



COPEMAM - Mieux comprendre les conflits entre pêches et mammifères marins dans l'archipel de Saint Pierre et Miquelon

Cécile Vincent, Jeremy Kiszka, Théo Garnier, Skye Wynn-Simmonds, Yann Planque, Michelle Caputo, Nicholas Tucker, Jérôme Spitz, Florence Caurant, Frank Urtizberea, et al.

► To cite this version:

Cécile Vincent, Jeremy Kiszka, Théo Garnier, Skye Wynn-Simmonds, Yann Planque, et al.. COPEMAM - Mieux comprendre les conflits entre pêches et mammifères marins dans l'archipel de Saint Pierre et Miquelon. La Rochelle Université, CNRS, CEBC, Florida International University, OFB, Direction des Territoires de l'Alimentation et de la Mer. 2022, pp.1-98. hal-04084518

HAL Id: hal-04084518

<https://hal.science/hal-04084518>

Submitted on 28 Apr 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

COPEMAM - Mieux comprendre les conflits entre pêches et mammifères marins dans l'archipel de Saint Pierre et Miquelon

Rapport final, juin 2022



Cécile Vincent & Jeremy Kiszka (*coord*), Théo Garnier, Skye Wynn-Simmonds, Yann Planque, Michelle Caputo, Nicholas Tucker, Jérôme Spitz, Florence Caurant, Frank Urtizberea, Daniel Koelsch, Bruno Letournel, Louis Quénée, Tiphaine Jeanniard-du-Dot, Joël Detcheverry, Roger Etcheberry, Simon Detcheverry



**Direction
des Territoires
de l'Alimentation
et de la Mer**

COPEMAM - Mieux comprendre les conflits entre pêches et mammifères marins dans l'archipel de Saint Pierre et Miquelon

Rapport final, juin 2022

Vincent¹, C. & Kiszka², J. (*coord*), Garnier¹, T., Wynn-Simmonds¹, S., Planque¹, Y., Caputo², M., Tucker², N., Spitz¹, J., Caurant¹, F., Urtizberea³ F., Koelsch³, D., Letournel⁴, B., Quénée⁴, L., Jeanniard-du-Dot¹, T., Detcheverry⁵, J., Etcheberry, R. ⁵, Detcheverry, S. ⁵

¹ CEBC, CNRS/La Rochelle Université, France

² Florida International University, USA

³ DTAM Saint-Pierre et Miquelon, France

⁴ OFB Saint-Pierre et Miquelon, France

⁵ Naturalistes indépendants, Saint-Pierre et Miquelon, France

Résumé étendu

Saint-Pierre et Miquelon abrite une diversité et une abondance exceptionnelles de mammifères marins dans les eaux françaises. Ces prédateurs supérieurs peuvent avoir un impact considérable sur les écosystèmes marins et donc les ressources qui ont une influence sur le paysage socio-économique de l'archipel. Alors que ce patrimoine naturel remarquable demeure toujours peu connu à Saint-Pierre et Miquelon, des espèces comme les phoques semblent fréquemment entrer en conflit avec certaines activités humaines, notamment la pêche (compétition pour les ressources, prédation). Le projet COPEMAM (Mieux Comprendre les Conflits entre Pêches et Mammifères Marins, 2019-2022), mené par l'Université de La Rochelle/CNRS et Florida International University, s'intéresse à l'écologie des mammifères marins à Saint-Pierre et Miquelon et à leurs interactions avec les pêcheries. Les objectifs de ce projet étaient de mieux comprendre la distribution, l'abondance, les mouvements et l'écologie trophique des principales espèces de mammifères marins autour de l'archipel, ainsi que d'évaluer les conflits existants entre ces espèces protégées et les pêcheries locales.

Le programme COPEMAM a permis d'initier une étude sur l'écologie des cétacés au large de Saint-Pierre et Miquelon. En 2019 et 2021, des campagnes dédiées en mer ont été réalisées pour collecter des données d'observation en mer de cétacés ainsi que des données acoustiques sur la distribution spatiale et temporelle de proies potentielles de ces prédateurs. Par ailleurs, des biopsies de peau et de lard ont été collectées durant le projet pour analyser les isotopes stables du carbone et de l'azote et ainsi étudier les interactions trophiques des différentes espèces et leur régime alimentaire. Enfin, des données d'observations opportunistes de cétacés centralisées par la DTAM entre 2008 et 2016 ont pu être compilées et analysées pour mieux comprendre les habitats préférentiels des principales espèces de cétacés fréquentant l'archipel, en particulier trois espèces de mysticètes (petit rorqual *Balaenoptera acutorostrata*, rorqual commun *Balaenoptera physalus* et baleine à bosse *Megaptera novaeangliae*) et deux espèces de petits odontocètes (dauphin commun *Delphinus delphis* et lagénorhynque à bec blanc *Lagenorhynchus albirostris*). L'ensemble de ces données a permis de compléter les informations disponibles sur la distribution et la diversité spécifique des cétacés dans cette région. Ces données incluent généralement la position géographique (latitude, longitude), l'espèce et la taille des groupes observés. Un total de 864 observations appartenant à 13 espèces a ainsi été rassemblé. Les campagnes dédiées révélèrent que l'espèce la plus fréquemment observée durant les campagnes en mer était le petit rorqual, suivi par le rorqual commun et le dauphin commun. Les autres espèces furent plus rarement rencontrées. Par ailleurs, nous avons analysé l'influence de la distribution des proies potentielles du petit rorqual, espèce la plus communément rencontré au large des côtes de Saint-Pierre et Miquelon. Nous avons ainsi combiné les données d'observation de petits rorquals collectés lors de nos campagnes systématiques menées en août 2019 et 2021 avec des données sur la répartition et l'abondance de leurs proies potentielles. Des données acoustiques à l'aide d'échosondeurs furent collectées. Un transducteur étalonné de 38 kHz (faisceau de 10°) et de 120 kHz (faisceau de 7°) fut utilisé. De manière générale, l'étude suggère que les taux de rencontre des petits rorquals sont plus importants dans les zones côtières peu profondes et qu'il existe une relation positive significative entre l'abondance des petits rorquals et l'abondance de proies potentielles.

Pour les mysticètes, les résultats des analyses isotopiques confirment que l'alimentation du petit rorqual et du rorqual commun sont très similaires. Les poissons épipélagiques (en particulier *B. belone*) constitueraient la majorité de leur régime alimentaire (57,7 % chez *B. acutorostrata* et 54,4 %

chez *B. physalus*), suivi par le lançon (*Ammodytes* spp. ; 32,6 % chez *B. acutorostrata* et 30,3 % chez *B. physalus*). Chez la baleine à bosse, les analyses ne permettent pas d'identifier de tendance marquée, ce qui suggérerait que cette espèce a un régime alimentaire plus diversifié, mais toutefois dominée par *Scomber scombrus* (41,2 %) et dans une moindre mesure *Ammodytes* spp. (13,7%) et *B. belone* (12,1 %). Chez le dauphin commun, l'alimentation semble dominée par les proies épipélagiques, en particulier *Scomber scombrus* (55,4 %) et dans une moindre mesure le céphalopode *Illex illecebrosus* (19,2 %, très abondant en été dans la région). Le lagénorhynque à bec blanc semble avoir une alimentation largement dominée par les céphalopodes, en particulier *Illex illecebrosus* (69,1 %), suivi par *S. scombrus* (12,6 %).

Les deux espèces de phoques observées le plus régulièrement et abondamment dans l'archipel, le phoque gris (*Halichoerus grypus*) et le phoque veau-marin (*Phoca vitulina*), ont fait l'objet de suivis spécifiques. Leur recensement mensuel à terre dans le Grand Barachois indique une forte saisonnalité, avec des effectifs maxima en mai et juin pendant la saison de reproduction des phoques veaux-marins, majoritaires. Ils étaient également nombreux en août de 2006 à 2016, mais ces dernières années les effectifs dans la lagune ont diminué : pendant cette période de mue annuelle, les phoques veaux-marins semblent préférer se répartir autour des îles, notamment autour de Langlade. Ces effectifs relatifs ne montrent pas de tendance significative ces 16 dernières années. Les recensements exhaustifs autour de l'archipel sont plus récents (depuis 2016) et moins nombreux, mais ils permettent d'observer la répartition spatiale de l'ensemble des phoques sur leurs reposoirs. À l'image des recensements dans le Grand Barachois, environ 80% des phoques recensés sont des veaux-marins contre 20% de phoques gris. Les zones de repos préférentielles des deux espèces diffèrent légèrement mais se superposent largement. En août 2019, pendant la mue des phoques veaux-marins, les effectifs relatifs recensés étaient de 1631 individus, ce qui peut être considéré comme une estimation minimale de la taille de la colonie de cette espèce dans l'archipel. L'utilisation de facteurs de correction des recensements hivernaux a par ailleurs permis d'estimer en novembre 2016 une abondance absolue de 2067 phoques veaux-marins autour de l'archipel (intervalle de confiance à 95% : 1713-2607 phoques). Ces chiffres sont à considérer avec précaution en raison des conditions d'application du facteur de correction qui ne sont pas optimales, mais ils permettent d'estimer un ordre de grandeur de la taille de la colonie locale pour cette espèce. Les phoques gris, uniquement de passage à Saint-Pierre et Miquelon, appartiennent à une population plus large se déplaçant alternativement sur l'île de Sable ou du golfe du Saint-Laurent. Leurs effectifs totaux dans l'archipel sont donc très fluctuants et actuellement difficiles à évaluer (pas de facteur de correction des recensements disponibles), seuls les recensements fournissent des effectifs minima.

Le suivi télémétrique de 10 phoques veaux-marins et 2 phoques gris a permis de confirmer la connectivité avec des îles ou côtes canadiennes pour les phoques gris, mais aussi pour deux des phoques veaux-marins, qui se sont déplacés dans la baie de Fortune et le long de la côte sud du Burin. Les zones de chasse des phoques ont été cartographiées autour de Saint-Pierre et Miquelon, généralement très près des côtes mais également dans une moindre mesure à plusieurs dizaines de kilomètres au sud sur le banc de Saint-Pierre, ou à l'ouest de Miquelon. Les phoques chassent majoritairement de nuit. Ils passent en moyenne 12.3% de leur temps à sec, et le reste du temps en mer dont 30.5% du temps en surface et 57.2% du temps sous au moins 1.5m de profondeur. Ils se posent préférentiellement à terre dans la journée et autour de la marée basse, mais ne se posent à terre qu'un jour sur deux en moyenne.

Le régime alimentaire des phoques veaux-marins et gris a été analysé par étude du contenu de fèces, collectées à Saint-Pierre et Miquelon. Au total, 55 et 107 fèces de phoques veaux-marins et

gris respectivement ont été étudiées, en analysant leur contenu en pièces dures diagnostiques non digérées (otolithes et os de poissons, etc.). Nous avons ici mis en évidence des différences entre les deux espèces de phoques. Pour les phoques veaux-marins, ce sont des espèces de Gasterosteidae (épineches) qui semblent dominer le régime alimentaire, complétées essentiellement par des Ammodytidae (lançons) et des harengs de l'Atlantique (*Clupea harengus*). Cependant, cette évaluation repose sur des fèces presque essentiellement collectées au mois de juin, et ne permettent donc pas d'évaluer de potentielles variations saisonnières du régime alimentaire. Pour les phoques gris, ce sont essentiellement les harengs de l'Atlantique, les morues de l'Atlantique (*Gadus morhua*), des espèces de Pleuronectidae (poissons plats), et d'autres proies telles que des Chondrichthyens (raies) ou des céphalopodes, qui ont été détectées dans les fèces collectées. Il est difficile d'évaluer avec certitude la contribution de chacune de ces proies au régime alimentaire des phoques gris, sachant les nombreuses limites associées à ces analyses. Il apparaît important de poursuivre les collectes de fèces pour améliorer les connaissances du régime alimentaire.

Les niches isotopiques de phoques ont été évaluées grâce à la mesure des isotopes stables du carbone ($\delta^{13}\text{C}$) et de l'azote ($\delta^{15}\text{N}$) le long de vibrisses de phoques veaux-marins et gris, échantillonnées lors des captures de 36 individus pour les suivis télémetriques (2017-2020) et sur deux individus échoués en 2021. La niche isotopique des phoques veaux-marins est plus restreinte que celle des phoques gris à Saint-Pierre et Miquelon, et celle des phoques gris se superpose fortement à celle des phoques veaux-marins. Nous proposons plusieurs hypothèses pour expliquer ce chevauchement, tel que le manque de connaissances du régime alimentaire au cours de plusieurs saisons. Enfin, les niches de phoques gris échantillonnées à Saint-Pierre et Miquelon et à l'île de Sable se sont avérées assez similaires, suggérant des similarités alimentaires/trophiques entre les deux sites.

Enfin, les mammifères marins (en particulier les phoques) sont souvent incriminés par les pêcheurs pour les dégâts qu'ils causent sur les engins de pêche et les prises, ainsi que sur les ressources. La communauté des pêcheurs exprime régulièrement des inquiétudes et des frustrations. Dans le cadre du projet COPEMAM, de manière à caractériser les conflits entre mammifères marins et pêcheries, nous avons choisi de réaliser des enquêtes auprès des usagers de la mer. Cette approche a permis de mieux comprendre les perceptions que les usagers, en particulier les pêcheurs (plaisanciers et professionnels), ont des mammifères marins, qu'il s'agisse de leur biodiversité, de leurs rôles écologiques dans les écosystèmes, ou de leurs interactions avec les activités humaines et les ressources marines. Ainsi, 85 % des personnes interrogées déclarent avoir été confrontées à des destructions de leurs captures de pêche (déprédation) directement dans les filets (notamment les filets fixes en pêche et ciblant le saumon), mais aussi des casiers (ciblant le homard) et des lignes (au moment de la remontée). Les cétacés semblent peu impliqués dans la déprédation.

Table des matières

Résumé étendu	2
Contexte et objectifs du projet	6
A – Distribution, abondance et écologie trophique des cétacés autour de Saint-Pierre et Miquelon ...	8
A1 – Recensements en mer (août 2019-2021).....	8
A2 – Données opportunistes (2008-2016)	12
A3 – Modélisation de l’habitat des principales espèces de cétacés	15
A4 – Relations proies-prédateurs dans l’espace	19
A5 – Interactions trophiques des cétacés autour de Saint-Pierre et Miquelon.....	25
A6 – Perspectives d’étude des cétacés au large de Saint-Pierre et Miquelon.....	33
B – Distribution, abondance et écologie trophique des phoques autour de SPM.....	34
B1 – Recensement des phoques à terre.....	34
B2 – Suivi télémétrique de phoques à partir de Saint-Pierre et Miquelon.....	43
B3 – Régime alimentaire des phoques.....	68
B4 – Niche isotopique et écologie trophique des phoques	75
B5 – Perspectives d’études sur les phoques autour de Saint-Pierre et Miquelon.....	80
C – Enquêtes sur les interactions entre mammifères marins et pêcheurs autour de Saint-Pierre et Miquelon	82
Valorisation scientifique du programme COPEMAM.....	87
Remerciements	88
Références bibliographiques	89
Annexe 1.....	95

Contexte et objectifs du projet

Situé à la jonction du Gulf Stream, du courant du Saint-Laurent et du courant du Labrador, au sud de Terre-Neuve, l'archipel de Saint-Pierre et Miquelon (Figure i.01) est situé dans des eaux productives qui ont longtemps permis une forte biomasse halieutique et donc une intense activité de pêche (Forest *et al.* 1979). Cette région abrite ainsi logiquement l'une des plus fortes diversités spécifiques de mammifères marins dans les eaux françaises (Savouré-Soubelet *et al.* 2016). C'est aussi une région et un écosystème particulièrement impactés et menacés par le changement climatique (Khan *et al.* 2013, Bridier *et al.* 2021). Parallèlement au déclin de certaines pêches, observé dans toute la région océanique (Rice 2002), des interactions conflictuelles entre activités de pêche et mammifères marins sont signalées depuis plusieurs années à Saint-Pierre et Miquelon (Vincent & Ridoux 2015).

