texas A & M University. 344 p.
- STROEVE, J., M. SERREZE, S. DROBOT, S. GEARHEARD, M. HOLLAND, J. MASLANIK, W. MEIER et T. SCAMBOS (2008). “Arctic sea ice extent plummets in 2007”. In : *Eos Transactions* 89, p. 13–14. DOI : 10.1029/2008E0020001.
- TANG, C.C.L., C.K. ROSS, T. YAO, B. PETRIE, B.M. DETRACEY et E. DUNLAP (2004). “The circulation, water masses and sea-ice of Baffin Bay”. In : *Progress in Oceanography* 63, p. 183–228.
- THINCAT, Wikimedia Commons (2017). *Canadian Arctic Archipelago*. URL : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Canadian_Arctic_Archipelago,_annotated.svg (visité le 20/11/2018).
- TORRES-VALDÈS, S., T. TSUBOUCHI, S. BACON, A.C. NAVEIRA-GARABATO, R. SANDERS, F.A. MCLAUGHLIN, B. PETRIE, G. KATTNER, K. AZETSU-SCOTT et T.E. WHITLEDGE (2013). “Export of nutrients from the Arctic Ocean”. In : *Journal of Geophysical Research : Oceans* (118), p. 1625–1644. DOI : 10.1002/jgrc.20063.
- TREMBLAY, J-É., Y. GRATTON, E.C. CARMACK, C.D. PAYNE et N.M. PRICE (2002). “Impact of large-scale Arctic circulation and the North Water Polynya on nutrient inventories in Baffin Bay”. In : *Journal of Geophysical Research* 107 (C8). DOI : 10.1029/2002JC00595.
- WHITE, Daniel, Larry HINZMAN, Lilian ALESSA, John CASSANO, Molly CHAMBERS, Kelly FALKNER, Jennifer FRANCIS, William J. GUTOWSKI, Marika HOLLAND, R. Max HOLMES, Henry HUNTINGTON, Douglas KANE, Andrew KLISKEY, Craig LEE, James MCCLELLAND, Bruce PETERSON, T. Scott RUPP, Fiamma STRANEO, Michael STEELE, Rebecca WOODGATE, Daqing YANG, Kenji YOSHIKAWA et Tingjun ZHANG (2007). “The Arctic Freshwater system : Changes and impacts”. In : *Journal of Geophysical Research* 112, G04S54. DOI : 10.1029/2006JG000353.
- WOODGATE, R.A., T.J. WEINGARTNER et R. LINDSAY (2012). “Observed increases in Bering Strait oceanic fluxes from the Pacific to the Arctic from 2001 to 2011 and their impacts on the Arctic Ocean water column”. In : *Geophysical Research Letters* 39, p. L24603. DOI : 10.1029/2012GL054092.
- WUNSCH, CARL (1977). “Determining the General Circulation of the Oceans : A Preliminary Discussion”. In : *Science* 196.4292, p. 871–875. DOI : 10.1126/science.196.4292.871. eprint :

- <http://science.sciencemag.org/content/196/4292/871.full.pdf>. URL : <http://science.sciencemag.org/content/196/4292/871>.
- WUNSCH, Carl (1978). “The North Atlantic general circulation west of 50°W determined by inverse methods”. In : *Reviews of Geophysics* 16.4, p. 583–620. DOI : 10.1029/RG016i004p00583. eprint : <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/RG016i004p00583>. URL : <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/RG016i004p00583>.
- YANG, Q., T.H. DIXON, P.G. MYERS, J. BONIN, D. CHAMBERS, M.R. VAN DEN BROEKE, M.H. RIBERGAARD et J. MORTENSEN (2016). “Recent increases in Arctic freshwater flux affects Labrador Sea convection and Atlantic overturning circulation”. In : *Nature Communications* 7, p. 10525. DOI : 10.1038/ncomms10525.
- YAO, T. et C.L. TANG (2003). “The formation and maintenance of the North Water Polynya”. In : *Atmosphere-Ocean* 41 (3), p. 187–201.
- ZWENG, M.M. (2004). “Hydrography and climatological evolution of Baffin Bay, 1916-1999”. University of Delaware.
- ZWENG, M.M. et A. MÜNCHOW (2006). “Warming and freshening of Baffin Bay, 1916-2003”. In : *Journal of Geophysical Research* 111 (C07016). DOI : 10.1029/2005JC003093.

Annexe A

Informations supplémentaires

Tableau A.1 – Acronymes utilisés dans le cadre de cette étude.

Acronyme	Signification
ND	Non disponible
CTD	Conductivity Temperature Depth
BIO	Bedford Institut of Oceanography
NODC	National Oceanographic Data Center
ARCNUt	Arctic Nutrient Database
ICES	International Council for the Exploration of the Sea
PANGEA	Data Publisher for Earth and Environmental Science
NOW	International North Water Study 1997 - 1999
CTD	Conductivity, Temperature, Depth
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
RMSE	Root Mean Square Error
CAA	Canadian Arctic Archipelago
GSA	Great Salinity Anomaly
WGC	West Greenland Current
EGC	East Greenland Current
NAO	North Atlantic Oscillation
AMOC	Atlantic Meridional Overturning Circulation
PSW	Pacific summer Water
WGC	West Greenland Current
WGIW	West Greenland Irminger Water
IW	Irminger Water
WGSW	West Greenland Shelf Water
Sv	Sverdrup ($10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)
mSv	miliSverdrup ($10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$)

Tableau A.2 – Valeurs de références utilisées pour le calcul de transports dans l’Arctique dans quelques articles de référence pour la région ou ses environs.

Étude	Température de référence (°C)	Salinité de référence (PSU)	Région
Muench (1970)	-1.85	ND	baie de Baffin (nord)
Mertz et al. (1993)	ND	34.8	mer du Labrador
Bâcle (2000)	-1.7	34.48	Polynie des Eaux du Nord
Melling (2000)	ND	35	Archipel canadien, détroit de Béring
Kliem et Greenberg (2003)	-0.1	34.8	Archipel canadien
Serreze et al. (2006)	ND	34.8	Océan Arctique
Dickson et al (2007)	ND	34.8 et 35.2	Archipel canadien et mers environnantes
Rudels (2011)	ND	34.8	Archipel canadien et baie de Baffin
McGeehan et Maslowski (2012)	ND	34.8	baie de Baffin, détroits de Lancaster et de Nares
Rabe et al. (2013)	ND	34.9	détroit de Fram
Haine et al. (2015)	ND	34.8	Arctique et Archipel canadien
Grivault et al. (2017)	-2.0	34.8	baie de Baffin

* ND indique une valeur non-disponible, généralement parce que les transports de chaleur n'étaient pas calculés.

Tableau A.3 – Incertitudes recensées à ce jour via les différentes méthodes de mesure.

Propriété	Intrument	Incertitude	Référence
Température	CTD	$\pm 0.01^{\circ}\text{C}$	Coote et Jones (1982)
Température	Thermomètre à renversement	$\pm 0.02^{\circ}\text{C}$	Zweng et Munchow (2006)
Température	CTD	$\pm 0.001^{\circ}\text{C}$	http://seabird.com
Salinité	CTD	± 0.01 ppm	Coote et Jones (1982)
Salinité	Salinomètre	± 0.002 ppm	Coote et Jones (1982)
Salinité	CTD (récent)	± 0.001 unité	http://seabird.com
Nitrate	Bouteille	± 0.4 $\mu\text{g-at/L}$	Coote et Jones (1982)
Silicate	Bouteille	± 0.4 $\mu\text{g-at/L}$	Coote et Jones (1982)
Phosphate	Bouteille	± 0.02 $\mu\text{g-at/L}$	Coote et Jones (1982)
Nutriments	Bouteille	± 0.05 μMol	Tremblay et al. (2002)

Tableau A.4 – Dates d'échantillonnage des propriétés pour chacune des années.

Année	Temp. / Sal.	Nutriments
2014	30 juil. - 1 août	ND
2013	15 - 18 août	15 - 18 août
2010	15 - 17 oct.	15 - 17 oct.
2009	27 - 29 oct.	27 - 29 oct.
2008	12 - 15 sept.	12 - 15 sept.
2007	29 sept. - 3 oct.	29 sept. - 3 oct.
2006	15 -18 sept.	16 -18 sept.
2005	16 - 18 août	16 - 18 août
1999	17 - 20 sept.	17 - 20 sept.
1998	5 - 20 juil	5 - 8 juil
1997	22 - 25 août	22 - 24 août
1986	21 - 22 août	ND
1979	18 - 20 août	ND
1978	13 sept.	13 sept.
1970	31 juil. - 1 août	ND
1969	28 sept.	ND
1968	20 -21 sept.	20 -21 sept.
1966	1 - 2 août	ND
1964	11 - 25 sept.	ND
1963	2 août	2 août
1962	5 - 6 oct.	ND
1961	16 sept.	ND
1957	25 sept.	ND
1952	20 août	ND

* ND est ici utilisé pour signifier qu'aucune données de nutriments n'a pu être utilisé pour l'année.

Le tableau suivant présente la longueur, l'aire, le pourcentage de l'aire couverte par rapport à la section de référence (1999) et le nombre de stations finales, pour chacune des années. La longueur est la distance entre la première et la dernière station. L'aire représente la surface couverte par les données, soit celle couverte pour chacune des cases du quadrillage (courant ou transport) avec une valeur.

Tableau A.5 – Informations complémentaires concernant les sections des différentes années illustrant les conséquences d'une différence d'échantillonnage.

Année	Aire (km ²)	Longueur (km)	Pourcentage section de référence	Nombre de stations
2014	57	151	76	11
2013	62	163	82	14
2010	56	121	75	11
2009	55	119	73	10
2008	61	161	80	13
2007	62	164	82	7
2006	66	175	88	13
2005	60	158	80	9
1999	75	199	100	14
1998	77	186	102	4
1997	76	188	100	4
1991	23	96	30	5
1986	31	79	42	8
1979	37	105	49	6
1978	35	111	46	3
1970	33	113	44	5
1969	33	94	44	7
1968	20	79	27	7
1966	72	203	96	12
1964	52	132	69	5
1963	71	203	94	10
1962	45	113	60	3
1961	40	95	53	3
1957	54	185	71	4
1952	34	101	45	4

Annexe B

Contours de température et de salinité

Cette annexe est consacrée à la présentation des contours de température et de salinité et ce, pour l'ensemble des années sélectionnées et utilisées dans les calculs. Ces contours sont issus des grilles régulières créées par le processus d'interpolation. Cependant, afin de ne pas perdre de vue la distribution originale des stations, celles-ci sont également affichées sur les contours, avec leurs numérotations initiales. Il faut rappeler que l'origine (0 km) de l'axe horizontal correspond au point fixe choisi sur la côte de l'île d'Ellesmere et la fin (250 km) à celui choisi sur la côte du Groenland. L'axe vertical est en mètres. L'échelle de couleur a été choisie (patula sous Matlab) de manière à distinguer très facilement les valeurs positives des valeurs négatives. Cela permet d'ailleurs d'identifier facilement certaines structures caractéristiques, notamment la présence d'eau plus chaude du côté du Groenland, comme mentionné dans le chapitre 2. Les contours sont présentés en ordre croissant d'années, commençant par 1952, la première année, jusqu'à 2014, la dernière. Les différences de bathymétrie visible entre certaines années sont d'une part expliquée par le fait que celle-ci aie été acquise avec Etopo1 (la majorité des années historiques) et d'autre part parce que la section n'est pas exactement au même endroit d'une année à l'autre. dès que la section a été visitée systématiquement, la bathymétrie est sensiblement toujours la même (années 2005 et plus).

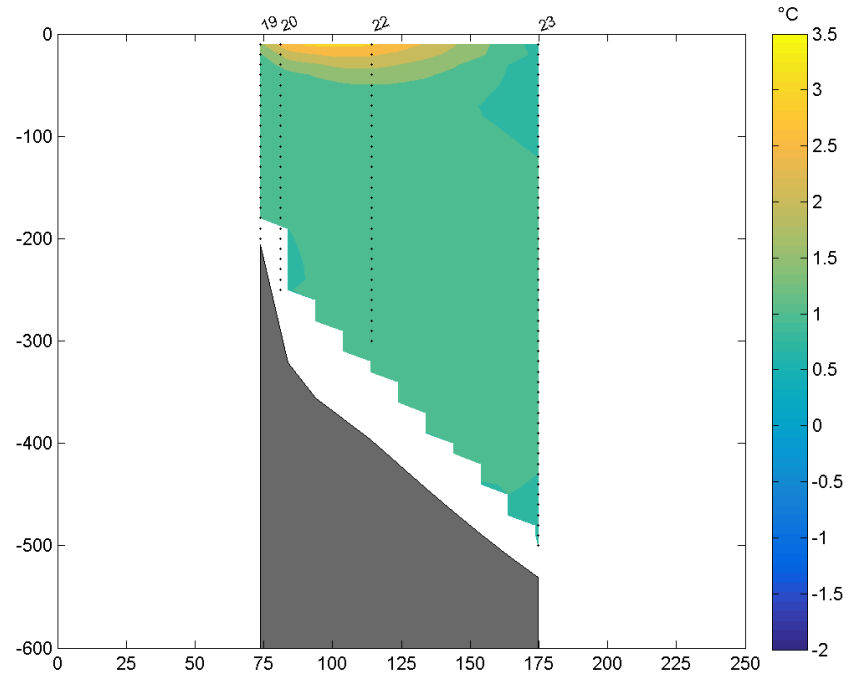


Figure B.1 – Contours de température pour l'année 1952 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

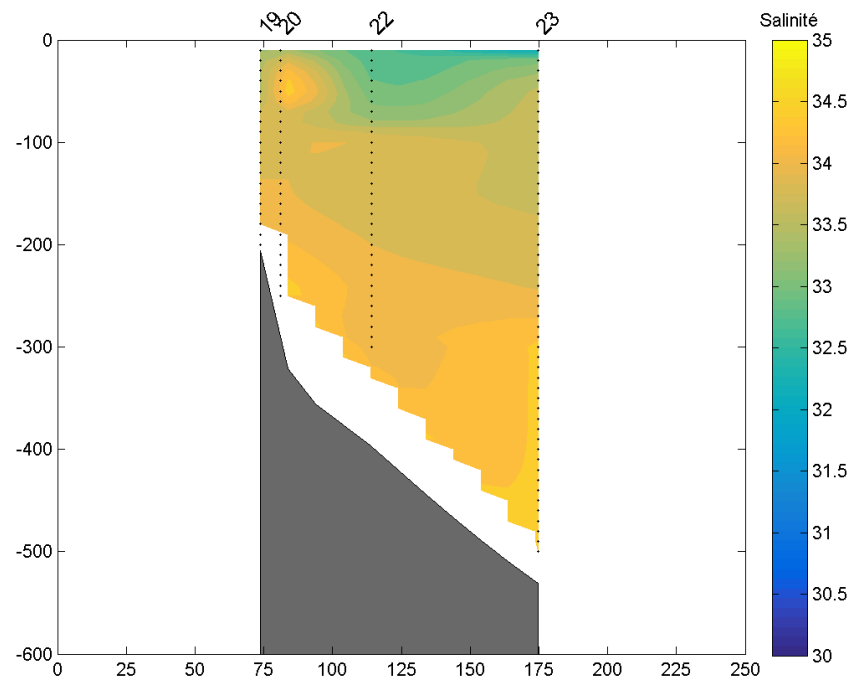


Figure B.2 – Contours de salinité pour l'année 1952 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

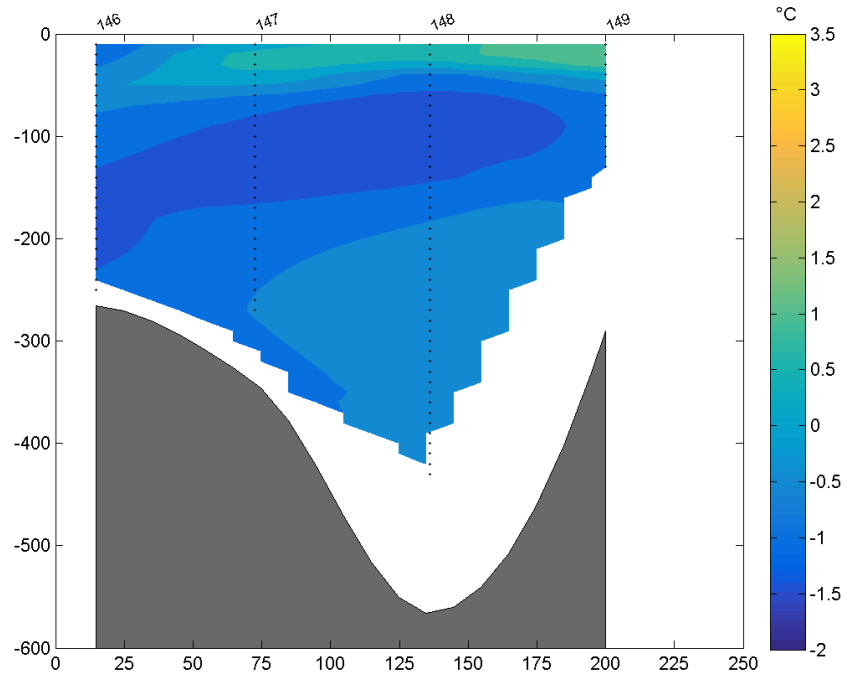


Figure B.3 – Contours de température pour l'année 1957 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

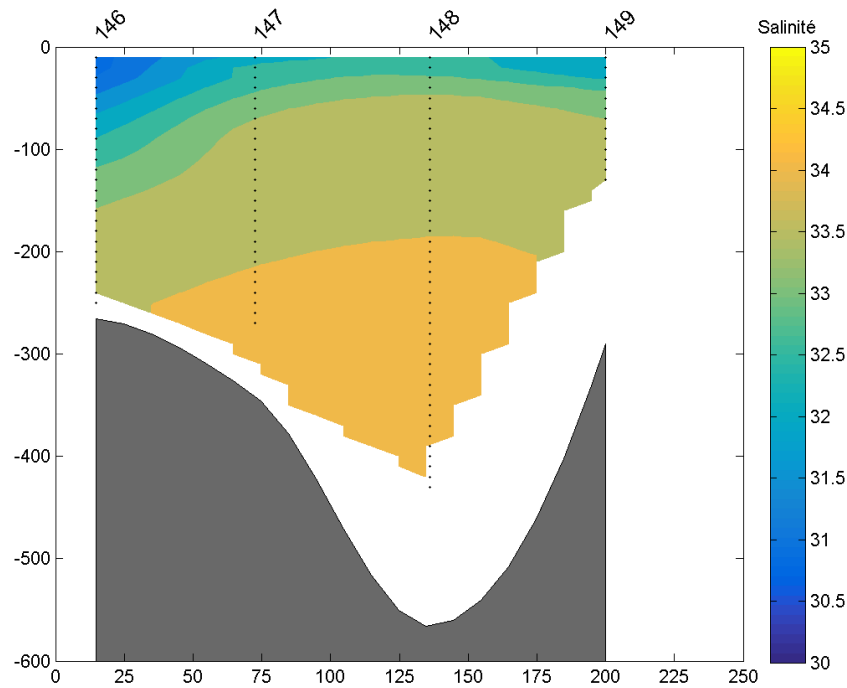


Figure B.4 – Contours de salinité pour l'année 1957 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

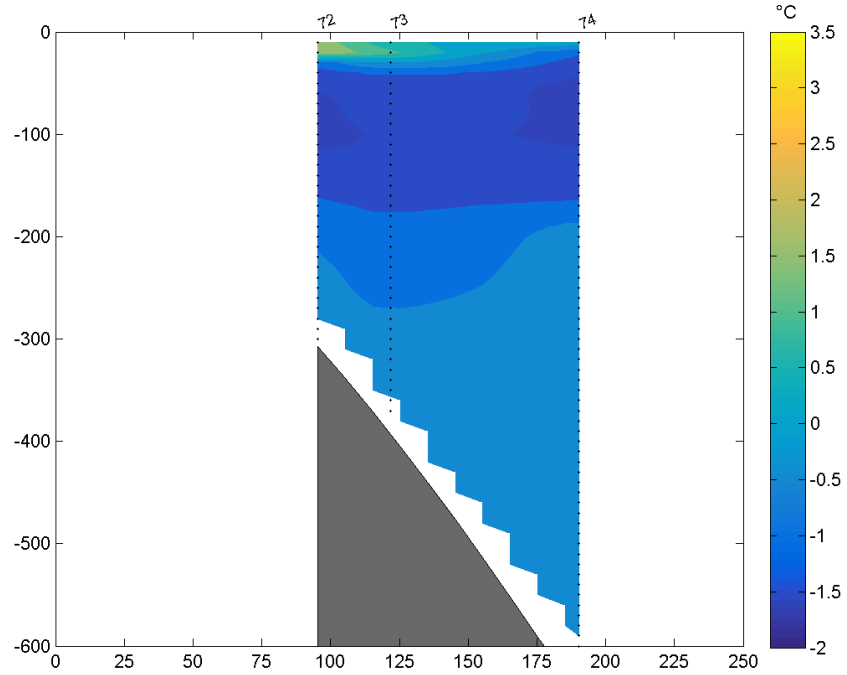


Figure B.5 – Contours de température pour l'année 1961 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

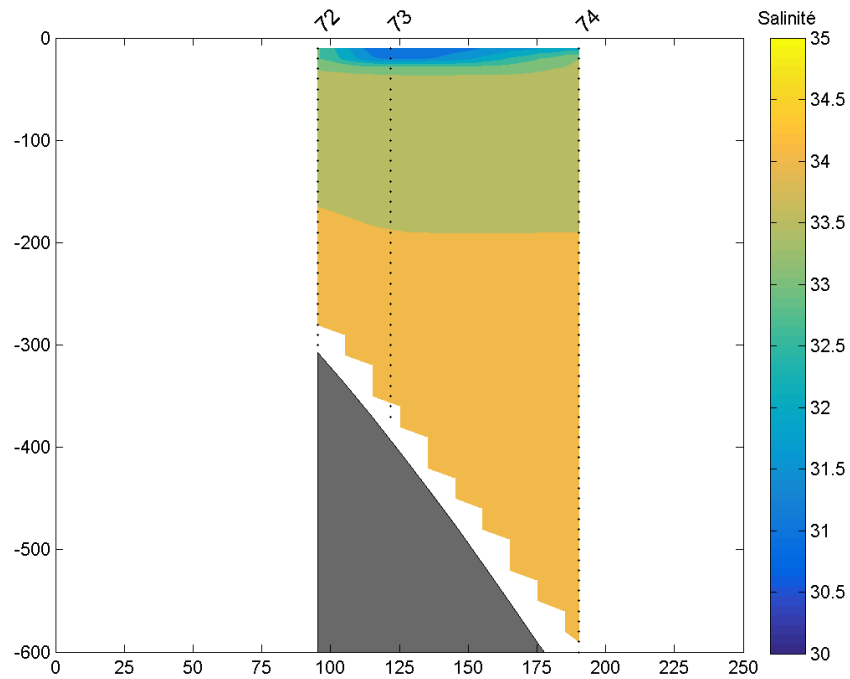


Figure B.6 – Contours de salinité pour l'année 1961 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

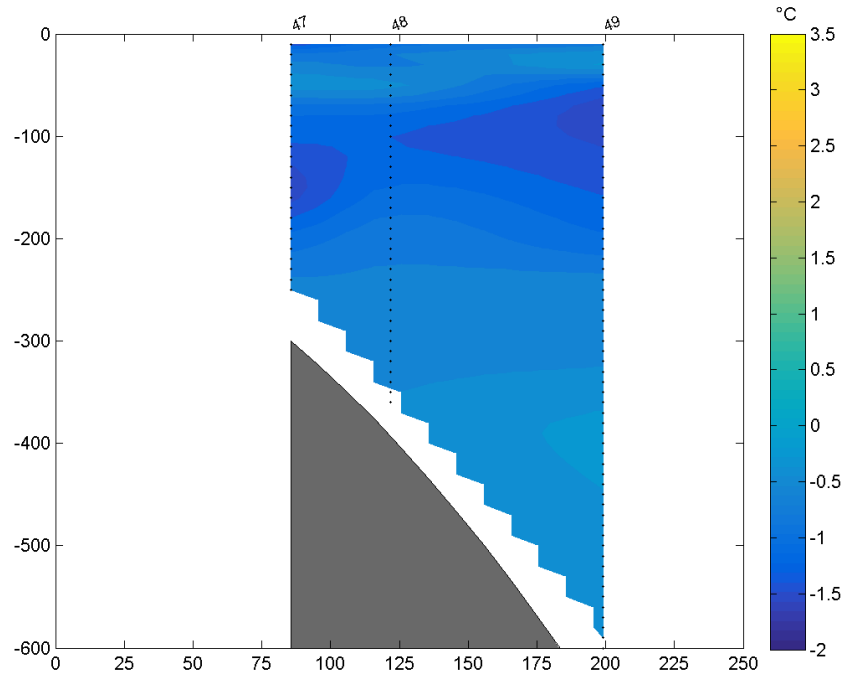


Figure B.7 – Contours de température pour l'année 1962 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

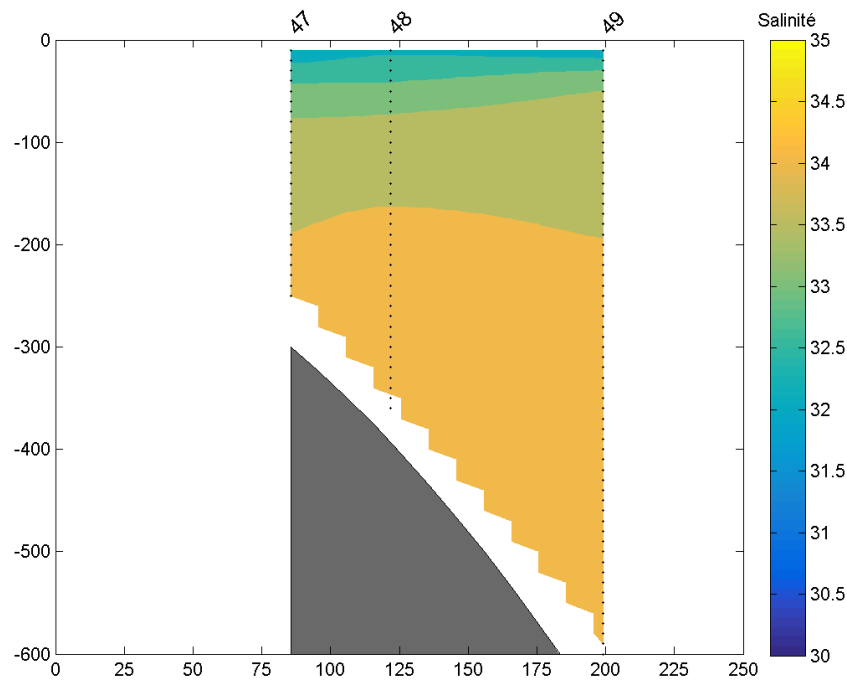


Figure B.8 – Contours de salinité pour l'année 1962 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

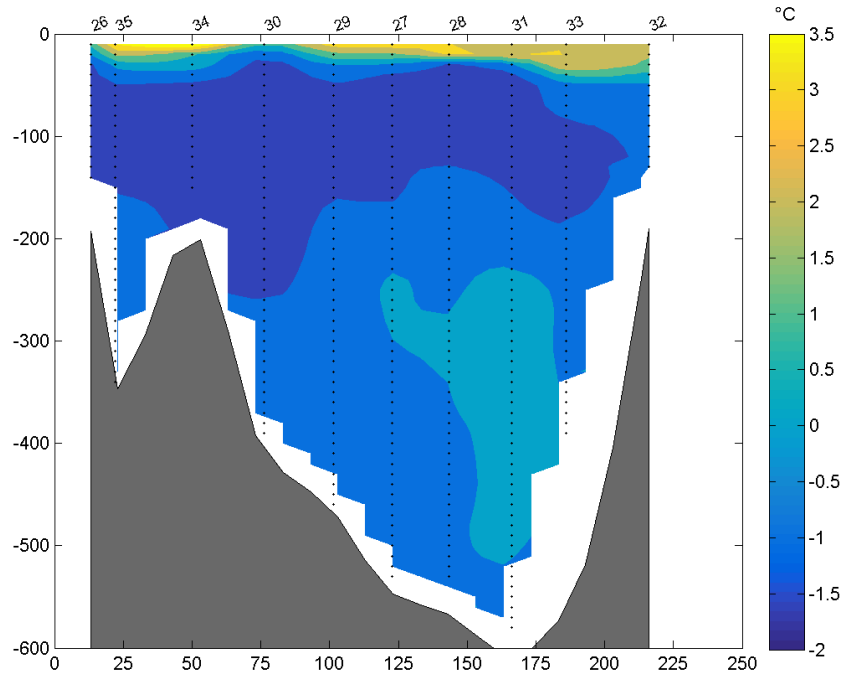


Figure B.9 – Contours de température pour l'année 1963 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

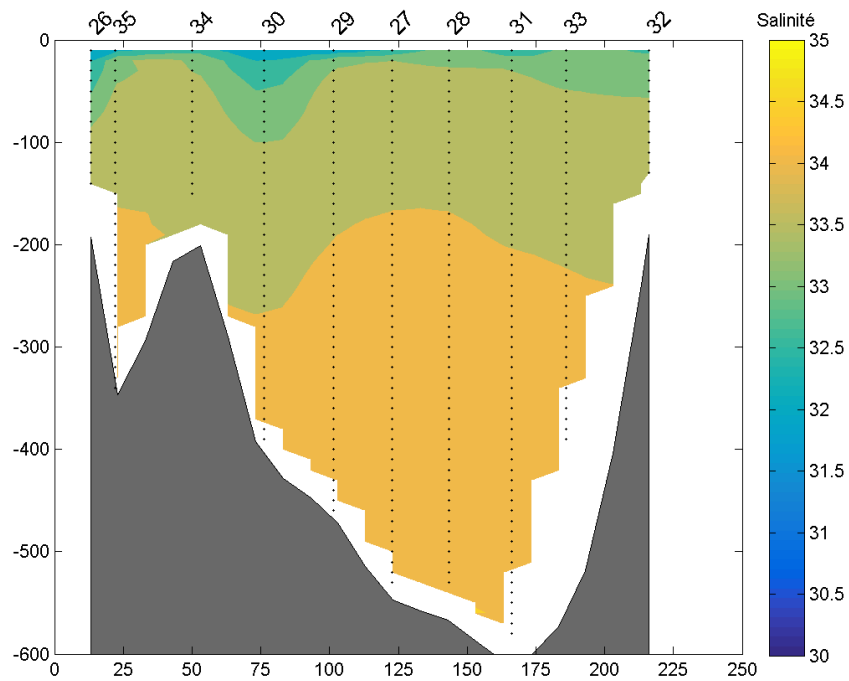


Figure B.10 – Contours de salinité pour l'année 1963 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

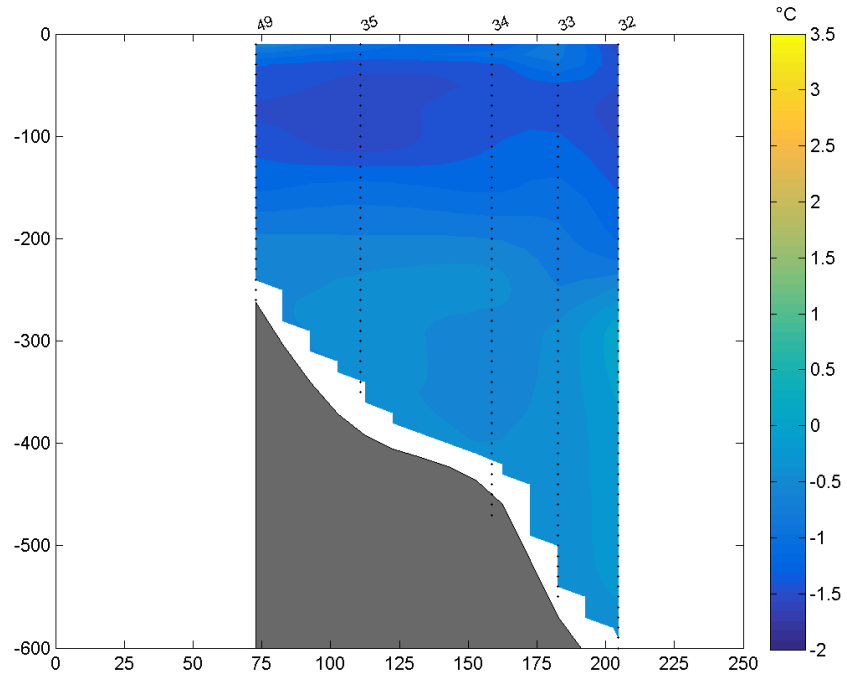


Figure B.11 – Contours de température pour l'année 1964 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

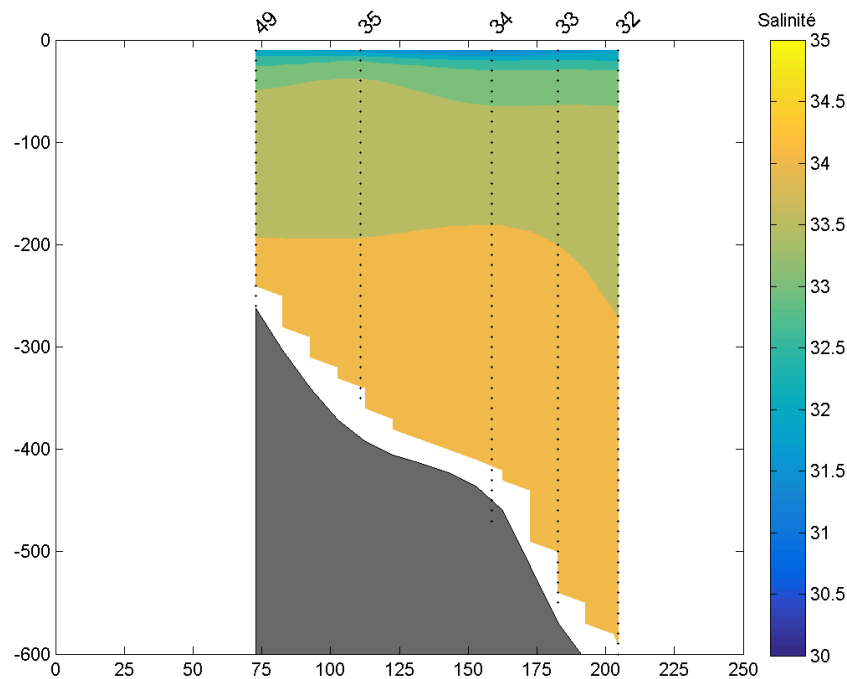


Figure B.12 – Contours de salinité pour l'année 1964 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

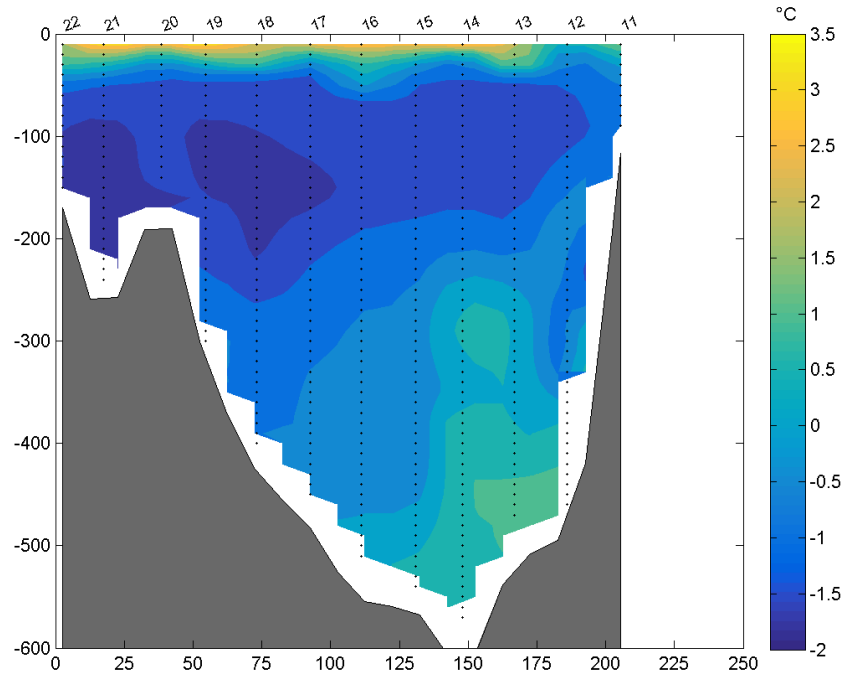


Figure B.13 – Contours de température pour l'année 1966 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

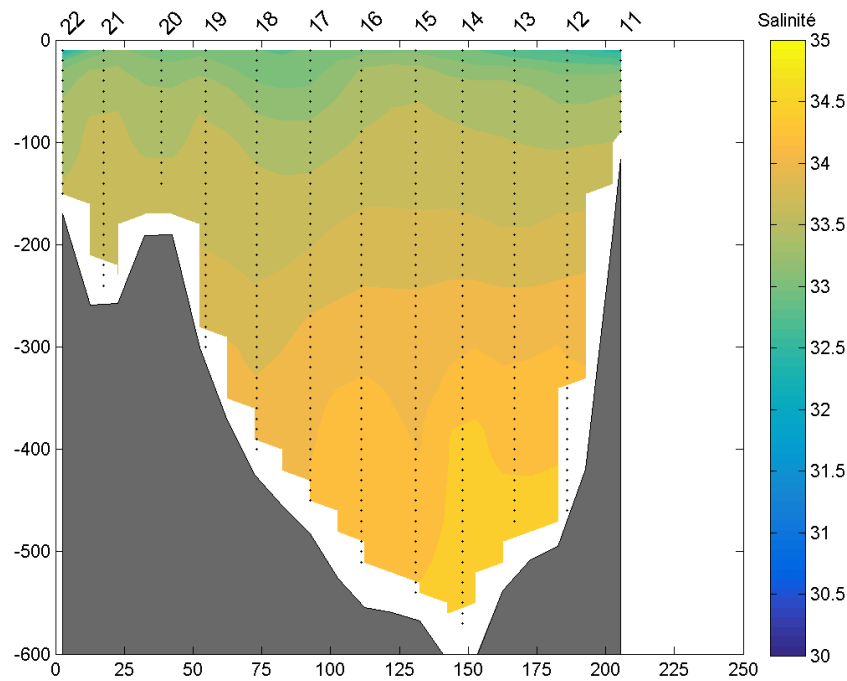


Figure B.14 – Contours de salinité pour l'année 1966 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

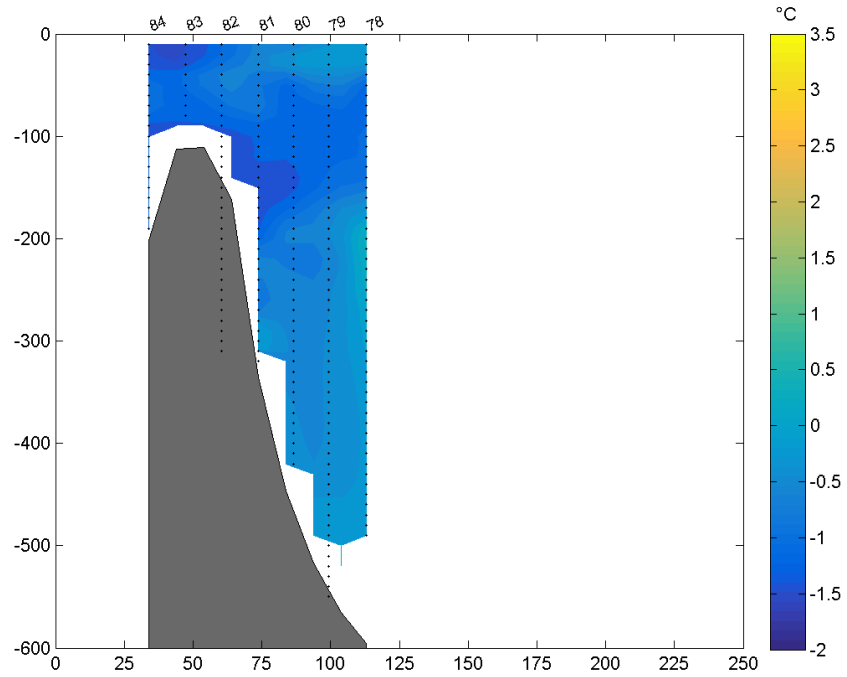


Figure B.15 – Contours de température pour l'année 1968 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

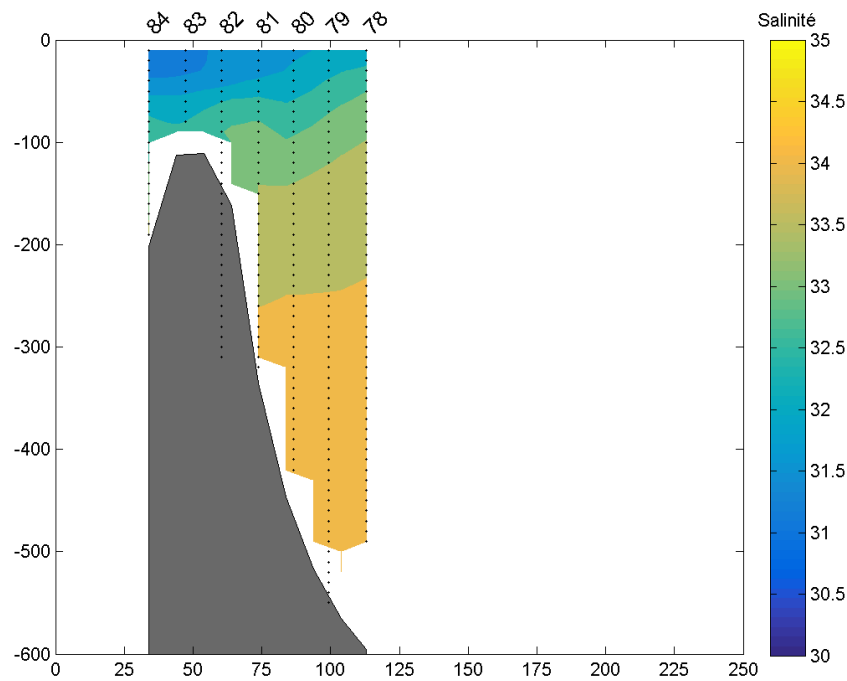


Figure B.16 – Contours de salinité pour l'année 1968 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

