



Université du Québec
à Rimouski

**VARIATION TEMPORELLE À HAUTE RESOLUTION DE LA
DYNAMIQUE DES ASSEMBLAGES BENTHIQUES INFRATIDALES A
CAMBRIDGE BAY, NU (ARCTIQUE)**

Mémoire présenté à l'Université du Québec à Rimouski
dans le cadre du programme de maîtrise en océanographie
en vue de l'obtention du grade de maître ès science

PAR

© **JULIE-ANNE DORVAL**

Janvier 2017

Composition du jury :

Piero Calosi, président du jury, Université du Québec à Rimouski

Philippe Archambault, directeur de recherche, Université Laval

S. Kim Juniper, codirecteur de recherche, University of Victoria

Jacques Grall, examinateur externe, Université de Bretagne Occidentale

Dépôt initial le 16 janvier 2017

Dépôt final le 31 octobre 2017

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À RIMOUSKI
Service de la bibliothèque

Avertissement

La diffusion de ce mémoire ou de cette thèse se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire « *Autorisation de reproduire et de diffuser un rapport, un mémoire ou une thèse* ». En signant ce formulaire, l'auteur concède à l'Université du Québec à Rimouski une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de son travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, l'auteur autorise l'Université du Québec à Rimouski à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de son travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits moraux ni à ses droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, l'auteur conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont il possède un exemplaire.

REMERCIEMENTS

Cette aventure ne peut pas se terminer sans adresser des remerciements. Plusieurs personnes ont contribué de près ou de loin à ce projet et, à ce titre, font partie de la réussite de cette aventure. J'aimerais donc les remercier.

En premier lieu, je tiens à remercier ceux qui m'ont orientée et aidée tout au long de ce projet, soit mes deux superviseurs **Philippe Archambault** et **S. Kim Juniper**. Merci pour votre patience et pour l'ensemble des opportunités incroyables que vous m'avez offertes. J'ai pu grandir, expérimenter et même réaliser un rêve qui était d'aller dans l'Arctique canadien grâce à ce projet de maîtrise.

I would like to thank the field team that helped me during my field trip. **Alice Olga Victoria Bui, Ryan Flagg** and **Ryan Key** from Ocean Networks Canada. Without you, my sampling would have been impossible to realize... really impossible. Your genius and awesome ideas to solve all our problems were such a great help, and taught me a lot in a few weeks. Thank you for everything!

Thank you to all the people I've met in Cambridge Bay that helped me. Thank you **Jorgan Aitaok** for your patience and help during the grab sampling. Thanks to the Martin Bergmann crew (**Gerry Chidley** - Capitaine, **Daniel McIsaac** - Capitaine, **David McIsaac**) for lending us your equipment to help me finish my sample treatment during the Arctic storm. Thank you to The Arctic Research Foundation team, for your generous advices and help on the field. **Jaqueline Grebmeier**, thank you for the formaldehyde, without it, I would not have my samples today. Lastly, thank you CCGS Laurier crew for the transport of my samples.

Thanks to the Ocean Networks Canada team that helped me and guided me through those years. Thank you **Fabio DeLeo Cabrera** for your time and patience. Thanks to you **Karen Douglas** now I know more about ArcGIS and its particularities. Many thanks to **Claudio Alfaro** and **Jason Rush** for helping me with all the computer adjustments, problems and challenges, without your patience and expertise I would not have been able to work properly. I want to thank **Bruno Ogata**, an internship student that helped me a lot reasoning over the technical problems encountered. Thank you **Tom Kwasnitschka** for your time trying

new 3D design for the transect, that can lead us to an interesting new path for those type of analyses. Thanks to all of the ONC team that gave me time, patience, and a smile. **Marion Will**, thank you for your awesome attitude, I enjoyed sharing an office with you.

Merci à **Marie-Josée Fortin** pour votre aide précieuse qui m'a permis de bien réfléchir et d'effectuer les analyses statistiques de mon chapitre deux. Vous avez été une conseillère précieuses et un très bon professeur.

Merci aux gens du laboratoire d'écologie benthique pour leur soutien et leur aide. Merci **Lisa Treau De Coeli** et **Laure de Montety** pour votre patience en laboratoire et m'avoir enseigné l'art de la taxonomie. Merci **Cindy Grant** pour l'ensemble de tes conseils et aide pour tous les petits détails techniques terrain et de présentations que tu m'as fournis au cours de ces années. **Jesica Goldsmith**, merci de m'avoir aidé dans mes moments d'incertitudes au début de ma maîtrise. Merci **Laurence Paquette** pour ton aide et ta présence rafraichissante. **David Beauchesne**, merci beaucoup pour ton écoute, ta vision très terre-à-terre et nos nombreuses conversations à propos de mon sujet qui m'ont grandement fait avancer. Ton aide m'a été précieuse pour terminer en beauté cette grande aventure. Merci les filles, **Mylène**, **Valérie**, **Peter** (haha!), **Émilie**, **Claudie**, pour votre soutien, nos fous rires, nos sorties, etc. Votre présence a rendu cette expérience dynamique et plaisante.

Merci à mes amis qui ont navigué dans les mêmes eaux que moi; **Valérie**, **Rachel**, **Claudie**, **Pascal**, **Peter**, **David**. Nos délires et fous rires auront marqué cette aventure. Merci à mes amis de l'Université Laval, **Kevin**, **Déborah**, **Marie**, **Inge**, **Sarah**, et **Arnaud** pour avoir remplis de moments cocasses et de folies les derniers mois de rédaction. Merci à mes amis proches, **Roxane**, **Émilie**, **Rachel**, **Geneviève**, **Jennifer** pour votre soutien indéfectible et votre compréhension. Thank you my love, **Bruno**, for being there and support me like you do. All day, every day, good or bad, you are always there, and this presence is such a great gift you gave me. Finalement, un gros merci à ma famille Racine et Dorval pour leur soutien, dévouement, encouragement pour l'ensemble de mon aventure. Merci **Fabienne** et **Bertrand**, mes parents, ainsi que mon frère **William** pour votre démonstration de fierté à l'égard de ce

que je fais et vos encouragements et pensées positives, vous avez été des piliers dans cette aventure et je vous en suis très reconnaissante. Thank you all, merci!

AVANT-PROPOS

Ce mémoire est rédigé en anglais et en français. L'anglais est utilisé pour le corps principal du texte en raison de ma co-direction à l'Université de Victoria (UVIC) en Colombie-Britannique, Canada et pour publication dans un journal scientifique anglophone. De plus, la présentation de ce mémoire est sous forme d'articles scientifiques pour permettre la publication dans un journal scientifique.

La réalisation de ce projet de maîtrise fut possible grâce au soutien financier d'ArcticNet, d'Ocean Networks Canada, du Fond de recherche du Québec – Nature et technologie (FRQNT), de Québec Océan et de l'UQAR-ISMER.

Au cours des 3 dernières années, un total de 10 présentations orales et 3 présentations par affiches fut accompli dans des congrès, stages et réunions annuelles. Un séjour totalisant 4 mois répartis en 2 stages fut aussi réalisé chez Ocean Networks Canada, soutenu financièrement par le Service aux étudiants de l'UQAR. L'ensemble de ces présentations furent possible en partie grâce aux réseaux desquels je fais partie, soit Québec Océan, ArcticNet et à mes Universités de direction soit, UQAR/ISMER et UVIC/Ocean Networks Canada.

1.1 AFFICHES ET PRESENTATIONS ORALES

Dorval J.A. et P. Archambault (2014). La variation temporelle de l'abondance, la diversité et le type d'activité de l'épifaune de Cambridge Bay, NU. Microthèse, UQAR, Été 2014.

Dorval J.A., A. Bui, S. K. Juniper et P. Archambault (2014). High resolution of temporal variation of the benthic community in Cambridge Bay, NU (Arctic), from a community-based observatory. Cégep de l'Outaouais (étudiants en science de la nature), Gatineau, Québec, Canada, December 9. Conférences (2x).

Dorval J.A., A. Bui, S. K. Juniper et P. Archambault (2014). High resolution of temporal variation of the benthic community in Cambridge Bay, NU (Arctic), from a community-based observatory. ArcticChange, Ottawa, Ontario, Canada, December 11. Presentation.

Dorval J.A., A. Bui, S. K. Juniper et P. Archambault (2014). High resolution of temporal variation of the benthic community in Cambridge Bay, NU (Arctic), from a

community-based observatory. Québec-Océan Annual Meeting, Rivière-du-Loup, Québec, Canada, November 10-12. Poster.

Dorval J.A., A. Bui, S. K. Juniper and P. Archambault (2015). Les animaux du fond marin en HD! La nature dans tous ses états seminar, Rimouski, Québec, Canada, March 13-14. Poster.

Dorval J.A., Variation temporelle à haute résolution de la dynamique des assemblages benthiques à Cambridge Bay, NU (Arctique). Devis de maîtrise, UQAR, 5 p.

Dorval J.A., Variation temporelle à haute résolution de la dynamique des assemblages benthiques à Cambridge Bay, NU (Arctique). Devis de maîtrise, Rimouski, Canada, March 25. Presentation.

Internship at Ocean Networks Canada, ArcGIS and mosaics analysis. Victoria, British Columbia, May 2 to June 12.

Dorval J.A. A. Bui, F. De Leo, S. K. Juniper and P. Archambault (2015). High resolution of temporal variation of the benthic patch dynamic in Cambridge Bay, NU (Arctic), Onc intership presentation, Victoria, British Columbia, Canada, July 27. Presentation.

Internship at Ocean Networks Canada, ArcGIS and mosaics analysis. Victoria, British Columbia, November 9 to December 6.

Dorval J.A. A. Bui, F. De Leo, S. K. Juniper and P. Archambault (2015). High resolution study of temporal variation of marine benthos in Cambridge Bay, NU (Arctic). ACUNS, Calgary, Alberta, Canada, November 4-8. Presentation.

Dorval J.A. A. Bui, F. De Leo, S. K. Juniper and P. Archambault (2015). High resolution study of temporal variation of marine benthos in Cambridge Bay, NU (Arctic). ArcticNet, Vancouver, British Columbia, Canada, December 7-11. Presentation.

Dorval J.A. (2016). Parcours d'une jeune scientifique folle des invertébrés. Cégep de l'Outaouais (étudiants en science de la nature - Biotechnologie), Gatineau, Québec, Canada, February 4-5. Conferences (2x).

Dorval J.A, P. Archambault, M.J. Fortin and S.K. Juniper (2016). Dynamique des assemblages benthiques marins à petite échelle, à Cambridge Bay, Nu (Arctique), Québec-Océan Annual Meeting, Rimouski, Québec, Canada, November 8-9. Poster.

Dorval J.A (2016). High resolution study of the temporal variation and patch dynamic of the benthic community of Cambridge Bay, NU (Arctic), Présentation finale de maîtrise, Rimouski, Canada, Décembre 22. Présentation.

RÉSUMÉ

Les communautés benthiques arctiques sont potentiellement de bons indicateurs des changements climatiques en raison de leur pérennité et leur sédentarité. Cependant, un faible nombre d'études à haute résolution, à long terme et à échelle locale sont réalisées pour comprendre la variation temporelle et la dynamique spatiale de ces communautés. La compréhension globale des communautés réside, jusqu'à ce jour, dans des études à large échelle spatiale et temporelle, ce qui ne permet pas de comprendre précisément la dynamique des communautés benthiques sur une échelle annuelle. Les objectifs de cette étude sont de quantifier les variations saisonnières de l'abondance et de la diversité du benthos sur une période annuelle à haute résolution temporelle, et d'étudier la dynamique des communautés épi- et endobenthiques à petite échelle en zone euphotique. Le premier objectif fut réalisé grâce à un observatoire câblé déployé en 2012 à Cambridge Bay, Nunavut, Canada. Cet observatoire installé à 6 m de profondeur est muni d'une caméra HD qui permet de filmer le fond marin pendant 5 min à toutes les 2 h. De plus, la plateforme est équipée d'un CTD permettant de mesurer plusieurs variables environnementales : température, conductivité, fluorescence, turbidité, salinité et oxygène dissous. Un transect de 125 m a permis d'atteindre le second objectif. Ce transect fut filmé et échantillonné aux cinq mètres pour comprendre les liens entre espèces dans l'espace. L'analyse temporelle effectuée cible l'année 2012-2013. À l'aide de l'observatoire sous-marin celui-ci démontre qu'il y a une différence entre les saisons pour le nombre de taxa et l'abondance. Le nombre de taxa est plus élevé au printemps et est majoritairement expliqué par la salinité, tandis que l'abondance est plus élevée l'été, et ce, dû à la présence de nourriture. Les résultats obtenus à l'aide du transect établi en 2014 démontre qu'à cette échelle l'assemblage noté chez l'épifaune est stable, tandis qu'un changement est observé pour l'endofaune. De plus, un lien est observé entre l'épi- et l'endofaune au niveau des assemblages et de l'abondance le long du transect. Finalement, la granulométrie est le facteur environnemental qui semble affecter le plus l'épi- et l'endobenthos. Les études effectuées à petite échelle et à l'aide de l'observatoire câblé permettent de mieux comprendre la variation naturelle, les processus et le fonctionnement des communautés benthiques côtières en Arctique.

Mots clés : Communauté benthiques infratidales, Arctique canadien, Cambridge Bay, Variation temporelle, Dynamique des communautés

ABSTRACT

The Arctic benthic communities are good climate change indicators since they are perennials. But, the quantity of long-term studies that looks at temporal variation at a high resolution is scarce. The patch dynamic of Arctic communities at a small scale is too, rarely studied. The global understanding of these communities resides in spatial and temporal large scale studies that do not allow us to understand precisely the dynamic of these communities. The objectives of this study are to quantify, at a high resolution, the seasonal variation of the abundance and richness of benthic species and to look into the patch dynamic of the epifauna, infauna and their interaction at a small scale in the photic zone. With an underwater platform placed at Cambridge Bay, NU, in Canada in 2012 the first objective was completed. This observatory is submerged in approximately 6 m and has an HD camera that films the sea floor each 2 h for 5 min. The platform is equipped with a CTD to measure water properties like temperature, conductivity, fluorescence, turbidity, salinity and dissolved oxygen. A 125 m transect was deployed to achieve the second objective. This transect was filmed and sampled each 5 m to allow to study the patch dynamic of the benthic community. The temporal analysis for the year 2012-2013 that was extracted from the videos of the observatory shows a variation between seasons for the taxa richness and the abundance. Taxa richness is higher in the spring, and salinity explains best the variation observed. For the abundance, the summer period is the highest, and chlorophyll *a* coupled with dissolved oxygen are the environmental factor explaining this variation. The patch dynamic portion shows that a stable assemblage is observed for the epifauna at this scale. On the other hand, the infauna shows a shift. The abundance of the epi- and infauna covaries along the transect. Finally, the granulometry is the major environmental factor influencing the assemblages and patch dynamic of this community. Observatory studies and small scale studies of this type provide insight into larger scale benthic community processes in coastal Arctic waters.

Keywords: Subtidal benthic communities, Canadian Arctic, Cambridge Bay, Temporal variation, Patch dynamic

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	vii
AVANT-PROPOS	x
1.1 AFFICHES ET PRESENTATIONS ORALES	X
RÉSUMÉ	xiii
ABSTRACT.....	xiv
TABLE DES MATIÈRES	xv
LISTE DES TABLEAUX.....	xviii
LISTE DES FIGURES	xix
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
1.2 IMPORTANCE DES ÉTUDES A HAUTE RÉOLUTION TEMPORELLE ET DYNAMIQUE	1
1.3 FLUCTUATIONS SAISONNIÈRES DANS L'ARCTIQUE	3
1.4 DYNAMIQUE DES POPULATIONS BENTHIQUES.....	5
1.5 AIRE D'ÉTUDE	9
1.6 OBJECTIFS	10
1.7 HYPOTHÈSES	13
High Resolution study of temporal variation of subtidal arctic marine benthos in cambridge Bay, Nunavut (canada).....	15
2.1 RÉSUMÉ	16
2.2 ABSTRACT.....	16
2.3 INTRODUCTION.....	17
2.4 METHODOLOGY	19
2.4.1 Study area.....	19
2.4.2 Observatory	20
2.4.3 Sampling	22

2.4.3.1	Observatory	22
2.4.3.2	Observatory – Analyse.....	23
2.4.4	Data analysis	23
2.5	RESULTS	24
2.6	DISCUSSION	33
2.6.1	Environmental parameters	33
2.6.2	Taxa richness.....	34
2.6.3	Abundance	38
2.7	CONCLUSION.....	41
	Microscale patch dynamic of subtidal arctic marine benthos in cambridge bay, nunavut (canada).....	43
3.1	RÉSUMÉ	44
3.2	ABSTRACT.....	44
3.3	INTRODUCTION.....	45
3.4	METHODOLOGIE.....	49
3.4.1	Localisation de l'étude	49
3.4.1.1	Transect	50
3.4.2	Échantillonnage.....	51
3.4.2.1	Transect – analyses et traitement laboratoire	51
3.4.2.1.1	Vidéos - Mosaïque	51
3.4.2.1.2	Données biologiques	53
3.4.2.1.3	Granulométrie	54
3.4.3	Analyses statistiques	56
3.5	RÉSULTATS.....	57
3.6	DISCUSSION	72
3.6.1	Épifaune	72
3.6.2	Endofaune	75
3.6.3	Corrélation : épifaune VS endofaune.....	77
3.7	CONCLUSION.....	81

CONCLUSION GÉNÉRALE.....	84
4.1 CONCLUSION GENERALE.....	84
4.2 ASPECT TEMPOREL.....	85
Limitations aspect temporel	85
4.3 DYNAMIQUE DES ASSEMBLAGES	87
Limitations dynamique des assemblages	88
4.4 PERSPECTIVES	90
Aspect temporel	90
Dynamique des assemblages.....	91
4.5 CONCLUSION.....	92
ANNEXE 1	94
ANNEXE 2	95
ANNEXE 3	96
ANNEXE 4.....	97
ANNEXE 5	98
ANNEXE 6.....	99
ANNEXE 7	100
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	102

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Multilinear model of the epifauna taxa found along the transect as the independent variable compared to the taxa found in the infauna, as the dependant variables, in Cambridge Bay, 2014. (* = significant, ** = really significant · = biological tendencies)
.....69

LISTE DES FIGURES

- Figure 1.** Seasonality in bloom development and in downward carbon export in present-day climate and ice conditions (A), and a future warmer climate with thinner ice in winter and more melting of summer ice, causing a widening of the seasonal ice zone (B). The green-to-red gradient indicates the balance of suspended biomass from autotrophic to heterotrophic sources. The new and export production in both scenarios is similar because stratification limits nutrient availability. The width and color of the vertical arrows illustrate the semi-quantitative magnitude and key composition of vertically exported organic matter. Dark green = ice algae-derived carbon. Light green = phytoplankton-derived carbon. Orange and red arrows = increasing degree of detritus (nonliving particulate *organic material*). From Wassmann et Reigstad (2011).6
- Figure 2.** Schéma conceptuel des processus qui régulent la diversité à des échelles locales, régionales et globales provenant de Levin *et al.*, (2001).8
- Figure 3.** Schéma conceptuel représentant les deux chapitres du mémoire ; chapitre 1 : High resolution study of temporal variation of subtidal arctic marine benthos in Cambridge Bay, Nunavut (Canada), chapitre 2 : Microscale patch dynamic of subtidal arctic marine benthos in Cambridge Bay, Nunavut (Canada).11
- Figure 4.** Carte de l'Arctique montrant la localisation de Cambridge Bay, Nunavut (diamant) à 69°07'02"N 105°03'11"W.12
- Figure 5.** Arctic map showing location of Cambridge Bay, NU (Diamond) at 69°07'02"N 105°03'11"W.....21
- Figure 6.** Underwater camera installation characteristics, for the year 2012-2013 at the Cambridge Bay observatory (Ocean Networks Canada, 2015).22
- Figure 7.** Variation through seasons of (a) the chlorophyll a ($\mu\text{g L}^{-1}$), (b) the temperature ($^{\circ}\text{C}$), (c) the dissolved oxygen (mL L^{-1}), (d) the salinity, and (e) ice draft corrected in 2012-2013 in Cambridge Bay, NU.26
- Figure 8.** Mean number of benthic taxa \pm SE according to the seasons during the year 2012-2013 in Cambridge Bay, NU ($F_{(9, 33)} = 6.977$, $p = 0.010$, $n = 48$).27

Figure 9. Correlation between the taxa richness and the mean salinity ($p = 0.000$), for the year 2012-2013 in Cambridge Bay, NU ($Y = -6.292 + 0.319 X$) (blue zone : fit zone $p = 0.05$).....	28
Figure 10. Mean (\pm SE) abundance of benthic organisms according to the seasons (fall, winter, spring, summer) during the year of 2012-2013 in Cambridge Bay, NU ($\sqrt{4}$ of the benthic abundance $F_{(9, 33)} = 23.195$, $p < 0.000$, $n = 48$).....	29
Figure 11. Time series abundance of benthic organisms for the year 2012-2013 in Cambridge Bay, NU.....	29
Figure 12. Mean (\pm SE) abundance of sea anemone and polychaete according to the seasons during the year of 2012-2013 in Cambridge Bay, NU (Repeated measure MANOVA: $F_{(9, 33)} = 5.29$, $p < 0.000$, $n = 48$; Polychaete $F_{(9, 33)} = 6.02$, $p < 0.000$, $n = 48$).....	30
Figure 13. Temporal variation of Sabellids polychaetes compared to the mean abundance of chlorophyll a ($\mu\text{g L}^{-1}$) during the year 2012-2013, in Cambridge Bay, NU.....	31
Figure 14. The total abundance of benthic organisms according to the mean chlorophyll a ($\mu\text{g L}^{-1}$) and the mean dissolved oxygen (mL L^{-1}) in Cambridge Bay, NU, for 2012-2013.....	32
Figure 15. Figure conceptuelle démontrant les resultats principaux de Roy <i>et al.</i> , (2014) des facteurs envrionnementaux qui structure les communautés benthiques dans l'Arctique canadien selon les échelles spatiales et temporelles.....	47
Figure 16. Carte de l'Arctique présentant la localisation de Cambridge Bay, NU (symbol de l'étoile) située à $69^{\circ}07'02''\text{N}$ et $105^{\circ}03'11''\text{W}$	51
Figure 17. Le transect mosaïque de 125 m situé à Cambridge Bay, NU, 2014 à $69^{\circ}07'02''\text{N}$ et $105^{\circ}03'11''\text{W}$	55
Figure 18. Vue aérienne du transect représentant l'ensemble des coups de bennes effectués, ainsi que leur localisation GPS (X ;Y), à Cambridge Bay, NU, 2014. (Puisque la figure est représentée par des points GPS, le début du transect se retrouve à la droite du graphique).....	59

- Figure 19.** Distribution granulométrique (sable, argile, limon), en pourcentage, de chaque coup de benne, le long du transect à Cambridge Bay, NU, 2014, représenté par un graphique *hot spot*.....60
- Figure 20.** (a) Comparaison du total de l'abondance des espèces pour chaque coup de benne (endofaune) ainsi que leur aires associées (épifaune) et (b) comparaison de la diversité taxonomique pour chaque coup de benne (endofaune) et leur aires associées (épifaune) sur le transect à Cambridge Bay, NU, 2014.62
- Figure 21.** Corrélation entre (a) l'abondance de l'épifaune et de l'endofaune ($p = 0.000$, $R^2 = 0.750$), et (b) la richesse de l'épifaune et de l'endofaune ($p = 0.066$, $R^2 = 0.008$), tout le long du transect à Cambridge Bay, NU, 2014.63
- Figure 22.** Variation relative de l'abondance (%) des organismes retrouvés dans chaque coup de benne, compare à leurs aires associées sur le transect à Cambridge Bay, NU, 2014.....65
- Figure 23.** Graphique PCA pour chaque aire du transect et les facteurs environnementaux observés sur le transect (algues, roches, déchets, sable, argile, profondeur et bioturbation), à Cambridge Bay, NU, 2014.66
- Figure 24.** Graphique RDA pour chaque aire du transect, facteurs environnementaux ainsi que les organismes retrouvés, à Cambridge Bay, NU, 2014 (RDA1 Pr (>F) = 0.001, RDA2 Pr (>F) = 0.029).....67
- Figure 25.** Graphique PCA pour les 10 coups de benne traités, ainsi que les facteurs environnementaux associés (sable, argile, limon, profondeur, X et Y), à Cambridge Bay, NU, 2014.....68
- Figure 26.** Graphique RDA pour les 10 coups de benne traité, les facteurs environnementaux ainsi que les organismes retrouvés, à Cambridge Bay, NU, 2014 (RDA1 Pr (>F) = 0.002, RDA2 Pr (>F) = 0.031).69
- Figure 27.** Cambridge Bay temperature, practical salinity, oxygen, ice draft and sigma-theta since November 2012.....94
- Figure 28.** Variation through seasons (winter, spring, summer, fall) of (a) the average salinity, (b) the average dissolved oxygen (mL L^{-1}), (c) the average temperature ($^{\circ}\text{C}$), and (d) the average chlorophyll *a* ($\mu\text{g L}^{-1}$) for the years 2012, 2013 in Cambridge Bay, NU ($n = 43$).....95

Figure 29. Distribution of the environmental factors (bioturbation, rocks, algae), in percentage, of the transect with hot spot graphics, Cambridge Bay, NU, 2014.96

Figure 30. Total abundance of the epifauna for all the 26 areas of the transect, in Cambridge Bay, NU, 2014.....97

Figure 31. (a) Areas (epifauna) cluster dendrogram, and (b) grabs (m) (infauna) cluster dendrogram sampled along the transect of Cambridge Bay, NU, 2014.98

Figure 32. Profil de profondeur du transect pour chaque coup de benne effectuer le long du transect à Cambridge Bay, NU, 2014.99

Figure 33. Distribution granulométrique (sable, argile, limon), en pourcentage, de chaque coup de benne, le long du transect à Cambridge Bay, NU, 2014, représenté par un graphique *hot spot*.....100

INTRODUCTION GÉNÉRALE

1.2 IMPORTANCE DES ÉTUDES A HAUTE RÉOLUTION TEMPORELLE ET DYNAMIQUE

L'Arctique étant un des endroits dans le monde le plus grandement affecté par les changements climatiques (Wassmann, 2011; Doney *et al.*, 2012) mérite une attention particulière. Les changements observés dans les écosystèmes marins sont pour la majorité imprévus et rapides (ACIA, 2004; Screen et Simmonds, 2010; Wassmann, 2011). Ces changements peuvent entraîner éventuellement la perte de services clés au milieu marin (Naeem *et al.*, 2012; Doney *et al.*, 2012). En effet, un changement dans l'abondance, la composition des espèces et leur habitat peut avoir un effet localisé jusqu'à majeur sur l'écosystème marin (Naeem *et al.*, 2012). Selon Naeem *et al.*, (2012) un changement, qu'il soit de petit à majeur, peut créer un effet domino et affecter des processus globaux tels le cycle des nutriments et du carbone. Pour comprendre l'impact qu'un changement global, comme les changements climatiques, peut avoir sur l'environnement marin et ses écosystèmes arctiques, il faut d'abord avoir des notions sur les variations naturelles de ces mêmes écosystèmes, soit afin de bien saisir comment ils varient sur des échelles temporelles, spatiales (Raffaelli et White, 2013; Ducklow *et al.*, 2009) et dynamiques. Obtenir des informations couvrant une longue période de temps et sur différentes échelles spatiales est donc primordial pour permettre une bonne compréhension.

Une méthode efficace pour comprendre comment les écosystèmes marins se comportent face à ces changements est d'étudier les communautés benthiques. L'environnement benthique est reconnu pour sa grande diversité, son importance et son potentiel en tant qu'indicateur de changements climatiques. En effet, la majorité des espèces benthiques étant sessiles et longévives en font de très bons bioindicateurs (Larsen *et al.*, 2014; Moritz *et al.*, 2002; Renaud *et al.*, 2007; Roy *et al.*, 2014; Wassmann *et al.*, 2011; Darnis *et al.*, 2012; Dauvin, 2006). Ces organismes sont d'ailleurs déjà utilisés de façon législative en eau douce ainsi que pour les systèmes estuariens, comme bioindicateurs du statut de l'écosystème en France (EUR-Lex, 2015; Dauvin, 2006). Dans le même ordre d'idées, l'environnement benthique et ces processus sont très importants. En effet, ce dernier est une

source de nourriture, permet la régulation du climat et la maintenance de la qualité des eaux et du sédiment à la fois (Beaumont *et al.*, 2007; Nephin *et al.*, 2014). Cependant, en milieu arctique, le nombre d'études est moindre pour le benthos (Wassmann *et al.*, 2011) et très peu de suivis temporels à haute résolution existent en raison de la logistique requise. En effet, acquérir des données annuelles, voire interannuelles, à haute résolution est un défi dans un milieu extrême nordique, car en plus de subir des changements, l'Arctique possède une saisonnalité prononcée (Greibmeier et Barry, 1991). Beaucoup de ces limitations sont dues, entre autres, aux facteurs environnementaux extrêmes tels la glace et les conditions météorologiques, le manque d'équipement spécialisé ainsi que les coûts afférents qui empêchent d'étudier le fond marin adéquatement tout le long de l'année (Polyakov *et al.*, 2013). À notre connaissance, aucune étude à haute résolution temporelle sur une période annuelle n'existe à ce jour sur le benthos arctique.

Parallèlement, la distribution hétérogène du benthos est reconnue et l'intérêt des chercheurs pour cette distribution n'est pas un phénomène nouveau (Morrisey *et al.*, 1992; Ellingsen *et al.*, 2007). Les causes de dispersion et de la distribution d'assemblage spécifique furent étudiées à maintes reprises. Cependant, les études en Arctique à grande, comme à petite échelle spatiales sont étudiés en fonction de processus océaniques à grandes échelles (km) (Paiva, 2000). Ainsi, il y a un manque d'information notable à une échelle locale (m) pour la dynamique des communautés et les processus qui la gèrent. Plus précisément, il y a un manque d'information quantitative sur les variations spatiales et ce qui les maintiennent (Fraschetti *et al.* 2005). À notre connaissance, très peu d'études à haute résolution et à petite échelle (m) portant sur la dynamique des communautés benthiques arctiques ont été réalisées.

Dans l'environnement marin arctique, les marges continentales représentent plus de la moitié de l'océan Arctique (Link *et al.*, 2013b). De plus, ces milieux possèdent une très grande production, abondance et biomasse due à leur fort couplage pélagobenthique. Puisque ces marges représentent 25 % des marges continentales mondiales et sont plus facilement accessibles, cela en fait un lieu privilégié pour étudier les communautés benthiques (Darnis *et al.*, 2012; Grebmeier et Barry, 1991; Hovelsrud *et al.*, 2008; Larsen *et al.*, 2014; Moritz *et al.*, 2002; Piepenburg *et al.*, 1996; Renaud *et al.*, 2007; Roy *et al.*, 2014; Wassmann *et al.*, 2011;

Zeller *et al.*, 2011; Grebmeier *et al.*, 1989). Obtenir des informations sur la variation naturelle de la communauté benthique côtière permettra la détection de changement à long terme et ainsi de quantifier plus précisément l'impact des changements climatiques sur les écosystèmes arctiques. Somme toute, l'apport d'informations quantitatives sur la dynamique des communautés benthiques sous différentes échelles spatiales et temporelles va permettre de fournir les informations pour une saine gestion et conservation des écosystèmes (Bussotti *et al.*, 2006), en plus d'apporter de meilleurs outils de prédiction des changements climatiques.

1.3 FLUCTUATIONS SAISONNIÈRES DANS L'ARCTIQUE

Beaucoup de fluctuations dans le temps s'opèrent dans les écosystèmes benthiques nordiques, et ce, principalement en fonction des paramètres physico-chimiques de l'eau et du couvert de glace (Wassmann et Reigstad, 2011; Darnis *et al.*, 2012; Hovelsrud *et al.*, 2008; Zeller *et al.*, 2011; Link *et al.*, 2011; Renaud *et al.*, 2007). Les variations saisonnières importantes en Arctique (Grebmeier et Barry, 1991; Roy *et al.*, 2014) expliquent en partie le fort couplage pélago-benthique observé (Piepenburg *et al.*, 1997; Wassmann *et al.*, 2006), et peut causer des fluctuations dans l'abondance et la diversité dans l'épifaune benthique. En effet, selon la quantité de nourriture disponible au cours de l'année, une variation dans la dynamique de l'épifaune peut être notée (Hovelsrud *et al.*, 2008; Piepenburg *et al.*, 1997).

Le climat extrême de l'Arctique est caractérisé par de longs hivers polaires, un couvert de glace saisonnier ou pérenne, une couche de surface stratifiée avec un contenu limité en nutriments et un cycle de production primaire pulsé (**Figure 1**). Le tout crée un environnement marin unique contenant des organismes adaptés (Darnis *et al.*, 2012). Le couvert de glace joue un rôle important dans la production primaire puisqu'il cause la réduction de la lumière pour une très longue période annuellement pouvant se prolonger jusqu'à 10 mois (Conover et Huntley, 1991; Fortier *et al.*, 2002). Les organismes marins dépendent de la production primaire, donc, dépendent aussi du couvert de glace, sa dynamique ainsi que de son épaisseur (Grebmeier *et al.*, 1995; Fortier *et al.*, 2002; Tremblay *et al.*, 2006; Hovelsrud *et al.*, 2008; Zeller *et al.*, 2011).

La fonte de la glace permet, pour une courte période de temps, que le *bloom* printanier de production primaire ait lieu (Tremblay *et al.*, 2012). Cette production est importante pour l'ensemble du réseau trophique. L'abondance et la biomasse des organismes benthiques dans cette région dépendent directement de la quantité de nourriture qui tombe sur le fond marin. Lorsque la production primaire est élevée durant la saison estivale une grande abondance et biomasse d'organismes seront observées (Grebmeier et Barry, 1991). D'un autre point de vue, les organismes sont aussi dépendants de la glace en hiver pour leur survie. Dans la portion Ouest de l'Arctique canadien, durant l'hiver, certain niveau du réseau trophique, tel le zooplancton, va survivre grâce à la présence de biomasse de bactéries (Forest *et al.*, 2011). D'autres facteurs affectent les communautés benthiques tel la variation verticale de la température et la salinité de la colonne d'eau (Mayer et Piepenburg, 1996; Roy *et al.*, 2014). En effet, ces derniers affectent la stratification et donc l'exportation de nourriture jusqu'au fond marin (Wassmann et Reigstad, 2011).

La profondeur a aussi un très grand impact sur les communautés benthiques. L'augmentation de la profondeur amène en général une réduction du couplage pélagobenthique ainsi que la diminution de la quantité et de la qualité de la nourriture (Mayer et Piepenburg, 1996; Roy *et al.*, 2014; Soltwedel *et al.*, 2009; Gaillard *et al.*, 2015). Le type de sédiment, l'hétérogénéité de l'habitat, la vitesse des courants de fond et autres facteurs vont aussi influencer les communautés benthiques (MacArthur *et al.*, 2010), ce qui en fait une communauté complexe à étudier. Parallèlement, le milieu benthique côtier est connu pour sa grande richesse taxonomique et sa variation temporelle (Southward, 1980; Southward *et al.*, 1995; Southward *et al.*, 2005). Le couplage pélagobenthique étant très fort dans les zones peu profondes rend les zones côtières très intéressantes pour des analyses temporelles, car ce couplage varie au cours des saisons et entre les années (Grebmeier et Barry, 1991; Roy *et al.*, 2014).

En raison de la complexité des communautés benthiques et le manque de suivi à haute résolution temporelle (Link *et al.*, 2013a; Link *et al.*, 2013b), les variations concernant l'abondance et la biodiversité des organismes benthiques arctiques sont très difficiles à prédire. D'ailleurs, la logistique requise pour obtenir des informations temporelles ou interannuelles

dans l'Arctique est très complexe, ce qui explique le manque d'études dans cette région (Wassmann *et al.*, 2011; Renaud *et al.*, 2007; Polyakov *et al.*, 2013). Grâce à de nouvelles technologies comme l'observatoire sous-marin de Cambridge Bay, NU (Ocean Networks Canada, 2016), il est maintenant possible d'observer le benthos à haute résolution temporelle 365 jours par an. Ce type de technologie permettra de pallier au manque d'information pour plusieurs mois de l'année dans l'Arctique et de voir les cycles annuels des communautés épibenthiques avec une grande précision.

1.4 DYNAMIQUE DES POPULATIONS BENTHIQUES

Selon Morrisey *et al.* (1992), les facteurs abiotiques contribueraient principalement à la formation de patrons à de plus grandes échelles. Pour les plus petites échelles (mésos à micro), les facteurs influençant la dispersion et la formation de patrons pourraient être biotiques, abiotiques et l'interaction entre ces deux derniers (Grebmeier et Barry, 1991, Piepenburg *et al.*, 1997, Paiva, 2000). Le type de variation qui peut être observé le long d'un transect est la présence de *hot spots* et *cold spots*. Pour cette étude un *hot spot* se définit par la présence d'une forte concentration en biodiversité et abondance en un même endroit (Marchese, 2014) et *cold spot* par une très faible concentration en biodiversité et abondance en un même endroit. En effet, la répartition spatiale et les assemblages des communautés benthiques à petite échelle affecteraient beaucoup l'environnement immédiat de celles-ci, tel l'hydrodynamisme, la création de support pour prolifération de bactéries et le maintien du substrat (Eckman, 1983), tandis que la variabilité du substrat serait un facteur abiotique important (Paiva, 2000, Grebmeier *et al.*, 1989; Eckman, 1983). L'endofaune est effectivement très affecté par la granulométrie du substrat (Snelgrove, 2001; Grebmeier *et al.*, 1989). La taille du grain et le contenu en matière organique, vont tous deux affecter le type de taxa qui colonisera l'environnement et représenter les facteurs influençant les écosystèmes à une petite échelle (Eckman, 1983; Blanchard et Feder, 2014).

