

# PROGRAMME D'ANALYSE COMPARATIVE DE L'ÉCOLOGIE MARINE DE L'ARCTIQUE :

surveillance de la biodiversité au moyen de la plongée sous-marine



Jessica Schultz<sup>1</sup>, Jeremy Heywood<sup>1\*</sup>, Donna Gibbs<sup>1</sup>, Laura Borden<sup>1</sup>, Danny Kent<sup>1</sup>, Mackenzie Neale<sup>1</sup>, Crystal Kulcsar<sup>1</sup>, Ruby Banwait<sup>1</sup>, et Laura Trethewey<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ocean Wise Conservation Association, Vancouver, Colombie-Britannique, Canada

\* [jeremy.heywood@ocean.org](mailto:jeremy.heywood@ocean.org)

L'Ocean Wise Conservation Association (OWCA, [ocean.org](http://ocean.org)) est une organisation mondiale de conservation des océans qui se consacre à la protection et à la restauration des océans de la planète.

## Résumé

En s'appuyant sur le catalogue des données recueillies au cours des relevés écologiques du littoral en 2015 et 2016, le programme d'analyse comparative de l'écologie marine de l'Arctique (Arctic Marine Ecology Benchmarking Program ou AMEBP) de 2017 a permis de recueillir des données sur la biodiversité et l'abondance des algues marines, des invertébrés et des espèces de poissons au moyen de la plongée sous-marine à des sites choisis près de Cambridge Bay, au Nunavut, à l'été 2017. Le projet a servi d'étude pilote pour évaluer les modes de relevé de plongée sous-marine (transect c. taxon) et formuler des recommandations pour les futurs efforts de recherche et de surveillance. Le présent document est un résumé du rapport final du programme d'analyse comparative de l'écologie marine de l'Arctique de 2017 (disponible sur demande, en anglais seulement).

## Introduction

Des données de base fiables et une surveillance continue sont essentielles pour bien comprendre les changements en cours dans l'Arctique canadien, et ainsi élaborer des stratégies de gestion et des plans de conservation efficaces. L'écosystème côtier est un élément clé de l'écosystème

marin dans son ensemble, parce que c'est à cet endroit que l'impact humain le plus direct, comme la navigation de plaisance, la chasse et la récolte, se fait le plus sentir. Cependant, il y a eu très peu de relevés de la flore et de la faune marines côtières dans l'Arctique canadien par plongée sous-marine, et elles sont de plus en plus exposées aux risques liés aux changements climatiques, aux espèces envahissantes et à l'augmentation de l'activité humaine. Ce projet comble cette lacune importante en établissant des données de référence sur la biodiversité et en amorçant une surveillance à long terme des zones littorales près de Cambridge Bay, au Nunavut.

## Méthodes

### Plongée autonome

Les plongées ont été effectuées par des plongeurs Ocean Wise détenant une certification niveau II de plongeurs scientifiques, conformément à la norme de pratique pour la plongée scientifique de l'Association canadienne pour les sciences sous-marines ([caus.ca](http://caus.ca)) et ont été planifiées à l'aide des tables de plongée à l'air de l'Institut de médecine environnementale pour la défense en tant que plongées

Citation suggérée :

Schultz, J., Heywood J., Gibbs, D., Borden, L., Kent, D., Neale, M., Kulcsar, C., Banwait, R., Trethewey, L. 2018. « Programme d'analyse comparative de l'écologie marine de l'Arctique : surveillance de la biodiversité au moyen de la plongée sous-marine » *Savoir polaire* : Aqhaliat 2018, *Savoir polaire Canada*, p. 39-45. Identificateur d'objet numérique : 10.35298/pkc.2018.21