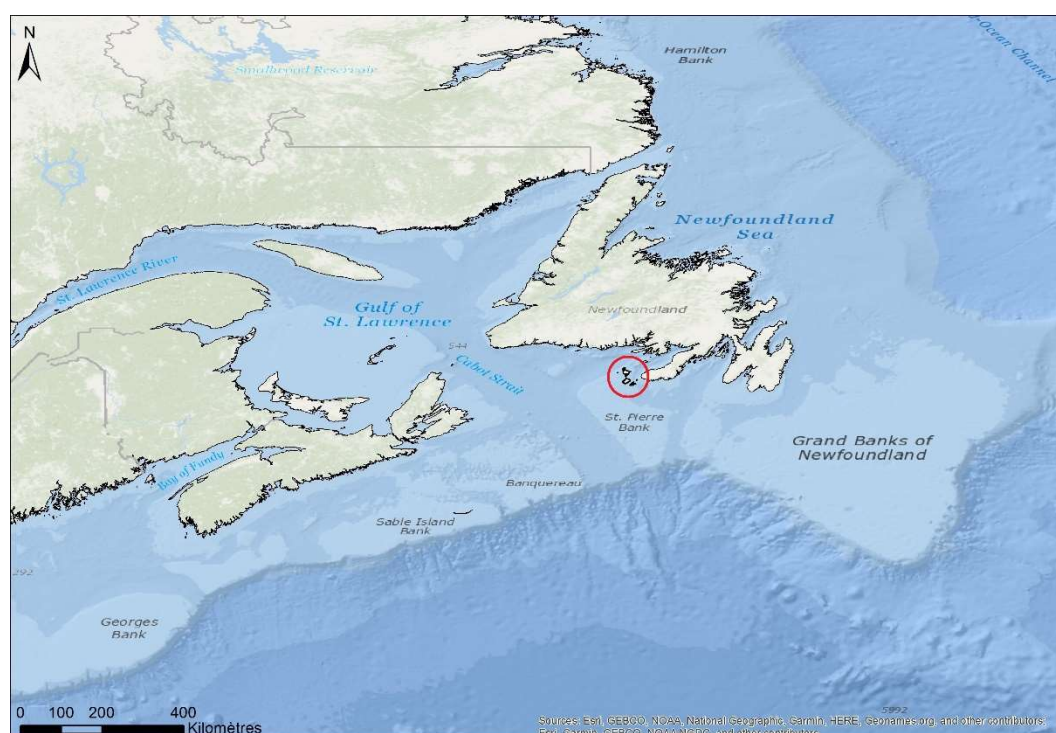


Figure i.01 : Carte de localisation de l'archipel de Saint-Pierre et Miquelon et zones océaniques et continentales adjacentes.

L'objectif du présent projet est de mieux comprendre le rôle et l'importance écologique des mammifères marins à Saint Pierre et Miquelon et la manière dont ces derniers sont perçus par les pêcheurs, notamment en tant que compétiteurs pour l'accès aux ressources, dont certaines sont toujours en déclin dans la région. Nous avons étudié l'abondance des principales espèces, leur distribution spatiale en relation avec les caractéristiques de leur environnement et l'identification de leurs zones de nourrissage, leur écologie alimentaire et enfin l'impact des mammifères marins sur les pêcheries. Des questionnaires à destination des pêcheurs ont été mis en place pour caractériser la nature et l'intensité des interactions entre mammifères marins et l'ensemble des pêcheries. Ce projet a pour objectifs de générer des données écologiques fondamentales sur ce groupe d'espèces

susceptible d'être affecté par des processus à long terme, en particulier les changements climatiques. Il permettra également de mieux informer le milieu de la pêche sur le réel impact des mammifères marins sur les écosystèmes marins à Saint Pierre et Miquelon. A travers le renforcement de capacités locales et l'implication des acteurs locaux de la pêche et de la gestion de l'environnement, ce projet se veut également innovateur dans le développement d'activités synergiques entre science, gestion des ressources marines et de l'environnement et maintien d'activités socio-économiques structurantes sur un territoire d'outre-mer.

A – Distribution, abondance et écologie trophique des cétacés autour de Saint-Pierre et Miquelon

Ce chapitre est consacré à la présentation de nos résultats sur la diversité spécifique, la distribution spatiale et la caractéristique des groupes de cétacés observés dans les eaux de l'archipel de Saint Pierre et Miquelon. Il incorpore les données collectées de manière systématique lors de campagnes en mer réalisées en août 2019 et en août 2021 (aucune campagne n'a pu être réalisée en 2020 du fait de la pandémie à la COVID-19). De plus, nous avons également compilé un grand nombre de données d'observations opportunistes collectées entre 2008 et 2016 dans les eaux territoriales de Saint Pierre et Miquelon, ce qui a permis d'enrichir notre connaissance de la diversité et des caractéristiques de groupe des cétacés fréquentant les eaux de l'archipel. Le grand nombre d'observations (opportunistes et collectées lors des campagnes COPEMAM) nous a permis d'initier un travail sur la modélisation des habitats des principales espèces que nous présentons également dans ce chapitre.

Enfin, nous présentons aussi les résultats des analyses d'isotopes stables du carbone et de l'azote obtenus pour plusieurs espèces de cétacés et de plusieurs proies potentielles. L'analyse des interactions trophiques des cétacés autour de Saint Pierre et Miquelon a pour but une meilleure compréhension du rôle écologique de ces espèces au sein de l'écosystème côtier de l'archipel.

A1 – Recensements en mer (août 2019-2021)

En 2019 et 2021, des campagnes en mer dédiées ont été réalisées en été (août) à partir de plusieurs plateformes (6-7.50m) pour étudier la distribution, la diversité spécifique et les caractéristiques des groupes de cétacés (taille et composition) dans les eaux côtières de Saint Pierre et Miquelon. En 2019, une approche aléatoire fut utilisée (sans suivre des transects prédéterminés, Figure A.1) alors qu'en 2021 (pas de campagnes réalisées en 2020 du fait de la pandémie à COVID-19), des campagnes plus systématiques ont été réalisées au large de la côte Est de l'archipel pour étudier la distribution des cétacés en relation avec leurs proies à bord d'une embarcation de plus grande taille (14.5m). Un total de 23 jours ont été passés en mer dans les eaux de Saint Pierre et Miquelon en conditions d'effort d'échantillonnage (Figure A.1). L'effort d'observation s'est essentiellement concentré sur la partie est et sud-est de l'archipel et, dans une moindre mesure, dans le sud.

Une grille de 1kmx1km a été créée (QGIS 3.24.3 avec l'outil « *grid* ») pour cartographier les taux de rencontre des principales espèces de cétacés qui ont été rencontrées. Ces taux de rencontre sont le ratio entre l'effort d'observation en km et les nombre d'observations par cellule et par espèce (Figure A.2). Un total de 8 espèces de cétacés a été rencontré durant les campagnes de 2019 et de 2021. Les nombres d'observations, la taille moyenne des groupes et les profondeurs moyennes d'observation sont présentées dans le Tableau A.1. L'espèce la plus fréquemment observée durant les campagnes en mer était le petit rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*), suivi par le rorqual commun (*Balaenoptera physalus*) et le dauphin commun (*Delphinus delphis*, Figures A.3 et A.4). Les autres espèces furent plus rarement rencontrées.

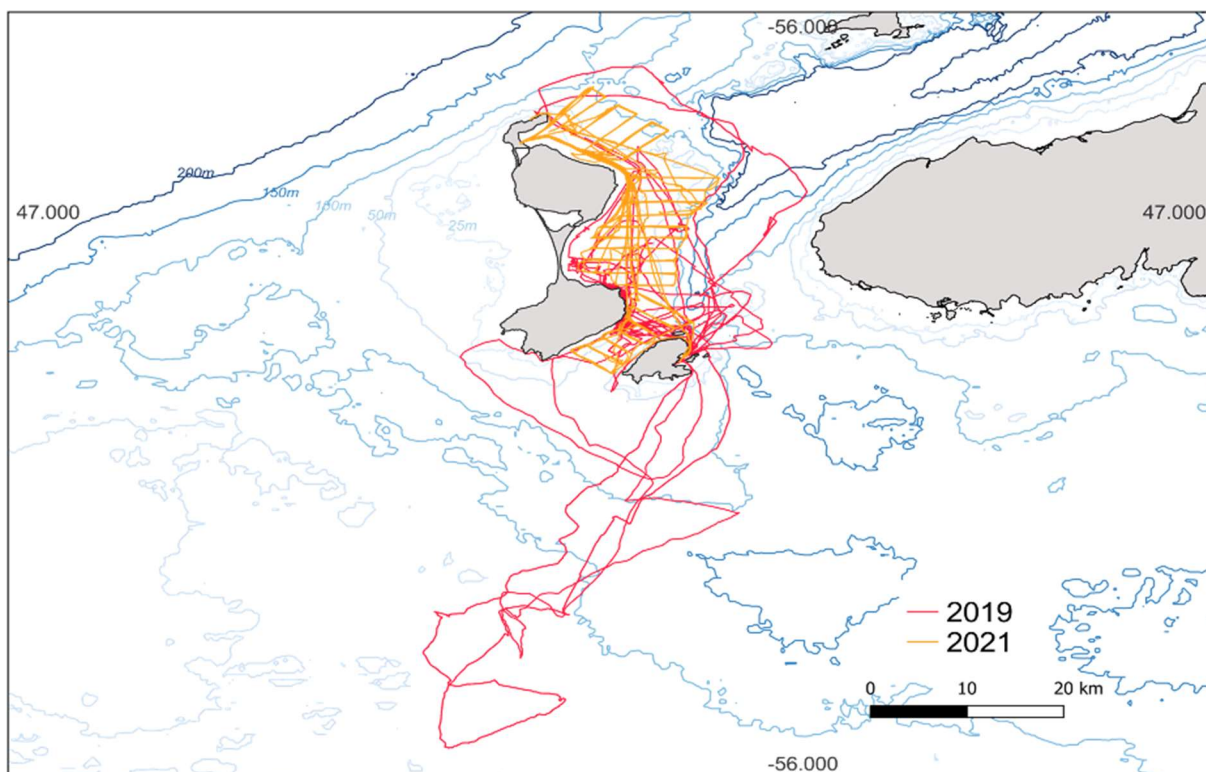


Figure A.1 : Effort d'observation exercé autour de Saint Pierre et Miquelon en 2019 et en 2021.

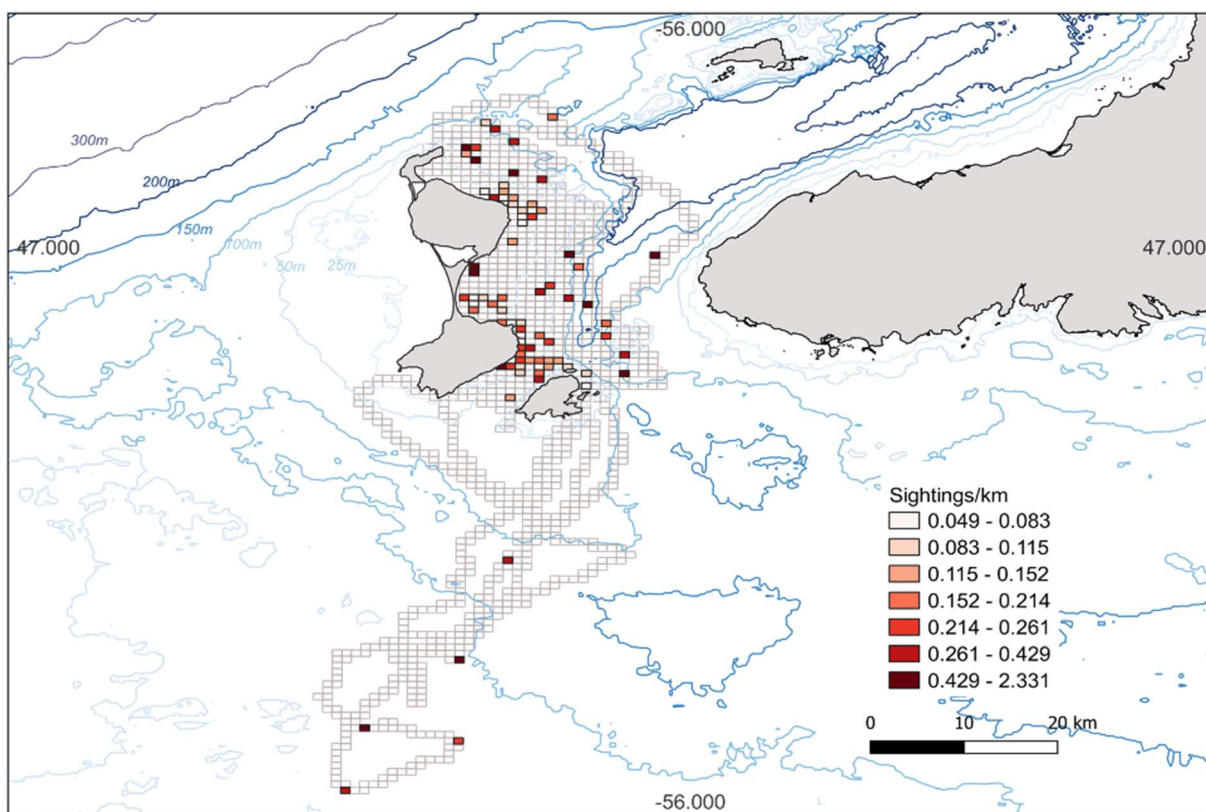


Figure A.2 : Nombre d'observations pour toute espèce de cétacés confondus par kilomètre parcouru par cellule de 1kmx1km au large de Saint-Pierre et Miquelon en 2019 et 2021.

Tableau A.1 : Taille moyenne des groupes et profondeurs moyennes des observations des espèces de cétacés rencontrées durant les campagnes de 2019 et 2021 au large de Saint Pierre et Miquelon.

Espèce	N	Taille moyenne des groupes ($\pm$ écart-type)	Profondeur moyenne (m) ($\pm$ écart-type)
<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	88	1.72 $\pm$ 1.7	31.5 $\pm$ 26.2
<i>Balaenoptera physalus</i>	15	1.20 $\pm$ 0.6	57 $\pm$ 39.8
<i>Megaptera novaeangliae</i>	3	1.33 $\pm$ 0.6	67.7 $\pm$ 33.9
<i>Delphinus delphis</i>	8	36.50 $\pm$ 49.4	94.5 $\pm$ 33.2
<i>Lagenorhynchus acutus</i>	2	28 $\pm$ 31.1	79 $\pm$ 46.7
<i>Lagenorhynchus albirostris</i>	1	5	27
<i>Phocoena phocoena</i>	1	5	21
<i>Orcinus orca</i>	1	3	61

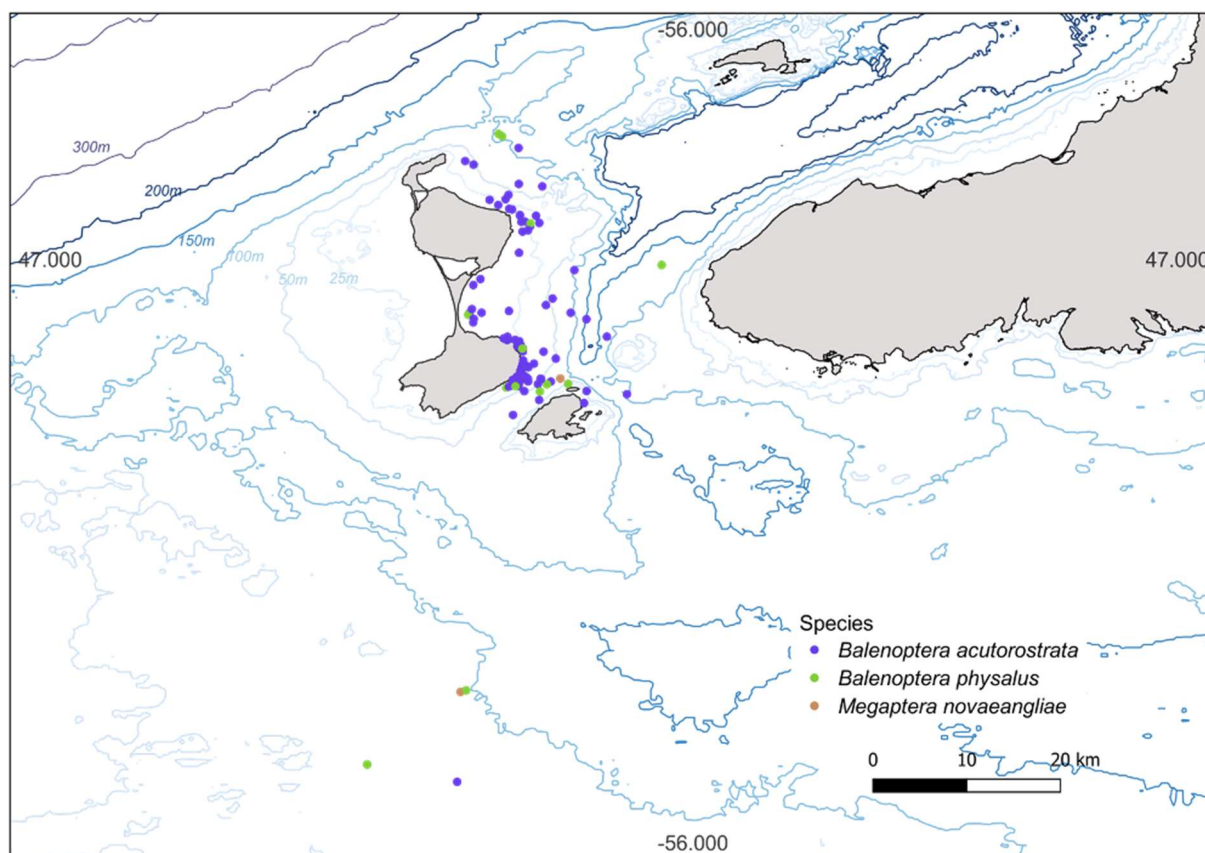


Figure A.3 : Distribution des observations de baleines à fanon au large de Saint-Pierre et Miquelon en 2019 et 2021.