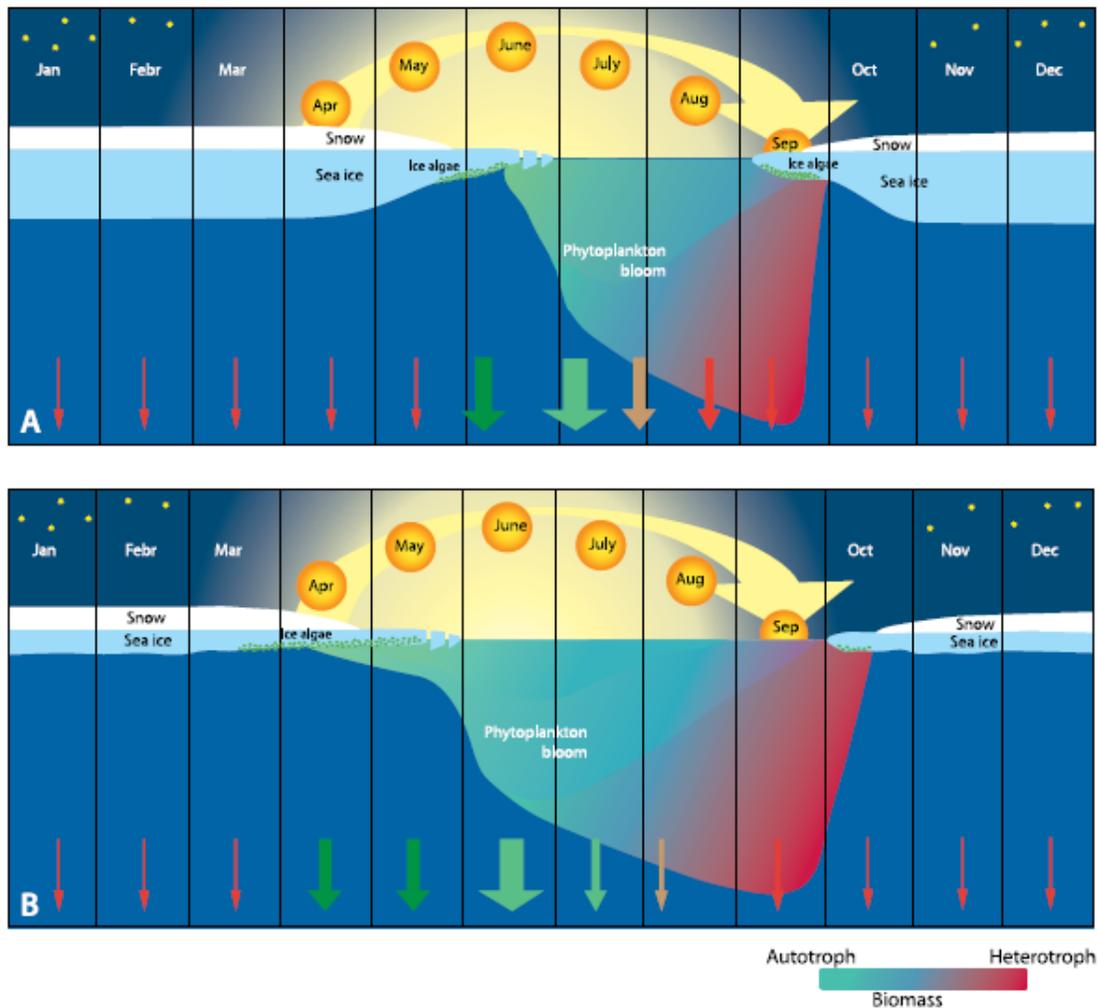


Figure 1. Seasonality in bloom development and in downward carbon export in present-day climate and ice conditions (A), and a future warmer climate with thinner ice in winter and more melting of summer ice, causing a widening of the seasonal ice zone (B). The green-to-red gradient indicates the balance of suspended biomass from autotrophic to heterotrophic sources. The new and export production in both scenarios is similar because stratification limits nutrient availability. The width and color of the vertical arrows illustrate the semi-quantitative magnitude and key composition of vertically exported organic matter. Dark green = ice algae-derived carbon. Light green = phytoplankton-derived carbon. Orange and red arrows = increasing degree of detritus (nonliving particulate *organic material*). From Wassmann et Reigstad (2011).

La présence, l'abondance ainsi que le type d'assemblage de l'épibenthos affectent aussi leur l'environnement immédiat (Eckman, 1983). Effectivement, dans un habitat homogène, la mégafaune crée des galeries et des terriers, des monticules et des traces de surface qui augmentent le relief et l'hétérogénéité d'un biota de petite taille (Soltwedel et Vopel, 2001; Quéric et Solwedel, 2007; Belley *et al.*, 2010). La présence d'organismes structurellement

complexes, tels les éponges, va aussi augmenter la complexité tridimensionnelle de l'habitat (Soltwel *et al.*, 2009). Ces changements structurels dynamiques de l'environnement apporteront la création de nouveaux habitats (Eckman, 1983). Or, la faune benthique aurait un impact localisé sur les facteurs environnementaux, mais l'inverse est aussi présent. La variation des paramètres environnementaux va aider à la formation d'assemblages benthiques spécifiques. La saisonnalité, la disponibilité en nourriture, le couvert de glace, la variation des courants marins, les différents types de substrats (substrat dur, substrat mou, zone mixte, etc.), et la variation des paramètres environnementaux tels la salinité, la température, l'oxygène dissout, la turbidité, etc., vont créer des assemblages spécifiques sur les côtes arctiques (Blanchard *et al.*, 2013; Wassmann et Reigstad, 2011; Paiva, 2001; Grebmeier *et al.*, 2006). De plus, selon Faith et Norris (1989) la présence d'un taxon dominant pour un site ou entre certains sites permettrait de quantifier la force et la direction des changements environnementaux. L'interaction entre les facteurs environnementaux, ainsi que la dynamique des communautés épibenthiques peut donc créer et modifier des habitats benthiques à petite échelle (**Figure 2**. Schéma conceptuel des processus qui régulent la diversité à des échelles locales, régionales et globales provenant de Levin *et al.*, (2001).). Ces changements pourraient grandement influencer la dynamique des assemblages endobenthiques. Le peu de recherche dédiée au lien entre les ces deux compartiments benthique ne permet pas, encore jusqu'à ce jour, de savoir si un patron spatial à petite échelle peu être observé selon l'abondance et les taxa répertoriés. En étudiant le lien entre dynamique épibenthique et endobenthique et les facteurs environnementaux qui les régissent, il serait donc possible de déterminer si un lien entre ces deux compartiments existe.

Une méthode efficace pour observer cette dynamique est l'échantillonnage par vidéo sur de petites distances (Parry *et al.*, 2003). Un transect de 125 m suivant l'isobathe de 6-7 m de profondeur, correspondant à la même profondeur que la plateforme sous-marine d'Ocean Networks Canada, fut établi. Ce transect, échantillonné à une fine échelle, tous les 5 m, permet donc une étude à petite échelle. L'étude de la répartition de l'épifaune benthique et sa dynamique à petite échelle permettront d'améliorer notre savoir sur le fonctionnement de cet écosystème. De plus, la compréhension et l'évaluation du lien entre les deux compartiments

biologiques : épifaune, endofaune, nous permettrait possiblement de faire des prédictions quant aux assemblages dans le futur.

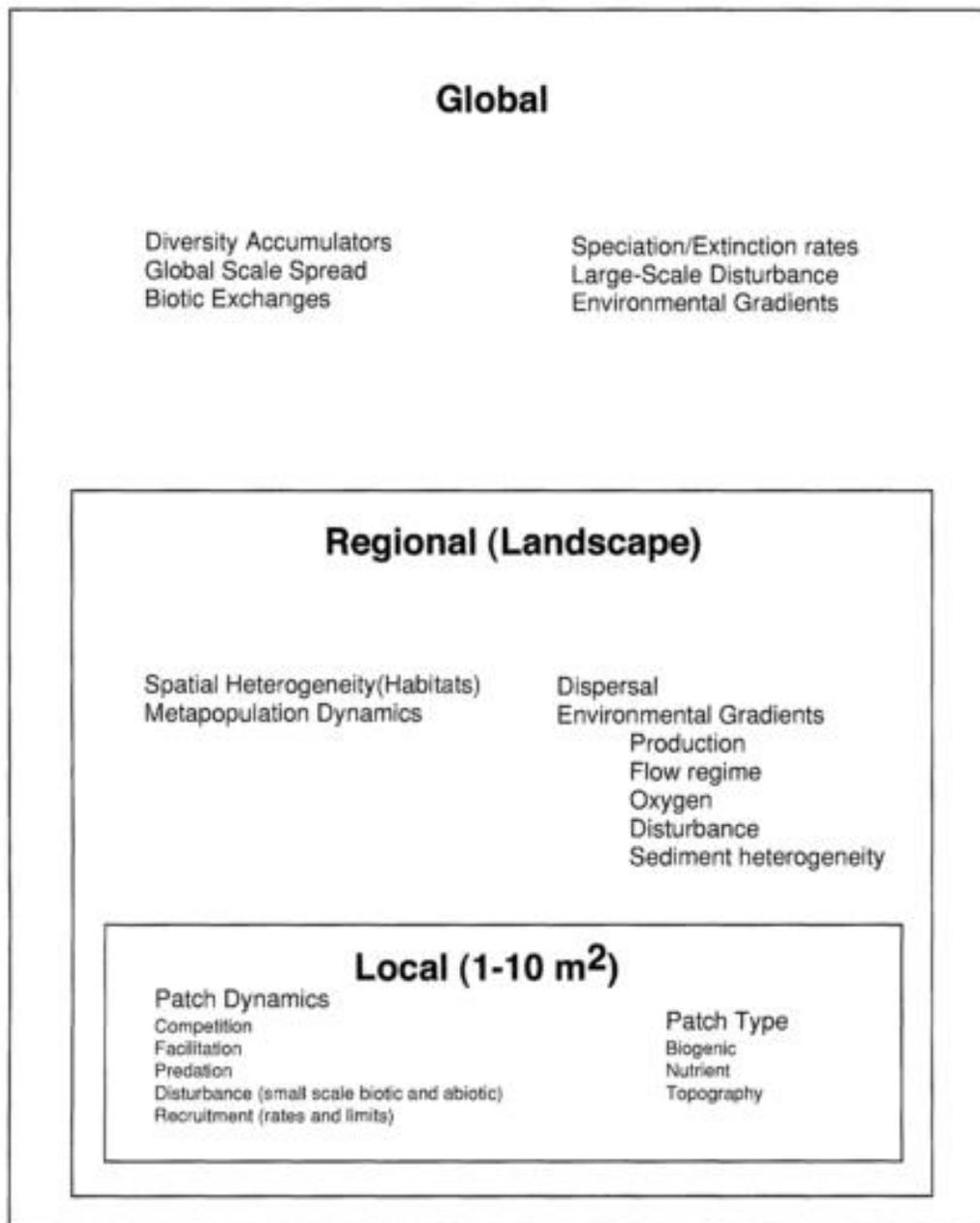


Figure 2. Schéma conceptuel des processus qui régulent la diversité à des échelles locales, régionales et globales provenant de Levin *et al.*, (2001).

1.5 AIRE D'ÉTUDE

L'aire d'étude est située à Cambridge Bay, un village localisée dans une baie au sud-est de l'île de Victoria dans l'archipel de l'Arctique canadien. L'île de Victoria fait partie du territoire du Nunavut, plus précisément de la région Kitikmeot et se situe aux coordonnées suivantes : 69°07'02"N, 105°03'11"W. Le village situé en face de la baie étudiée est élevé de 31 m au-dessus du niveau de la mer (Government of Canada, 2015). La baie de Cambridge Bay coule vers le détroit de Dease lequel se déverse par la suite dans le Golfe Queen Maud dans l'Est (Pharand et Legault, 1984, DFO, 2007). Le site d'étude est une baie peu profonde avec un maximum de profondeur allant jusqu'à 70 m (DFO, 2007). Ce lieu a été sélectionné puisque les instruments d'Ocean Networks Canada s'y trouvent, dont la plateforme sous-marine située à environ 20 m du quai à une profondeur de 6 m d'eau (**Figure 4**) (Ocean Networks Canada, 2014). Le projet d'observatoire sous-marin d'ONC a débuté vers la fin de l'année 2012. Depuis, l'ensemble des données récoltées par ces instruments sont colligées.

On peut observer des changements drastiques au niveau de la météo au cours d'une année à Cambridge Bay. Pour la période estivale, le soleil est présent 24 h sur 24 du 20 mai au 23 juillet. En décembre, c'est l'opposé avec 24 h sur 24 de noirceur. La quantité totale de précipitation pour l'année, incluant la pluie et la neige, est d'environ 142 mm par an. Ces précipitations se distribuent sur approximativement 110 jours. Durant l'été (juillet et août) les précipitations (pluie) atteignent en moyenne 70 mm par an lorsque la température se situe entre 5 et 15 °C. Pour l'hiver, environ 80 cm par an de neige tomberont principalement entre octobre et novembre. Durant ces mois, la température varie entre -25 à -35 °C et peut atteindre -60 °C lors de fort vent et de tempêtes (Nunavut tourism, 2015; The municipality of Cambridge Bay, 2015; Climate-charts, 2010; Current Results, 2016). Durant cette même période, la glace va recouvrir la baie. Le couvert sera total vers octobre et l'épaisseur atteindra autour de 2 m. Pour ce qui est du printemps, les températures jouent entre -20 et -10 °C durant le jour. La glace fond lorsque les températures dépassent 0 °C de moyenne, soit en juin (Nunavut tourism, 2015). La fonte sera complétée en juillet (Ocean Networks Canada, 2015; Ocean Networks Canada, 2014). Finalement, la baie possède des marées de faibles amplitudes à l'année. Durant les grandes marées, les eaux ne dépasseront jamais 0,84 m (DFO, 2016).

Considérant la présence de l'observatoire sous-marin d'Ocean Networks Canada (ONC), sa base de données et le fait que peu de recherches ont été effectuées dans ce secteur de l'Arctique canadien, Cambridge Bay est un lieu privilégié pour y mener une recherche sur les communautés benthiques. De surcroît, cette étude permettra de mettre de l'avant les variations temporelles à haute résolution de la communauté benthique de Cambridge Bay au cours d'une année. Peu de recherches à petite échelle ont été effectuées jusqu'à ce jour sur l'épibenthos et l'endobenthos en Arctique. Cette étude permettra de mettre de l'avant les variations naturelles à haute résolution de la dynamique des assemblages benthiques de Cambridge Bay.

1.6 OBJECTIFS

Cette étude se divise en deux objectifs principaux, soit un s'adressant à la dynamique temporelle et le second à la dynamique spatiale des assemblages de la communauté benthique de Cambridge Bay. Le premier objectif est d'analyser la variation temporelle à haute résolution de la communauté benthique. Pour ce dernier, deux sous-objectifs ont été déterminés : (1) quantifier et observer les cycles de changements temporels saisonniers de la richesse taxonomique et de l'abondance de l'épibenthos; (2) comprendre quels facteurs environnementaux affectent la dynamique temporelle de la communauté épibenthique grâce aux capteurs des propriétés de l'eau de l'observatoire (CTD). Ces objectifs seront réalisables grâce aux données amassées par la plateforme sous-marine d'Ocean Networks Canada située à Cambridge Bay, NU, pour l'année 2012-2013 (**Figure 3**. Schéma conceptuel représentant les deux chapitres du mémoire ; chapitre 1 : High resolution study of temporal variation of subtidal arctic marine benthos in cambridge Bay, Nunavut (Canada), chapitre 2 : Microscale patch dynamic of subtidal arctic marine benthos in cambridge bay, Nunavut (Canada).).

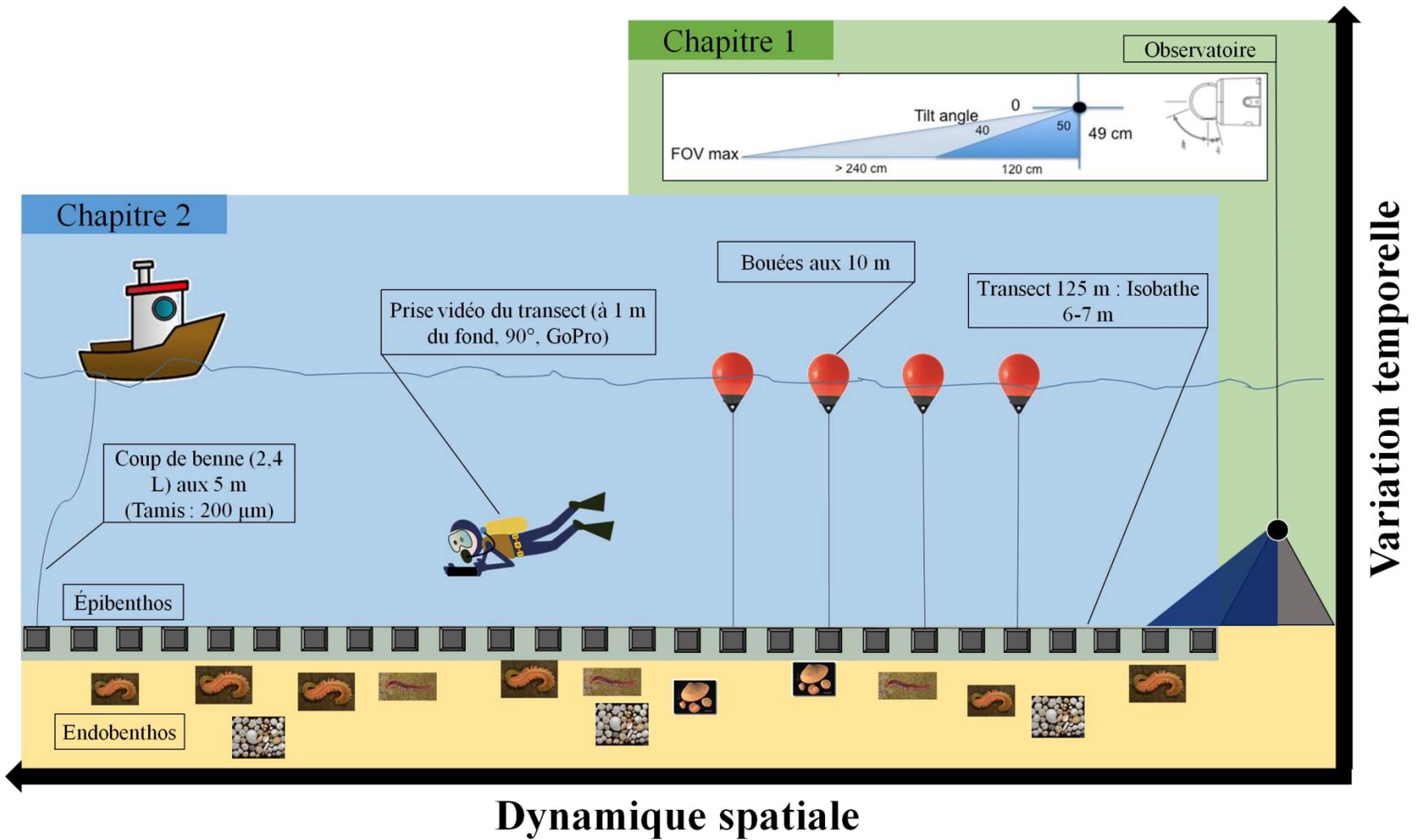


Figure 3. Schéma conceptuel représentant les deux chapitres du mémoire ; chapitre 1 : High resolution study of temporal variation of subtidal arctic marine benthos in cambridge Bay, Nunavut (Canada), chapitre 2 : Microscale patch dynamic of subtidal arctic marine benthos in cambridge bay, Nunavut (Canada).

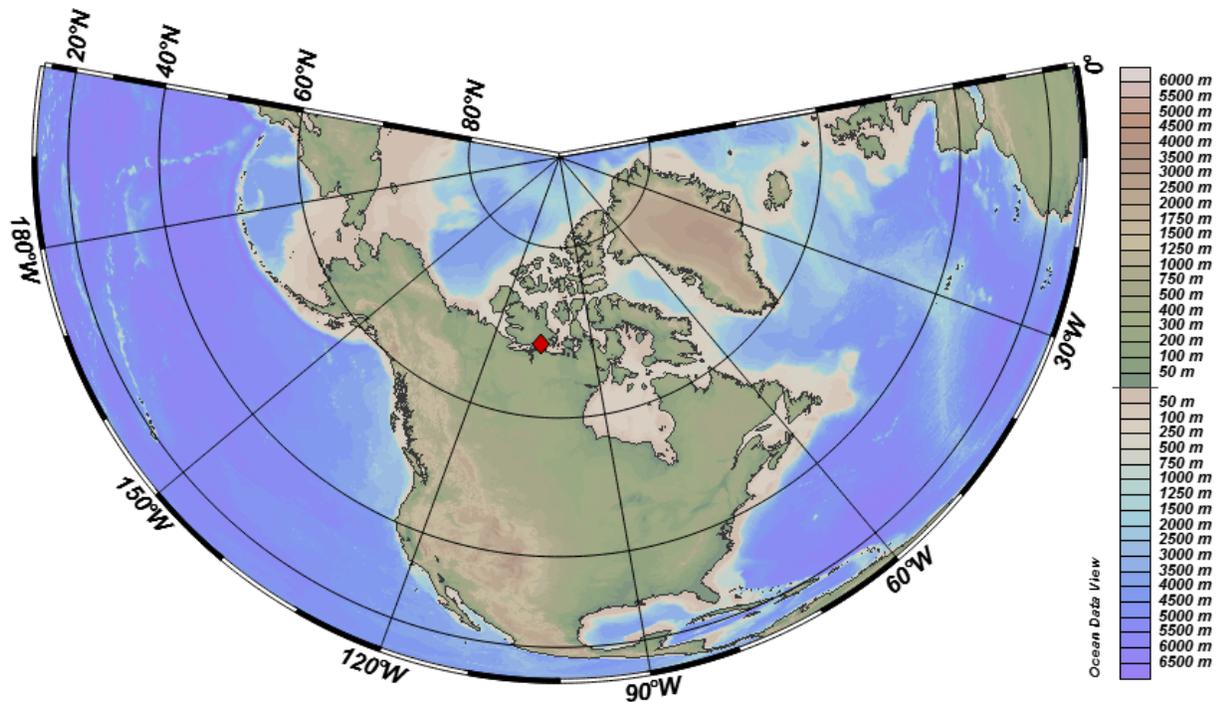


Figure 4. Carte de l'Arctique montrant la localisation de Cambridge Bay, Nunavut (diamant) à $69^{\circ}07'02''\text{N}$ $105^{\circ}03'11''\text{W}$.

Le second objectif de l'étude est d'analyser la dynamique spatiale de la communauté benthique de Cambridge Bay à partir d'un transect de 125 m établi sur l'isobathe de 6-7 m. Les sous-objectifs sont : (1) analyser la distribution naturelle des assemblages épibenthiques et endobenthiques en observant la formation d'assemblages et la présence de *hot spots/cold spots* chez l'épifaune et l'endofaune; (2) observer comment certains facteurs environnementaux tels la présence de roche, de déchets, d'algues et la variation dans la granulométrie, influencent la distribution des regroupements épibenthiques; (3) et analyser la corrélation entre les assemblages épibenthiques et endobenthiques.

1.7 HYPOTHÈSES

Pour l'analyse temporelle, nous testerons deux hypothèses selon lesquelles : (1) les caractéristiques de la communauté (la richesse et l'abondance), seront directement liées au cycle saisonnier, ainsi ses variables seront plus élevées en été, lors de la période libre de glace, que durant la période où le couvert de glace est présent alors que l'ensemble des variables seront plus stables et faibles. En raison de l'abondance accrue de nourriture, tel qu'indiqué par les teneurs en chlorophylle *a* détectées par les capteurs de l'observatoire d'Ocean Networks Canada (Ocean Networks Canada, 2014); (2) le facteur environnemental qui affectera le plus la communauté benthique sera la quantité de chlorophylle *a* qui reflète la quantité de nourriture disponible dans le milieu.

L'analyse de la dynamique de la communauté benthique a pour hypothèses : (1) que nous observerons des assemblages benthiques, ainsi que des *hot spots* et *cold spots* le long du transect pour l'endofaune et l'épifaune, cependant ceux-ci seront observés à des échelles différentes. L'épifaune démontrera des patrons à plus large échelle que l'endobenthos; (2) que la granulométrie et que la présence d'objets tels des déchets ou roches sur le fond marin influenceront la distribution des organismes (positivement à la présence de support tel déchet et roches); (3) et qu'une corrélation positive entre les assemblages de l'épi- et l'endofaune sera présente, puisque plus il y a une forte abondance et une variété d'épifaune en un endroit, plus l'endofaune sera abondant à ce même endroit. Cette étude permettra d'avoir une meilleure compréhension sur la biodiversité, la dynamique et permettra d'établir un suivi de ces communautés très importantes dans le réseau trophique (Frid et Townsend, 1989, Habeeb *et al.*, 2007). En plus de consolider nos connaissances sur la variation naturelle des communautés benthiques, ceci nous permet par la même occasion d'avoir une base solide pour comprendre et évaluer les changements qui surviennent dans l'Arctique.

Ce mémoire de maîtrise est rédigé sous forme d'article scientifique, en anglais et contient deux chapitres.

**HIGH RESOLUTION STUDY OF TEMPORAL VARIATION OF SUBTIDAL
ARCTIC MARINE BENTHOS IN CAMBRIDGE BAY, NUNAVUT (CANADA)**

**Julie-Anne Dorval¹, Philippe Archambault², Alice Olga Victoria Bui³, Fabio De Leo³, S.
Kim Juniper²**

¹ISMER, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, Québec Canada G5L 3A1

²Québec Océan, Takuvik, Université Laval, Québec, Canada, G1V 0A6

*³Ocean Networks Canada, University of Victoria, Victoria, British Columbia Canada V8W
2Y2*

Corresponding author: philippe.archambault@bio.ulaval.ca

KEY WORDS

Benthic Communities, Canadian Arctic Archipelago, Temporal, High Resolution, Cambridge Bay, Cable Observatory, Ocean Networks Canada

2.1 RÉSUMÉ

Les communautés benthiques sont de bons bioindicateurs des changements climatiques qui surviennent dans l'Arctique puisqu'elles sont majoritairement sessiles et longévives. Cependant, peu d'études à haute résolution temporelle et à long terme ont eu lieu pour comprendre la variabilité dans l'abondance et la richesse du benthos. Cette étude vise donc à quantifier la variation saisonnière de l'abondance et la diversité de la faune benthique à haute résolution temporelle au cours d'une année. L'observatoire sous-marin câblé d'Ocean Networks Canada situé à 6 m de profondeur à Cambridge Bay, Nunavut, permettra de réaliser cet objectif. La composition et l'abondance du benthos furent déterminées grâce à une caméra vidéo HD située sur la plateforme sous-marine. La caméra capture des vidéos du fond marin de 5 min, toutes les 2 h, sur l'ensemble de l'année. La plateforme est aussi équipée d'un CTD permettant d'obtenir les propriétés de l'eau en continu (température, oxygène dissout, salinité, fluorescence et turbidité, couvert de glace). Dans cette étude les résultats obtenus à l'aide des données de l'observatoire entre décembre 2012 et novembre 2013 sont présentés. Les propriétés de l'eau ont aussi été intégrées dans l'analyse des communautés benthiques pour cette même période. Les résultats démontrent que l'abondance des organismes benthiques, principalement représentée par des anémones Cerianthides et des polychètes Sabellides, atteint un maximum durant les mois d'été de l'année 2013. Le nombre de taxa varie significativement entre les saisons. Pour ce qui est des propriétés de l'eau, l'oxygène dissout couplé avec la fluorescence (Chl *a*) expliquent la majorité de la variation observée pour l'abondance entre les saisons et la salinité pour la richesse. Des études effectuées à partir de cette nouvelle technologie, nous permettent d'obtenir des informations sur les communautés benthiques côtières pour l'ensemble de l'année en Arctique.

2.2 ABSTRACT

Arctic marine benthic communities are good ecosystem change indicators because of their longevity and sessile life mode. However, very few high-resolution temporal and long-term studies have been undertaken to assess their temporal variability in benthic abundance and community structure. The objective of this study was to quantify seasonal variations in benthic faunal abundance and diversity, at a high temporal resolution, using the Ocean Networks Canada seafloor cabled observatory located at 6 m of water depth, in Cambridge Bay, Nunavut. Faunal composition and abundance were determined using an underwater HD video camera mounted on an instrument platform. The camera acquired 5 min videos of the seabed at 2 h intervals. The instrument platform was also equipped with a suite of water property sensors (temperature, dissolved oxygen, salinity, fluorescence, turbidity, and ice thickness), recording data continuously in near real time. Here we present results from data extracted from the videos, randomly selected from the archive for the period between December 2012 and November 2013. Sea water property data were also included in the community analysis for the same time period. Results show that faunal abundances, mostly represented by Cerianthid anemones and Sabellid polychaetes, peaked during summer months for the year 2013. Faunal diversity did vary significantly between seasons. Dissolved oxygen

coupled with chlorophyll *a* explained most of the variation in benthic faunal abundance, whereas salinity best explained variations in taxa richness.

2.3 INTRODUCTION

The Arctic is acknowledged as an environment that undergoes quick and radical changes, and requires particular attention from researchers. To understand the changes that have occurred, long term studies and year-round data are required. One approach to understanding how marine ecosystems are responding to changes is to do a temporal study of species diversity and abundance in benthic communities. Benthic environments are well known for their importance in marine ecosystems, their diversity, and their great potential as bioindicators. In fact, the majority of benthic species have a long-life span and are sessile, which makes them good environmental indicators (Larsen *et al.*, 2014; Moritz *et al.*, 2002; Renaud *et al.*, 2007; Roy *et al.*, 2014; Wassmann *et al.*, 2011; Darnis *et al.*, 2012; Dauvin, 2006). These organisms are already used as bioindicators for freshwater rivers and estuarine habitats in France, and Europe (EUR-Lex, 2015; Dauvin, 2006). However, in the Arctic region, the number of studies is small (Wassmann *et al.*, 2011), and temporal studies at a high resolution are scarcest, because of the required logistics (Renaud *et al.*, 2007). Indeed, the fact that the Arctic is a remote place with extreme weather conditions makes it hard to have access to resources, materials and good conditions to study adequately the seabed year round (Polyakov *et al.*, 2013). With the impact of climatic change and the low number of temporal studies, it is even more important to study temporal variation of the benthic fauna in the Arctic.

A lot of fluctuations occur in the Arctic benthic ecosystems. This is principally due to the ice cover that changes through seasons (Darnis *et al.*, 2012; Hovelsrud *et al.*, 2008; Zeller *et al.*, 2011; Link *et al.*, 2011; Renaud *et al.*, 2007). The extreme climate, characterized by a long polar winter, perennial or seasonal sea ice cover, a stratified surface layer with limited nutrients, and a pulsed cycle of primary production create unique marine ecosystems with adapted organisms (Darnis *et al.*, 2012). Ice cover, principally, plays an important role in the primary production. This variable causes a reduction of the light several months a year (up to 10 months) during the winter (Conover et Huntley, 1991; Fortier *et al.*, 2002). Since primary

production relies on the thickness and dynamic of the ice cover, the marine heterotrophs organisms in the Arctic region will depend specifically on this cycle (Grebmeier *et al.*, 1995; Fortier *et al.*, 2002; Tremblay *et al.*, 2006; Hovelsrud *et al.*, 2008; Zeller *et al.*, 2011). Melting of the ice allows, for a short period, a bloom of primary production to occur (Tremblay *et al.*, 2012), creating a great abundance of food for different levels of the trophic network. Since benthic abundance and biomass in these regions are directly fueled by this pulse in food supply, a greater abundance of primary production during summer that is not consumed in the water column before reaching the seabed, will lead to a greater organism abundance and biomass (Grebmeier et Barry, 1991). Other factors, such as the vertical variation of the water column (Mayer et Piepenburg, 1996; Roy *et al.*, 2014), sediment type, habitat heterogeneity, velocity of bottom currents, can also influence benthic communities (MacArthur *et al.*, 2010), and makes them a complex ecosystem to study.

The variation of the abundance and biodiversity of benthic organisms are difficult to predict, mainly because of their complexity and the lack of research at a high temporal resolution (Link *et al.*, 2013a; Link *et al.*, 2013b). Temporal analysis in the Arctic is interesting since there is a strong pelago-benthic coupling that creates seasonal and even inter-annual fluctuations (Grebmeier et Barry, 1991; Roy *et al.*, 2014). In fact, depending on the quantity of food available through the year, a variation in the dynamic of benthic epifauna can be noted (Hovelsrud *et al.*, 2008; Piepenburg *et al.*, 1996). With new technology available such as the marine observatory from Ocean Networks Canada (ONC) (Cambridge Bay, NU, Canada) (Ocean Networks Canada, 2014), it's now possible to obtain year round data on benthic communities. This type of data provides critical information about the ice covered period, and allows precise high definition observation of the annual cycle of the epifauna dynamics. Understanding natural variation of those communities will allow the detection of long term changes in this region of the Arctic. This will also help acquiring basic knowledge to understand the real impact of climate change on those ecosystems.

In consideration of the ONC marine platform, its database, and the lack of research in this area, Cambridge Bay is an advantageous location for studying benthic communities. In

addition, this study allows us to highlight the temporal variation at a high resolution of the dynamic of the benthic community on an annual cycle.

The principal aim of this study was to describe the temporal variation at a high resolution of the benthic communities of Cambridge Bay. In order to describe the temporal variation two objectives were defined : (1) to quantify and observe the variation of temporal cycles in a year of the abundance and biodiversity of the epifauna; (2) to understand which environmental factors affects the temporal dynamic of the epibenthic community with the help of the water property sensors on the platform. These objectives were realised with data gathered from the Ocean Networks Canada underwater platform in Cambridge Bay, for the years 2012-2013.

Two hypotheses were tested: (1) the community characteristics (i.e. taxa richness and abundance) will relate to the seasonal pattern of ice cover. Specifically, the abundance and taxa richness will be higher during the ice free period and lower and stable during the ice cover period. These fluctuations will be due to the abundance of chlorophyll *a* that is higher during the summer as indicated by the instrumentation of the observatory platform (Ocean Networks Canada, 2014); (2) therefore the environmental factor that most affects the benthic community in Cambridge Bay will be the concentration of chlorophyll *a* in the water column.

2.4 METHODOLOGY

STUDY AREA

The study was located in Cambridge Bay, more precisely on the south east of Victoria Island. This Island is situated in the Nunavut territories, in Kitikmeot region, in the Canadian Arctic (archipelago) 69°07'02"N, 105°03'11"W. Cambridge Bay opens on the Dease strait in the West that goes up to Queen Maud Gulf in the East (Pharand and Legault, 1984; DFO, 2007). The bay is a shallow area that has a maximum of 70 m depth (DFO, 2007). This location was chosen due to the available instrumentation and data from Ocean Networks Canada (ONC) underwater platform. The ONC project was officially launched in 2012 and all the data were compiled and available since to analyse the interaction of the ice sheet, water column, the

environmental factors and the fauna. These data were collected with a community-based observatory in approximately 6 m of water near the Cambridge Bay village (**Figure 5**) (Ocean Networks Canada, 2014).

The studied area has a period of light availability, during the summer, of 24 hours, which is constant from the 20th of May until the 23rd of July. The darkest period arrives in December with 24 hours of darkness. The total precipitation (rain and snow) is around 142 mm *per year*. This quantity of precipitation is distributed over 110 days on average *per year*. During summer (July and August) when the weather is around 5 and 15 °C (average of 8 °C) an average of 70 mm *per year* of rain will fall in a sparse way. During the snow period, the peak will be October till November with 80 cm *per year* on average. During winter time, the weather varies in between -25 and -35 °C, and can reach -60 °C with the wind chill factor (Nunavut tourism, 2015; The municipality of Cambridge Bay, 2015; Climate-charts, 2010; Current Results, 2016). Throughout the same period of the year, the ice will cover the bay entirely (October), and the average thickness will be around 2 m. During the springtime, temperatures will reach around -20 and -10 °C during the day (Nunavut tourism, 2015). The ice begins to melt around June and will be fully melted in July (Ocean Networks Canada, 2014; Ocean Network Canada, 2015). Cambridge Bay has low amplitude tides. The tide never exceeds 1 m even during spring tide (0.84 m) (DFO, 2016).

OBSERVATORY

The platform was installed in October 2012 (ONC workshop, 2013), and began recording on November 5th of the same year. The community-based observatory is divided in two parts, one underwater, placed in the euphotic zone, between 6-7 m dept, and the second on the wharf. Those two sections are linked by a wire which allows the data to be provided in real time (Ocean Network Canada, 2015).

The underwater platform had an HD video camera (*Video Camera – Cambridge Bay OceanCam OPT-06HDE 9300860*) that takes videos of 5 min, every 2 h, year round. To allow for better visuals of the seafloor distribution the tilt of the camera was set at 40° (**Figure 6**). A

water quality monitor (*WET Labs Water Quality Monitor 233*) that included a *WET Labs fluorometer-turbidity* and *CTD sensors* was installed on the platform to provide water properties (each water property is taken each 10 sec). The devices measured temperature ($^{\circ}\text{C}$), salinity, conductivity (S m^{-1}), dissolved oxygen (mL L^{-1}), fluorescence (*Chl a*) ($\mu\text{g L}^{-1}$) (*Fluorometer FLNTU – WET Labs ECO FLNTUS*), and turbidity (NTU). An ice profiler instrument (*Ice Profiler – ASL Shallow Water Ice Profiler 53029*) monitored the evolution of ice thickness, year-round. Camera lights (*Camera LED lights 01*) were used on the platform to allow visibility of the sea floor throughout the day. The lights were on only when videos were recorded (Ocean Network Canada, 2014).