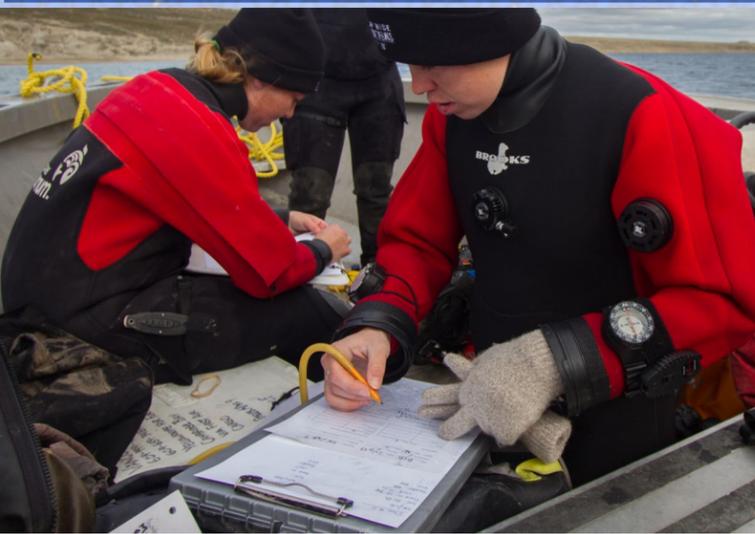


Figure 1 : Les membres de l'équipe de plongée Ocean Wise prennent des notes après une plongée d'étude.

sans décompression en utilisant de l'air comprimé. Chaque plongeur a effectué au maximum deux plongées par jour. Les plongées répondaient en outre aux exigences du Règlement sur la santé et la sécurité au travail du Nunavut : Partie 20, Opérations de plongée. Le projet comprenait une combinaison de plongée de rivage et de plongée en mer.

### Études comparatives (plongées transectales)

Les sites appropriés ont été sélectionnés au hasard à partir d'une liste de sites déjà explorés. Deux sites de chacune des trois zones d'échantillonnage — Cambridge Bay, le bras ouest et les îles Finlayson — ont été sélectionnés (tableau 1).

Quatre plongées d'étude comparative en transect (fig. 2) ont été effectuées à chacun des six sites. Les transects étaient centrés sur les coordonnées du site et suivaient un relèvement sur le contour de 10 mètres de profondeur parallèle à la côte (aussi près que possible). Chaque plongée transectale consistait en un transect de poisson, un vaste relevé d'invertébrés et d'algues et un relevé de l'habitat, selon les méthodes des protocoles de surveillance

Tableau 1 : Sites pilotes de surveillance des relevés près de Cambridge Bay.

Nom du site	Secteur	Substrat	Latitude	Longitude
À l'ouest de l'île 5	Cambridge Bay	boue, blocs de délestage	69.0687	-105.1967
Intérieur de Cape Colborne	Cambridge Bay	sable, limon, boue, talus	68.9668	-105.2304
Ancien lieu de camping	West Arm	limon, rochers, plat	69.1104	-105.0761
West Arm BCB	West Arm	schiste en pente, boue	69.1093	-105.1717
Starvation Cove Point	Îles Finlayson	sable, galets	69.1492	-105.9233
Île sans nom 1, extrémité sud	Îles Finlayson	galets, rochers	69.0938	-105.8989

sublittorale de la réserve du parc national Pacific Rim (Jennifer Yakimishyn : communication personnelle, 2015), à l'exception du fait que les taxons consignés étaient propres au Nunavut (tableau 2).

### Études itinérantes sur la biodiversité (plongées taxonomiques)

Au moins une plongée taxonomique a été effectuée à chaque site du transect. Les plongeurs naviguaient en utilisant la topographie du fond, consignaient tous les organismes observés (au niveau taxinomique le plus bas possible) et estimaient l'abondance approximative de chacun.



Figure 2 : Le plongeur Ocean Wise effectue la plongée transectale.

### Analyse des données

#### Composition de la communauté et caractéristiques de l'habitat

Nous avons calculé l'écart moyen et l'écart-type des comptes de poissons, d'invertébrés et d'algues pour chaque étude de transect. La composition des espèces a été résumée en comparant les trois zones d'échantillonnage à l'aide d'une analyse de similarité (ANOSIM; Primer 6) des

données sur l'abondance transformée de la racine carrée. Les caractéristiques de l'habitat dans les trois zones ont été comparées à l'aide des proportions moyennes et de l'écart-type. Nous avons aussi totalisé le nombre de chaque espèce observée à chaque site à l'aide de la méthode de la plongée taxonomique et calculé l'abondance moyenne selon les méthodes de Marliave et coll. 2011.