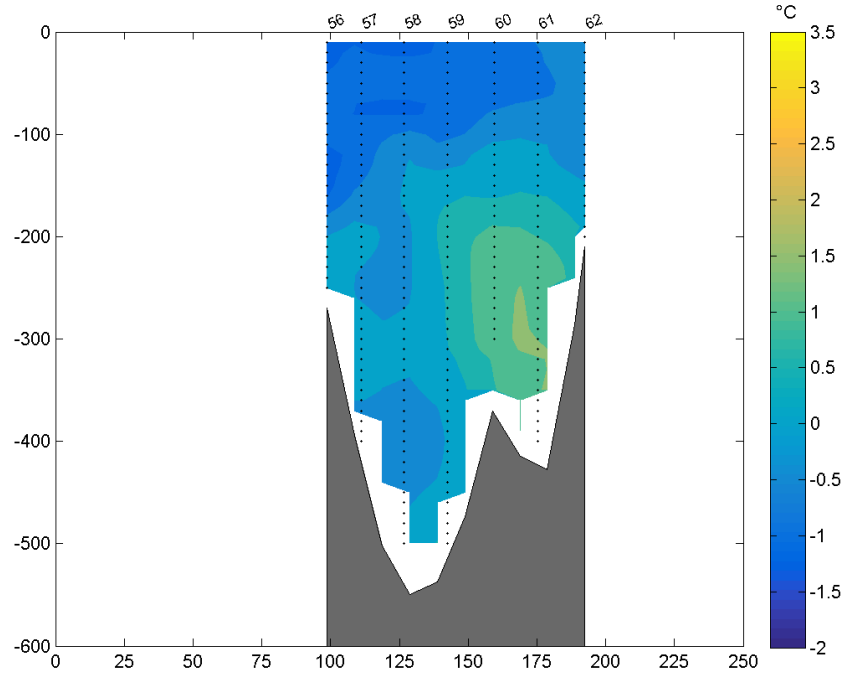


Figure B.17 – Contours de température pour l'année 1969 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

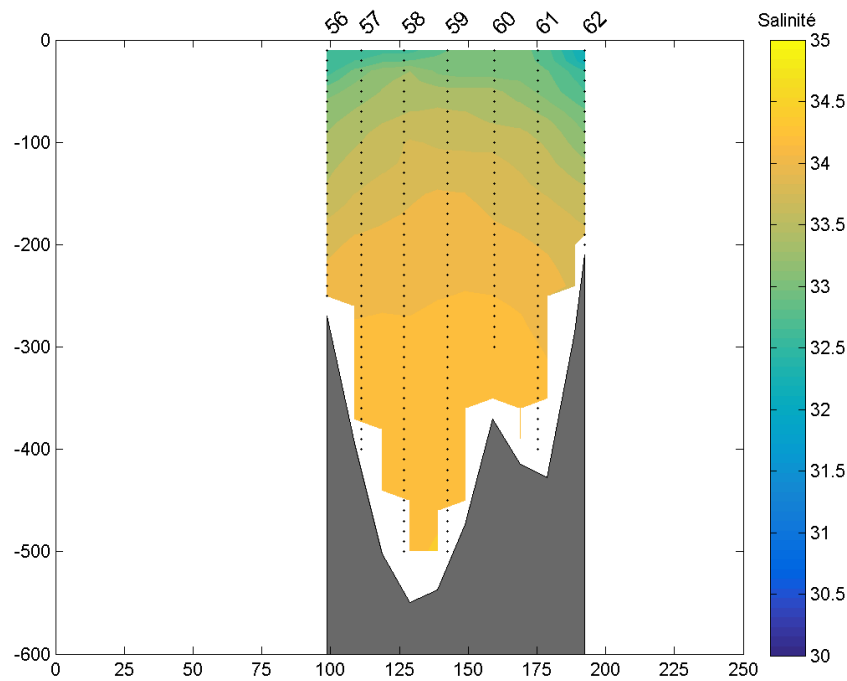


Figure B.18 – Contours de salinité pour l'année 1969 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

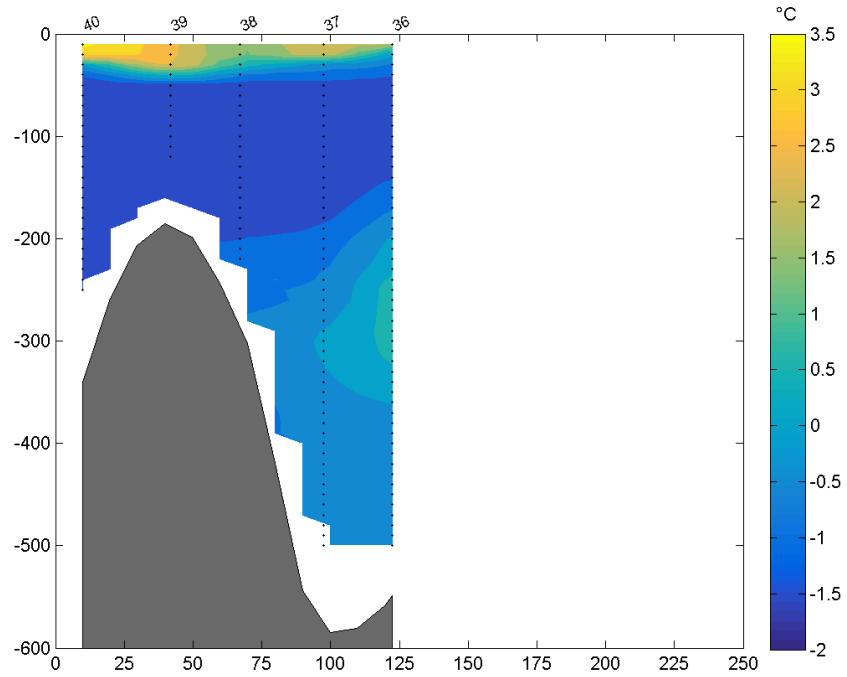


Figure B.19 – Contours de température pour l'année 1970 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

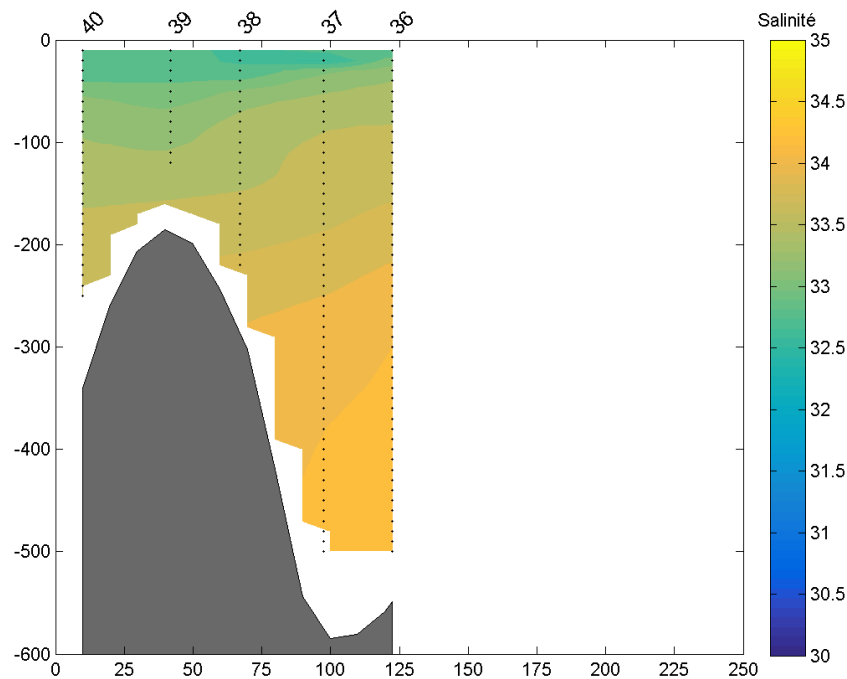


Figure B.20 – Contours de salinité pour l'année 1970 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

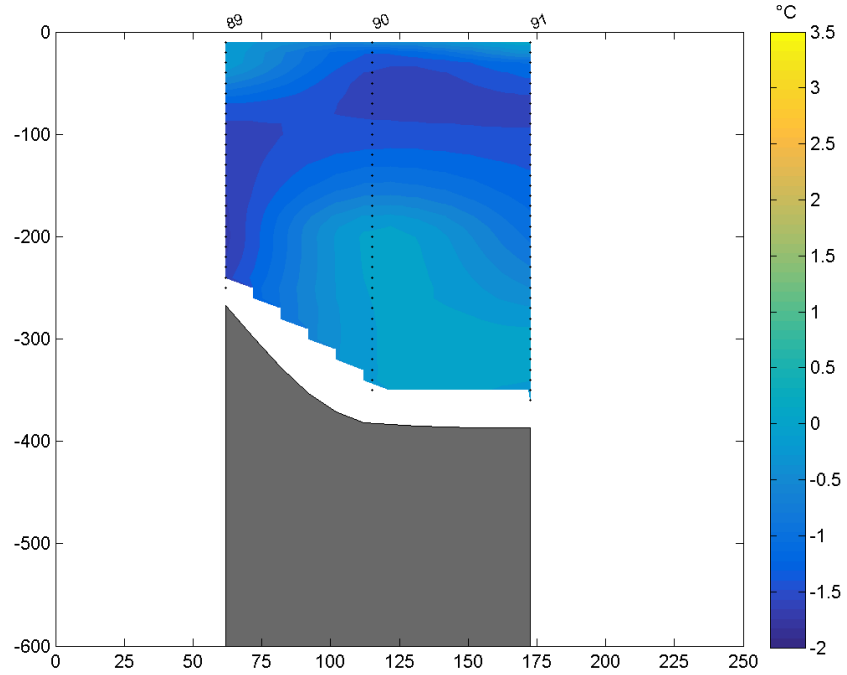


Figure B.21 – Contours de température pour l'année 1978 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

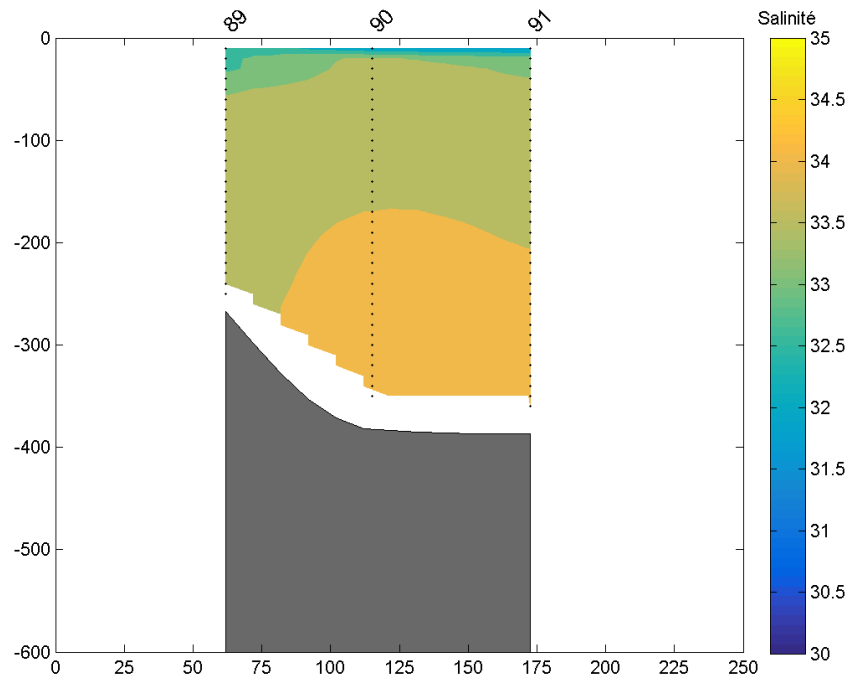


Figure B.22 – Contours de salinité pour l'année 1978 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

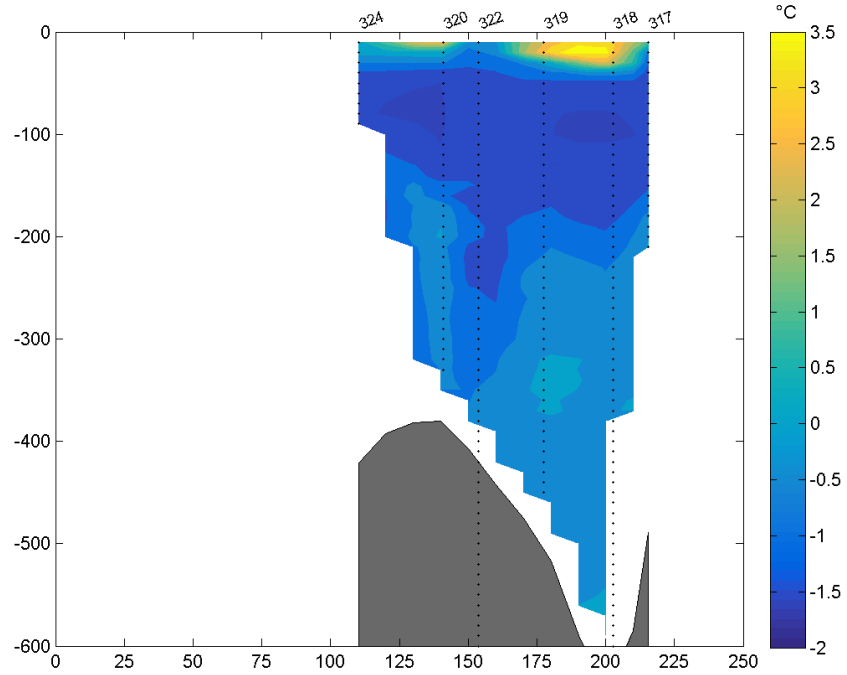


Figure B.23 – Contours de température pour l'année 1979 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

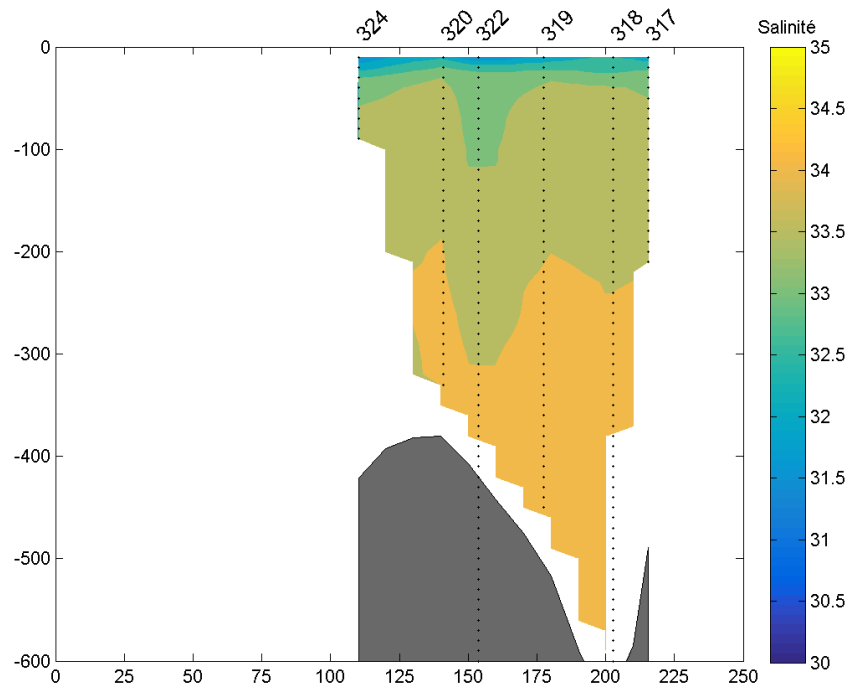


Figure B.24 – Contours de salinité pour l'année 1979 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

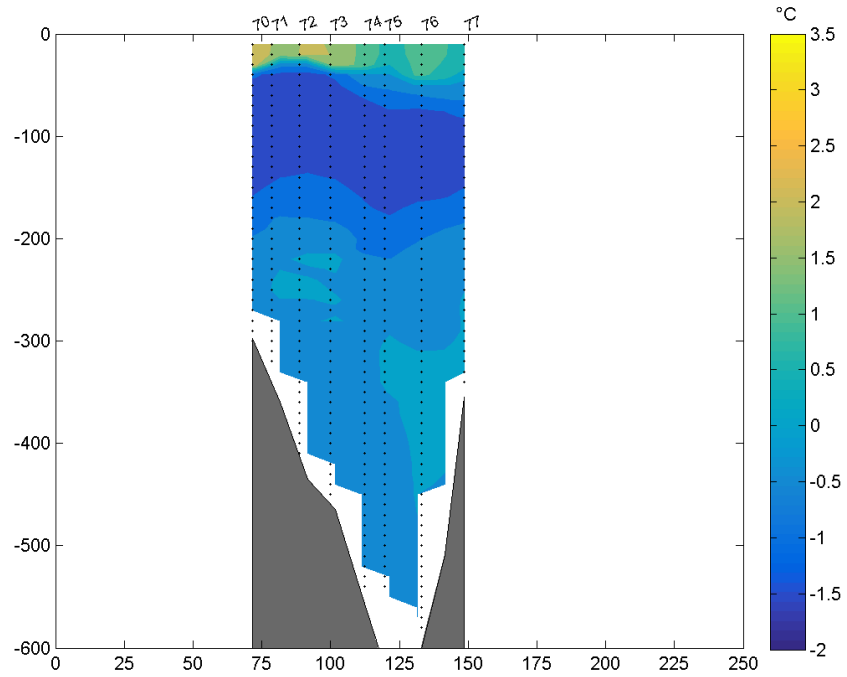


Figure B.25 – Contours de température pour l'année 1986 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

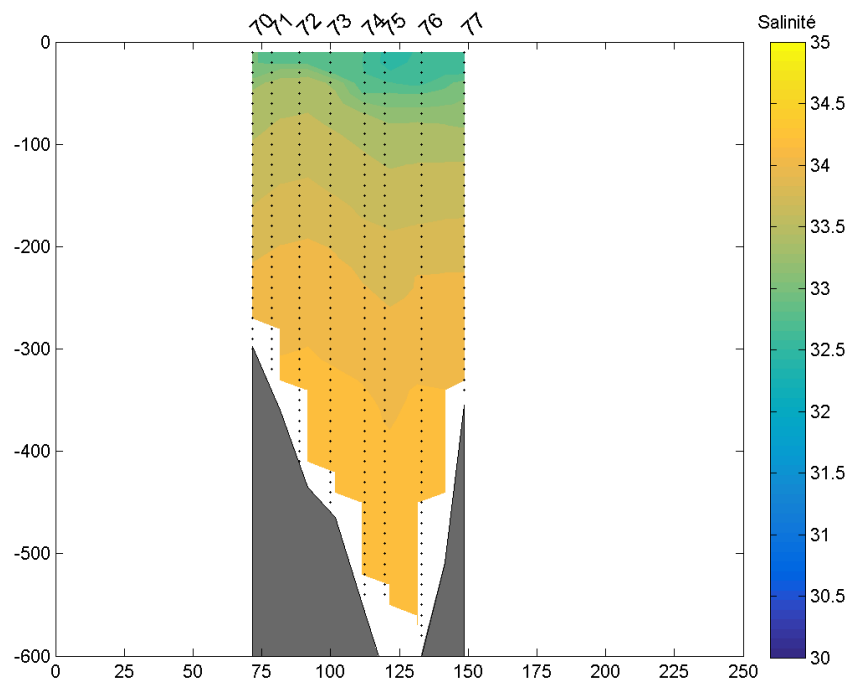


Figure B.26 – Contours de salinité pour l'année 1986 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

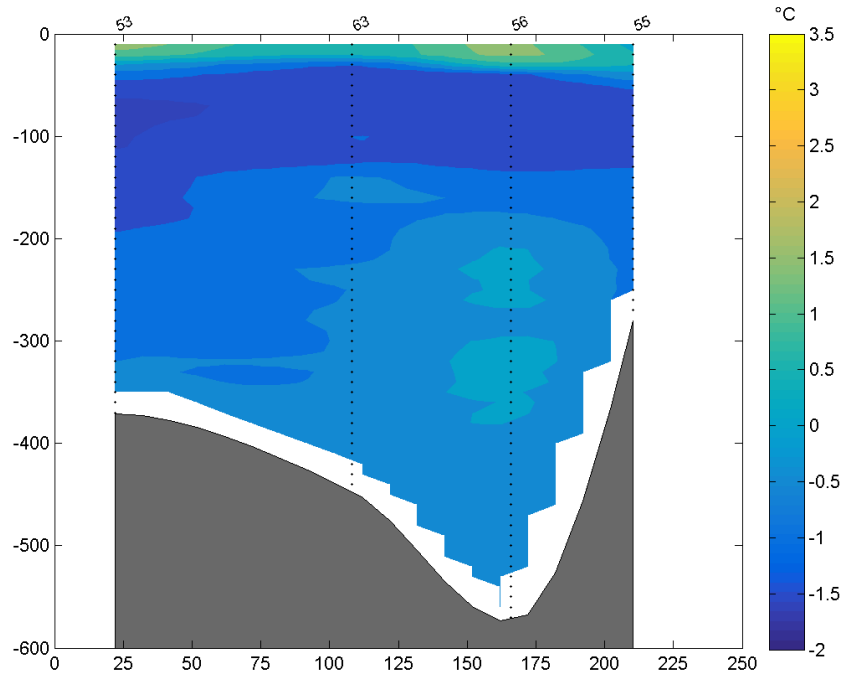


Figure B.27 – Contours de température pour l'année 1997 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

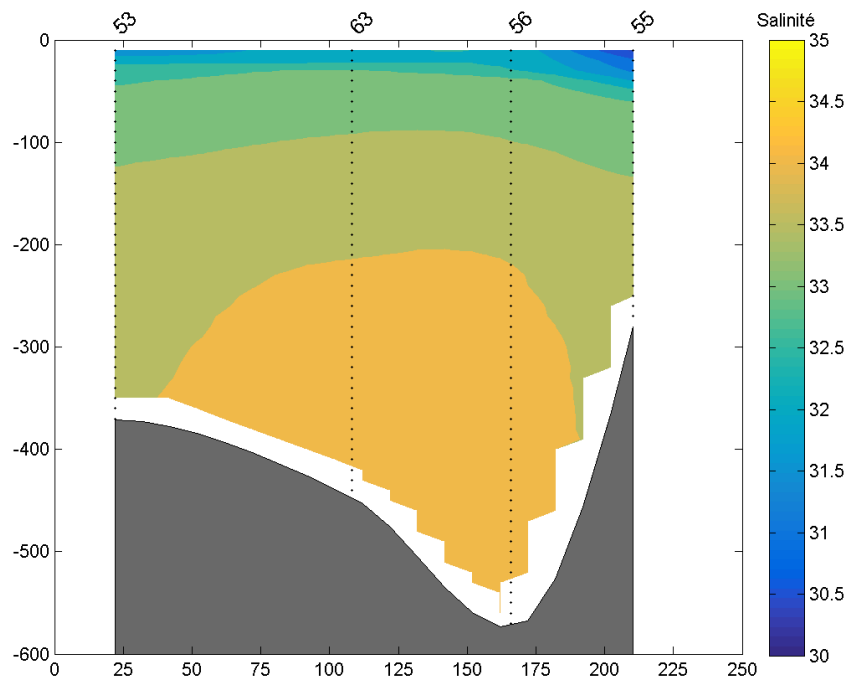


Figure B.28 – Contours de salinité pour l'année 1997 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

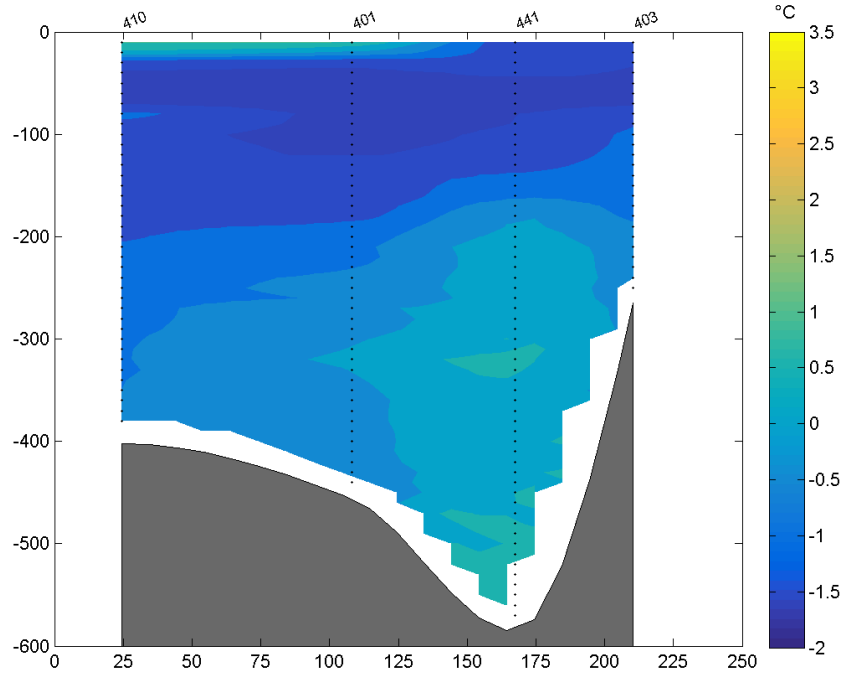


Figure B.29 – Contours de température pour l'année 1998 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

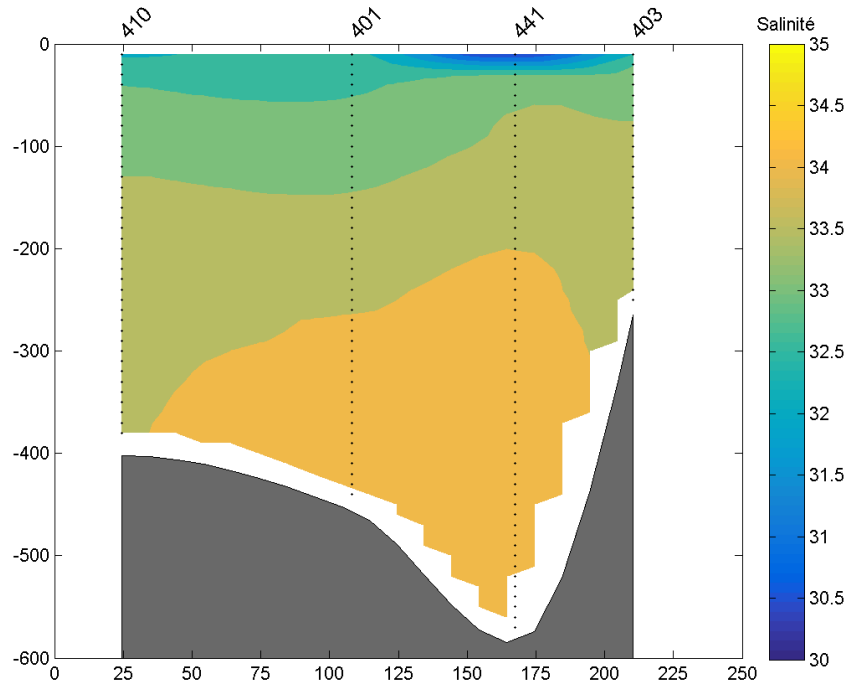


Figure B.30 – Contours de salinité pour l'année 1998 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

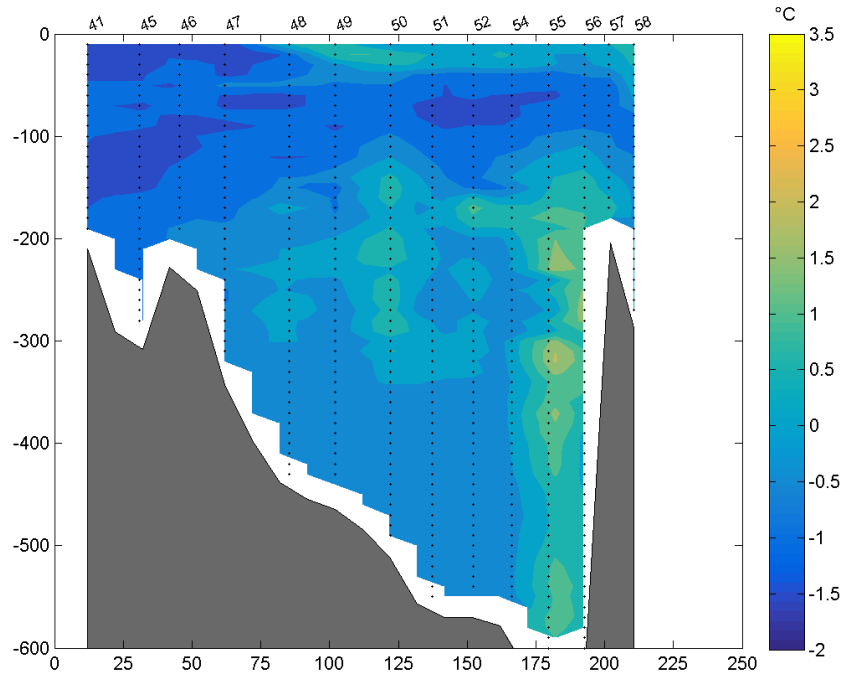


Figure B.31 – Contours de température pour l'année 1999 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

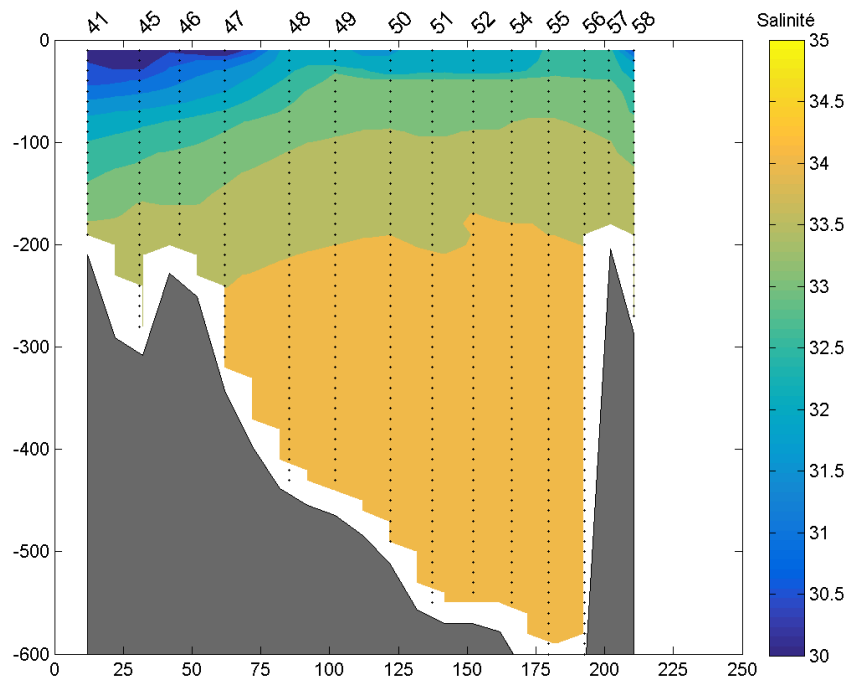


Figure B.32 – Contours de salinité pour l'année 1999 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

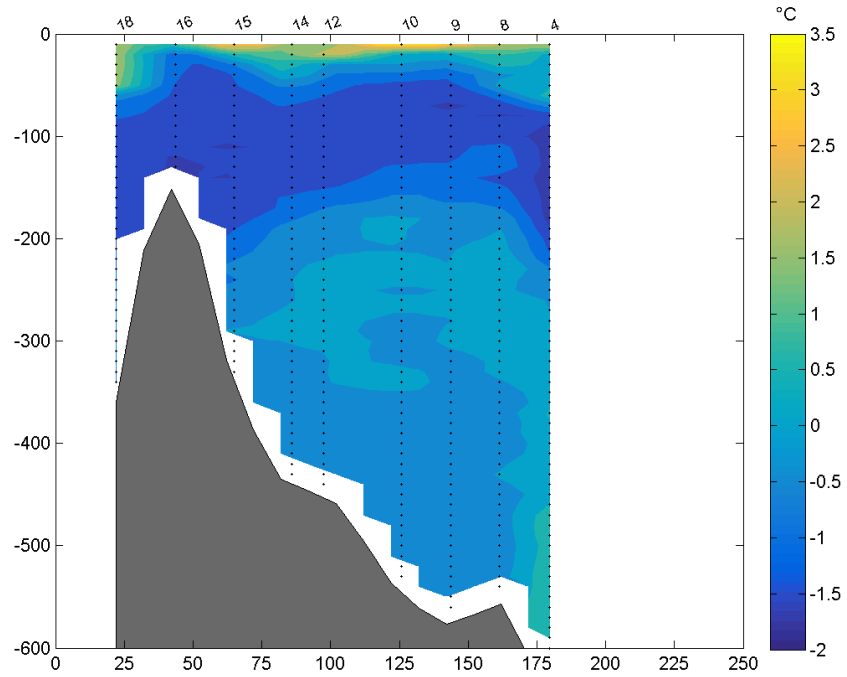


Figure B.33 – Contours de température pour l'année 2005 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

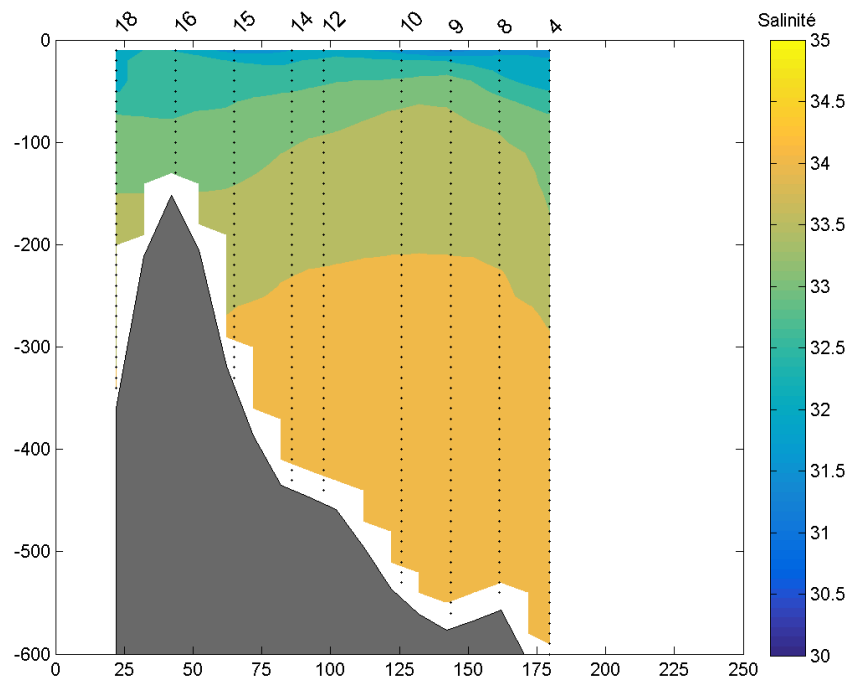


Figure B.34 – Contours de salinité pour l'année 2005 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

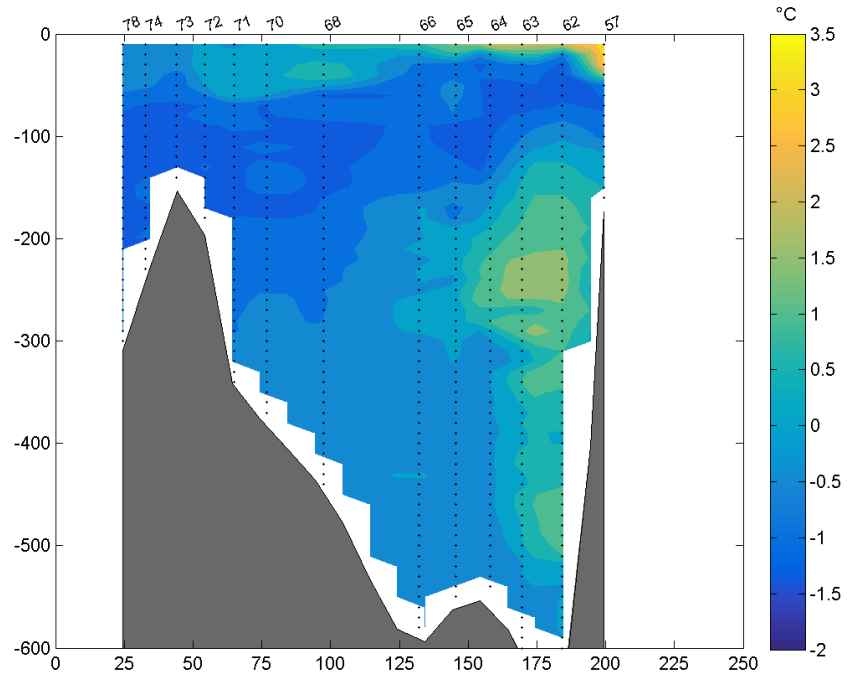


Figure B.35 – Contours de température pour l'année 2006 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

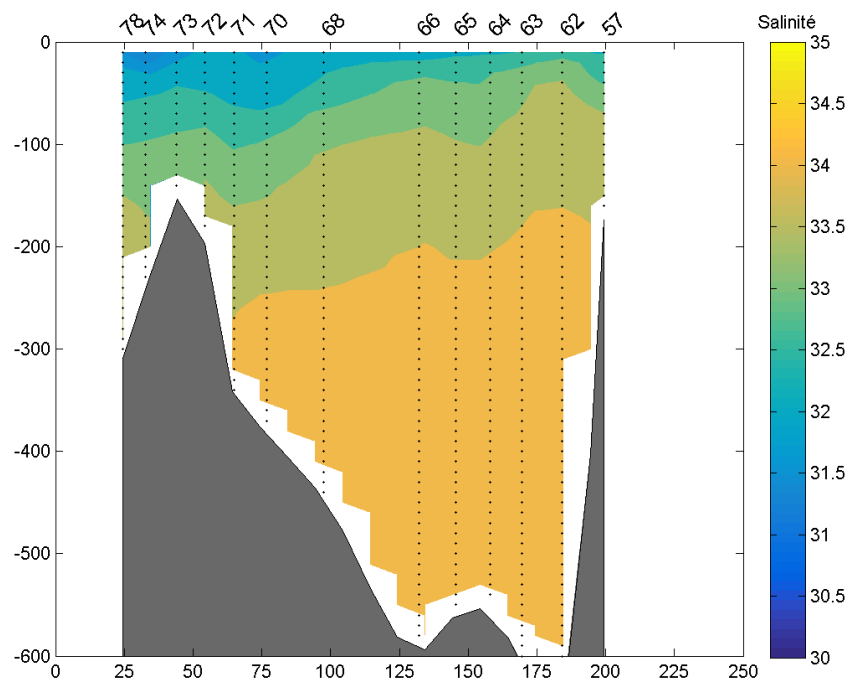


Figure B.36 – Contours de salinité pour l'année 2006 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

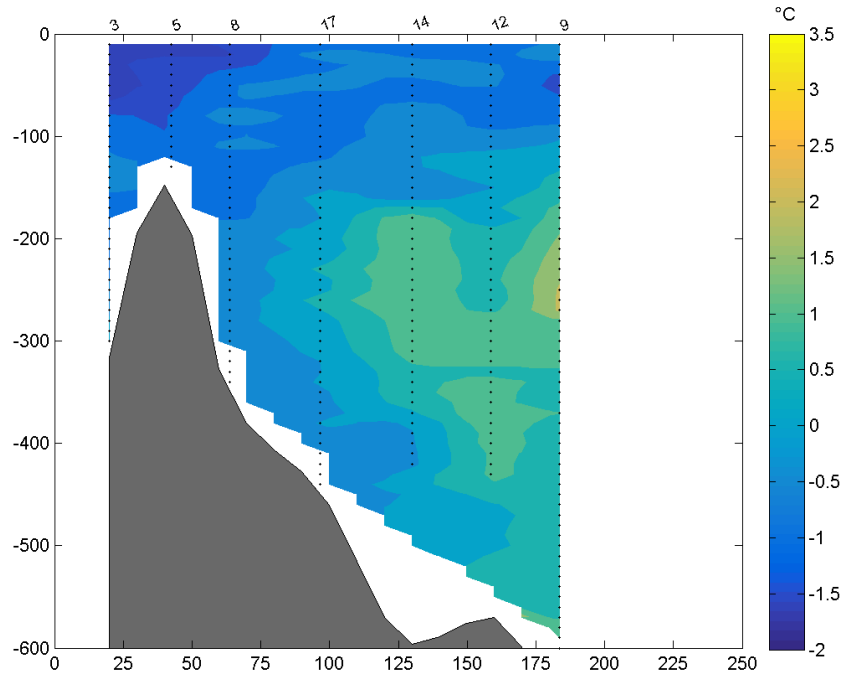


Figure B.37 – Contours de température pour l'année 2007 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