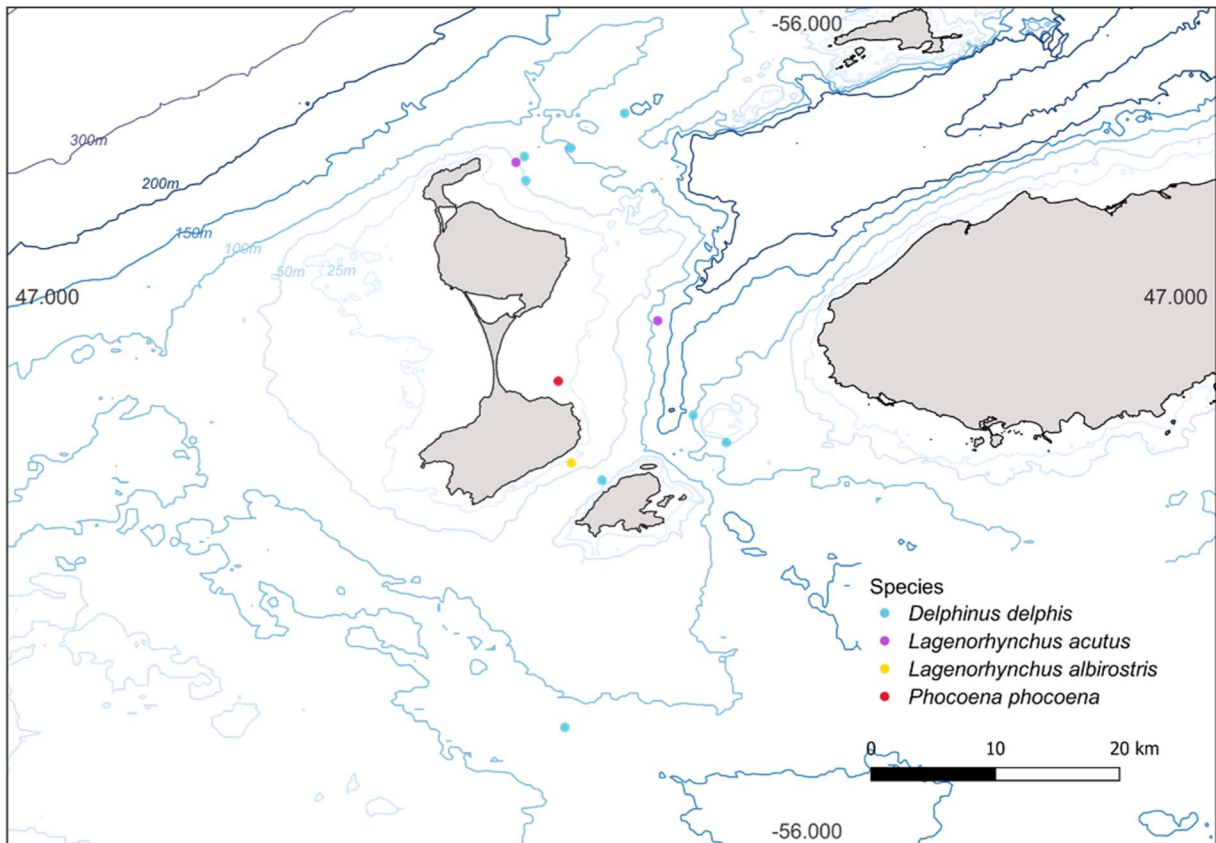


Figure A.4 : Distribution des observations de petits cétacés au large de Saint-Pierre et Miquelon en 2019 et 2021.

Les tailles de groupes observées pour l'ensemble des espèces n'étaient pas significativement différentes entre les espèces (ANOVA, $F=0.357$, $p > 0.05$), mais la majorité des observations (67%) ne comptait qu'un individu. Les groupes de petits cétacés formaient des tailles de groupe plus importantes, particulièrement pour le dauphin commun ou le lagénorhynque à flancs blancs de l'Atlantique (*Lagenorhynchus acutus*, Figure A.5).

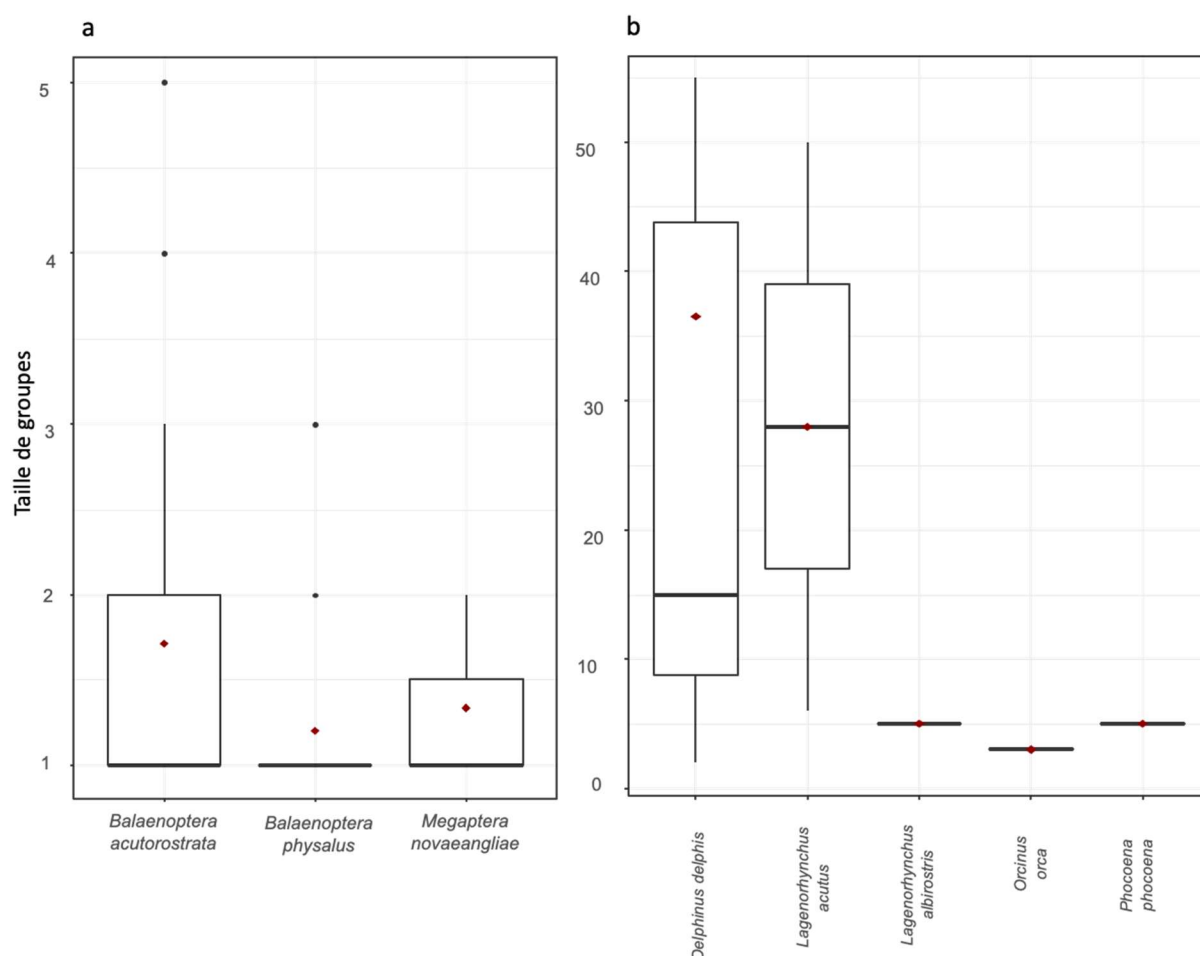


Figure A.5 : Taille des groupes de mysticètes (a) et de petits odontocètes (b) observés au large de Saint-Pierre et Miquelon en 2019 et 2021.

A2 – Données opportunistes (2008-2016)

Entre 2008 et 2016, des acteurs locaux avec un intérêt particulier pour l’observation des cétacés ont collecté de manière non systématique des données sur la présence de ces espèces dans les eaux territoriales de l’archipel. L’ensemble de ces données a été compilé par la DTAM et sont actuellement analysées pour compléter les informations disponibles sur la distribution et la diversité spécifique des cétacés dans cette région. Ces données incluent généralement la position géographique (latitude, longitude), l’espèce et la taille des groupes observés. Un total de 864 observations appartenant à 13 espèces a ainsi été rassemblé. Le détail de la répartition spécifique des observations est présenté dans le Tableau A.2.

Tableau A.2 : Nombre d'observations, taille moyenne des groupes et profondeurs moyennes de rencontre des espèces de cétacés rencontrées de manière opportuniste au large de Saint-Pierre et Miquelon entre 2008 et 2016.

Espèce	N	Taille moyenne des groupes ($\pm$ écart-type)	Profondeur moyenne (m) ($\pm$ écart-type)
<i>Balaenoptera acutorostrata</i>	74	1.45 $\pm$ 0.81	-81.39 $\pm$ 40.67
<i>Balaenoptera borealis</i>	7	1.431 $\pm$ 0.53	-86.43 $\pm$ 25.51
<i>Balaenoptera musculus</i>	11	1.45 $\pm$ 1.21	-102.73 $\pm$ 70.58
<i>Balaenoptera physalus</i>	138	4.06 $\pm$ 8.95	-90.50 $\pm$ 42.79
<i>Megaptera novaeangliae</i>	490	2.60 $\pm$ 9.022	-76.86 $\pm$ 37.07
<i>Delphinus delphis</i>	48	41.60 $\pm$ 80.08	-96.02 $\pm$ 32.11
<i>Lagenorhynchus acutus</i>	23	25.173 $\pm$ 31.49	-111.57 $\pm$ 60.63
<i>Lagenorhynchus albirostris</i>	41	19.49 $\pm$ 31.57	-99.73 $\pm$ 42.22
<i>Phocoena phocoena</i>	9	6.67 $\pm$ 8.047	-93.00 $\pm$ 50.27
<i>Physeter macrocephalus</i>	2	1 $\pm$ 0	-283.00 $\pm$ 36.77
<i>Globicephala melas</i>	4	31.25 $\pm$ 16.52	-82.75 $\pm$ 23.88
<i>Hyperoodon ampullatus</i>	1	1	7
<i>Orcinus orca</i>	15	5.60 $\pm$ 4.36	-88.07 $\pm$ 42.08

Un total de 864 observations a pu être ainsi compilé, représenté par 13 espèces, dont 5 mysticètes et 8 odontocètes (5 membres de la famille de delphinidés, le marsouin commun *Phocoena phocoena*, le cachalot *Physeter macrocephalus* et l'hypéroodon boréal *Hyperoodon ampullatus*). La distribution spatiale des observations est présentée dans les figures A.6 à A.8. L'occurrence des différentes espèces enregistrées est fortement disproportionnée, avec une forte proportion d'observations de mysticètes (particulièrement la baleine à bosse, *Megaptera novaeangliae*). Ceci suggère que l'essentiel de l'effort d'observation a essentiellement été exercé durant la saison estivale, où cette espèce fréquente les eaux de Saint-Pierre et Miquelon comme zone de passage et d'alimentation.

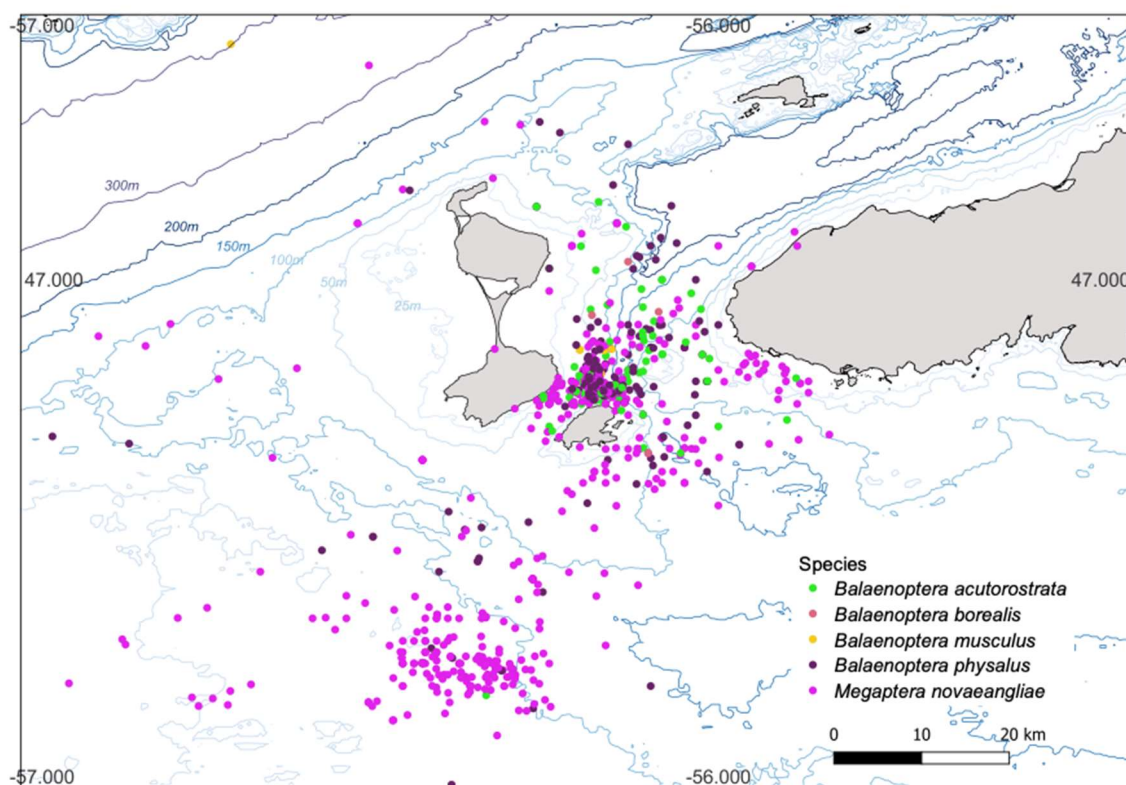


Figure A.6 : Observations opportunistes de mysticètes au large de Saint-Pierre et Miquelon entre 2008 et 2016.