### Analyse de puissance du plan d'échantillonnage de l'analyse comparative

Les oursins verts (*Strongylocentrotus droebachiensis*) ont été utilisés comme espèce d'étude de cas pour évaluer le plan d'échantillonnage de l'étude comparative comme outil de surveillance écologique à long terme. Les oursins sont une espèce indicatrice abondante et importante sur le plan écologique (Coyer et coll. 1993; Estes et Duggins 1995; Chen et Hunter 2003; MPO 2013). En suivant les méthodes de Green et McLeod 2016, nous avons effectué une analyse linéaire de la puissance du modèle à effets mixtes

pour évaluer la puissance du plan d'échantillonnage. En tout, deux types d'analyses de puissance ont été effectuées au moyen des résultats du modèle : le premier visait à déterminer le nombre d'années de surveillance nécessaires selon le plan de sondage actuel (six sites comprenant quatre transects chacun) afin de détecter un changement de 25 % au sein de la population d'oursins avec 80 % de puissance, et le deuxième visait à déterminer le nombre d'études requises pour détecter un changement de 25 %, 50 % et 2xET au sein de la population d'une année à l'autre (c.-à-d. selon deux ans d'échantillonnage; Munkittrick et coll. 2009).

### Comparaison des méthodes de plongées transectales et taxonomiques

Pour illustrer les différentes applications possibles de chaque méthode, les courbes d'accumulation des espèces des transects de référence ont été comparées à celles de la technique de plongée taxonomique. Les courbes

Tableau 2 : L'abondance moyenne des taxons dénombrés dans des transects de 60 m<sup>2</sup> (n = 24) à six sites de Cambridge Bay, par ordre d'abondance.

Nom scientifique	Nom commun	Abondance moyenne	Écart-type
<i>Hiatella arctica</i>	Saxicave arctique	520.6	725.4
<i>Strongylocentrotus droebachiensis</i>	Oursins verts	430.6	583.6
<i>Pachycerianthus borealis</i>	Anthozoaire	223.2	330.7
Divers	Polychètes non sessiles	12	18.3
<i>Utricina</i> spp.	Anémones Utricina	11.7	17.5
<i>Hormathia</i> spp.	Anémone noduleuse	8.9	23.1
<i>Psolus fabricii</i>	Holothurie écarlate	2.4	4.3
<i>Buccinum</i> spp.	Buccin	1.1	2.3
<i>Dendronotis</i> spp.	Nudibranches	0.8	2.7
Cottoidea	Chaboisseau	0.8	0.9
<i>Hyas coarctatus</i>	Crabe violon	0.6	1
Divers	Ascidies solitaires	0.6	1.1
Stichaeidae	Stichées	0.5	0.9
Divers	Algues rouges lamellées	0.3	0.5
<i>Cucumaria frondosa</i>	Concombre de mer	0.2	0.6
<i>Icasterias panopla</i>	Étoile de mer rouge épineuse	0.2	0.6
<i>Saccharina latissima</i>	Laminaire sucrée	0.2	0.5
Divers	Némertes non sessiles	0.2	0.5
<i>Lebbeus polaris</i>	Crevettes polaires	0.1	0.4
<i>Urasterias lincki</i>	Étoile de mer plumeuse	0.1	0.3
Divers	Nudibranches doridiens	0	0.2
Zoarcidae	Lycodes	0	0.2

d'accumulation des espèces ont été établies en ordonnant des relevés chronologiques, puis en traçant le nombre cumulatif d'espèces détectées à l'aide de chaque relevé supplémentaire pour les relevés par transect et les relevés itinérants de la biodiversité.

## Résultats et discussion

### Études comparatives (plongées transectales)

#### Composition de la communauté et caractéristiques de l'habitat

Les taxons les plus abondants étaient la saxicave arctique, les oursins verts et les anthozoaires (tableau 2). Il faut interpréter avec prudence l'abondance de la saxicave arctique, car l'espèce était difficile à identifier lorsqu'elle était enfouie dans les sédiments.