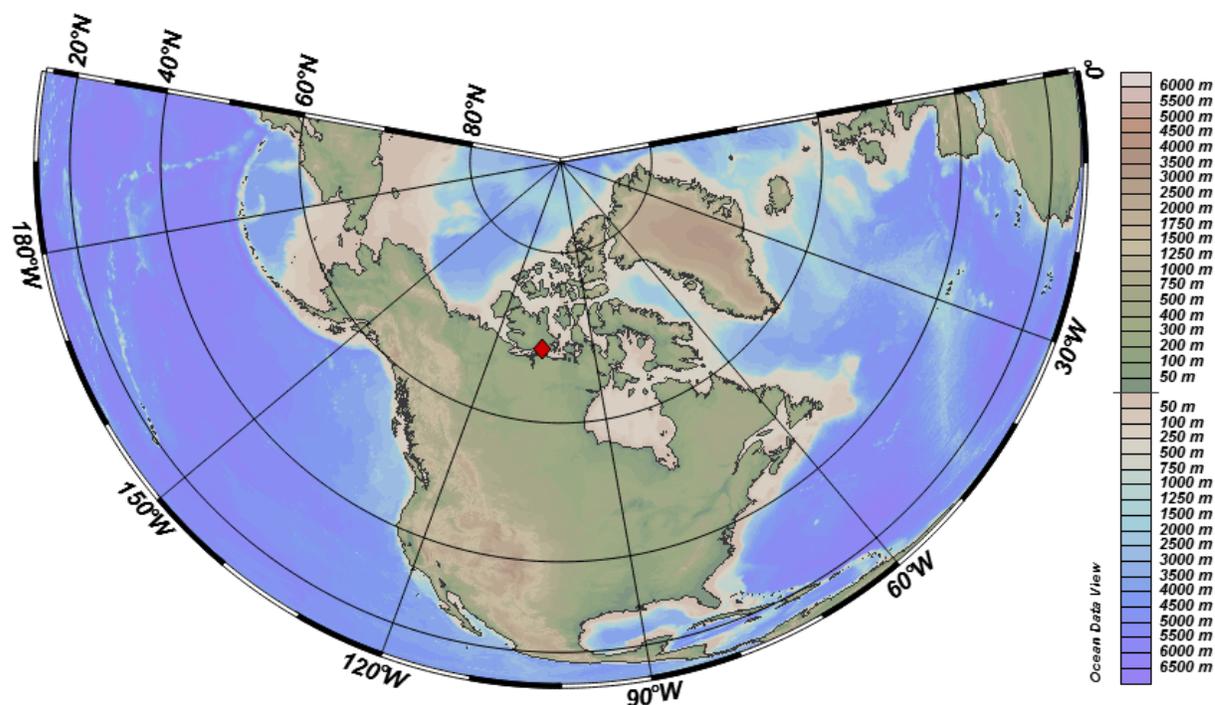


Figure 5. Arctic map showing location of Cambridge Bay, NU (Diamond) at $69^{\circ}07'02''\text{N } 105^{\circ}03'11''\text{W}$.

The underwater platform and wharf station have been operating 24h/7, year-round, since November 2012. Data from the underwater platform are transmitted from the wharf via

WiFi to a Nunavut government building in Cambridge Bay. From there, ONC servers log and transmit data via satellite to the ONC data centre at the University of Victoria (ONC workshop, 2013).

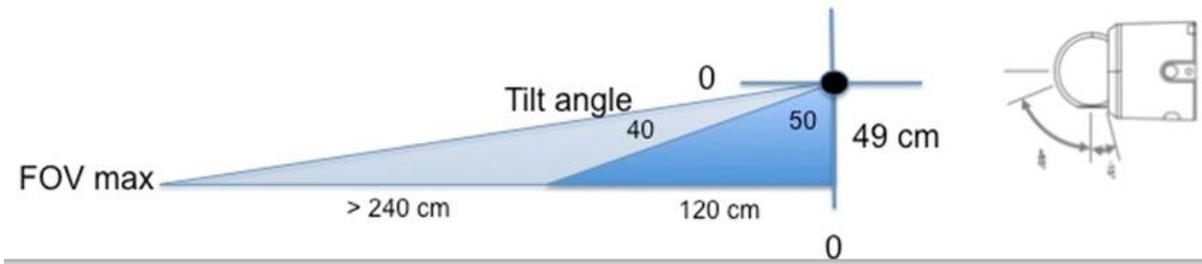


Figure 6. Underwater camera installation characteristics, for the year 2012-2013 at the Cambridge Bay observatory (Ocean Networks Canada, 2015).

SAMPLING

OBSERVATORY

To analyse the taxa richness and the abundance of macrofauna living on the seafloor, videos were used and selected randomly *per* season. This study focuses on the years 2012-2013. The years were divided by seasons: summer, June 1st to September 1st, fall, September 1st to December 1st, period of maximum ice cover or winter, December 1st to March 1st, and spring, March 1st to June 1st. The seasons were divided with the help of a figure that demonstrate variation during a full year of the ice cover (m), temperature (°C), salinity, sigma-theta (Kg m^{-3}), dissolved oxygen (mL L^{-1}) in Cambridge Bay (**Annexe 1**). The ice cover was the main factor that helped dividing the seasons. A total of 12 videos *per* season were randomly selected with the tool random numbers on *Excel*®. Each video was reviewed before they were kept on the list ($n = 48$ for the year). All of them must contain 5 min of recording to be selected and contain no glitch or failure. A total of 60 videos were analysed, counting for some extent analyses were made for the summer period of 2013. A total of 12 other videos were analysed to assert that 12 videos *per* season was enough to have a result near to the actual trend. For each video selected, the environmental data (water properties); temperature (°C), dissolved oxygen (mL L^{-1}),

salinity, conductivity ($S\ m^{-1}$), turbidity (NTU), and fluorescence (Chl *a*) ($\mu g\ L^{-1}$), were noted for the same day, hour and, minute of the video. All the environmental data and videos are available on Ocean Networks Canada website using the tool *Oceans 2.0 web tools* and *Plotting Utility* (Ocean Network Canada, 2014).

OBSERVATORY – ANALYSE

Each randomly selected video was viewed entirely on *Oceans 2.0 - SeaTube Pro* on the Ocean Networks website (Ocean Networks Canada, 2014). Fishes and mobile organisms were noted. Afterwards, a capture of the main frame of the video pointing towards the sediment was taken. Each picture underwent a color correction/adjustment on *Adobe Photoshop Element 10*® (Adobe Systems Incorporated, 2016) to obtain better definition of organisms present. After the corrections, all visible organisms were counted and identified to the lowest taxonomic level with the help of markers on *Image J* (Rasband, 1997-2015). The faunal counts from each image were saved as a *Microsoft Excel*® (2013) spreadsheet from the software *Image J*. Water properties for the same day and hour of the video analyses were also noted.

DATA ANALYSIS

A one-way MANOVA was performed with *JMP Pro 12* with the seasons (fix factor, four levels) to analyse the temporal variability of the abundance and the taxa number for the year 2012-2013. The repeated measure feature was selected also in the MANOVA because of the repeated measure nature of the sampling done with the video. The normality, sphericity, homogeneity of residuals, and multicollinearity assumptions were respected, and no transformation was required for the taxa number (Quinn et Keough, 2002). The normality of residuals was assessed by Shapiro-Wilk test ($p\ value \geq 0.05$). The homogeneity of residuals was checked with the residuals graph. For the average abundance, no transformation allowed it to respect the normality of residuals distributions condition. Since this test is robust to non-normality, it was considered respected. A repeated measures MANOVA was also performed to analyse the temporal variability of the abundance of sea anemones and polychaete. No transformation allowed to respect the normality for both variables, but was considered

respected due to the fact that MANOVA test is robust to non-normality. Univariate tests *posteriori* test were performed for all the MANOVAs. Following the MANOVAs, a Pearson correlation test was performed to determine the link in between salinity and taxa richness. Assumptions of normality (Shapiro-Wilk), homoscedasticity, and linearity were respected and no transformations were required. On another hand, a Student's T test (0.05) was performed to determine if the average of 12 or 24 randomly selected videos was enough to identify trends in abundance and the taxa richness. In other words, this was an analysis done to asses that the results coming out of a sample of 12 videos is representative enough of the real variation present in the community. The homogeneity of variance was respected; the population was normally distributed and each value was sampled independently from each other value.

An ITMC (*Information theory modelling comparison*) was used to evaluate the impact of environmental factors (independent variables - temperature ($^{\circ}\text{C}$), dissolved oxygen (mL L^{-1}), salinity, conductivity (S m^{-1}), fluorescence ($\mu\text{g L}^{-1}$) and turbidity (NTU)) on the abundance and the number of taxa (dependant variables), using *JMP Pro 12* (Lehman *et al.*, 2013; Stephens *et al.*, 2005). A multicollinearity test was performed along all seawater parameters (threshold = 0.80). The variable conductivity (S m^{-1}) was removed due to its correlation to the temperature ($^{\circ}\text{C}$) at 0.87 and the inclusion of salinity in the list of water properties. Adjusted R^2 , and a combine AIC/BIC procedure were used to determine the most parsimonious model. The use of both AIC and BIC is a current procedure in ecology since together they consider error and parsimony, and allow selection of the model with the smallest AIC and BIC (Holden *et al.*, 2008). The conditions of normality, homogeneity of residuals, collinearity and a lower number of predictors (2) compared to the number of observations (30) were met in this test (Quinn et Keough, 2002).

2.5 RESULTS

Figure 7 **Figure 28** illustrates the variation of environmental parameters for the years 2012-2013. The data gaps in September correspond to technical problems experienced with the cable. In general, the dissolved oxygen, temperature and salinity were stable during winter

and spring. The temperature average was stable during the high ice cover period with a mean of $-1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ and dissolved oxygen dropped to 6.5 mL L^{-1} for the 48 videos observed. In June, fluctuations begin to appear, along with the beginning of ice melting. In August, the temperature and chlorophyll *a* were at a maximum, while the dissolved oxygen, salinity, and ice cover were at a minimum. The chlorophyll *a* began to be abundant from April till mid- June with an average of $0.35\text{ }\mu\text{g L}^{-1}$ and reaching a peak of around $10\text{ }\mu\text{g L}^{-1}$. A pulse peak in primary production occurred by the end of July reaching up till $50\text{ }\mu\text{g L}^{-1}$. The Chl *a* then stayed high until the ice returned and covered the bay again by the end of October with an average of $0.67\text{ }\mu\text{g L}^{-1}$, but with higher maximums than spring ($18\text{ }\mu\text{g L}^{-1}$). The maximum ice cover for the year 2012-2013, was around 1.8 m.

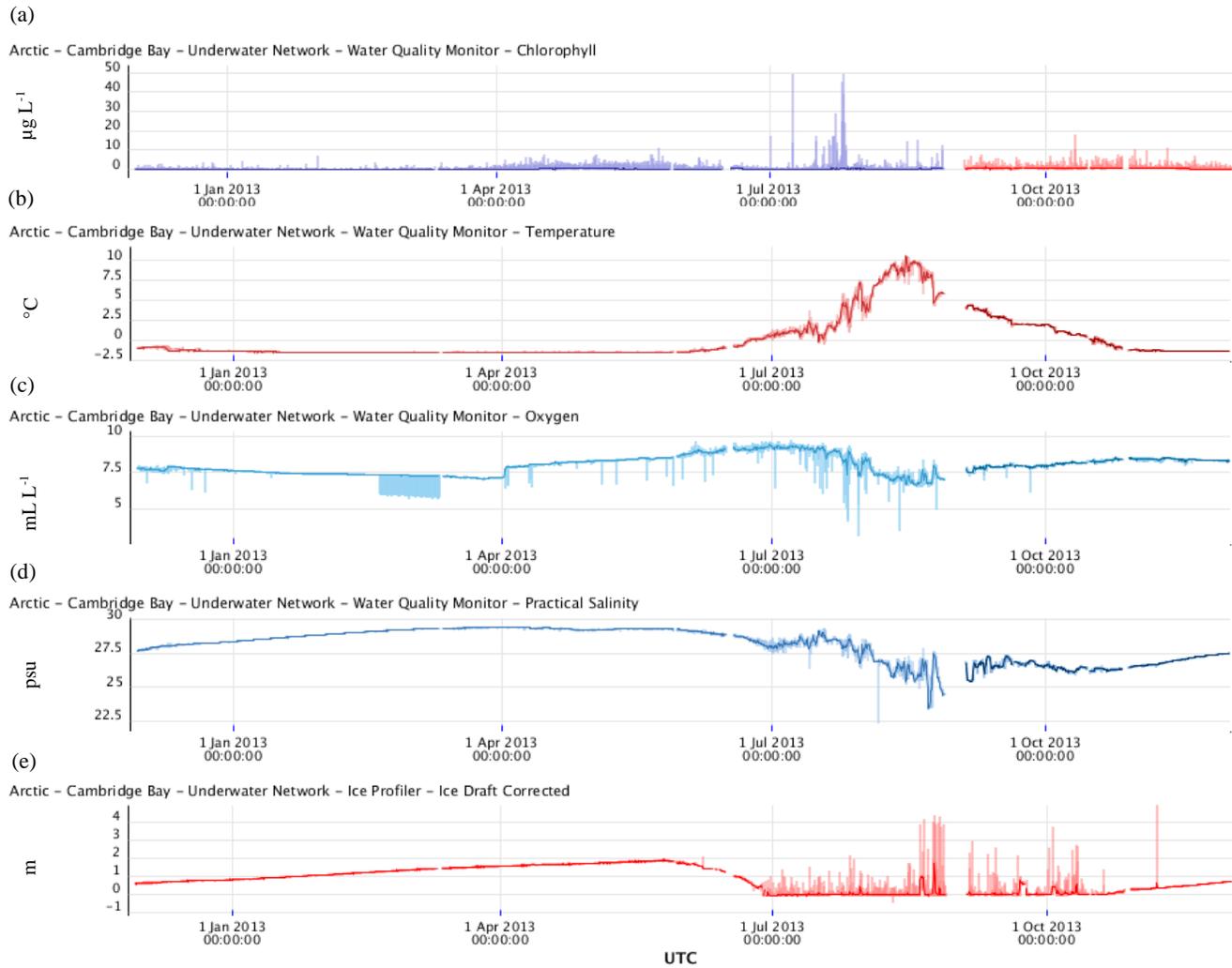


Figure 7. Variation through seasons of (a) the chlorophyll a ($\mu\text{g L}^{-1}$), (b) the temperature ($^{\circ}\text{C}$), (c) the dissolved oxygen (mL L^{-1}), (d) the salinity, and (e) ice draft corrected in 2012-2013 in Cambridge Bay, NU.

Mean number of taxa showed a significant difference between the seasons for the year 2012-2013 (MANOVA, $F_{(9, 33)} = 6.977$, $p = 0.010^*$, $n = 48$) (**Figure 8**). In more details, the average taxa number during fall (2.3), spring (3.1), and winter (2.9) are significantly different ($p < 0.05$). There is one taxon, on average, different between those seasons.

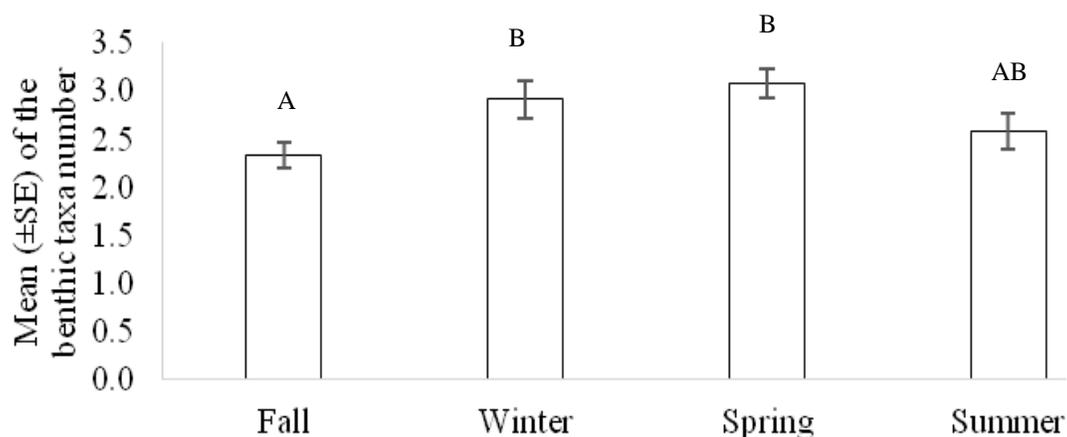


Figure 8. Mean number of benthic taxa \pm SE according to the seasons during the year 2012-2013 in Cambridge Bay, NU ($F_{(9, 33)} = 6.977$, $p = 0.010$, $n = 48$).

Salinity is the environmental factor that explained most the variability in taxa richness (Best-fit, R^2 -adjusted: 0.245) between seasons for the year 2012-2013. There was a positive linear relationship between taxa richness and average salinity ($p = 0.000$) (**Figure 9**; $Y = -6.292 + 0.319 X$ ($n = 48$)), such that the average taxa number increased with increasing salinity.

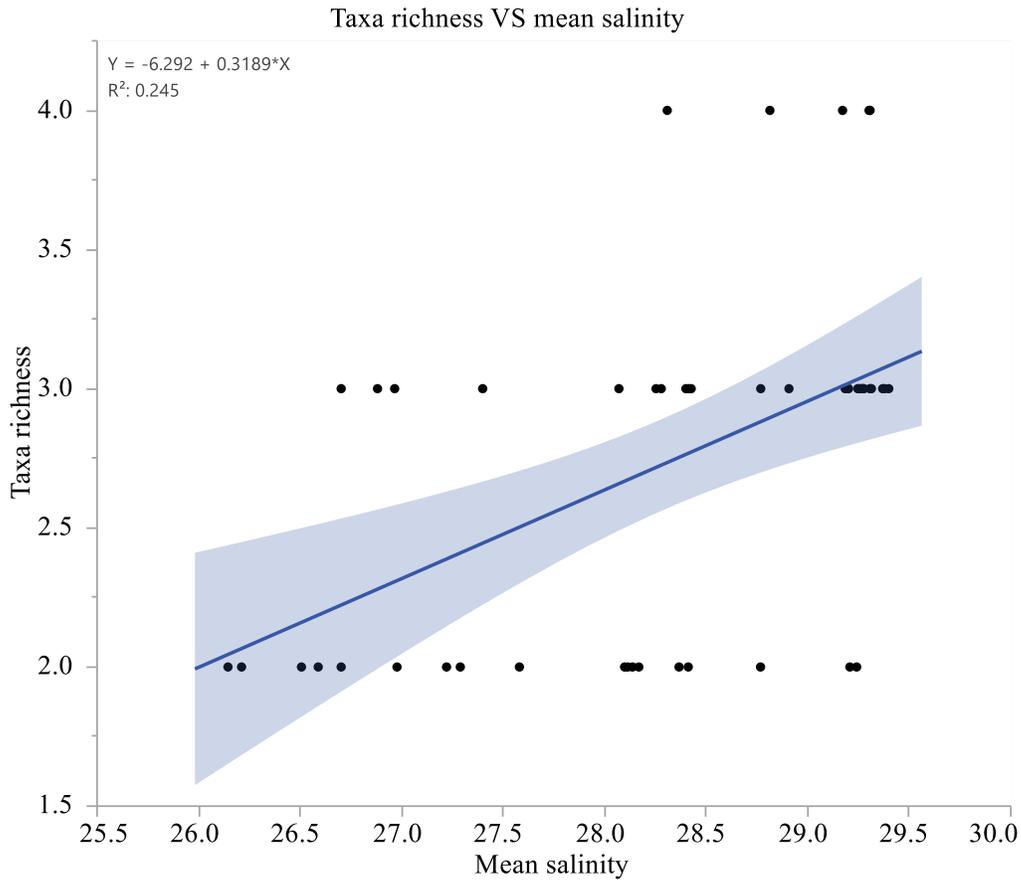


Figure 9. Correlation between the taxa richness and the mean salinity ($p = 0.000$), for the year 2012-2013 in Cambridge Bay, NU ($Y = -6.292 + 0.319 X$) (blue zone : fit zone $p = 0.05$).

Mean abundance of benthic organisms showed at least one difference between seasons (MANOVA, $F_{(9, 33)} = 23.195$, $p < 0.000$, $n = 48$) (**Figure 10**). In more detail, winter (72.0) and spring (65.8) abundances were the same, whereas fall abundances (36.3) were lower than all other seasons and summer abundance (133.4) was higher than all other seasons. The difference between the fall and the summer was approximately 100 units (unit = nb./Video) of mean abundance. **Figure 11** shows the evolution of the mean abundance of organisms during the year, where a peak of abundance was observed during summer.

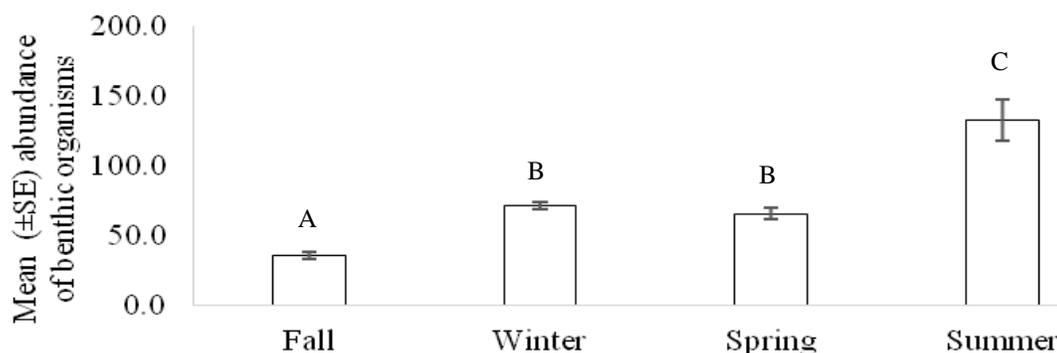


Figure 10. Mean (\pm SE) abundance of benthic organisms according to the seasons (fall, winter, spring, summer) during the year of 2012-2013 in Cambridge Bay, NU ($\sqrt[4]{}$ of the benthic abundance $F_{(9, 33)} = 23.195$, $p < 0.000$, $n = 48$).

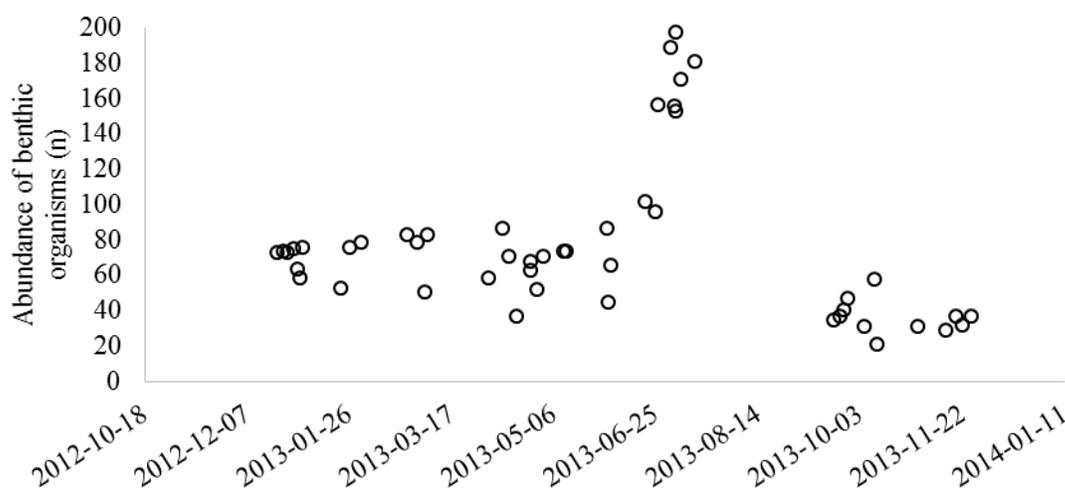


Figure 11. Time series abundance of benthic organisms for the year 2012-2013 in Cambridge Bay, NU.

Polychaete abundances varied more than anemone abundances through all seasons (**Figure 12**). Polychaetes numbers varied significantly between seasons (repeated measure MANOVA, Polychaete $F_{(9,33)} = 6.02$, $p < 0.000$, $n = 48$), with mean abundance ranging from 28 to 116 units ((unit = nb. / video). The largest variation between seasons was between fall and summer with a 58-unit difference, where summer abundances were the highest, and fall the lowest. The anemones remained under 17 mean abundance units of all year. The largest

variation between seasons for anemones was between fall and winter with an almost 10 unit difference. There was significant variation between fall, winter and summer for the anemones ($F_{(9, 33)} = 5.29$, $p < 0.000$, $n = 48$).

Figure 13 shows the variation of polychaetes along the year 2012-2013 compared to the variation of the chlorophyll *a* abundance of the same year. A higher abundance of chlorophyll *a* was observed during spring. The peak of abundance of polychaete follows during summer time.

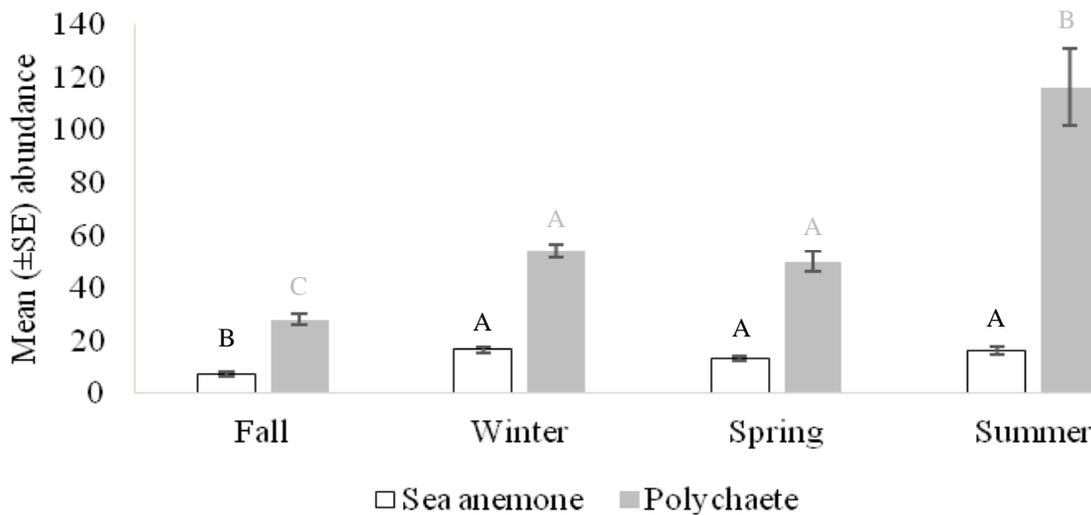


Figure 12. Mean (\pm SE) abundance of sea anemone and polychaete according to the seasons during the year of 2012-2013 in Cambridge Bay, NU (Repeated measure MANOVA: $F_{(9, 33)} = 5.29$, $p < 0.000$, $n = 48$; Polychaete $F_{(9, 33)} = 6.02$, $p < 0.000$, $n = 48$).

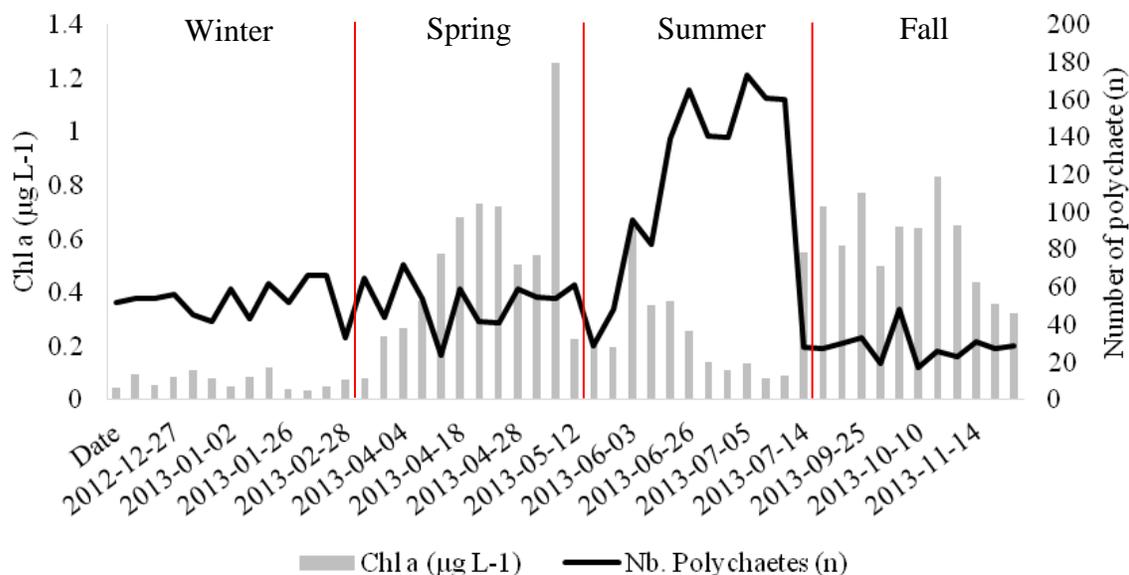


Figure 13. Temporal variation of Sabellids polychaetes compared to the mean abundance of chlorophyll *a* ($\mu\text{g L}^{-1}$) during the year 2012-2013, in Cambridge Bay, NU.

The environmental factors that explained the most variability between seasons for the total abundance were the fluorescence (Chl *a*) (Best fit, $p = 0.007$) and the dissolved oxygen (Best fit, $p = 0.00021$) with a variation explained of 0.532 (R^2 adjusted). **Figure 14** shows the link in between those variables. The Chl *a* ($\mu\text{g L}^{-1}$) and the dissolved oxygen (mL L^{-1}) were lower when the total abundance is higher. There is a high total abundance cluster present when the Chl *a* ($\mu\text{g L}^{-1}$) was low and dissolved oxygen (mL L^{-1}) high.

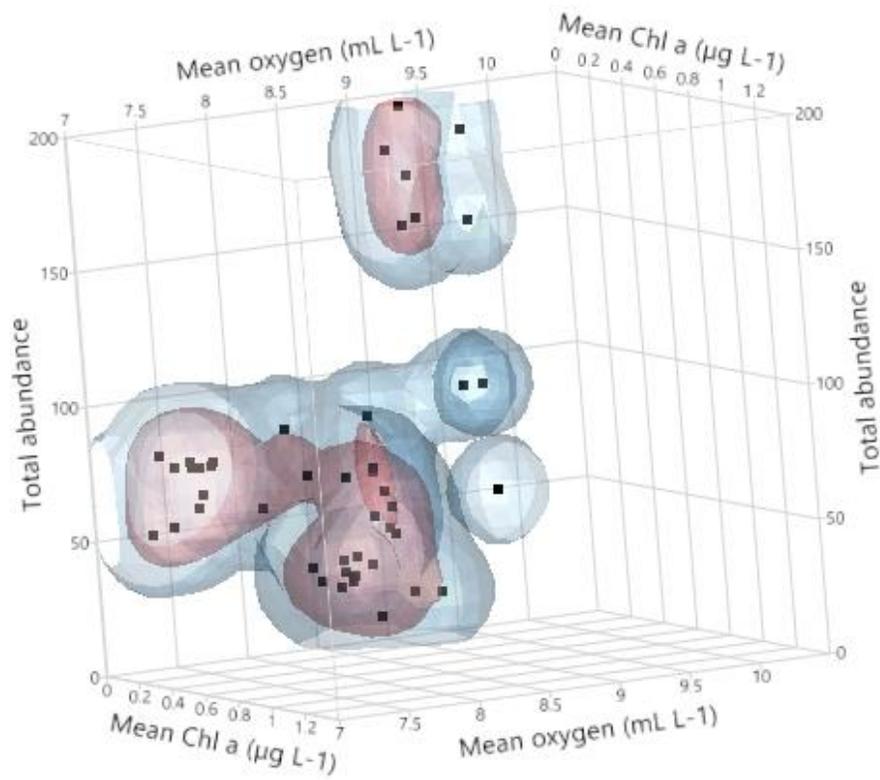


Figure 14. The total abundance of benthic organisms according to the mean chlorophyll a ($\mu\text{g L}^{-1}$) and the mean dissolved oxygen (mL L^{-1}) in Cambridge Bay, NU, for 2012-2013.

An additional 12 videos for the summer 2013 were analysed. This test was done to determine that a total of 12 videos was enough to obtain a representative average of the benthic community. The comparison between 12 and 24 videos demonstrated similar averages for the total abundance and taxa richness (12 and 24 = 133.42 – abundance / 12 = 2.58 and 24 = 2.29 - taxa number). No significant difference was observed between the average of 12 and 24 videos for the abundance (Student T test, $P(T \leq t)$ Bilateral = 1.691) and the taxa richness (Student T test, $P(T \leq t)$ Bilateral = 0.172).

2.6 DISCUSSION

The study documents the temporal variation of Arctic benthic communities from Cambridge Bay, at a high resolution for the year 2012-2013. Our results showed that the taxa richness varied significantly through seasons, with spring having the highest taxa richness. This refutes our hypothesis. Faunal abundance also significantly varied through seasons, and is highest during the summer which agrees with our hypothesis. Taxa richness variation was mainly explained by changes in salinity, which refutes the second hypothesis of food supply being the main environmental factor determining benthic community diversity. Lastly, the environmental factors that best explained faunal abundance variations were chlorophyll *a* and dissolved oxygen, supporting our hypothesis. Below we first discuss environmental variables, followed by variations in taxa richness and then abundance. Lastly, we undertake some statistical verification.

ENVIRONMENTAL PARAMETERS

Northern regions are characterised by strong seasonal changes from a total ice cover to free waters. These seasonal changes bring variability in the water column like salinity, temperatures, light levels, food supply, etc. (Grebmeier et Barry, 1991; Wassmann *et al.*, 2011; Darnis *et al.*, 2012). Overall, the CTD information confirms the trends we normally observe in Arctic waters through seasons. June is the month where all the measured environmental factors begin fluctuating, coinciding with the warming season and thus the melting of the ice. Therefore, in June, salinity dropped due to a sudden input of fresh water (Carroll et Carroll, 2003; Grebmeier et Barry, 1991), chlorophyll *a* increased with increasing irradiance through a thinner ice layer (Fortier *et al.*, 2002), and dissolved oxygen increased as a result of primary production and spring mixing supplying nutrients (Emmerson *et al.*, 2001; Danovaro, 2012; Renaud *et al.*, 2007). In this study, we observed a low and constant concentration of chlorophyll *a* during spring (~ 1 to $10 \mu\text{g L}^{-1}$) which represent a ice algae or under ice phytoplankton bloom when the ice became thinner by the end of May (Wassmann, 2011; Fortier *et al.*, 2002). Another bloom was recorded during the summer with a pulsed peak that went up to $\sim 50 \mu\text{g L}^{-1}$. This greater concentration represents the summer phytoplankton bloom

(Wassmann, 2011). During the fall, more constant Chl *a* concentrations are recorded with a few peaks (~1 to 18 $\mu\text{g L}^{-1}$), until the ice formed over the bay in late October. Chlorophyll *a* was used in this study, like many other studies, as a proxy for the availability of fresh food for benthic communities since it indicates the availability of fresh micro-algal biomass (Roy *et al.*, 2014; McArthur *et al.*, 2010; Smith *et al.*, 2006; Grebmeier *et al.*, 1988).

Dissolve oxygen (mL L^{-1}) fluctuated through time. We observed an increase in dissolved oxygen when the ice began to melt. Oxygen concentration was higher during spring when ice melting caused the water surface to be more turbulent. When the water was finally ice free, direct contact with the atmosphere increased the dissolution of atmospheric oxygen into the cold water (Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999). Later in the season, we observed a decrease in dissolved oxygen. The consumption of oxygen in soft-bottom benthic environments is linked to primary production and food resources (Link *et al.*, 2011; Link *et al.*, 2013b; Emmerson *et al.*, 2001; Danovaro, 2012). In these environments, the coupling of oxygen consumption to respiration fueled by organic matter degradation is an important ecosystem function (Clough *et al.*, 2005; Grebmeier *et al.*, 2006; Renaud *et al.*, 2007; Link *et al.*, 2011; Link *et al.*, 2013b). Therefore, as primary production increases, oxygen consumption will also increase. Also, the stratification and augmentation of the temperature of the water during the summer period will reduce the solubility of O_2 and therefore, reduce the concentration (Pörtner *et al.* 2014; Keeling *et al.*, 2010). During the total ice cover period, the water column tends to be homogenous and the environmental factors constant, compare to the summer when stratification occurs (Papiol *et al.*, 2011, Pörtner *et al.* 2014).

TAXA RICHNESS

Our initial hypothesis was that the chlorophyll *a* would relate to the variation through time of the taxa richness and abundance. This hypothesis was based on the fact that in Arctic ecosystems food availability is a major driver of diversity, abundance and taxonomic composition of benthic communities (Roy *et al.*, 2014; Grebmeier et Barry, 1991; Piepenburg *et al.*, 1997). However, the hypothesis could not be fully retained. Taxa richness was found to

vary significantly (albeit very weakly) through seasons, as hypothesized. However, spring had the highest richness, rather than summer. Finally, the main environmental factor that explained this variation was the average salinity with 25 % (R^2), and not chlorophyll *a*. The salinity alone was the best model for explaining most the variation observed; no co-variation with another environmental factor was retained as the best model. However, salinity is known to be a factor to co-vary or influence the productivity of a region (Witman *et al.*, 2008).

The number of taxa observed throughout the year 2012-2013 was low and mainly stable. A significant difference, but still minor, was observed in between fall and spring, and also between fall and winter. The recorded variation was 2 to 4 taxa between seasons and the main organisms observed in all the videos were Cerianthids anemones and Sabellids polychaetes which are sessile, suspension feeders (Dauvin, 2006; Murray *et al.*, 2011). The additional taxa that appeared less frequently were for the majority motile organisms: brittle stars, fishes, and bivalves. Therefore, taxa richness fluctuation was mainly caused by the appearance of motile species. Biomass was at its highest during summer period, when primary productivity was also at its highest, even though the richness wasn't at its full peak.

Taxa richness did not vary much in this study, but surprisingly the highest number was found during winter and spring. In a terrestrial ecosystems, if a higher productivity and nutrient availability is shown in one place, the quantity of animal and plant species will be higher as well (Tilman, 1982; Rosenzweig et Abramsky, 1993; Rosenzweig, 1995). This could also apply to temporal variation in the Polar Regions, which is why we would see a slightly different number of taxa richness during spring when the productivity of ice algae is higher. However, during winter, chlorophyll *a* concentration were very low, and therefore could not explain the slightly higher number of taxa observed during that period. Consequently, for the food supply hypothesis, one theory that could explain the general low diversity observed in the videos: greater food supply can create a high biomass ecosystem with low diversity or *vice versa*, which would be our case (Grebmeier et Barry, 1991; Levin *et al.*, 2001). Furthermore, benthic species are mainly sessile and have a long live span which can also explain their small variation through time (Wassmann *et al.*, 2011; Darnis *et al.*, 2012; Dauvin, 2006). A longer time span study could possibly provide a clearer picture of the variation of the taxa richness.