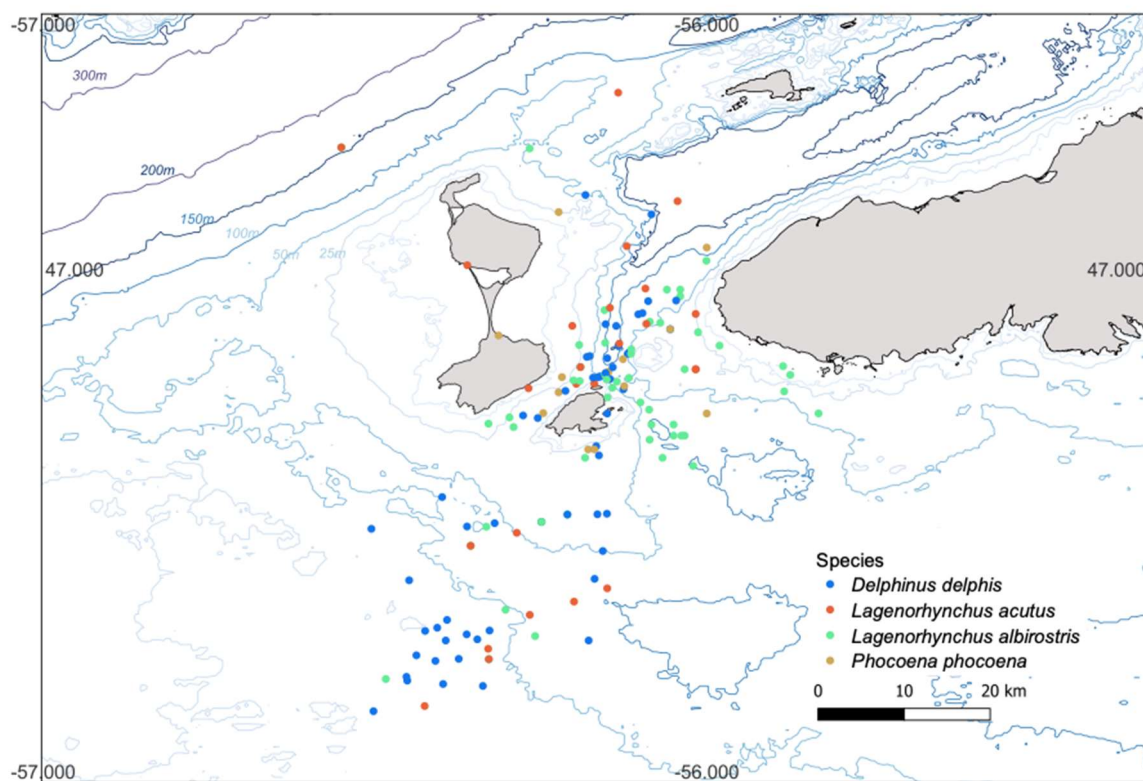


Figure A.7 : Observations opportunistes de petits odontocètes au large de Saint-Pierre et Miquelon entre 2008 et 2016.

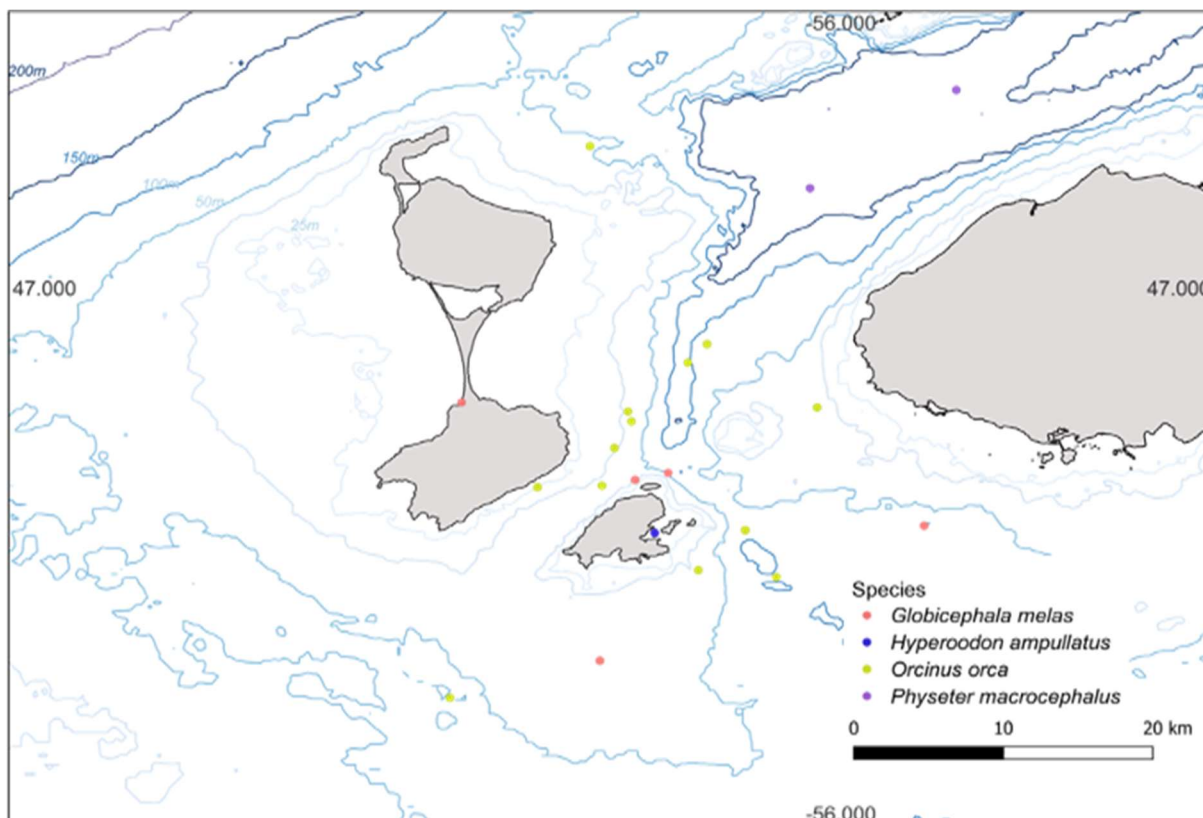


Figure A.8 : Observations opportunistes de grands odontocètes au large de Saint-Pierre et Miquelon entre 2008 et 2016.

A3 – Modélisation de l’habitat des principales espèces de cétacés

Les observations opportunistes de cétacés collectées entre 2008 et 2016 ainsi que les données collectées lors des campagnes dédiées et réalisées en août 2019 et 2021 ont également été analysées dans le détail pour mieux comprendre la relation entre leur distribution et la caractéristique de leurs habitats. La profondeur est la variable fixe qui semble avoir l’influence la plus significative sur la distribution spatiale des cétacés. Celle-ci a à la fois une influence directe sur ces prédateurs, mais aussi une influence importante sur la distribution et l’abondance de leurs proies. La modélisation de l’habitat à entropie maximale (Maxent, *Maximum Entropy Habitat Modeling*) a été utilisée pour déterminer les habitats préférentiels des espèces les plus fréquentes ($n > 10$ observations au moins) autour de Saint-Pierre et Miquelon, en particulier :

- le petit rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*),
- le rorqual commun (*Balaenoptera physalus*),
- la baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*),
- le dauphin commun (*Delphinus delphis*),
- le lagénorhynque à bec blanc (*Lagenorhynchus albirostris*).

Ces modèles prédisent l’influence de certains paramètres environnementaux dans la distribution des espèces (dans notre cas, la profondeur). La zone sous la statistique de test de la courbe de fonctionnement du récepteur (AUC) a été calculée pour chaque modèle afin de déterminer la

précision du modèle, où les valeurs supérieures à 0,5 sont significatives (les valeurs inférieures à 0,5 = modèle nul). Les résultats démontrent l'utilité de la profondeur pour prédire l'habitat des cétacés car l'AUC était significative pour toutes les espèces (*Balaenoptera physalus* = 0,967, *Balaenoptera acutorostrata* = 0,959, *Megaptera novaeangliae* = 0,963, *Delphinus delphis* = 0,973, *Lagenorhynchus albirostris* = 0,966). Les cartes de prédiction de la distribution des 5 espèces sont présentées ci-dessous (Figures A.9-13).

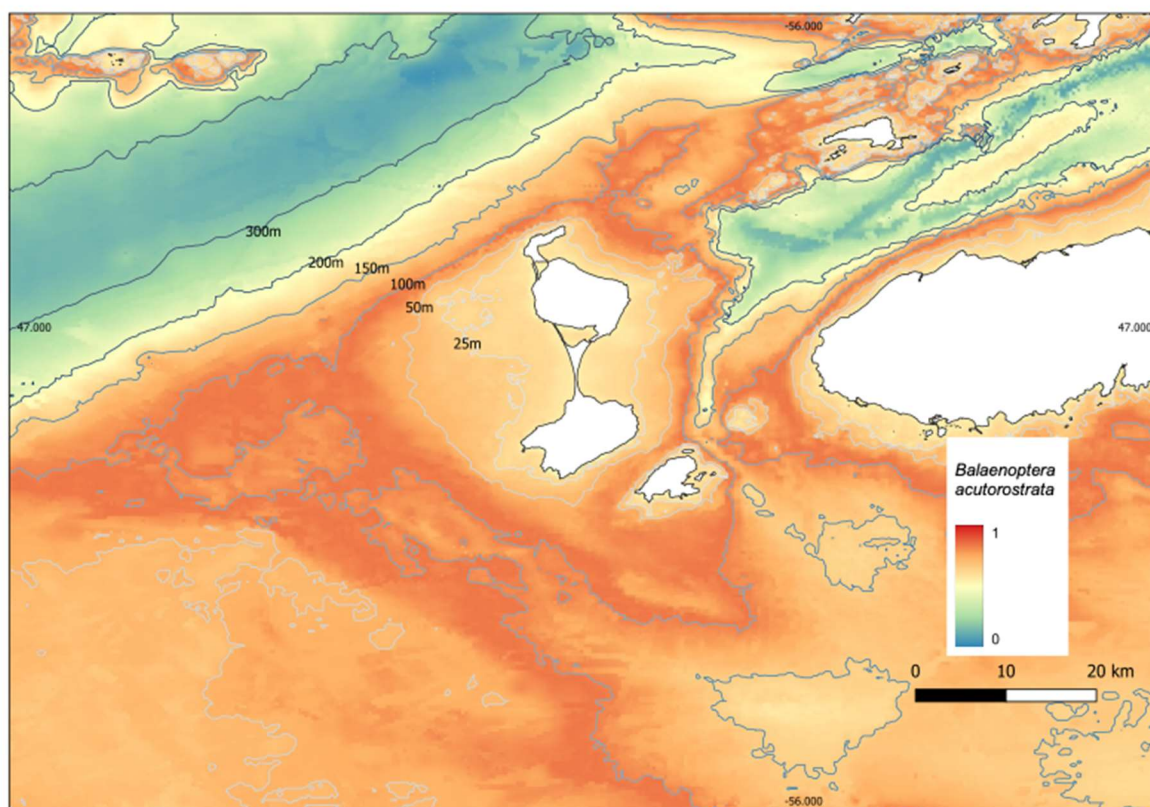


Figure A.9 : Distribution prédite par le modèle MAXENT du petit rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*) au large de Saint-Pierre et Miquelon (2008-2021).

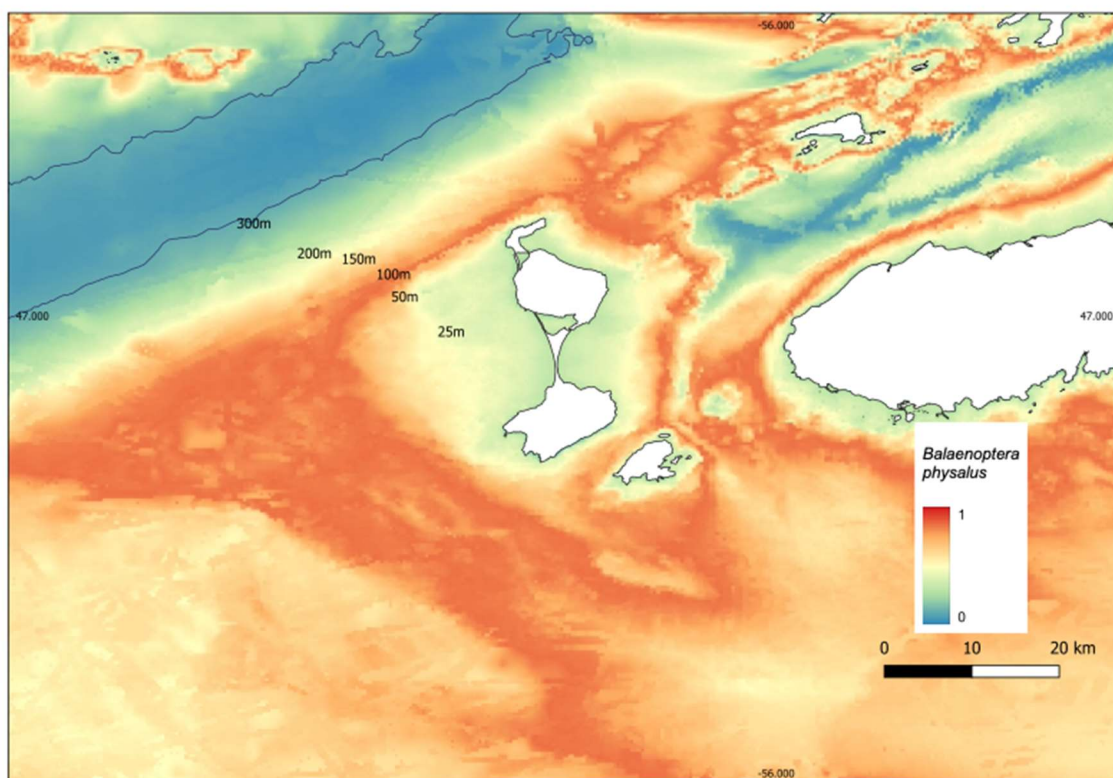


Figure A.10 : Distribution prédite par le modèle MAXENT du rorqual commun (*Balaenoptera physalus*) au large de Saint-Pierre et Miquelon (2008-2021).

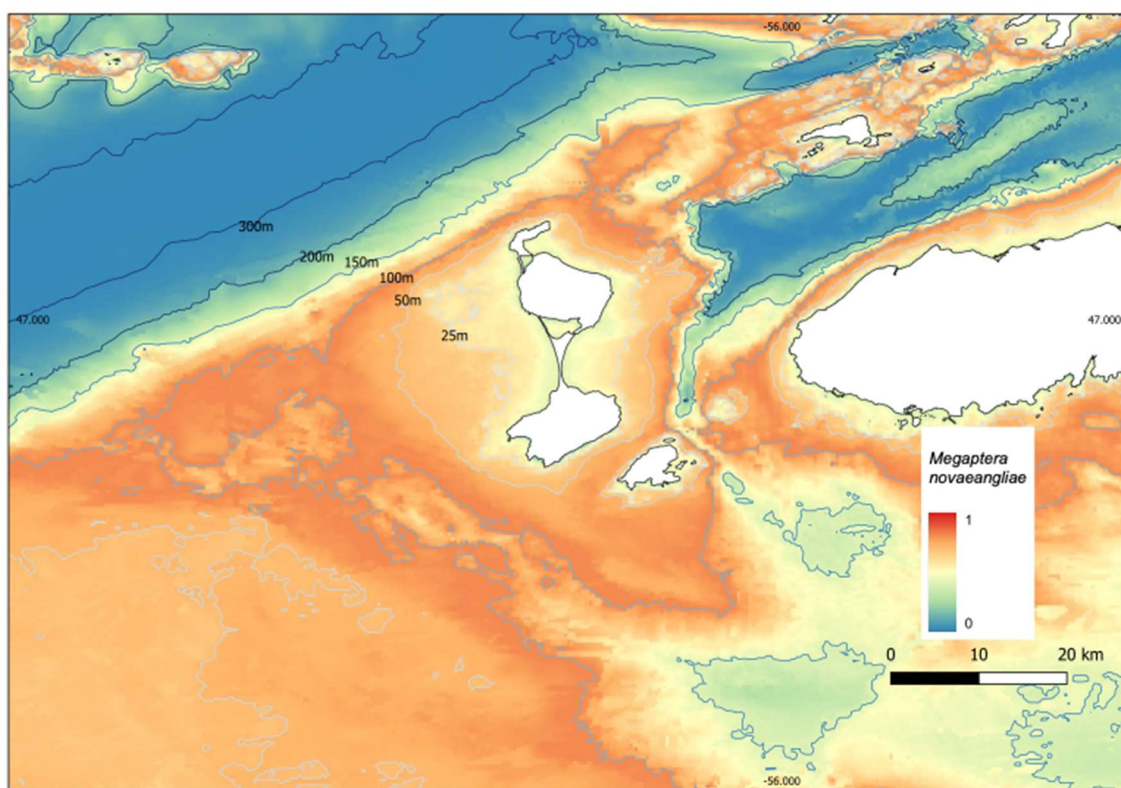


Figure A.11 : Distribution prédite par le modèle MAXENT de la baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*) au large de Saint-Pierre et Miquelon (2008-2021).