Dans l'ensemble, il n'y avait pas de différence dans la composition de la communauté entre les sites de Cambridge Bay, du bras ouest et des îles Finlayson (ANOSIM :  $R = 0,557$ ,  $p = 0,10$ ). L'abondance moyenne d'invertébrés et d'algues était plus élevée dans les îles Finlayson que dans les deux autres régions, mais l'abondance des poissons était faible (moins de deux individus par  $60 \text{ m}^2$ ) dans toutes les régions (fig. 3).

L'habitat de la plupart des sites était caractérisé par des boues ou des sédiments de faible complexité et de faible relief. À tous les sites, la plupart des points d'intersection n'avaient aucune couverture organique ( $84,4 \% \pm 14,3 \text{ ET}$ ) et présentaient une complexité d'habitat en douceur (résultat = 0;  $70,8 \% \pm 30,8 \text{ ET}$ ). Toutefois, les sites des îles Finlayson contenaient proportionnellement moins de sédiments que les autres zones, une plus grande proportion de galets et de rochers, et une plus faible proportion de points de complexité zéro ( $38,3 \% \pm 25,4 \text{ ET}$ ; fig. 4). Presque tous les points le long de tous les transects avaient une valeur de décharge inférieure à 1 m.

Les différences dans l'abondance de poissons, d'invertébrés et d'algues entre les îles Finlayson et les autres régions pourraient être attribuables aux différences de caractéristiques de l'habitat. Les îles Finlayson sont plus exposées au courant de marée que les deux autres zones, exposant ainsi une plus grande proportion d'habitats de substrats durs, comme les galets et les rochers.

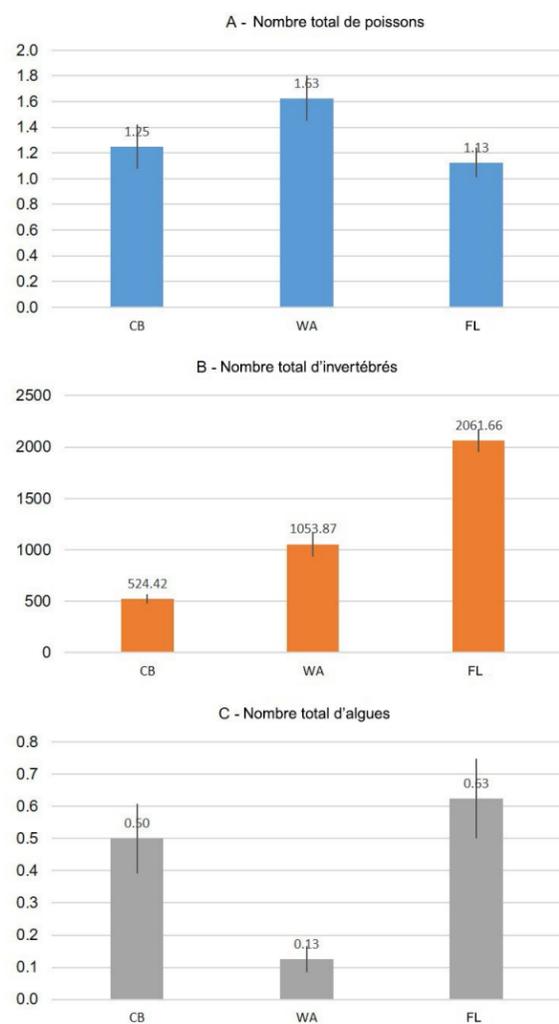


Figure 3 : L'abondance moyenne de poissons (A), d'invertébrés (B) et d'algues (C) a été dénombrée le long de transects de 60 m<sup>2</sup> dans trois zones près de Cambridge Bay (CB = Cambridge Bay; BO = Bras ouest; IF = îles Finlayson). n = 8 transects dans chaque zone. Les barres d'erreur représentent l'erreur type.