Even though food supply is probably the most influential factor causing patterns for species distribution and zonation (Cartes et Sardà, 1993; Cartes et Carrasson, 2004), there are still questions about what governs diversity, and the link between productivity, high biomass, and diversity is not clear in the Arctic (Cochrane *et al.*, 2009). In this study, salinity explained more of the small variation in taxa richness in the benthic community of Cambridge Bay, than did the food supply. Other studies have found similar results, for example Roy *et al.*, (2014) were not able to establish a direct link between primary production and the biodiversity of megabenthic communities in a larger scale study, and Cusson *et al.*, (2007) showed that salinity gradient is an important factor in the Canadian Arctic for explaining biodiversity pattern. Witman *et al.*, (2008) mentioned that it would be important to evaluate the impact of productivity-biodiversity in coastal environment where the input of freshwater can create a great variation in the salinity. In this study we observed a great variation of the salinity through the seasons due to sea ice melt and formation. The maximum salinity went nearly up to 29 and dropped to almost 22.5 during summer. The link detected between taxa richness and average salinity is positive, which means that if the salinity increases the taxa richness will also increase. This coincides with the results of Ardisson and Bourget (1992) that observed a decrease in taxa richness along the salinity gradient. Since Cambridge Bay is mainly influenced by coastal arctic waters, the types of organisms that we find are mostly marine organisms. Therefore, the augmentation of salinity during the highest ice cover period could allow more sensitive species, thus stenohaline species living more offshore, to visit the site. As for summer time, only resistant organisms could survive the salinity change. Motile organisms, such as ophiuroids will be observed during this period. It is also known that this taxa category feeds on ice algae (Renaud *et al.*, 2007), which are abundant during that period. Papiol *et al.* (2011), also found that temperature and salinity near the seabed were important environmental factors for explaining changes of megafauna assemblages, biomass and diversity. Therefore, salinity explains the variation of taxa richness observed in this study, than the food availability.

Stratification of the water column, which is influenced by salinity and temperature, can also be an important factor that influences the flux of carbon (Wassmann, 2011; Papiol *et al.*, 2011). Salinity and temperature affect the type and quality of food reaching the seabed,

therefore the type of feeders (Papiol *et al.*, 2011). During summer, the water column is more heterogeneous than during winter when the water is more homogenous. This change in the water during winter leads in general to smaller abundance, and therefore can also lead to a less diversified community (Levin *et al.*, 2001). However, in our case, the study site is in a shallow environment where the stratification will affect only slightly the benthic community. The shallow waters of Cambridge Bay, are affected by a large gradient of salinity during spring time. Freshwater discharge causing a large drop in salinity in the bay could be an important stress on the infratidal benthic communities adapted to certain salinity (Witman et Grange, 1998). Therefore, even if the stratification in itself doesn't affect organisms living near the surface, the changes in salinity could cause losses in marine taxa richness, or simply regulates it through time (Remane et Schlieper, 1971; Crain *et al.*, 2004).

Current patterns are also known to influence richness and type of organisms present in benthic communities, and could have influenced the taxa richness (Cochrane *et al.*, 2009). Cochrane *et al.* (2009) mentioned in his study that some areas of equal production are more diversified due to the currents. In our case, the great proportion of suspender feeders might indicate good bottom currents (Soltwedel *et al.*, 2009; Cochrane *et al.*, 2009), and a good amount of particles which is confirmed by the chl *a* abundance in the area. The local current pattern around the observatory could have been influenced by its location near a wharf. Artificial structures or reefs have an impact on the local area surrounding it (Barros *et al.*, 2001). The study of Ambrose and Anderson (1990) showed that a rocky reef impacts the local soft-bottom fauna by enhancing or reducing the abundance and diversity of certain taxa. Since the observatory is in a 20 meter radius from the wharf, physical processes like the concentration of waves, and the grain size can be affected, as biological processes, like a higher presence of predators (Posey et Ambrose Jr., 1994; Barros *et al.*, 2001). The physical processes near a reef or artificial structures will enhance the resuspension of fine particles due to the concentration of currents around the structure (Barros *et al.*, 2001). We could observe in an area of 125 meters around the wharf that coarser sediments were present in the wharf area than further on (**Annexe 7**). This confirms that stronger bottom currents are present near the observatory, probably due to the wharf presence, and could explain why we can observe high taxon dominance in the

studied region, with a low diversity. The two main taxa observed are Ceriantids anemones and Sabellids polychaete which are suspender feeders (Dauvin, 2006; Murray *et al.*, 2011).

Natural reefs attract, in general, a high number of predators, and so do artificial structures. The wharf could have influence the abundance of fishes, and other predators of benthic fauna. If the number of predator is high, the pressure on the abundance and the taxa richness is also higher, and can impact the benthic assemblages (Frazer *et al.*, 1991; Davis *et al.*, 1982). In our videos, the main taxa easily identified as predators were fishes and ophiurids. Unfortunately, no predating behaviour was observed in the videos picked for this study. Therefore, even though the predation can impact seriously the richness (Davis *et al.*, 1982) this avenue cannot be explored as a potential explication for this study. On another hand, it is possible to affirm that the taxa richness during summer time being slightly lower than spring and winter, and fall being significantly lower could be a result of competition. The higher abundance of organisms during summer time could create a competition for resources, and therefore help creating the taxa dominance that we observe in our study (Rosenzweig *et al.*, 1993; Levin *et al.*, 2001).

ABUNDANCE

Our initial hypothesis was confirmed, the total abundance showed a significant difference between seasons, and the highest abundance recorded is during the summer period. The dissolved oxygen coupled with fluorescence are the main environmental factors to explain the abundance variation in this community. Oxygen is an essential environmental factor for the majority of sea life. The quantity of dissolved oxygen in sea water depends on multiple factors, like the temperature, salinity, ice cover, biological processes, etc. When photosynthesis occurs in the euphotic zone, during summer, oxygen-releasing processes ensue. A net production of oxygen will occur when the respiration is exceeded by photosynthesis (Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999). In Beaufort Sea, it was demonstrated that when an ice algal bloom occurs, benthic oxygen demand will increase (Renaud *et al.*, 2007). We could observe the same pattern in this study where the oxygen is higher during the ice

melting period and lower when the primary production is at its highest. Also with a high number of benthic organisms, consumption of the oxygen as well at the primary production will be elevated (Renaud *et al.*, 2007).

The peak in abundance seems to be also explained by the concordance in time of the peak of chlorophyll *a* and the beginning of total ice free period in July (**Figure 7**). This also endorses the hypothesis that if there is a great abundance of food, a high abundance of organisms should be observed as well (Grebmeier et Barry, 1991). Consequently, this confirms the impact of seasonality of carbon input to benthic communities. Very low quantity of chlorophyll *a* during winter, which reduces the input of carbon to benthic communities, will affect negatively the abundance of organisms. On the other hand, a pulse input of food during summer will increase the abundance of the epifauna. When the chlorophyll *a* and dissolved oxygen decrease, an augmentation of abundance is noticed. More precisely, the ice algae are an important input of food for benthic communities, before the summer bloom, since it sinks rapidly (Carroll et Carroll, 2003). The abundance of organisms drastically changes when the water is ice free. Thus, it shows that ice algae that migrate to the seabed could explain the increase of abundance before the Chl *a* achieved its largest peak by the end of July. Accordingly, at a small-scale study, the amount of food reaching the seabed is positively influencing and correlated to the abundance and biomass of benthic communities (Carroll *et al.*, 2008; Piepenburg *et al.*, 1997; Roy *et al.*, 2014). Several researchers have also confirmed the link between the oxygen demand and the feeding activities of the benthic communities. The epibenthic community will be more active during the peak of primary production, therefore causing more bioturbation at the surface, which will alter the biological and geochemical structure of the sediment (Lohrer *et al.*, 2004; Ambrose, 1993; Solan *et al.*, 2004). All those activities are fuel by oxygen; therefore its availability might limit the metabolic activity when the abundance is high (Klages *et al.*, 2004). This explains the link between the high abundance, chl *a*, and low dissolved oxygen during summer time. Lastly, we could not observe the precise variation happening during the end of July and the month of August due to technical problems, but we have enough data to observe the peak of abundance during the summer period.

On another hand, we cannot assure that the concordance or the chl *a* peak was what created the high abundance of benthic organisms during summer time. The “lag” between the peak of chl *a*, and abundance observed in our study is also shown in other arctic research (Link *et al.*, 2011). Even though this lag could represent a normal delay, we can't confirm it for this study. Thus, the lag between the food input and the peak of abundance could also be a result of a mismatched primary production bloom with the zooplankton. When a shift occurs in between the grazing of zooplankton and the primary production bloom during spring/summer time, a bigger export to the sea floor, therefore to the benthic community, happens (Wassmann *et al.*, 2006). A bigger food input will increase the benthic activities in general (ex. feeding and respiration) (Renaud *et al.*, 2007). Enhanced benthic respiration was linked to a higher quality of nutrients in a study by Morata and Renaud (2008), showing that a better food quality that reaches the sea floor is link to a higher respiration rate. Since we observed similar results, the mismatch option can also be considered. Therefore, primary production input should be a great addition to further study of this benthic community to assess these hypothesis.

The abundance was at its lowest during fall, which goes against the hypothesis. There are two main factors that could explain this phenomenon. First, environmental factors, like food availability and quality might have caused that drastic loss of organisms. During fall, the food shifts from autotrophs to heterotrophs. This is principally characterized by regenerated production that is controlled by the limitation of nutrients due to the stratification. The food supply is degraded and the quality is lower than the primary production observed in summer, and the ice algae in spring and winter (Carroll et Carroll, 2003; Wassmann et Reigstad, 2011; Reigstad *et al.*, 2008). Secondly, there could be a biological factor influencing the abundance of organisms like predation and mortality. When the abundance of organisms reaches its maximum, predation pressure is higher (Menge et Sutherland, 1987). Like mentioned in the previous section, no predation activities could be observed in the videos. Consequently, this avenue cannot be explored as a potential explication for this section also. On another hand, with the quantity and quality of food diminishing, competition for space and mortality rate could influence the abundance of organisms observed during fall (Menge et Sutherland, 1987). The results of this study show a slightly lower number of taxa during the summer time where

the abundance is at its maximum. Consequently, the competition for space and resources could have been at its maximum during this season, resulting in taxa dominance (Rosenzweig et Abramsky, 1993; Levin *et al.*, 2001). As a result, the competition rate during summer time, and the pulse of degraded matter (Wassmann et Reigstad, 2011), might have influence negatively the abundance of organisms during fall.

The variation in abundance observed through time is mainly due to the Sabellid polychaetes (**Figure 12**). This variation observed cannot be directly explained by the life cycle of those organisms since it is fairly unknown, and since we cannot further identify these organisms adequately on the pictures. On the other hand, we could observe that the abundance of polychaetes was directly related to the variation of chlorophyll *a* in time. What seems to be a normal delay between a small peak of chlorophyll *a* and then the abundance of Sabellids polychaetes can be seen in **Figure 13** compared to the Wassmann et Reigstad, (2011) figure 2. Levin *et al.*, (2001) also demonstrated, but in deep-sea habitats, that the polychaete number are positively related to the particulate organic carbon flux (POC). Consequently, after analysing all the results, we can affirm that the chlorophyll *a* is the major driver of abundance variation through time in this study.

2.7 CONCLUSION

Arctic marine benthic communities are subject to strong seasonal variability in environmental factors such as light, primary productivity, ice cover, salinity and temperature (Bêche *et al.*, 2006; Renaud *et al.*, 2007; Wassmann, 2011; Roy *et al.*, 2014). This study of a shallow subtidal benthic community demonstrates significant seasonal variations in taxa richness and abundance. The taxa richness variation is very weak compare to abundance variation, as expected. We are able to validate our initial hypothesis that epifaunal abundance is at its highest during the summer period. This small community observed was mainly composed of Cerianthid anemones and Sabellid polychaetes. Based on our findings, the environmental factors that are affecting the abundance variation was the dissolved oxygen and the chlorophyll *a*. Salinity, on another hand, would explain the weak variation observed

through time for taxa richness. Winter time benthic communities, which are rarely studied, showed a constant and low taxa richness and abundance. High resolution studies permit a better understanding of the natural variation through time of arctic benthic communities.

With the development of new technologies such as underwater platforms and buoys, long-term monitoring in the Arctic water is now possible. These tools allow us to monitor an extreme and difficult environment in a way we could not before. Time-series observatory studies in particular provide otherwise unavailable insight into the natural variability of benthic communities. Knowledge of the natural dynamics of these communities is critical to understanding and quantifying future changes in the Arctic.

**MICROSCALE PATCH DYNAMIC OF SUBTIDAL ARCTIC MARINE
BENTHOS IN CAMBRIDGE BAY, NUNAVUT (CANADA)**

**Julie-Anne Dorval¹, Philippe Archambault², Marie-Josée Fortin³, Alice Olga Victoria
Bui⁴, Fabio De Leo⁴, S. Kim Juniper⁴**

¹ISMER, Université du Québec à Rimouski, Rimouski, Québec Canada G5L 3A1

²Québec Océan, Takuvik, Université Laval, Québec, Canada, G1V 0A6

³University of Toronto, Toronto, Ontario, Canada, M5S 3G5

*⁴Ocean Networks Canada, University of Victoria, Victoria, British Columbia Canada V8W
2Y2*

Corresponding author: philippe.archambault@bio.ulaval.ca

KEY WORDS

Benthos, Arctic, Subtidal, Patch dynamic, Microscale, Transect, Cambridge Bay

3.1 RÉSUMÉ

Dans l'Arctique, la distribution spatiale hétérogène des organismes benthiques est bien connue et n'est pas un phénomène d'intérêt nouveau. La cause de dispersion et d'agrégation spécifique a souvent été étudiée, mais la majorité de ces études furent établies à grandes échelles spatiales (km). Ainsi, en raison de la complexité de l'environnement benthique, le manque de recherches à petite échelle (m), la dynamique des assemblages des communautés benthiques est très difficile à prédire. Ce projet vise à comprendre la dynamique et la relation des assemblages benthiques de l'épifaune et de l'endofaune à petite échelle (m) dans l'Arctique canadien. Dans cette étude un transect de 125 m suivant l'isobathe de 6-7 m fut étudié à Cambridge Bay, NU. Le transect fut filmé et des échantillons de benthos furent récoltés tous les 5 m. Une mosaïque fut créée à partir de la vidéo du transect et a permis l'analyse de la distribution de l'épifaune. L'ensemble des organismes furent identifiés et marqués sur la mosaïque. Ceci a permis de créer une base de données d'environ 13 400 organismes géoréférencés. Avec les échantillons de benthos, nous avons pu étudier les assemblages et la distribution de l'endofaune le long du transect. Les résultats démontrent un assemblage constant chez l'épifaune, tandis que l'endofaune démontre un changement au niveau des assemblages le long du transect. La granulométrie semble être le facteur environnemental expliquant le plus significativement la variation chez l'épifaune et l'endofaune. Un lien entre l'épifaune et l'endofaune fut noté à cette échelle. Ce type d'étude permet d'obtenir des informations à haute définition sur la distribution du benthos.

3.2 ABSTRACT

Interest in the heterogeneous distribution of benthic organisms in the Arctic is not new. The causes of specific dispersion and aggregation have been studied mainly at large scale (km). Therefore, because of the complexity of benthic environment, the lack of small scale study (m), the patch dynamic of benthic communities is hard to predict. This study focuses on understanding the dynamic of epifauna and infauna assemblages at a small scale (m) in the Canadian Arctic. In this study a 125 m transect following the 6-7 m isobaths was established in Cambridge Bay, NU. This transect was filmed, and benthic samples were taken each 5 m. A mosaic of the transect were created with the video and allowed to analyse the epifauna distribution. All the organisms were identified and marked on the mosaic, which created a database of nearly 13,400 georeferenced organisms. The assemblages and distribution of the infauna were analysed with the mud samples. The results show that the epifauna has a constant assemblage composition at this scale. In contrast, a shift in the assemblages was observed for the infauna. Granulometry explained most of the variations observed for the epifauna and infauna. A link between the epifauna and infauna was identified at this scale. Small scale studies of the arctic benthos allow us to understand the dynamic of those communities at a high definition level.

3.3 INTRODUCTION

L'environnement benthique arctique est bien connu pour sa diversité et son importance dans l'écosystème marin. Puisque la majorité des espèces benthiques sont pérennes et sessiles, elles sont de bons bioindicateurs sur l'état d'un milieu, et par conséquent, pour l'observation de l'impact des changements climatiques (Darnis *et al.*, 2012, Grebmeier et Barry, 1991, Hovelsrud *et al.*, 2008, Larsen *et al.*, 2014, Moritz *et al.*, 2002, Piepenburg *et al.*, 1996, Renaud *et al.*, 2007, Roy *et al.*, 2014, Wassmann *et al.*, 2011, Zeller *et al.*, 2011). Dans l'environnement arctique, les marges continentales sont des zones de forte productivité, d'abondance et de biomasse dues à l'important couplage pélogo-benthique. Les marges continentales de l'Arctique représentent 25 % des côtes mondiales et elles sont accessibles ce qui en font un lieu privilégié pour étudier les communautés benthiques (Darnis *et al.*, 2012, Grebmeier et Barry, 1991, Hovelsrud *et al.*, 2008, Larsen *et al.*, 2014, Moritz *et al.*, 2002, Piepenburg *et al.*, 1996, Renaud *et al.*, 2007, Roy *et al.*, 2014, Wassmann *et al.*, 2011, Zeller *et al.*, 2011, Grebmeier *et al.*, 1989). Comprendre les variations observées pour une communauté benthique et les processus causant ces variations est un important but en écologie (Witman *et al.*, 2008). De plus, amasser du savoir sur ces processus aide à construire des théories générales sur la diversité de ces mêmes communautés (Ricklefs, 1987; Whittaker *et al.*, 2001). Des études sur les écosystèmes terrestres et marin ont démontré que la relation productivité-diversité est dépendante de l'échelle (Chase et Leibold, 2002; Scheiner et Jones, 2002 ; Witman *et al.*, 2008). Ainsi, il est pertinent d'aller observer si ce même lien est présent pour les écosystèmes marins et de comprendre les processus majeurs sous-jacents pour différentes échelles. Puisque les communautés benthiques sont une importante fraction de l'écosystème marin, amasser de l'information sur sa variabilité naturelle au niveau des marges continentales permettrait d'émettre de meilleures prédictions et extrapolations dans le futur (Nephtin *et al.*, 2014). En effet, des outils plus performants pourront être développés à partir de ce savoir pour prédire les changements climatiques. Il est d'autant plus important d'amasser des données puisqu'à notre connaissance, très peu d'études à haute résolution spatiale sur la dynamique des communautés benthiques arctiques infratidales existent.

L'hétérogénéité de la distribution du benthos est maintenant chose connue et l'intérêt auprès des chercheurs n'est pas un phénomène nouveau (Morrisey *et al.*, 1992, Ellingsen *et al.*, 2007). La cause de dispersion et d'agrégation spécifique fut étudiée à maintes reprises, cependant, ce type d'études dans l'Arctique est, pour la majorité, adressé à de larges échelles spatiales selon les processus à large échelle (Paiva, 2000). Un besoin de mieux comprendre les assemblages benthiques locaux, selon les processus locaux, est présent. Il est connu que les facteurs abiotiques tel un gradient environnemental va principalement contribuer à la formation de patron chez les communautés benthiques à de larges échelles (Morrisey *et al.*, 1992, Roy *et al.*, 2014). À de petites échelles (mésos- à micro-), les facteurs biotiques, telle la quantité de nourriture, et les facteurs abiotiques, telle la disponibilité d'habitat, vont influencer la dispersion et la formation de patron (Grebmeier et Barry, 1991, Piepenburg *et al.*, 1996, Paiva, 2000, Roy *et al.*, 2014). Un type de patron qui peut être observé est la forte concentration d'organismes en un même endroit ou la quasi-absence d'organismes pour d'autres. Un secteur où l'on observe une production très élevée ou une concentration très élevée de diversité et d'abondance benthique en un point précis se nomme *Hot spot* (Marchese, 2014).

Ainsi, la variation de paramètres environnementaux va forger le type de communauté benthique que l'on peut trouver. En effet, la saisonnalité, la disponibilité de nourriture, le couvert de glace, la variation des courants de fond, la granulométrie et le type de substrats (substrat dur, substrat mou, zone mixte, etc.), et la variation des facteurs environnementaux tels la salinité, la température, l'oxygène dissout, la turbidité, etc. vont permettre la création de différents assemblages chez les communautés benthiques arctiques côtières (**Figure 15**. Figure conceptuelle démontrant les résultats principaux de Roy *et al.*, (2014) des facteurs environnementaux qui structure les communautés benthiques dans l'Arctique canadien selon les échelles spatiales et temporelles.) (Blanchard *et al.*, 2013; Wassmann et Reigstad, 2011; Paiva, 2001; Grebmeier *et al.*, 2006; Grebmeier *et al.*, 1989; Eckman, 1983).

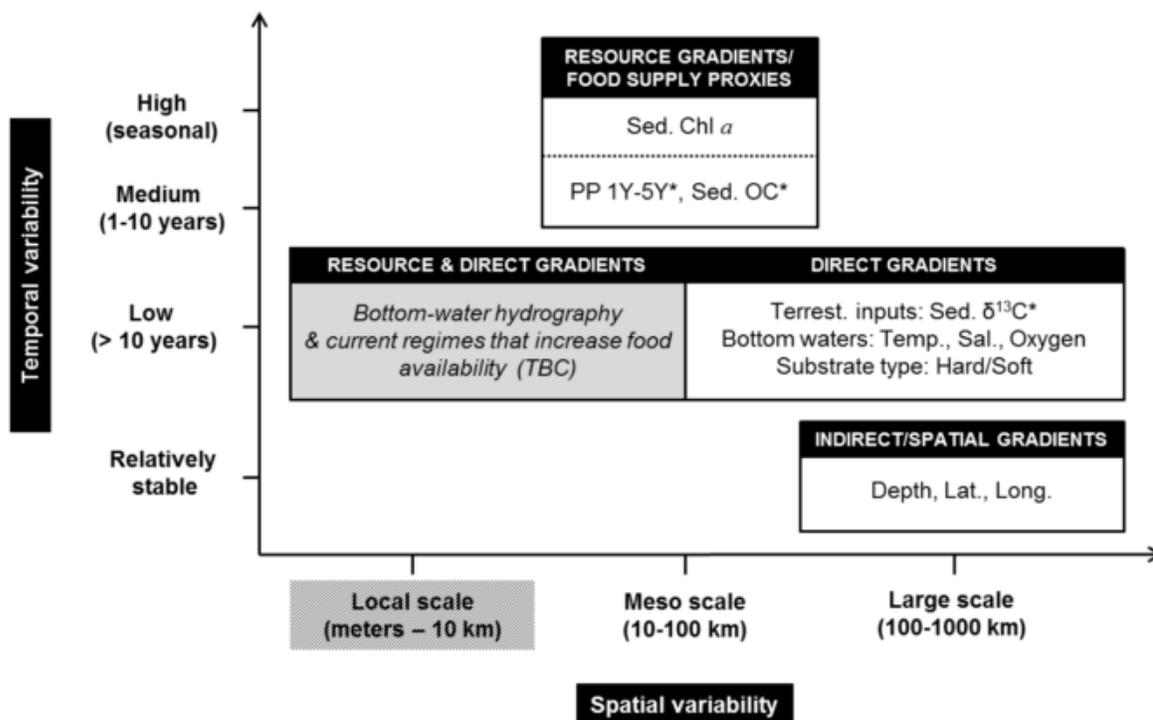


Figure 15. Figure conceptuelle démontrant les résultats principaux de Roy *et al.*, (2014) des facteurs environnementaux qui structure les communautés benthiques dans l'Arctique canadien selon les échelles spatiales et temporelles.

À l'opposé, la répartition spatiale et la densité d'organismes benthiques à une petite échelle pourraient affecter l'environnement immédiat, tel l'hydrodynamisme, la création d'habitats et de supports, ainsi que la rétention et l'érosion du substrat (Eckman, 1983). Des études ont démontré l'impact de la mégafaune épibenthique sur son environnement à petite-échelle (bioturbation, bioirrigation) (Huttel et Gust, 1992; Guillén *et al.*, 2008). Dans un habitat homogène, la mégafaune peut créer des reliefs au niveau du substrat (fosses, monticules, traces) qui vont augmenter l'hétérogénéité d'un petit biota (Soltwedel et Vopel, 2001; Quéric et Soltwedel, 2007). De plus, la présence d'organismes structurellement complexes va aussi augmenter la tridimensionnalité de l'habitat (Soltwel *et al.*, 2009). Pour ce qui est de l'endofaune, celui-ci peut être grandement affecté par la granulométrie du substrat et ce que l'on peut retrouver sur le substrat aussi (roches, débris, etc.) (Snelgrove, 2001; Grebmeier *et*

al., 1989). La taille des grains et la quantité de matière organique va déterminer quels organismes endobenthiques vont coloniser l'environnement et vont servir de représentants pour les facteurs à petite échelle influençant les écosystèmes (Eckman, 1983; Blanchard et Feder, 2014). Ainsi, la distribution de l'épifaune affecterait indirectement la distribution et les assemblages endofauniques.

Puisqu'il y a un nombre très faible d'études à petite échelle dans l'Arctique, de l'information sur la dynamique benthique est manquante. Pour augmenter notre savoir à propos de la dynamique, faire un échantillonnage à petite échelle permettrait d'observer la présence et l'absence de patron chez l'épifaune et l'endofaune (Parry *et al.*, 2003). Pour analyser la distribution naturelle des assemblages benthiques à une petite échelle, un transect de 125 m fut établi sur l'isobathe de 6-7 m à Cambridge Bay (Nunavut, Canada), en 2014. Ce transect servait de guide pour permettre de récolter des échantillons de benthos et de prendre des vidéos. Considérant le faible nombre d'études à petite échelle effectuée jusqu'à ce jour sur l'épifaune et l'endofaune dans l'Arctique, ainsi que le manque de recherche dans l'Arctique canadien, Cambridge Bay, s'avère un lieu privilégié pour une étude sur ses communautés benthiques. De plus, cette étude permet de mettre à l'avant la variation de la dynamique d'assemblages benthiques de Cambridge Bay.

Les objectifs principaux de cette étude sur la dynamique de la communauté benthique de Cambridge Bay sont : (1) d'analyser la distribution naturelle des assemblages épibenthiques et d'observer la présence ou l'absence de *hot spots* et de *cold spots*; (2) d'observer comment les facteurs environnementaux (algues, roches, structure faite par l'humain (débris), granulométrie, profondeur) influencent la distribution et les assemblages de l'épifaune et de l'endofaune; (3) et d'analyser la corrélation entre les deux compartiments biologiques (épifaune, endofaune).

Les hypothèses liées à ces objectifs sont : (1) que des assemblages, ainsi que les *hot spots* et *cold spots* seront observés pour l'épifaune et l'endofaune, mais à différentes échelles spatiales. L'épifaune aura une distribution à plus large échelle tandis que l'endofaune aura une distribution à plus petite échelle; (2) la granulométrie et la présence d'objets tels des débris et des roches influenceront positivement la distribution d'organismes; (3) et une corrélation

positive sera observée entre l'épifaune et l'endofaune. Ainsi, si l'abondance et la diversité épifaunique sont grandes, une grande abondance et diversité endobenthique sera observée au même endroit. Cette étude va permettre de créer des bases solides pour comprendre et évaluer la variation naturelle de cette communauté et prendre comment les changements climatiques impactent cette même communauté dans l'Arctique canadien.

3.4 METHODOLOGIE

LOCALISATION DE L'ETUDE

Cette étude s'est déroulée dans la baie de Cambridge Bay, localisée dans le sud de l'île Victoria, dans l'Arctique canadien (**Figure 16**). Cette île est située dans la région Kitikmeot au Nunavut, dans l'archipel canadien (69°07'02"N, 105°03'11"O). Les eaux de Cambridge Bay communiquent directement avec le détroit de Dease à l'Ouest, qui se jette à son tour dans le Golfe Queen Maud, à l'Est (Pharand et Legault, 1984, DFO, 2007). La baie principale de cette étude est une zone peu profonde. Le maximum répertorié est de 70 m (DFO, 2007).

Cambridge Bay possède de très faibles marées à longueur d'année. Celle-ci ne dépasse jamais 1 m même lors des grandes marées (0.84 m) (DFO, 2016). La luminosité est à son maximum et est constante durant période estivale (24 h sur 24), soit entre le 20 mai et le 23 juillet. La saison des pluies survient normalement entre juillet et août avec une moyenne de précipitation de 70 mm par an. Pour cette région, d'octobre à novembre, la saison est neige est à son plus haut avec une moyenne de 80 cm par an (Nunavut tourism, 2015, The municipality of Cambridge Bay, 2015, Climate-charts, 2010, Current Results, 2016). La moyenne de précipitation (neige et pluie) pour cette région est de 142 mm par an répartie sur une moyenne de 110 jours sur 365 (Current Results, 2016). Quand décembre arrive, la luminosité est à son plus faible niveau, soit 24 h sur 24 de noirceur. La température avoisine les -25 et -35 °C (Nunavut tourism, 2015, The municipality of Cambridge Bay, 2015, Climate-charts, 2010). La glace couvre entièrement la baie de Cambridge Bay en octobre et va atteindre une moyenne de 2 m d'épaisseur durant l'hiver. Au printemps, le climat est un peu plus clément avec des températures entre -20 et -10 °C de jour (Nunavut tourism, 2015). La glace fond normalement

au début de juin et va complètement disparaître en juillet (Ocean Networks Canada, 2015, Ocean Networks Canada, 2014).

TRANSECT

La partie terrain de cette étude s'est déroulée à Cambridge Bay, entre le 14 et le 25 septembre 2014. Un transect ayant des marqueurs tous les 5 m fut déployé à l'aide d'un petit bateau motorisé, d'un bathymètre et de poids de 1 et 2.25 Kg pour tenir le transect en place dans le fond de l'eau. Le début du transect se situait près du quai de la baie. Le transect suivait l'isobathe de 6 à 7 m. Une vidéo du transect a été filmée à une vitesse stable et lente par un plongeur qui tenait une caméra avec un angle de 90° et à une distance de 75 à 100 cm du sol. La vidéo fut prise avec une caméra *GoPro (ROV Camera – GoPro Camera CHDHX-302 H38B09133Fo5D8)* (Ocean Networks Canada, 2014). Des échantillons de substrat ont été pris à l'aide d'une benne *Ponar* de 2,4 L à chaque marqueur de 5 m (n = 26). Les échantillons ont été prélevés à partir d'un petit bateau motorisé à l'aide de marqueurs visuels hors de l'eau, soit des bouées préalablement déployées à chaque 10 m par des plongeurs. Ainsi, un échantillon sur deux devait être estimé en distance, ce qui réduit la précision de l'échantillonnage. Les coordonnées GPS furent aussi prises pour chaque coup de benne, ainsi que la bathymétrie du transect.

De chaque coup de benne (n = 26) un échantillon de substrat pour l'analyse de la granulométrie fut prélevé à l'aide d'une cuillère et déposé dans un sac *Ziploc* et congelé à -4 °C. Le restant des échantillons obtenus avec la benne fut par la suite tamisé à 500 µm avec de l'eau de mer et ensuite entreposés dans des sacs de plastique avec une solution de formaldéhyde à 4 %.

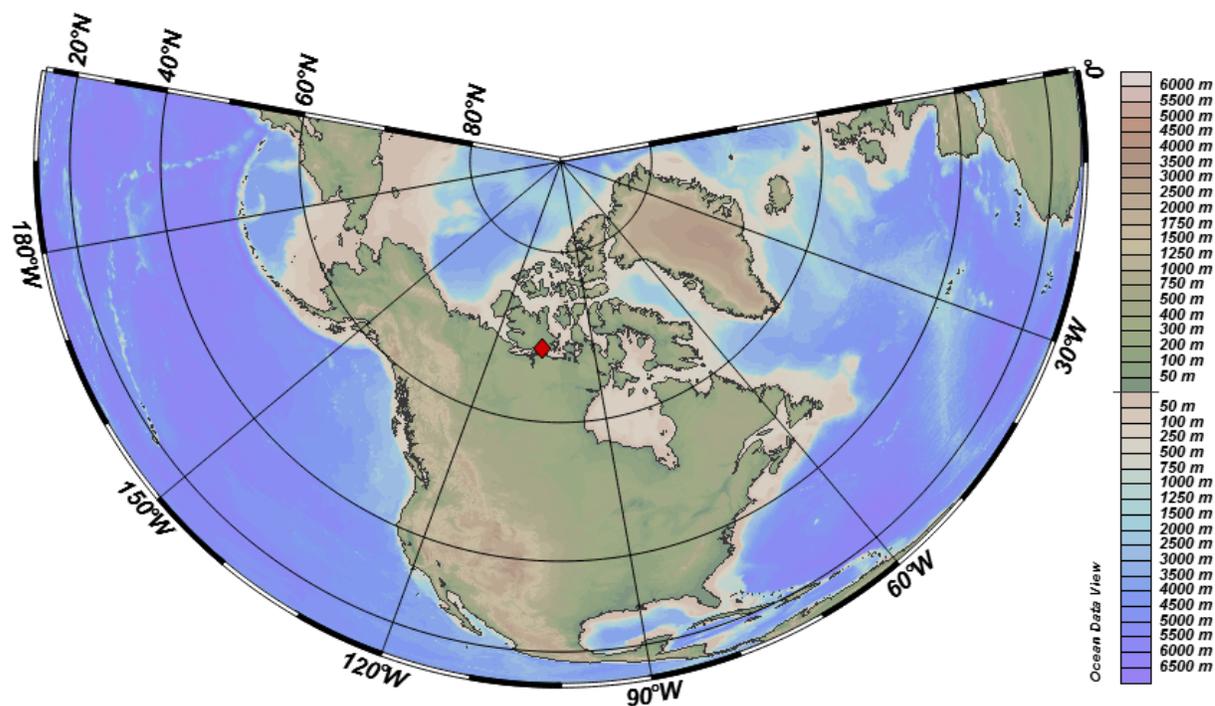


Figure 16. Carte de l'Arctique présentant la localisation de Cambridge Bay, NU (symbol de l'étoile) située à 69°07'02"N et 105°03'11"W.

ÉCHANTILLONNAGE

TRANSECT – ANALYSES ET TRAITEMENT LABORATOIRE

Vidéos - Mosaïque

Les vidéos furent d'abord visionnées en entier pour permettre de détecter et noter les organismes mobiles tels des ophiures et de noter leur localisation sur le transect. Une image a ensuite été extraite de la vidéo à toutes les 2 sec avec l'outil *Print screen* sur l'ordinateur. Avec

cette grande quantité d'images, nous avons pu construire une mosaïque du transect (

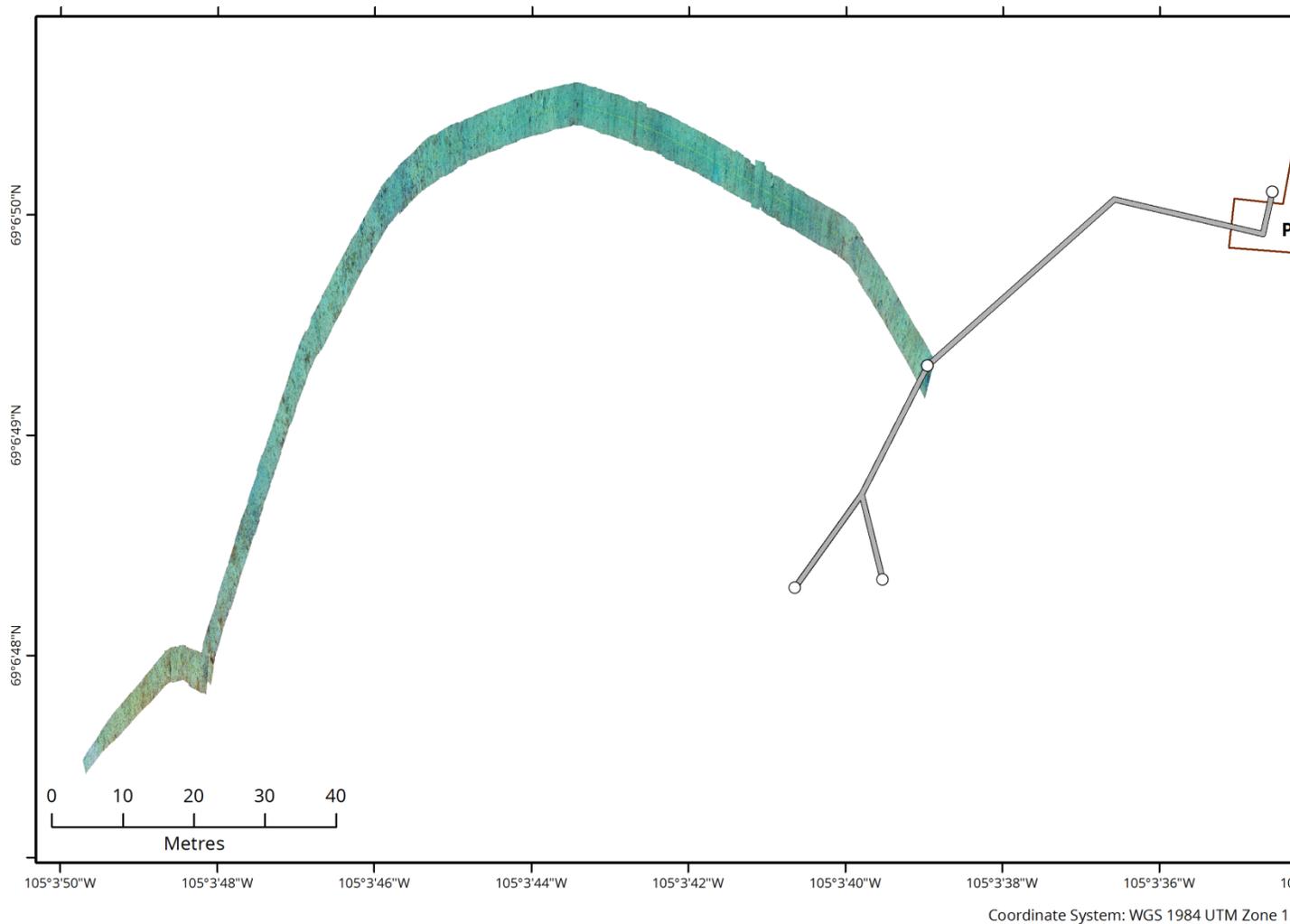


Figure 177). La mosaïque représente une image entière et fixe du transect. La qualité et le chevauchement de chaque image étaient vérifiés manuellement avant d'être utilisés. Au moins un tiers de chaque photo devait chevaucher la suivante pour créer une mosaïque précise et pour diminuer l'effet *fisheye* de la caméra *GoPro*. La couleur et le contraste de chaque photo étaient modifiés sur *Adobe Photoshop CS5 (64bits)*® pour faciliter l'identification de la faune et des objets sur le fond (Adobe Systems Incorporated, 2010). Les ajustements étaient réalisés avec les fonctions *Color Balance* et *Brightness/Contrast*. La construction manuelle de la mosaïque a été exécutée sur le logiciel *Adobe Photoshop CS5 (64bits)*®. La construction de la mosaïque débute par la dernière image et s'effectue selon les étapes subséquentes, les suivantes

: (1) l'image suivante fut positionnée de façon à obtenir un chevauchement avec la précédente; (2) pour s'assurer d'un niveau optimal de précision du chevauchement, un effet de transparence à 50 % a été appliqué temporairement. La taille de la photo, l'angle et la superposition ont été vérifiés avant d'enlever l'effet de transparence. (3) La taille du fichier était ensuite vérifiée et ne devait pas dépasser 2 GB puisque le logiciel *ArcGIS*®, sur lequel le transect fut analysé, ne pouvait gérer des fichiers de plus grande dimension (ESRI, 2011). (4) Ainsi, lorsque la taille du fichier de 2 GB a été atteinte, la série de photos formant un tronçon du transect était alors enregistré en mode *.tif*. (5) La dernière image du précédent tronçon servait de point de départ pour débiter la section suivante. Cette dernière était transférée de manière intacte pour avoir le bon angle et la bonne taille d'image comme point de référence.