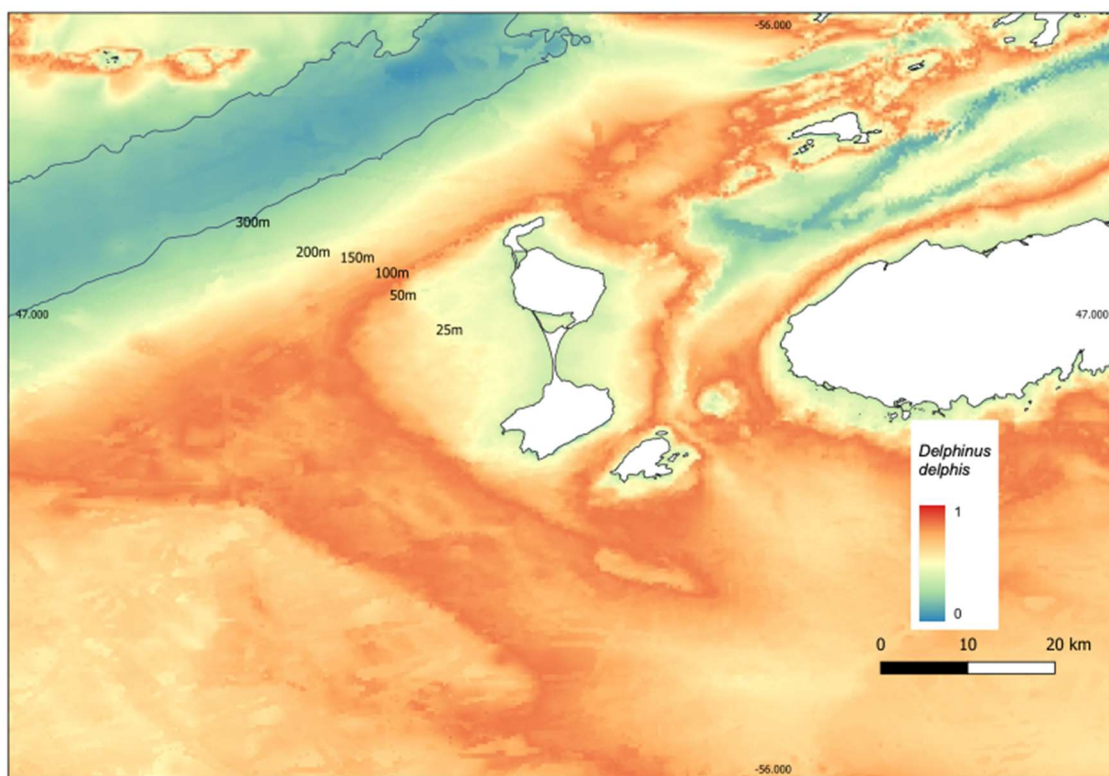


Figure A.12 : Distribution prédite par le modèle MAXENT du dauphin commun (*Delphinus delphis*) au large de Saint-Pierre et Miquelon (2008-2021).

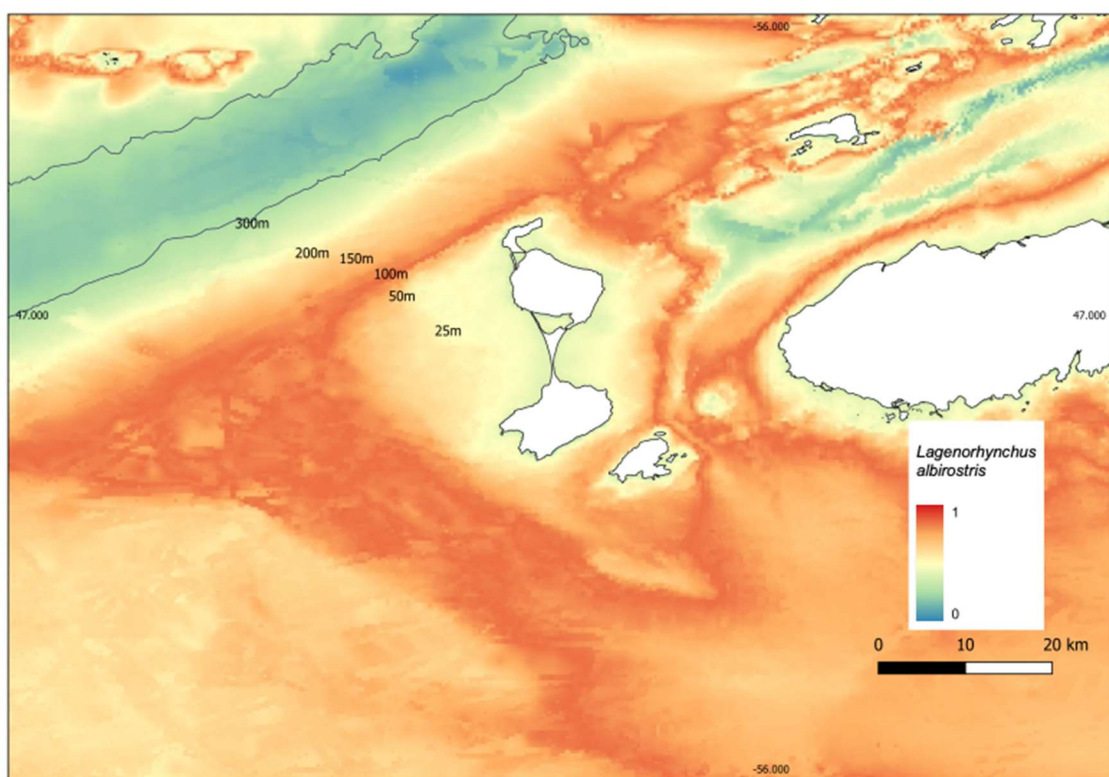


Figure A.13 : Distribution prédite par le modèle MAXENT du lagénorhynque à bec blanc (*Lagenorhynchus albirostris*) au large de Saint-Pierre et Miquelon (2008-2021).

Des recherches futures incluant d'autres variables environnementales seront prochainement réalisées (chlorophylle-a, la température, la pente, etc.) et pourraient être utiles pour mieux définir les habitats préférentiels des cétacés autour de Saint-Pierre et Miquelon.

A4 – Relations proies-prédateurs dans l'espace

Les prédateurs marins doivent cibler les habitats où leurs proies préférentielles sont les plus abondantes (Charnov 1976). Identifier la relation entre ces prédateurs marins demeure un challenge majeur en écologie marine, particulièrement lorsque le prédateur considéré est capable de mouvements importants et qu'il est difficile à observer. Les cétacés sont des prédateurs supérieurs ou de niveau trophique intermédiaire qui sont caractérisés par une taille importante et un métabolisme élevé. Ces prédateurs dépendent donc d'environnements dont la prédictibilité de leurs proies est importante, particulièrement pour satisfaire leurs besoins énergétiques. Toutefois, caractériser le lien entre distribution et abondance des prédateurs marins comme les cétacés et leurs proies est complexe sur les plans méthodologique et logistique. Toutefois, plusieurs méthodes permettent d'étudier la distribution simultanée des cétacés et de leurs proies, et ce à de multiples échelles spatiales et temporelles.

Le petit rorqual fut le cétacé le plus communément rencontré dans les eaux de Saint-Pierre et Miquelon dans le cadre du projet COPEMAM. Dans le nord-ouest de l'Atlantique, ce cétacé se nourrit principalement de capelan (*Mallotus villosus*) et de hareng (*Clupea harengus*), mais aussi de clupéidés, engraulidés, gadidés, scombridés et, dans certains cas, de krill (Haug *et al.* 2002, Lindstrom & Haug 2001, Anderwald *et al.* 2012). Nous avons analysé l'influence de la distribution de ses proies potentielles sur les taux de rencontre de petits rorquals au large des côtes de Saint-Pierre et Miquelon. Nous avons ainsi combiné les données d'observation de petits rorquals collectés lors de nos campagnes systématiques menées en août 2019 et 2021 avec des données sur la répartition et l'abondance de leurs proies potentielles.

Méthodologie

Les données Les données ont été recueillies au cours des deux campagnes de terrain décrites plus haut en 2019 et 2021. En 2019, les observations de petits rorquals ont été collectées depuis trois plateformes d'observation indépendantes : deux embarcations de 6 à 7 mètres équipées de moteurs hors-bord de 100-150 CV (observations de petits rorquals seulement) et d'un navire de 14,5 m (*Simonaud*), à partir duquel les observations de petits rorquals et d'autres cétacés étaient systématiquement enregistrées (avec 2 à 4 observateurs pour chaque type d'embarcation). De plus, depuis le *Simonaud*, des données acoustiques à l'aide d'échosondeurs furent aussi collectées. Pour les données acoustiques, un transducteur étalonné de 38 kHz (faisceau de 10°) et de 120 kHz (faisceau de 7°) a été remorqué à environ 10 mètres derrière le navire pour minimiser le bruit excessif dû à l'intrusion de bulles sous la face du transducteur. La durée d'impulsion était en moyenne de 0,512 µs. Des levés acoustiques ont été effectués sur les transects essentiellement perpendiculaires à la côte pour capturer les changements de bathymétrie propres à la zone d'étude (Figure A.14). En 2021, les observations de petits rorquals et les données acoustiques ont uniquement été collectées depuis le *Simonaud*.

Analyse des données

Les données acoustiques ont été traitées à l'aide du logiciel *Echoview 12.3*. En utilisant les méthodes décrites par Ryan et al. (2015), nous avons exclu les interférences électriques classées comme bruit impulsif. Ensuite, nous avons supprimé l'excès de bruit de fond en minimisant le rapport signal-bruit (SNR) et en définissant un seuil défini grâce aux données moyennes, comme décrit dans DeRobertis et Higginbottom (2007). Ensuite, nous avons établi une correspondance avec la géométrie du 38 kHz au 120 kHz et soustrait les valeurs du 38 kHz du 120 kHz. En utilisant la littérature et des mesures biométriques sur le cabillaud (*Gadus morhua*) et le hareng Atlantique (*Clupea harengus*), nous avons fixé un seuil aux données et les avons séparées en grandes catégories acoustiques : plancton et poissons. Compte tenu de la préférence générale des petits rorquals pour le poisson au lieu et non du krill dans le nord-ouest Atlantique, nous ne présentons ici que des données sur les poissons.

Les données ont été traitées dans RStudio 2021.09.1+372 "Ghost Orchid". Nous avons sélectionné le coefficient de diffusion de la zone nautique (NASC, $m^2 \times nmi^{-2}$) comme mesure de la couverture de surface. Celui-ci est utilisé pour comparer les changements d'intensité acoustique à la fois dans une perspective horizontale et verticale. Nous avons additionné les valeurs NASC par emplacement de coordonnées, réduisant ainsi l'ensemble de données à une seule couche spatiale.

Nous avons comparé chaque zone d'échantillonnage en effectuant le test de Kruskal-Wallis qui considérait la zone comme la variable indépendante et les valeurs NASC comme la variable dépendante. Nous avons choisi le test de Kruskal-Wallis car ces zones étaient de nature non paramétrique et constituent une méthode efficace pour détecter les différences entre l'intensité des poissons. Un autre test de Kruskal-Wallis a été effectué pour étudier les différences entre les observations de petits rorquals par zone d'échantillonnage. Nous avons étudié les changements d'intensité des poissons à une résolution plus élevée à l'aide d'un modèle additif généralisé niché (GAM) (Hastie & Tibshirani 1986). En raison du potentiel d'autocorrélation élevée, nous avons déterminé qu'un modèle imbriqué serait une méthode efficace pour décrire les distributions des poissons (en termes de valeur NASC).

La littérature suggère que l'utilisation de ce modèle semble particulièrement adéquate pour étudier la relation entre taux de rencontres de cétacés et la distribution et abondance de proies potentielles, particulièrement les poissons (Laidre *et al.* 2010, Rockwood *et al.* 2020). Dans ce premier modèle additif, nous n'avons considéré que la cohérence spatiale des poissons, puis avons prévu des zones potentielles de forte intensité sur la base des observations originales. Notre deuxième modèle a considéré la cohérence spatiale des baleines. Avant d'évaluer ce modèle, nous avons réduit notre ensemble de données aux rorquals qui ont été observés dans les six zones d'échantillonnage primaires. Comme ces animaux se trouvaient généralement dans des parcelles concentrées, et donc sensibles à l'autocorrélation, ce modèle a également été construit comme un GAM imbriqué. Pour le troisième modèle, le plus complet, nous avons d'abord réduit l'ensemble de données en associant la somme des NASC pour une zone de 100 m × 100 m (ci-après appelée cellule de 100 m²) au nombre de baleines observées. Les itérations initiales du modèle comprenaient des paramètres environnementaux (pH, l'oxygène dissous, la température et la salinité), mais ceux-ci ont été jugés sans influence sur le modèle en raison de la faible variabilité et donc exclus de l'analyse.

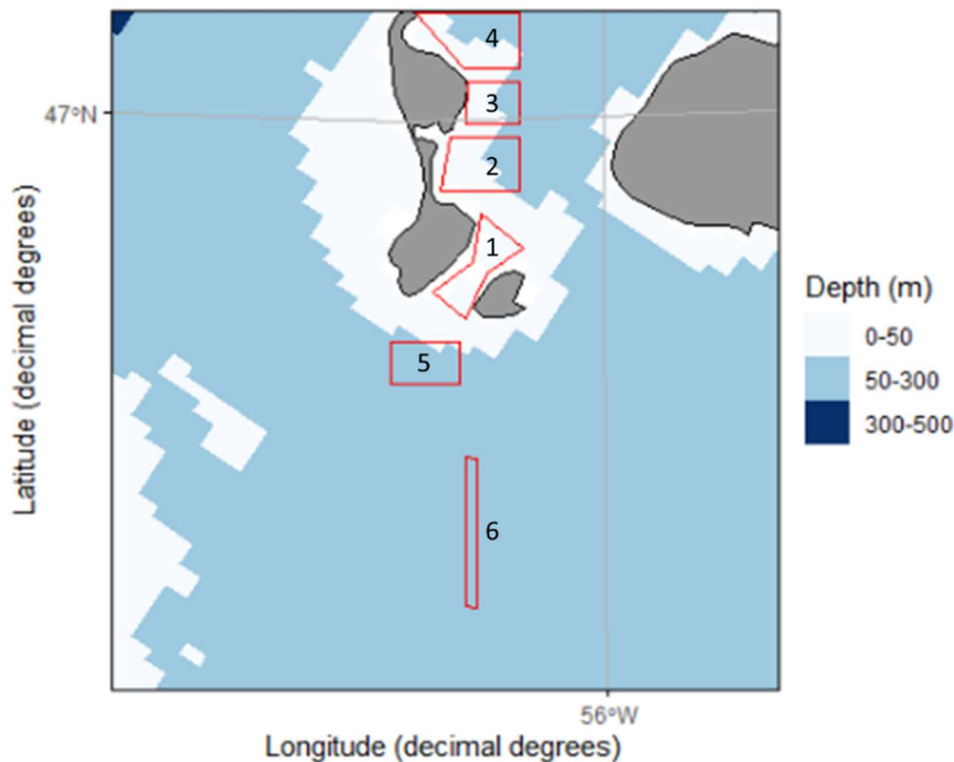


Figure A.14 : Location des six zones échantillonnées au large de Saint-Pierre et Miquelon entre 2008 et 2016 pour les campagnes acoustiques.

Résultats

Nous avons observé des valeurs de NASC significativement plus élevées (proxy pour la biomasse de poissons) en 2019 qu'en 2021 ($p < 0.0001$). Ainsi, en 2019, ces valeurs étaient près de $1,7 \times 10^{13}$ fois plus importantes qu'en 2021 (Figure A.15). Des variations spatiales des valeurs de NASC ont également été notées. Ainsi, en 2019, nous avons constaté que la zone au sud de l'archipel (zone 5) se caractérisait par des plus valeurs de NASC significativement plus importantes que les autres (Figure A.15). Nous avons identifié des différences très significatives entre chacune des zones d'échantillonnage, et ce pour chaque année ($p < 0.00001$ pour 2019 et 2021). Les résultats de GAMs suggèrent également que la zone d'échantillonnage 5 avait l'intensité la plus élevée (Figure A.15). La seule autre zone qui présentait une intensité nettement plus élevée était la zone directement à l'est de Miquelon. Dans l'ensemble, nous avons calculé le log moyen (NASC) à $10,67 \pm 0,68 \text{ m}^2 \times \text{nmi}^{-2}$ ($p > 0.0001$, $\text{fREML} = 4,17 \times 10^5$, $n = 51699$). Les résultats des GAMs pour la présence de petits rorquals étaient également significatifs ($p < 0.00001$). La déviance expliquée était cependant plus faible puisqu'elle n'était que de 31,3 % ($\text{fREML} = 100,97$, $n = 65$).