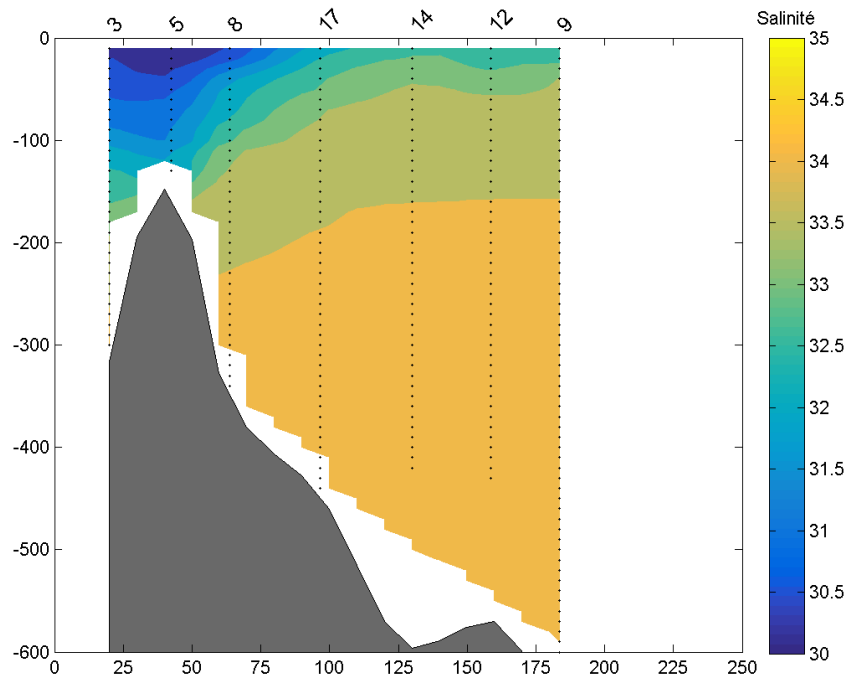


Figure B.38 – Contours de salinité pour l'année 2007 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

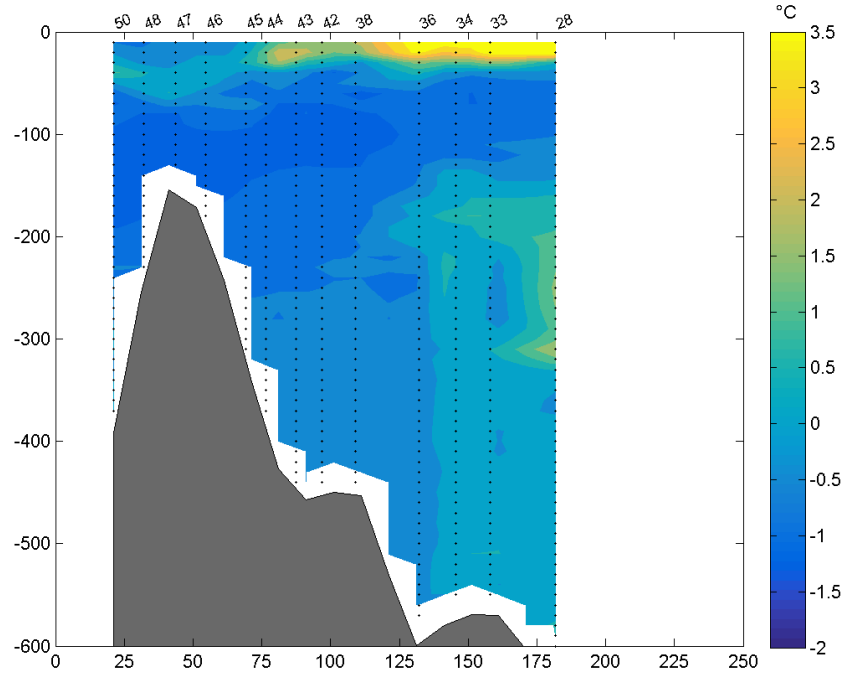


Figure B.39 – Contours de température pour l'année 2008 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

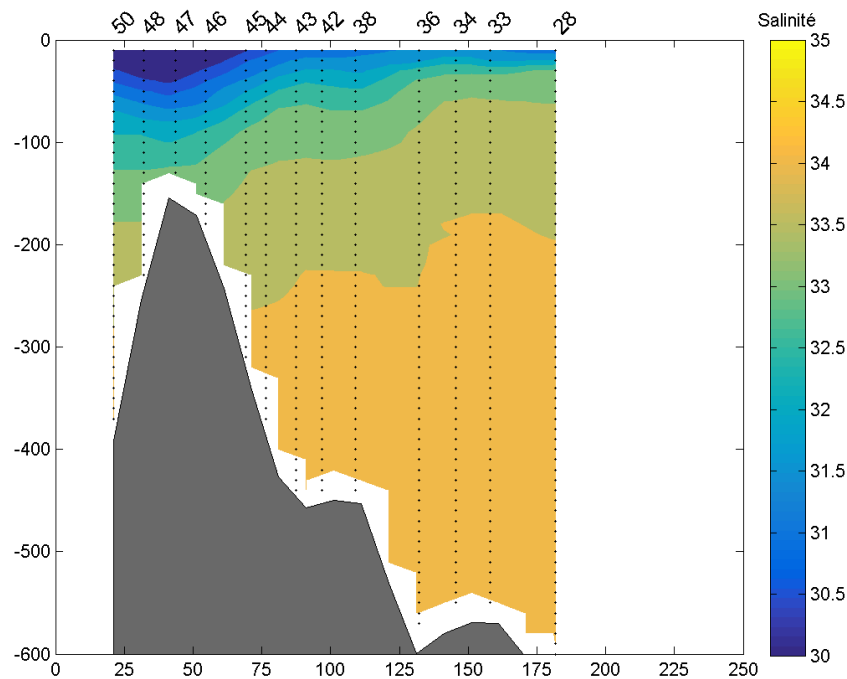


Figure B.40 – Contours de salinité pour l'année 2008 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

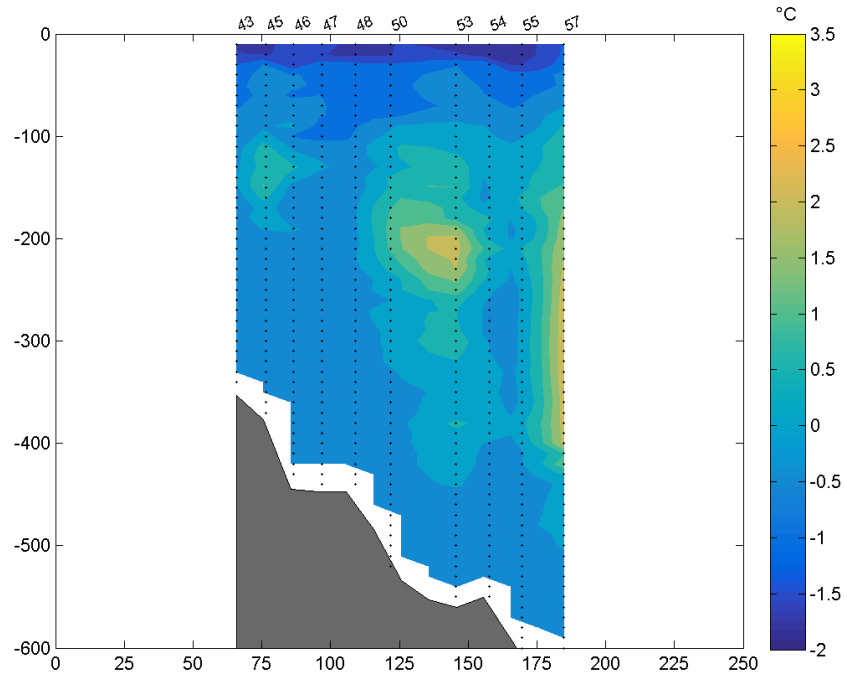


Figure B.41 – Contours de température pour l'année 2009 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

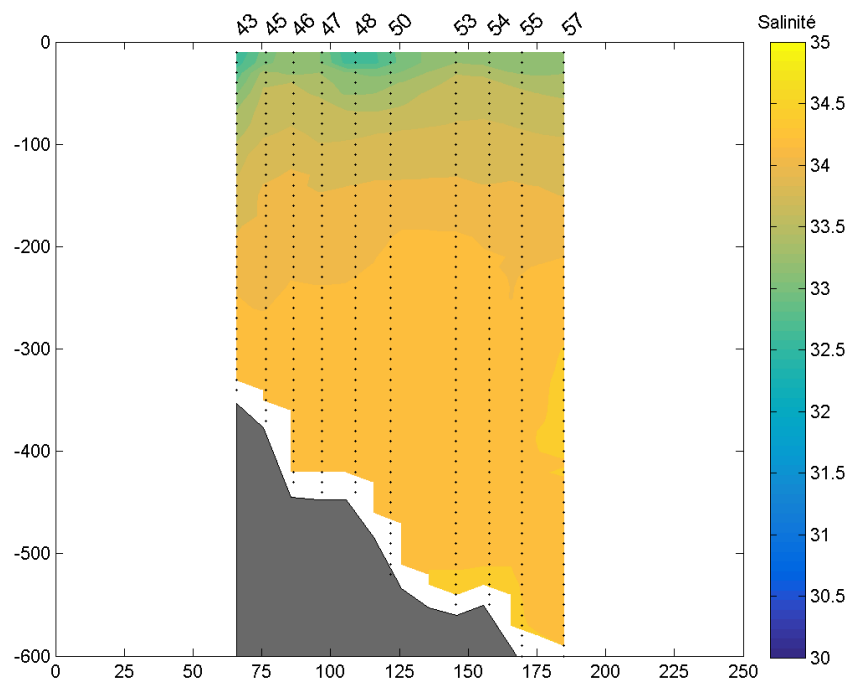


Figure B.42 – Contours de salinité pour l'année 2009 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

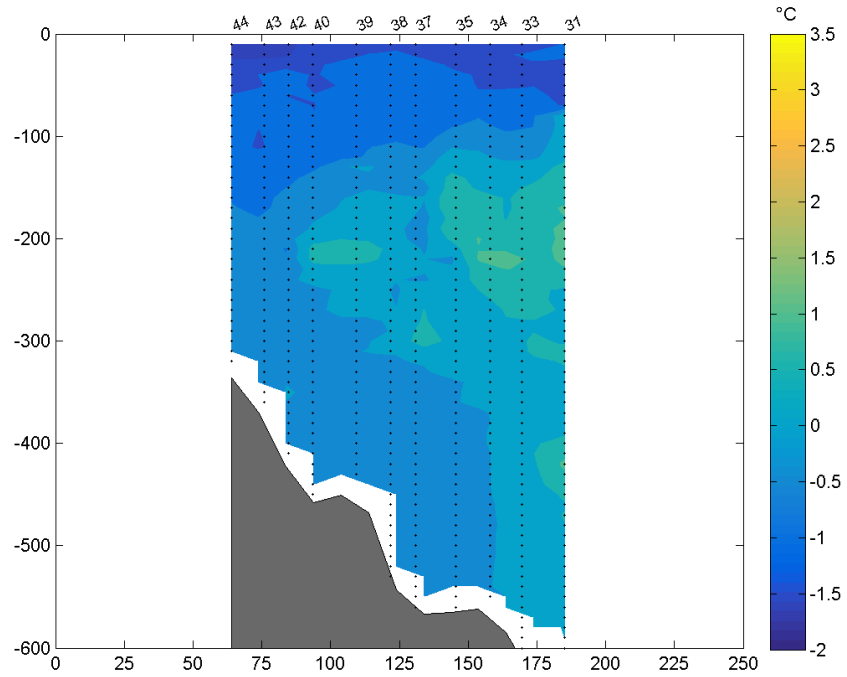


Figure B.43 – Contours de température pour l'année 2010 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

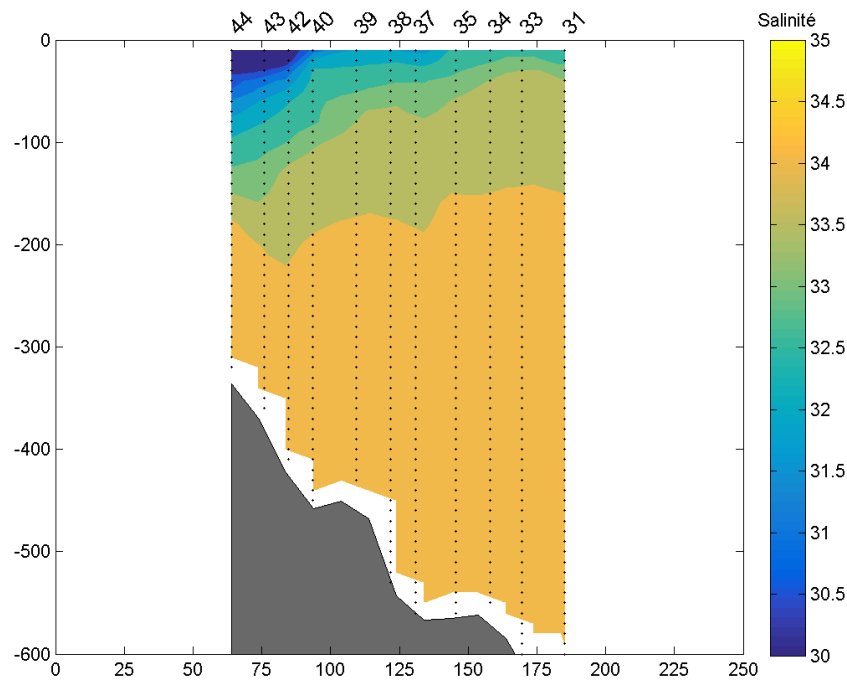


Figure B.44 – Contours de salinité pour l'année 2010 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

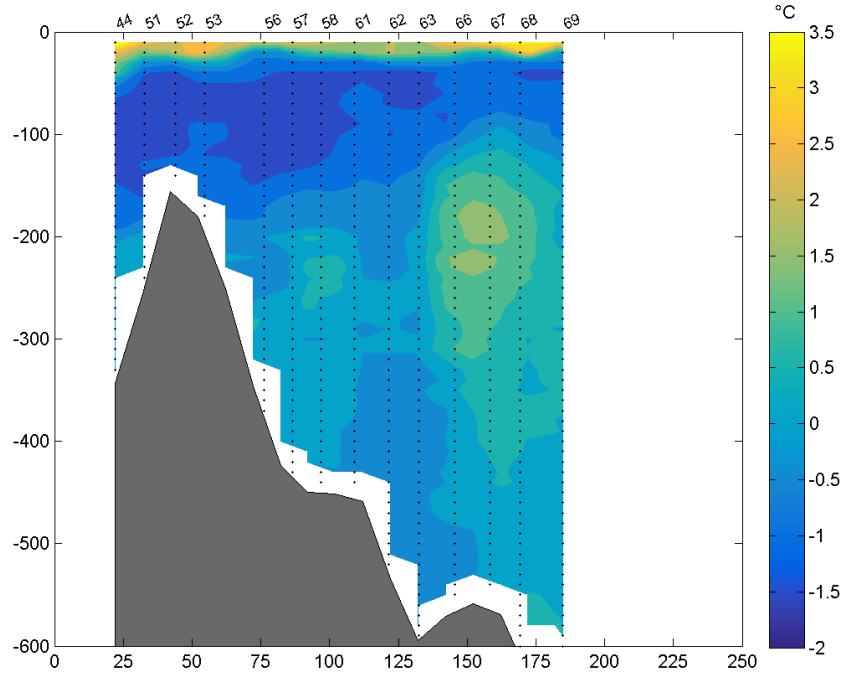


Figure B.45 – Contours de température pour l'année 2013 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

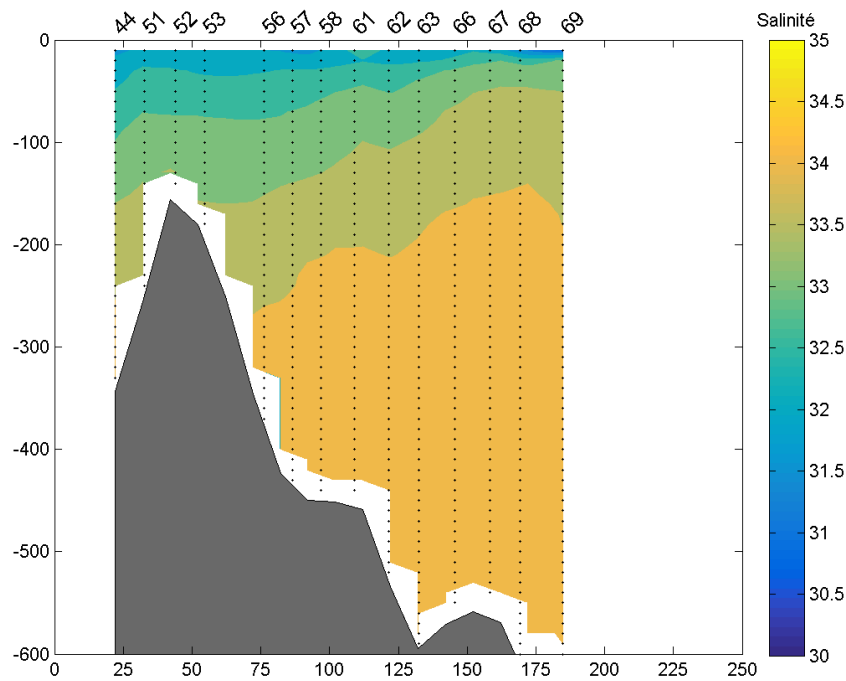


Figure B.46 – Contours de salinité pour l'année 2013 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

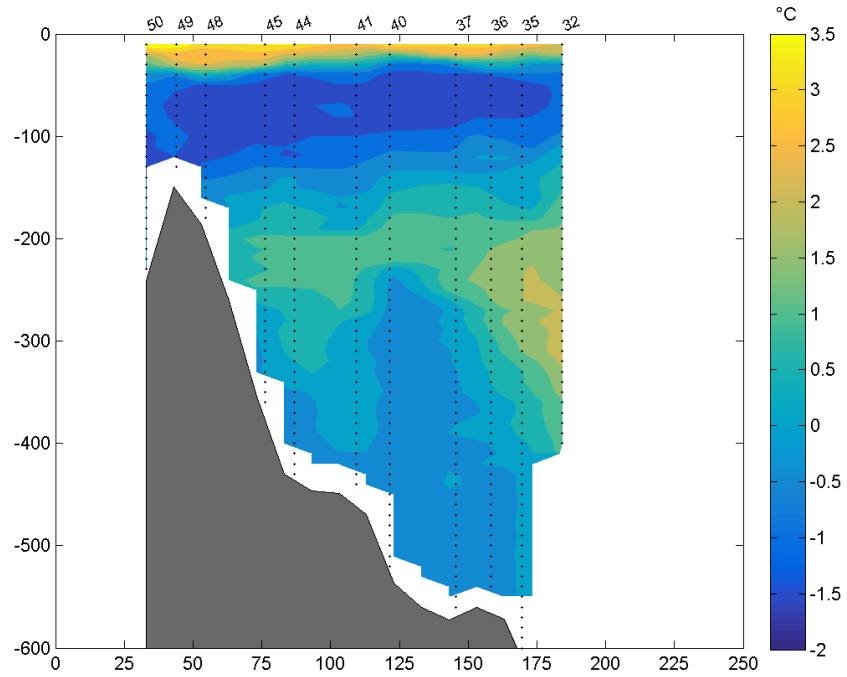


Figure B.47 – Contours de température pour l'année 2014 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

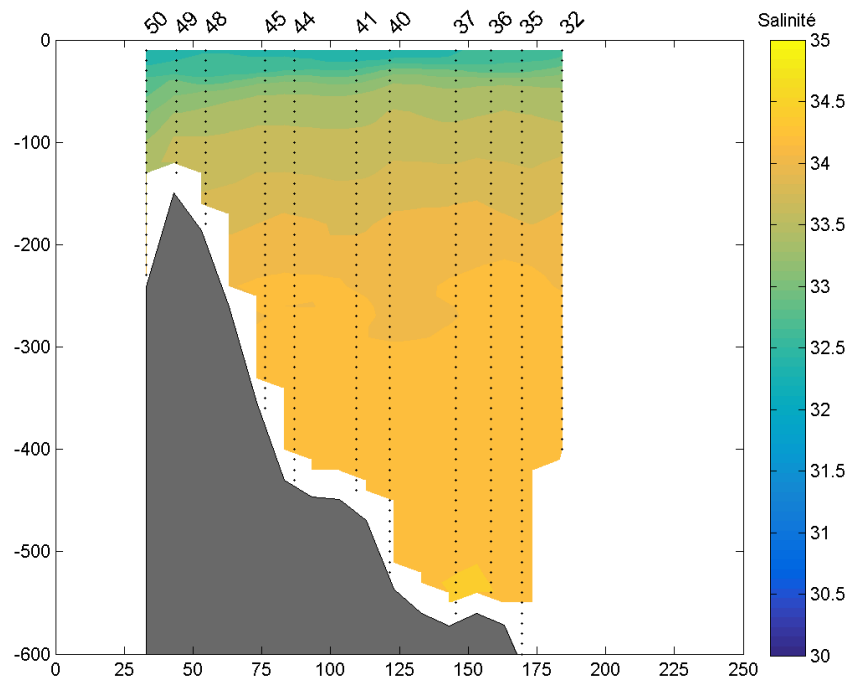


Figure B.48 – Contours de salinité pour l'année 2014 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

Annexe C

Courants

Cette annexe est consacrée à la présentation des courants estimés, pour l'ensemble des années sélectionnées et utilisées dans les calculs. Ces contours sont issus de l'estimation des courants entre les points des grilles régulières pour lesquels la densité a été calculées. C'est pourquoi les valeurs sont présentées sous forme de quadrillage. Il faut rappeler que l'origine (0 km) de l'axe horizontal correspond au point fixe choisi sur la côte de l'île d'Ellesmere et la fin (250 km) à celui choisi sur la côte du Groenland. L'axe vertical est en mètres. L'échelle de couleur a été construite de manière à distinguer très facilement les valeurs positives des valeurs négatives ainsi qu'à identifier les rectangles blancs où il n'y a pas de données. Les contours sont présentés en ordre croissant d'années, commençant par 1952, la première année, jusqu'à 2014, la dernière. Les différences de bathymétrie visible entre certaines années sont d'une part expliquée par le fait que celle-ci aie été acquise avec Etopo1 (la majorité des années historiques) et d'autre part parce que la section n'est pas exactement au même endroit d'une année à l'autre. À la fin, les courants perpendiculaires à la même section fournis par le Dr. Tom Yao (communication personnelle) et calculés par Yao et Tang (2003) sont présentés pour la même section que celle de référence choisie.

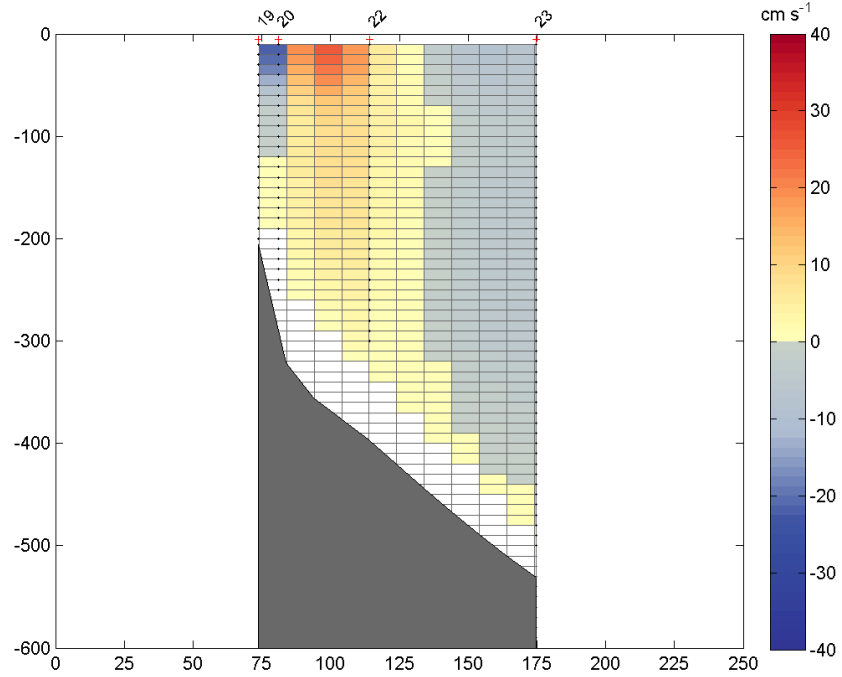


Figure C.1 – Courants estimés pour l'année 1952 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

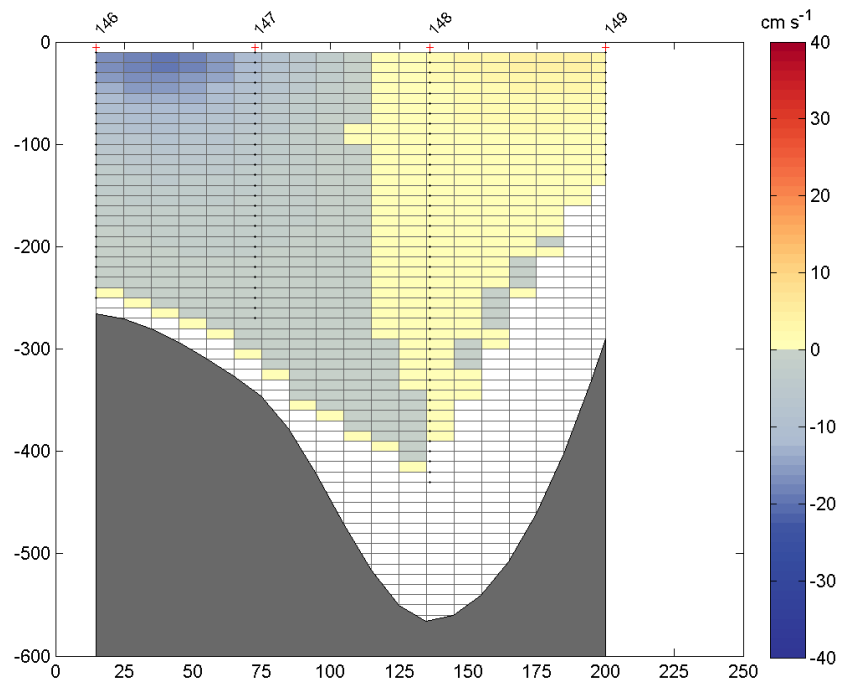


Figure C.2 – Courants estimés pour l'année 1957 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

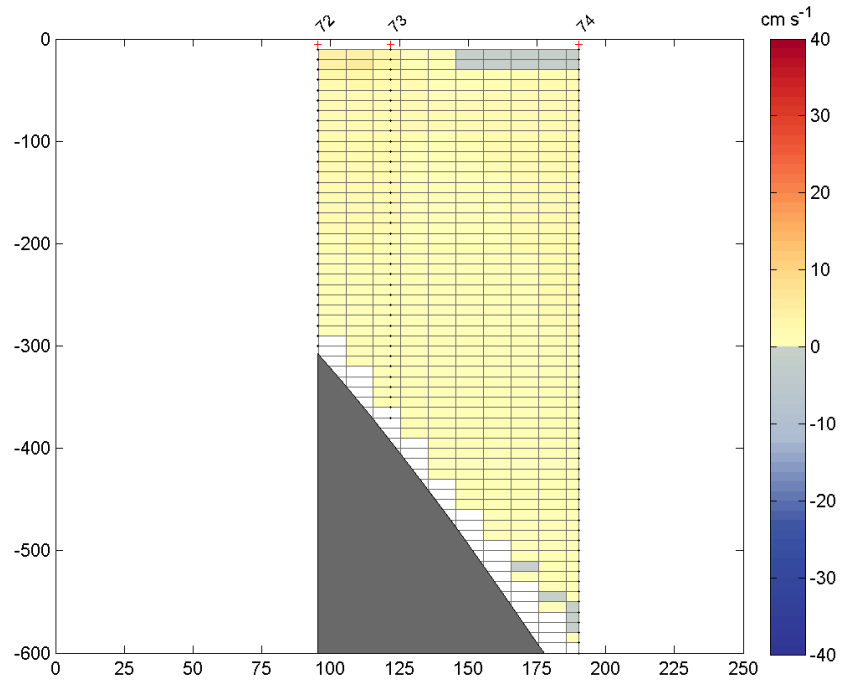


Figure C.3 – Courants estimés pour l'année 1961 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

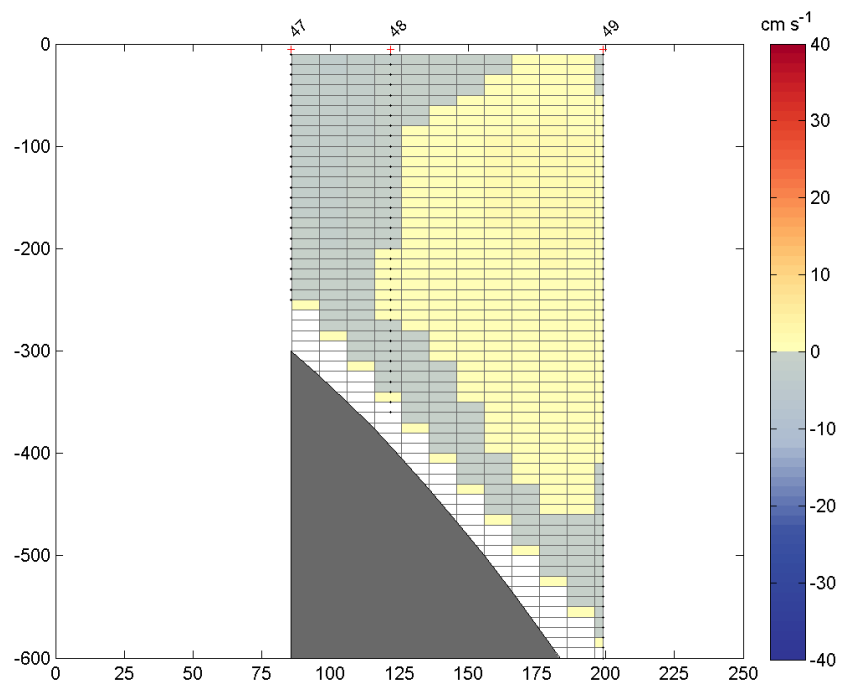


Figure C.4 – Courants estimés pour l'année 1962 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

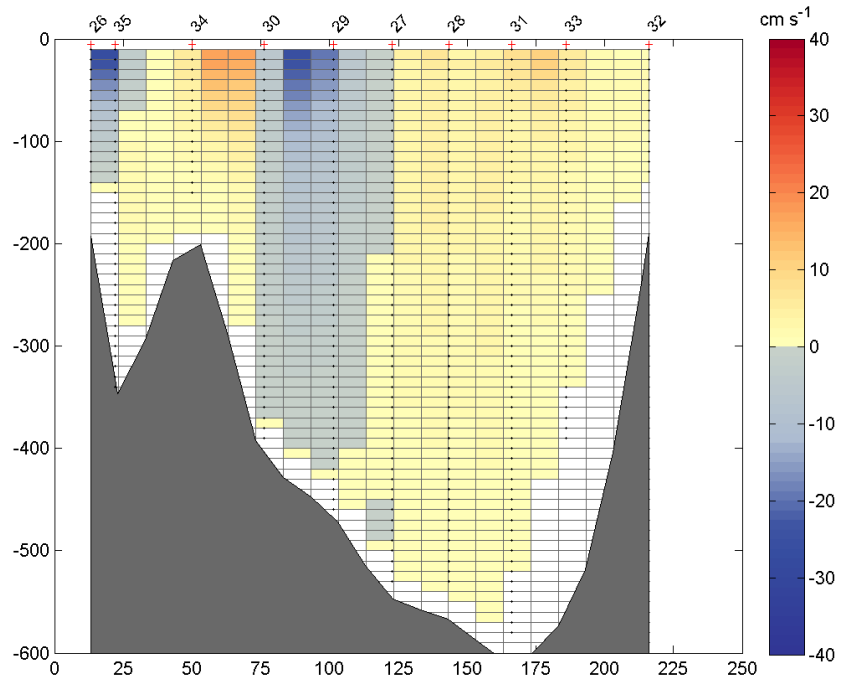


Figure C.5 – Courants estimés pour l'année 1963 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

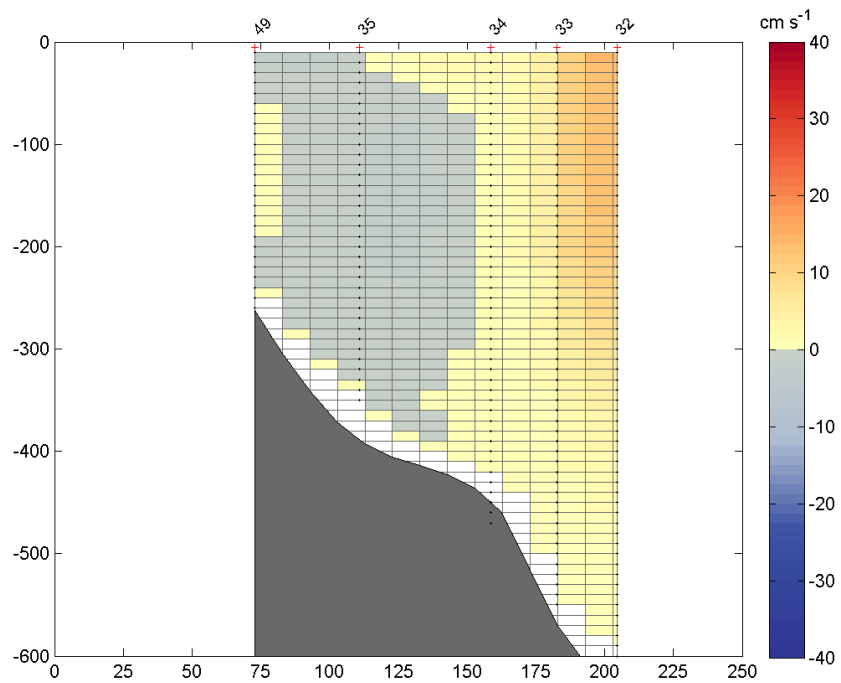


Figure C.6 – Courants estimés pour l'année 1964 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

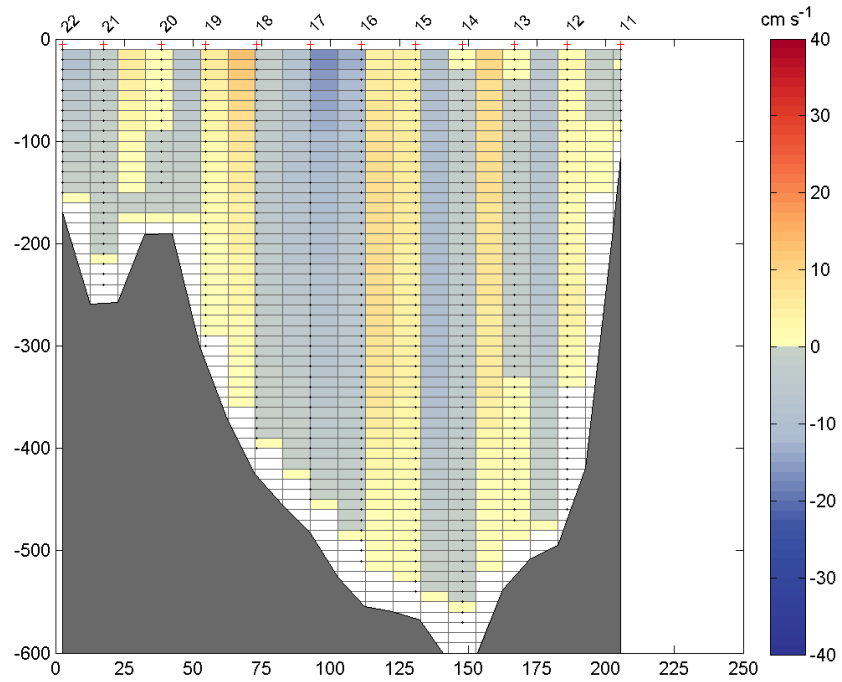


Figure C.7 – Courants estimés pour l'année 1966 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

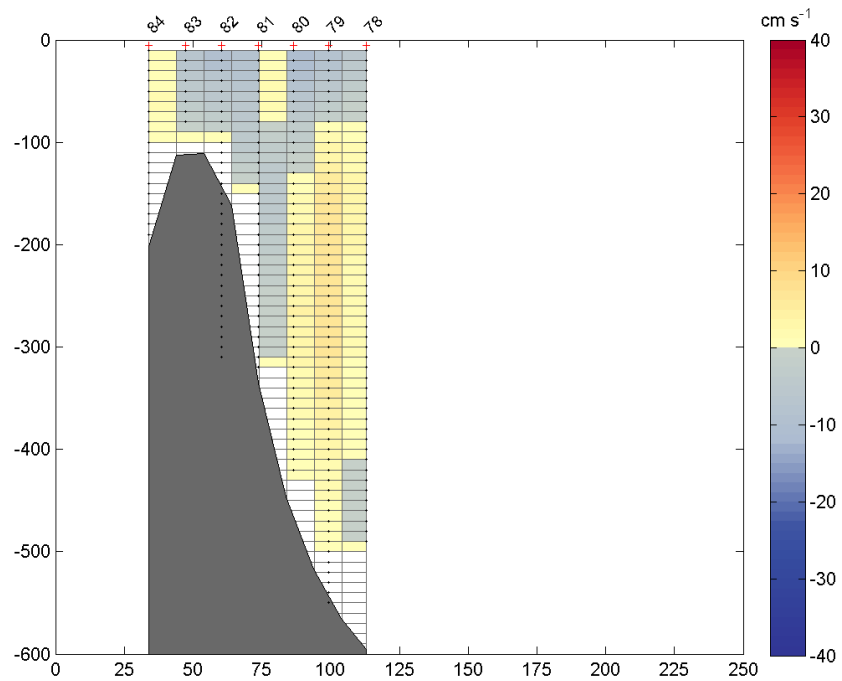


Figure C.8 – Courants estimés pour l'année 1968 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

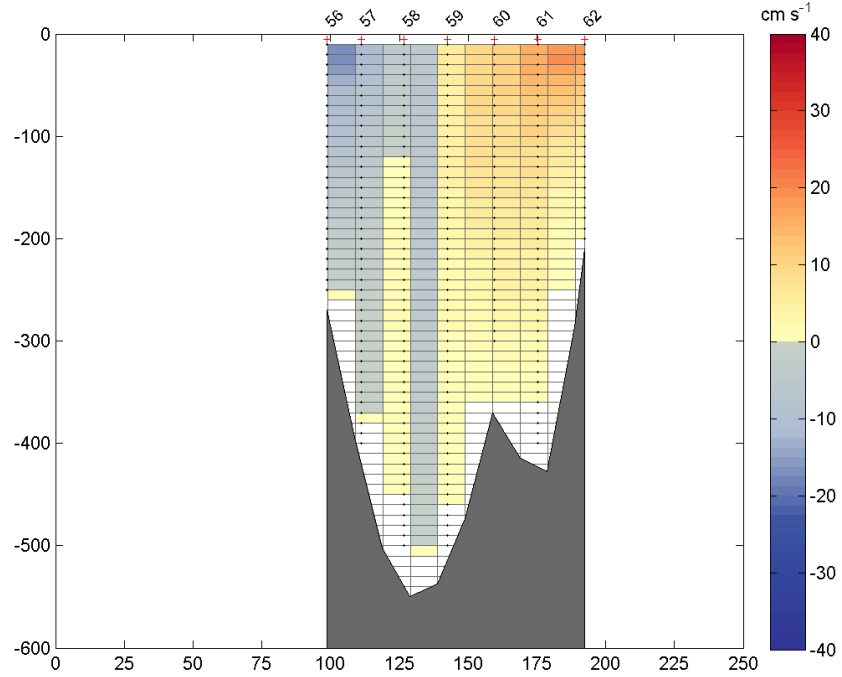


Figure C.9 – Courants estimés pour l'année 1969 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

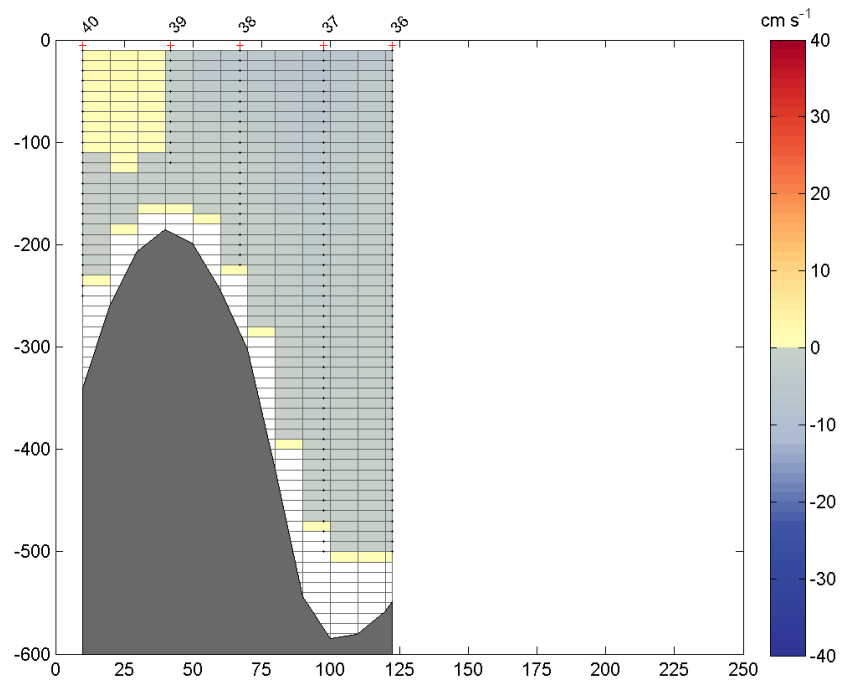


Figure C.10 – Courants estimés pour l'année 1970 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