L'analyse de la mosaïque fut effectuée à l'aide du logiciel *ArcGIS*®. La carte principale représentant les échantillons d'endofaune, les marqueurs et les organismes fut aussi créée à l'aide de ce logiciel. Les points GPS ont été utilisés pour créer une carte géoréférencée. Après la création de base de la carte, chaque organisme était compté, puis identifié. Une grille fut utilisée sur la mosaïque du transect pour aider au compte et à l'identification. Chaque taxon, objet, et facteur environnemental a été noté sur le transect à l'aide de marqueurs de couleurs et de numéros. L'ensemble de ces informations a été sauvegardé dans un fichier *Excel*®. Pour assurer la qualité des données récoltées, le transect entier fut révisé trois fois. Par la suite, le transect a été divisé en 26 différentes zones numérotées 1 à 26, ayant une dimension de 5 m par 2 m (ce qui représente la largeur du transect et la distance entre chaque marqueur). Chaque rectangle avait comme point central l'échantillon d'endobenthos. Ces zones étaient délimitées par les outils *Polygon* et *Ruler* du logiciel. Ces aires furent créées pour permettre la comparaison de l'épifaune et de l'endofaune. Un total de 7 taxa (anémone, ophiures, bivalves, polychètes, échinodermes, gastéropodes et autres) et 5 facteurs environnementaux (algues, roches, débris, bioturbation et granulométrie) fut observés sur le transect. Les organismes ont été identifiés au plus faible niveau taxonomique possible.

Données biologiques

Un total de 10 échantillons sur 26 récoltés avec la benne *Ponar* de 2,4 L fut sélectionné aléatoirement entre 0 et 125 m et traité en laboratoire. L'ensemble des échantillons ne furent

pas traité dû à une limite de temps et à la perte d'un faible pourcentage d'échantillon dû au transport. Les échantillons sélectionnés étaient : 20, 30, 50, 60, 65, 70, 90, 100, 105, 110 m. Le substrat fut rincé puis tamisé à nouveau pour enlever la solution de formaldéhyde à 4 % et les résidus d'argile et de limon. Un tamis de 120 μm fut utilisé pour cette étape. Par la suite, l'échantillon a été trié à l'aide d'un labyrinthe et d'une binoculaire. Chaque organisme a été déposé par taxa dans des vials contenant une solution d'éthanol à 70 %. Chaque organisme a été identifié au plus faible niveau taxonomique possible (famille, genre ou espèce), selon les critères disponibles, à l'aide d'une loupe binoculaire et d'un microscope. Chaque invertébré a été dénombré pour obtenir des données sur l'abondance et la biodiversité de la communauté benthique.

Granulométrie

La granulométrie fut déterminée à l'aide d'un analyseur à particules par diffraction à l'aide d'un laser (LS 13320, Beckman Clouter). Environ 1 mL de substrat était échantillonné et homogénéisé avec du Calgon dans un mécanisme rotateur. Les échantillons restaient en rotation pour un minimum de 30 min. Par la suite, l'échantillon était tamisé avec un tamis de 2 mm. Ensuite, ce dernier fut divisé en deux aliquots puis déposé dans l'analyseur. La machine, qui est directement branchée à un ordinateur, collectait simultanément les résultats dans un fichier *Excel*®. Les résultats ont été par la suite transformés en pourcentage pour chaque fraction (argile, limon, sable) (Claude Belzisle, 2015).

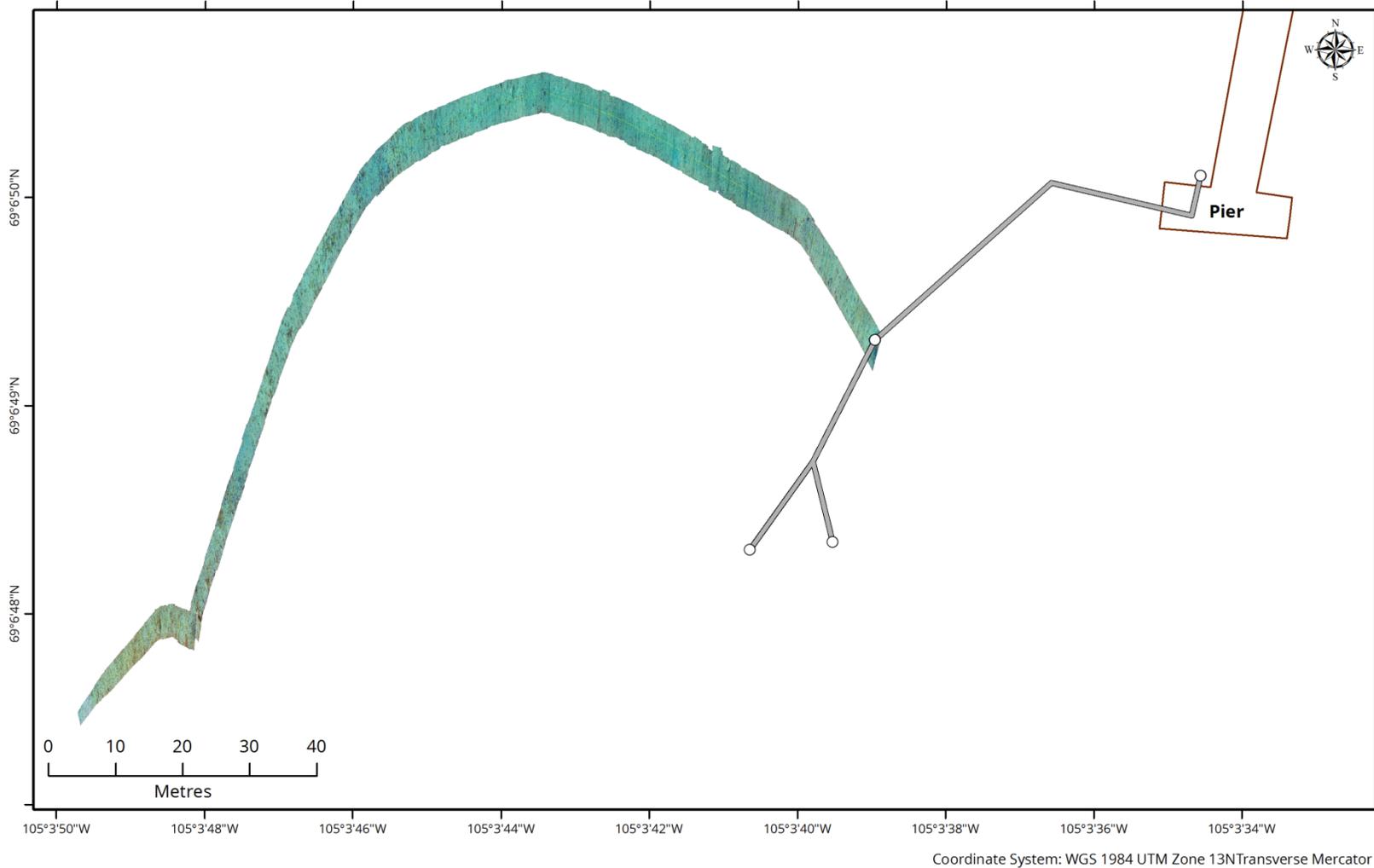


Figure 17. Le transect mosaïque de 125 m situé à Cambridge Bay, NU, 2014 à 69°07'02"N et 105°03'11"W.

ANALYSES STATISTIQUES

L'ensemble des analyses fut effectué sur les logiciels suivants : *ArcGIS* 10.3.1 et *Rstudio*® (RStudio Team, 2015, ESRI, 2011). En premier lieu, une analyse en composante principale (PCA) fut exécutée sur l'épifaune et l'endofaune. Cette procédure multivariée utilise une transformation orthogonale pour convertir les variables dépendantes qui sont généralement inter-corrélées en variables linéaires et non corrélées nommée composantes principales. Ce test permet d'extraire les informations importantes des composantes principales et d'observer le patron de similarité (Abdi et Williams, 2010). Ce test fut effectué sur chaque jeu de données (environnemental et abondance pour l'épifaune et l'endofaune). Pour déterminer le nombre de composantes significatives pour chaque PCA, nous avons appliqué le critère Kaiser-Guttman. Le critère Kaiser-Guttman fut retenu, car ce test permet d'observer les variations intéressantes en calculant la moyenne de chaque *eigenvalues* et en interprétant simplement les axes pour lesquels leurs *eigenvalues* sont plus élevées que la moyenne (Borcard *et al.*, 2011). Dans ce test, nous avons assumé la linéarité des variables. La transformation Hellinger fut appliquée aux jeux de données sur l'abondance (épifaune et endofaune). La méthode hiérarchique de regroupement de Ward fut aussi utilisée pour observer la présence ou l'absence de regroupement chez les échantillons recueillis le long du transect.

En deuxième lieu, une analyse canonique de redondance (RDA) fut utilisée pour identifier des liens entre l'épifaune et l'endofaune et les facteurs environnementaux. Une RDA est un test qui combine une PCA et une régression. Avant que ce test soit effectué, la transformation Hellinger fut appliquée aux jeux de données d'abondances (épifaune et endofaune). Cette transformation permet aux données d'abondance de conserver leur distance Euclidienne entre les sites (Legendre et Gallagher, 2001). Le « *Vegan package* » fut utilisé sur *Rstudio*® pour effectuer la RDA. Les résultats furent présentés avec les *WA scores* plutôt que les *LC scores*. En effet, les *WA scores* sont plus robustes face aux erreurs aléatoires dans les variables environnementales et conviennent mieux au « *Vegan package* » (Borcard *et al.*, 2011). Le *scaling 1* a été utilisé pour représenter les graphiques puisque la distance Euclidienne pouvait être observée plutôt que la corrélation (Kindt et Coe, 2005). Certaines manipulations ont été effectuées sur les jeux de données pour permettre leur utilisation dans une RDA. Premièrement, le nombre de lignes devait être égal dans chaque jeu de données, donc le nombre

de lignes pour les données d'abondance et environnementales fut égalisé au nombre de site traité, soit dix. Deuxièmement, des proportions ne pouvaient être utilisées dans une RDA. Ainsi une fraction de la granulométrie devait être éliminée pour pouvoir conduire le test. Le limon a été enlevé du test puisque le sable et l'argile démontraient une plus grande influence sur la communauté benthique dans cette étude. Quelques organismes et facteurs environnementaux furent éliminés des analyses en raison de leur faible nombre; les gastéropodes furent éliminés des données épibenthiques, tandis que les ophiures, anémones, ostracodes et annélides furent enlevés des données endobenthiques. Pour vérifier si la variance détectée par la RDA était significative (0,05), une permutation fut effectuée ($n = 4999$) (Legendre et Legendre, 1998). Puisque la distribution normale est difficile à obtenir parfois en écologie, le test de permutation est souvent utilisé pour évaluer la significativité de l'analyse. Cette analyse était contrainte puisque moins de variables furent amassées que d'échantillons (Borcard *et al.*, 2011).

En troisième lieu, des corrélations ont été exécutées sur *JMP Pro 12* (Lehman *et al.*, 2013). La première fut entre l'abondance épi- et endofaunique, la deuxième entre la richesse épi- et endobenthique. Pour la première corrélation, la normalité n'a pas été respectée, et aucune transformation (Log, Log10, X^2 , X^4 , $\sqrt{\quad}$, $\sqrt[4]{\quad}$) n'a permis de respecter cette assumption, cependant, les résultats sont toujours restés significatifs. Puisque le test est robuste, ce postulat fut considéré comme respecté. Pour la seconde corrélation, aucune transformation n'a permis de respecter le postulat de normalité, mais aucun résultat n'a été significatif. L'homoscédasticité et la linéarité furent respectées pour les deux corrélations.

Finalement, un modèle de régression multilinéaire a été effectué entre les deux compartiments biologiques observés, soit l'épifaune (variable indépendante) et l'endofaune (variable dépendante). Ce modèle a permis d'observer les relations entre les organismes des deux compartiments. La normalité fut respectée après une transformation en Log. Les autres assumptions furent toutes respectées, soit l'homoscédasticité et la multi-colinéarité.

3.5 RÉSULTATS

La **Figure 18** représente la vue aérienne des coordonnées de chaque coup de benne (position X:Y). Les coups de benne entre 0 et 20 m et 65 à 125 m ont été pris de manière

constante, soit tous les 5 m. Entre les mètres 25 et 60, les échantillons furent pris de manière non constante. La profondeur moyenne du transect est de 6,69 m et est relativement constante (**Annexe 6**). Le minimum de profondeur enregistré est de 6,13 m et le maximum de 7,59 m. Du mètre 45 à 120 le transect est un peu plus profond. Un gradient est observé dans la granulométrie du transect (**Figure 19**). La première moitié du transect (0 à 60 m) a une plus grande proportion de sable. La deuxième moitié du transect (65 à 125 m) a un pourcentage d'argile plus élevé. Le limon est constant pour l'ensemble du transect.

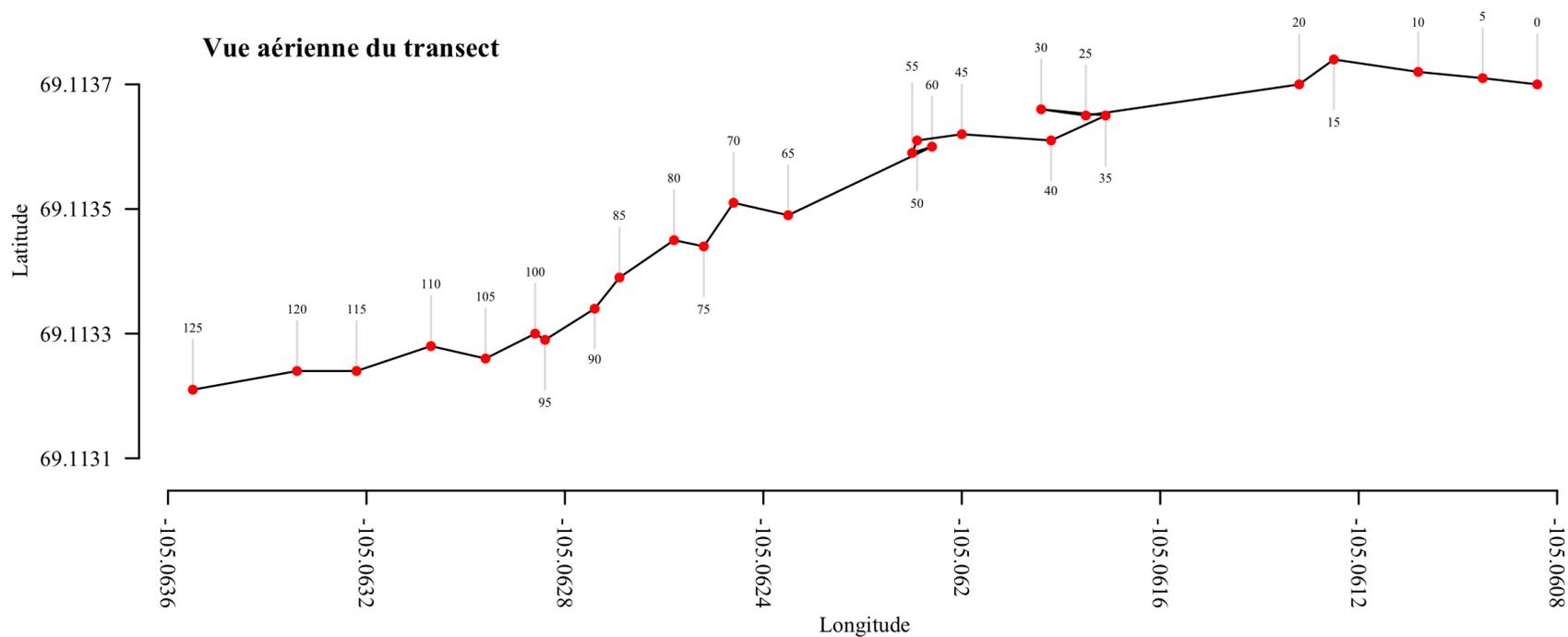


Figure 18. Vue aérienne du transect représentant l'ensemble des coups de bennes effectués, ainsi que leur localisation GPS (X ;Y), à Cambridge Bay, NU, 2014. (Puisque la figure est représentée par des points GPS, le début du transect se retrouve à la droite du graphique).

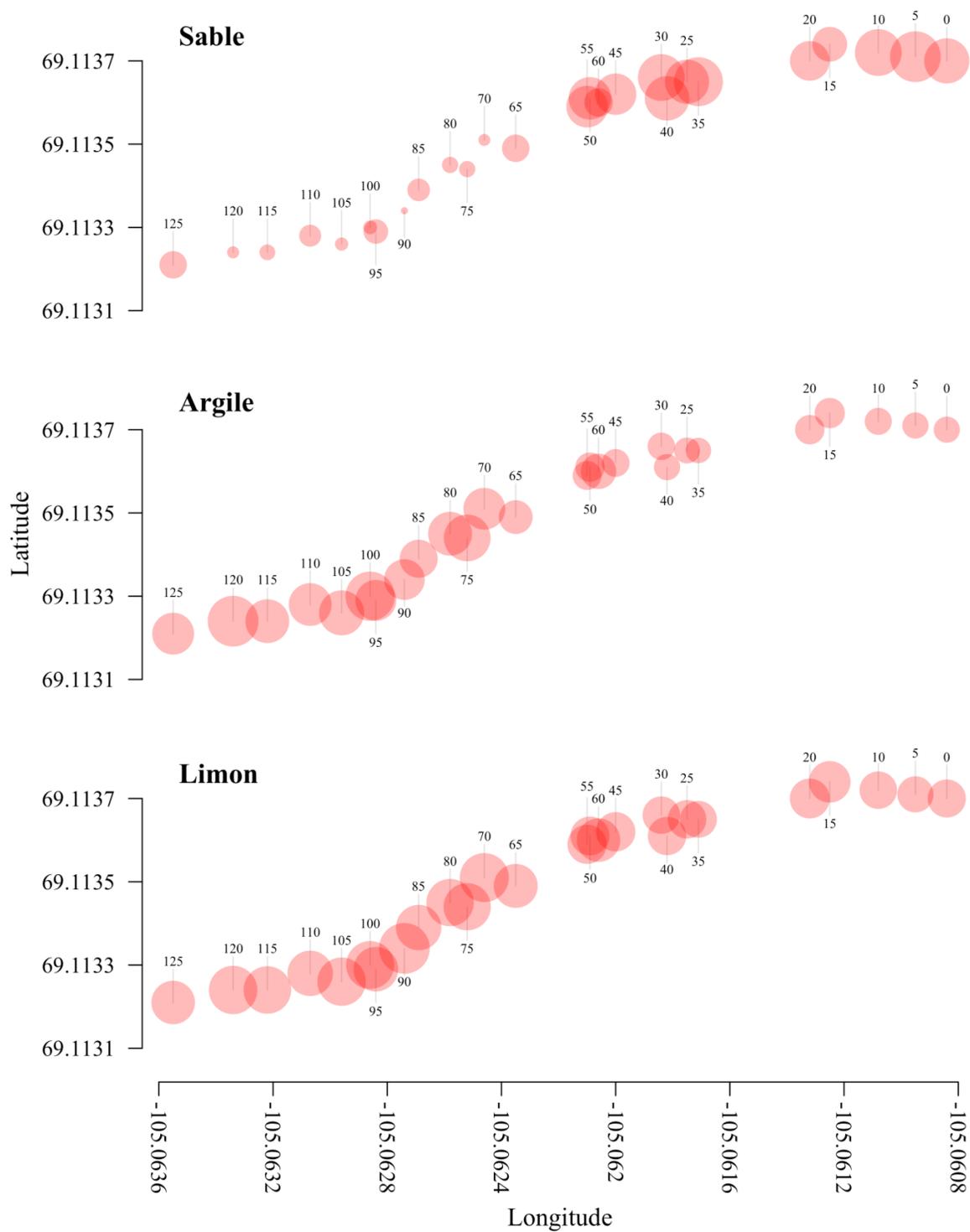


Figure 19. Distribution granulométrique (sable, argile, limon), en pourcentage, de chaque coup de benne, le long du transect à Cambridge Bay, NU, 2014, représenté par un graphique *hot spot*.

L'abondance totale de l'endofaune retrouvée dans les coups de benne variait entre 38 et 786 organismes (différence de 748). L'épifaune qui fut observée dans les images de chaque aire a une abondance qui variait entre 50 et 1189 (différence de 1139). La plus faible abondance d'organisme le long du transect a été observée à la même place pour les deux compartiments biologiques, soit à l'aire 7 et au mètre 30. La plus forte abondance a été aussi retrouvée au même endroit pour l'épifaune et l'endofaune (aire 22 et mètre 110). La **Figure 20** montre un patron à deux pics pour l'abondance de l'épifaune et l'endofaune qui semble covarier. Le premier pic est observé à la mi-transect et le second, à la fin de celui-ci. En général l'abondance augmentait vers la fin du transect pour les deux compartiments biologiques. L'épifaune avait généralement une plus faible abondance dénotée que l'endofaune. La corrélation observée entre l'abondance épifauniqu et endofauniqu était positive et significative ($p = 0.001$, $R^2 = 0.75$) (**Figure 21**).

En général, aucun patron ne semblait être présent pour la richesse taxonomiqu le long du transect et la variation observée était faible (entre 3 et 8 taxa) pour les deux compartiments biologiques (**Figure 20** **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Aucune corrélation significative entre l'épifaune et l'endofaune ne fut observée ($p = 0.066$, $R^2 = 0.008$) (**Figure 21**).

La comparaison croisée de l'abondance et de la richesse de l'épifaune et l'endofaune avait démontré 3 interactions significatives sur 6. L'abondance de l'épifaune et de l'endofaune était corrélée positivement comme mentionné plus haut. La richesse épifauniqu était corrélée positivement avec l'abondance épifauniqu (corrélation = 0.67, $p = 0.034$), et l'abondance endobenthiqu (corrélation = 0.67, $p = 0.034$). Deux autres corrélations démontrent des tendances biologiques, soit la richesse endobenthiqu positivement corrélée avec l'abondance épibenthiqu (corrélation = 0.57, $p = 0.079$) et l'abondance endobenthiqu (corrélation = 0.60, $p = 0.06$). Finalement, comme mentionné préalablement, les richesses endobenthiques et épibenthiques n'étaient pas corrélées.

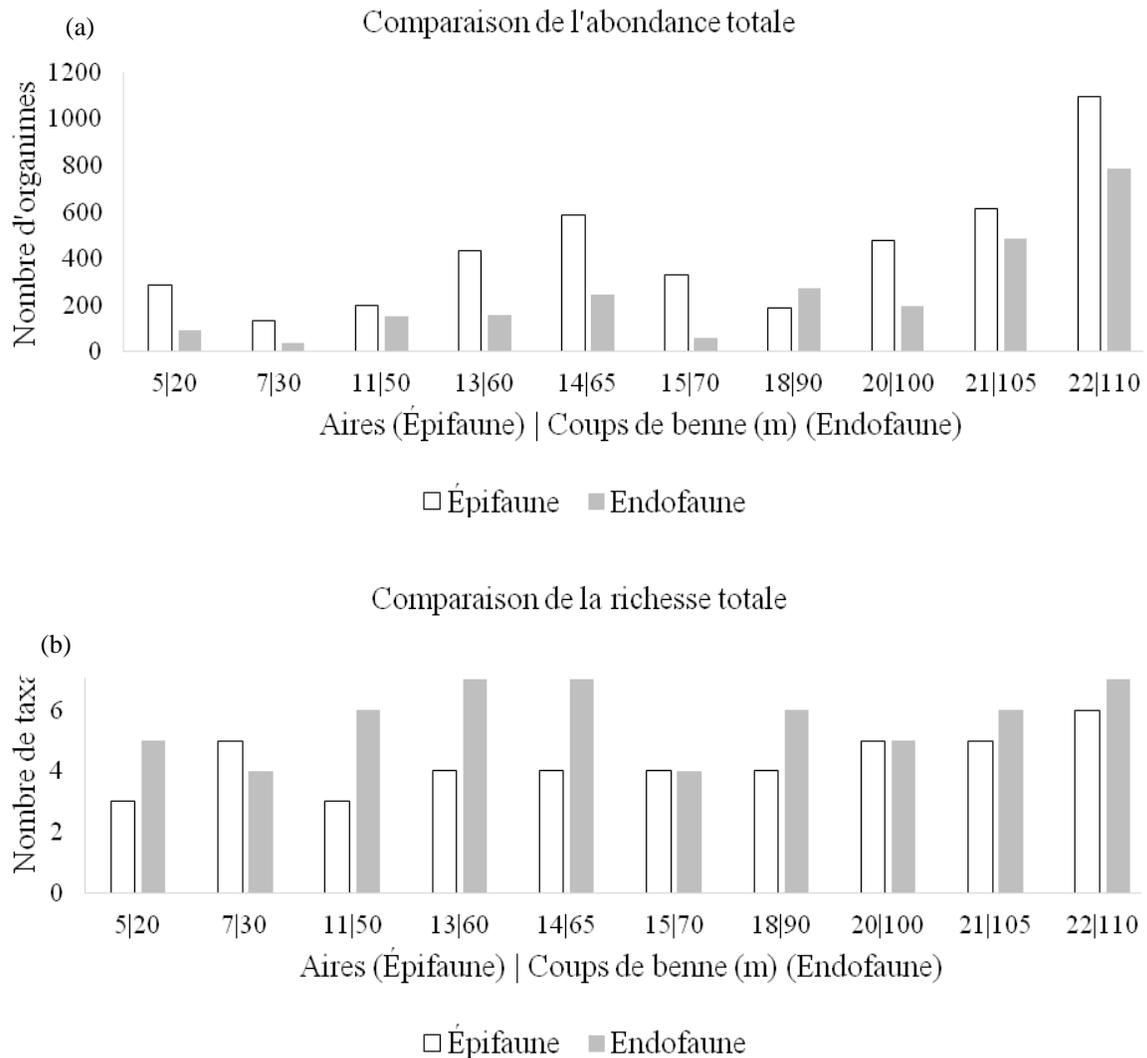


Figure 20. (a) Comparaison du total de l'abondance des espèces pour chaque coup de benne (endofaune) ainsi que leur aires associées (épifaune) et (b) comparaison de la diversité taxonomique pour chaque coup de benne (endofaune) et leur aires associées (épifaune) sur le transect à Cambridge Bay, NU, 2014.

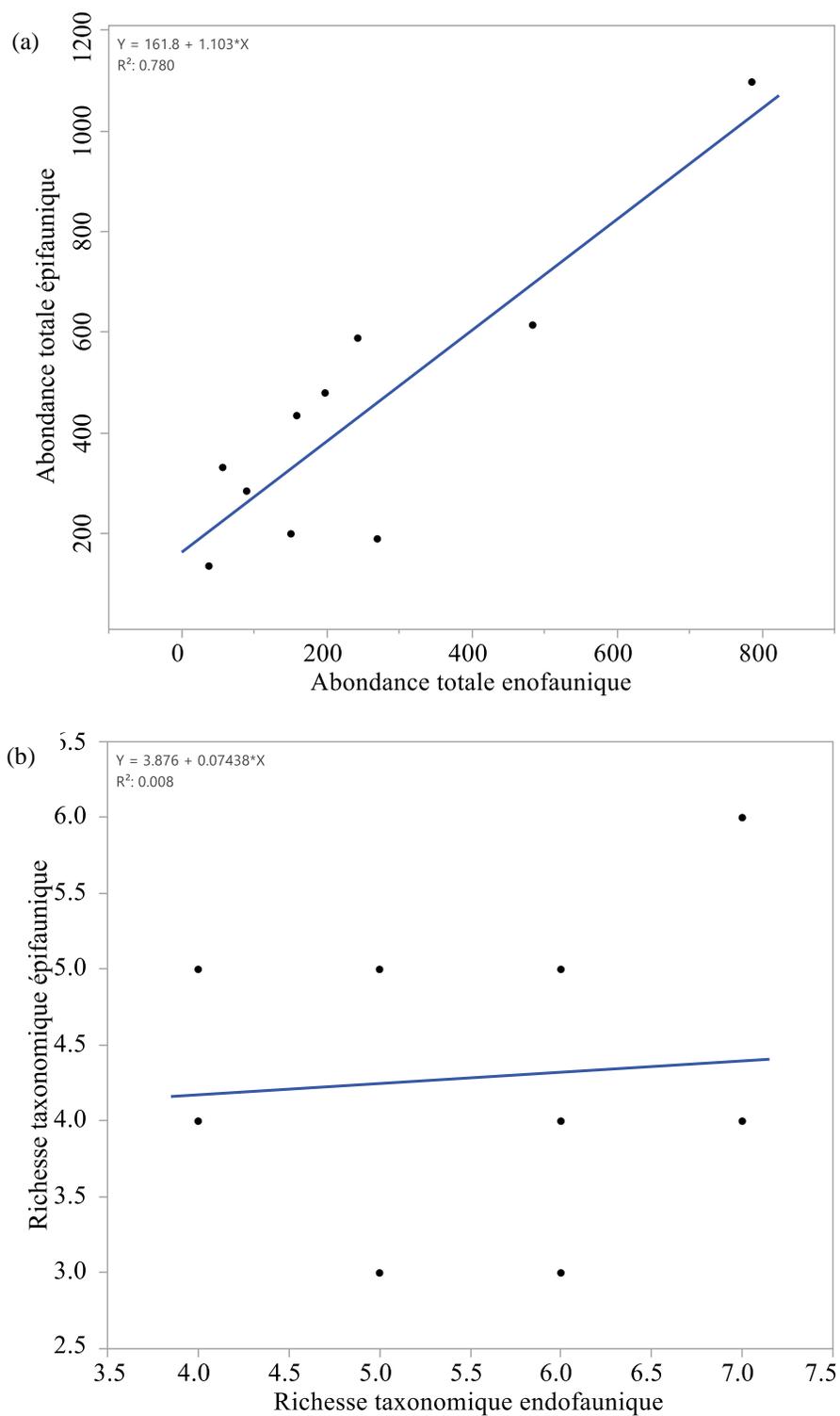


Figure 21. Corrélation entre (a) l'abondance de l'épifaune et de l'endofaune ($p = 0.000$, $R^2 = 0.750$), et (b) la richesse de l'épifaune et de l'endofaune ($p = 0.066$, $R^2 = 0.008$), tout le long du transect à Cambridge Bay, NU, 2014.

Sur la **Figure 22** l'évolution de la proportion des organismes le long du transect peut être observée. L'endofaune avait une plus grande variation observable que l'épifaune. La proportion d'organismes variait davantage à la fin du transect pour les deux compartiments biologiques. Les polychètes étaient le taxon prédominant pour l'endofaune et l'épifaune, composant entre 32 et 90 % de l'endofaune et entre 66 et 90 % de l'épifaune. L'épifaune semblait avoir un assemblage stable dans l'espace, soit des polychètes, anémones et bivalves. Un changement d'assemblage était présent vers le mètre 70 chez l'endofaune. Une plus grande proportion de nématodes, bivalves et gastéropodes était présente à la fin du transect, tandis que les copépodes et németes étaient plus présents au début. Les nématodes se trouvaient deuxièmes en termes de proportion pour l'endofaune, et les bivalves pour l'épifaune.

En général, il y avait une plus grande présence de bioturbation, d'anémones, de bivalves, d'ophiuridés, de polychètes, de roches et d'argile à la fin du transect (passé 100 m) (**Annexe 3**). Des débris furent observés en plus grande abondance dans un périmètre plus près du quai, soit au début du transect. Des algues furent notées majoritairement vers la moitié du transect.

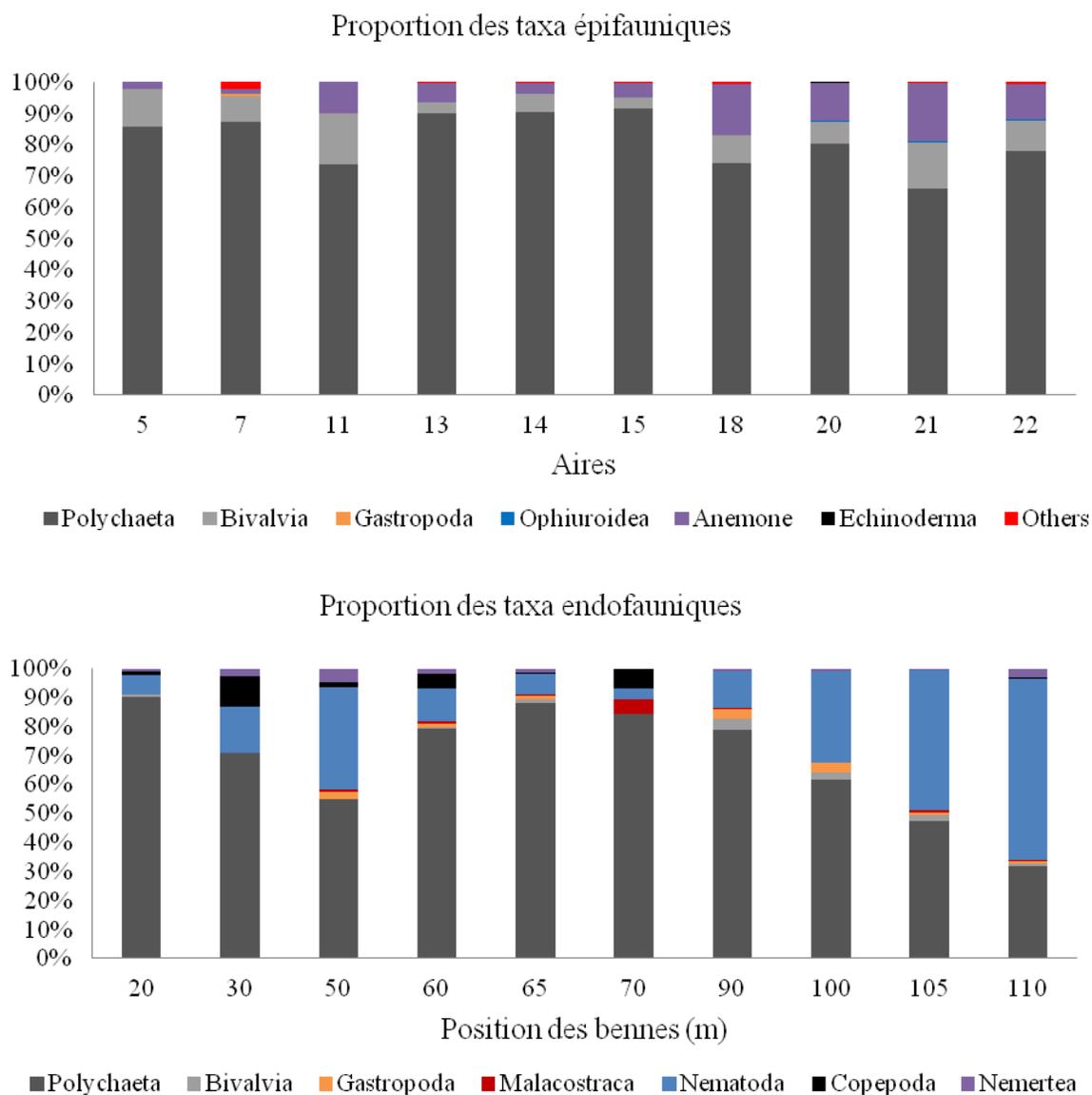


Figure 22. Variation relative de l'abondance (%) des organismes retrouvés dans chaque coup de benne, compare à leurs aires associées sur le transect à Cambridge Bay, NU, 2014.

Le critère de Kaiser-Guttman démontre que la PC1, PC2 et PC3 étaient significatives pour la PCA effectuée sur les facteurs environnementaux observés le long du transect (**Figure 23**). La PC1 = 31 % et était principalement représentée par de l'argile, le sable et la profondeur dans le *species score*, la PC2 = 14 % furent représentées par les algues et la PC3 = 11 % par des débris et la bioturbation. La carte de facteur individuel démontrait une division entre la

première moitié (1 à 14) et la seconde moitié (15 à 26) du transect. La première moitié était affectée par le sable et la profondeur, tandis que la seconde moitié était influencée par l'argile et la bioturbation. Les facteurs environnementaux démontraient que le sable et l'argile ne seront pas retrouvés dans les mêmes zones. La bioturbation sera retrouvée principalement dans un substrat ayant un pourcentage d'argile.

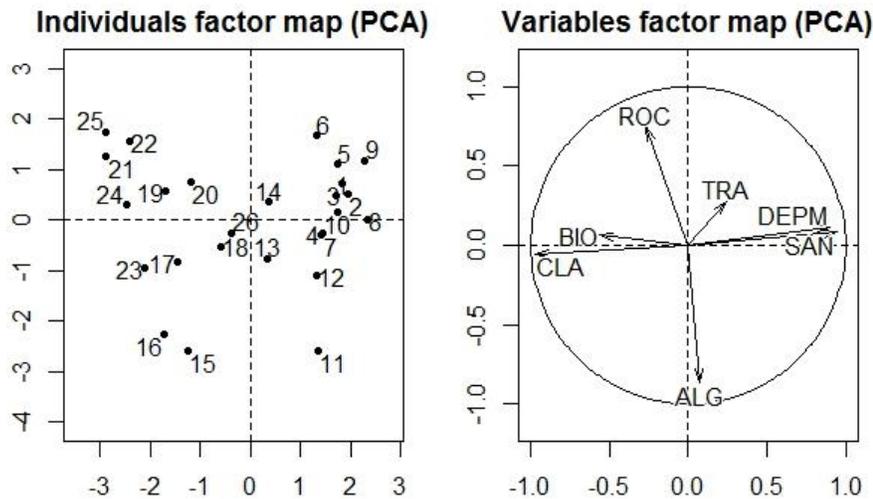


Figure 23. Graphique PCA pour chaque aire du transect et les facteurs environnementaux observés sur le transect (algues, roches, déchets, sable, argile, profondeur et bioturbation), à Cambridge Bay, NU, 2014.