Les taux de rencontre des petits rorquals n'ont pas varié significativement entre les deux années d'échantillonnage (Figure A.16). Des taux de rencontre plus importants avaient été enregistrés pour la zone d'échantillonnage 1 en 2019 (test de KW, $p = 0.003$). Toutefois, en 2021, cette différence n'est pas apparue alors que notre effort d'échantillonnage s'est homogénéisé à travers la zone d'étude (KW, $p > 0.05$). Dans l'ensemble, la répartition spatiale des petits rorquals indique que les plus fortes densités d'individus sont observées au nord de la zone entre Saint Pierre et Langlade, et dans une moindre mesure à l'est de l'isthme entre Miquelon et Langlade (Figure A.16). Dans le modèle final,

nous avons identifié une relation significative entre l'intensité des valeurs de NASC (log-transformée) et les taux de rencontre de petits rorquals ($p < 0.00001$, Figure A.17). Ce modèle suggère que les taux de rencontre des petits rorquals sont plus importants dans les zones côtières peu profondes (Figure A.17 et A.18). Dans l'ensemble, nous avons constaté que les valeurs de NASC étaient capables d'expliquer au moins 48 % de la variation de l'abondance des baleines dans chaque cellule de 100 m² (fREML = 7290,6, $n = 7620$). De plus, nous avons déterminé qu'il existe une relation positive significative entre l'abondance des petits rorquals et l'abondance de proies potentielles (Figure A.19).

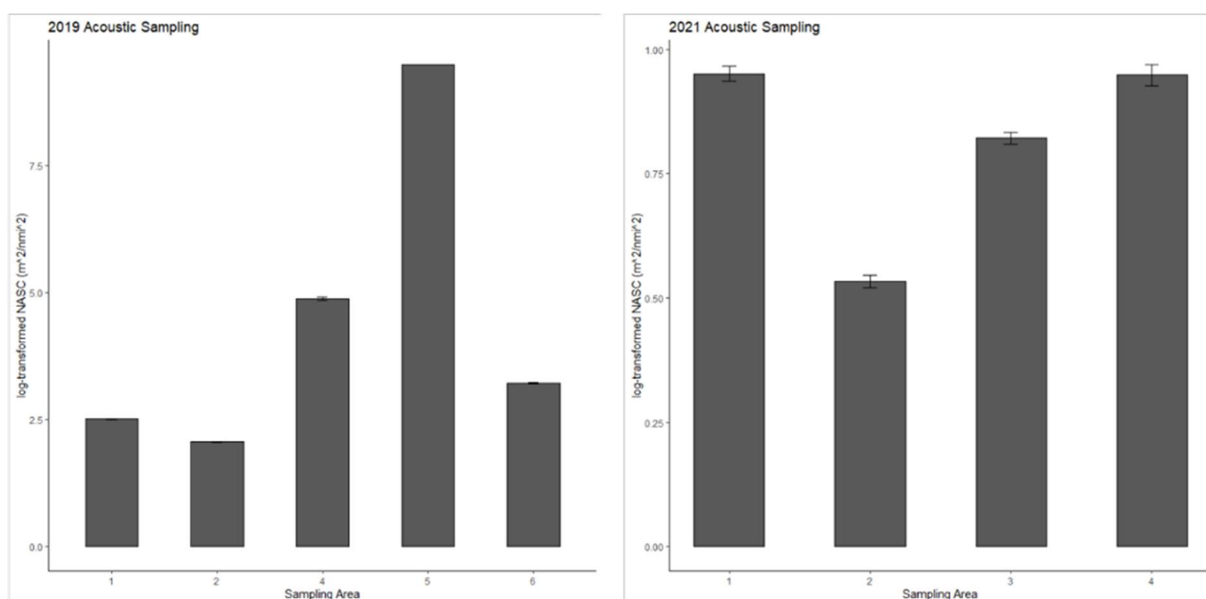


Figure A.15 : Valeurs moyennes log-NASC des poissons (avec erreur-standard) pour chaque zone échantillonnée au large de Saint-Pierre et Miquelon en août 2019 et 2021.

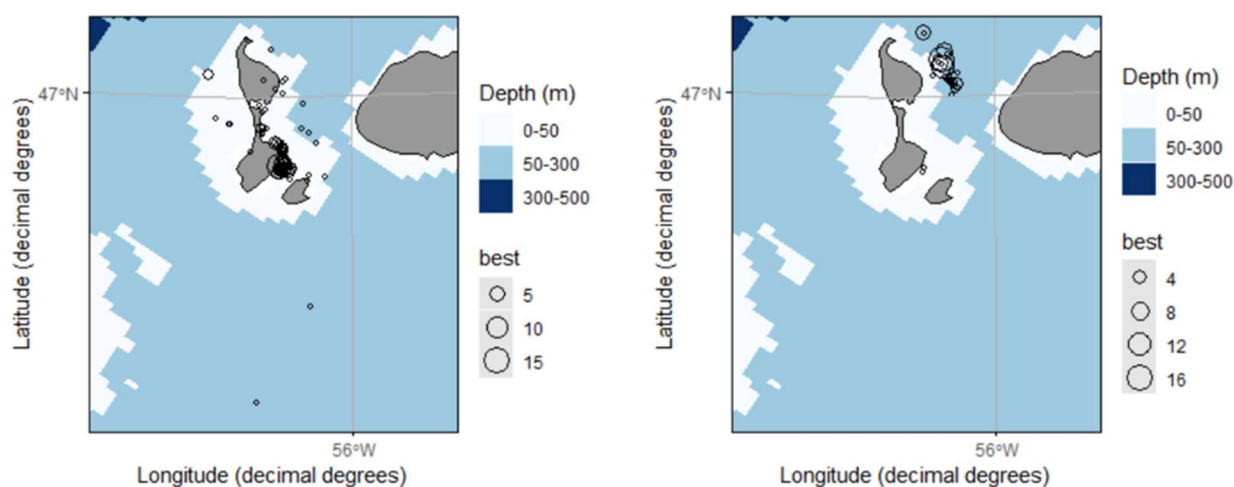


Figure A.16 : Distribution du petit rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*) au large de Saint-Pierre et Miquelon en août 2019 (à gauche) et 2021 (à droite).

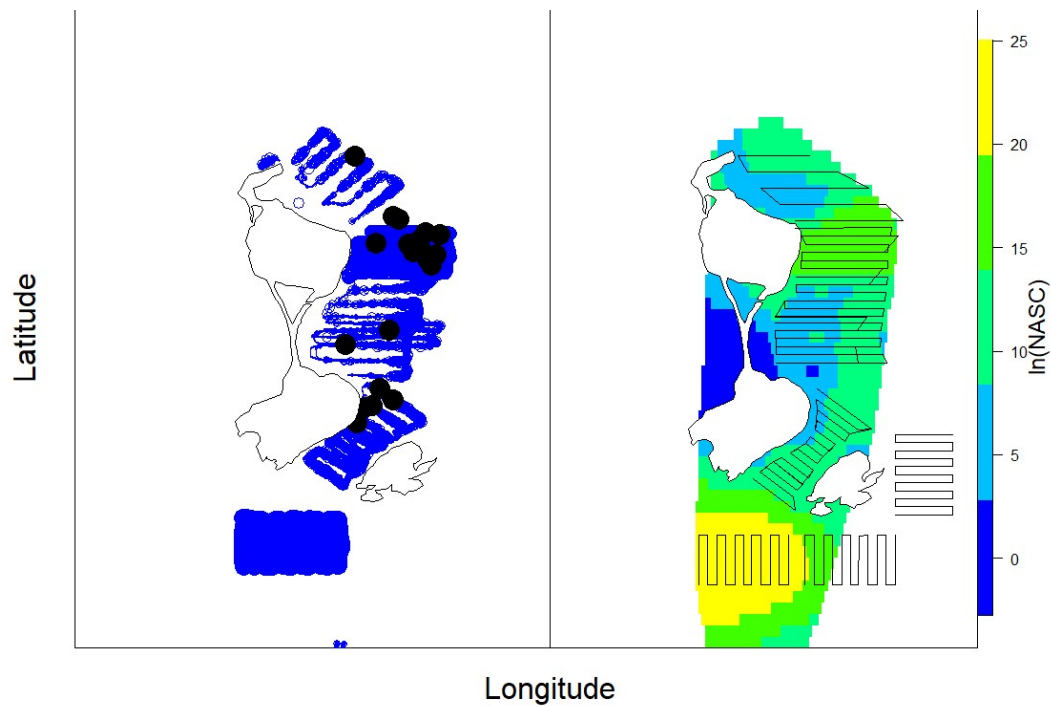


Figure A.17 : Relation spatiale entre valeurs de NASC ($m^2 \times nmi^{-2}$). La figure de gauche montre quelles zones ont les valeurs observées de NASC les plus importantes (bleu). Les observations de petits rorquals (*Balaenoptera acutorostrata*) sont représentées par les points noirs. La figure de droite montre les valeurs prédites de NASC (log). Les valeurs de NASC sont les plus faibles en bleu et les plus fortes en jaune.

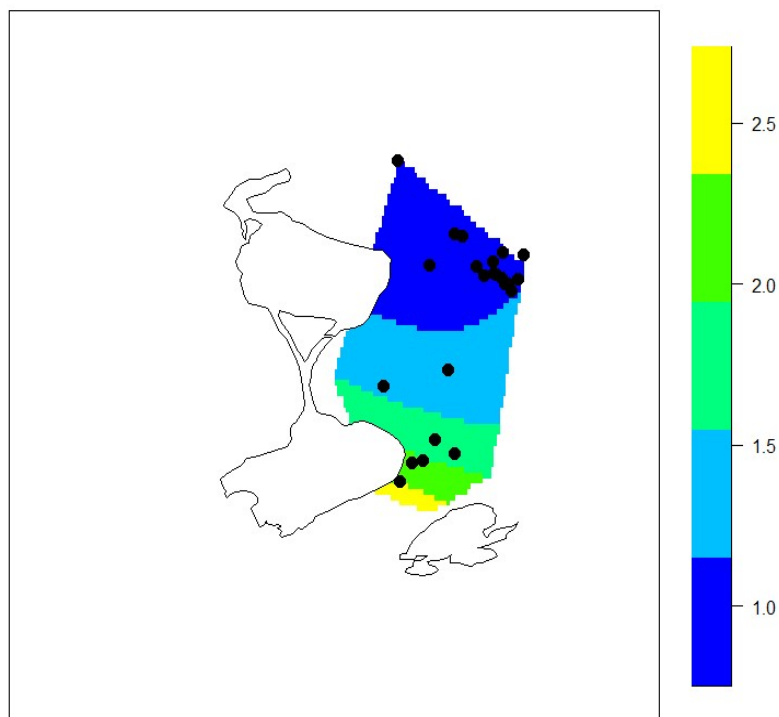


Figure A.18 : Densités prédites de petits rorquals (*Balaenoptera acutorostrata*, en nombre d'individus) au large de Saint-Pierre et Miquelon. Les valeurs en bleu représentent les valeurs d'abondance les plus faibles alors que les valeurs en jaune représentent les valeurs d'abondance les plus élevées. Les points noirs représentent les observations de petits rorquals.

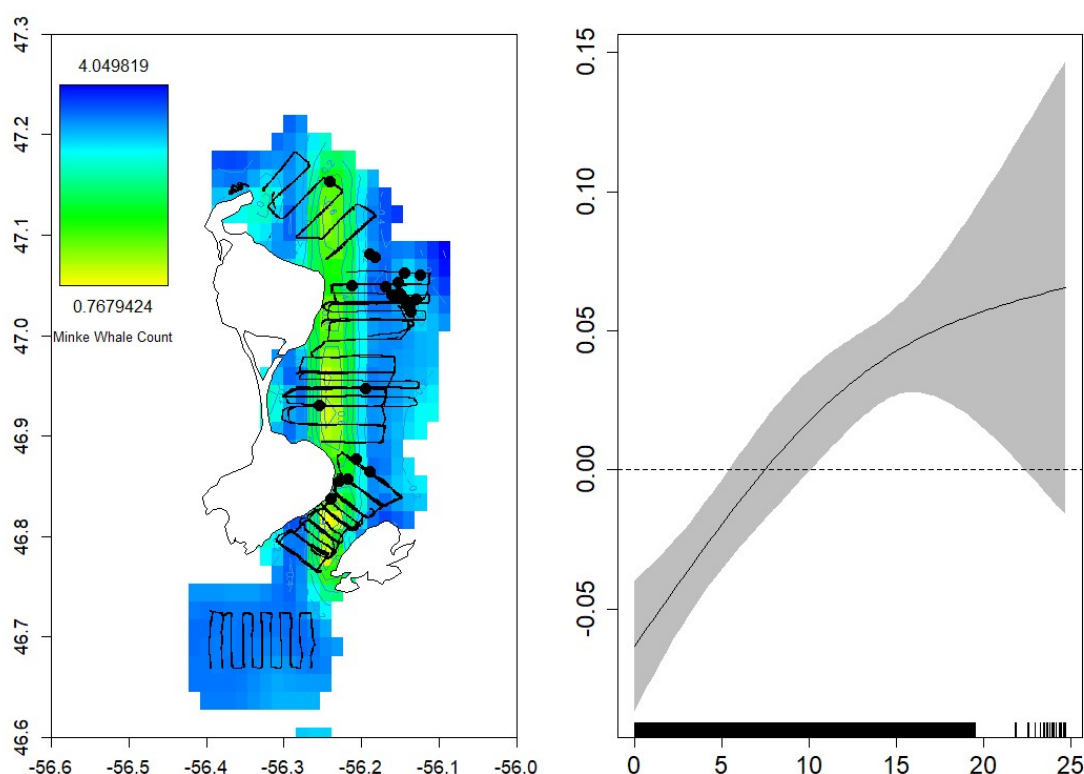


Figure A.19 : Valeurs prédites d'abondance de petits rorquals en relation avec l'intensité acoustique des poissons. Les lignes noires représentent l'effort d'observation (données acoustiques). Le graphique à droite montre les effets partiels des valeurs log-NASC en relation avec les taux de rencontre de petits rorquals.

De manière générale, ces résultats permettent de mieux comprendre la relation spatiale entre le petit rorqual et ses proies potentielles au large de Saint-Pierre et Miquelon. Dans l'ensemble, nous avons pu constater qu'il y avait une relation spatiale importante entre ces prédateurs et leurs proies (NASC poissons). Ces résultats sont similaires à ceux réalisés dans des zones voisines à Saint-Pierre et Miquelon, notamment à Terre-Neuve (Piatt & Methven 1992, Piatt *et al.* 1989). Les sites d'échantillonnage qui étaient caractérisés par les valeurs de NASC les plus importantes se trouvaient essentiellement le long des côtes et dans les zones avec un courant important. Les habitats côtiers de Miquelon et de Langlade sont caractérisés par de forts ruissellements, ce qui pourrait contribuer à l'apport de nutriments et donc favoriser la production primaire et la présence en abondance des proies des petits rorquals. Une autre cause potentielle de la relation entre les plus importantes valeurs de NASC et les taux de rencontre des petits rorquals peut être la nature du substrat. Un examen des cartes de substrat disponible dans la zone d'étude suggère que les habitats caractérisés par les taux de rencontre de petits rorquals les plus importants se trouvent dans des zones au substrat rocheux ou caractérisés par des sédiments grossiers. Les zones où les taux de rencontre les plus faibles étaient des habitats où le substrat était fin (fonds sableux ou vaso-sableux). Les capelans et d'autres proies utilisent préférentiellement les habitats où le fond est rocheux ou les sédiments sont grossiers, notamment pendant les périodes de frai au printemps (Christiansen *et al.* 2008, Berg *et al.* 2021). Les données dont nous disposons ont été collectées du début à la mi-août, ce qui peut indiquer que nous mesurons acoustiquement des poissons d'environ 5 mois après l'éclosion et mesurent environ 14 cm (Berg *et al.* 2021). Une autre proie potentielle pouvant être associée à une forte abondance de petits rorquals est le hareng de l'Atlantique (Haug *et al.* 2002, Smout & Lindstrom 2007). Les poissons

forment des bancs pélagiques importants et choisissent généralement des habitats où le substrat est dur (Blaxter 1985; Kelly & Moring 1986).