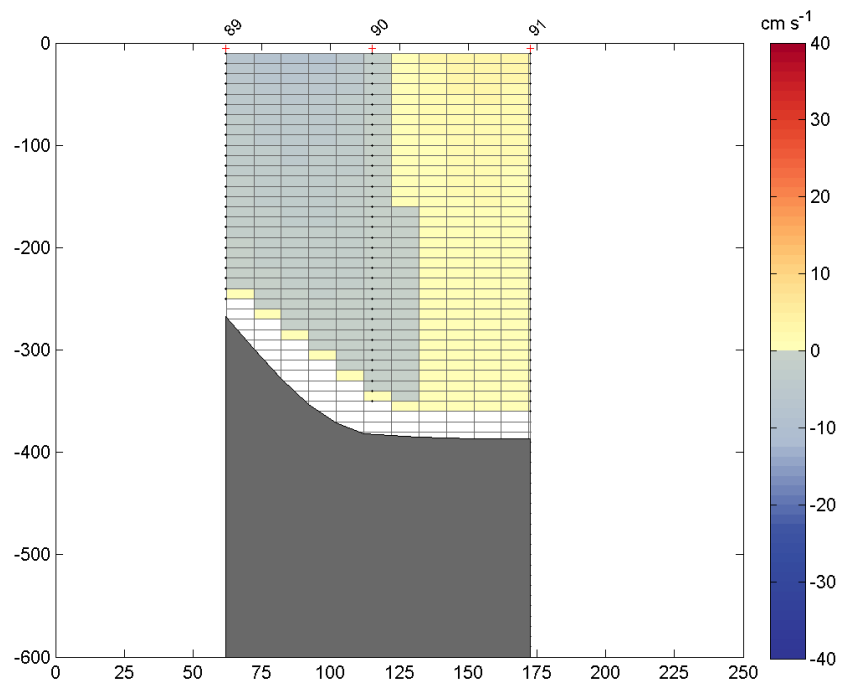


Figure C.11 – Courants estimés pour l'année 1978 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

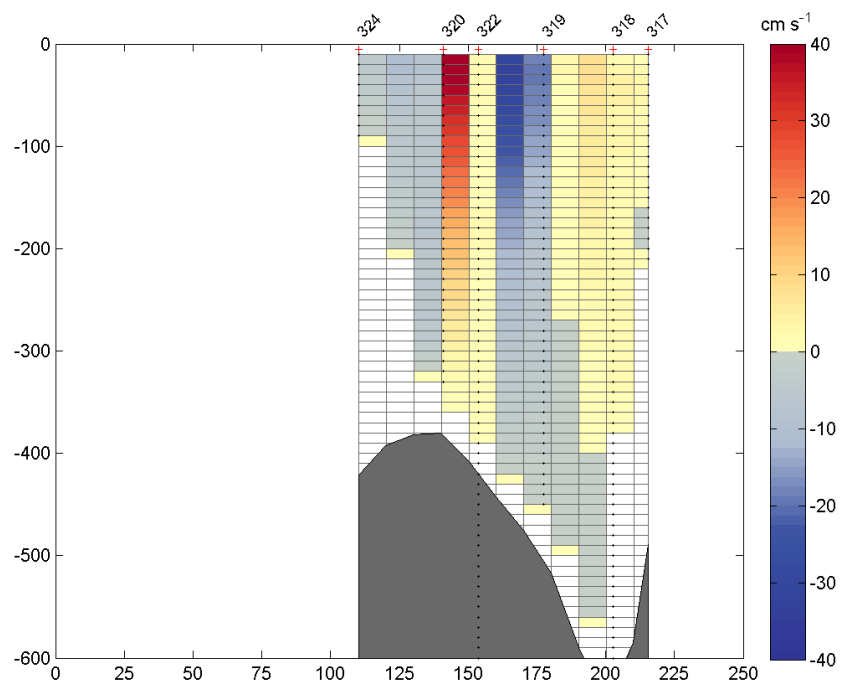


Figure C.12 – Courants estimés pour l'année 1979 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

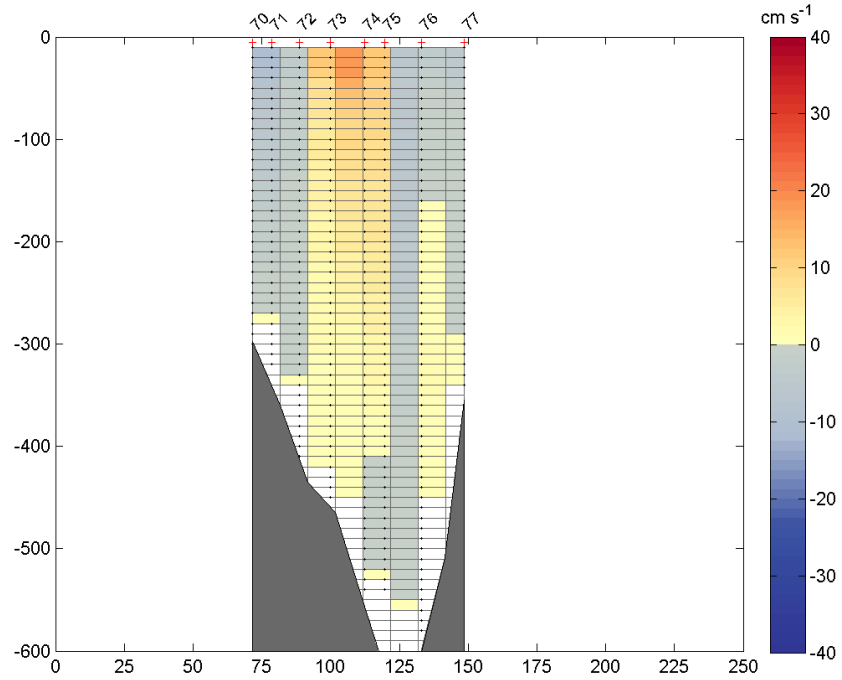


Figure C.13 – Courants estimés pour l'année 1986 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

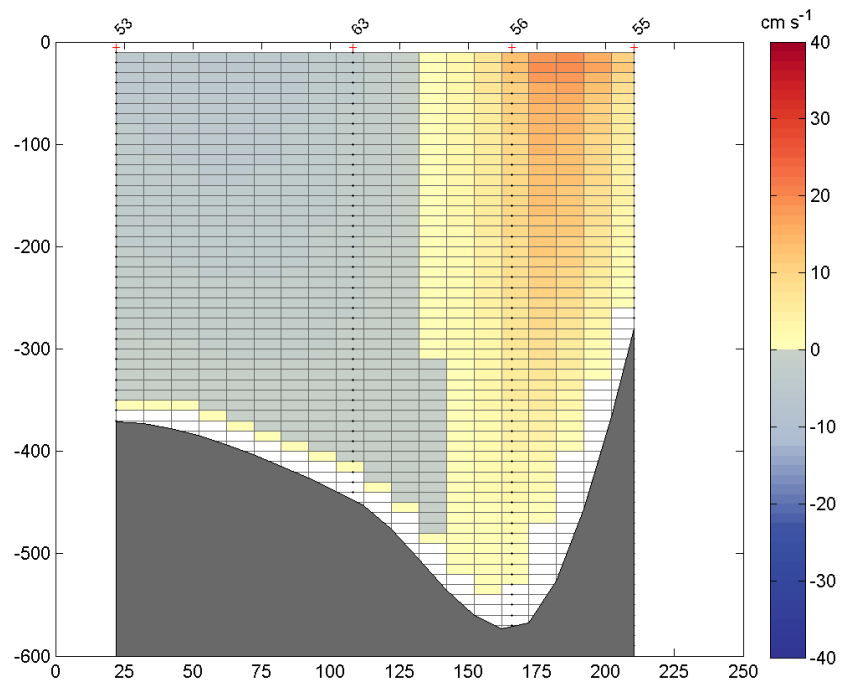


Figure C.14 – Courants estimés pour l'année 1997 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

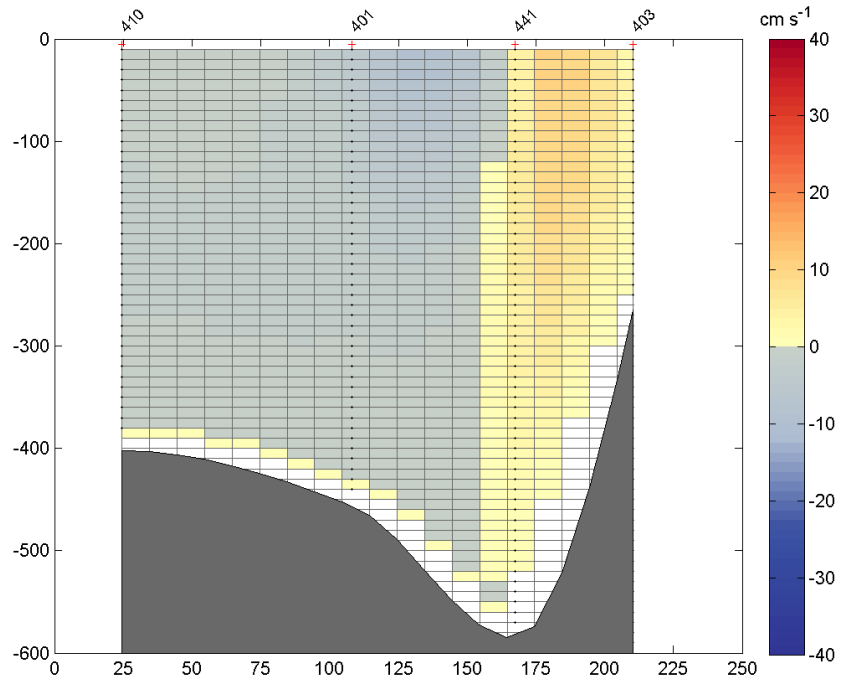


Figure C.15 – Courants estimés pour l'année 1998 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

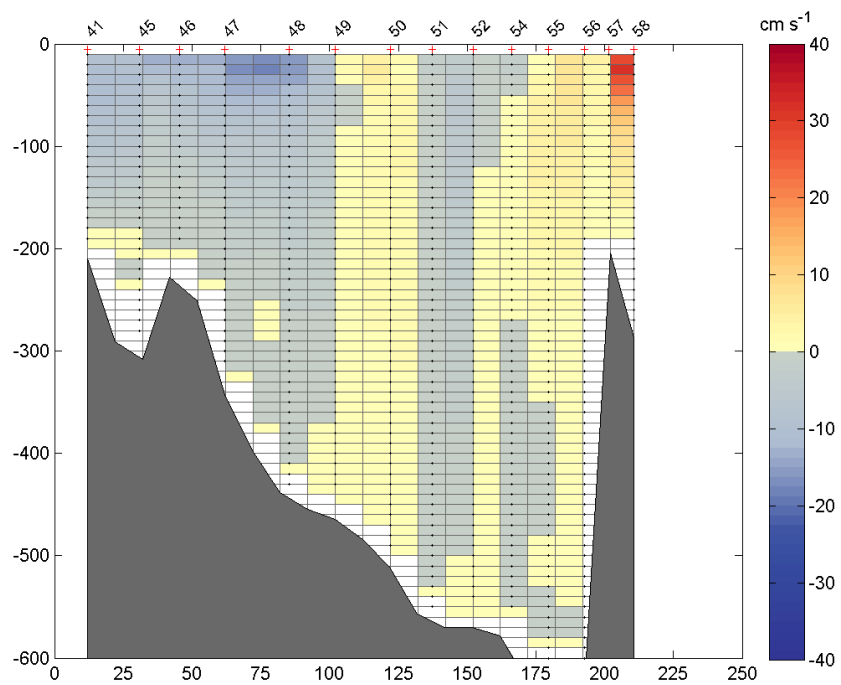


Figure C.16 – Courants estimés pour l'année 1999 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

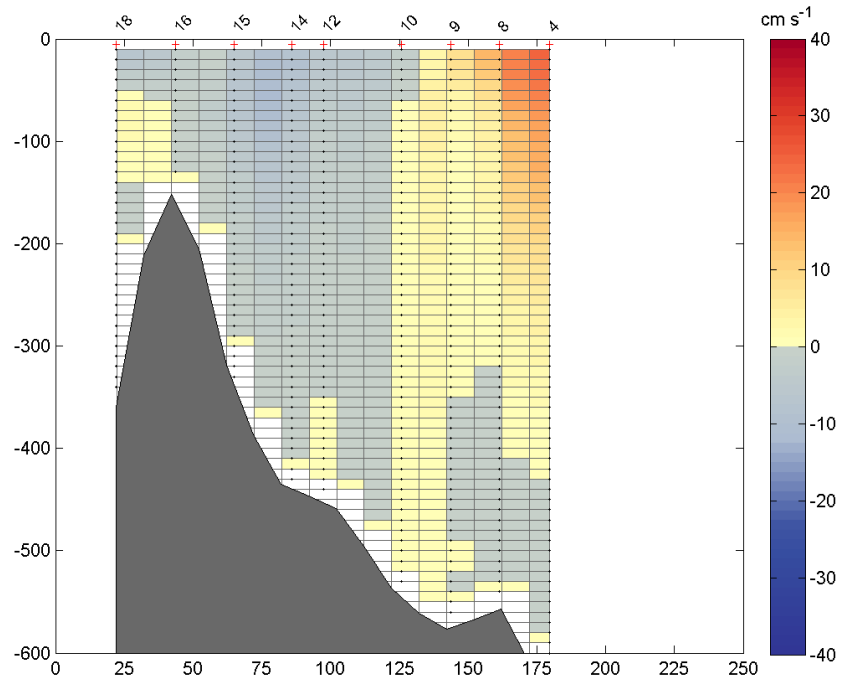


Figure C.17 – Courants estimés pour l'année 2005 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

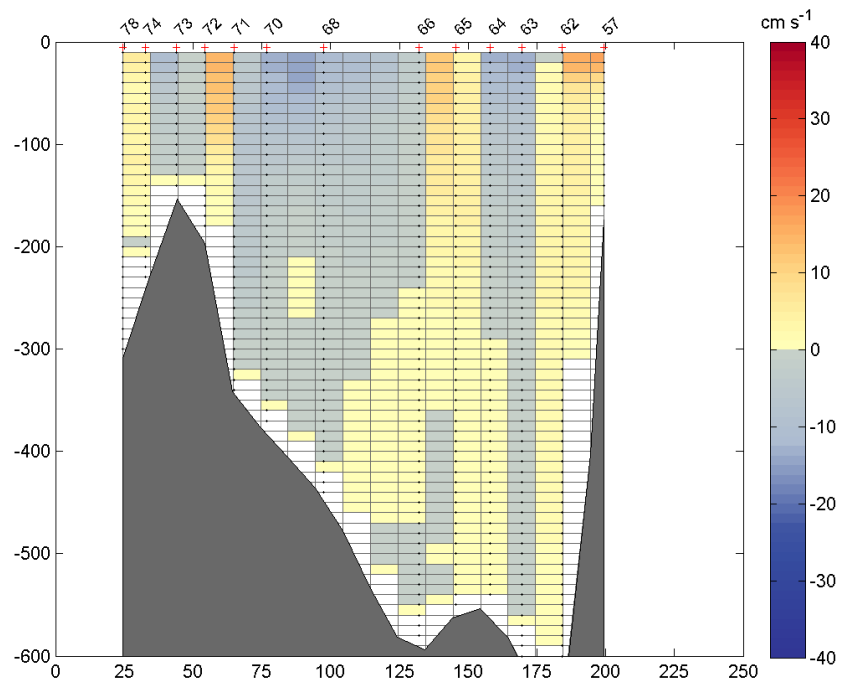


Figure C.18 – Courants estimés pour l'année 2006 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

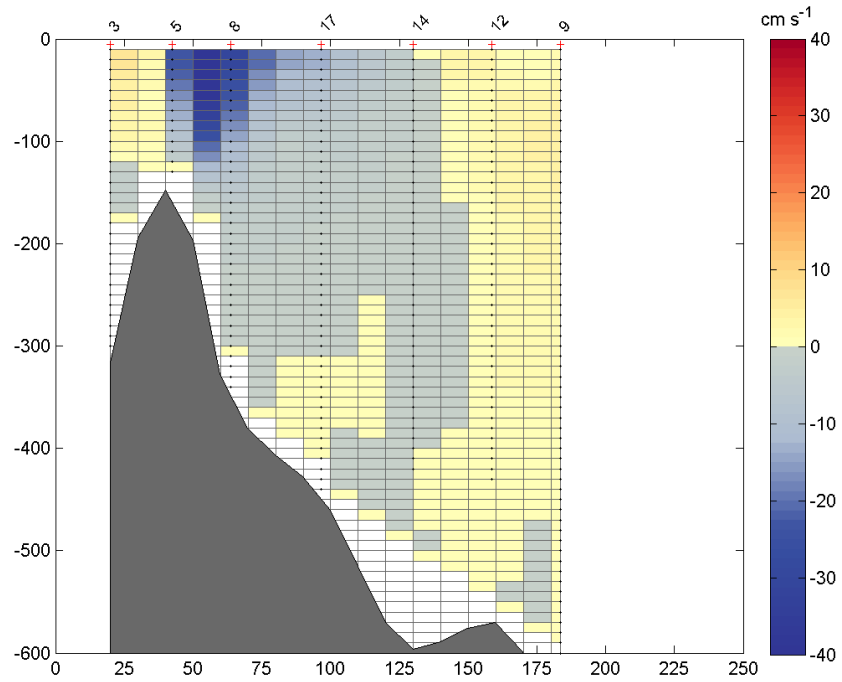


Figure C.19 – Courants estimés pour l'année 2007 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

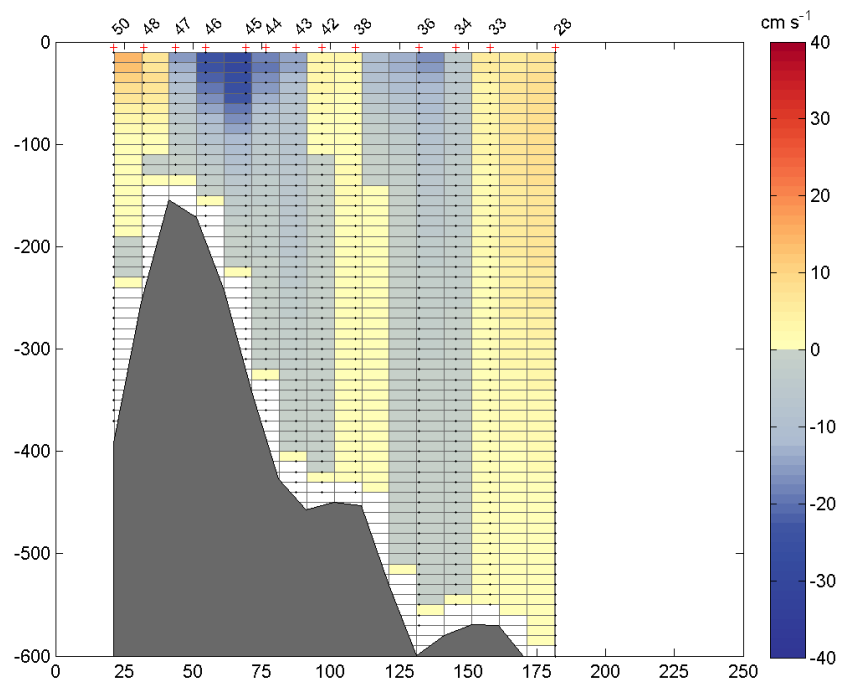


Figure C.20 – Courants estimés pour l'année 2008 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

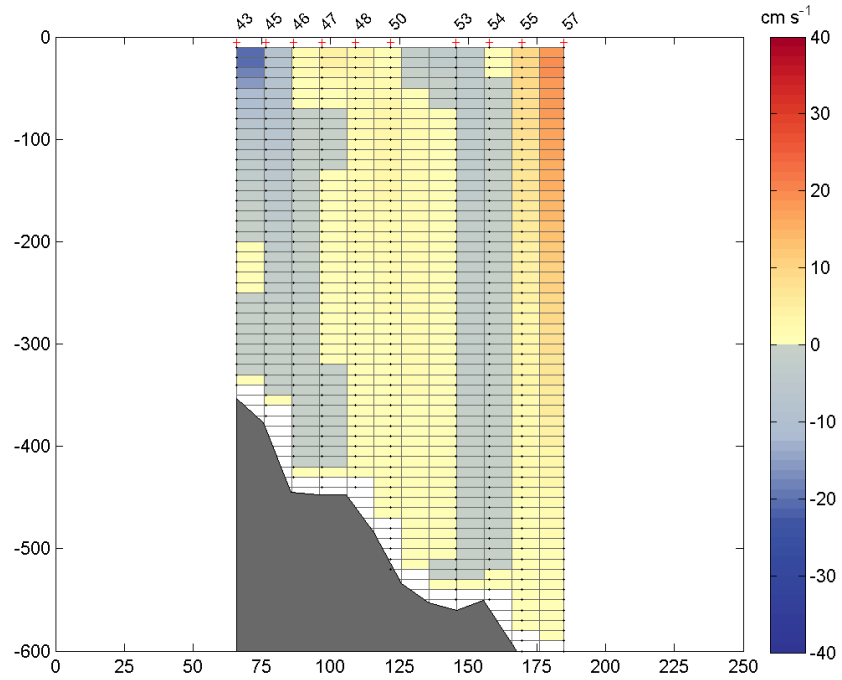


Figure C.21 – Courants estimés pour l'année 2009 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

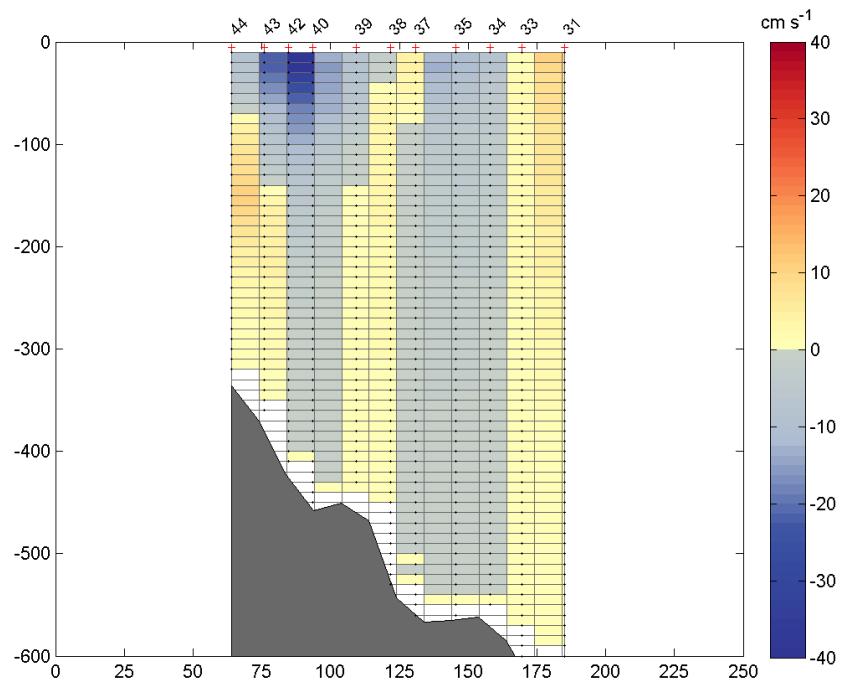


Figure C.22 – Courants estimés pour l'année 2010 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

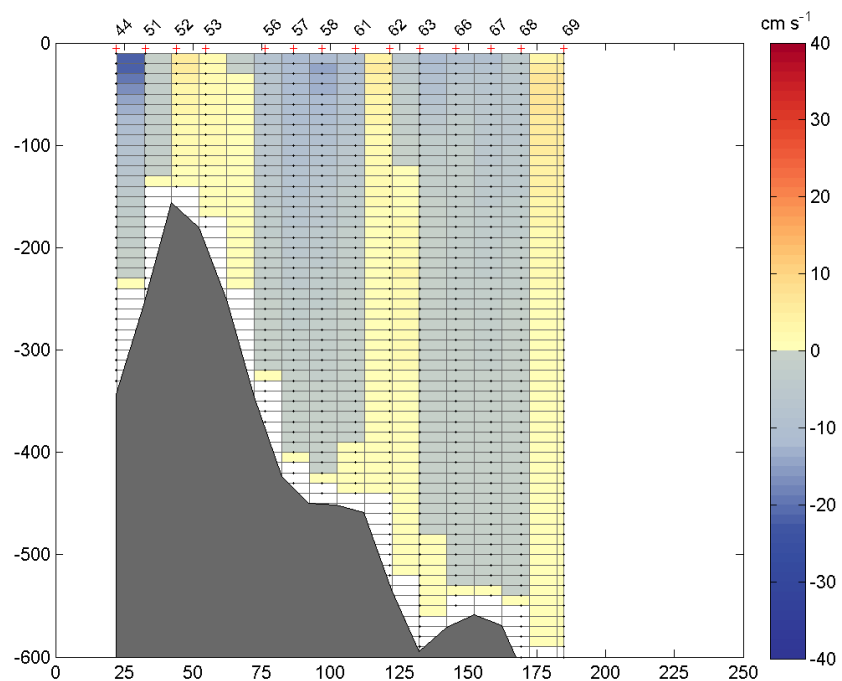


Figure C.23 – Courants estimés pour l'année 2013 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

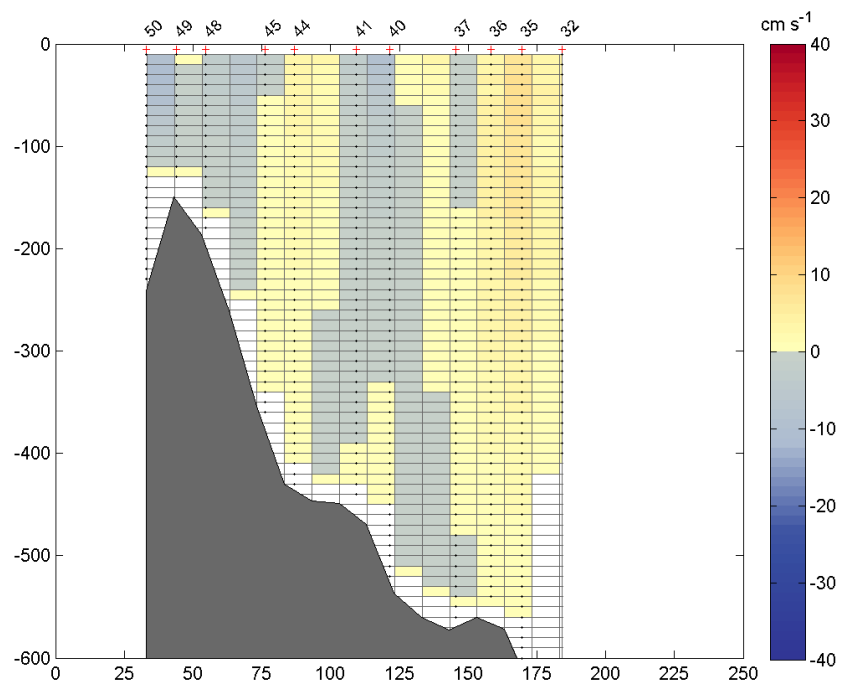


Figure C.24 – Courants estimés pour l'année 2014 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

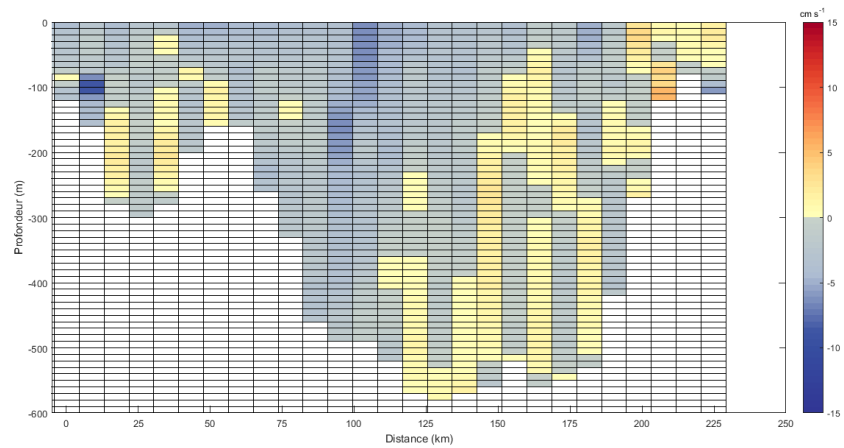


Figure C.25 – Courants totaux mensuels perpendiculaires à la section calculés par Yao et Tang (2003) pour le mois de janvier par rapport à la côte ouest et en fonction de la profondeur

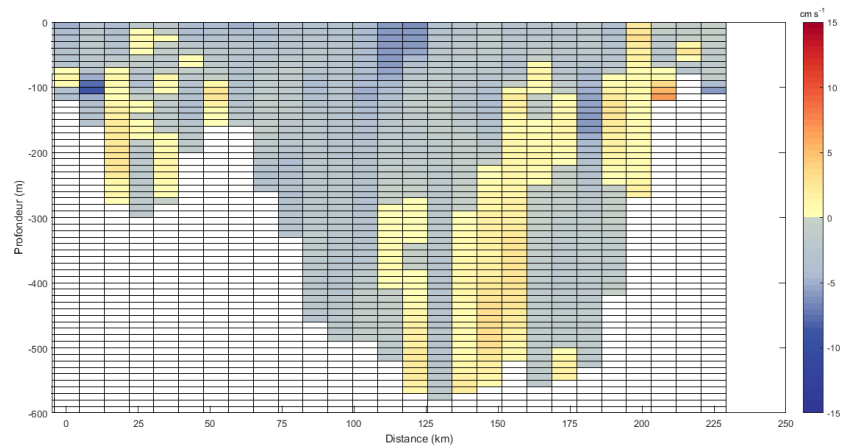


Figure C.26 – Courants totaux mensuels perpendiculaires à la section calculés par Yao et Tang (2003) pour le mois de février par rapport à la côte ouest et en fonction de la profondeur

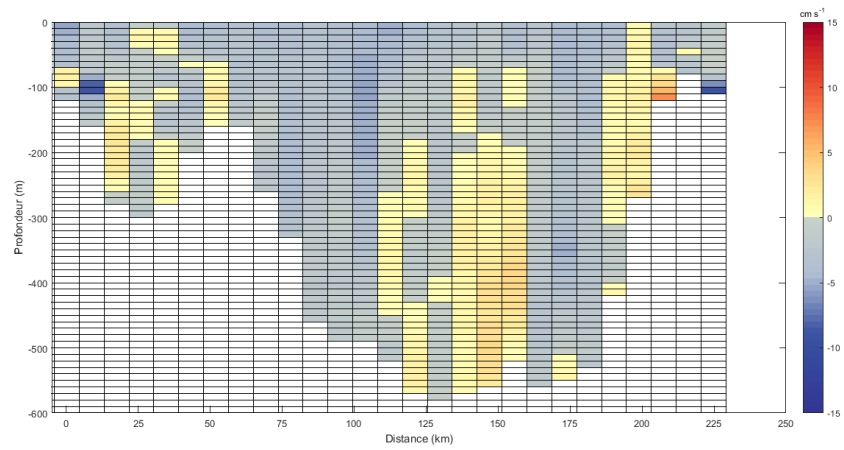


Figure C.27 – Courants totaux mensuels perpendiculaires à la section calculés par Yao et Tang (2003) pour le mois de mars par rapport à la côte ouest et en fonction de la profondeur

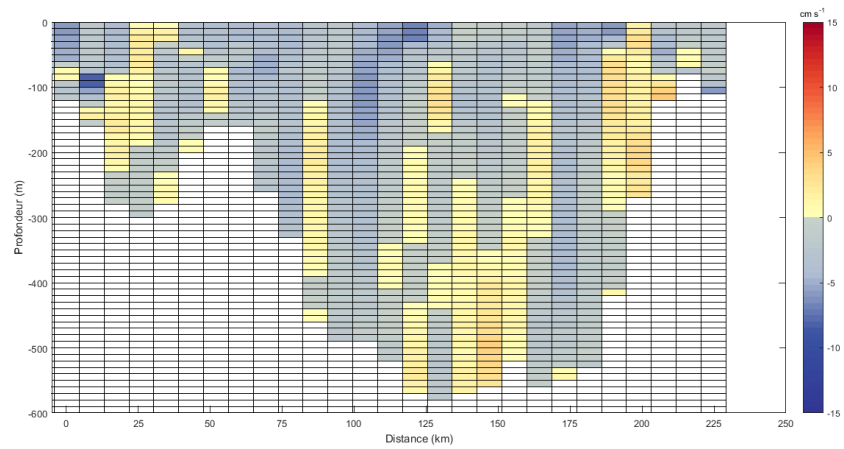


Figure C.28 – Courants totaux mensuels perpendiculaires à la section calculés par Yao et Tang (2003) pour le mois d'avril par rapport à la côte ouest et en fonction de la profondeur

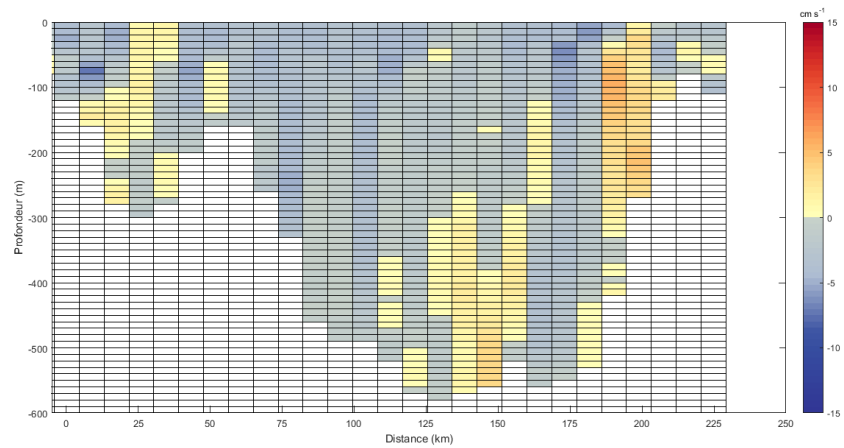


Figure C.29 – Courants totaux mensuels perpendiculaires à la section calculés par Yao et Tang (2003) pour le mois de mai par rapport à la côte ouest et en fonction de la profondeur

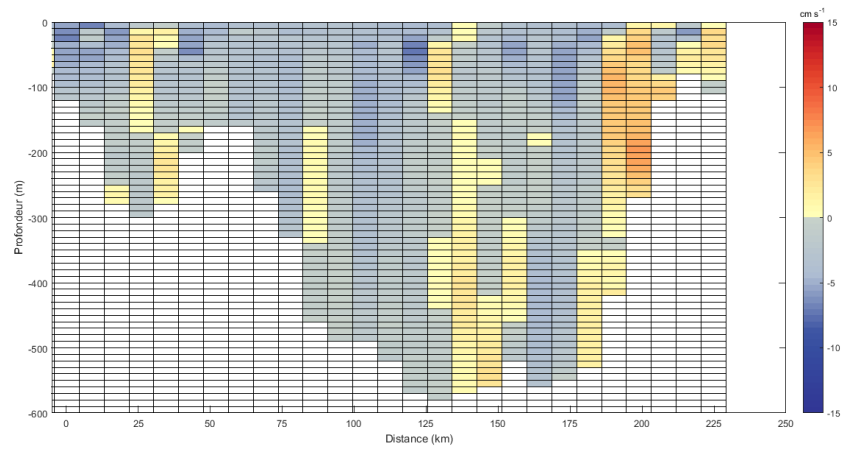


Figure C.30 – Courants totaux mensuels perpendiculaires à la section calculés par Yao et Tang (2003) pour le mois de juin par rapport à la côte ouest et en fonction de la profondeur

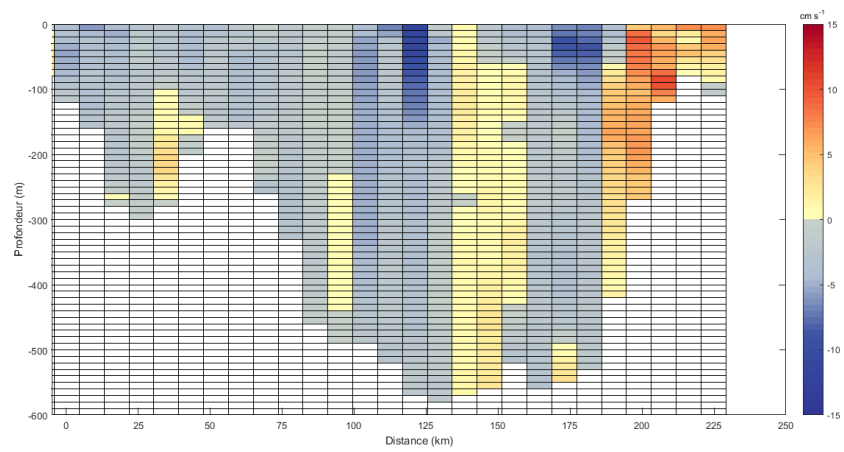


Figure C.31 – Courants totaux mensuels perpendiculaires à la section calculés par Yao et Tang (2003) pour le mois de juillet par rapport à la côte ouest et en fonction de la profondeur

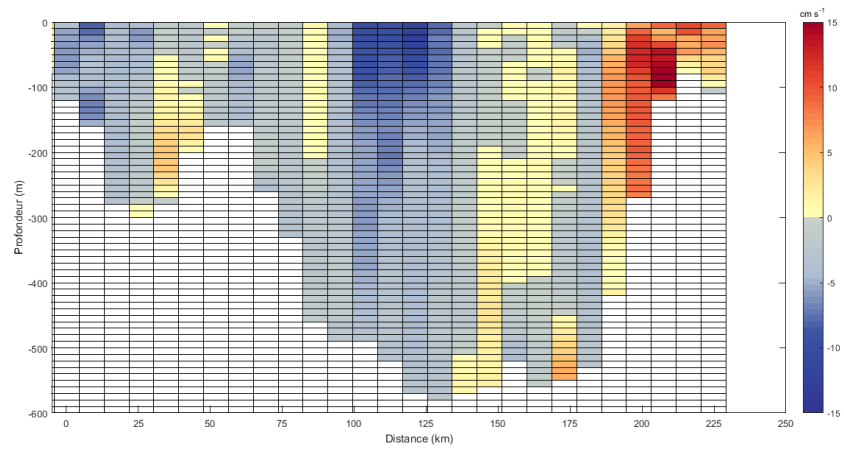


Figure C.32 – Courants totaux mensuels perpendiculaires à la section calculés par Yao et Tang (2003) pour le mois d'août par rapport à la côte ouest et en fonction de la profondeur

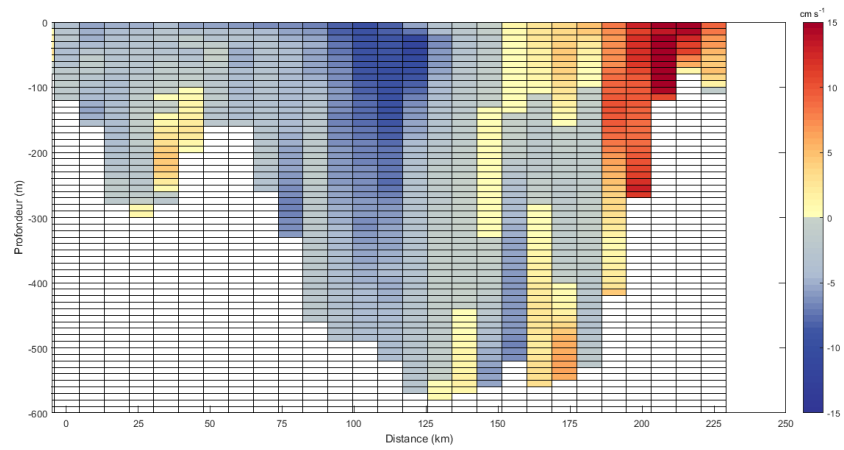


Figure C.33 – Courants totaux mensuels perpendiculaires à la section calculés par Yao et Tang (2003) pour le mois de septembre par rapport à la côte ouest et en fonction de la profondeur

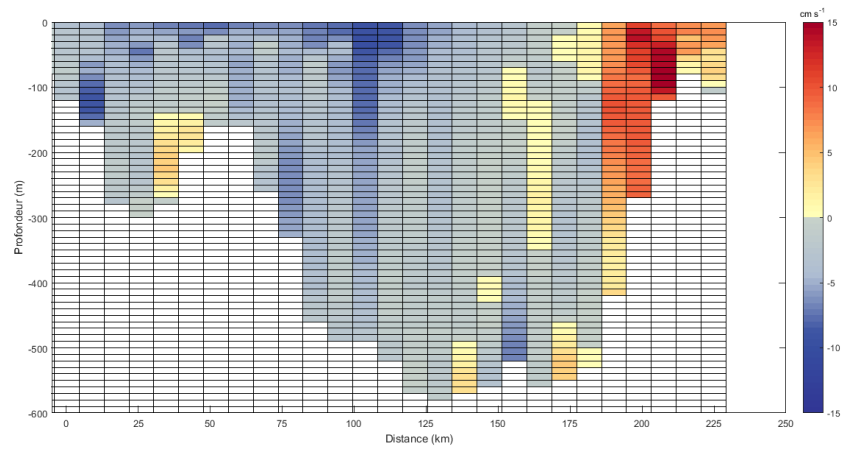


Figure C.34 – Courants totaux mensuels perpendiculaires à la section calculés par Yao et Tang (2003) pour le mois d'octobre par rapport à la côte ouest et en fonction de la profondeur

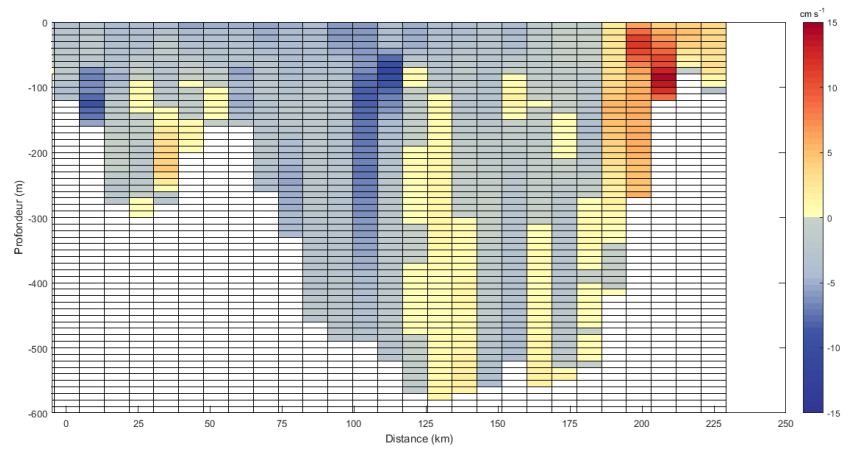


Figure C.35 – Courants totaux mensuels perpendiculaires à la section calculés par Yao et Tang (2003) pour le mois de novembre par rapport à la côte ouest et en fonction de la profondeur

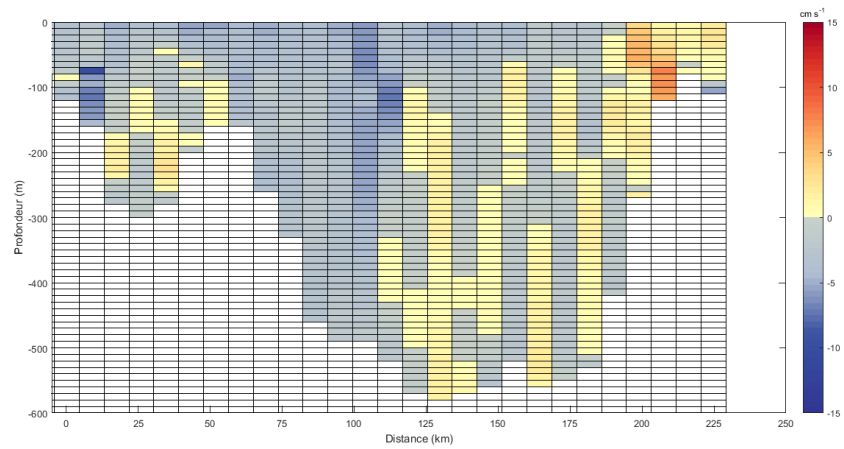
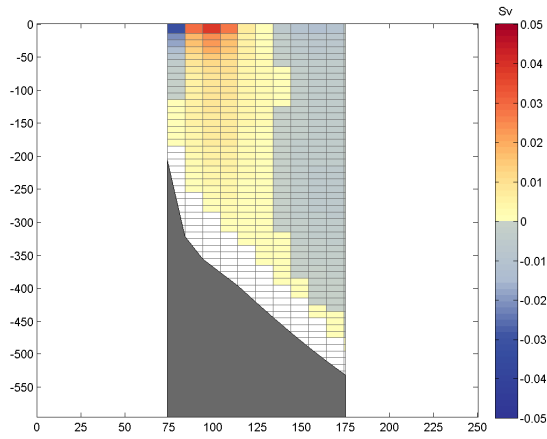


Figure C.36 – Courants totaux mensuels perpendiculaires à la section calculés par Yao et Tang (2003) pour le mois de décembre par rapport à la côte ouest et en fonction de la profondeur

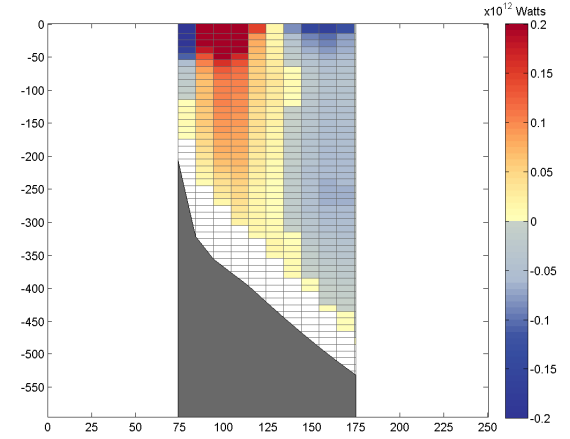
Annexe D

Transports volumiques, de chaleur et d'eau douce

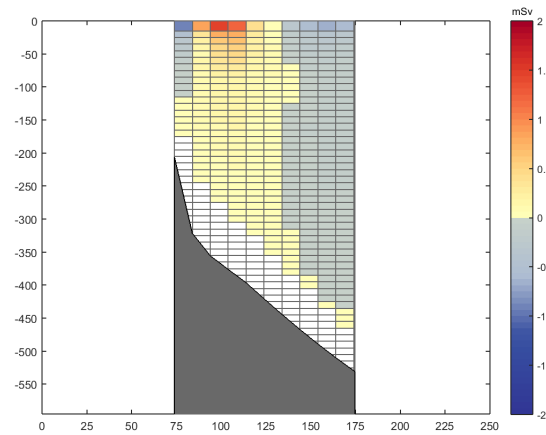
Cette annexe est consacrée à la présentation des contours des différents transports (volume, eau douce et chaleur), pour l'ensemble des années sélectionnées et utilisées dans les calculs. Ces contours sont issus de l'estimation des courants entre les points des grilles régulières. C'est pourquoi les valeurs sont présentées sous forme de quadrillage, le même que celui des courants. Il faut rappeler que l'origine (0 km) de l'axe horizontal correspond au point fixe choisi sur la côte de l'île d'Ellesmere et la fin (250 km) à celui choisi sur la côte du Groenland. La profondeur est en mètres. L'échelle de couleur a été construite de manière à distinguer très facilement les valeurs positives des valeurs négatives ainsi qu'identifier les rectangles blancs où il n'y a pas de données. Les contours sont présentés en ordre croissant d'années, commençant par 1952, la première année, jusqu'à 2014, la dernière.