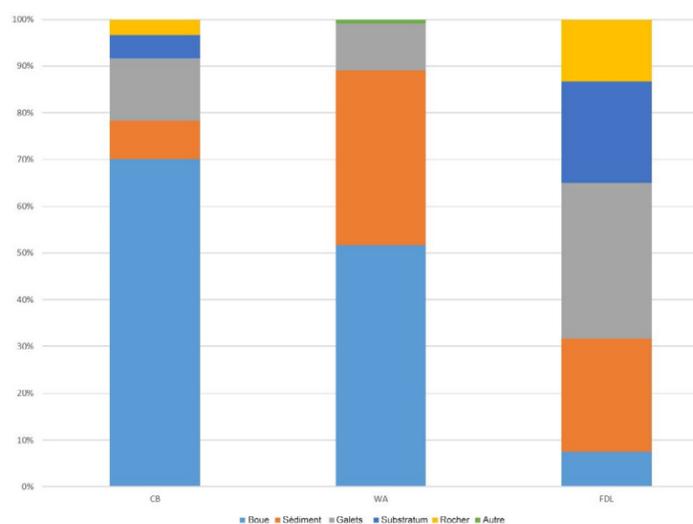


Figure 4 : Proportion du type de substrat pour trois zones près de Cambridge Bay (CB = Cambridge Bay; BO = Bras ouest; IF = îles Finlayson). n = 8 relevés pour chaque région.

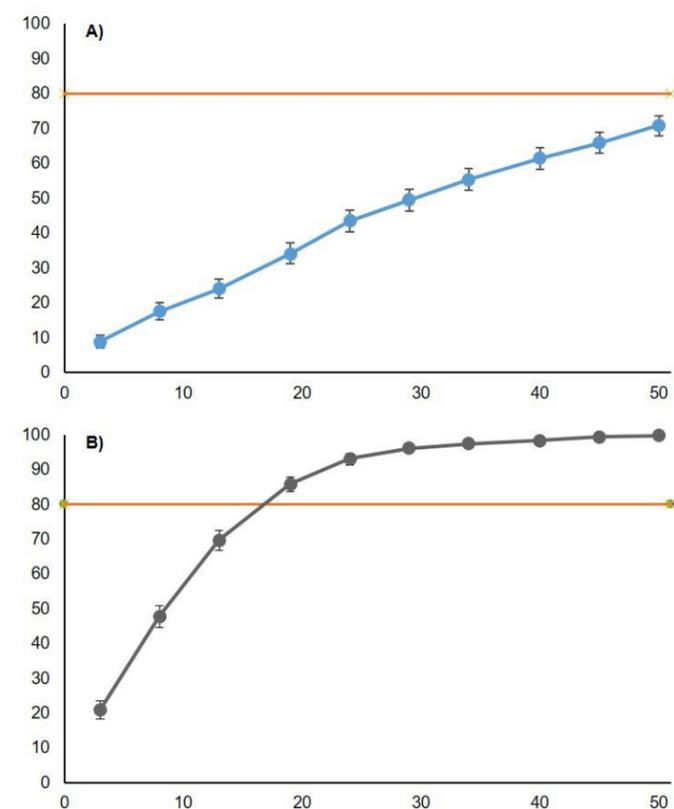


Figure 5 : La puissance estimée pour détecter (a) un changement de 25 % et (b) un changement de 50 % de la population d'oursins verts pour un nombre donné de sites de relevé (avec quatre transects par site) à l'aide d'un modèle linéaire d'effets mixtes (ensemble R « simr »; Green et McLeod 2016). Les lignes pointillées horizontales représentent 80 % de l'énergie, ce qui constitue une cible commune dans les études écologiques (Munkittrick et coll. 2009).

### Analyse de la puissance

Le plan d'échantillonnage utilisé dans cette étude pilote conviendrait pour détecter de grands changements (p. ex., 50 % ou 2 x ET) de l'abondance des espèces individuelles d'une année à l'autre, mais une plus petite ampleur des effets (p. ex., 25 %) exigerait plusieurs années d'échantillonnage et/ou plus de sites de relevé. En utilisant six sites (24 transects au total), il faudrait cinq ans d'échantillonnage pour atteindre une puissance supérieure à 80 % afin de détecter une variation de 25 % de la population d'oursins verts (la puissance à n = cinq ans est de  $97,8 \% + 1,3 \% \text{ [IC à } 95 \%]$ ). Afin de détecter un changement de 25 % sur deux ans, il faudrait augmenter le nombre de sites à un niveau déraisonnablement élevé (fig. 5a). Toutefois, si un effet plus important est acceptable (p. ex., un changement de 50 % de la population), environ 17 sites seraient adéquats (fig. 5 b). L'approche la plus appropriée pour la surveillance future dépendra des objectifs de surveillance à long terme et des