Bien que les données collectées dans le cadre de cette étude démontrent une forte relation entre les taux de rencontre des petits rorquals et les poissons dans les eaux autour de Saint-Pierre et Miquelon, des analyses complémentaires vont être réalisées, notamment pour étudier la relation entre petits rorquals, leurs habitats (notamment la nature du fond) et l'abondance de leurs proies et ce à une échelle spatiale très fine. Une grande partie des données que nous avons traitées ont été collectées près des côtes de l'archipel (au nord et à l'est de Langlade, à l'est du Grand Miquelon et au nord de Saint Pierre). Une extension de l'étude sur une zone plus vaste autour de l'archipel permettrait de mieux comprendre la dynamique spatiale et temporelle entre les petits rorquals (mais également d'autres espèces de cétacés), leurs habitats et leurs proies. De plus, l'utilisation d'autres méthodes (télémétrie satellite, balises avec accéléromètres et caméras vidéo embarquées sur les cétacés) permettraient de mieux comprendre le comportement alimentaire des animaux en relation avec leur environnement et leur proies.

A5 – Interactions trophiques des cétacés autour de Saint-Pierre et Miquelon

Les cétacés sont des prédateurs supérieurs qui ont le potentiel d'avoir un impact important sur la structure et la fonction des communautés et des écosystèmes. Comprendre le rôle trophique des prédateurs marins comme les cétacés est essentiel, notamment pour caractériser leurs impacts sur les communautés et certains services écosystémiques, en particulier la pêche. Cependant, l'étude du régime alimentaire des cétacés est complexe, notamment pour des espèces dont les tissus biologiques peuvent être rares, notamment les contenus stomacaux (Pauly *et al.* 1998, Pierce & Boyle 1991, Trites & Spitz 2018). L'obtention d'informations sur les interactions trophiques des cétacés est également importante pour prédire la manière dont les modifications de la structure des communautés vont influencer les relations prédateur-proie. Du fait de leurs métabolismes élevés, les cétacés dépendent de sources de proies prévisibles et de qualité pour satisfaire leurs besoins énergétiques. D'éventuels changements de disponibilité ou de qualité de proies pourraient avoir des conséquences sur les taux de survie individuelle et la dynamique des populations (Bearzi *et al.* 2006, Piroddi *et al.* 2011, Ford *et al.* 2010).

Historiquement, la plupart des informations sur l'écologie alimentaire des cétacés provient d'échouages, de captures accidentelles ou d'opérations de chasse. Cependant, cette approche est impossible dans des secteurs où les échantillons de contenus stomacaux provenant d'échouages ou de captures et la taille des échantillons est limitée. Au cours des dernières décennies, il y a eu une augmentation significative de la littérature sur les interactions trophiques des cétacés grâce aux approches isotopiques (azote, carbone et soufre en particulier) à partir d'échantillons de biopsie prélevés sur des cétacés en mer (Hooker *et al.* 2001, Ryan *et al.* 2013, Caputo *et al.* 2021, García-Vernet *et al.* 2021).

Les rapports isotopiques stables du carbone et de l'azote (notés $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$, respectivement) dans les tissus d'un prédateur reflètent ceux de ses proies, fournissant une méthode utile pour évaluer ses interactions trophiques et identifier les habitats d'alimentation. Bien que la plupart des études se focalisent sur les différences inter- (Ryan *et al.* 2013, Borrell *et al.* 2021, García-Vernet *et al.* 2021) et intra-espèces (Kiszka *et al.* 2014, Browning *et al.* 2014), des efforts croissants ont été déployés pour estimer les proportions relatives des sources de proies dans les régimes alimentaires des prédateurs marins à l'aide de modèles de mélange d'isotopes stables (Parnell *et al.* 2010, Marcoux *et al.* 2012,

Ryan et al. 2014, Warlick et al. 2020, Kiszka et al. 2021). Les modèles de mélange intègrent l'incertitude pour chaque paramètre et utilisent des facteurs de discrimination régime-tissu (ou facteur d'enrichissement trophique), qui tiennent compte des changements d'isotopes le long de la chaîne trophique (Parnell et al. 2010, Giménez et al. 2016). Au cours de la dernière décennie, l'utilisation de modèles de mélange d'isotopes stables a considérablement accru nos connaissances sur les interactions trophiques et le régime alimentaire de nombreuses espèces et populations de cétacés (Fernandez et al. 2011, Giménez et al. 2017, Kiszka et al. 2014, 2021).

Dans le cadre du projet COPEMAM, nous avons collecté des biopsies de peau sur plusieurs espèces de cétacés et réalisé des analyses des isotopes du carbone et de l'azote pour évaluer les interactions trophiques entre espèces. Par ailleurs, nous avons collecté des proies potentielles à la ligne en 2019 et 2021 pour modéliser l'importance potentielle de ces proies dans le régime alimentaire de plusieurs espèces pour lesquelles la taille de l'échantillon était suffisante, en particulier le petit rorqual, le rorqual commun, la baleine à bosse, le dauphin commun et le lagénorhynque à bec blanc. Les analyses ont été réalisées sous R v.3.6.1. Le nombre total d'échantillons utilisés est présenté dans le Tableau A.3.

Tableau A.3: Valeurs moyennes de $\delta^{15}\text{N}$ et $\delta^{13}\text{C}$ sur les échantillons de peau des espèces de cétacés échantillonnées dans les eaux de Saint-Pierre et Miquelon entre 2019 et 2021.

Species	N	$\delta^{15}\text{N}$	$\delta^{13}\text{C}$
<i>Delphinus delphis</i> (DD)	20	12.45±0.73	-18.66±0.6
<i>Balaenoptera physalus</i> (BP)	24	12.73±1.25	-19.41±0.44
<i>Megaptera novaeangliae</i> (MN)	40	15.03±0.39	-19.34±0.47
<i>Balaenoptera acutorostrata</i> (BA)	20	12.63±1.21	-19.42±0.54
<i>Orcinus orca</i> (OO)	3	15.93±0.74	-17.03±0.77
<i>Globicephala melas</i> (GM)	4	13.42±0.41	-18.19±0.15
<i>Lagenorhynchus albirostris</i> (LA)	16	14.51±0.59	-18.83±0.63

Pour tester la variation des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ et $\delta^{13}\text{C}$ nous avons utilisé une MANOVA. La normalité des données a été testée à l'aide d'un test de Shapiro Wilks. Du fait de la non-normalité des données, des tests non paramétriques de Kruskal-Wallis ont été utilisés pour confirmer les résultats de la MANOVA. Les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ étaient significativement différentes entre espèces (df=6, F=34,69, p<0.0001). Des tests par paire de Tukey révèlent un certain nombre de différences significatives, mais pas entre toutes les espèces, ce qui signifie que le niveau trophique relatif de plusieurs espèces était similaire (Tableau A.4).

Les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ étaient également significativement différentes entre espèces (df=6, F=15,34, $p<0.0001$). Toutefois, là encore, des tests par paires de Tukey ont révélé certaines différences mais aussi des chevauchements entre certaines espèces (Tableau A.4).

Tableau A.4 : Différences par paire sur les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ et $\delta^{13}\text{C}$ chez les cétacés échantillonnés dans les eaux de Saint-Pierre et Miquelon. Les valeurs avec une * indique une différence statistiquement significative. DD: *Delphinus delphis*; BP: *Balaenoptera physalus*; MN: *Megaptera novaeangliae*; BA: *Balaenoptera acutorostrata*; OO: *Orcinus orca*; GM: *Globicephala melas*; LA: *Lagenorhynchus albirostris*.

$\delta^{15}\text{N}$	DD	BP	MN	BA	OO	GM
BP	0.28					
MN	2.58*	2.30*				
BA	0.17	-0.10	-2.40*			
OO	3.48*	3.20*	0.90	3.30*		
GM	0.97	0.69	-1.61*	0.79	-2.51*	
LA	2.06*	1.78*	-0.52	1.89*	-1.42	1.09
$\delta^{13}\text{C}$	DD	BP	MN	BA	OO	GM
BP	-0.76*					
MN	-0.69*	0.071				
BA	-0.76*	-0.058	-0.077			
OO	1.63*	2.38*	2.31*	2.39*		
GM	0.47	1.22*	1.15*	1.23*	-1.16	
LA	-0.17	0.58*	0.51*	0.59*	-1.80*	-0.64

Par ailleurs, des SIBER ellipses (SEAc pour faibles tailles d'échantillon) incorporant 40% des données pour chaque espèce ont été calculées sous R (Figure A.20). Elles montrent que l'orque a la niche isotopique la plus large, suivi par le petit rorqual. Ceci suggère que ces deux espèces ont un régime alimentaire plus diversifié que les autres espèces échantillonnées, comme le globicéphale noir qui a la niche isotopique la plus petite (Tableau A.5). Les chevauchements exprimés en pourcentage sur la base des ellipses isotopiques indiquent la tendance suivante : le chevauchement entre espèces

est relativement limité lorsque les valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ et $\delta^{13}\text{C}$ sont considérées simultanément. Les chevauchements isotopiques sont tout particulièrement importants entre le rorqual commun et le petit rorqual (93.3%) et dans une moindre mesure entre le petit rorqual et le dauphin commun (26.2%). Les ellipses ainsi que les polygones convexes, qui incorporent l'ensemble des données disponibles, sont présentés à la figure A.20.

Tableau A.5 : Niche standards elliptiques (estimation pour les faibles tailles d'échantillon, SEAc et estimations bayésiennes, SEAb) pour les cétacés échantillonnés au large de Saint-Pierre et Miquelon entre 2019 et 2021. DD: *Delphinus delphis*; BP: *Balaenoptera physalus*; MN: *Megaptera novaeangliae*; BA: *Balaenoptera acutorostrata*; OO: *Orcinus orca*; GM: *Globicephala melas*; LA: *Lagenorhynchus albirostris*.

	DD	BP	MN	BA	OO	GM	LA
Zone totale	4.57	5.41	1.78	5.93	0.59	0.12	2.20
SEA	1.29	1.67	0.50	2.02	1.07	0.15	0.94
SEAc	1.37	1.74	.051	2.13	2.14	0.23	1.01

Tableau A.6 : Chevauchement des ellipses isotopiques des cétacés échantillonnés au large de Saint-Pierre et Miquelon entre 2019 et 2021 exprimés en pourcentage. DD: *Delphinus delphis*; BP: *Balaenoptera physalus*; MN: *Megaptera novaeangliae*; BA: *Balaenoptera acutorostrata*; OO: *Orcinus orca*; GM: *Globicephala melas*; LA: *Lagenorhynchus albirostris*.

	DD	BP	MN	BA	LA
DD		13.2	0	26.2	0
BP	10.32		0	93.3	2.3
MN	0	0		0	0
BA	16.8	6.3	0		0
LA	0	1.34	0	0	

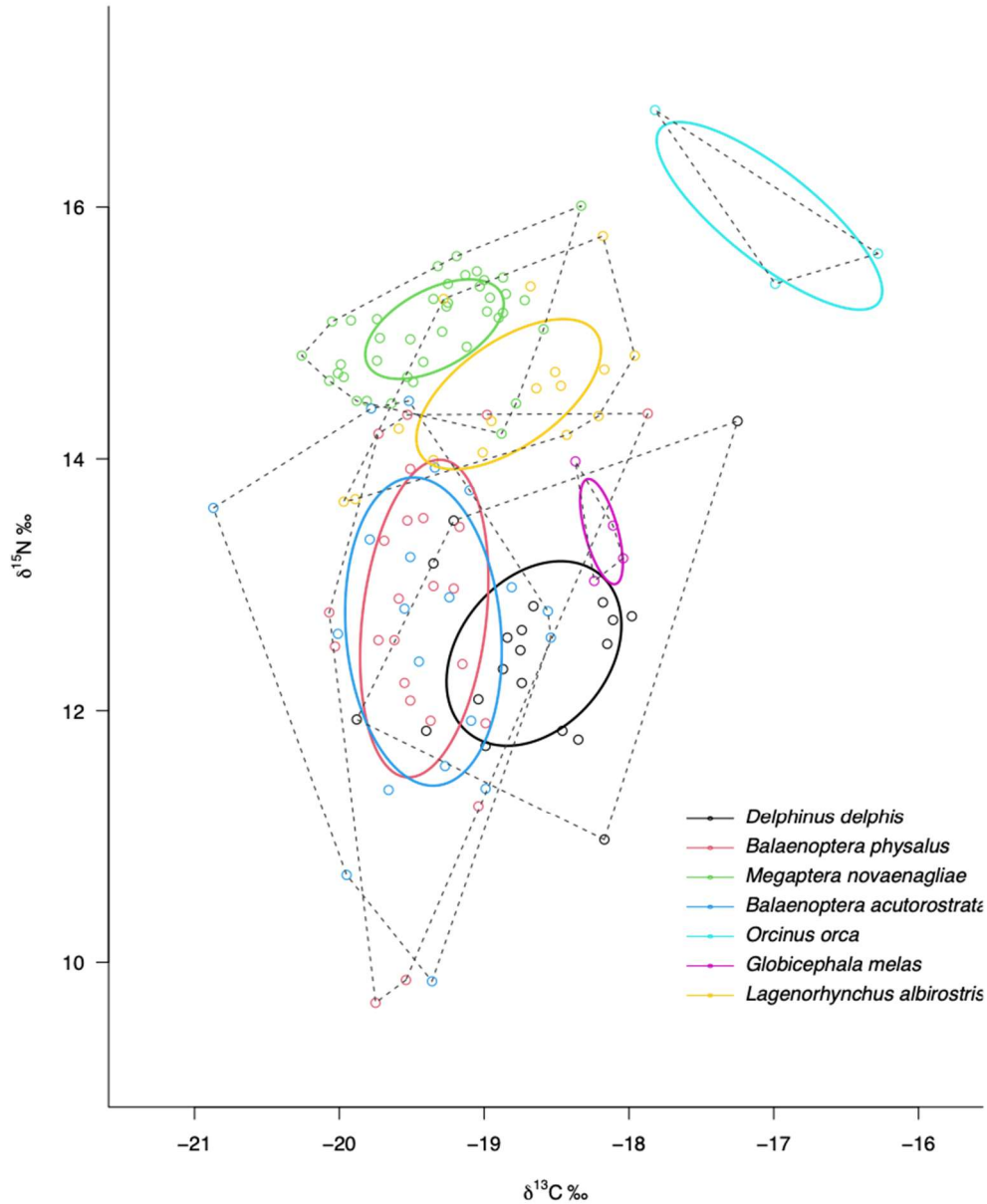


Figure A.20 : Niches isotopiques ($\delta^{15}\text{N}$ et $\delta^{13}\text{C}$, SEAc) et polygones (incorporant toutes les données disponibles) pour les cétacés (peau) échantillonnés au large de Saint-Pierre et Miquelon entre 2019 et 2021.

Des échantillons de muscles d'espèces de proies potentielles de cétacés ont été prélevés auprès de pêcheurs locaux et sur le terrain en 2019 et 2021 à Saint-Pierre-et-Miquelon. Les espèces de proies ont été choisies en fonction du régime alimentaire de chaque espèce dans la littérature scientifique et des proies qui sont présentes dans l'habitat des espèces étudiées. Les facteurs d'enrichissement trophique (TEF), soit la différence de niveau trophique entre consommateur et proie, pour les baleines à fanons, était issue de Borrell et al. (2012, $\delta^{15}\text{N}=2,82 \pm 0,30$, $\delta^{13}\text{C}=1,28 \pm 0,38$), et issue d'une étude sur le rorqual commun. Pour les petits odontocètes, le TEF a été tiré de Gimenez et al. 2017 ($\delta^{15}\text{N}=1,57 \pm 0,52$, $\delta^{13}\text{C}=1,01 \pm 0,37$), généré à partir d'expérimentations contrôlées conduites sur le grand dauphin (*Tursiops truncatus*), une espèce relativement proche des petits cétacés étudiés au large de Saint-Pierre et Miquelon. Un modèle de mélange a été créé pour chaque groupe de prédateurs, notamment pour le petit rorqual, le rorqual commun et la baleine à bosse pour les

mysticètes, et pour le dauphin commun et le lagénorhynque à bec blancs pour les petits odontocètes, et ce afin de tester si les proies et le facteur d'enrichissement trophique étaient appropriés (Smith et al. 2013). Tous les individus qui ne sont pas présents au sein du polygone à 95 % ont été retirés de l'analyse (Figures A.21 et A.22).