(a)

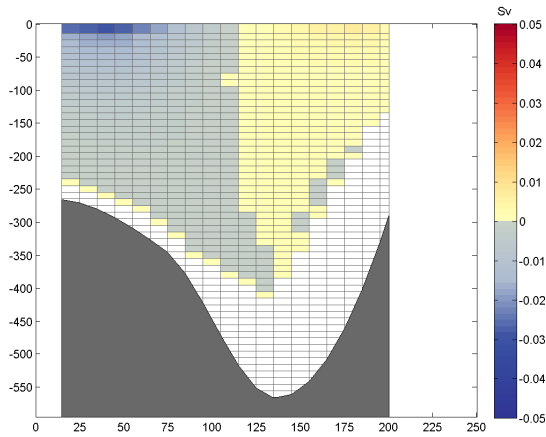


(b)

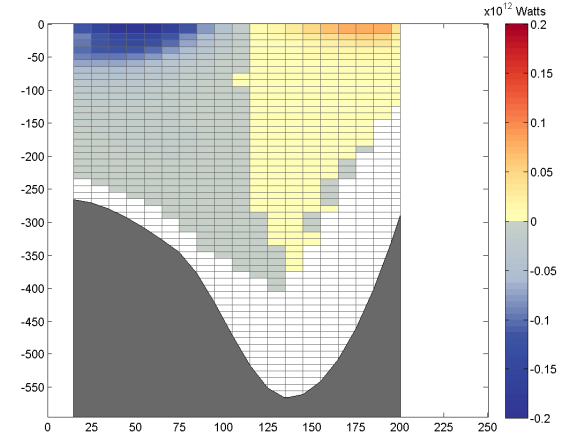


(c)

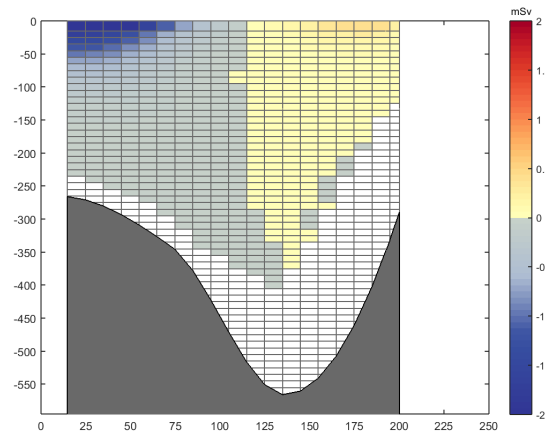
Tableau D.1 – Transports volumiques (a), de chaleur (b) et d'eau douce (c) pour l'année 1952 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).



(a)

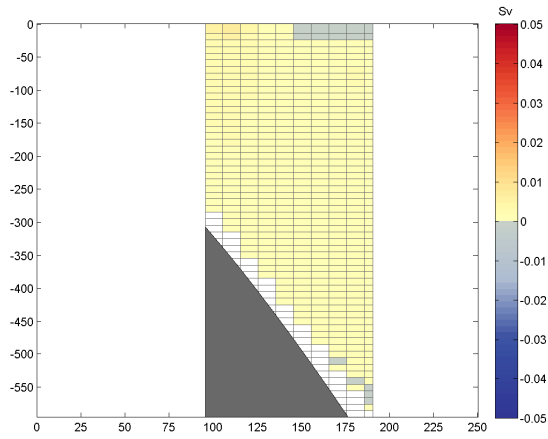


(b)

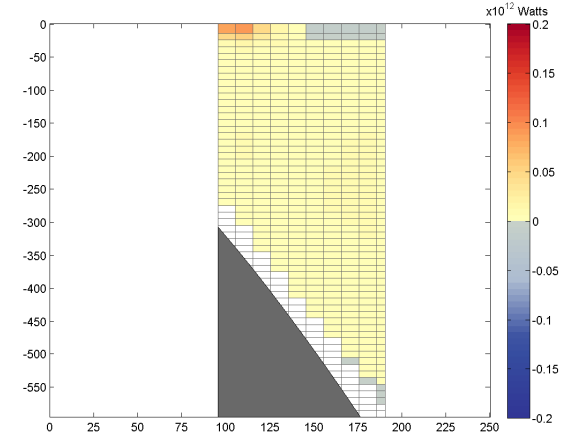


(c)

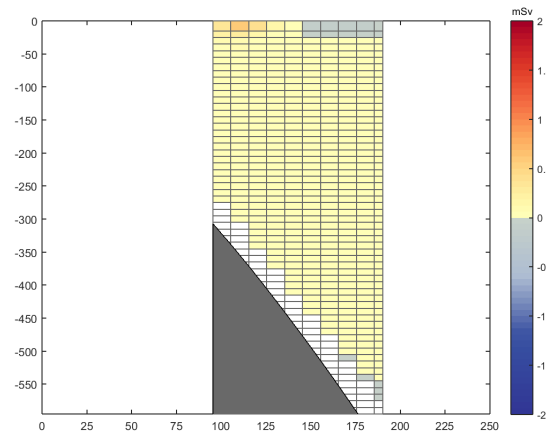
Tableau D.2 – Transports volumiques (a), de chaleur (b) et d'eau douce (c) pour l'année 1957 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).



(a)

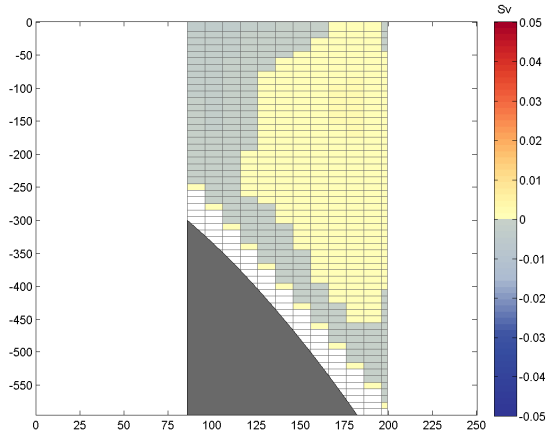


(b)

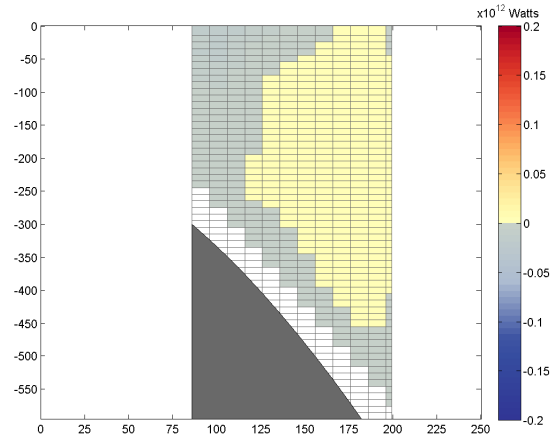


(c)

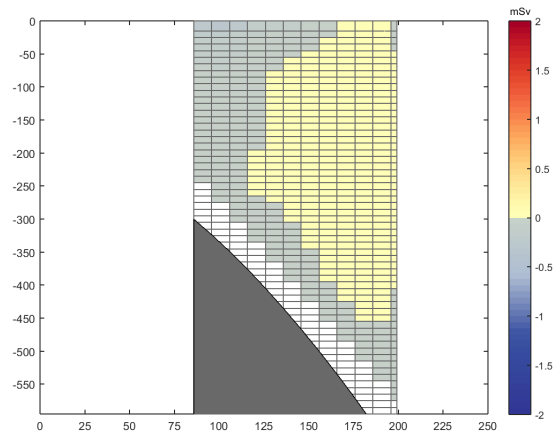
Tableau D.3 – Transports volumiques (a), de chaleur (b) et d'eau douce (c) pour l'année 1961 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).



(a)

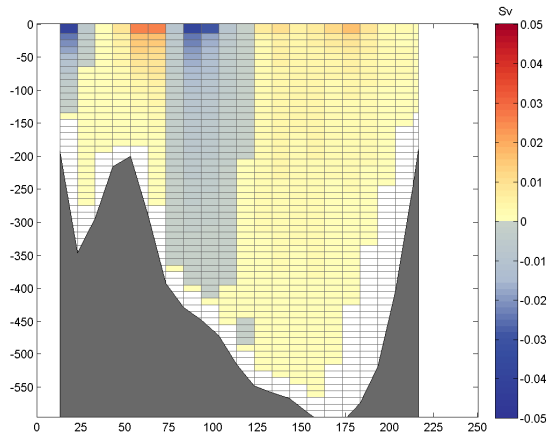


(b)

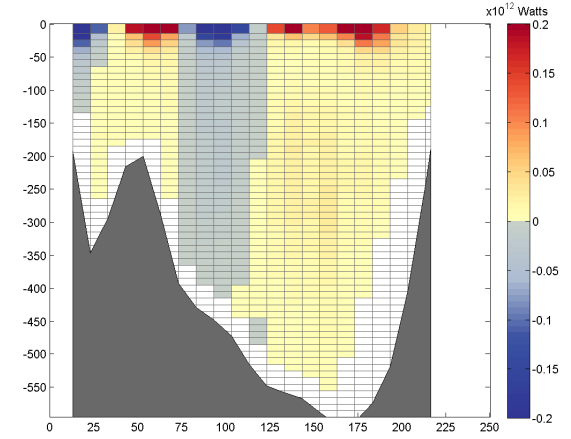


(c)

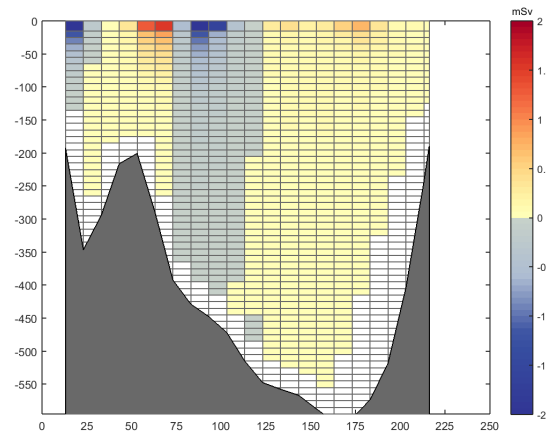
Tableau D.4 – Transports volumiques (a), de chaleur (b) et d'eau douce (c) pour l'année 1962 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).



(a)

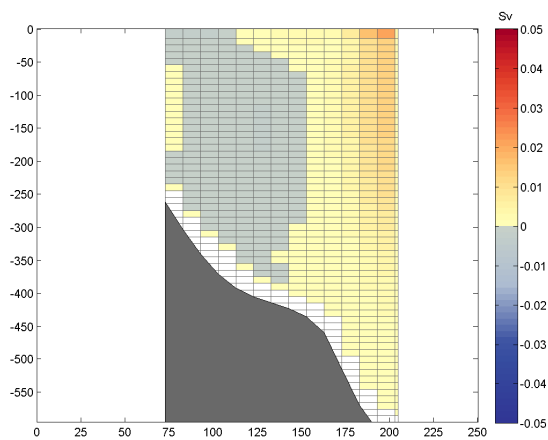


(b)

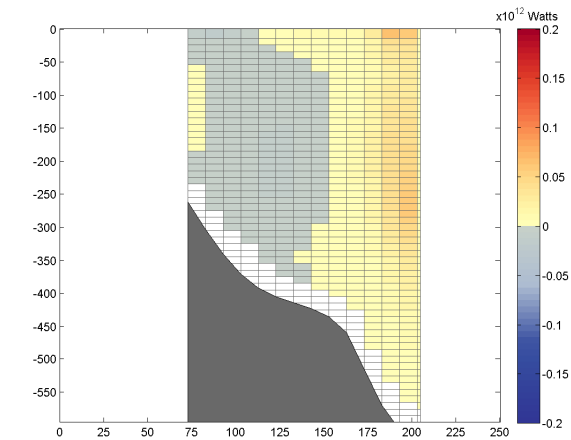


(c)

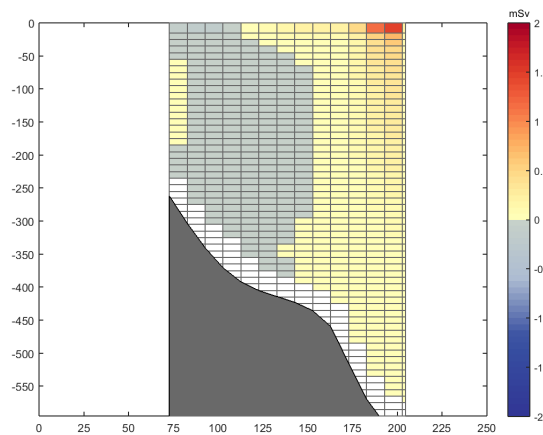
Tableau D.5 – Transports volumiques (a), de chaleur (b) et d'eau douce (c) pour l'année 1963 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).



(a)

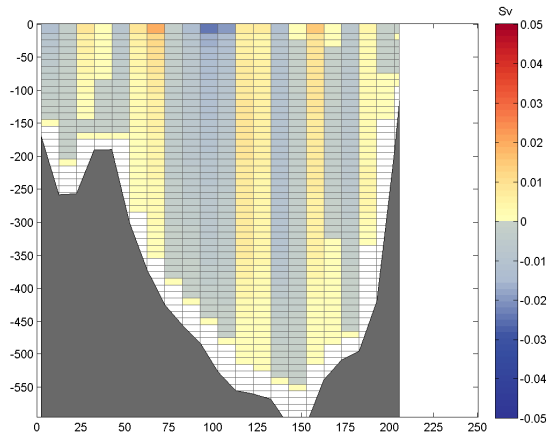


(b)

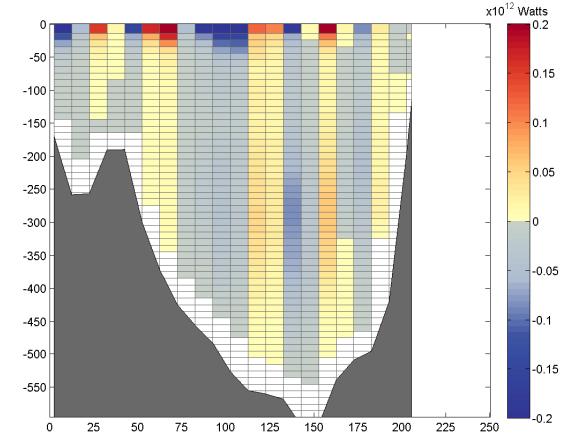


(c)

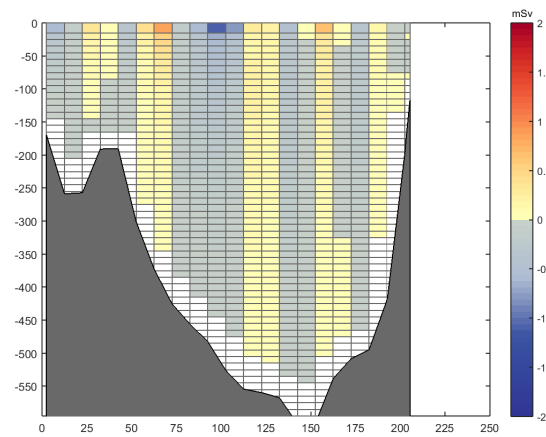
Tableau D.6 – Transports volumiques (a), de chaleur (b) et d'eau douce (c) pour l'année 1964 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).



(a)

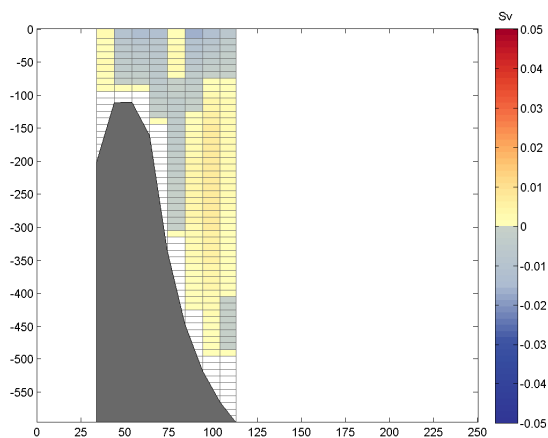


(b)

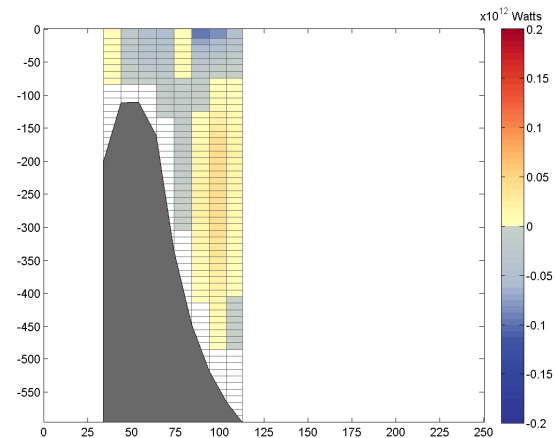


(c)

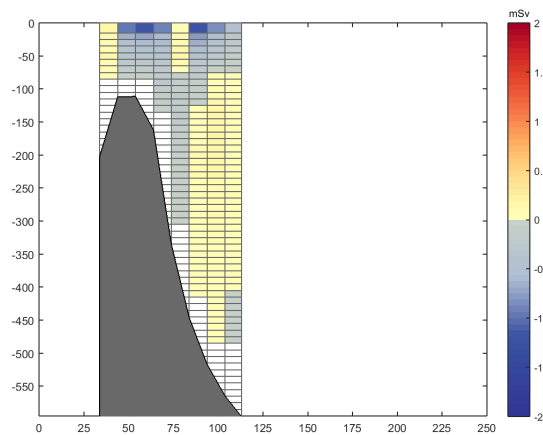
Tableau D.7 – Transports volumiques (a), de chaleur (b) et d'eau douce (c) pour l'année 1966 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).



(a)

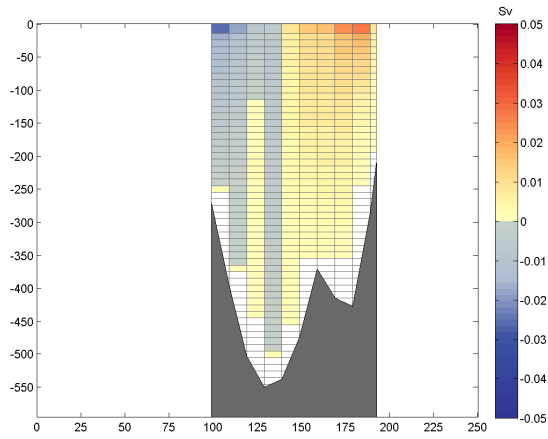


(b)

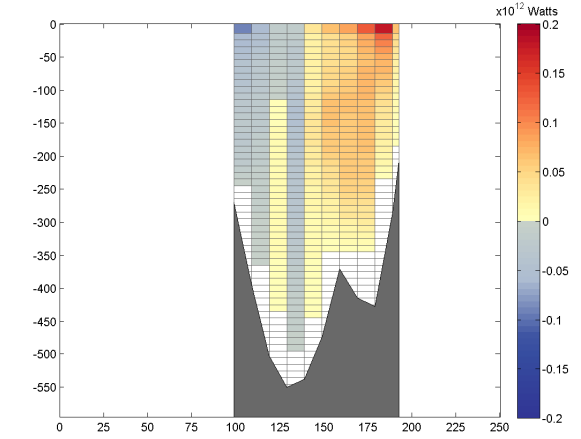


(c)

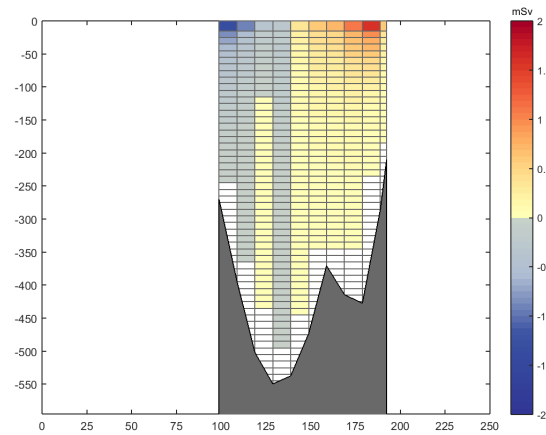
Tableau D.8 – Transports volumiques (a), de chaleur (b) et d'eau douce (c) pour l'année 1968 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).



(a)

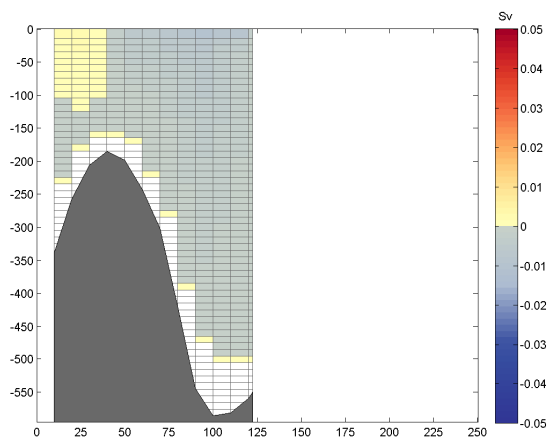


(b)

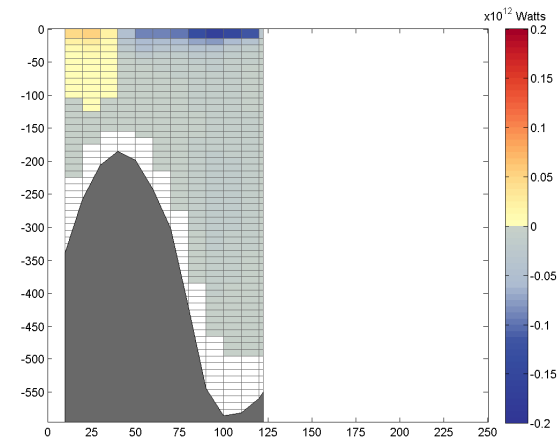


(c)

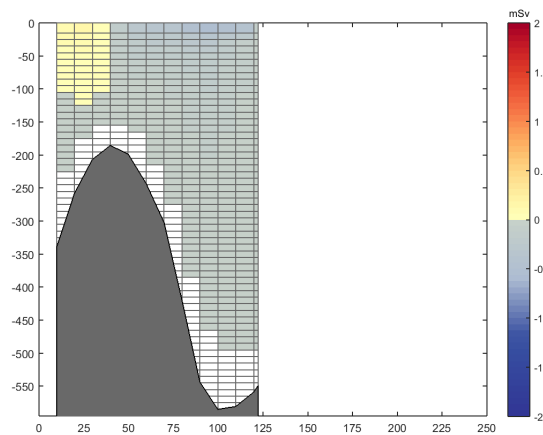
Tableau D.9 – Transports volumiques (a), de chaleur (b) et d'eau douce (c) pour l'année 1969 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).



(a)

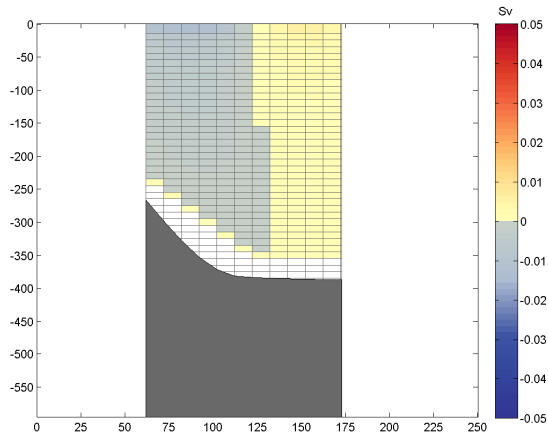


(b)

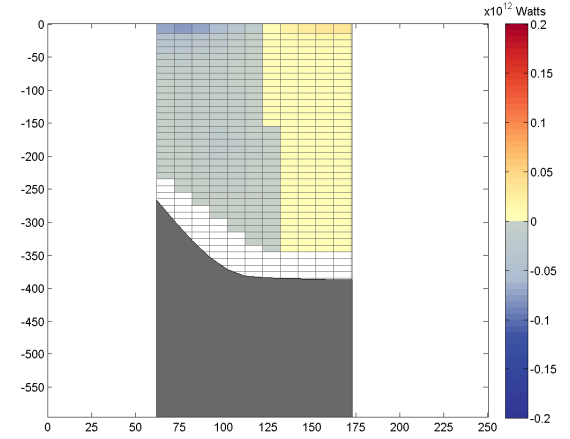


(c)

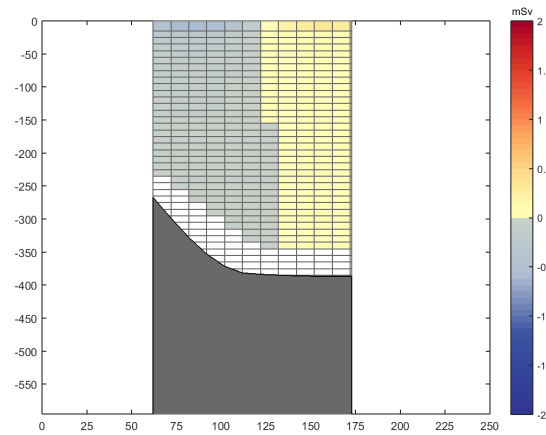
Tableau D.10 – Transports volumiques (a), de chaleur (b) et d'eau douce (c) pour l'année 1970 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).



(a)

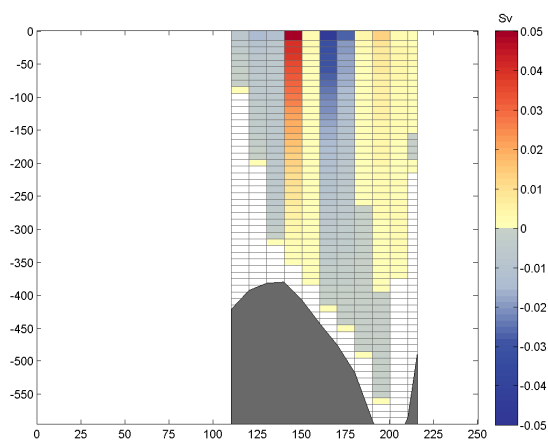


(b)

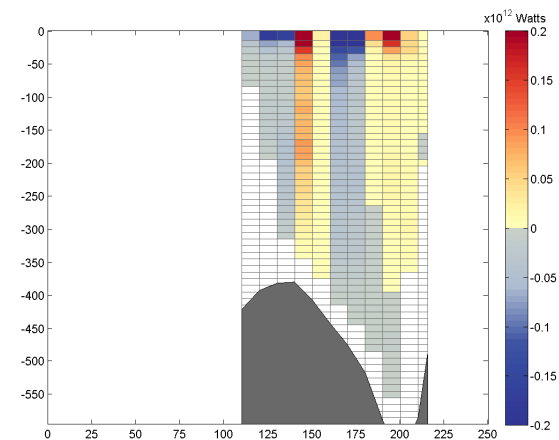


(c)

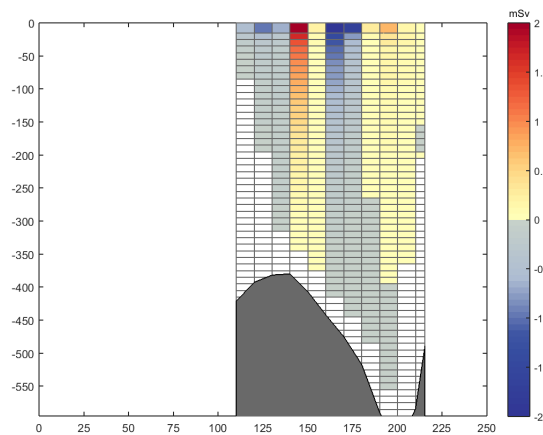
Tableau D.11 – Transports volumiques (a), de chaleur (b) et d'eau douce (c) pour l'année 1978 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).



(a)

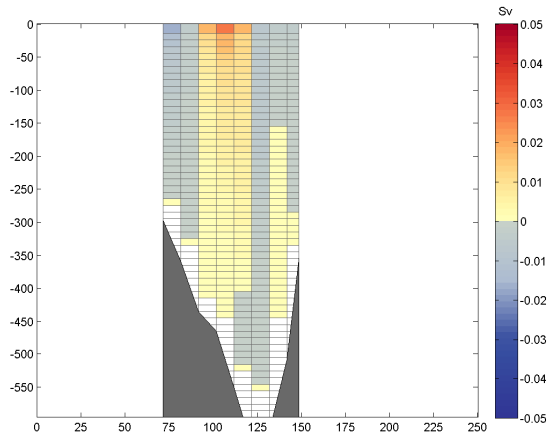


(b)

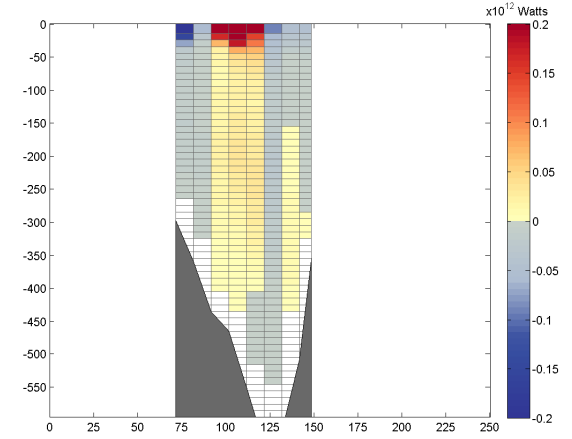


(c)

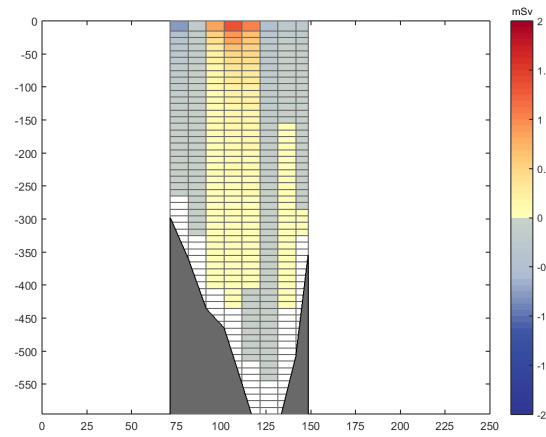
Tableau D.12 – Transports volumiques (a), de chaleur (b) et d'eau douce (c) pour l'année 1979 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).



(a)

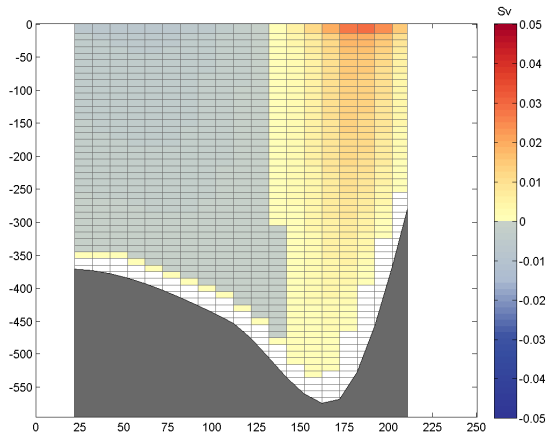


(b)

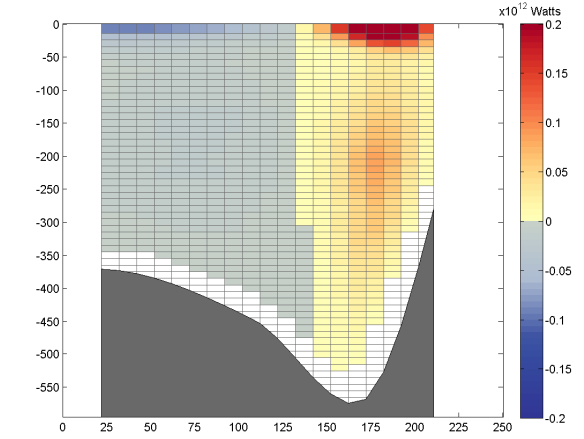


(c)

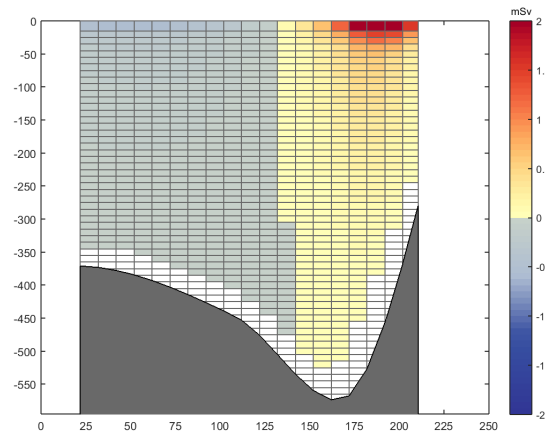
Tableau D.13 – Transports volumiques (a), de chaleur (b) et d'eau douce (c) pour l'année 1986 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).



(a)

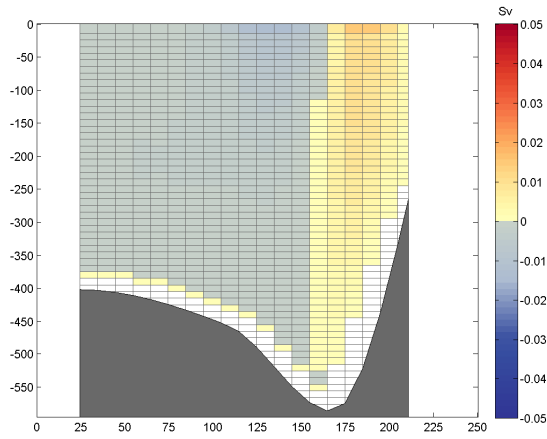


(b)

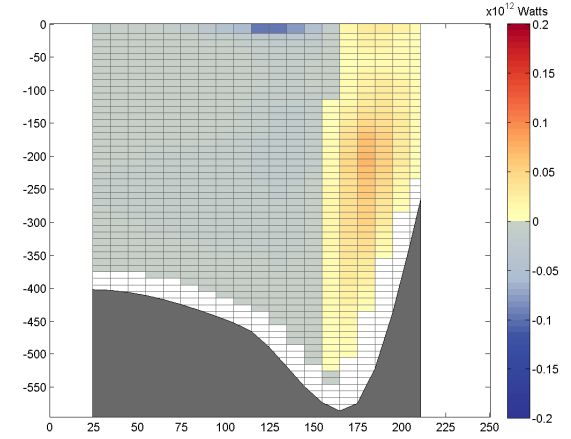


(c)

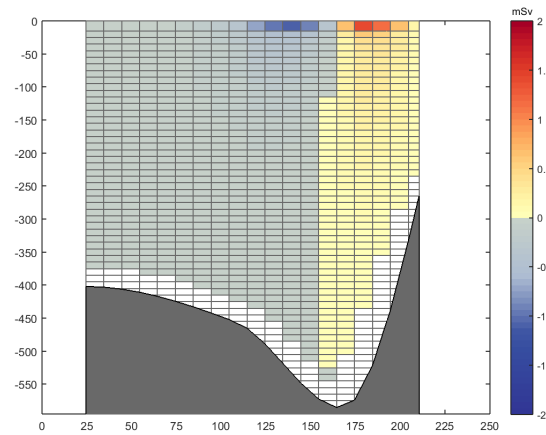
Tableau D.14 – Transports volumiques (a), de chaleur (b) et d'eau douce (c) pour l'année 1997 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).