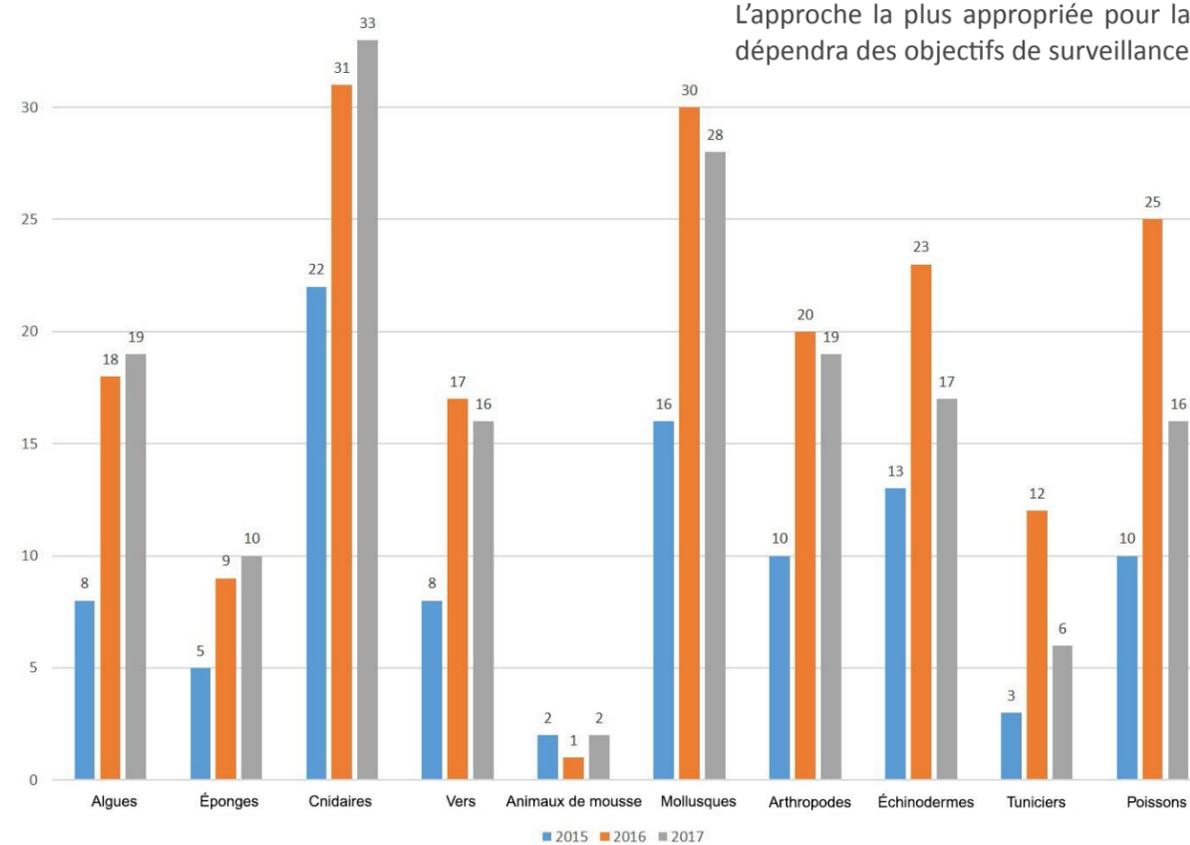


Figure 6 : Comparaison du nombre d'espèces observées au cours des enquêtes écologiques littorales de 2015 (6 plongées), des enquêtes écologiques littorales de 2016 (14 plongées) et des AMEBP de 2017 (18 plongées).

espèces d'intérêt. Les analyses de puissance devraient de plus être reprises pour certaines espèces d'intérêt afin de s'assurer que le programme de surveillance atteint des objectifs précis en matière de puissance et d'ampleur de l'effet.