L'analyse RDA effectuée avec les données du transect était statistiquement significative (permutation ($n = 5000$)) (RDA1 Pr ($>F$) = 0,001, RDA2 Pr ($>F$) = 0,029) (**Figure 24**). Dans la *species score* la RDA1 était principalement représentée par des anémones et l'argile et la RDA2, par des bivalves et la bioturbation. Le R^2 ajusté était de 0,250, ce qui indique que 25 % de la variation observée dans l'analyse RDA fut expliqué. Le vecteur des anémones et des roches se suit. Ainsi, ils seront retrouvés dans les mêmes zones, tandis que la bioturbation et les bivalves seront retrouvés dans les mêmes zones. Les polychètes, anémones et bivalves étaient les trois organismes ayant le plus grand impact dans ce test et ne semblaient pas s'influencer. Pour les facteurs environnementaux, l'argile, les roches, la profondeur ainsi que la bioturbation avaient un fort impact.

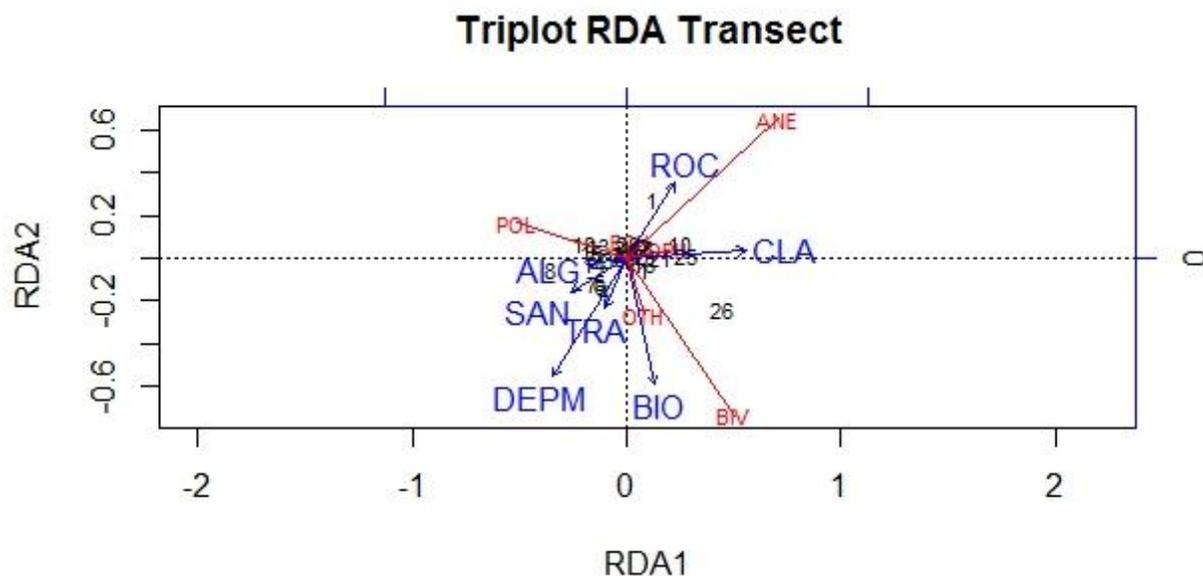


Figure 24. Graphique RDA pour chaque aire du transect, facteurs environnementaux ainsi que les organismes retrouvés, à Cambridge Bay, NU, 2014 (RDA1 Pr (>F) = 0.001, RDA2 Pr (>F) = 0.029).

Le critère Kaiser-Guttman démontre que la PC1 = 37 % et la PC2 = 2,4 % pour le test PCA effectué sur les facteurs environnementaux retrouvés dans le substrat (**Figure 25**). Selon le critère seul, la PC1 était significative. Selon le *species scores* la PC1 était principalement représentée par le sable, le limon et puis l'argile. Pour la carte des facteurs individuels, on a pu observer un regroupement des échantillons en trois sous-groupes. Les coups de benne 20, 30 et 50 m formaient le premier groupe, 60 et 65 m le deuxième et 70 à 110 m le dernier. Le premier groupe était principalement caractérisé par un substrat sableux, tandis que le dernier était caractérisé par de l'argile. Le deuxième groupe ne semblait pas être influencé par les critères environnementaux. La carte des facteurs variables a démontré que le substrat de plus fine taille (limon et argile) sera retrouvé dans le même endroit à l'opposé du sable.

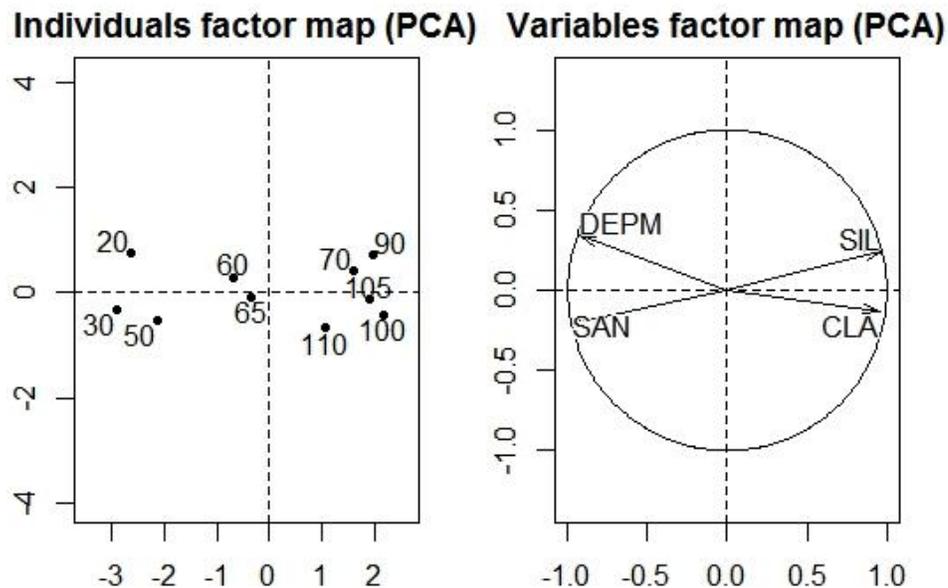


Figure 25. Graphique PCA pour les 10 coups de benne traités, ainsi que les facteurs environnementaux associés (sable, argile, limon, profondeur, X et Y), à Cambridge Bay, NU, 2014.

La RDA des échantillons d'endobenthos était significative pour les deux premiers axes (permutation ($n = 5000$)) (RDA1 Pr ($>F$) = 0,001, RDA2 Pr ($>F$) = 0,029) (**Figure 26**). Selon la *species score* la RDA1 était principalement représentée par des nématodes, tandis que la RDA2 était représentée par des copépodes. Le R^2 ajusté était de 0,336, ainsi environ 34 % de la variation de la RDA était expliquée. Les gastéropodes, bivalves et malacostracés vont être retrouvés dans des zones contenant plus d'argile, au contraire des copépodes et németes qui seront retrouvés dans des secteurs avec un plus fort pourcentage de sable. Les polychètes ainsi que les nématodes ne semblaient pas avoir de préférence quant au substrat. Les polychètes et les nématodes ne se retrouvaient pas dans les mêmes zones, puisque leurs vecteurs sont opposés. La première moitié du transect était plus représentée par du sable tandis que la dernière moitié est représenté par de l'argile. Le substrat a semblé diviser les organismes le long du transect pour l'endofaune.

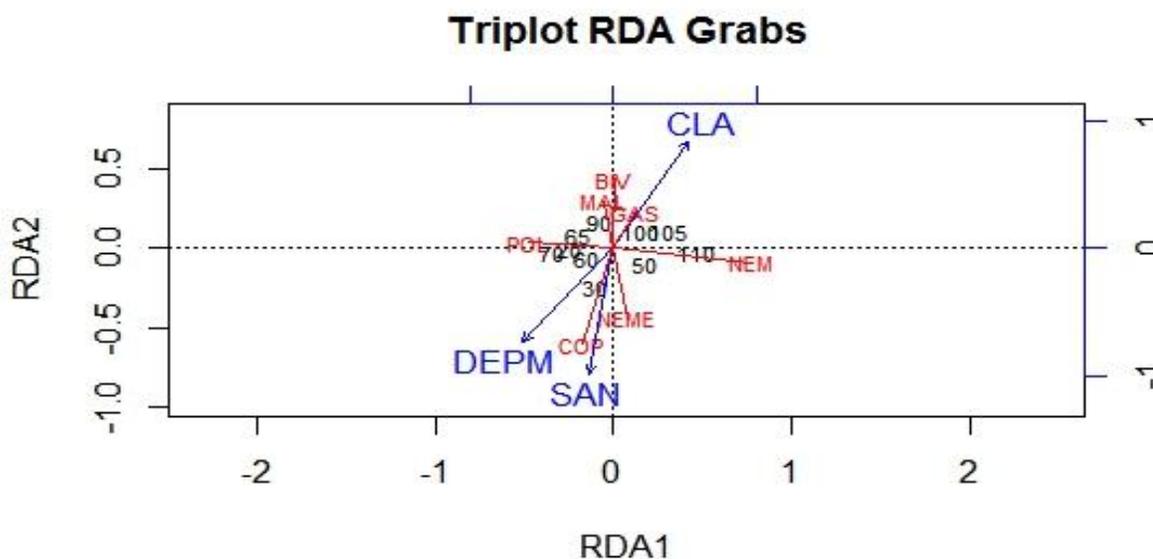


Figure 26. Graphique RDA pour les 10 coups de benne traité, les facteurs environnementaux ainsi que les organismes retrouvés, à Cambridge Bay, NU, 2014 (RDA1 Pr (>F) = 0.002, RDA2 Pr (>F) = 0.031).

Le modèle multilinéaire ci-dessous compare les taxa épifauniques (facteurs indépendants) au taxa endofauniques (facteurs dépendants) le long du transect de Cambridge Bay, en 2014 (**Table 1**). Un total de 3 taxa endofauniques variaient significativement dues à la présence de taxa épifauniques, soit les gastéropodes, les nématodes et les némertes, les autres taxa ne démontraient pas de lien. Les ophiures avaient une corrélation négative et significative à ces trois derniers taxa endofauniques, tandis que les anémones et échinodermes étaient toujours corrélés positivement. Les bivalves et les gastéropodes étaient aussi corrélés de manière positive, mais seulement avec les nématodes et némertes. Les polychètes étaient liés négativement aux nématodes, tel qu'observé chez l'épifaune (RDA, **Figure 24**)

Table 1. Modèle multilinéaire des taxa épifaunique identifiés le long du transect (variable indépendante) comparé aux taxa endofaunique indentifiés (variable dépendante) à Cambridge Bay, NU, 2014 (* = significatif, ** = très significatif, + = tendance biologique).

	Valeur de P	Erreur standard résiduel	Multiple R ²	R ² Aju	Estimé	Pr(> t)
Polychaeta	0.2075	0.4884	0.8518	0.55		
Polychaeta					0.1709	0.69
Bivalvia					0.6897	0.253
Gastropoda					1.0744	0.555
Ophiuridae					-1.7142	0.265
Anemone					0.8461	0.146
Echinoderma					1.5733	0.425
Bivalvia	0.6416	1.062	0.6065	-0.1804		
Polychaeta					-0.2023	0.827
Bivalvia					0.2824	0.808
Gastropoda					0.8054	0.834
Ophiuridae					-0.2981	0.92
Anemone					0.7665	0.476
Echinoderma					0.3841	0.924
Gastropoda	0.04743	0.3563	0.9489	0.8468		
Polychaeta					-0.6135	0.1197
Bivalvia					0.8326	0.1015
Gastropoda					2.7259	0.1045
Ophiuridae					-3.0287	0.0453*
Anemone					1.5874	0.0152*
Echinoderma					4.4597	0.0373*
Malacostraca	0.3163	0.4341	0.7936	0.3808		
Polychaeta					0.618	0.58
Bivalvia					-0.941	0.416
Gastropoda					-0.269	0.806
Ophiuridae					0.804	0.48
Anemone					0.718	0.525
Echinoderma					-1.848	0.162

Suite Table 1. Modèle multilinéaire des taxa épifaunique identifiés le long du transect (variable indépendante) comparé aux taxa endofaunique indentifiés (variable dépendante) à Cambridge Bay, NU, 2014 (* = significatif, ** = très significatif, + = tendance biologique).

	Valeur de P	Erreur standard résiduel	Multiple R ²	R ² Aju	Estimé	Pr(> t)
Nematoda	0.007065	0.3265	0.9861	0.9582		
Polychaeta					-2.422	0.09396.
Bivalvia					5.59	0.01131*
Gastropoda					4.179	0.02497*
Ophiuridae					-2.978	0.05867.
Anemone					6.108	0.00882**
Echinoderma					3.093	0.05359.
Copepoda	0.7817	0.9537	0.5023	-0.493		
Polychaeta					0.953	0.411
Bivalvia					-0.354	0.747
Gastropoda					0.464	0.674
Ophiuridae					-0.333	0.761
Anemone					0.082	0.94
Echinoderma					0.098	0.928
Nemertea	0.1741	0.549	0.8703	0.6109		
Polychaeta					-0.107	0.9219
Bivalvia					3.184	0.0499*
Gastropoda					2.426	0.0936.
Ophiuridae					-3.009	0.0573.
Anemone					2.684	0.0748.
Echinoderma					3.119	0.0525.

3.6 DISCUSSION

Cette étude évalue la dynamique de la communauté benthique de Cambridge Bay, à une échelle locale (m). Les trois hypothèses mises de l'avant dans l'introduction sont totalement ou partiellement supportées. (1) Il y a une plus grande variation des assemblages au niveau de l'endobenthos que pour l'épibenthos. L'assemblage épibenthique est stable dans l'espace, tandis que l'endofaune a un changement vers la mi-transect. Un *hot spot* d'abondance est observé à la fin du transect pour les deux compartiments biologiques. (2) Les deux compartiments biologiques sont influencés principalement par la granulométrie parmi l'ensemble des facteurs environnementaux observés. Selon la fraction de sable ou d'argile, des regroupements d'organismes sont observés. (3) La comparaison des deux compartiments biologiques a démontré un lien entre ceux-ci. Une corrélation positive est observée au niveau de l'abondance qui covarie tout le long du transect et un second lien où certains organismes vont influencer la présence ou l'absence d'autres taxa est aussi présent.

ÉPIFAUNE

La proportion d'organismes observée dans l'assemblage épifaunique est principalement dominée par des polychètes, bivalves et anémones. Les polychètes représentent la plus grande fraction de la communauté épibenthique avec plus de 65 % pour chaque aire, suivis des bivalves entre 2 et 15 %. La RDA exécutée démontre que les ces trois taxa se retrouvent en un même endroit mais ne s'influencent pas. Ainsi, aucun groupement spécifique n'est observé le long du transect en dehors de ces trois espèces. À une échelle locale (< 100 m), Archambault et Bourget (1996) ainsi que Levin *et al.*, (2001), ont mentionné qu'il est plus fréquent d'observer un patron aléatoire d'organismes. D'un autre côté, l'abondance d'organismes démontre un patron de fluctuation le long du transect. Deux pics sont observés : le premier à la mi-transect et le second à la toute fin. La plus grande abondance est observée à la fin du transect, soit de 110 à 120 m (**Annexe 4**). Une variation qui semble être aléatoire est observée pour la richesse de l'épifaune avec une légère augmentation vers la fin du transect. La faible variation observée pour la richesse peut être expliquée par l'homogénéité du transect au niveau du relief. Comme Davidowitz et Rosenzweig (1998), French et Picozzi (2002),

Hendrickx *et al.* (2007) et Kerr et Packer (1997) le mentionnent, plus un habitat est complexe, plus la diversité sera élevée, ce qui n'est pas le cas dans cette étude. Aucune donnée ne fut récoltée sur le taux de perturbation ce qui pourrait être un facteur pris en compte dans une prochaine étude, puisque la perturbation sporadique augmente l'hétérogénéité d'un milieu et des assemblages (Séguin *et al.*, 2014). Explorer le concept de productivité-biodiversité (Levin *et al.*, 2001) dans l'Arctique canadien (Witman *et al.*, 2008) pourrait aussi expliquer la faible variation observée pour cette étude. Levin *et al.*, (2001) propose que les gradients spatiaux dans la productivité influence la diversité (Waide *et al.*, 1999), ainsi il serait pertinent d'ajouter cette information dans une étude future.

L'ensemble de la variation notée le long du transect, soit pour l'abondance ou la proportion d'organismes, peut être principalement expliqué par un facteur environnemental. En effet, la granulométrie influence le plus l'épifaune avec un R^2 ajusté de 25 %, ce qui est un fort pourcentage pour un système biologique (Cottenie, 2005; Moller et Jennions, 2002). Le transect est divisé en deux zones, où la première moitié à un pourcentage plus élevé en sable (0 à 65 m), tandis que la deuxième moitié à un plus fort pourcentage en argile (65 à 125 m). Ce facteur environnemental semble être lié à la plus grande abondance des derniers mètres du transect. La taille du grain semble avoir un impact sur certaines espèces en particulier. En effet, sur la **Figure 22**, la proportion d'anémones est plus élevée dans cette zone. Pour ce qui est de l'abondance de taxa spécifiques, les deux taxa principaux, les polychètes Sabellides et les anémones Cerianthides, sont en général plus abondants à la fin du transect. Ces deux taxa sont dans la catégorie des suspensivores et leur présence dans un environnement contenant beaucoup de fines particules indique une grande quantité et qualité de nourriture et la présence d'un courant de fond créant de la resuspension, pour subvenir à ce type de communauté (Cochrane *et al.*, 2009; Feder et Blanchard, 1998; Hoberg et Feder, 2002; Soltwedel *et al.*, 2009). Murray *et al.*, (2011) ont mentionné que les Sabellides peuvent vivre dans un substrat mou, mais vont éviter des environnements contenant un fort pourcentage de limon et d'argile puisque cela peut obstruer leurs structures d'alimentation. Cette observation va à l'encontre de ce que l'on peut observer sur ce transect. Cependant, dans le cas de cette étude, nous pouvons suggérer une dynamique de courant de fond présente qui permet à ces

suspensivores de s'établir dans cet environnement (Feder et Blanchard, 1998; Hoberg et Feder, 2002) ou la présence d'un bon régime de perturbation pour resuspendre les particules, tels des navires. En effet, le lieu de l'étude se situe près d'un quai où des cargos et navires se déplacent couramment durant la période libre de glace. Leur activité pourrait engendrer un remaniement de particules dans l'eau à proximité du site. Cependant, l'hypothèse qui semble être la plus plausible est que le quai lui-même peut être la cause de création de courant de fond et de l'évolution du substrat le long du transect. La présence de récif naturel ou artificiel tel le quai de Cambridge Bay peut influencer les courants de fond jusqu'à un diamètre de 75 mètres selon Posey et Ambrose Jr. (1994). La plus grande abondance d'organismes serait retrouvée à la limite de ces courants de fond causé par le quai (Posey et Ambrose Jr., 1994), soit où la resuspension peut enfin sédimenter. Sur le transect, un premier pic d'abondance peut être observable au mètre 65 et un deuxième du mètre 100 jusqu'à 125. Cette abondance, pourrait ainsi être liée à la zone de sédimentation due à la proximité du quai et des courants de fond présents dans cette section. Aussi, la première section du transect se retrouvant plus près du quai observe une fraction plus grossière du substrat, ce qui coïncide avec cette hypothèse. L'effet d'accumulation de particules fines, pour la deuxième moitié du transect, pourrait aussi avoir une explication biologique. En effet, l'accumulation peut être amplifiée par la densité d'organismes rassemblés dans une même aire, créant ainsi une zone de rétention de particules (Eckman, 1983). De ce fait, malgré que nous ne détenions pas de courantomètre, nous pouvons émettre l'hypothèse que l'habitat étudié possède des courants de fond assez grand pour déplacer des particules sur plusieurs mètres autour du quai, ou la quantité de bateaux qui passent près du quai est suffisante pour remanier les particules et déplacer une grande quantité de nourriture pour alimenter une communauté principalement suspensivores (Cochrane *et al.*, 2009). L'abondance d'anémones à la fin du transect vient aussi appuyer cette hypothèse. L'abondance de ces dernières peut être aussi expliquée par la quantité de roches plus élevée dans ce secteur, puisque les roches permettent d'augmenter l'hétérogénéité de l'habitat et donc la taille de la surface où les anémones peuvent s'installer facilement (Tissot *et al.*, 2006; Buhl-Mortensen *et al.*, 2012). L'analyse de redondance est venue confirmer que cette relation est présente le long du transect.

À une petite échelle (m), dans un environnement relativement homogène et à la même profondeur, nous pouvons observer un changement dans l'abondance des organismes qui semble être principalement causé par la granulométrie et hypothétiquement par la quantité de nourriture apportée par la production primaire et la resuspension ou les courants (Cochrane *et al.*, 2009). Quand il s'agit des assemblages, aucune variation n'est observée chez l'épifaune. Le fait qu'aucune variation dans l'espace n'est présente peut être la cause de multiples facteurs. En premier lieu, l'échelle à laquelle l'étude se déroule peut être trop petite pour détecter des changements dans l'épifaune. Comme mentionné plus tôt, selon Levin *et al.*, (2001), à petite échelle, la distribution tend à être plus aléatoire mais le patron se résout à de plus grandes échelles. Ces patrons aléatoires peuvent sembler non important, cependant ils peuvent avoir un impact écosystémique (Blanchard *et al.*, 2013). L'hypothèse de l'hétérogénéité de l'habitat (HHH) mentionne que plus l'environnement est complexe, plus la diversité devrait être élevée en raison de la disponibilité de différentes niches (MacArthur et Wilson, 1967), ce qui est d'ailleurs démontré dans l'article de Roy *et al.*, (2014). Dans cette étude cependant, le transect est relativement homogène en termes d'habitat. Même si la granulométrie fine évolue le long du transect, aucun changement majeur n'est observé dans les assemblages. La complexité faible de l'environnement étudié et la similarité d'habitat le long du transect peuvent expliquer la constance d'assemblage observé. Ainsi, nous devons comparer plusieurs habitats ayant des caractéristiques semblables pour pouvoir voir si un changement peut être observé dans l'épifaune à une échelle locale (m). Finalement, les facteurs environnementaux étudiés dans cette étude expliquent un certain pourcentage de la variation, mais pour obtenir une meilleure intégration plus de facteurs devraient être pris en compte telle la quantité de nourriture (pheopigments) retrouvée dans le substrat (Roy *et al.*, 2014; Witman *et al.*, 2008).

ENDOFAUNE

Cette étude révèle la présence de différents assemblages à une échelle locale (m) pour l'endofaune à Cambridge Bay. Les polychètes représentent près de 60 % des individus benthique à une profondeur de 6-7 m, suivis des nématodes qui varient entre 5 et 60 %. Les familles principales de polychètes retrouvées dans les échantillons sont des *Nephtyidae*,

Orbiniidae, *Pectinaria*, *Cirratulidae* et *Capitellidae*. L'ensemble de ces familles sont des dépositives à l'exception des *Nephtyidae* (WoRMS, 2016).

Les assemblages endofauniques vont varier dans l'espace principalement selon la granulométrie. Des regroupements par paire d'organismes, soit les copépodes et németes au début où le sable est prédominant, et les gastéropodes et bivalves en fin de transect où l'argile est plus présente, furent observés. Ainsi, ces groupes ne se retrouveront pas aux mêmes endroits le long du transect dû à la séparation granulométrique, causant une dispersion inter-taxa. Comme Bulh-Mortensen *et al.*, (2012) le mentionne dans son étude, le type de sédiment, et plus précisément l'hétérogénéité de la granulométrie fine, est important pour la biodiversité. D'autant plus que les comportements alimentaires des bivalves, gastéropodes et polychètes (principalement détritivores) retrouvés le long du transect peuvent différer des copépodes (herbivores) et németes (prédateurs) (WoRMS, 2016). La fin du transect, qui est une aire de déposition de particules fines créée par la présence du quai, est un environnement qui semble correspondre aux besoins des organismes qui s'y retrouvent, soit des filtreurs et dépositives (Hoberg et Feder, 2002). Comme discuté dans la section précédente, la présence d'une structure artificielle à proximité du transect expliquerait le gradient de granulométrie observé et donc la variation de la communauté endobenthique, à petite échelle. En effet, la présence de sédiment fin et de matière organique crée des variations dans les assemblages des organismes, en général, mais ces paramètres sont aussi deux facteurs majeurs qui influencent les écosystèmes à petite échelle (Blanchard et Feder, 2014). Cette étude a observé un patron à deux pics pour l'abondance d'organismes benthiques le long du transect. Le premier pic est à la mi-transect et le second, à la toute fin. La plus grande abondance observée se trouve dans les derniers mètres du transect où le sédiment est plus fin, ce qui correspond à la littérature mentionnée précédemment. Grâce aux tests statistiques on peut observer (**Figure 22**) que l'abondance des nématodes et l'importance de la bioturbation augmentent aussi dans cette zone. L'étude de Hoberg et Feder (2002) démontre qu'un plus grand pourcentage de sédiment fin et de carbone organique particulaire (POC) est corrélé avec un plus grand nombre de dépositives de surface et de sous-surface. Ceci semble être aussi le cas pour notre étude à petite échelle.

Comme Etter et Grassle (1992) l'ont démontré dans leur étude, dans une grande variété d'échelles spatiales, l'hétérogénéité de la taille des grains du sédiment est corrélée à la variation spatio-temporelle de la diversité d'espèces. Quand la taille des grains fluctue beaucoup, plus d'espèces peuvent cohabiter (Bulh-Mortensen *et al.*, 2012; Levin *et al.*, 2001). Les changements dans la granulométrie, la variation dans l'abondance et le manque généralisé d'hétérogénéité, n'ont pu expliquer le patron aléatoire de la richesse observée le long du transect. Le manque d'explication peut être dû à des facteurs environnementaux ou biologiques non étudiés dans cette recherche. Le flux de carbone organique particulaire n'a pas été pris en compte lors de cette étude et pourrait être un facteur déterminant. Levin *et al.*, (2001) a décrit que le flux putatif de POC dans les abysses co-varie avec l'abondance de polychètes et que la diversité n'a démontré aucune relation particulière. Toujours dans cette même étude, la diversité des nématodes était à son nombre le plus élevé dans des sites ayant un présumé plus haut flux et productivité (Levin *et al.*, 2001). L'abondance de polychètes et de nématodes, particulièrement plus élevée à la fin du transect, pourrait donc être liée à un flux putatif de carbone organique particulaire plus élevé. Ceci pourrait être une nouvelle avenue à explorer à une échelle locale dans la zone euphotique.

CORRELATION : EPIFAUNE VS ENDOFAUNE

En premier lieu, il est important de savoir que comparativement à l'épifaune, il a été possible d'identifier les organismes endobenthiques à un niveau supérieur, puisque nous avons les organismes en main. Cependant, pour faciliter la comparaison entre les deux compartiments biologiques, seules les classes de chaque invertébré seront utilisées, puisque cela est le niveau le plus précis observable chez l'épifaune. Le fait d'avoir grouper/ homogénéiser la classification des organismes à un rang supérieur, dû à la variation des informations obtenues pour chaque espèce, n'a aucun effet négatif sur la détection de patron en ce qui a trait à la diversité selon Piepenburg *et al.*, (2011), Wlodarska-Kowalczyk et Kedra (2007), Cusson *et al.*, (2007). Le type d'échantillonnage effectué pour cette étude a permis de bien diviser les deux compartiments pour permettre une meilleure identification des assemblages.

Une grande différence existe entre les deux compartiments biologiques benthiques étudiés. Malgré la différence en taille, dispersion, classification des organismes vivant dans ces deux compartiments, il n'est pas impossible de les comparer en termes de variation d'abondance et de richesse. En effet, malgré toutes ses différences observables, les deux compartiments peuvent tout de même s'influencer (Eckman, 1983). Comme mentionné plus tôt, la distribution de l'épifaune, la présence/absence de *hot spot*, ainsi que l'abondance viendrait influencer directement l'endofaune, par la rétention de nourriture, de larves, de substrat, etc (Soltwedel et Vopel, 2001; Quéric et Solwedel, 2007). Puisqu'un des buts de cette étude est de voir comment ces deux compartiments biologiques peuvent s'influencer, leur dissimilitude n'est pas un facteur important à mesurer.

L'abondance de l'épi- et l'endofaune varie conjointement le long du transect et est significativement corrélée. L'épifaune a une plus grande abondance générale que l'endofaune puisque la comparaison se faisait sur deux types d'aires différentes (aires 5 X 2 m VS benne de 2,4 L). Une grande abondance de l'épifaune fut observée vers la fin du transect (**Figure 20**). Selon l'analyse des vidéos, plus de bioturbation était notée dans cette même section, ce qui laissait croire à une plus grande activité et à l'abondance d'endofaune (bivalves, polychètes par exemple) (**Annexe 3**) (Morata *et al.*, 2011). L'échantillonnage d'endofaune est venu confirmer la grande abondance d'organismes dans ce secteur, et plus précisément, de nématodes et de polychètes. Un lien entre les deux communautés semble être présent dans cette seconde moitié du transect. Théoriquement, l'abondance épifaunique concentrée dans un même secteur peut avoir un impact sur les courants locaux et donc créer des zones de rétention (Eckman, 1983). Cette causalité pourrait amplifier l'effet de déposition créé par les courants de fond dû à la présence du quai. Comme mentionné dans la section épifaune, la présence d'une structure artificielle va engendrer une modification des courants de fond et donc le type de granulométrie observée dans un certain secteur autour de la structure (Posey et Ambrose Jr. 1994). Malgré notre manque de données sur les courants dans cette région, plusieurs facteurs nous indiquent que la structure serait le point majeur déterminant le type de grain observé le long du transect. La fin du transect, qui est la zone de déposition des particules fines peut être aussi synonyme de rétention de nourriture (Schonberg *et al.*, 2014). C'est en effet ce que l'on

peut observer, soit une forte abondance épifaunique là où il y a une plus grande proportion de substrat fin. De plus, l'abondance en nourriture est corrélée positivement à l'abondance d'organismes benthiques (Grebmeier et Barry, 1991). Une grande abondance et diversité d'organismes vivants sur le substrat va permettre une plus grande déposition de particules et accroître la quantité ainsi que la diversité de nourriture disponible pour l'endofaune et certains taxa épifauniques. Sur le transect étudié une plus grande abondance d'anémones à la fin du transect est observée. Selon la logique, si des organismes de tailles conséquentes se retrouvent en plus grande quantité chez l'épifaune, une plus grande rétention de particules se produirait et donc une plus grande abondance de dépositores endofauniques devrait être observée. C'est effectivement ce que l'on retire comme résultat puisqu'une grande quantité de polychètes est notée dans ce même secteur du transect chez l'endofaune. De plus, le type d'assemblage observé chez l'endofaune vient confirmer cette influence, soit des dépositores (*Orbiniidae*, *Pectinaria*, *Cirratulidae* et *Capitellidae* (WoRMS, 2016)) qui sont principalement notés dans la zone de déposition. Ceci vient appuyer l'hypothèse que l'abondance épifaunique va influencer l'endofaune, à une échelle locale.

En ce qui a trait à la richesse épibenthique et endobenthique, aucun lien n'a été observé. Les deux compartiments ont une variation relativement aléatoire pour l'ensemble du transect. Plus précisément, l'épifaune reste stable dans son assemblage pour l'ensemble du transect tandis que l'endofaune change à la mi-transect (70 m). Ainsi, à première vue, aucun lien entre les assemblages ne semble être présent. Si l'on regarde les changements en termes de proportion d'organismes pour les deux compartiments, celle-ci va démontrer une plus grande variation vers la fin du transect. En effet, une plus grande fraction d'autres organismes que des polychètes peut être observée à la fin du transect. Ce changement semble être aussi lié à la taille des grains du substrat et à l'abondance plus élevée d'organismes. De plus, grâce aux corrélations effectuées, des liens significatifs et biologiques furent observés entre l'abondance et la richesse épifaunique et endofaunique, démontrant encore l'impact de l'abondance d'organismes. En effet, comme le mentionne Levin *et al.*, (2001) plus l'abondance est grande, plus la diversité sera grande. C'est ce que nous observons dans cette étude.

Selon l'étude de Nephin *et al.*, (2014), pour une étude à une échelle plus large que celle observée ici (soit des kms), la bathymétrie serait ce qui affecte le plus la variation des groupes observés chez la mégafaune (soit l'épifaune) (Piepenburg *et al.*, 1997 ; Ravelo *et al.*, 2013). Ceci peut être expliqué par la disponibilité de la nourriture (Blanchard *et al.*, 2013 ; Carroll *et al.*, 2008). De plus, une faible variation dans la granulométrie ne serait pas suffisante pour affecter la composition de l'épifaune (McArthur *et al.*, 2010). Ceci peut expliquer la faible variation, voire, la non-variation des groupes taxonomiques chez l'épifaune dans notre étude. Cependant, comme mentionné précédemment, la granulométrie représente un facteur important pour les communautés benthiques puisque selon le type de sédiments retrouvés dans l'habitat étudié, plusieurs facteurs vont être affectés : le courant près du fond marin, les manières de se nourrir et la survie des organismes due à des spécifications spécifiques de l'état larvaire à l'âge adulte (Roy *et al.*, 2014). La grande abondance d'organismes et leur présence vers la fin du transect seraient ainsi liées à un milieu propice et d'une bonne quantité de nourriture (Morata *et al.*, 2011). La plus grande proportion d'anémones serait liée à l'abondance de particules en suspension et de roches, tandis que pour les bivalves, le substrat est un facteur important (Cochrane *et al.*, 2009; Tissot *et al.*, 2006; Buhl-Mortensen *et al.*, 2012). Aucune hypothèse n'a pu être émise en dehors d'une possible présence accrue de nourriture pour les nématodes, puisque le substrat n'est pas un facteur affectant ces derniers et que leur biologie est très peu connue. Si l'on regarde le lien direct entre les organismes des deux compartiments biologiques, des relations furent détectées à l'aide d'une régression linéaire multiple. La présence de gastropodes, nématodes et némertes retrouvés dans l'endofaune est influencée par la présence d'organismes épifauniques. Ainsi, les ophiures, qui sont majoritairement prédatrices, vont influencer négativement la présence de ces trois taxa (Piepenburg, 2000, WoRMS, 2016). D'un autre côté, la présence d'anémones et d'échinodermes, qui sont des suspensivores et brouteurs vont influencer positivement ces taxa (WoRMS, 2016). Comme discuté précédemment, l'abondance d'organismes, plus précisément d'anémones et de polychètes, aiderait au dépôt de particules ainsi qu'à la création de sources de nourriture, ce qui favoriserait l'abondance d'organismes endofauniques (Kedra *et al.*, 2012, Eckman, 1983). Pour ce qui est de la présence de polychètes Sabellides, ils influenceraient négativement la présence de nématodes. Puisque nous détenons peu d'information sur la

biologie des nématodes observés le long de ce transect, il est difficile d'émettre une hypothèse quant à cette compétition apparente. En somme, avec ce type de résultats nous pouvons ainsi dire qu'à petite échelle, il serait possible de prédire la présence ou l'absence de certaines espèces endobenthiques le long du transect à l'aide la diversité épibenthique. D'ailleurs, le développement de ce type d'outil serait très utile pour des recherches futures et permettrait une solidification de cette mesure et une efficacité d'évaluation des communautés accrues. Ceci devra cependant être testé dans plusieurs habitats et pour plusieurs échelles.

3.7 CONCLUSION

Comme Roy *et al.*, (2014) l'a mentionné, nous devons prendre en compte qu'il y a de la variation locale pour les paramètres environnementaux et biologiques pour émettre de meilleures prédictions au niveau de l'Arctique canadien. Cette étude a démontré la variation naturelle de la communauté benthique de Cambridge Bay de la dynamique benthique à une échelle locale (m). La tendance démontre un assemblage stable pour l'épifaune comparativement à l'endofaune qui présente un changement d'assemblage à la mi-transect. Ceci sous-tend que l'hypothèse d'une variation à plus large échelle de l'épifaune comparativement à l'endofaune est supportée. Ainsi, une étude à plus large échelle permettrait probablement de détecter la variation au niveau de l'épifaune. À une échelle locale, une corrélation positive entre l'épifaune et l'endofaune fut détectée au niveau de leur abondance ainsi qu'un lien entre leurs assemblages. Finalement, nous avons pu conclure que la granulométrie est un facteur environnemental majeur pour la dynamique des communautés benthique à une petite échelle.

Pour de futures études, plusieurs types d'habitats devraient être étudiés. La compréhension et l'analyse de différents milieux permettront de rassembler des informations plus précises sur la variation à petite échelle (m) des communautés benthiques, ainsi que de comprendre la différence entre les patrons observables à une échelle locale versus régionale. L'ajout de facteurs environnementaux, telle la quantité de chlorophylle *a* et pheopigments, ajouterait une dimension intéressante à l'explication de la variabilité spatiale observée. Des

nouvelles avenues technologiques seront aussi intéressantes, telle la modélisation 3D de transects sous-marins et des analyses automatisées. Ce type d'avancement permettra de faire les analyses rapidement et d'obtenir de plus amples informations comme la rugosité et le relief du substrat, la taille des organismes, algues, roches, etc... Ainsi, une grande possibilité de développements technologiques intéressants pour acquérir des données sur la variabilité naturelle des communautés benthiques est possible.

CONCLUSION GÉNÉRALE

4.1 CONCLUSION GENERALE

Cette étude couvre les aspects temporels et dynamiques des communautés benthiques infratidales dans l'Arctique canadien, à Cambridge Bay. Les deux portions de l'étude ont été effectuées dans les mêmes conditions, soit à une échelle locale (m), à une profondeur d'environ 6-7 m, dans le même secteur et à une haute résolution. La compréhension de ce qui se produit à une échelle locale (m) est nécessaire pour pouvoir interpoler les résultats à de plus larges échelles (Roy *et al.*, 2014). En effet, les variations à petites échelles dans une communauté peuvent influencer jusqu'aux variations écosystémiques (Blanchard et Feder, 2014). Certains patrons observés dans des communautés benthiques pourraient même être expliqués par des phénomènes locaux (Roy *et al.*, 2014). Les publications actuelles sur cette région sont très peu nombreuses et on constate un manque particulier de recherche sur les communautés benthiques pour la région Kitikmeot. Cette étude apporte ainsi de l'information nouvelle dans un milieu d'intérêt.