(a)

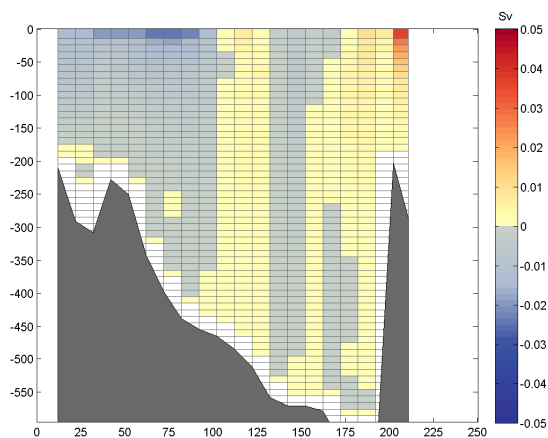


(b)

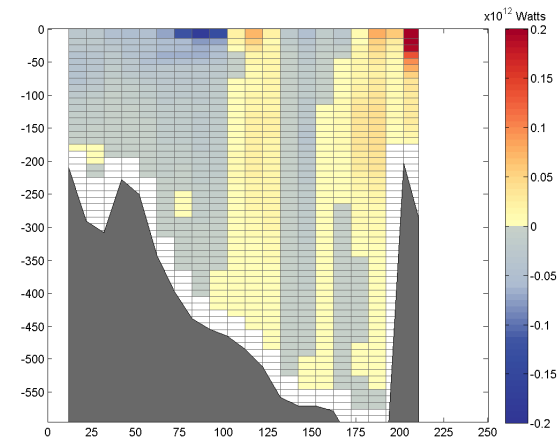


(c)

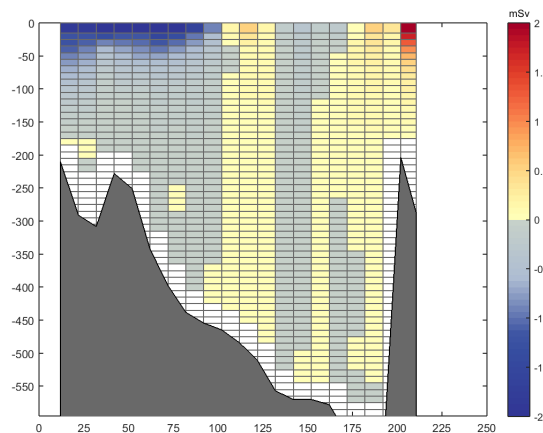
Tableau D.15 – Transports volumiques (a), de chaleur (b) et d'eau douce (c) pour l'année 1998 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).



(a)

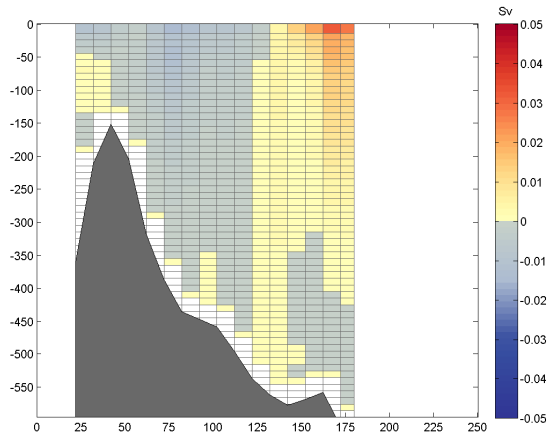


(b)

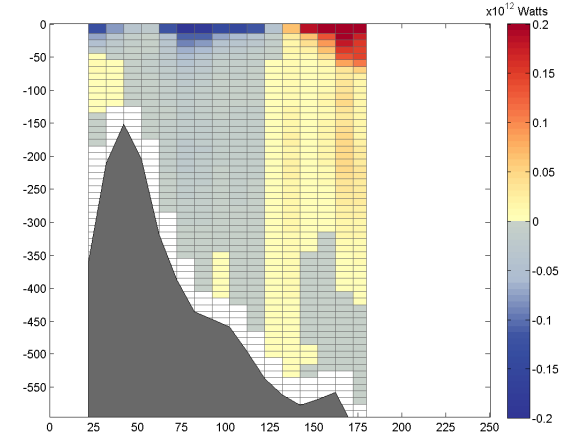


(c)

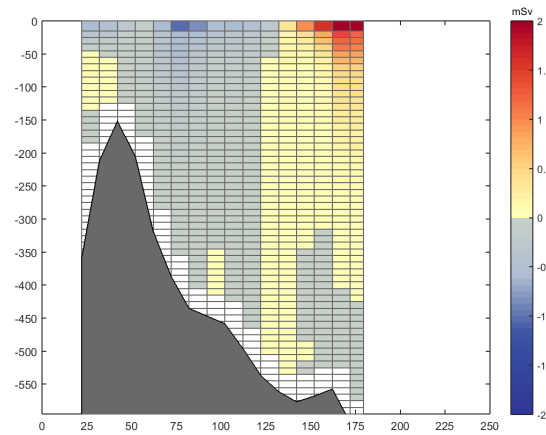
Tableau D.16 – Transports volumiques (a), de chaleur (b) et d'eau douce (c) pour l'année 1999 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).



(a)

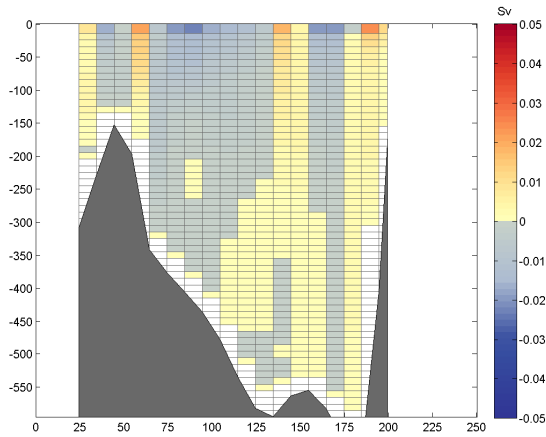


(b)

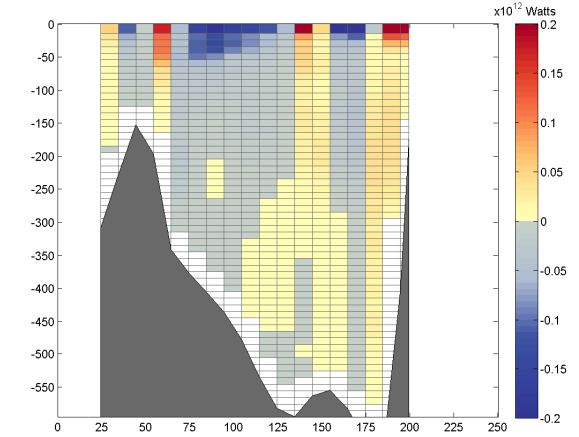


(c)

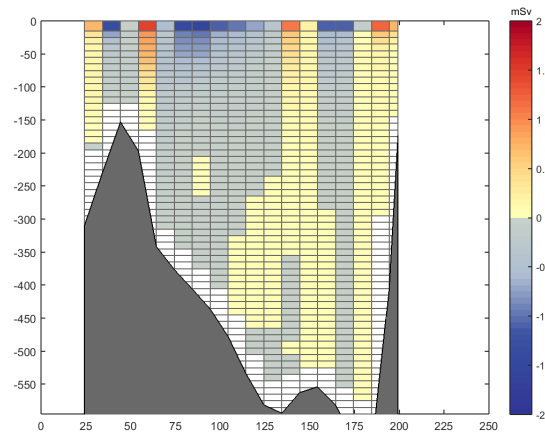
Tableau D.17 – Transports volumiques (a), de chaleur (b) et d'eau douce (c) pour l'année 2005 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).



(a)

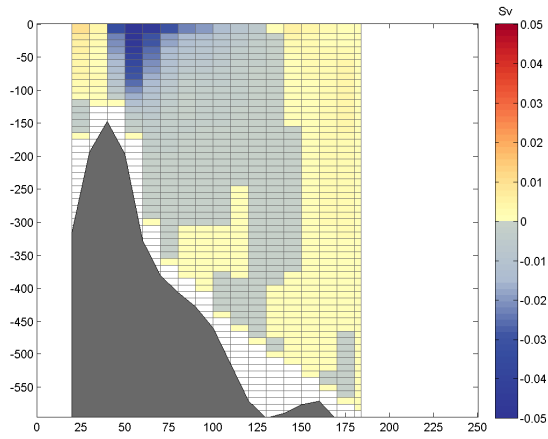


(b)

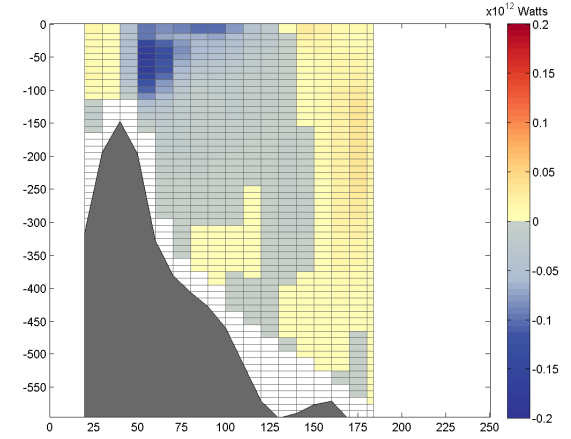


(c)

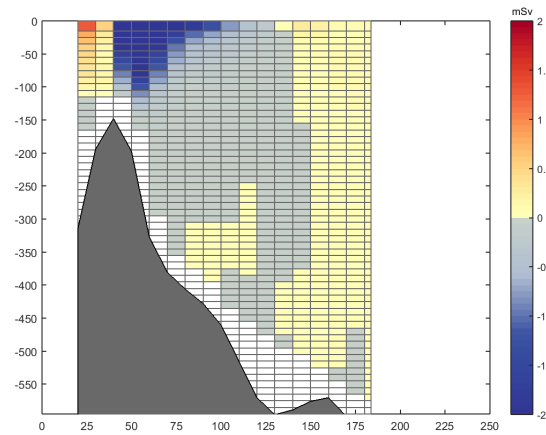
Tableau D.18 – Transports volumiques (a), de chaleur (b) et d'eau douce (c) pour l'année 2006 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).



(a)

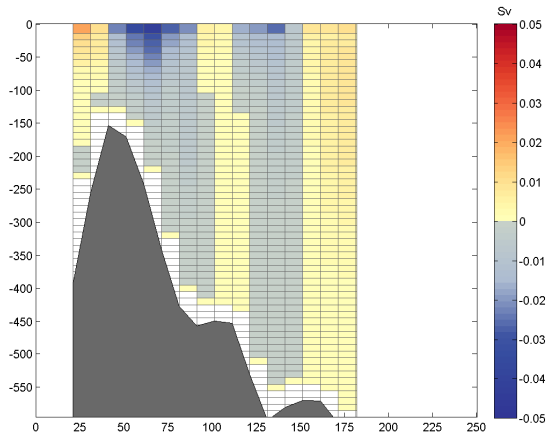


(b)

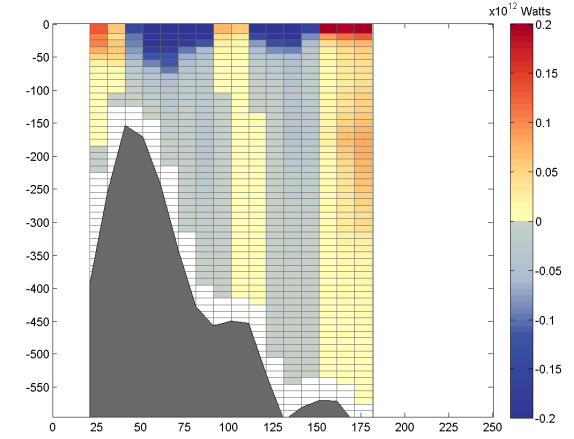


(c)

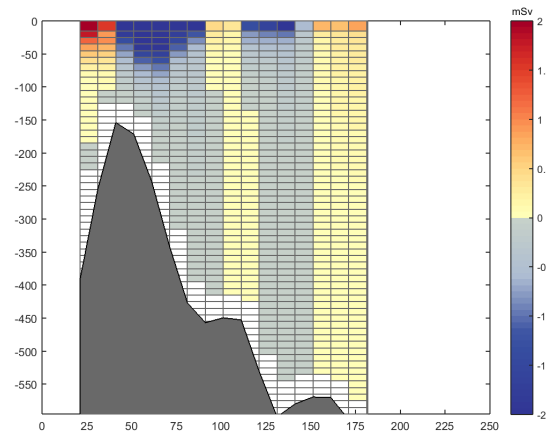
Tableau D.19 – Transports volumiques (a), de chaleur (b) et d'eau douce (c) pour l'année 2007 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).



(a)

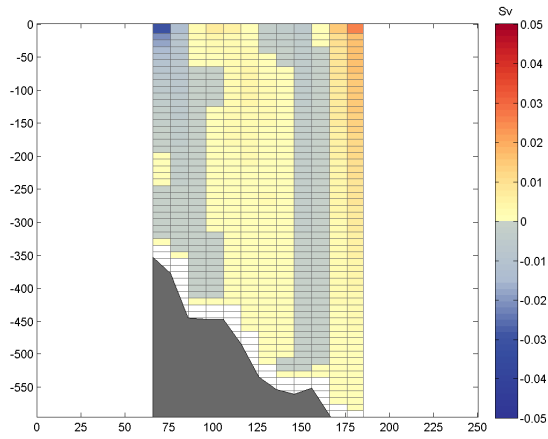


(b)

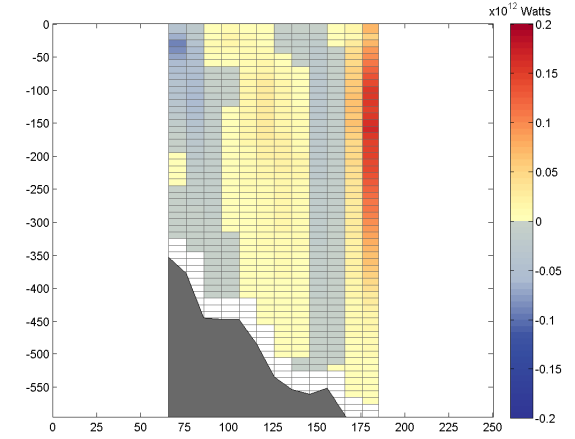


(c)

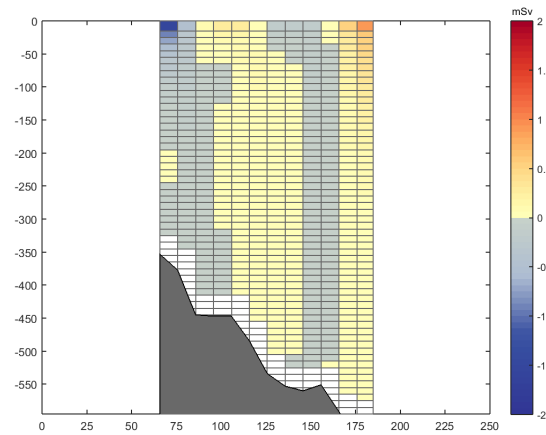
Tableau D.20 – Transports volumiques (a), de chaleur (b) et d'eau douce (c) pour l'année 2008 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).



(a)

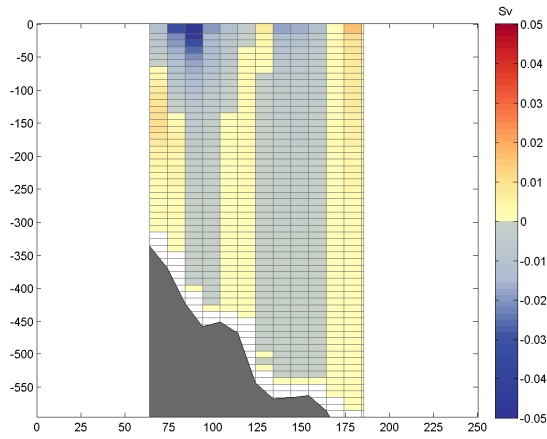


(b)

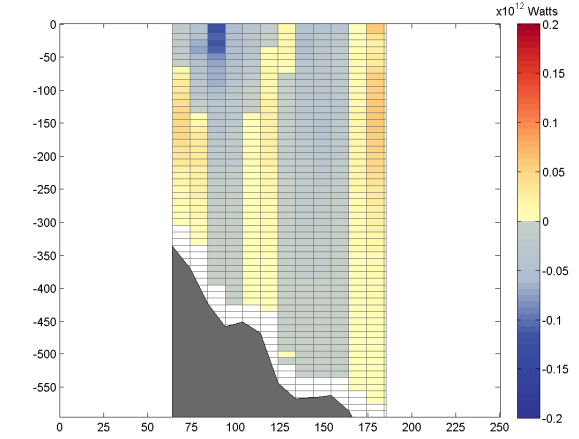


(c)

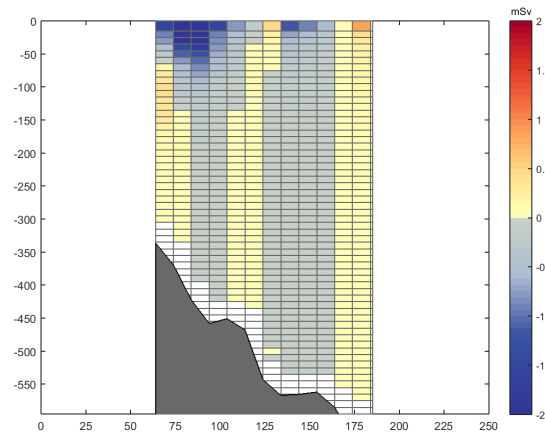
Tableau D.21 – Transports volumiques (a), de chaleur (b) et d'eau douce (c) pour l'année 2009 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).



(a)

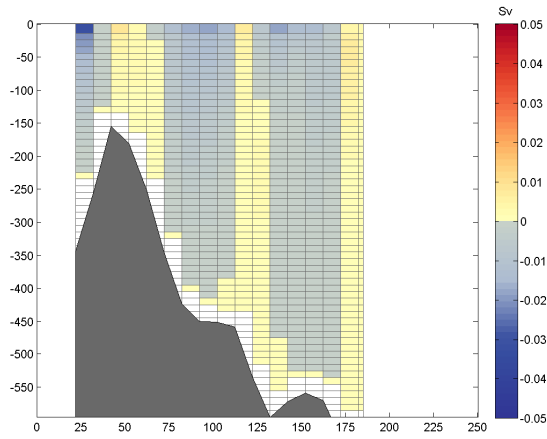


(b)

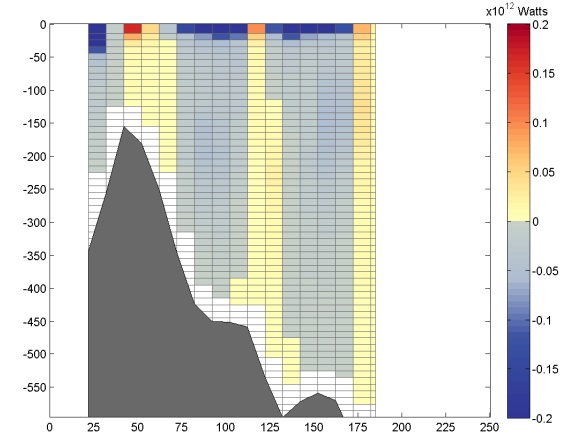


(c)

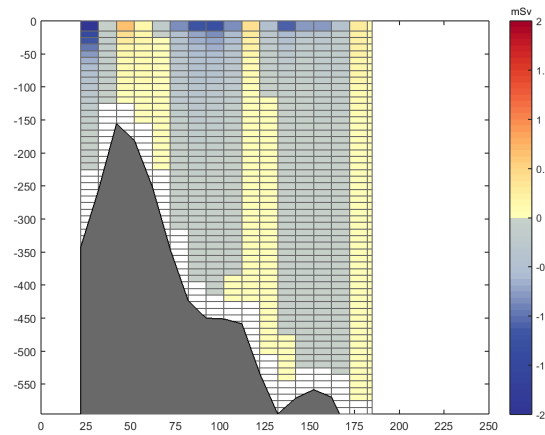
Tableau D.22 – Transports volumiques (a), de chaleur (b) et d'eau douce (c) pour l'année 2010 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).



(a)

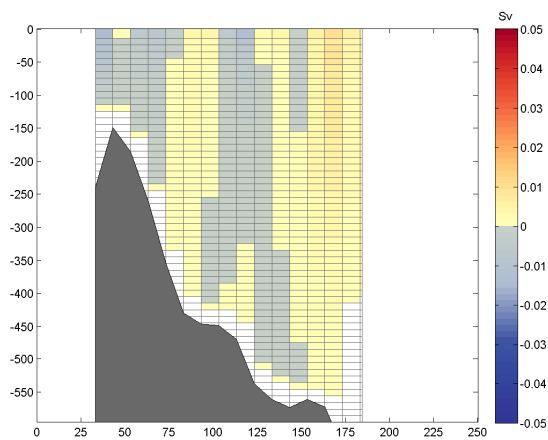


(b)

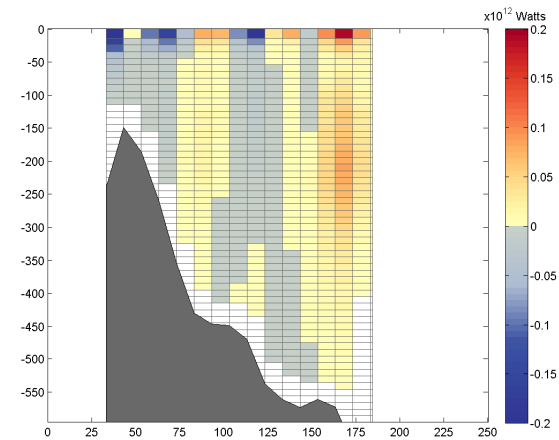


(c)

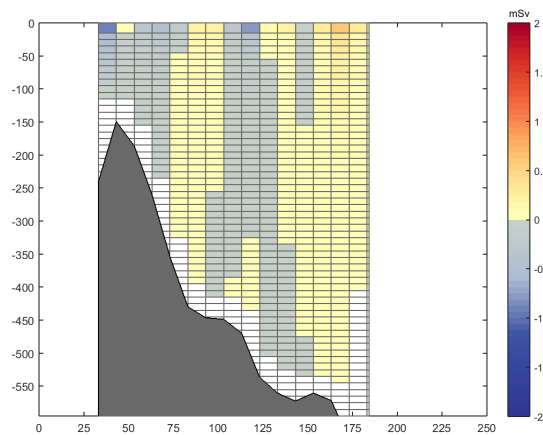
Tableau D.23 – Transports volumiques (a), de chaleur (b) et d'eau douce (c) pour l'année 2013 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).



(a)



(b)



(c)

Tableau D.24 – Transports volumiques (a), de chaleur (b) et d'eau douce (c) pour l'année 2014 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

Annexe E

Éléments nutritifs

Cette annexe est consacrée à la présentation des valeurs des éléments nutritifs (silicate, phosphate et nitrate) utilisées dans le cadre de cette étude, autant les moyennes sectorielles que les contours afin de bien illustrer les propos du chapitre 3. Il est nécessaire de mentionner que les valeurs présentées ne sont pas nécessairement toutes utilisées. Par exemple, peu de valeurs dans la couche 400-600 mètres ont été utilisées, puisque dans la plupart des cas, le secteur ne rencontrait pas les normes de sélection établies (3 profils minimum et plus de la moitié de l'aire couverte par des données). Les concentrations moyennées correspondent aux concentrations mesurées et corrigées verticalement, puisqu'il n'y a pas eu d'interpolation horizontale. La concentration en nitrate présentée est en fait celle des nitrates plus nitrites, sauf pour l'année 1968 où la concentration de nitrite n'était pas disponible. Il n'y a pas nécessairement de valeurs disponibles dans tous les secteurs, ceux-ci sont alors complètement blancs (1978, par exemple). Toutes les concentrations sont exprimées en mmol m^{-3} dans les moyennes sectorielles et en μMol dans les contours (unités équivalentes).

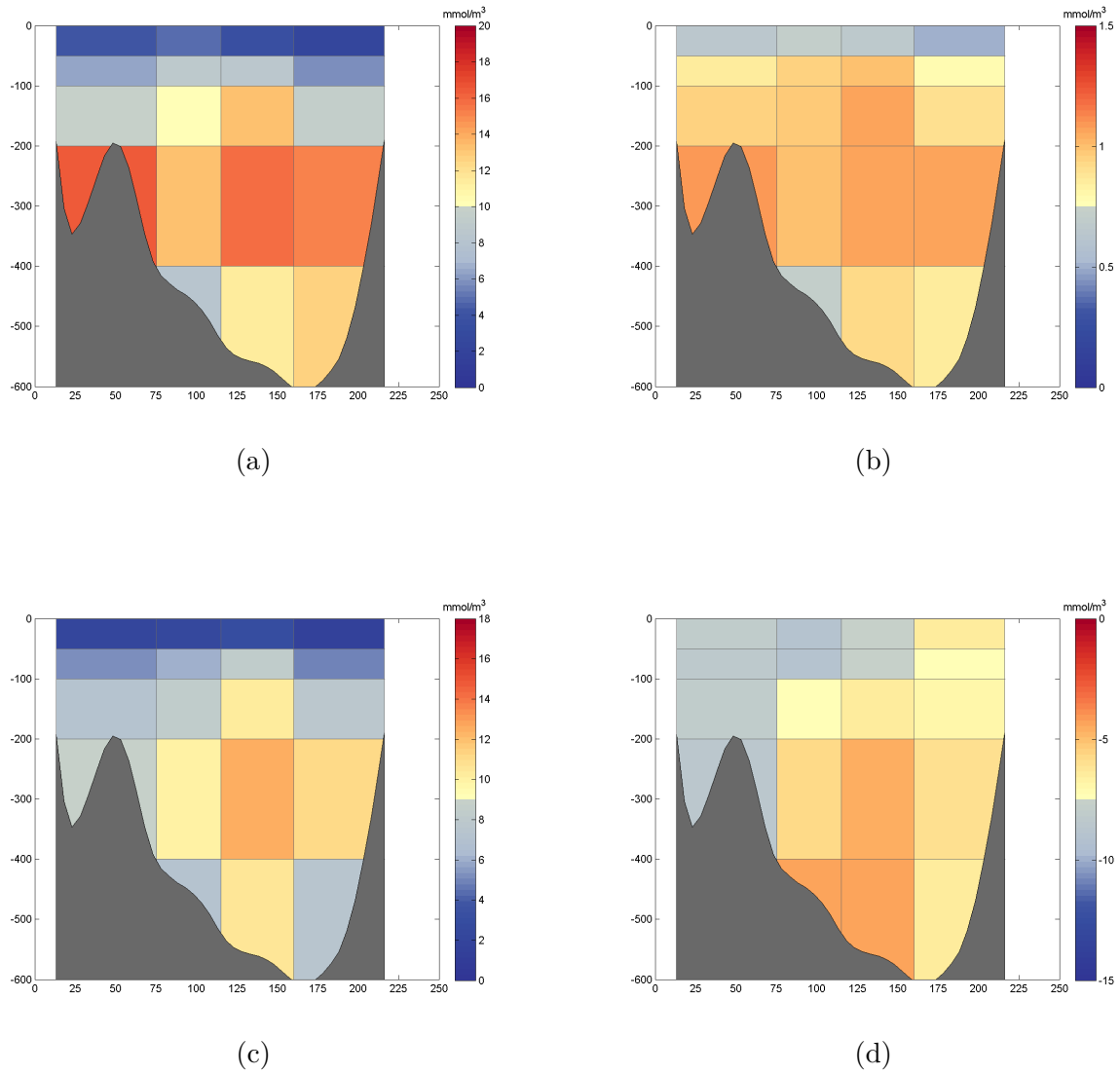


Figure E.1 – Moyennes sectorielles de la concentration des silicates (a), des phosphates (b), des nitrates (c) et du N^* (d) pour l'année 1963 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

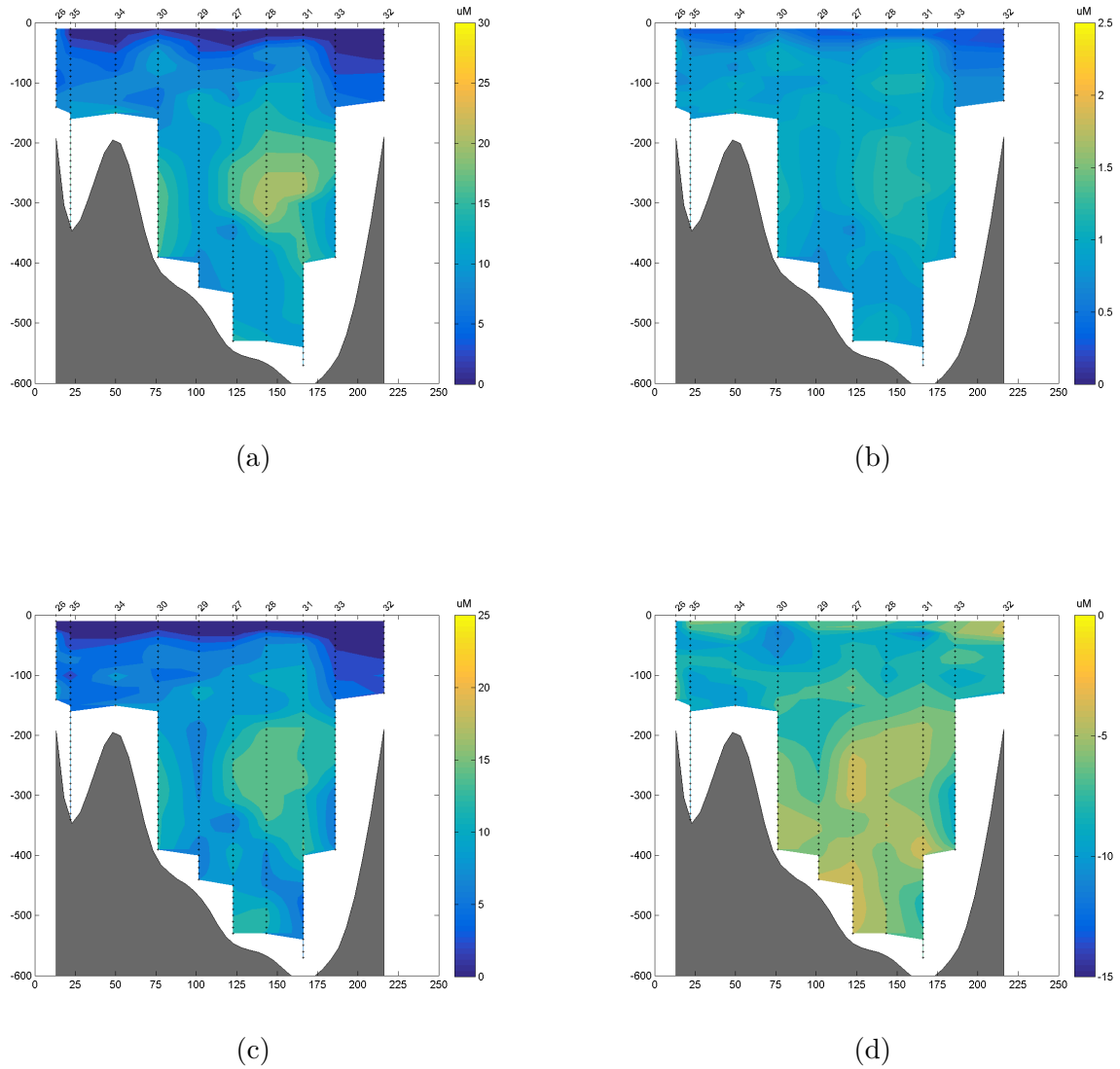


Figure E.2 – Contours de la concentration des silicates (a), des phosphates (b), des nitrates (c) et du N^* (d) pour l'année 1963 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

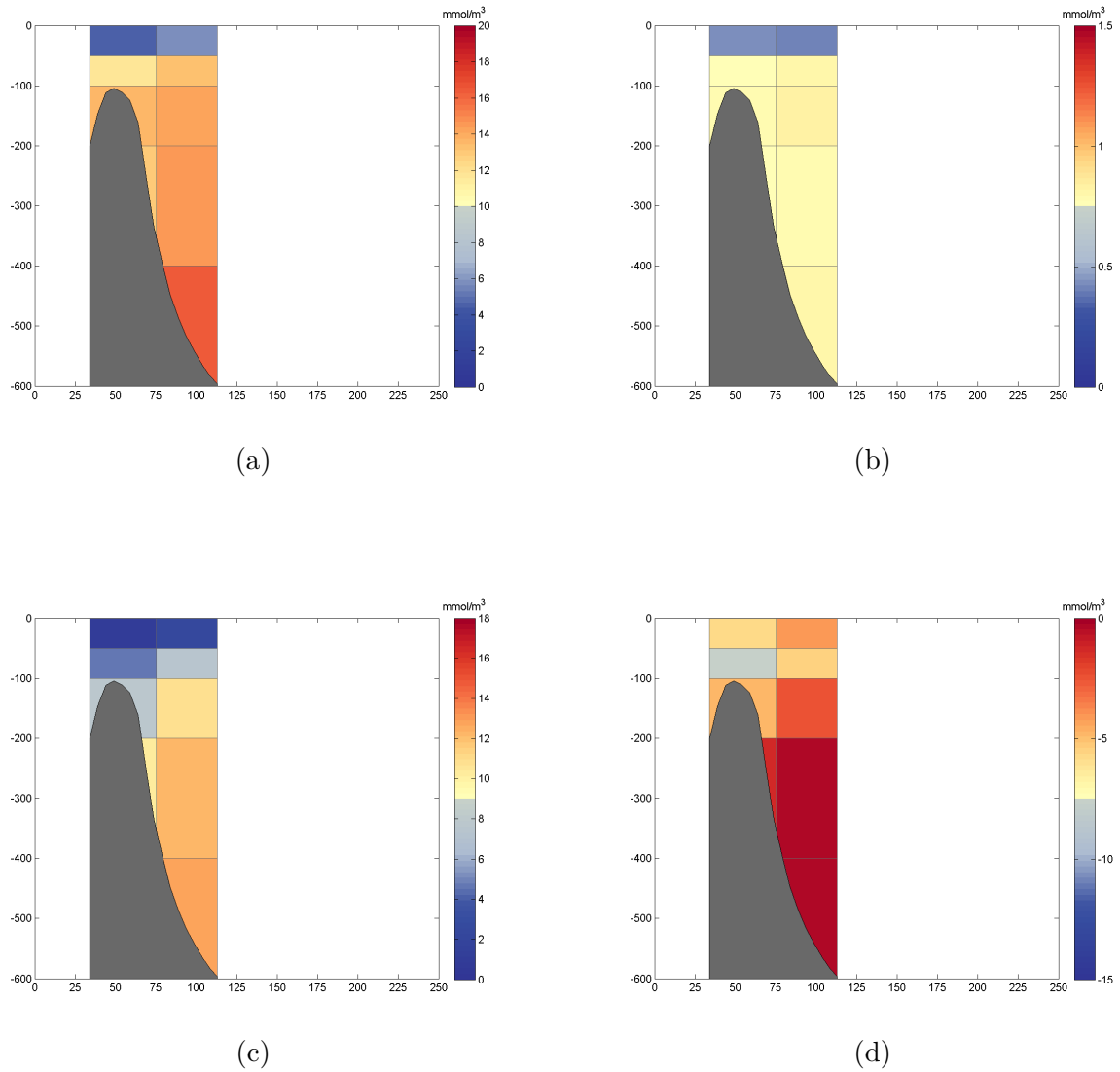


Figure E.3 – Moyennes sectorielles de la concentration des silicates (a), des phosphates (b), des nitrates (c) et du N^* (d) pour l'année 1968 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

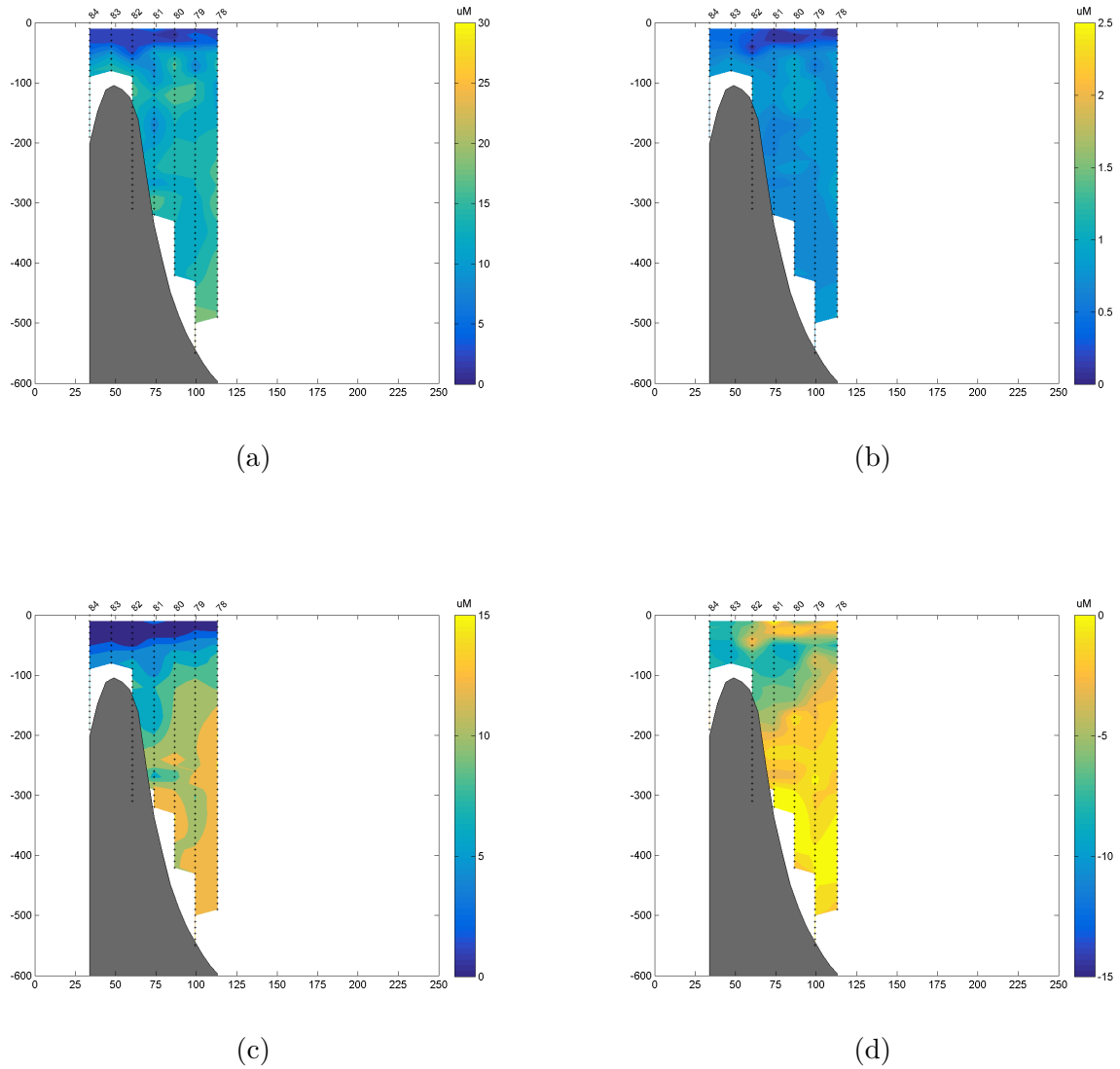


Figure E.4 – Contours de la concentration des silicates (a), des phosphates (b), des nitrates (c) et du N^* (d) pour l'année 1968 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

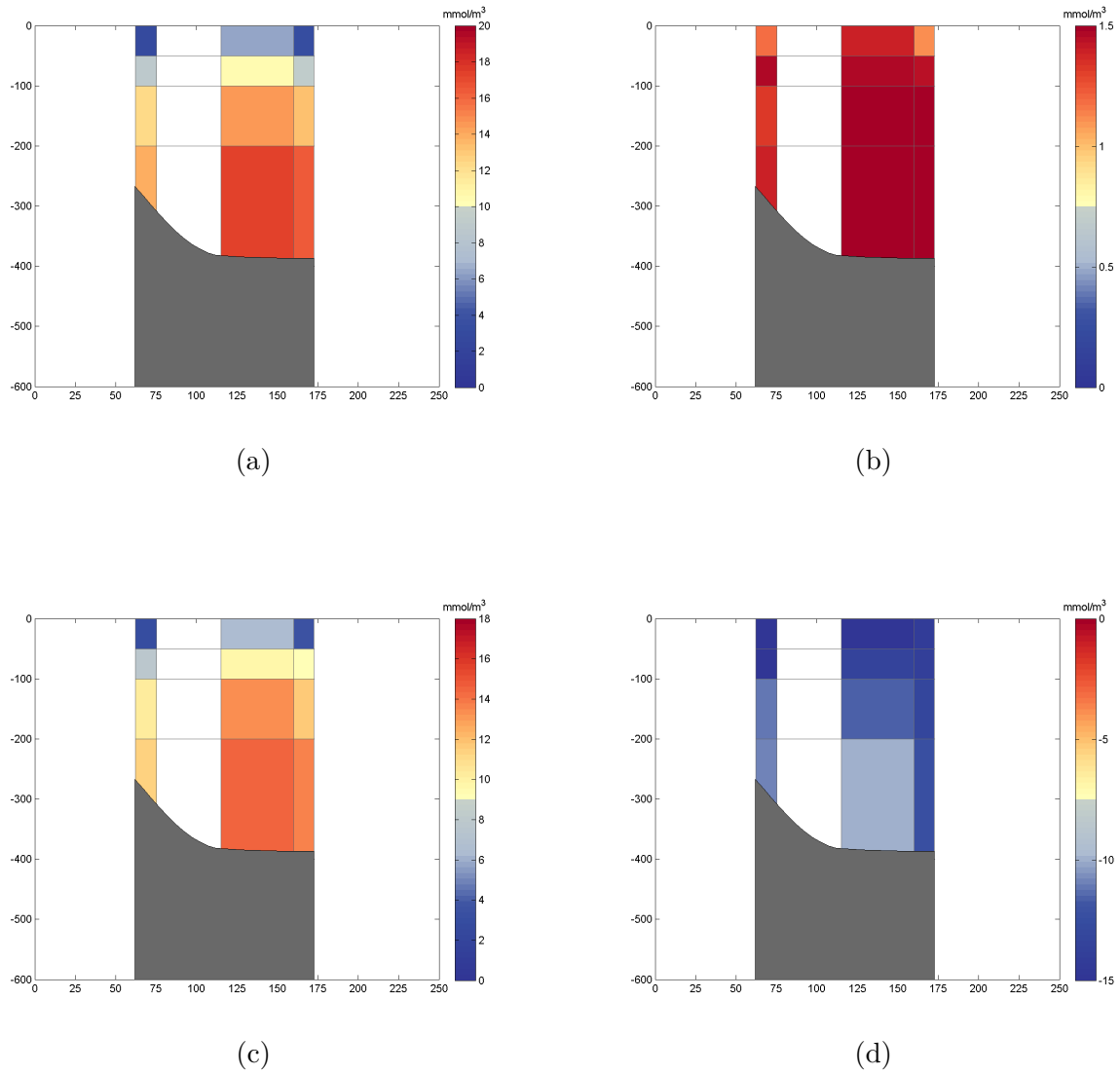


Figure E.5 – Moyennes sectorielles de la concentration des silicates (a), des phosphates (b), des nitrates (c) et du N^* (d) pour l'année 1978 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