### Études itinérantes sur la biodiversité (plongées taxonomiques)

En tout, dix-huit études itinérantes sur la biodiversité (plongées taxonomiques) ont été entreprises, au cours desquelles 161 espèces ont été recensées (fig. 6), dont 20 qui n'avaient pas été répertoriées au cours des enquêtes écologiques littorales de 2015 ou de 2016 (rapports finaux des enquêtes écologiques littorales de 2015 et de 2016 disponibles sur demande). L'observation d'espèces auparavant non observées suggère qu'il faut poursuivre ce type de travail taxonomique.

### Comparaison des méthodes de plongées transectales et taxonomiques

La courbe d'accumulation des espèces (fig. 7) a maintenu une trajectoire ascendante pour les relevés itinérants de la biodiversité, démontrant que la richesse des espèces continuerait de grimper avec des relevés supplémentaires, tandis que l'accumulation des espèces à l'aide de la méthode du transect était, bien sûr, maximisée au nombre d'espèces cibles prédéterminées dans les méthodes. Par ailleurs, la méthode du transect fournit une estimation plus rigoureuse de l'abondance des espèces (tableau 2) que la méthode taxonomique, qui ne fait qu'estimer l'abondance et est donc plus subjective.

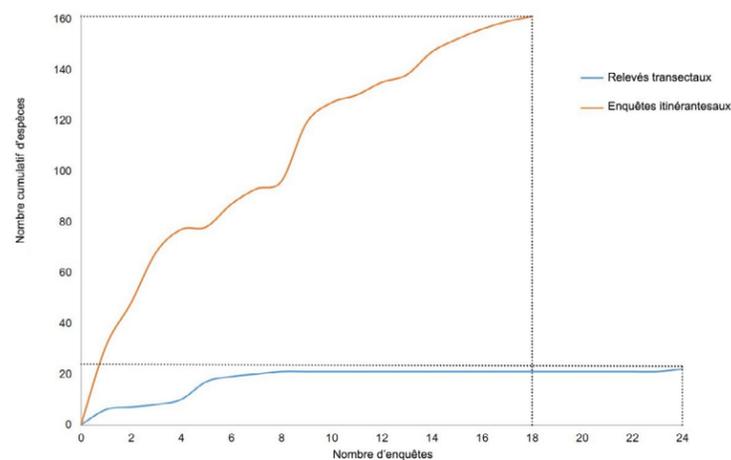


Figure 7 : Le nombre cumulatif de taxons observés avec chaque transect supplémentaire (ligne bleue pleine) ou relevé en plongées taxonomiques (ligne orange pleine). Les sondages sont placés en ordre chronologique. En tout, 22 taxons ont été observés après 24 plongées transectales et 161 taxons ont été observés après 18 plongées taxonomiques.



Figure 8 : Les enfants rencontrent des spécimens marins vivants à la journée portes ouvertes de la collectivité.

La méthode la plus appropriée pour la surveillance future dépendra des objectifs du programme. Les relevés de plongée taxonomiques peuvent être plus appropriés si les objectifs comprennent la capture d'une plus grande étendue de biodiversité ou la détection d'espèces rares, en voie de disparition ou envahissantes. Toutefois, s'il faut plus de données reproductibles et quantifiables, la méthode du transect peut être plus appropriée.

### Prochaines étapes

Bien que les approches traditionnelles de la recherche sur la biodiversité aient permis de faire des progrès importants dans la caractérisation des écosystèmes littoraux de l'Arctique, elles ont certaines limites. Par exemple, étant donné que les plongées transectales ciblent des espèces d'intérêt et des profondeurs précises, elles ne permettent toutefois pas de saisir toute la diversité à un endroit donné.

De même, les experts en taxonomie qui ont de l'expérience en plongée sous-marine dans l'Arctique sont rares, de sorte qu'il peut être difficile d'identifier précisément les espèces pendant une plongée taxonomique. Une façon de renforcer les méthodes traditionnelles d'enquête est d'intégrer des méthodes moléculaires comme le codage à barres de l'ADN (Hebert et coll. 2003). Nous recommandons d'utiliser les résultats de l'étude AMEBP de 2017 pour adapter et poursuivre les études de transect à certains sites. Cependant, nous recommandons également d'augmenter et de poursuivre les études itinérantes sur la biodiversité et l'exploration de sites en utilisant le codage à barres de l'ADN. Nous proposons de surcroît d'organiser un atelier avec les intervenants de Cambridge Bay afin de déterminer les priorités locales en matière de recherche future.