La présente étude a été effectuée à l'échelle locale dans la baie de Cambridge Bay, sur l'île de Victoria, dans la région Kitikmeot, dans l'Arctique canadien. L'échantillonnage s'est déroulé en septembre 2014, avec l'aide de plongeurs, d'un petit navire motorisé, et de la plateforme sous-marine câblée appartenant à Ocean Networks Canada (ONC, 2016). Cette dernière a permis, en premier lieu, d'observer la variation temporelle à haute résolution de la communauté benthique de la baie au cours de l'année 2012-2013, en deuxième lieu, d'en faire une description, en plus de comprendre quels facteurs environnementaux expliquent le mieux ces variations (e.g. température, oxygène dissout, couvert de glace, fluorescence, turbidité, salinité). Cette étude a également permis de comprendre la dynamique des assemblages à petite échelle (m) spatiale. Plusieurs facteurs ont été pris en considération, soit la co-occurrence intra- et inter-taxa, épi- et endobenthique, les regroupements et la dispersion de taxa ainsi que les facteurs environnementaux. Cette étude a démontré une variabilité temporelle significative entre les saisons expliquée en grande partie par la quantité de nourriture disponible et la salinité. En ce qui a trait à la dynamique, des assemblages épifauniques stables et des assemblages endobenthiques variables, furent notés. Même si les assemblages épifauniques

sont beaucoup plus stables dans l'espace que l'endofaune, un lien entre les deux communautés a été décrit.

4.2 ASPECT TEMPOREL

L'étude des communautés benthiques et l'utilisation de technologie spécialisée lors de cette étude ont permis de contrecarrer plusieurs des difficultés que l'environnement Arctique impose. Des moyens visuels de haute résolution et d'observation à longueur d'année sont des capacités extrêmement rares et recherchées dans les études nordiques. Dans ce cas-ci, nous avons pu observer de près la fluctuation saisonnière significative de la richesse et de l'abondance des organismes benthiques. Un nombre peu élevé de vidéos, soit 12 par saison s'est avéré suffisant pour déceler les variations inter-saisonnières. En plus, la plateforme a permise d'observer la variation des facteurs environnementaux de manière très précise et de mettre en relation les variations observées dans la communauté benthique de Cambridge Bay. L'abondance de nourriture observée avec le CTD explique fortement la variation observée de l'abondance, tandis que la salinité explique celle de la richesse. Ainsi, cette étude permet de conclure qu'il est efficace d'étudier les organismes benthiques par observatoire sous-marin.

L'année 2012-2013 fut sélectionnée pour cette étude qui a débuté en 2014. La **Figure 27** de l'**Annexe 1** démontre un patron annuel observable des facteurs environnementaux, soit la salinité, l'oxygène dissout (mL L^{-1}), le couvert de glace (m) et la température de l'eau ($^{\circ}\text{C}$). Puisque le patron observé se répète à chaque année, nous avons décidé d'observer un patron complet, soit une année entière. Lors du début de cette étude, la première année de l'observatoire était déjà disponible en totalité, soit 2012-2013, ce qui a orienté notre décision de nous concentrer sur celle-ci.

Limitations aspect temporel

L'année 2013-2014 fut traitée de même la manière que 2012-2013 lors du début de cette recherche. Parce que des changements majeurs furent apportés à l'observatoire en termes de matériel et d'équipements au cours de la deuxième année, la comparaison au niveau visuel

des vidéos ne fut pas possible. Ainsi, aucune comparaison interannuelle n'a pu être effectuée malgré le traitement et l'analyse de vidéos provenant de deux années. De plus, un problème est survenu au cours de cette deuxième année empêchant la récolte de vidéos pour presque deux saisons complètes. En effet, cette technologie se retrouve en milieu éloigné et qu'elle est difficilement atteignable. Les problèmes encourus n'ont pu être remédiés que plusieurs mois plus tard. En plus des changements technologiques, ce manque d'information venait aussi nuire à la comparaison annuelle. Utiliser de nouvelles technologies implique nécessairement des changements et des mises à jour. Pour pouvoir monitorer un secteur de manière constante avec la plateforme sous-marine de Ocean Networks Canada (ONC, 2015), celle-ci doit être fixe et stable dans le temps. Dans le cadre de cette étude, la technologie étant en développement dans un milieu éloigné, l'observatoire était poussé hors de l'eau à tous les ans pour permettre un changement complet de la structure, ou un remplacement de technologie, telle la caméra. Ces ajustements apportaient des changements dont les impacts pouvaient être majeurs dans certains aspects de l'observatoire. Plus précisément, la caméra, la hauteur et le lieu de l'observatoire pouvaient avoir un effet sur l'angle de vue, la position, et l'aire d'observation.

Dans les premières années de l'observatoire 2012-2014, aucun système de mesures permettant la comparaison de vidéos de différentes années n'a été implanté occasionnant une incapacité à comparer des surfaces même si la caméra ne visait pas le même endroit. Cette lacune a éliminé la possibilité de faire une comparaison interannuelle pour les premières années de l'observatoire. Ainsi, la stabilité des équipements technologiques et leur durabilité sont des critères qui doivent être pris en compte. Un système de mesures telles des lasers pourrait aider à faire une comparaison interannuelle entre les surfaces si la caméra devait être remplacée ou déplacée, en plus de pouvoir faire d'autres mesures biologiques. Malgré ces difficultés techniques, cette étude démontre la pertinence d'utiliser un observatoire sous-marin câblé considérant la richesse des connaissances à hautes résolutions sur les communautés benthiques et possiblement planctoniques (selon l'angle de la caméra) que cette technologie nous permet d'acquérir et le potentiel de développement pour les années futures.

4.3 DYNAMIQUE DES ASSEMBLAGES

À une échelle locale (m) l'assemblage épifaunique observé est stable tout le long du transect comparativement à l'endofaune pour lequel un changement fut observé vers la moitié du transect. Malgré cette absence de lien à première vue entre ces deux compartiments biologiques, plusieurs rapports ont pu être établis au cours de cette étude. Premièrement, la composition épibenthique et endobenthique est étroitement liée à la granulométrie. Ainsi nous avons pu observer, avec deux méthodes d'échantillonnages distinctes, que le même facteur environnemental les affecte de manière prédominante. La technique utilisée dans cette étude, soit la comparaison d'une analyse par image versus un échantillonnage par benne, pour observer la relation épi- et endobenthique semble bien fonctionner. La comparaison effectuée ici était un tronçon de 5 X 2 m versus un coup de benne de 2,4 L, ce qui peut être considéré comme faible. Cependant, la précision de l'échantillonnage permettait de comparer les deux compartiments adéquatement. Par ailleurs, la prise d'images du fond marin est considérée comme étant une des meilleures méthodes pour investiguer la diversité, l'abondance et les assemblages épibenthiques (Holme et McIntyre, 1984). Les vidéos, contrairement au chalutage, permettent d'étudier une communauté à haute résolution sans dommage environnemental (Soltwedel *et al.*, 2009). Avec la méthodologie développée, une covariation de l'abondance a pu être observée, ce qui permet de suggérer un lien entre l'épibenthos et l'endobenthos. À première vue, la comparaison d'assemblage pour cette étude était difficile à établir. Le petit nombre d'échantillonnage n'a pas permis d'observer une redondance dans les patrons d'assemblages. La comparaison de critères d'assemblages établis était donc impossible à faire. L'analyse multilinéaire apportée dans cette étude a tout de même permis de dénoter certains liens. Même si les assemblages ne variaient pas de la même façon le long du transect, un lien fut établi entre les organismes de ces deux compartiments démontrant une influence de l'épibenthos sur l'endobenthos.

La stabilité des assemblages épibenthiques comparativement à la variation de celle de l'endobenthos pourrait, en soit, être un patron. Malgré que nous ayons possiblement étudié une aire trop restreinte pour observer une variation chez l'épifaune, celle-ci pourrait être en fait stable dans l'espace. Ce que nous pouvons émettre comme seconde hypothèse sur le sujet est

que l'assemblage épibenthique, dans un environnement relativement homogène tel que celui étudié, resterait stable dans l'espace et ferait office de grand chapeau sous lequel une variation endobenthique redondante pourrait être observée selon l'abondance et la présence de certains taxons épibenthiques. Les changements locaux abiotiques tels la granulométrie et biologiques tels la prédation/compétition créerait ces variations d'assemblages et d'abondance chez l'endofaune. En effet, tel que démontré dans cette étude, l'abondance et la présence, par exemple de prédateurs épibenthiques, affecte l'environnement benthique immédiat et l'endofaune. Ainsi, l'endofaune, plus sensiblement affecté par ces changements, varierait en fonction de la présence et la force de ces facteurs tandis que l'assemblage épibenthique reste stable.

En dernière analyse, un petit nombre de facteurs environnementaux furent pris en considération dans cette étude. Malgré le nombre faible étudié, des données intéressantes sur la granulométrie des sites ont pu être récoltées. Un changement au niveau de la granulométrie fine peut affecter la constitution d'assemblage endobenthique à petite échelle. La granulométrie, plus grossière au début du transect et plus fine vers la fin pourrait, entre autres raisons, être due à la resuspension de particules par les navires. En effet, le site étudié se trouve très près d'un quai et donc d'une grande circulation de navires. En dehors de l'effet important de la structure artificielle sur les courants de fond et le remaniement du substrat (Posey et Ambrose Jr., 1994; Barros *et al.*, 2001), la présence de navire aurait pu affecter le substrat. La fraction argileuse près du quai, au début du transect, pourrait être remaniée par des navires et transportée par des courants vers la fin du transect. Malheureusement, aucun courantomètre, ni trappe à particules n'était disponible sur le site de l'étude en 2012-2013 pour élaborer sur cette hypothèse. L'ajout de ces outils de mesure pour une future étude permettrait donc d'élaborer sur ce sujet.

Limitations dynamiques des assemblages

Il est démontré dans cette étude la possibilité de faire une étude à haute résolution sur la dynamique des assemblages benthiques avec une méthodologie manuelle. Cependant, comme la construction manuelle du transect a pu être affectée par erreur humaine, un besoin

de techniques plus précises, telles l'analyse automatisée et l'utilisation de technologie sous-marine pour récolter des échantillons, est manifeste. Nous avons observé que la *GoPro* offrait une grande distorsion de l'image ce qui rendait plus difficile la création de la mosaïque manuelle. Une superposition accrue et une plus grande sélection de photos ont palliées la distorsion et permis d'obtenir une image la plus stable possible. Cependant, l'utilisation d'une caméra possédant une lentille non déformante pourra permettre une meilleure superposition des photos.

Avoir des instruments/technologies plus poussés pour permettre la stabilité, la non-distorsion des vidéos et le bon angle de vu tel un ROV permettrait une construction automatisée d'une mosaïque du transect, d'être modélisée en 3D, en plus de fournir des vidéos et photos comparables pour différentes profondeurs et localisations (Parry *et al.*, 2003). Un exemple de logiciel permettant la modélisation 3D est AgiSoft®. Lors de la prise de vidéos, le recours à un laser rectangulaire permettrait de détecter une instabilité de la vidéo et donc de faire une sélection plus précise de celles à analyser (Parry *et al.*, 2003), en plus de permettre la mesure d'organismes et de paramètres environnementaux telles des roches. Comme mentionné pour l'aspect temporel, le traitement d'image automatisé, si l'environnement le permet, permettrait une analyse plus efficace en limitant la distorsion et la possibilité de biais par traitement manuel. Pilgrim *et al.*, (2000) ont développé un système nommé *Automated Benthic Image-Scaling System*, soit ABISS, qui est utilisé depuis quelques années. Ce programme permet de détecter et d'identifier la mégafaune benthique à l'aide d'images récoltées d'un ROV (Parry *et al.*, 2003). Ce type d'outil pourrait être très utile dans une prochaine étude par transect sur fond stable.

En ce qui a trait à l'endofaune, un système de prise manuelle par un plongeur serait préférable plutôt que par bateau et bouées. La présence de bouées ajoute un biais de plus à la précision de la localisation de chaque échantillon, même si celles-ci sont précises, une possibilité de dérive est présente. La récolte à la main par un plongeur permettrait une grande précision autant pour la prise de substrat que pour la donnée GPS. De plus, un plus grand nombre/taille d'échantillons d'endobenthos dans une même aire pourra permettre une comparaison plus précise de l'endofaune et de l'épifaune.

4.4 PERSPECTIVES

Aspect temporel

Des différences significatives au cours d'une année furent démontrées dans cette étude. Des facteurs environnementaux ont fortement expliqué une portion des variations de la richesse et de l'abondance du benthos au cours d'une année. Une manière certaine d'implémenter cette étude temporelle est de faire une comparaison interannuelle. En effet, la variabilité interannuelle des facteurs environnementaux est grande et des études multi-annuelles permettraient d'avoir une meilleure mesure de la variation naturelle des communautés benthiques (Wassmann, 2011, Michel *et al.*, 2006). Il n'est pas nécessaire d'augmenter le nombre de vidéos par saison, puisque comme il a été démontré dans cette étude, un nombre de 12 était suffisant pour faire ressortir les tendances moyennes avec une très bonne précision. Ajouter des années permet d'augmenter le n pour chaque saison et d'établir des comparaisons plus significatives de la réelle variation inter-saisonniers, en plus de permettre la comparaison interannuelles. L'ajout d'analyses interannuelles permettrait d'établir des bases solides sur la variation à long terme des communautés benthiques. Ces bases permettraient d'évaluer et de mesurer plus précisément l'impact des changements observés dans l'Arctique canadien sur ces communautés. En effet, ces dernières étant pérennes, elles sont de très bons indicateurs sur l'état de santé de l'environnement (Darnis *et al.*, 2012, Grebmeier et Barry, 1991, Hovelsrud *et al.*, 2008, Larsen *et al.*, 2014, Moritz *et al.*, 2002, Piepenburg *et al.*, 1996, Renaud *et al.*, 2007, Roy *et al.*, 2014, Wassmann *et al.*, 2011, Zeller *et al.*, 2011). Ainsi, l'étude de ces communautés indicatrices avec la technologie des observatoires sous-marins est une combinaison puissante de mesures de l'impact des changements climatiques sur l'écosystème marin.

L'amélioration de la technologie au cours du temps pourra éventuellement mener à la création de bases de données adaptées pour la modélisation et la gestion d'écosystème (Mikada *et al.*, 2010; Iwase *et al.*, 2003), ainsi qu'à des études automatisées. Des problématiques devront être confrontées telles la stabilité d'images, l'uniformité du fond marin, l'éclairage, la

turbidité et le développement d'un programme de reconnaissance d'organismes (Aguzzi *et al.*, 2011) pour pouvoir arriver à une automatisation de l'analyse d'image benthiques. Aguzzi *et al.*, (2011) démontre la possibilité d'évolution dans ce domaine. Leur équipe développe des protocoles d'identification de la faune benthique par méthode automatisée. Ainsi l'application future d'algorithmes, si l'ensemble des points est rencontré par l'observatoire, pourra être réalisable et ainsi être plus efficace qu'une analyse manuelle. Assurément, l'ajout d'observatoires câblés dans d'autres régions polaires et dans différents milieux (substrat mou, dur, milieux abyssaux, côtier, au large, etc.) aiderait à la compréhension de la variation naturelle de ces milieux benthiques, puisque notre étude n'est pas extrapolable à d'autres milieux. En effet, l'aspect temporel étudié fut réalisé à une petite échelle dans un milieu côtier. Cependant, même si cette étude n'est pas transposable pour plusieurs habitats, et malgré l'échelle à laquelle cet aspect fut étudié, les résultats obtenus sont transposables à une échelle locale dans des habitats similaires. Ainsi, les résultats sont minimalement extrapolables à la communauté benthique se retrouvant dans la baie de Cambridge Bay, à même profondeur. En effet, les deux communautés se retrouvent dans la même zone de la baie de Cambridge Bay, dans le même milieu et environnement.

Dynamique des assemblages

L'étude de la dynamique des assemblages benthique de Cambridge Bay, a démontré une stabilité au niveau de l'épifaune pour une distance de 125 mètres tandis que l'endofaune observait une variation. Cette variation semblait être directement liée à la granulométrie, cependant d'autres facteurs environnementaux auraient pu venir compléter nos explications. La disponibilité de nourriture qui semble être un facteur important ne fut pas évaluée dans cette étude. Comme évoqué dans la discussion le type d'organismes majoritairement observés (suspensivores, dépositivores, etc.) semblait concorder avec une présence de nourriture accrue vers la fin du transect, cependant aucune confirmation n'a pu être établie. Ainsi, l'ajout de trappes à sédiments pour intégrer la présence, le type et la quantité de pheopigments et de source de nourriture provenant de la colonne d'eau serait important pour pouvoir étudier ce facteur qui a un impact sur la dynamique des communautés benthiques (Link *et al.*, 2011).

Un lien entre l'endofaune et l'épifaune fut observé dans cette étude, et ce, à une échelle locale (m). Des études plus précises sur ce lien, pour différentes échelles spatiales, a un fort potentiel en recherche. En effet, la précision du lien reliant les deux catégories du benthos permettrait de faire des estimations d'abondance et même de dynamique des assemblages. L'épifaune affecte l'endofaune et donc sa communauté à une petite échelle spatiale comme démontré dans cette étude. Ainsi, si un fort lien entre ceux-ci est noté pour un type d'environnement donné ou une profondeur donnée une estimation de l'endofaune pourrait en être tirée. En effet, l'assemblage endofaunique, ainsi que son abondance approximative pourraient être déterminés à partir de l'assemblage et l'abondance épifaunique si un lien redondant est observé à différentes échelles spatiales. Si le compartiment endofaunique peut être estimé par l'étude de la communauté épifaunique, beaucoup de temps et d'échantillonnages pourraient être réduit à l'avenir, puisque le milieu benthique arctique étant souvent difficile d'accès (Polyakov *et al.*, 2013). Cependant, plusieurs milieux et habitats devront être étudiés avant de prouver l'efficacité de cette méthode. Subséquemment, l'étude approfondie de ce lien dans des projets de différentes échelles permettrait de clarifier le lien et d'observer la présence ou l'absence de redondance.

4.5 CONCLUSION

Cette étude a contribué à l'apport de nouvelles connaissances pour une région peu étudiée, soit celle de Cambridge Bay. En plus d'un manque généralisé d'études dans cette région, une rareté flagrante de données au niveau des communautés benthiques était constatée. Étudier la faune benthique, qui est un bon indicateur environnemental (Darnis *et al.*, 2012, Grebmeier et Barry, 1991, Hovelsrud *et al.*, 2008, Larsen *et al.*, 2014, Moritz *et al.*, 2002, Piepenburg *et al.*, 1996, Renaud *et al.*, 2007, Roy *et al.*, 2014, Wassmann *et al.*, 2011, Zeller *et al.*, 2011) en plus d'avoir accès à une nouvelle technologie nous permettrait de contrecarrer les difficultés logistiques que l'Arctique impose. En effet, l'apport de nouvel équipement spécialisé dans cette région, tel la plateforme sous-marine câblée d'Ocean Networks Canada (ONC, 2015), permet de faire des analyses temporelles à haute résolution dans un environnement extrême. Obtenir des données à haute résolution, autant spatiales que

temporelles nous permet d'acquérir des données beaucoup plus précises. Cette étude aura donc contribué à la description de la communauté locale épifaunique et endofaunique de Cambridge Bay, en plus d'être une des premières études temporelles à haute résolution effectuée dans l'Arctique canadien.

En ce qui a trait la à dynamique des assemblages, nous avons pu obtenir des résultats très intéressants sur la dispersion et l'assemblage d'organismes à une échelle locale (m) pour l'épifaune et l'endofaune, ainsi que le lien qui lie ces deux compartiments. Néanmoins, des études dans différents milieu proposé dans cette dernière section, permettraient une meilleure compréhension et l'acquisition de données sur la variation naturelle de ces communautés importantes à une échelle locale (m). Avec les changements qui surviennent dans l'Arctique, un besoin se fait sentir de comprendre l'étendue de l'impact de ceux-ci. L'apport d'informations sur la variabilité naturelle des communautés benthiques, qui sont en soit de bons indicateurs pour les changements environnementaux, est primordial pour établir de bonnes bases pour comprendre plus précisément l'impact de ces changements dans le futur.

ANNEXE 1

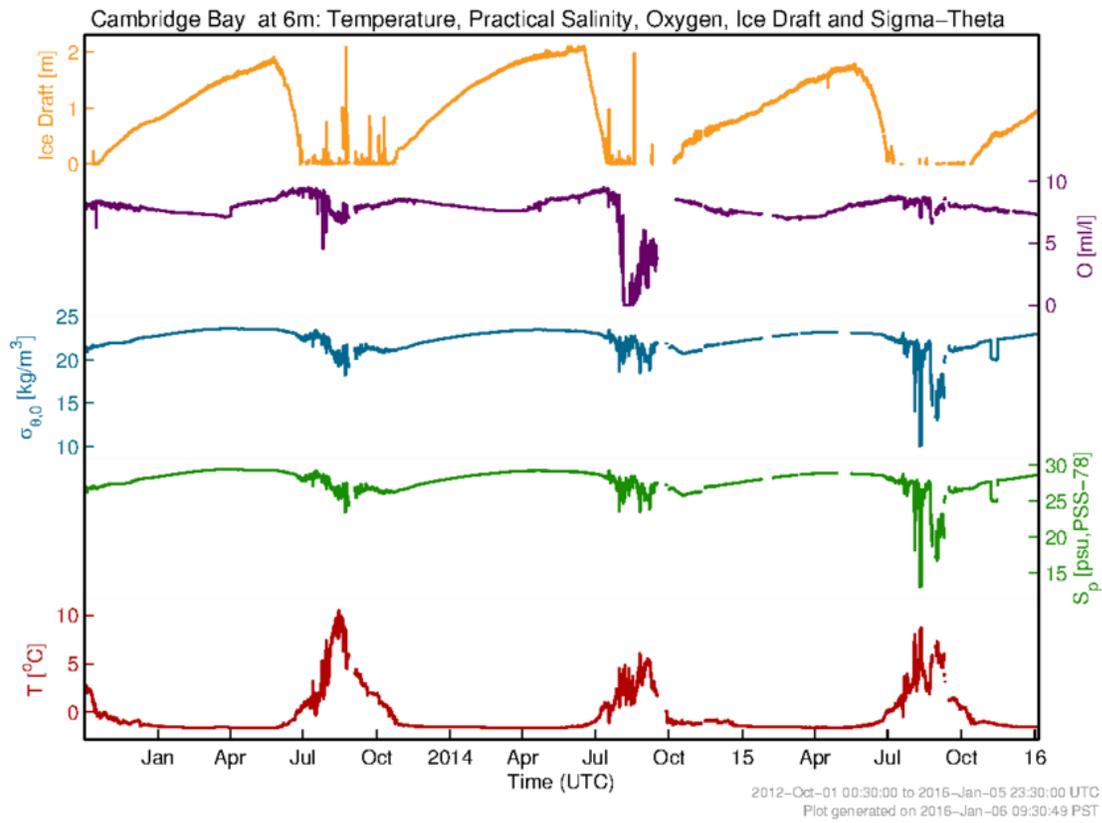


Figure 27. Cambridge Bay temperature, practical salinity, oxygen, ice draft and sigma-theta since November 2012.

ANNEXE 2

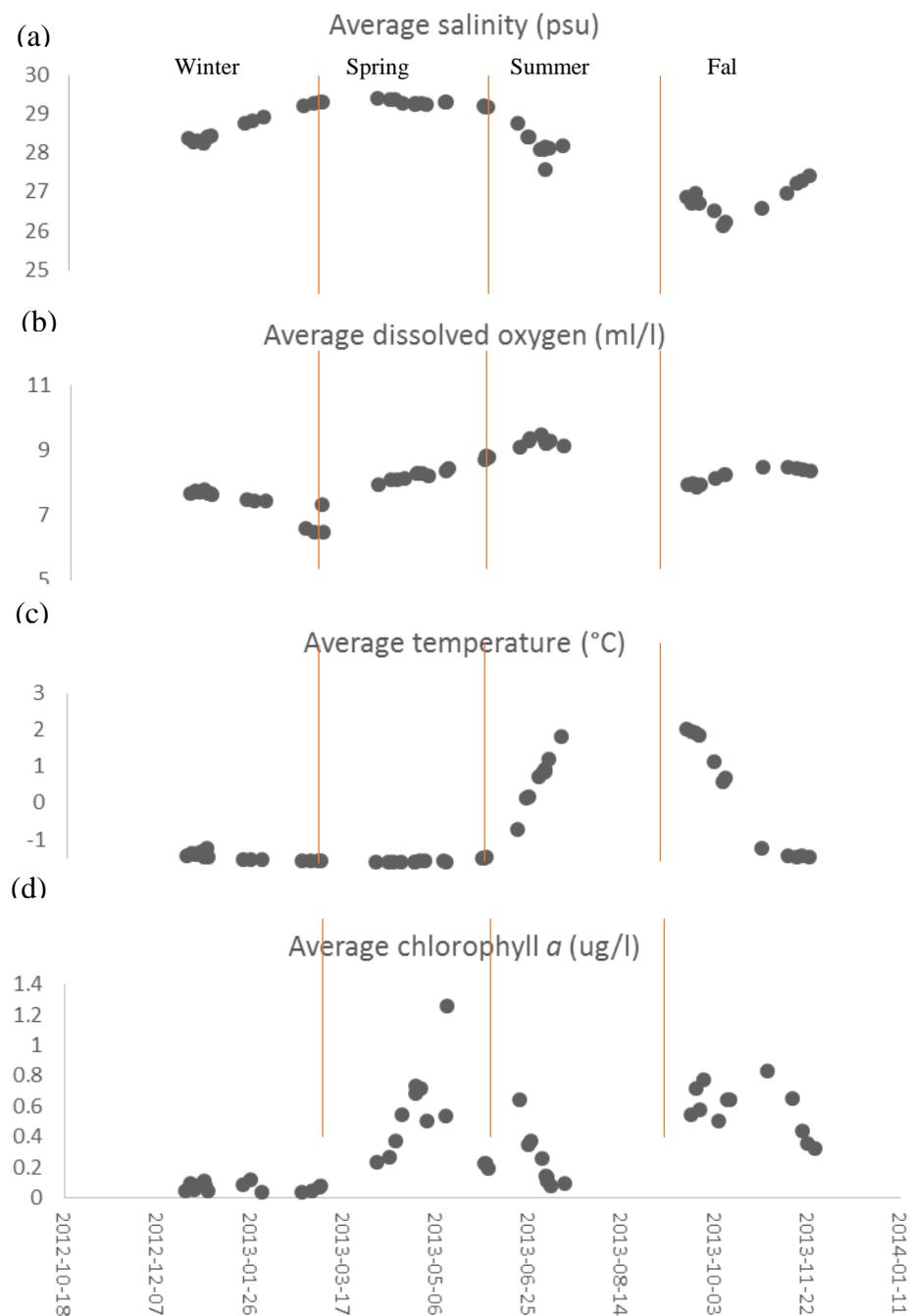


Figure 28. Variation through seasons (winter, spring, summer, fall) of (a) the average salinity, (b) the average dissolved oxygen (mL L^{-1}), (c) the average temperature ($^{\circ}\text{C}$), and (d) the average chlorophyll *a* ($\mu\text{g L}^{-1}$) for the years 2012, 2013 in Cambridge Bay, NU ($n = 43$).

ANNEXE 3

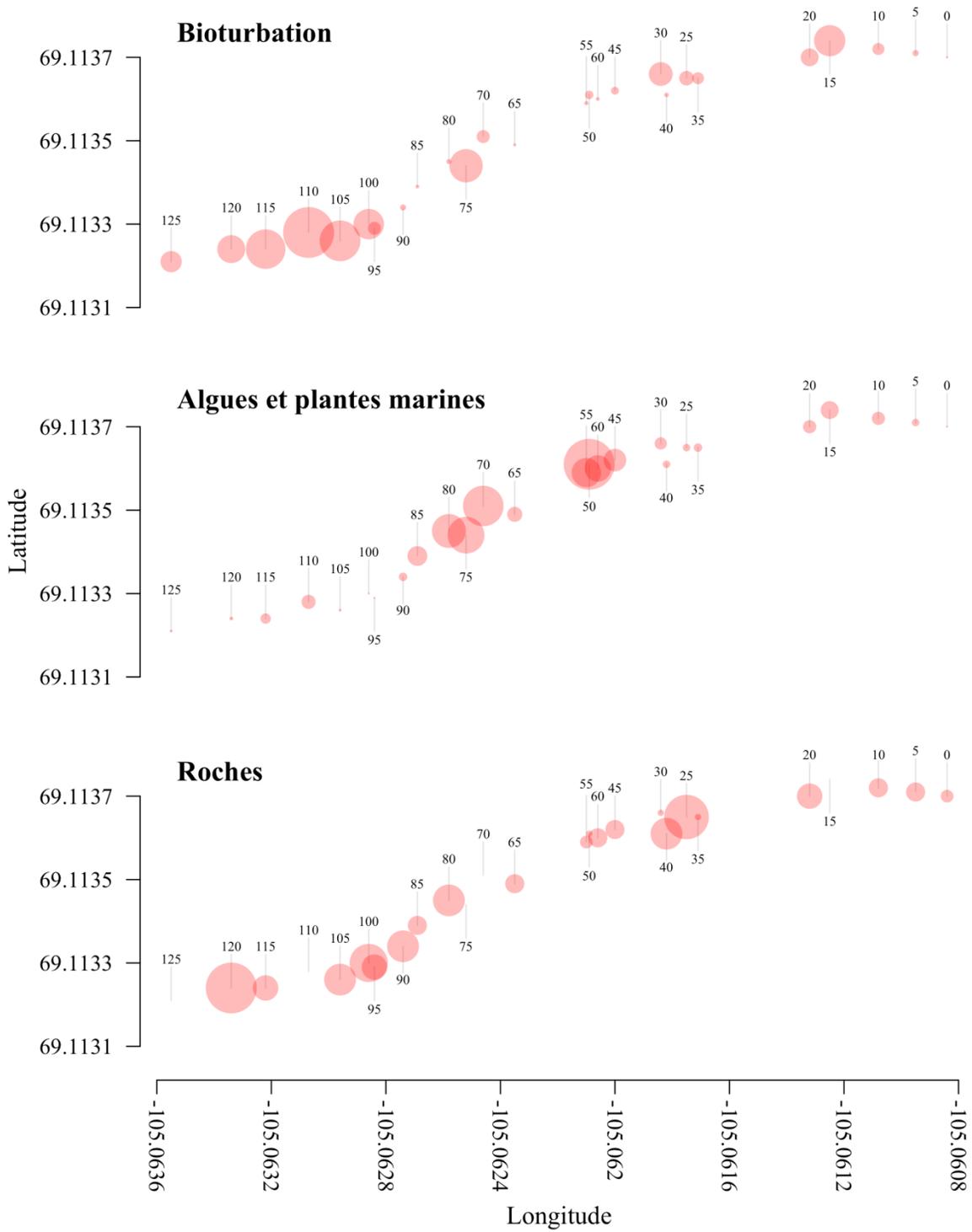


Figure 29. Distribution of the environmental factors (bioturbation, rocks, algae), in percentage, of the transect with hot spot graphics, Cambridge Bay, NU, 2014.

ANNEXE 4

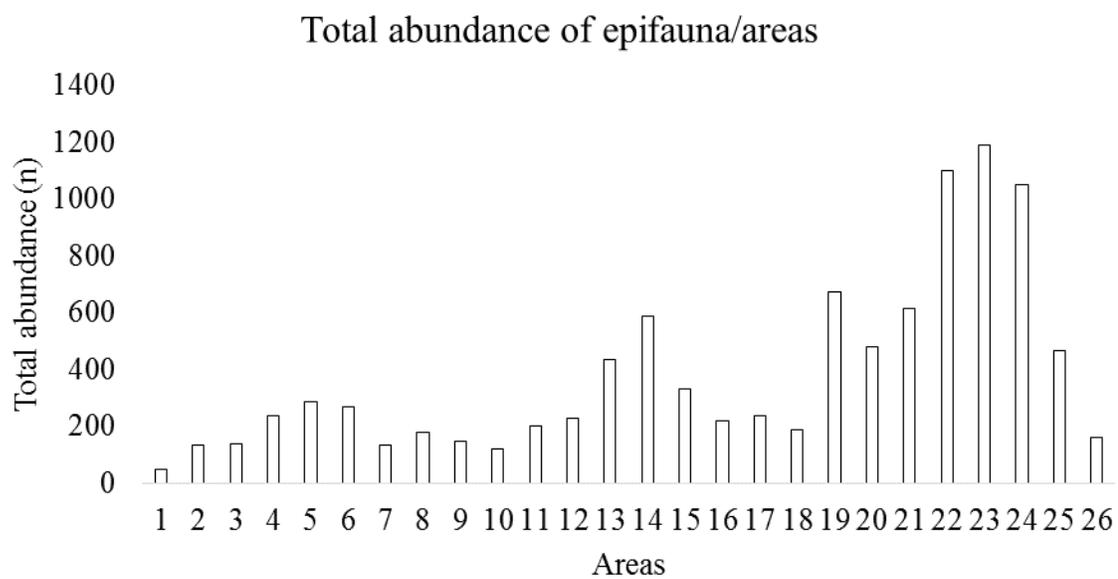


Figure 30. Total abundance of the epifauna for all the 26 areas of the transect, in Cambridge Bay, NU, 2014.

ANNEXE 5

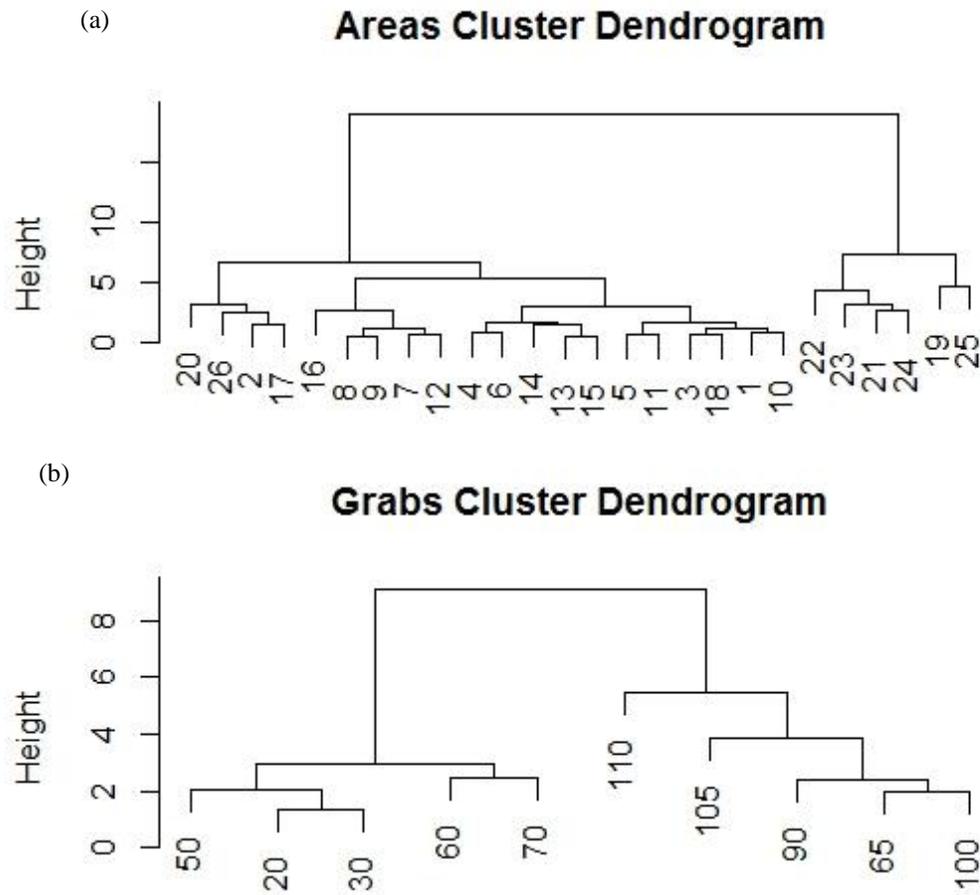


Figure 31. (a) Areas (epifauna) cluster dendrogram, and (b) grabs (m) (infauna) cluster dendrogram sampled along the transect of Cambridge Bay, NU, 2014.

ANNEXE 6

Depth (m) Profile

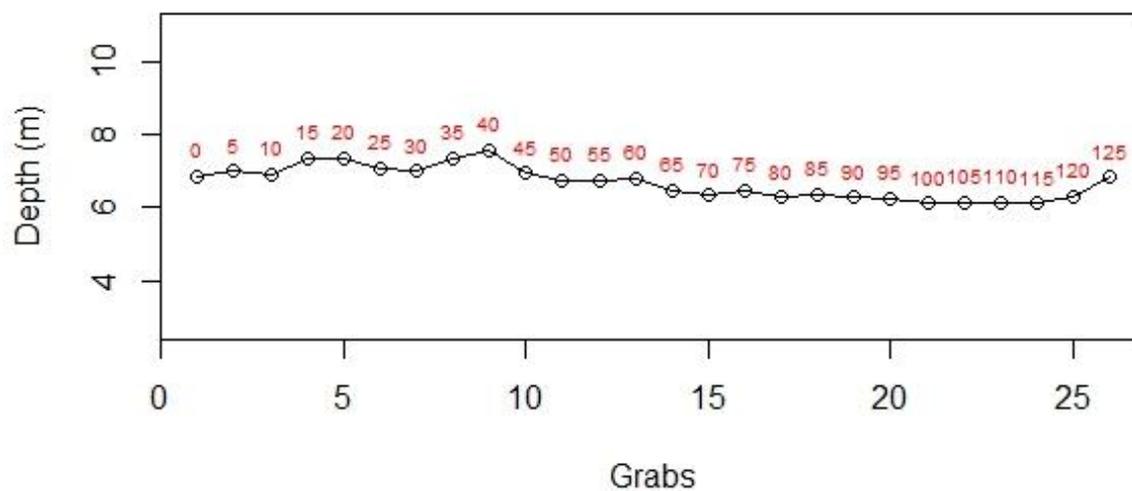


Figure 32. Profil de profondeur du transect pour chaque coup de benne effectué le long du transect à Cambridge Bay, NU, 2014.