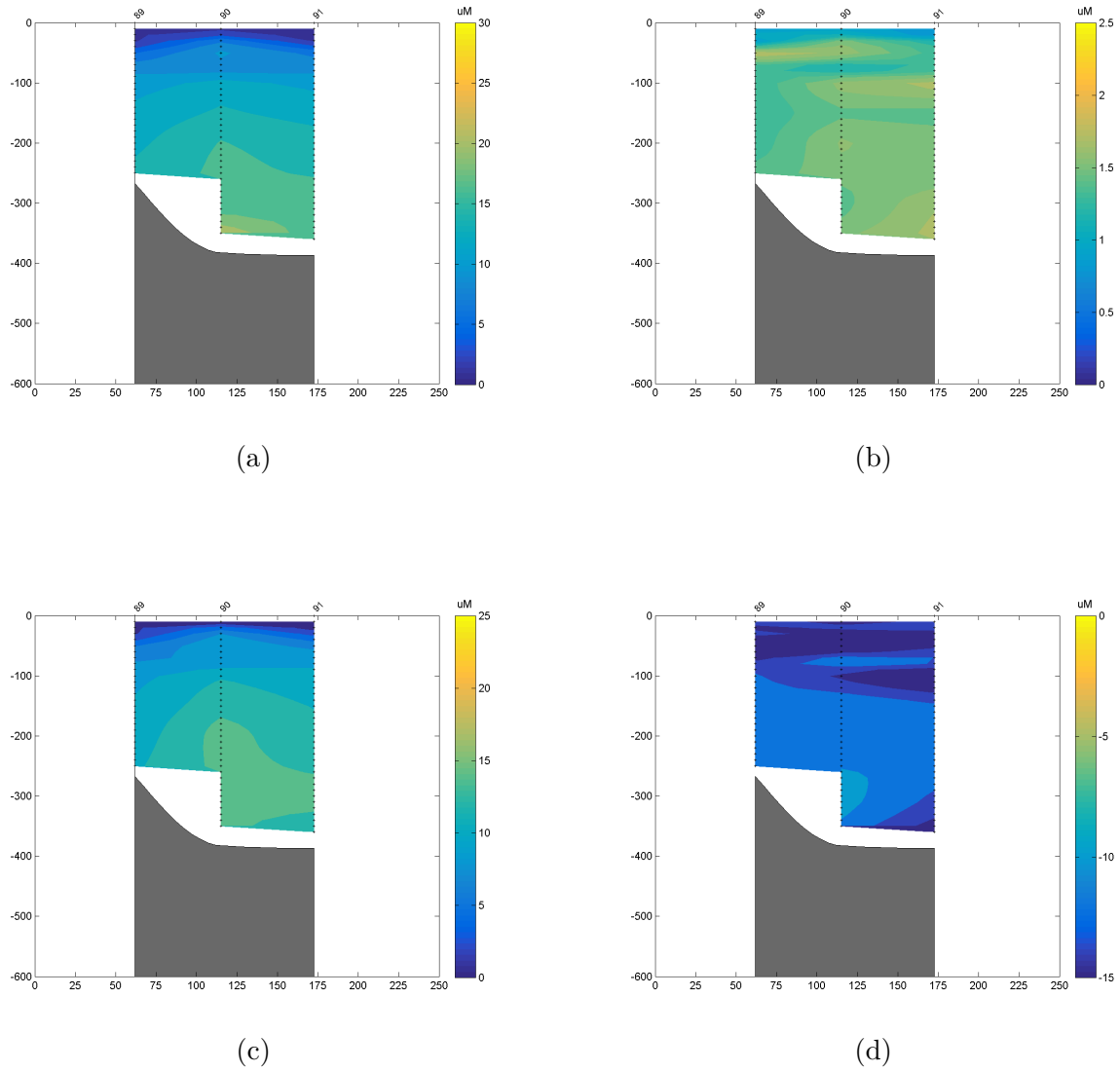


Figure E.6 – Contours de la concentration des silicates (a), des phosphates (b), des nitrates (c) et du N^* (d) pour l'année 1978 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

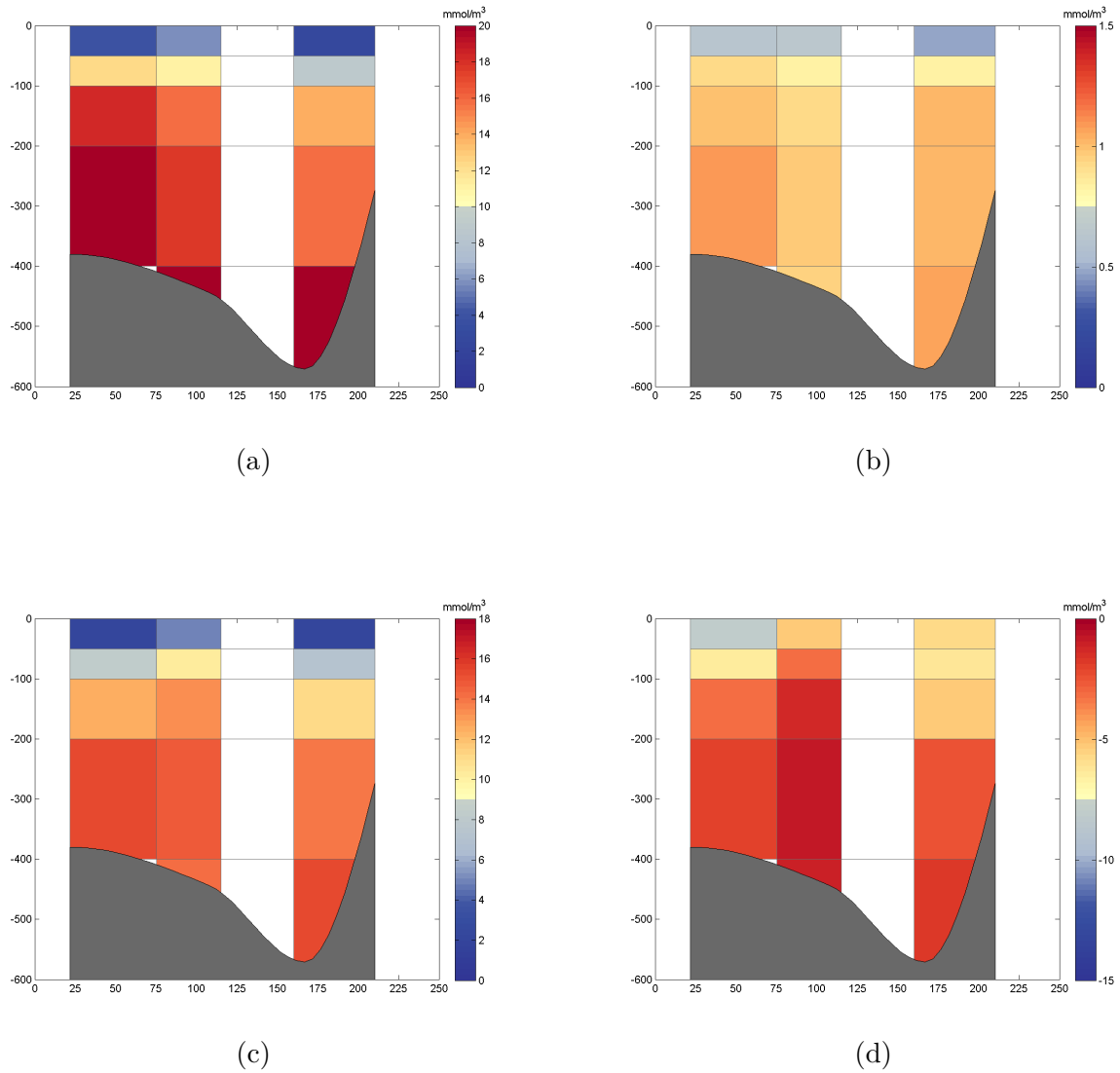


Figure E.7 – Moyennes sectorielles de la concentration des silicates (a), des phosphates (b), des nitrates (c) et du N* (d) pour l'année 1997 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

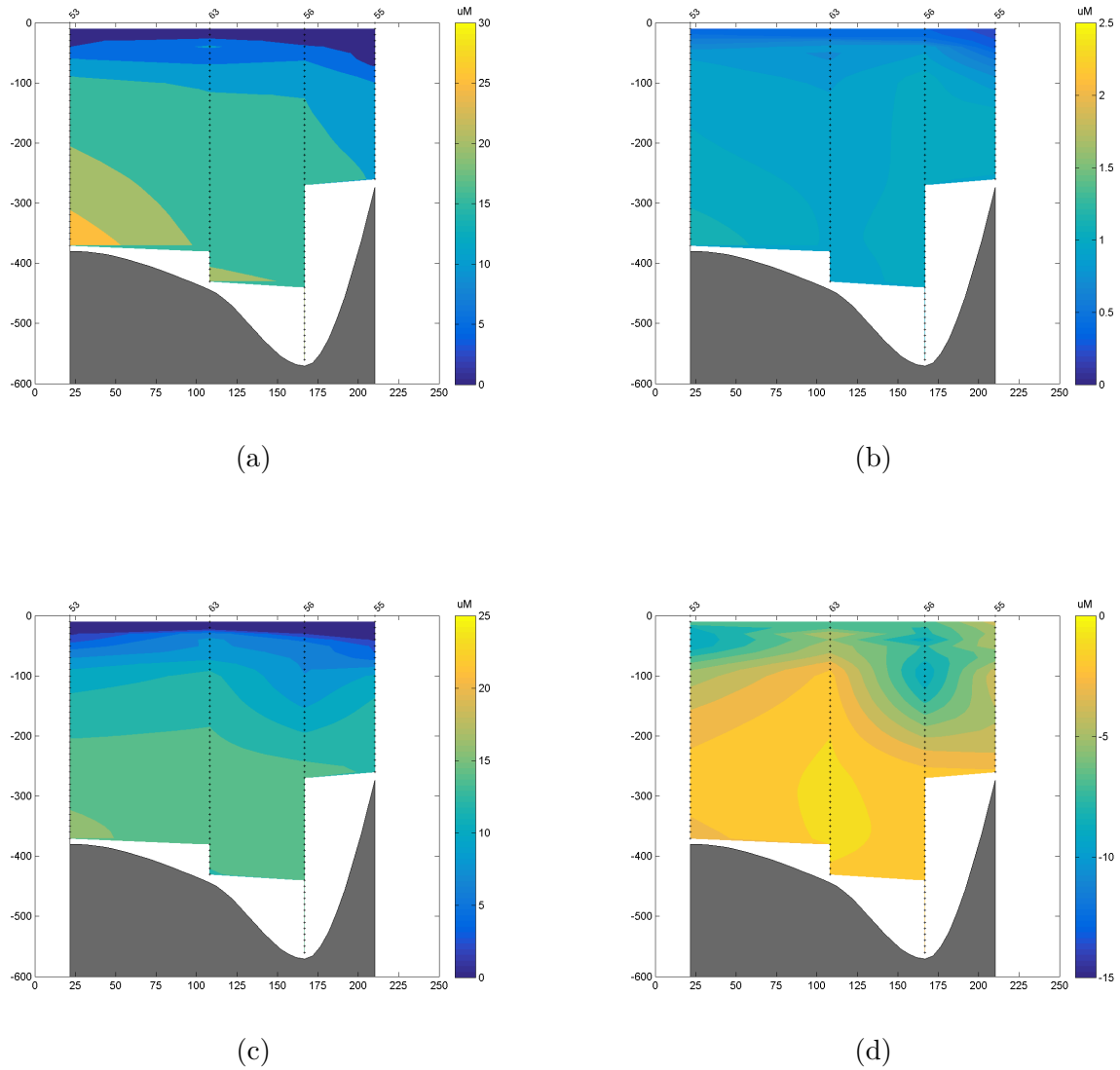


Figure E.8 – Contours de la concentration des silicates (a), des phosphates (b), des nitrates (c) et du N^* (d) pour l'année 1997 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

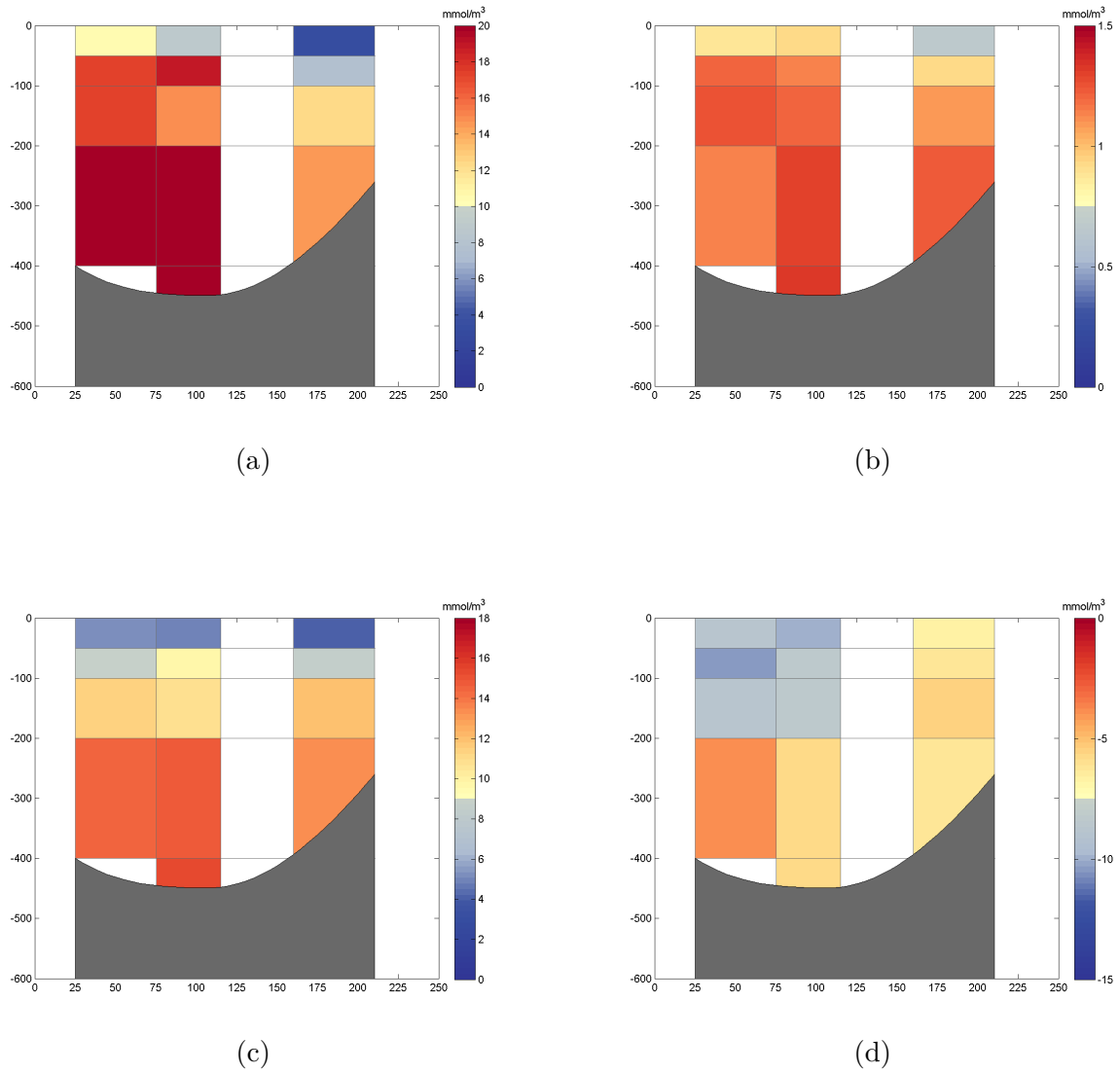


Figure E.9 – Moyennes sectorielles de la concentration des silicates (a), des phosphates (b), des nitrates (c) et du N^* (d) pour l'année 1998 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

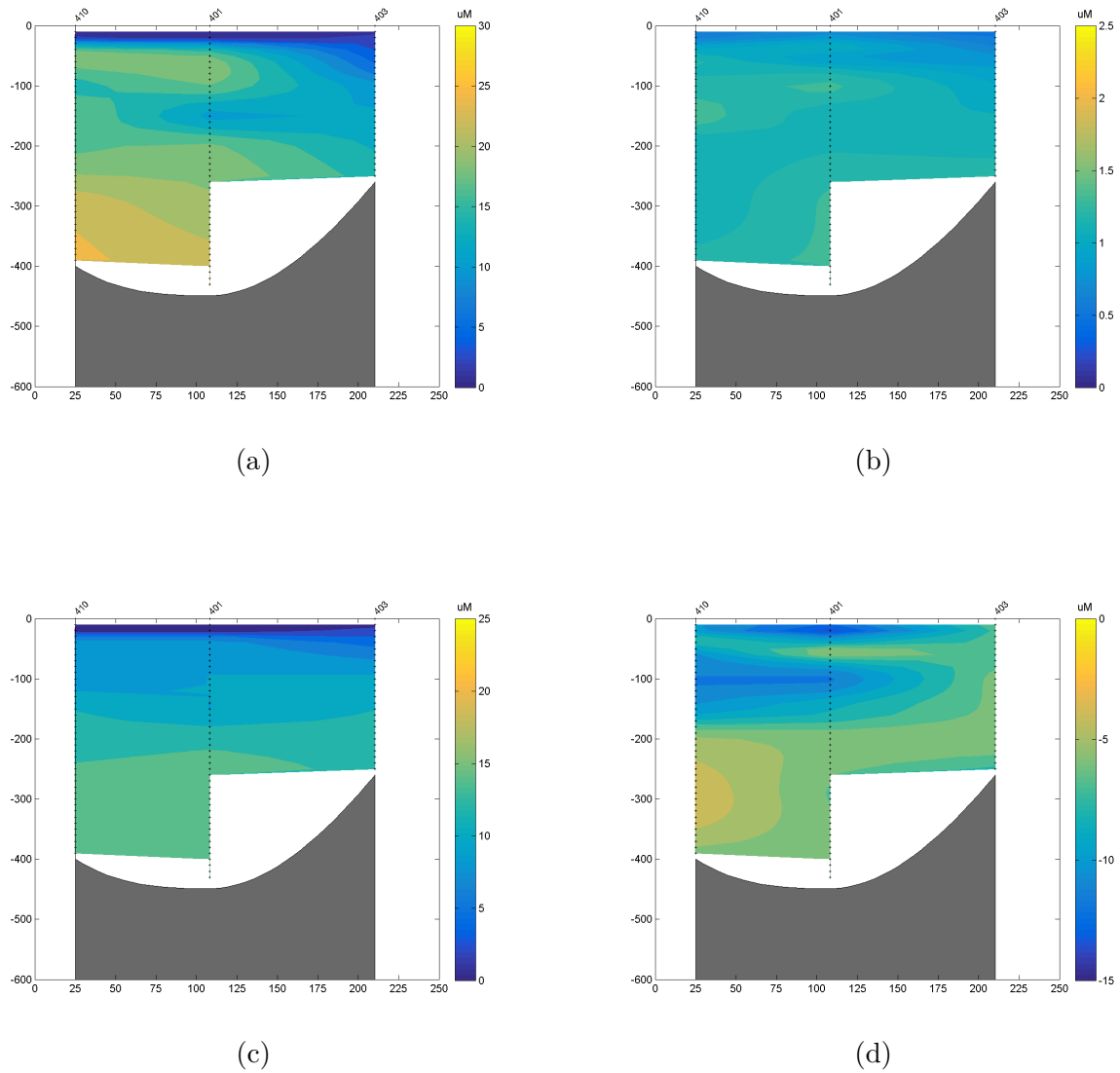


Figure E.10 – Contours de la concentration des silicates (a), des phosphates (b), des nitrates (c) et du N^* (d) pour l'année 1998 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

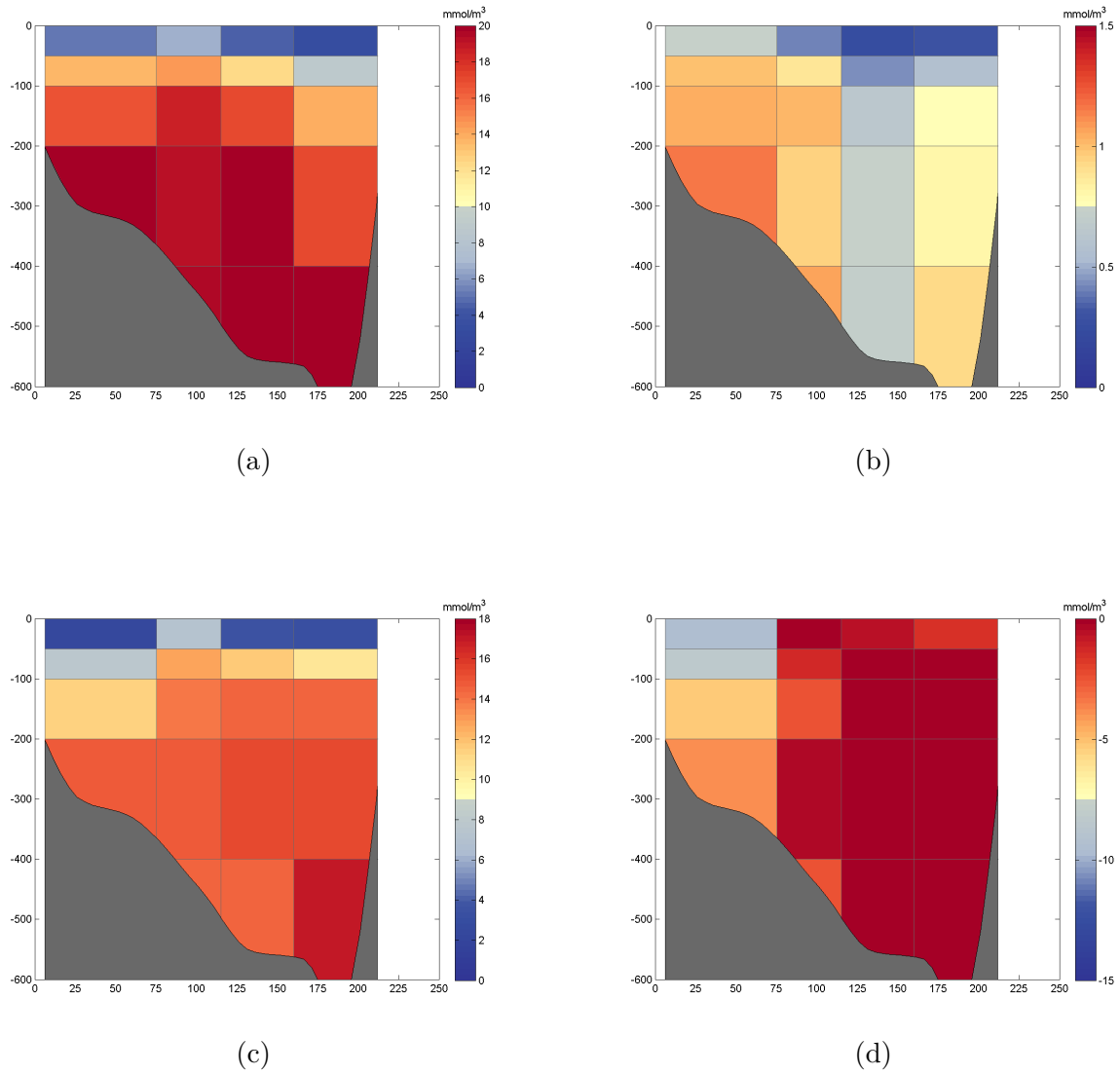


Figure E.11 – Moyennes sectorielles de la concentration des silicates (a), des phosphates (b), des nitrates (c) et du N^* (d) pour l'année 1999 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

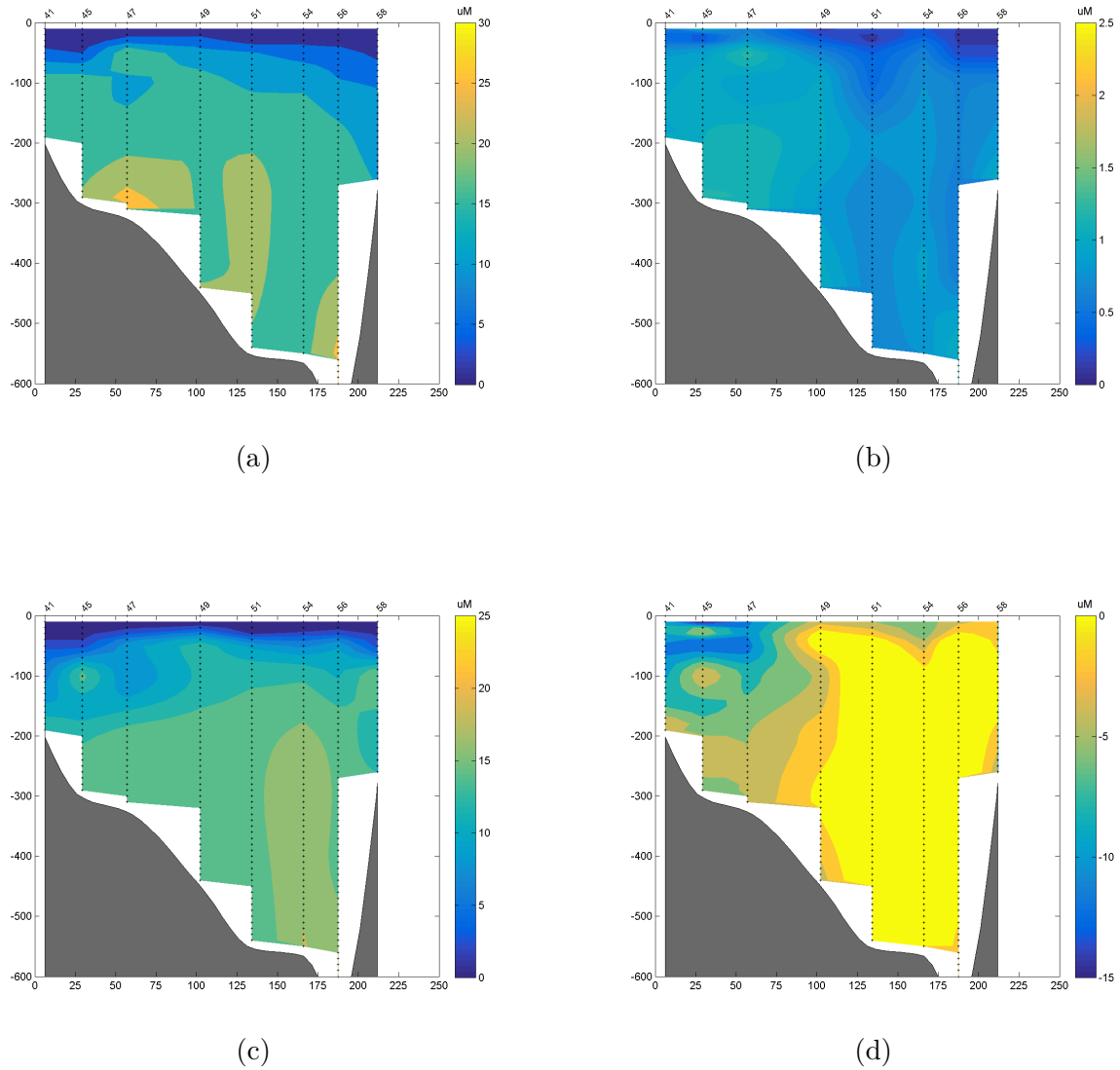


Figure E.12 – Contours de la concentration des silicates (a), des phosphates (b), des nitrates (c) et du N^* (d) pour l'année 1999 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

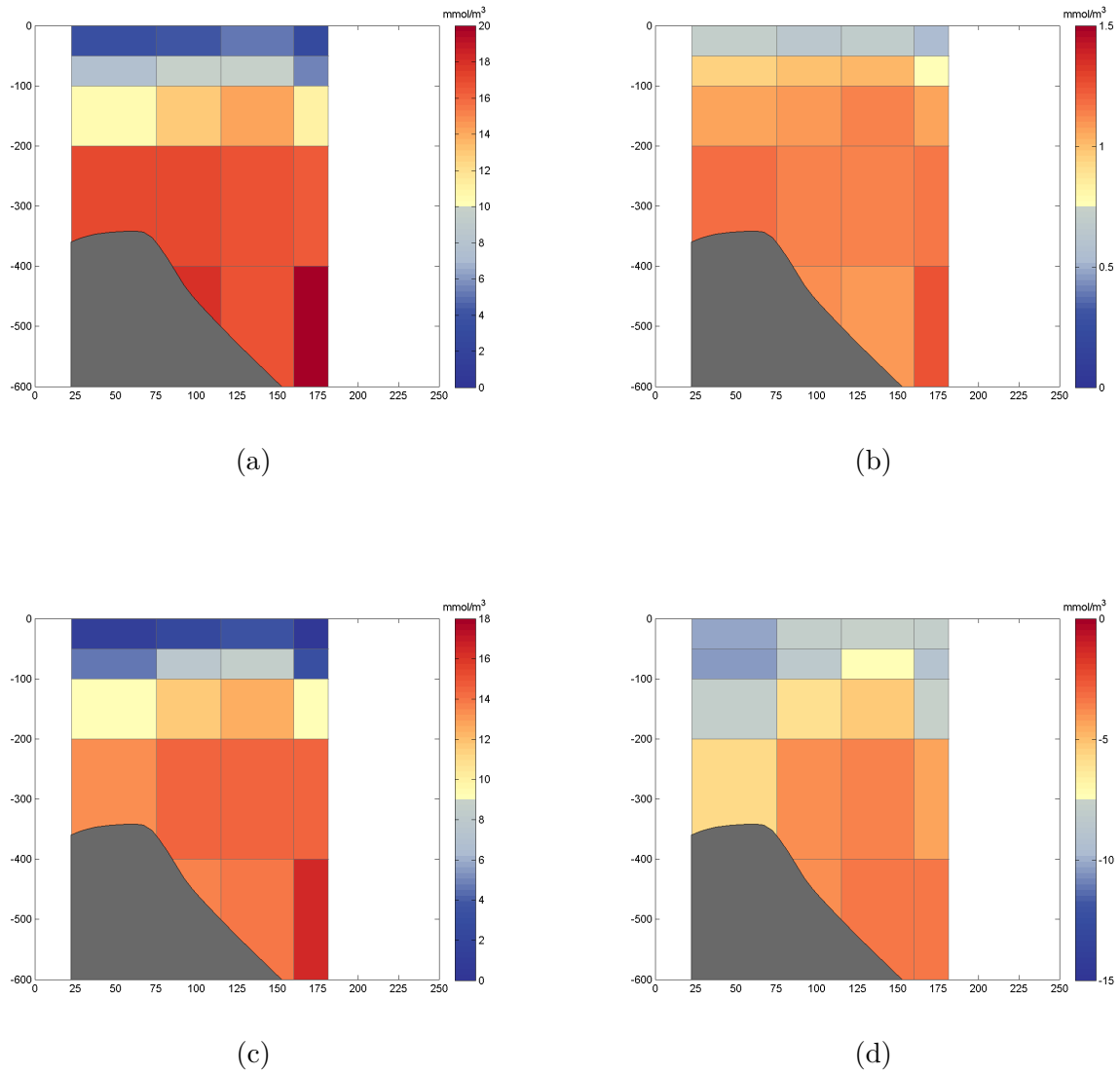


Figure E.13 – Moyennes sectorielles de la concentration des silicates (a), des phosphates (b), des nitrates (c) et du N^* (d) pour l'année 2005 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

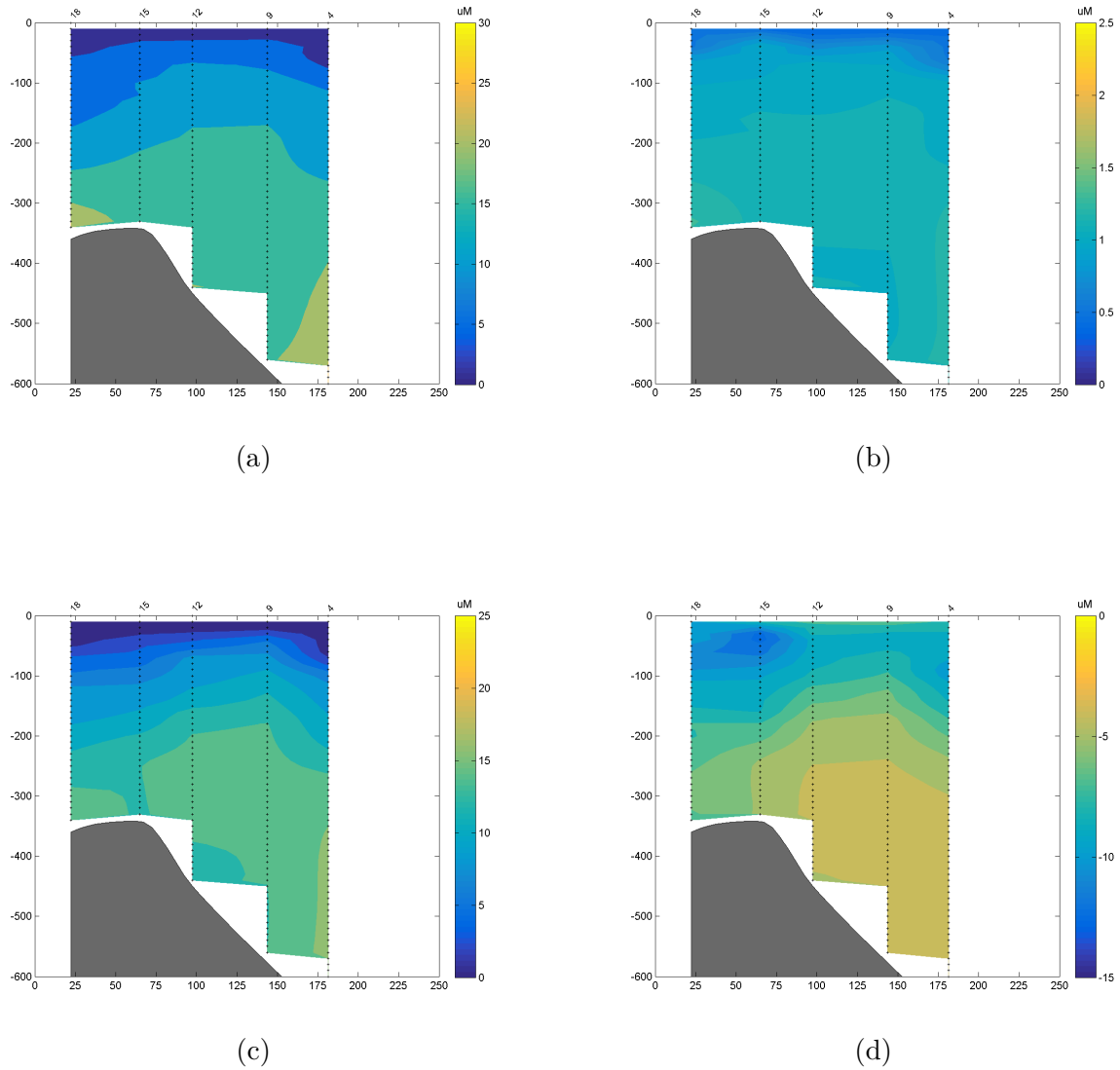


Figure E.14 – Contours de la concentration des silicates (a), des phosphates (b), des nitrates (c) et du N^* (d) pour l'année 2005 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

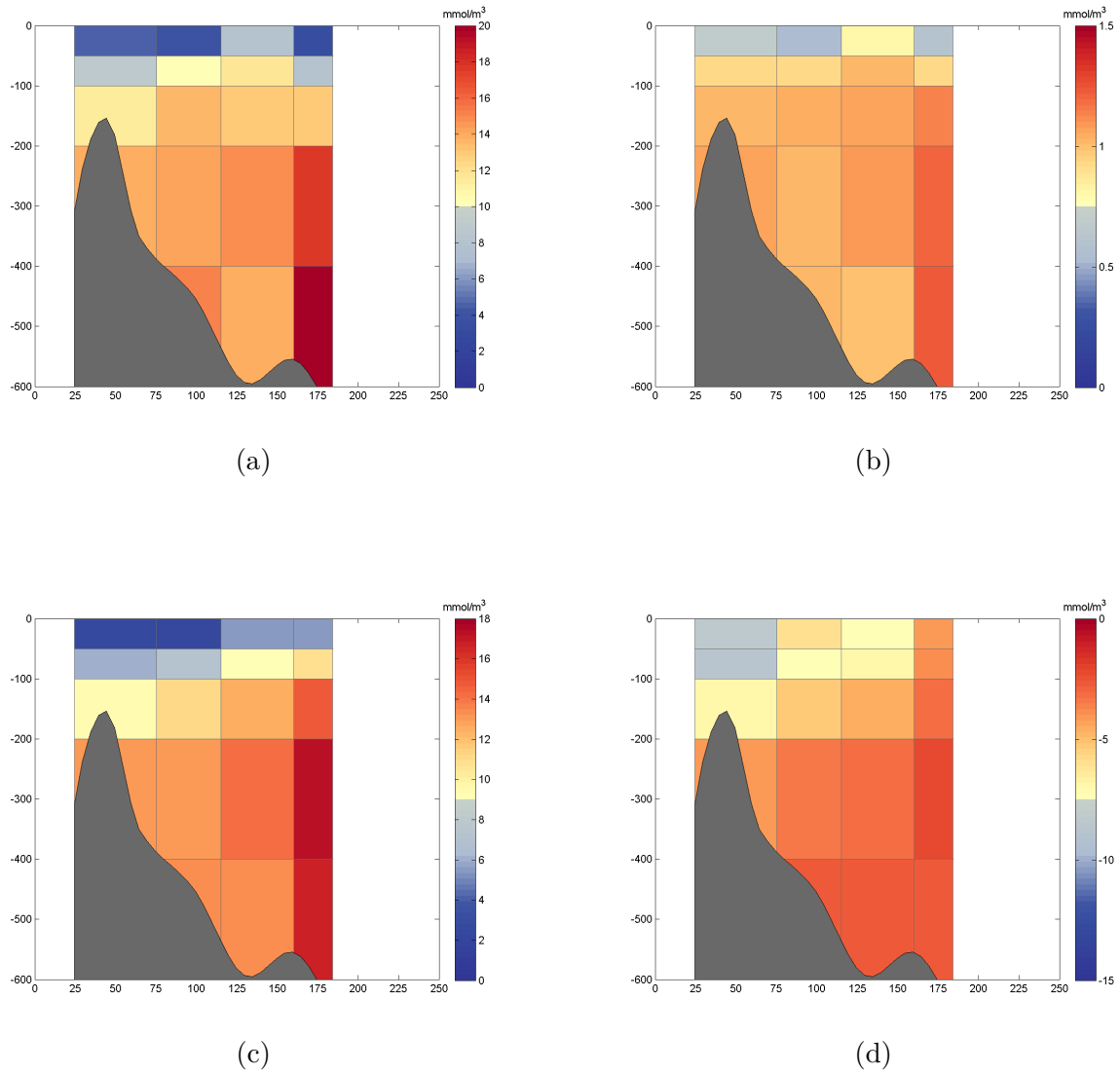


Figure E.15 – Moyennes sectorielles de la concentration des silicates (a), des phosphates (b), des nitrates (c) et du N^* (d) pour l'année 2006 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