### Préoccupations pour la collectivité

Nous croyons fermement qu'une sensibilisation accrue à l'environnement subaquatique local permettra d'accroître le respect de sa complexité et de sa fragilité, et servira à renforcer le soutien de la collectivité aux efforts de suivi en cours. À cette fin, le programme AMEBP de 2017 comprenait plusieurs événements de mobilisation communautaire pratiques, y compris une journée portes ouvertes pour tous les habitants de Cambridge Bay et un programme visant à présenter des spécimens vivants aux élèves de l'école primaire Kullik Ilihakvik.

De plus, nous avons mené un certain nombre d'entrevues auprès de jeunes de Cambridge Bay au sujet des changements environnementaux et de la capacité de la science et des connaissances traditionnelles de s'attaquer aux répercussions des changements climatiques dans l'Arctique. Les réponses variées et réfléchies portaient sur les préoccupations concernant la sécurité alimentaire, les menaces pour les populations animales, l'amincissement des glaces et les espèces envahissantes. Ces entrevues ont clairement indiqué que les prochains projets de recherche doivent être structurés afin qu'ils soient pertinents quant aux préoccupations et aux priorités des Inuits.

### Remerciements

Savoir polaire Canada et l'Ocean Wise Conservation Association ont financé conjointement le Programme d'analyse comparative de l'écologie marine arctique de 2017. Nous remercions les habitants du hameau de Cambridge Bay, John Lyall fils, l'équipe de la SCREA de POLAIRE, Mia Otokiak, Candace Pedersen, le personnel,

les enseignants et les élèves de l'école primaire Kullik Ilihakvik, l'Ekaluktutiak Hunters and Trappers Organization, la Kitnuna Corporation, Charlie Gibbs et nos collègues de l'aquarium Ocean Wise de Vancouver.

### Références

- Chen, Y., and Hunter, M. 2003. Assessing the green sea urchin (*Strongylocentrotus drobachiensis*) stock in Maine, USA. *Fisheries Research* 60:527–537. doi:10.1016/S0165-7836(02)00082-6.
- Coyer, J.A., Ambrose, R.F., Engle, J.M., and Carroll, J. C. 1993. Interactions between corals and algae on a temperate-zone rocky reef: Mediation by sea urchins. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 167:21–37.
- Department of Fisheries and Oceans. 2013. Pacific region green sea urchin integrated fisheries management plan, September 1, 2013, to August 31, 2016.
- Estes, J.A. and Duggins, D.O. 1995. Sea otters and kelp forests in Alaska: Generality and variation in a community ecological paradigm. *Ecological Monographs* 65 (1):75–100. doi:10.2307/2937159.
- Green, P., MacLeod, C.J., and Nakagawa, S. 2016. SIMR: An R package for power analysis of generalized linear mixed models by simulation. *Methods in Ecology and Evolution* 7:493–498. doi:10.1111/2041-210X.12504.
- Hebert, P.D.N., Cywinska, A., Ball, S.L., and deWaard, J. R. 2003. Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 270 (1512):313–321. doi:10.1098/rspb.2002.2218.
- Marliave J.B., Gibbs, C.J., Gibbs, D. M., Lamb, A.O., and Young, S.F.J. 2011. Biodiversity stability of shallow marine benthos in the Strait of Georgia, British Columbia, Canada through climate regimes, overfishing, and ocean acidification. *In Biodiversity loss in a changing planet*. InTechOpen. pp. 49–74. Web ISBN: 978-953-307-707-9.

Munkittrick, K.R., Arens, C.J., Lowell, R.B., and Kaminski, G.P. 2009. A review of potential methods of determining critical effect size for designing environmental monitoring programs. *Environmental Toxicology and Chemistry* 28:1361–1371. doi:10.1897/08-376.1.