ANNEXE 7

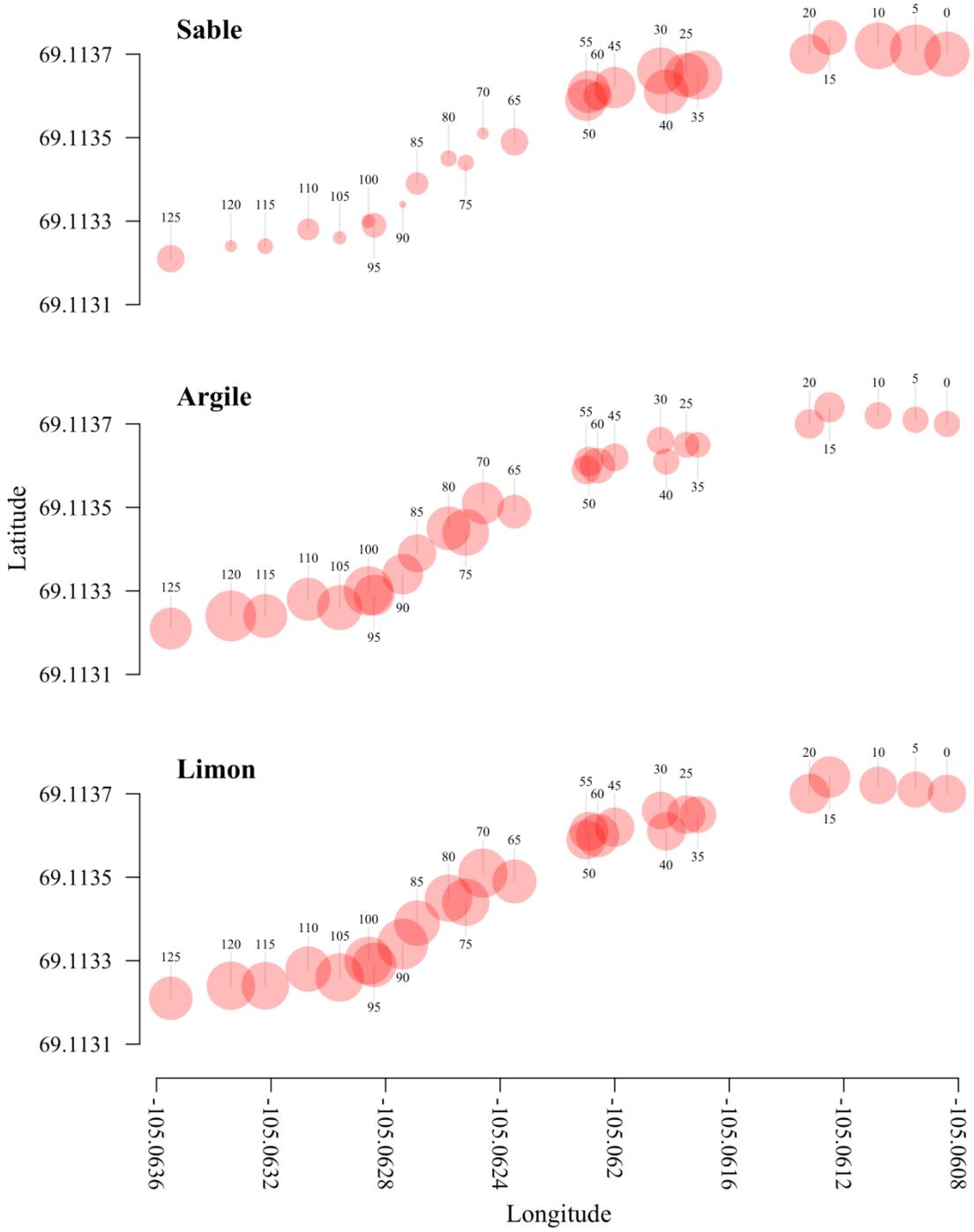


Figure 33. Distribution granulométrique (sable, argile, limon), en pourcentage, de chaque coup de benne, le long du transect à Cambridge Bay, NU, 2014, représenté par un graphique *hot spot*.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abdi H., and L.J. Williams, 2010. Principal component analysis. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computation. Stat.* **4(2)** : 433-459.

ACIA, 2004. Impacts of a warming Arctic. Arctic climate impact assessment. *Cambridge: Cambridge Univ. Press.* 51 pp.

Adobe Systems Incorporated®, 2010. Adobe Photoshop CS5: Adobe Systems Incorporated.

Aguzzi J., C. Costa, K. Robert, M. Matabos, F. Antonucci, S.K. Juniper, and P. Menesatti, 2011. Automated image analysis for the detection of benthic crustaceans and bacterial at coverage using the VENUS undersea cable network. *Sensors.* **11** : 10534-10556.

Aguzzi J.N. Bahamon, and L. Marotta, 2009. The influence of light availability and predatory behavior of the decapod crustacean *Nephrops norvegicus* on the activity rhythms of continental margin prey decapods. *Mar. Ecol.* **30** : 366-375.

Ambrose Jr W.G., 1993. Effects of predation and disturbance by ophiuroids of soft-bottom community structure in Oslofjord : results of a mesocosm study. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **97** : 225-236.

Ambrose R.F., and T.W. Anderson, 1990. Influence of artificial reef on the surrounding infaunal community. *Mar. Biol.* **107** : 41-52.

Archambault P., and E. Bourget, 1996. Scales of coastal heterogeneity and benthic intertidal species richness, diversity and abundance. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **136** : 111-121.

Ardisson P.L., and E. Bourget, 1992. Large-scale ecological patterns: discontinuous distribution of marine benthic epifauna. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **83** : 15-34.

Barros F., A.J. Underwood, and M. Lindergarth, 2001. The influence of rocky reefs on structure of benthic macrofauna in nearby soft-sediments. *Estuar. Coast. Shelf S.* **52** : 191-199.

Beaumont N.J., M.C. Austen, J.P. Atkins, D. Burdon, S. Degraer, T.P. Dentinho, and S. Derous, 2007. Identification, definition and quantification of goods and services provided by marine biodiversity: implications for the ecosystem approach. *Mar. Pollut. Bull.* **54** : 253–265.

Bêche L.A., E.P. McElravy, and V.H. Resh, 2006. Long-term seasonal variation in the biological traits of benthic-macroinvertebrates in two Mediterranean- climate streams in California, U.S.A. *Freshwater Biol.* **51** : 56-75.

Belley R., P. archambault, B. Sundby, F. Gilbert, and J.M. Gagnon, 2010. Effects of hypoxia on benthic macrofauna and bioturbation in the Estuary and Gulf of St. Lawrence, Canada. *Cont. Shelf Res.* **30** : 1302-1313.

Blanchard A.L., and H.M. Feder, 2014. Interactions of habitat complexity and environmental characteristics with macrobenthic community structure at multiple spatial scales in the northeastern Chukchi Sea. *Deep-Sea Res. Pt. II.* **102** : 132-143.

Blanchard A.L., C.L. Parris, A.L. Knowlton, and N.R. Wade, 2013. Benthic ecology of the northeastern Chukchi Sea. Part II. Spatial variation of megafaunal community structure, 2009–2010. *Cont. Shelf Res.* **67** : 67-76.

Borcard D., F. Gillet, and P. Legendre, 2011. Numerical ecology with R. Springer New York Dordrecht London Heidelberg. 315 pp.

Buhl-Mortensen L., P. Buhl-Mortensen, M.F.J. Dolan, J. Dannheim, V. Bellec, and B. Holte, 2012. Habitat complexity and bottom fauna composition at different scales on the continental shelf and slope of northern Norway. *Hydrobiologia.* **685** : 191-219.

Bussotti S., A. Terlizzi, S. Frascchetti, G. Belmonte, and F. Boero, 2006. Spatial and temporal variability of sessile benthos in shallow Mediterranean marine caves. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **325** : 109-119.

Canadian Council of Ministers of the Environment, 1999. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Dissolved oxygen (marine). In: Canadian environmental quality guidelines, 1999. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.

Carroll M.L., and J. Carroll, 2003. The Arctic Seas. *Biogeochemistry of Marine Systems*. Black K., and G. Shimmiel, (Eds.), Blackwell Publishing, Oxford. pp. 127–156.

Carroll M.L., S.G. Denisenko, P.E. Renaud, and W.G. Ambrose, 2008. Benthic infauna of the seasonally ice-covered western Barents Sea: patterns and relationships to environmental forcing. *Deep-Sea Res.* **55** : 2340–2351.

Cartes J.E., and A.F. Sardà, 1993. Zonation of deep-sea decapod fauna in the Catalan Sea (Western Mediterranean). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **94** : 27–34.

Cartes J.E., and M. Carrasson, 2004. Influence of trophic variables on the depth-range distributions and zonation rates of deep-sea megafauna: the case of the Western Mediterranean assemblages. *Deep-Sea Res. I.* **51** : 263–279.

Chase J.M., and M.A. Leibold, 2002. Spatial scale dictates the productivity-biodiversity relationship. *Nature.* **416** : 427-430.

Clough L.M., P.E. Renaud, and W.G. Ambrose, 2005. Impacts of water depth, sediment pigment concentration, and benthic macrofaunal biomass on sediment oxygen demand in the western Arctic Ocean. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **62** : 1756-1765.

Crain C.M., B.R. Siliman, S.L. Bertness, and M.D. Bertness, 2004. Physical and biotic drivers of plant distribution across estuarine salinity gradients. *Ecology*. **85** : 2539-2549.

Cochrane S., S. Denisenko, P.E. Renaud, C.S. Emblow, W.G. Ambrose Jr, I.H. Ellingsen, and J. Skarðhamar, 2009. Benthic macrofauna and productivity regimes in the Barents Sea – Ecological implications in a changing Arctic. *J. Sea Res.* **61** : 222-233.

Conover R.J., and M. Huntley, 1991. Copepods in ice-covered seas - Distribution, adaptations to seasonally limited food, metabolism, growth patterns and life cycle strategies in polar seas. *J. Mar. Sys.* **2** : 1–41.

Cottenie K., 2005. Integrating environmental and spatial processes in ecological community dynamics. *Ecol. Lett.* **8(11)** : 1175–1182.

Current Results Publishing Ltd., 2016. Average annual precipitation for Nunavut. [Online] URL : <https://www.currentresults.com/Weather/Canada/Nunavut/precipitation-annual-average.php>.

Cusson M., P. Archambault, and A. Aitken, 2007. Biodiversity of benthic assemblages on the Arctic continental shelf: historical data from Canada. *Mar. Ecol.-Prog. Ser.* **331** : 291–304.

Danovaro R., 2012. Extending the approaches of biodiversity and ecosystem functioning to the deep ocean. In: Solan M., R.J. Aspiden, and D.M. Paterson. *Marine Biodiversity and Ecosystem Functioning: Frameworks, Methodologies, and Integration*. Oxford, GBR. Oxford University Press. pp. 115-126.

Darnis G., D. Robert, C. Pomerleau, H. Link, P. Archambault, R.J. Nelson, M. Geoffroy, J.-E. Tremblay, C. Lovejoy, S.H. Ferguson, B.P. Hunt, and L. Fortier, 2012. Current state and trends in Canadian Arctic marine ecosystems: II. Heterotrophic food web, pelagic-benthic coupling, and biodiversity. *Climatic Change*. **115(1)** : 179-205.

Dauvin J.C., T. Ruellet, N. Desroy, and A.L. Janson, 2006. Rapport scientifique Seine-Aval 3 : Indicateurs benthiques de l'état des peuplements benthiques de l'estuaire marin et moyen de la partie orientale de la baie de Seine. *Liteau. Net.* 42 pp.

Davidowitz G., and M.L. Rosenzweig, 1998. The latitudinal gradient of species diversity among North American grasshoppers (Acrididae) within a single habitat: a test of the spatial heterogeneity hypothesis. *J. Biogeogr.* **25** : 553–560.

Davis N., G.R. Vanblaricom, and P.K. Dayton, 1982. Man-made structures on marine sediments: effects on adjacent benthic communities. *Mar. Biol.* **70** : 295-303.

DFO, 2016. Fisheries and Oceans Canada : Canadian hydrographic service, Paper charts. [Online] URL : <http://www.charts.gc.ca/charts-cartes/paper-papier/index-eng.asp?step=1&by=showChart&num=7750&img=03>.

DFO, 2016. Fisheries and Oceans Canada : Tide tables. [Online] URL : <http://tides.gc.ca/eng/data>.

Doney S.C., M. Ruckelshaus, J.E. Duffy, J.P. Barry, F. Chan, A.C. English, H. M. Galindo, J. M. Grebmeier, A.B. Hollowed, N. Knowlton, J. Polovina, N.N. Rabalais, W.J. Sydeman, and L.D. Talley, 2012. Climate Change Impacts on Marine Ecosystems. *Annu. Rev. Mar. Science*. **4** : 11-37.

Ducklow H.W., S.C. Doney, and D.K. Steinberg, 2009. Contributions of long-term research and time-series observations to marine ecology and biogeochemistry. *Annu. Rev. Mar. Sci.* **1** : 279–302.

Eckman J.E., 1983. Hydrodynamic processes affecting benthic recruitment. *Limnol. Oceanogr.* **28(2)** : 241-257.

Ellingsen K.E., J.E. Hewitt, and S.F. Thurst, 2007. Rare species, habitat diversity and functional redundancy in marine benthos. *J. Sea Res.* **58** : 291-301.

Emmerson M.C., M. Solan, C. Emes, D.M. Paterson, and D. Raffaelli, 2001. Consistent patterns and the idiosyncratic effects of biodiversity in marine ecosystems. *Nature*. **411** : 73-77.

ESRI, 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.

Etter R.J., and J.F. Grassle, 1992. Patterns of species diversity in the deep sea as a function of sediment particle size diversity. *Nature*. **360** : 576-78.

EUR-Lex, 2015. La bonne qualité de l'eau en Europe (directive-cadre sur l'eau), [Online], URL : <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=URISERV%3A128002b>.

Faith D.P., and R.H. Norrhus, 1989. Correlation of environmental variables with patterns of distribution and abundance of common and rare fresh-water macroinvertebrates. *Biol. Conserv.* **50** : 77-98.

Feder H.M., and A. Blanchard, 1998. The deep benthos of Prince William Sound, Alaska, 16 months after the Exxon Valdez oil spill. *Mar. Poll. Bull.* **36** : 118-130.

Forest A., J.E. Tremblay, Y. Gratton, J. Martin, J. Gagnon, G. Darnis, M. Sampei, L. Fortier, M. Ardyna, M. Gosselin, H. Hattori, D. Nguyen, R. Maranger, D. Vaqué, C. Marrasé, C. Pedrós-Alió, A. Sallon, C. Michel, C. Kellogg, J. Deming, E. Shadwick, H. Thomas, H. Link, P. Archambault, and D. Piepenburg, 2011. Biogenic carbon flows through the planktonic food web of the Amundsen Gulf (Arctic Ocean): a synthesis of field measurements and inverse modeling analyses. *Prog. Oceanogr.* **91** : 410–436.

Fortier M., L. Fortier, C. Michel, and L. Legendre, 2002. Climatic and biological forcing of the vertical flux of biogenic particles under seasonal Arctic sea ice. *Mar. Ecol.-Prog. Ser.* **225** : 1-16.

Fraschetti S., A. Terlizzi, and L. Benedetti-Cecchi, 2005. Patterns of distribution of marine assemblages from rocky shores: evidence of relevant scales of variation. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **296** : 13–29.

Frazer T.K., W.J. Linderberg, and G.R. Stanton, 1991. Predation on sand dollars by gray triggerfish, *Balistes capriscus*, in the north-eastern Gulf of Mexico. *B. Mar. Sci.* **48** : 159-164.

French D.D., and N. Picozzi, 2002. ‘Functional groups’ of bird species, biodiversity and landscapes in Scotland. *J. Biogeogr.* **29** : 231–259.

Frid C.L.T., and C.R. Townsend, 1989. An appraisal of the patch dynamics concept in stream and marine benthic communities whose members are highly mobile. *Oikos.* **56(1)** : 137-141.

Gaillard B., T. Meziane, R. Tremblay , P. Archambault, K.K.S. Layton, A.L. Martel, and F. Olivier, 2015. Dietary tracers in *Bathyrca glacialis* from contrasting trophic regions in the Canadian Arctic. *Mar. Ecol.- Prog. Ser.* **536** : 175–186.

Government of Canada, 2015. Historical climate data. [Online] URL : http://climate.weather.gc.ca/climateData/dailydata_e.html?StationID=53512&Month=3&Day=2&Year=2016&timeframe=2.

Grebmeier J., and J. P. Barry, 1991. The influence of oceanographic processes on pelagic-benthic coupling in polar regions : A benthic perspective. *J. Mar. Syst.* **2** : 495-518.

Grebmeier J., H.M. Feder, and C.P. McRoy, 1989. Pelagic-benthic coupling on the shelf of the northern Bering and Chukchi Seas. II. Benthic community structure. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **51** : 253-268.

Grebmeier J.M., C.P. McRoy, and H.M. Feder, 1988. Pelagic-benthic coupling on the shelf of the northern Bering and Chukchi seas. 1. Food supply source and benthic biomass. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **48** : 57-67.

Grebmeier J.M., L.W. Cooper, H.M Feder, and B.I Sirenko, 2006. Ecosystem dynamics of the Pacific-influenced Northern Bering and Chukchi Seas in the Amerasian Arctic. *Prog. Oceanogr.* **71** : 331-361.

Grebmeier J.M., W.O. Smith, and R.J. Conover, 1995. Biological processes on arctic continental shelves: Ice-ocean-biotic interactions. *Arctic Oceanography: Marginal Ice Zones and Continental Shelves.* **49** : 231-261.

Guillén J., S. Soriano, M. Demestre, A. Falqués, A. Palanques, P. Puig, 2008. Alteration of bottom roughness by benthic organisms in sandy coastal environment. *Cont. Shelf Res.* **28** : 2382-2392.

Habeeb R.L., C.R. Johnson, S. Wotherspoon, and P.J. Mumby, 2007. Optimal scales to observe habitat dynamics: A coral reef example. *Ecol. Appl.* **17(3)** : 641-647.

Hendrickx F., J.P. Maelfait, W. Van Wingerden, O. Schweiger, M. Speelmans, S. Aviron, I. Augenstein, R. Billeter, D. Bailey, R. Bukacek, F. Burel, T. Diekotter, J. Dirksen, F. Herzog, J. Liira, M. Roubalova, V. Vandomme, and R. Bugter, 2007. How landscape structure, land-use intensity and habitat diversity affect components of total arthropod diversity in agricultural landscapes. *J. Appl. Ecol.* **44** : 340–351.

Hoberg M., and H. Feder, 2002. The macrobenthos of sites within Prince William Sound, Alaska, prior to the Exxon Valdez oil spill. *Int. Rev. Hydrobiol.* **87** : 25-45.

Holden J.E., K. Kelley, and R. Agarwal, 2008. Analyzing change: A Primer on multilevel models with applications to nephrology. *Am. J. Nephrol.* **28(5)** : 792-801.

Holme N.A., and A.D. McIntyre, 1984. Methods for the study of marine benthos. Blackwell Scientific Publications, Oxford Holm-Hansen. 334 pp.

Hovelsrud G.K., M. McKenna, and H.P. Huntington, 2008. Marine mammal harvests and other interactions with humans. *Ecol. Appl.* **18** : S135–S147.

Huettel M., and G. Gust, 1992. Impact of bioturbation on interfacial solute exchange in permeable sediments. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **89** : 253-267.

Iken K., B.A. Bluhm, and J.E. Soreide, 2013. Arctic benthic communities, [Online], URL : http://www.arctic.noaa.gov/report13/benthic_communities.html.

Iwase R., K. Asakawa, H. Mikada, T. Goto, K. Mitsuzawa, K. Kawaguchi, K. Hirata, and Y. Kaiko, 2003. Off Hatsushima Island Laboratory in Sagami Bay: multidisciplinary long term observation at cold seepage site with underwater measurable connectors for future use. In proceedings of the IEEE 3rd International Workshop on scientific use of submarine cables and related technologies, Tokyo, Japan, 25–27 June, pp. 31-34.

Kaiser M.J., S.I. Rogers, and J.R. Ellis, 1999. Importance of benthic habitat complexity for demersal fish assemblages. In : Benaka L.R. (Eds.), *Fish Habitat: Essential Fish Habitat and Rehabilitation*. American Fish-Series Society, Hartford, CT, pp. 212–223.

Kedra M., K. Kulinski, W. Walkusz, and J. Legezynska, 2012. The shallow benthic food web structure in the high Arctic does not follow seasonal changes in the surrounding environment. *Estuar. Coast. Shelf S.* **114** : 183-191.

Keeling R.F., A. Körtzinger, and N. Gruber, 2010. Ocean deoxygenation in a warming world. *Annu. Rev. Mar. Sci.* **2** : 199–229.

Kerr J.T., and L. Packer, 1997. Habitat heterogeneity as a determinant of mammal species richness in high-energy regions. *Nature.* **385** : 252–254.

Kindt R., and R. Coe, 2005. Tree diversity analysis: A manual and software for common statistical methods for ecological and biodiversity studies. World Agroforestry Center. 207 p.

Klages M., A. Boetius, J.P. Christense, H. Deubel, D. Piepenburg, I. Schewe, and T. Soltwedel, 2004. The benthos of the Arctic seas and its role for the organic carbon cycle at the seafloor. In: Stein R., and R.W. MacDonald (Eds.), *The organic carbon cycle in the Arctic Ocean*. Springer-Verlag, pp. 139-167.

Kondoh M., and K. Ninomiya, 2009. Food-chain length and adapting foraging. *P. R. Soc. B.* **276** : 3113-3121.

Larsen, J.N, Anisimov, A, Constable, A.B. Hollowed, N. Maynard, P. Prestrud, T.D. Prowse, and J.M.R. Stone, 2014. Polar Regions. In: *Climate change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part B: Regional aspects contribution of working group II to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.* (Eds.), Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estradq, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCraden, P.R. Mastrandrea, and L.L. White. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1567-1612.

Legendre P., and E.D. Gallagher, 2001. Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia.* **129** : 271–280.

Legendre P., and L. Legendre, 1998. *Numerical ecology*, Second English edition, Elsevier Science B.V. 870 pp.

Lehman A., N. O'Rourke, L. Hatcher, and E.J. Stepanski, 2013. *JMP® for basic univariate and multivariate statistics: Methods for researchers and social scientist*, Second Edition. Cary, NC : SAS Institute Inc., Cary, N.C., USA, 48 p.

Levin L.A., R.J. Etter, M.A. Rex, A.J. Gooday, C.R. Smith, J. Pineda, C.T. Stuart, R.R. Hessler, and D. Pawson, 2001. Environmental Influences on Regional Deep-sea species diversity. *Annu. Rev. Ecol. Evol. S.* **32** : 51-93.

Link H., D. Piepenburg, and P. Archambault, 2013b. Are hotspots always hotspots? The relationship between diversity, resource and ecosystem functions in the Arctic. *PLOS/one.* **8(9)** : 1-18.

Link H., G. Chaillou, A. Forest, D. Piepenburg, and P. Archambault, 2013a. Multivariate benthic ecosystem functioning in the Arctic – benthic fluxes explained by environmental parameters in the southeastern Beaufort Sea. *Biogeosciences.* **10** : 5911–5929.

Link H., P. Archambault, T. Tamelander, P.E. Renaud, and D. Piepenburg, 2011. Spring-to-summer changes and regional variability of benthic processes in the western Canadian Arctic. *Polar Biol.* **34** : 2025-2038.

Lohrer A.M., S.F. Thrush, and M.M. Gibbs, 2004. Bioturbators enhance ecosystem function through complex biogeochemical interactions. *Nature.* **431** : 1092-1095.

MacArthur R.H., and E.O. Wilson, 1967. *The theory of island biogeography.* Princeton landmarks in Biology. 224 pp.

McArthur M.A., B.P. Brooke, R. Przeslawski, D.A. Ryan, V.L. Lucieer, S. Nichol, A.W. McCallum, C. Mellin, I.D. Cresswell, and L.C. Radke, 2010. On the use of abiotic surrogates to describe marine benthic biodiversity. *Estuar. Coast. Shelf S.* **88(1)** : 21–32.

Marchese C., 2014. Biodiversity hotspots: A shortcut for a more complicated concept. *Global Ecology and Conservation.* **3(2015)** : 297-309.

Mayer M., and D. Piepenburg, 1996. Epibenthic community patterns on the continental slope off East Greenland at 75°N. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **143** : 151-164.

McArthur M.A., B.P. Brooke, R. Przeslawski, D. A. Ryan, V. L. Lucieer, S. Nichol, A. W. McCallum, C. Mellin, I. D. Cresswell, and L. C. Radke, 2010. On the use of abiotic surrogates to describe marine benthic biodiversity. *Estuar. Coast. Shelf S.* **88** : 21-32.

Menge B.A., and J.P. Sutherland, 1987. Community regulation : Variation in disturbance, competition, and predation in relation to environmental stress and recruitment. *The American Naturalist.* **130(5)** : 730-757.

Michel C., R. Ingram, and L. Harris, 2006. Variability in oceanographic and ecological processes in the Canadian Arctic Archipelago. *Prog. Oceanogr.* **71(2-4)** : 379-401.

Mikada H., J. Kasahara, N. Fujii, and M. Kumazawa, 2010. Active monitoring using submarine cables-leveraging offshore cabled observatory for passive monitoring. In Handbook of Geophysical Exploration: Seismic Exploration; Kasahara, J., Korneev, V., Zhdanov, M., (Eds.), Elsevier/Pergamon: Amsterdam, The Netherlands, pp. 473-491.

Moller A.P., and M.D. Jennions, 2002. How much variance can be explained by ecologists and evolutionary biologists? *Oecologia.* **132(4)** : 492–500.

Morata N., M. Poulin, and P.E. Renaud, 2011. A multiple biomarker approach to tracking the fate of an ice algal bloom to the sea floor. *Polar Biol.* **34(1)** : 101-112.

Morata N., and P.E. Renaud, 2008. Sedimentary pigments in the western Barents Sea: a reflection of pelagic-benthic coupling? *Deep-Sea. Res. II.* **55** : 2381-2389.

Morata N., P.E. Renaud, S. Brugel, K.A. Hobson, and B.J. Johnson, 2008. Spatial and seasonal variation in the pelagic-benthic coupling of the southeastern Beaufort Sea revealed by sedimentary biomarkers. *Mar. Ecol.-Prog. Ser.* **371** : 47-63.

Moritz R.E., C.M. Bitz, and E.J. Steig, 2002. Dynamics of recent climate change in the Arctic. *Sciences.* **297(5586)** : 1497-1502.

Morrissey D.J., L. Howitt, A.J. Underwood, and J.S. Stark., 1992. Spatial variation in soft-sediment benthos. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **81** : 197-204.

Murray J.M., G.J. Watson, A. Giangrande, M.G. Bentley, and P. Farrell, 2011. Reproductive biology and population ecology of the marine fan worm *Sabella pavonina* (Savigny) (Polychaeta: Sabellidae). *Int. J. Inver. Rep. Dev.* **55(3)** : 183-196.

Naeem S., J.E. Duffy, and E. Zavaleta, 2012. The function of biodiversity in an age of extinction. *Science*. **336** : 1401–1406.

Nephtin J., S.K. Juniper, P. Archambault, 2014. Diversity, abundance and community structure of benthic macro- and megafauna on the Beaufort shelf and slope. *PLOS/one*. **9 (7)** : 1-11.

NOAA, 2012. National centers for environmental information (NOAA, 2012), [Online], URL : http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/arctic/maps/version3_0/Dauvin, 2005.

Ocean Networks Canada, 20 November 2015. Ocean networks Canada – Sea ice returns to Cambridge Bay, [Online], URL : <http://www.oceannetworks.ca/sea-ice-returns-cambridge-bay>.

Ocean Networks Canada, 2014. Ocean networks Canada – Installations – Cambridge Bay, [Online], URL : <http://www.oceannetworks.ca/installations/observatories/arctic/cambridge-bay?page=1>.

Paiva P.C., 2000. Spatial and temporal variation of a nearshore benthic community in southern Brazil: Implications for the design of monitoring programs. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. **52**: 423-433.

Papiol V., J.E. Cartes, E. Fanelli, and F. Maynou, 2011. Influence of environmental variables on the spatio-temporal dynamics of benthic-pelagic assemblages in the middle slope of the Balearic Basin (NW Mediterranean). *Deep-Sea Res. I*. **61** : 84-99.

Parry D.M., M.A. Kendall, D.A. Pilgrim, and M.B. Jones, 2003. Identification of patch structure within marine benthic landscapes using a remotely operated vehicle. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **285-286** : 497-511.

Pharand D., and L.H. Legault, 1984. The Northwest Passage: Arctic Straits. *Martinus Nijhoff Publishers*. ISBN 90-247-2979-3. p. 14.

Piepenburg D., P. Archambault, W. Ambrose, A. Blanchard, and B. Bluhm B, 2011. Towards a pan-Arctic inventory of the species diversity of the macro- and megabenthic fauna of the Arctic shelf seas. *Mar. Biodiv.* **41** : 51–70.

Piepenburg D., W.G. Ambrose Jr., A. Brandt, P.E. Renaud, M.J. Ahrens, and P. Jensen, 1997. Benthic community patterns reflect water column processes in the Northeast Water Polynya (Greenland). *J. Mar. Sys.* **10 (1-4)** : 467–482.

Piepenburg D., W.G. Ambrose, A. Brandt, P.E. Renaud, M.J. Ahrens, and P. Jensen, 1996. Benthic community patterns reflect water column processes in the Northeast Water polynya (Greenland). *J. Marine. Syst.* **10** : 467-482.

Pilgrim D.A., D.M. Parry, M.B. Jones, and M.A. Kendall, 2000. ROV image scaling with laser spot patterns. *Underwater Technol.* **24** : 93–103.

Polyakov I.V., U.S. Bhatt, J.E. Walsh, E.P. Abrahamsen, A.V. Pnyushkov, and P.F. Wassmann, 2013. Recent oceanic changes in the Arctic in the context of long-term observations. *Ecol. appl.* **23(8)** : 1745-1764.

Pörtner H., D.M. Karl, P.W. Boyd, W.W.L. Cheung, S.E. Lluch-Cota, Y.Nojiri, D.N. Schmidt, and P.O. Zavialov, 2014. Ocean systems. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 411-484.

Posey M.H., and W.G. Ambrose Jr., 1994. Effects of proximity to an off-shore hard-bottom reef on infaunal abundances. *Mar. Biol.* **118** : 745-753.

Quéric N.V., and T. Solwedel, 2007. Impact of small-scale biogenic sediment structures on bacterial distribution and activity in Arctic deep-sea sediments. *Mar. Ecol.* **28(1)** : 66-74.

Quinn G., and M. Keough, 2002. *Experimental design and data analysis for biologists*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 537 p.

Raffaelli D., and P.C.L. White, 2013. Ecosystems and their services in a changing world: an ecological ecological perspective. *Adv. Ecol. Res.* **48** : 1–70.

Rasband W.S., ImageJ, U.S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <http://imagej.nih.gov/ij/>, 1997-2015.

Ravelo A.M., B. Konar, J.H. Trefry, and J.M. Grebmeier, 2013. Epibenthic community variability in the northeastern Chukchi Sea. *Deep Sea Res. II. Topical Stud. Oceanogr.* **102** : 119-131.

Reigstad M., C. Wexels Riser, P. Wassmann, and T. Ratkova, 2008. Vertical export of particulate organic carbon: Attenuation, composition and loss rates in the northern Barents Sea. *Deep-Sea Res. Pt. II.* **55** : 2308–2319.

Renaud P.E., A. Riedel, C. Michel, N. Morata, M. Gosselin, T. Juul-Pedersen, and A. Chiuchiolo, 2007. Seasonal variation in benthic community oxygen demand: A response to an ice algal bloom in the Beafort Sea, Canadian Arctic. *J. Marine Syst.* **67** : 1-12.

Remane A., and C. Schlieper, 1971. *Biology of brackish water*. Wiley-Interscience, New York, New York, USA.

Ricklefs R.E., 1987. Community diversity: relative roles of local and regional processes. *Science.* **235** : 167–171.

Rosenzweig M.L., 1995. *Species Diversity in Space and Time*. Cambridge: Cambridge Univ. Press. 436 pp.

Rosenzweig M.L., and H. Abramsky, 1993. How are diversity and productivity related? In *Species Diversity in Ecological Communities: Historical and Geographical Perspectives*, (Eds.), Ricklefs R.E., D. Schluter, Chicago : Univ. Chicago Press. pp. 53-65.

Roy V., K. Iken, and P. Archambault, 2014. Environmental Drivers of the Canadian Arctic Megabenthic Communities. *PLOS/one*. **9(7)** : 1 -19.

RStudio Team, 2015. RStudio : Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA [Online] URL: <http://www.rstudio.com/>.

Scheiner S.M., and S. Jones, 2002. Diversity, productivity and scale in Wisconsin vegetation. *Evol. Ecol. Res.* **4** : 1097-1117.

Schlitzer, R., Ocean Data View, <http://odv.awi.de>, 2017.

Schneider C.A., W.S. Rasband, and K.W. Eliceiri, 2012. NIH Image to ImageJ : 25 years of image analysis, *Nature methods*, **9(7)**: 671-675.

Schonberg S., J. Clarke, and K. Dunton, 2014. Distribution, abundance, biomass and diversity of benthic infauna in the Northeast Chukchi Sea, Alaska: Relation to environmental variables and marine mammals. *Deep-Sea Res. Pt. II*. **102** : 144-163.

Screen J., and I. Simmonds, 2010. The central role of diminishing sea ice in recent Arctic temperature amplification. *Nature*. **464** : 1334–1337.

Smith C.R., S. Mincks, and D.J. DeMaster, 2006. A synthesis of benthopelagic coupling on the Antarctic shelf: food banks, ecosystem inertia and global climate change. *Deep-Sea Res. Pt. II*. **53** : 875–894.

Snelgrove P.V.R., 2001. Diversity of marine species. In: Steele J, Thorpe S, Turekian K, (Eds). *Encyclopedia of Ocean Sciences*. Oxford: Academic Press.. 748–757 pp.

Solan M., B.J. Cardinale, A.L. Downing, K.A.M. Engelhardt, J.L. Riesink, and D.S. Srivastava, 2004. Extinction and ecosystem function in marine benthos. *Science*. **306** : 1177-1180.

Soltwedel T., and K. Vopel, 2001. Bacterial abundance and biomass in response to organism-generated habitat heterogeneity in deep-sea sediments. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **219** : 291-298.

Soltwedel T., N. Jaeckisch, N. Ritter, C. Hasemann, M. Bergmann, and M. Klages, 2009. Bathymetric patterns of megafaunal assemblages from the arctic deep-sea observatory HAUSGARTEN. *Deep-Sea Res. Pt. I*. **56** : 1856-1872.

Southward A.J., 1980. The western English-channel—an inconstant ecosystem. *Nature*. **285 (5764)** : 361–366.

Southward A.J., O. Langmead, N.J Hardman-Mountford, J. Aiken, G.T. Boalch, P.R. Dando, M.J. Genner, I. Joint, M.A. Kendall, N.C. Halliday, R.P. Harris, R. Leaper, N. Mieszkowska, R.D. Pingree, A.J. Richardson, D.W. Sims, T. Smith, A.W. Walne, and S.J. Hawkins, 2005. Long-term oceanographic and ecological research in the western English channel. *Adv. Mar. Biol.* **47** : 1–105.

Southward A.J., S.J. Hawkins, and M.T. Burrows, 1995. 70 years observations of changes in distribution and abundance of zooplankton and intertidal organisms in the western English-channel in relation to rising sea temperature. *J. Therm. Biol.* **20 (1–2)** : 127–155.

Stephens P.A., S.W. Buskirk, G.D. Hayward, and C. Martinez Del Rio, 2005. Information theory and hypothesis testing: a call for pluralism. *J. Appl. Ecol.* **42** : 4-12.

Tilman D., 1982. Resource Competition and Community Structure. Princeton, NJ : Princeton Univ. Press. 296 pp.

Tissot B.N., M.M. Yoklavich, M.S. Love, K. York, and M. Amend, 2006. Benthic invertebrates that form habitat on deep banks off southern California, with special reference to deep see coral. *Fishery B.-NOAA*. **104** : 167-181.

Tremblay J.E., D. Robert, D.E. Varela, C. Lovejoy, G. Darnis, R.J. Nelson, and A.R. Sastri, 2012. Current state and trends in Canadian Arctic marine ecosystems : I. Primary production. *Clim. Change*. **115** : 161-178.

Tremblay J.E., C. Michel, K.A. Hobson, M. Gosselin, and N.M. Price, 2006. Bloom dynamics in early opening waters of the Arctic Ocean. *Limnol. Oceanogr.* **51** : 900-912.

Waide R.B., M.R. Willig, C.F. Steiner, G. Mittelbach, and L. Gough, 1999. The relationship between productivity and species richness. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* **30** : 257-300.

Wassmann P., 2011. Arctic marine ecosystems in an era of rapid climate change. *Prog. Oceanogr.* **90(1-4)** : 1-17.

Wassmann P., and M. Reigstad, 2011. Future Arctic Ocean seasonal ice zones and implications for pelagic-benthic coupling. *Oceanography*. **24(3)** : 220-231.

Wassmann P., C.M. Duarte, S. Agusti, and M. Sejr, 2011. Footprints of climate change in the Arctic marine ecosystem. *Glob. Change Biol.* **17(2)** : 1235-1249.

Wassmann P., M. Reigstad, T. Haug, B. Rudels, M.L. Carroll, H. Hop, G.W. Gabrielsen, S. Falk-Petersen, S.G. Denisenko, E. Arashkevich, D. Slagstad, and O. Pavlova, 2006. Food webs and carbon flux in the Barents Sea. *Prog. Oceanogr.* **71** : 232–287.

Whittaker R.J., K.J. Willis, and R. Field, 2001. Scale and species richness: towards a general, hierarchical theory of species diversity. *J. Biogeogr.* **28** : 453–470.

Witman J.D., and K.R. Grange, 1998. Links between rain, salinity and predation in a rocky subtidal community. *Ecology*. **79** : 2429-2447.

Witman J.D., M. Cusson, P. Archambault, A.J. Pershing, and N. Mieszkowska, 2008. The relation between productivity and species diversity in temperate-Arctic marine ecosystems. *Ecology*. **89(11)** : 566-580.

Włodarska-Kowalczyk M., and M. Kedra, 2007. Surrogacy in natural patterns of benthic distribution and diversity: selected taxa versus lower taxonomic resolution. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **351** : 53–63.

WoRMS Editorial Board, 2016. World Register of Marine Species. [Online] URL: <http://www.marinespecies.org> at VLIZ.

Zeller D., S. Booth, E. Pakhomow, W. Swartz, and W. Pauly, 2011. Arctic fisheries catches in Russia, USA, and Canada: baselines for neglected ecosystems. *Polar. Biol.* **34** : 955–973.