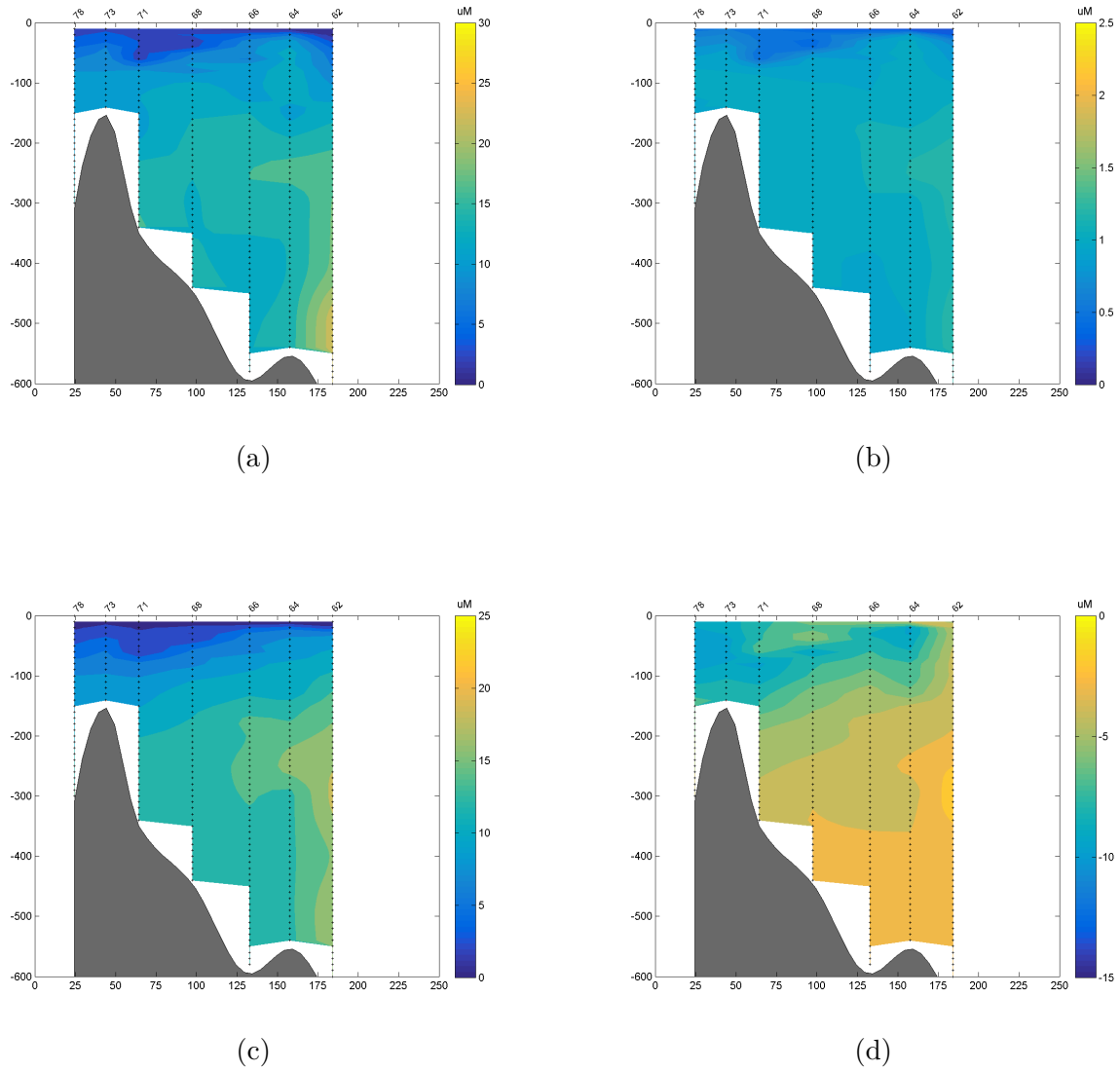


Figure E.16 – Contours de la concentration des silicates (a), des phosphates (b), des nitrates (c) et du N^* (d) pour l'année 2006 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

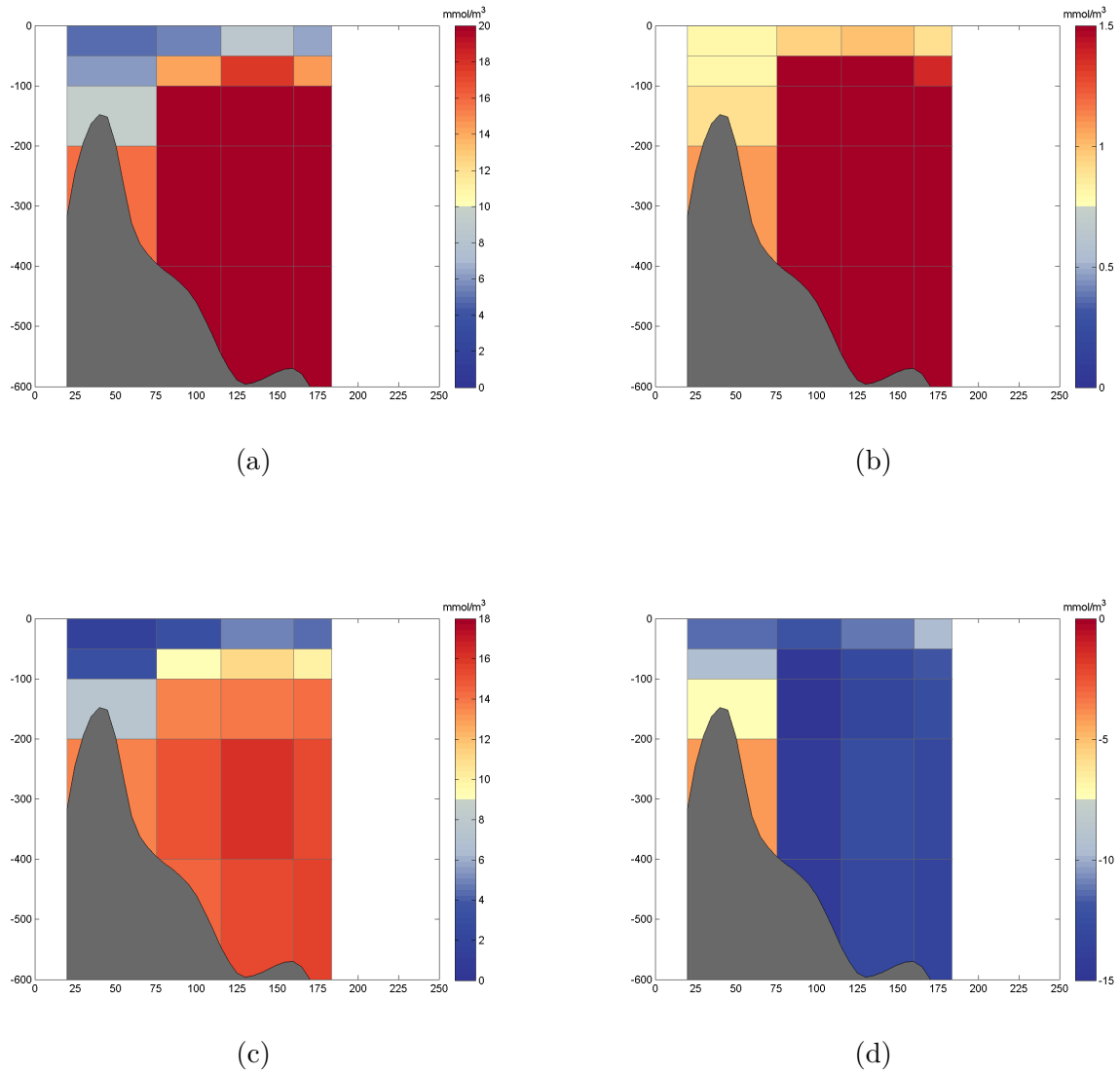


Figure E.17 – Moyennes sectorielles de la concentration des silicates (a), des phosphates (b), des nitrates (c) et du N^* (d) pour l'année 2007 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

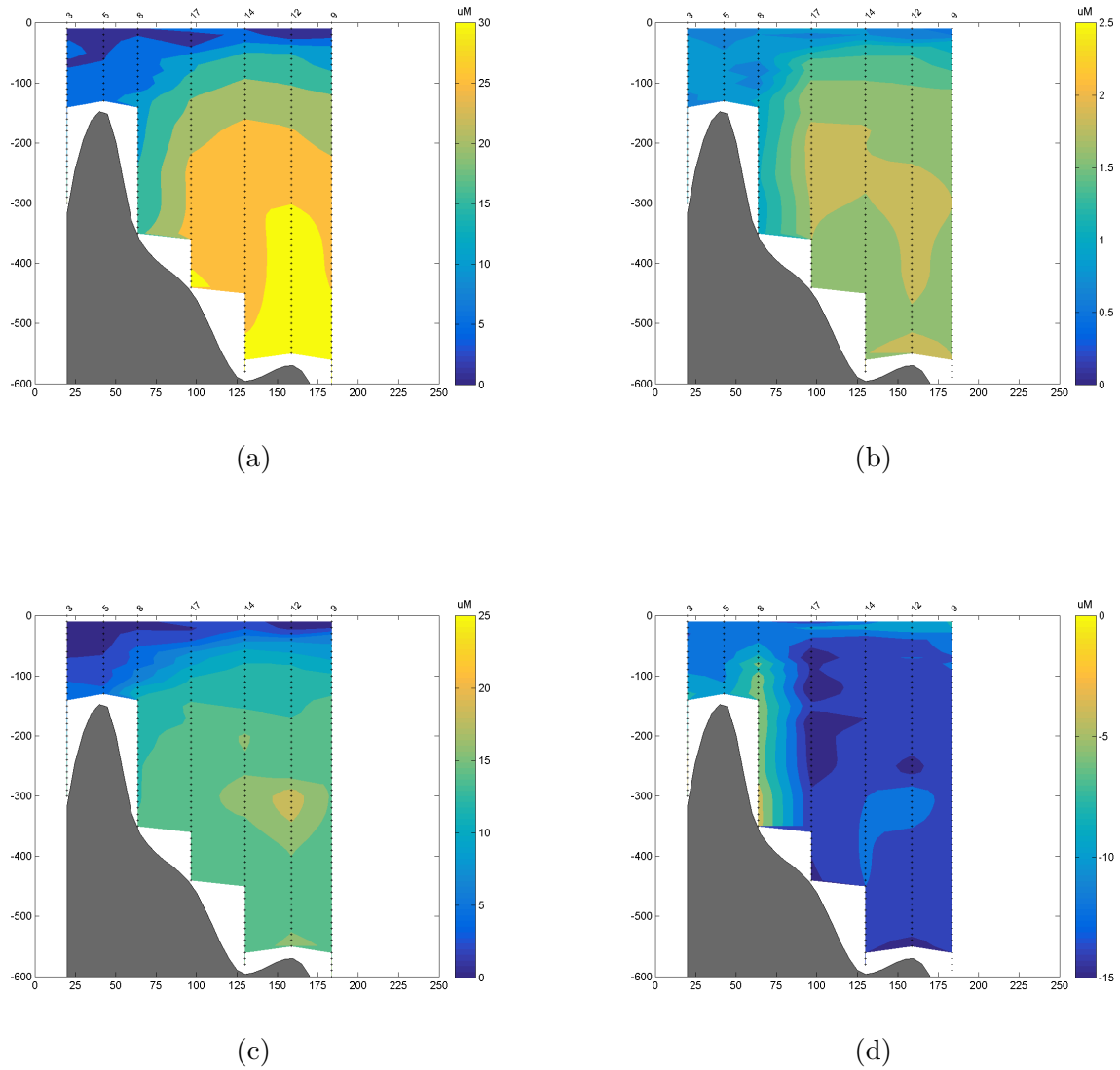


Figure E.18 – Contours de la concentration des silicates (a), des phosphates (b), des nitrates (c) et du N^* (d) pour l'année 2007 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

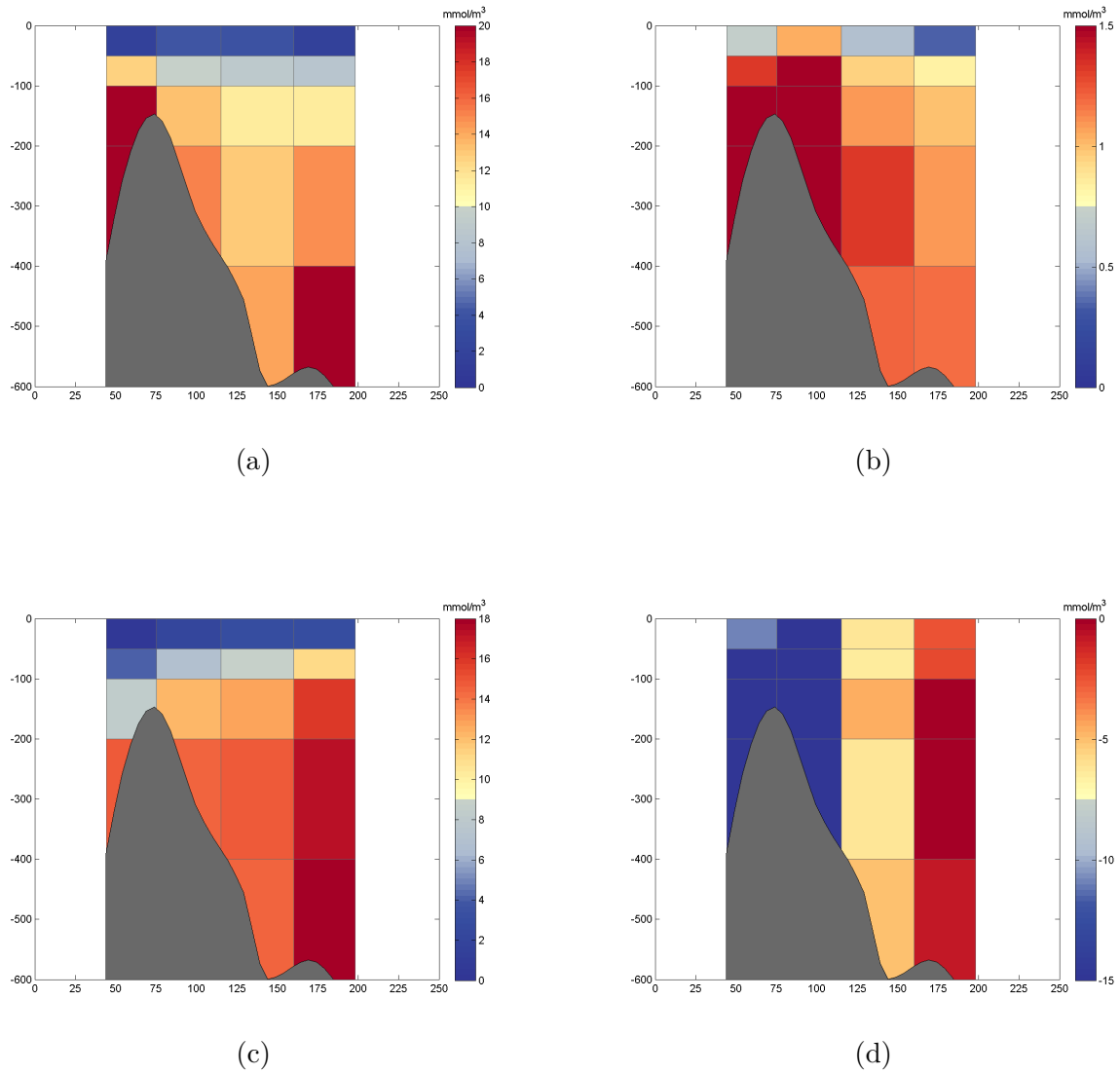


Figure E.19 – Moyennes sectorielles de la concentration des silicates (a), des phosphates (b), des nitrates (c) et du N^* (d) pour l'année 2008 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

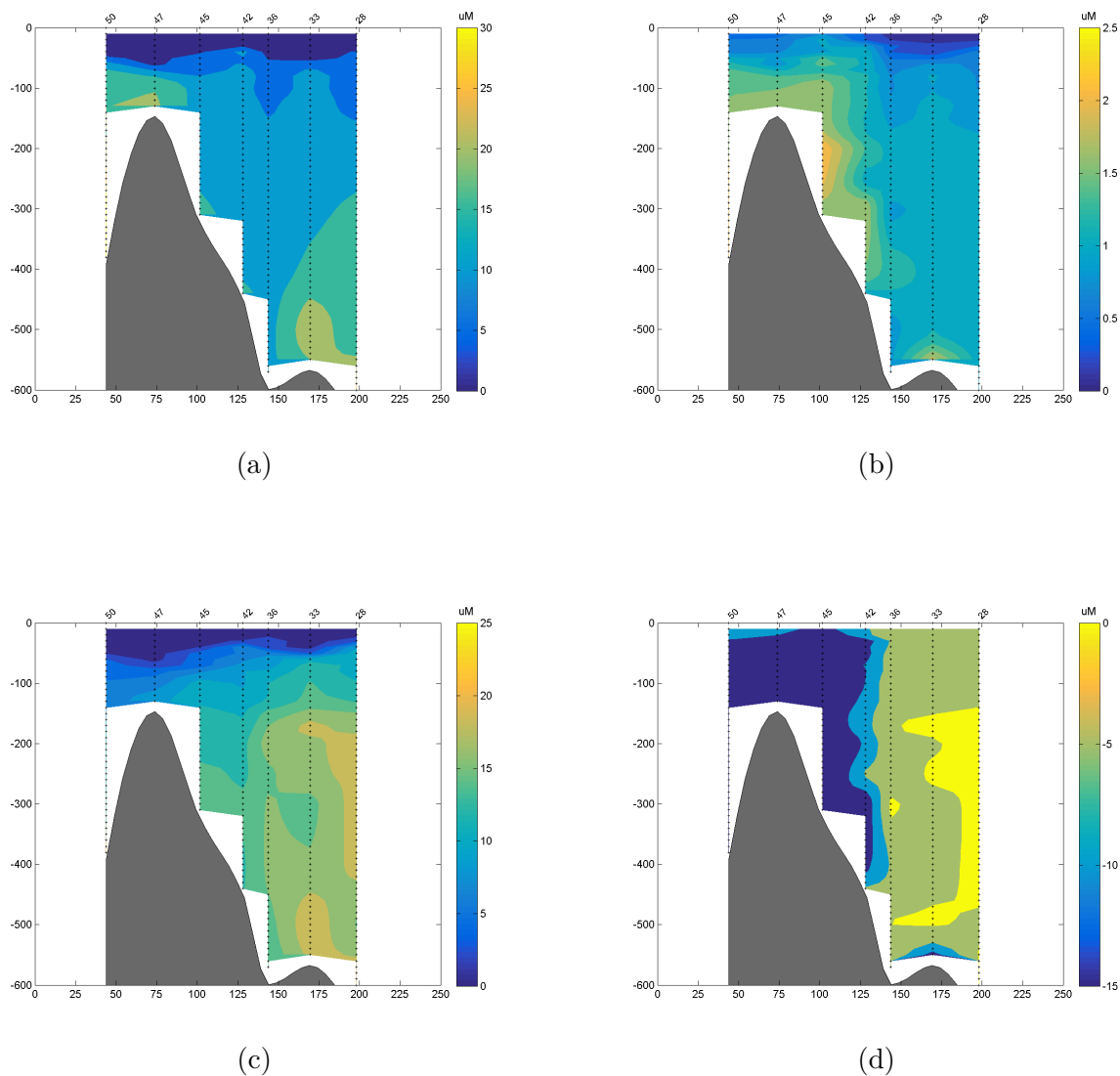


Figure E.20 – Contours de la concentration des silicates (a), des phosphates (b), des nitrates (c) et du N^* (d) pour l'année 2008 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

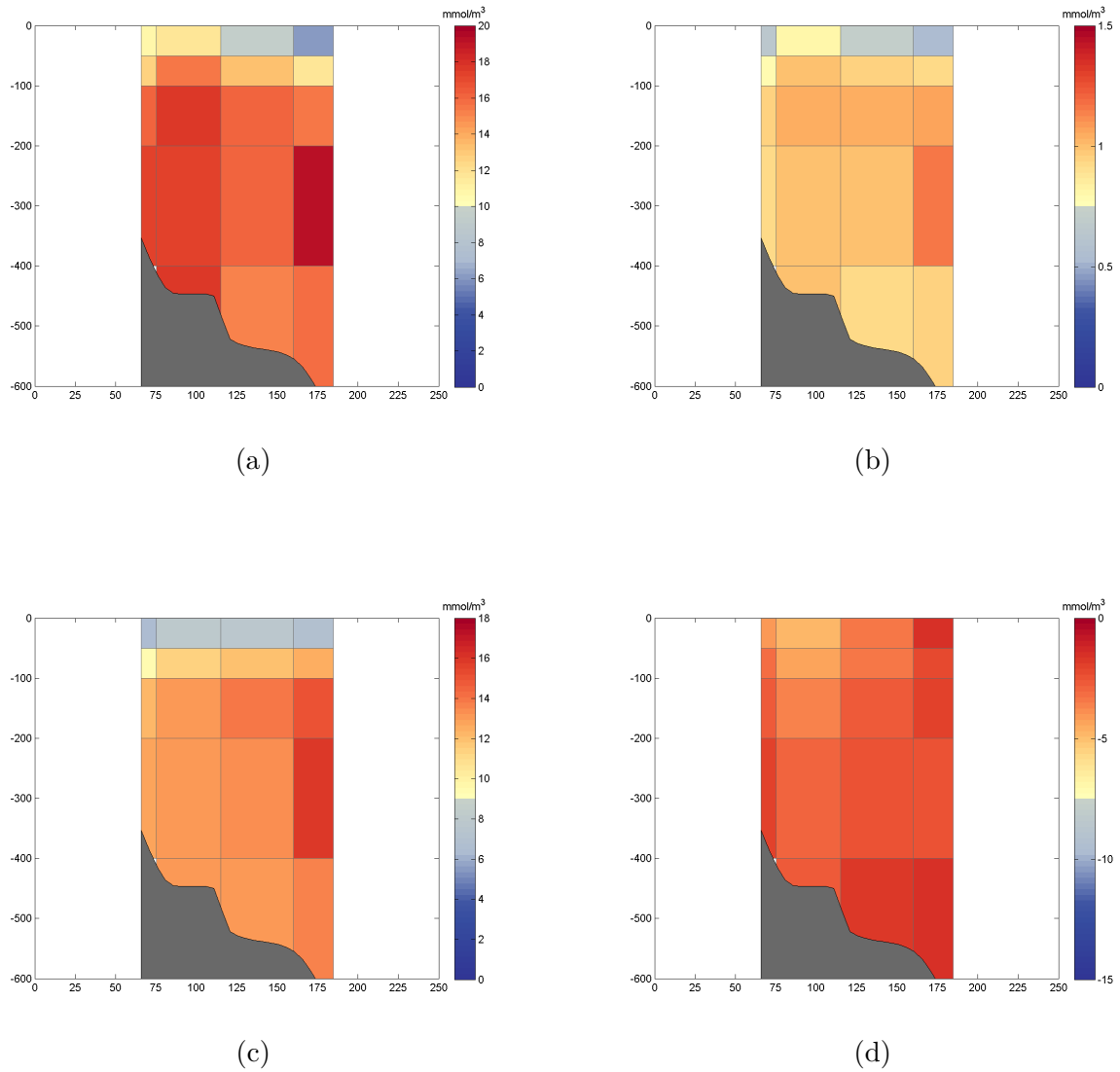


Figure E.21 – Moyennes sectorielles de la concentration des silicates (a), des phosphates (b), des nitrates (c) et du N^* (d) pour l'année 2009 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

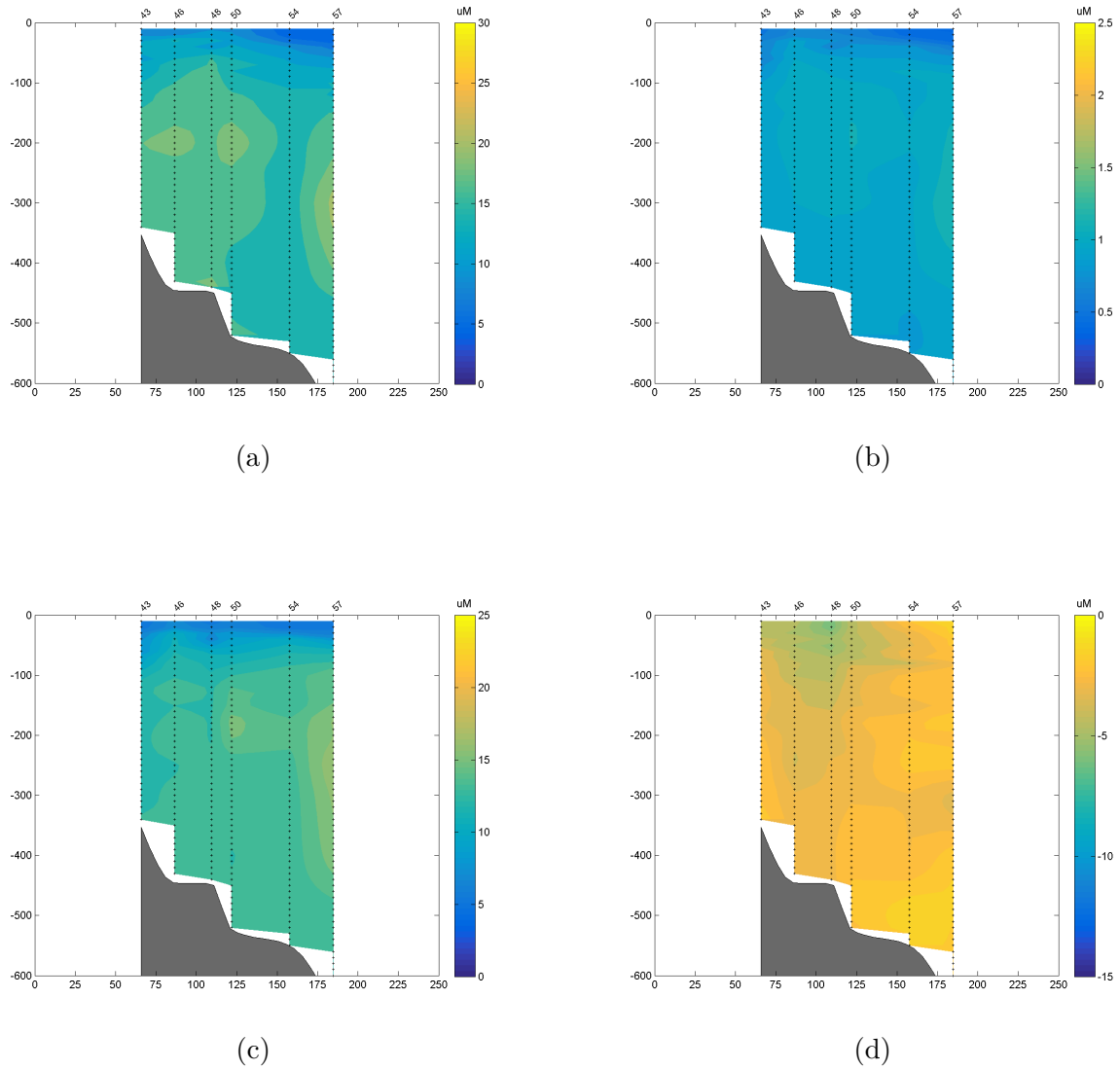


Figure E.22 – Contours de la concentration des silicates (a), des phosphates (b), des nitrates (c) et du N^* (d) pour l'année 2009 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

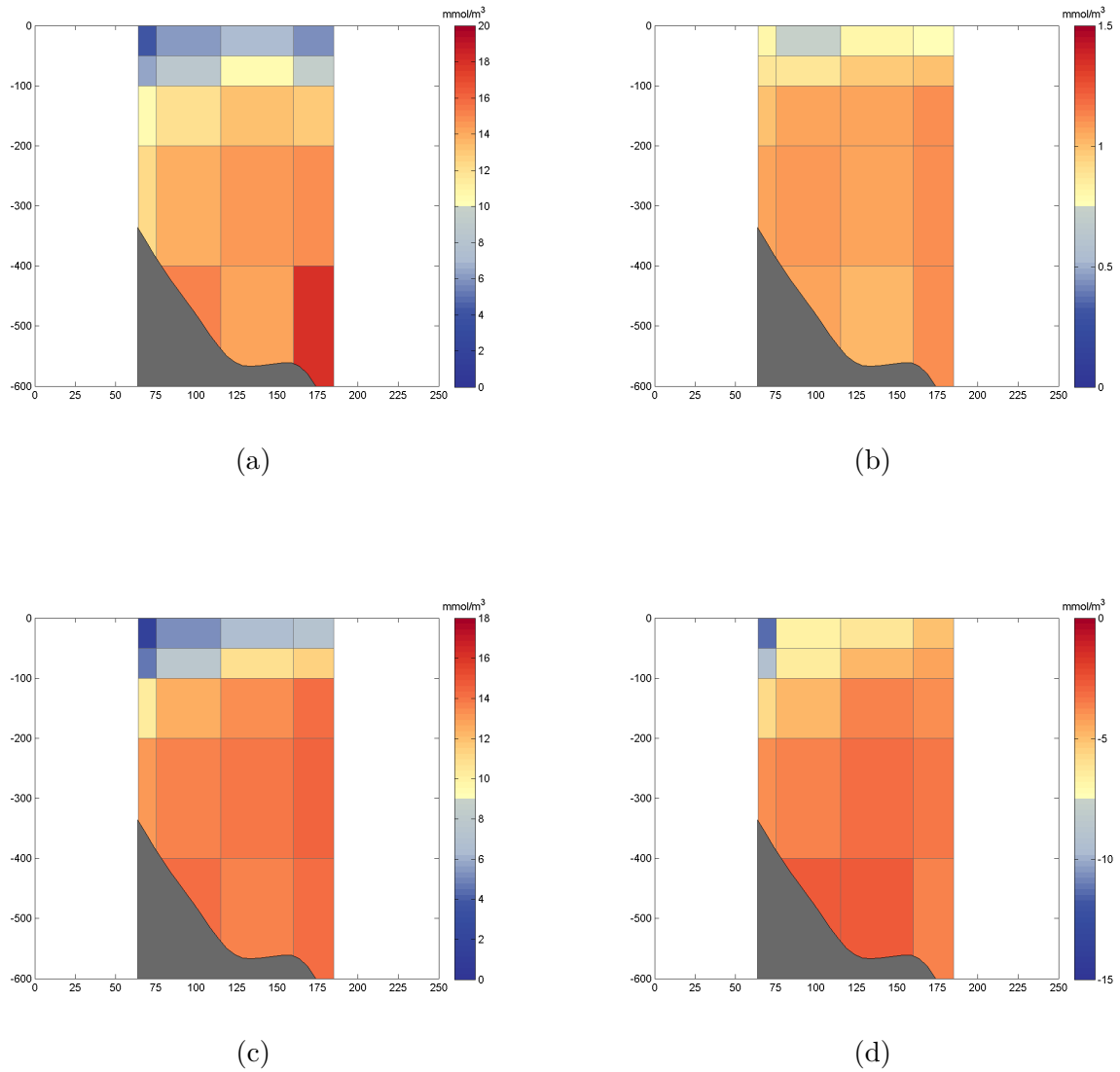


Figure E.23 – Moyennes sectorielles de la concentration des silicates (a), des phosphates (b), des nitrates (c) et du N^* (d) pour l'année 2010 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

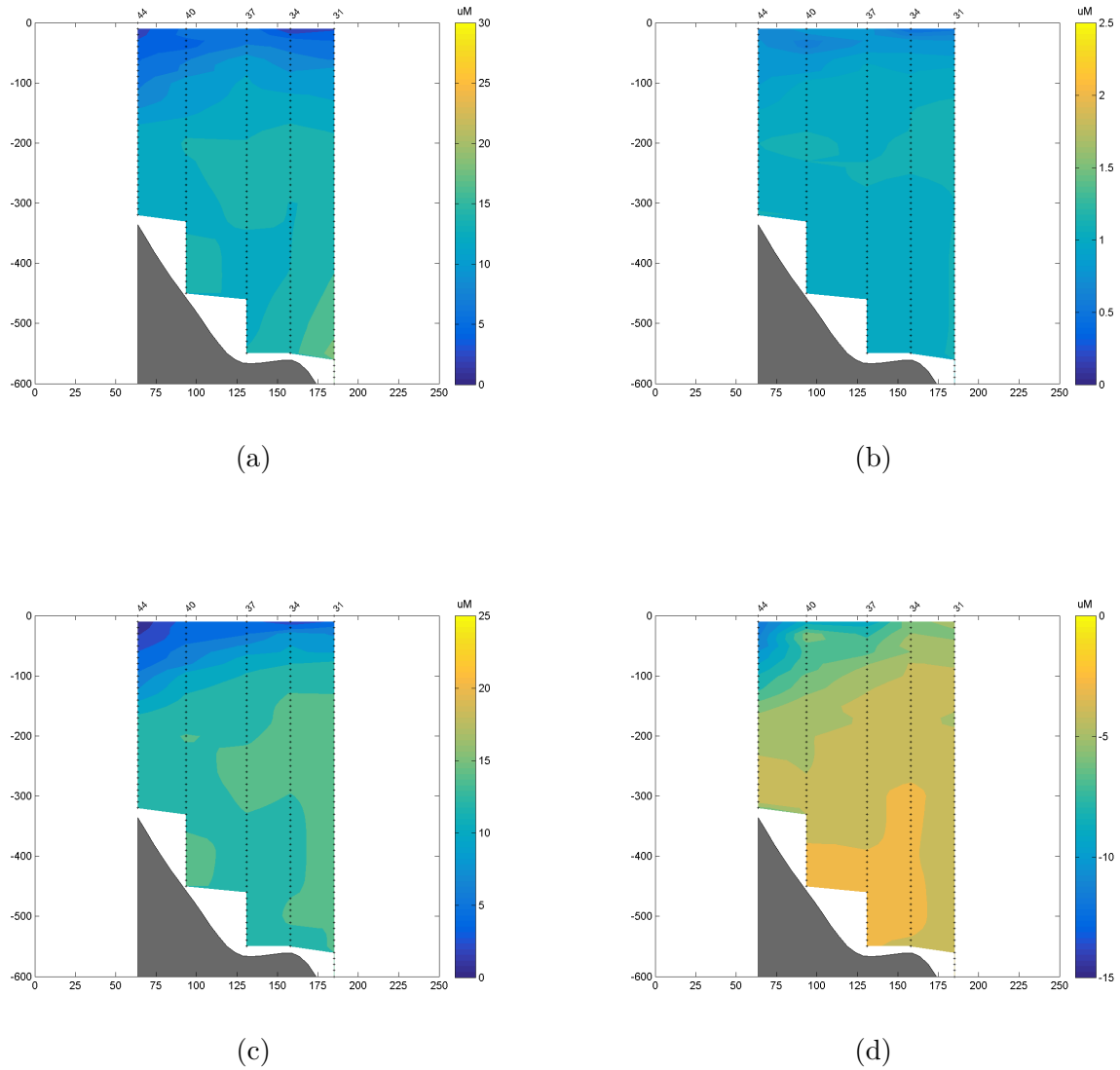


Figure E.24 – Contours de la concentration des silicates (a), des phosphates (b), des nitrates (c) et du N^* (d) pour l'année 2010 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

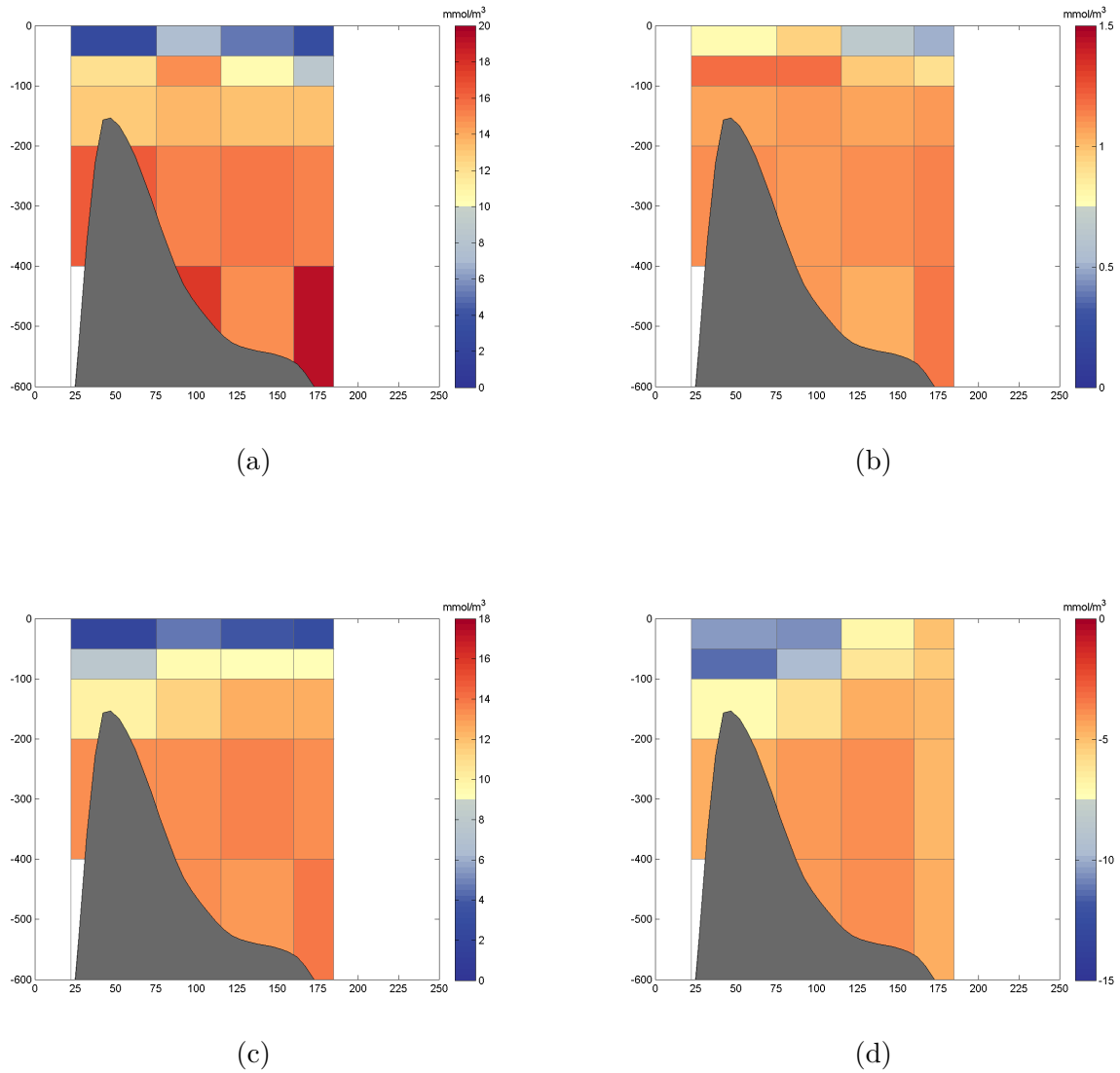


Figure E.25 – Moyennes sectorielles de la concentration des silicates (a), des phosphates (b), des nitrates (c) et du N^* (d) pour l'année 2013 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).

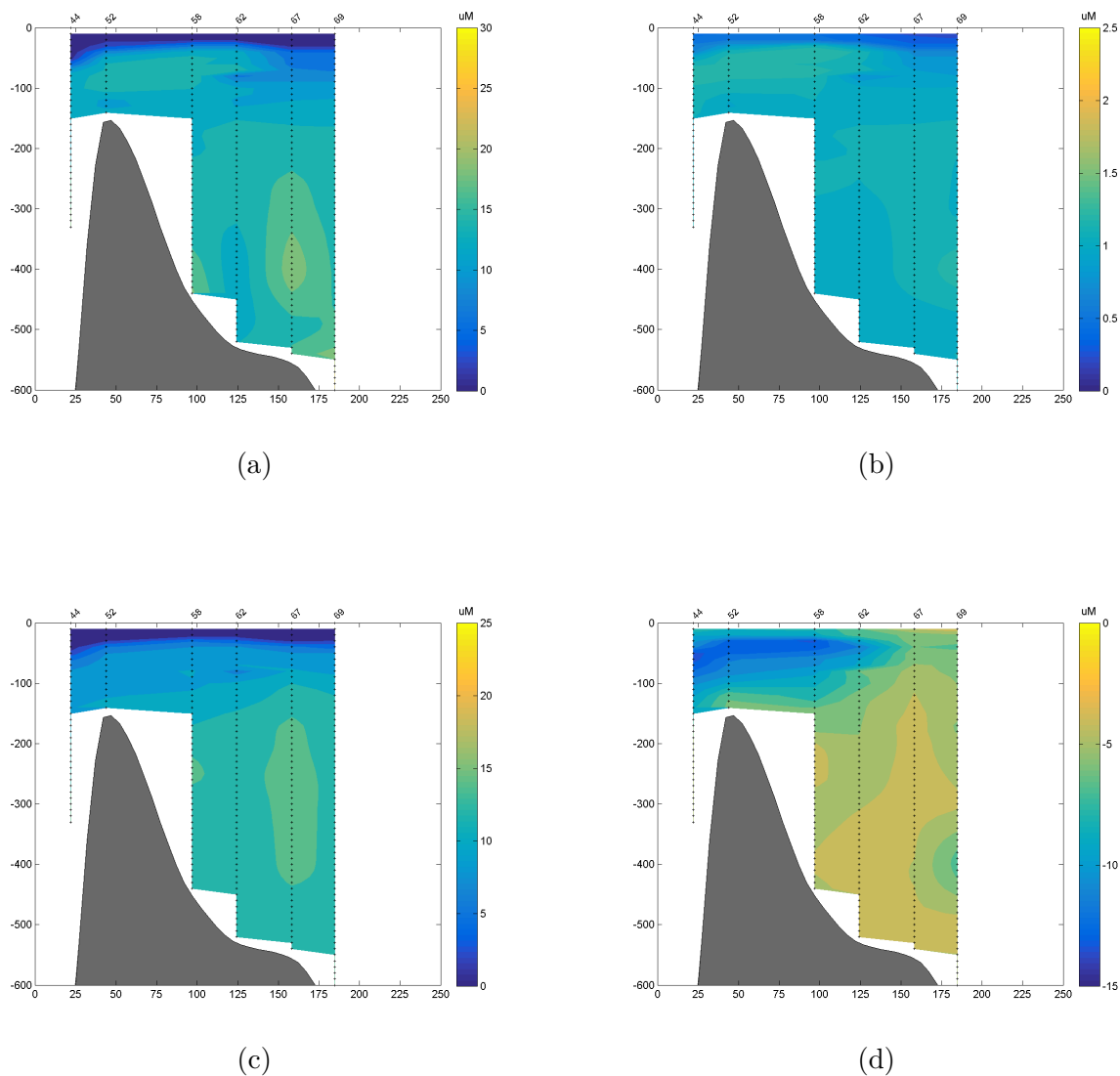


Figure E.26 – Contours de la concentration des silicates (a), des phosphates (b), des nitrates (c) et du N^* (d) pour l'année 2013 en fonction de la distance par rapport au point de référence sur la côte ouest (axe horizontal) et de la profondeur (axe vertical).