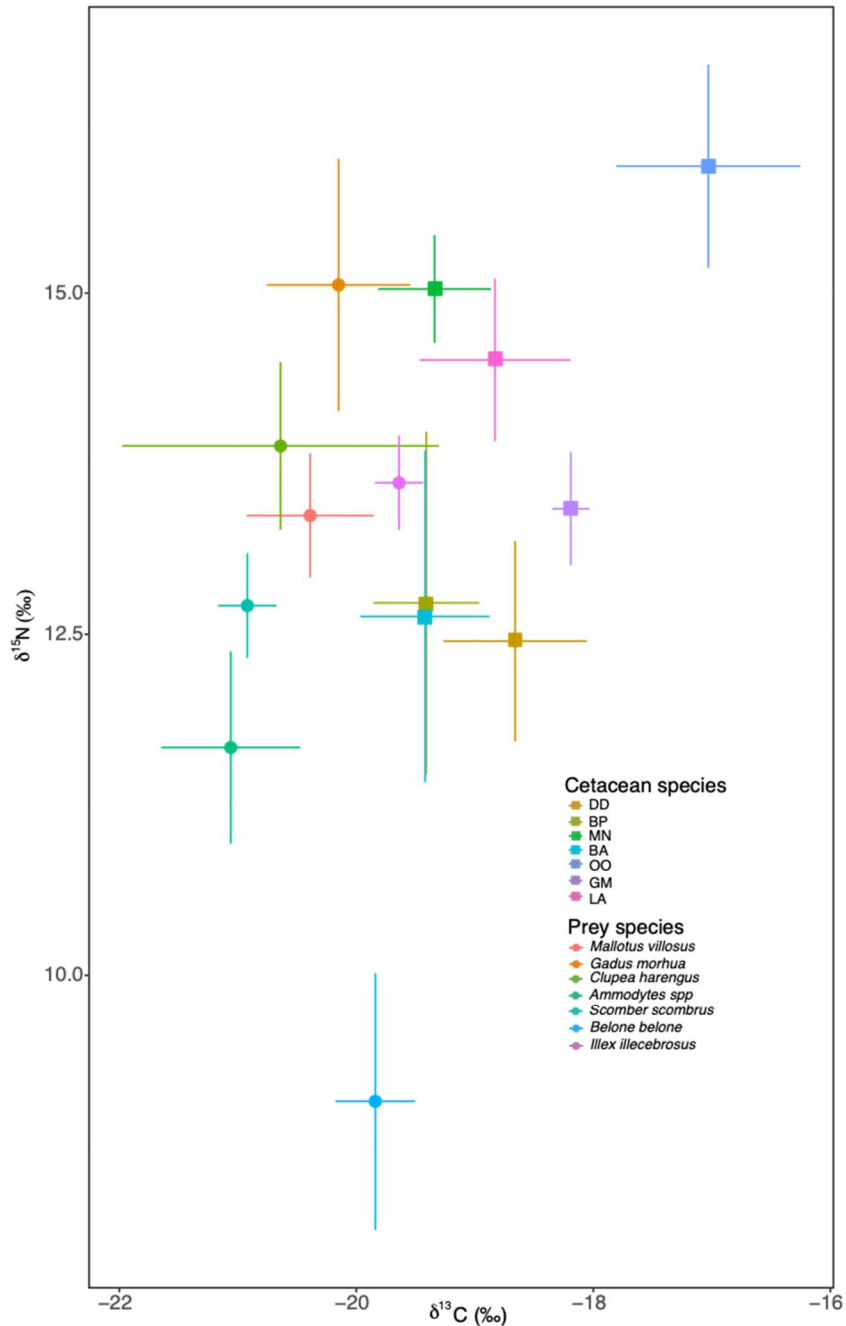


Figure A.21 : Bi-plot des valeurs de $\delta^{15}\text{N}$ et $\delta^{13}\text{C}$ des cétacés et de leurs proies potentielles échantillonnées au large de Saint-Pierre et Miquelon entre 2019 et 2021. DD: *Delphinus delphis*; BP: *Balaenoptera physalus*; MN: *Megaptera novaeangliae*; BA: *Balaenoptera acutorostrata*; OO: *Orcinus orca*; GM: *Globicephala melas*; LA: *Lagenorhynchus albirostris*.

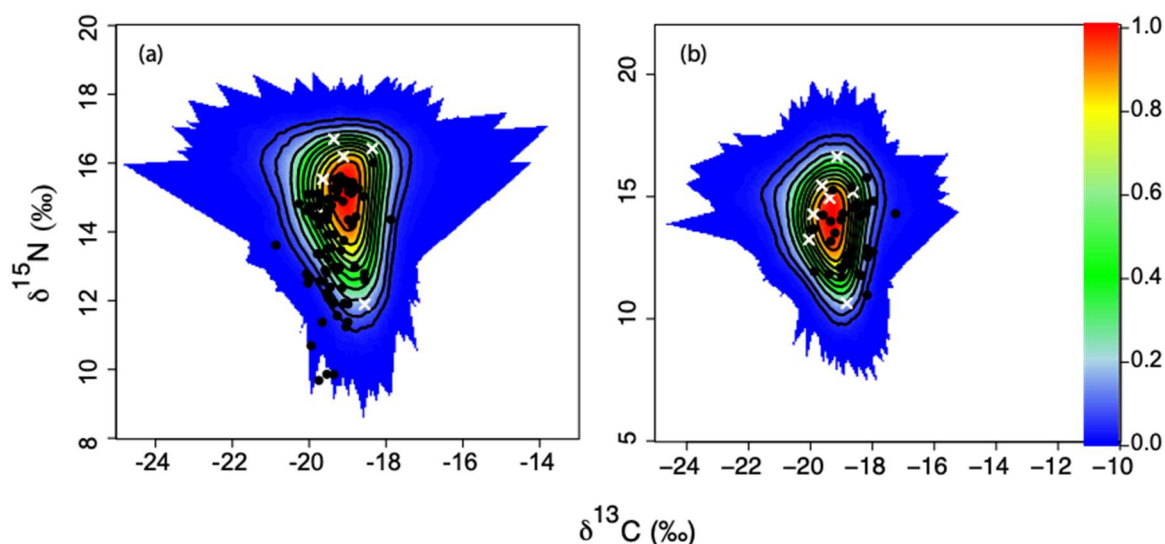


Figure A.22 : Polygone de mélange pour les mysticètes (a) et les petits odontocètes (b). Ces prédateurs sont représentés par les points noirs et leurs proies sont représentées par les croix blanches. Les TEFs sont issus de Borrell et al. 2012 ($\delta^{15}\text{N} = 2.82 \pm 0.30$, $\delta^{13}\text{C} = 1.28 \pm 0.38$) et Gimenez et al. 2017 ($\delta^{15}\text{N} = 1.578 \pm 0.52$, $\delta^{13}\text{C} = 1.01 \pm 0.37$).

Les résultats des modèles de mélange sont présentés dans les figures A.23 (mysticètes) et A.24 (petits odontocètes). Pour les mysticètes, les résultats confirment que l'alimentation du petit rorqual et du rorqual commun est très similaire. Les poissons épipélagiques (en particulier *B. belone*) constitueraient la majorité de leur régime alimentaire (57,7 % chez *B. acutorostrata* et 54,4 % chez *B. physalus*), suivi par le lançon (*Ammodytes* spp. ; 32,6 % chez *B. acutorostrata* et 30,3 % chez *B. physalus*). Les autres espèces échantillonnées semblent avoir une importante minime dans leur alimentation. Chez la baleine à bosse, le modèle de mélange n'identifie pas de tendance marquée, ce qui suggérerait que cette espèce a un régime alimentaire plus diversifié, mais toutefois dominée par *Scomber scombrus* (41,2 %) et dans une moindre mesure *Ammodytes* spp. (13,7%) et *B. belone* (12,1 %).

Les résultats pour les odontocètes ne concernent que deux espèces pour lesquelles la taille de l'échantillon fut suffisante pour l'utilisation des modèles de mélange. Ainsi, le dauphin commun semble avoir une alimentation dominée par les proies épipélagiques, en particulier *Scomber scombrus* (55,4 %) et dans une moindre mesure le céphalopode *Illex illecebrosus* (19,2 %, très abondant en été dans la région). Le lagénorhynque à bec blanc semble avoir une alimentation largement dominée par les céphalopodes, en particulier *Illex illecebrosus* (69,1 %,) suivi par *S. scombrus* (12,6 %).

Les données issues des modèles de mélange fournissent des premières tendances sur l'écologie alimentaire des principales espèces de cétacés présentes à Saint-Pierre et Miquelon. Ils révèlent notamment un fort chevauchement dans l'alimentation du petit rorqual et du rorqual commun, alors que la baleine à bosse semble avoir un régime alimentaire plus varié mais une niche trophique distincte des deux autres espèces de rorqual. Chez les petits delphinidés, le dauphin commun et le lagénorhynque à bec blanc ont une niche trophique très distincte. Ainsi, le régime alimentaire du dauphin semble dominé par les poissons épipélagiques et les céphalopodes néritiques alors que le lagénorhynque à bec blanc a une alimentation largement dominée par les céphalopodes

néritiques. Toutefois, il est important de considérer ces résultats car les isotopes stables et les modèles de mélange utilisés sous-estiment souvent la diversité des proies consommées. L'utilisation de traceurs alimentaires complémentaires comme les contenus stomacaux ou encore les profils d'acides gras permettra de mieux comprendre l'écologie trophique des différentes espèces de cétacés présentes dans la région.

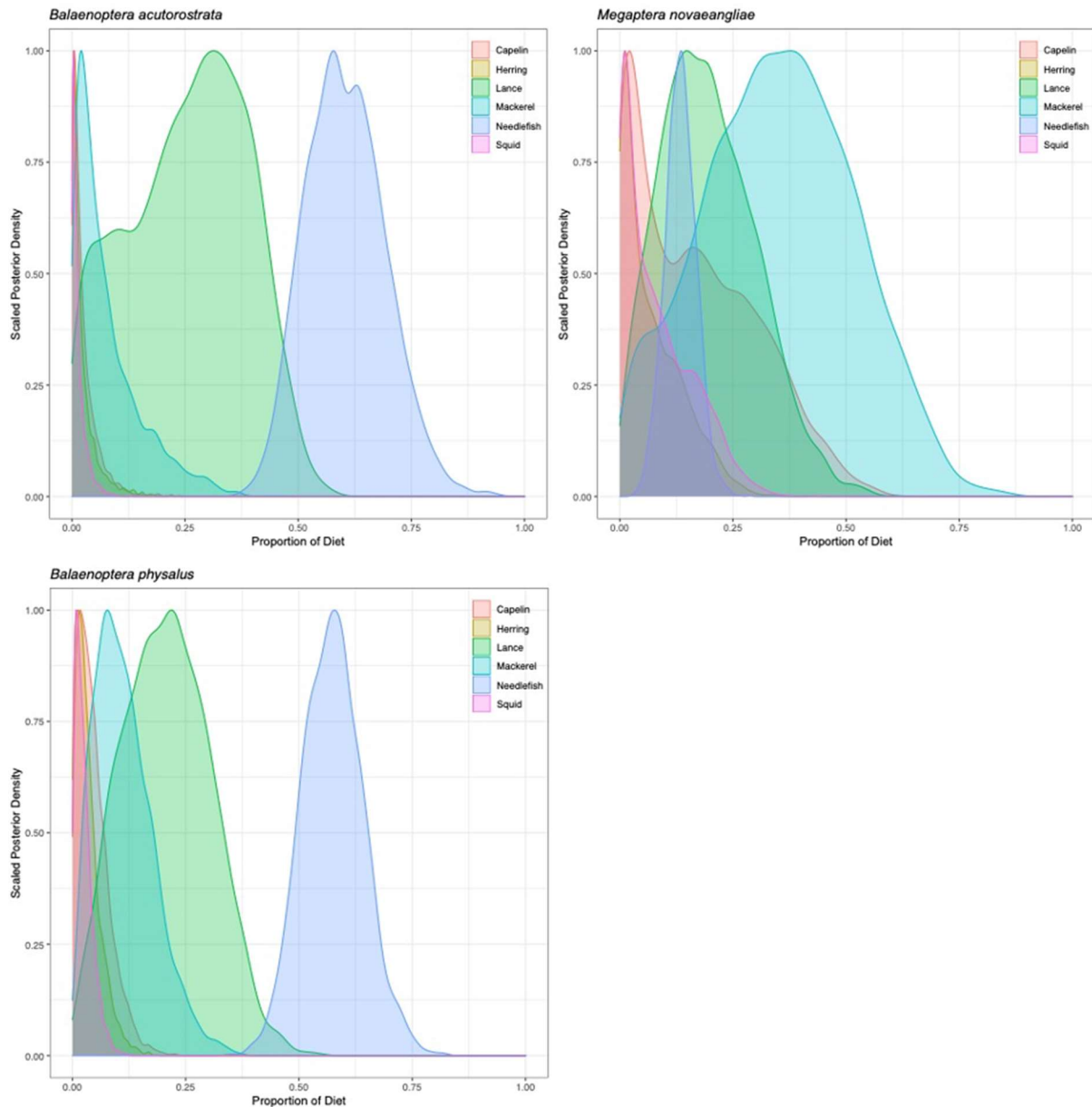


Figure A.23 : Modèles de mélange isotopiques pour le petit rorqual (*Balaenoptera acutorostrata*), la baleine à bosse (*Megaptera novaeangliae*) et le rorqual commun (*Balaenoptera physalus*) échantillonnés au large de Saint-Pierre et Miquelon entre 2019 et 2021.

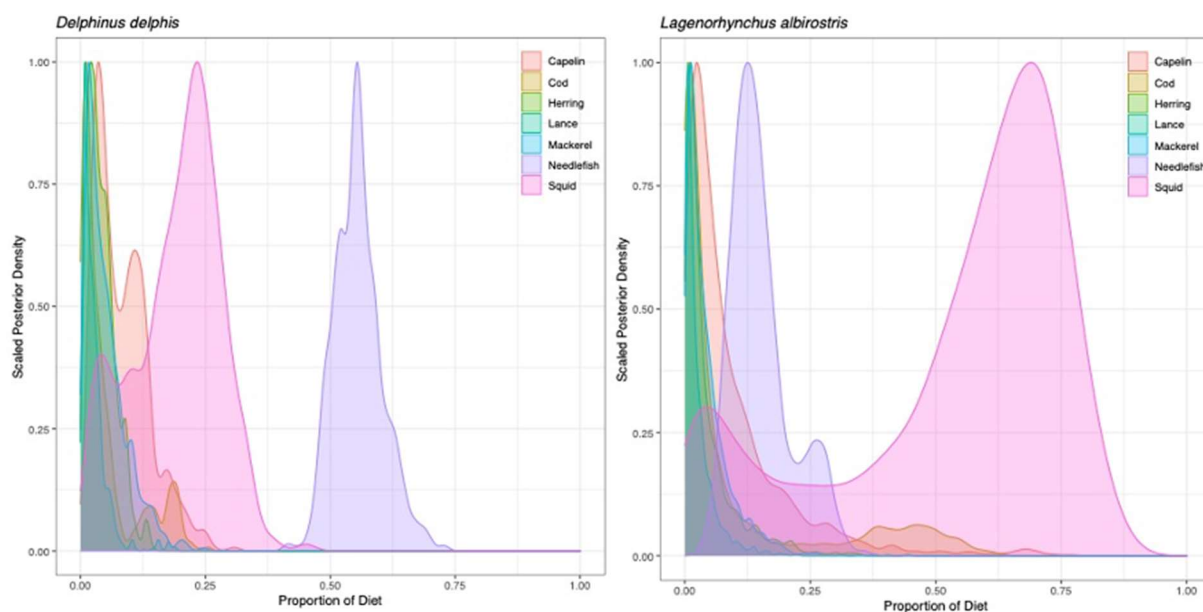


Figure A.24 : Modèles de mélange isotopiques pour le dauphin commun (*Delphinus delphis*) et le Lagénorhynque à bec blanc (*Lagenorhynchus albirostris*) échantillonnés au large de Saint-Pierre et Miquelon entre 2019 et 2021.

A6 – Perspectives d'étude des cétacés au large de Saint-Pierre et Miquelon

Les travaux sur l'écologie des cétacés entrepris dans le cadre du projet COPEMAM révèlent des tendances importantes sur la composition du peuplement, la distribution l'abondance relative et les habitats potentielles des principales espèces fréquentant les eaux de l'archipel. Les analyses isotopiques permettent également de mieux cerner les relations trophiques existantes entre les différentes espèces et offrent aussi une meilleure compréhension de leur alimentation. Toutefois, la compréhension des interactions compétitives entre cétacés et pêcheries requiert des données de capture qui n'ont pas pu être obtenues pour la zone des eaux territoriales de Saint-Pierre et Miquelon. Un travail qui sera mené en automne 2022 en collaboration avec l'Université de Colombie Britannique (Dr. Daniel Pauly) visera à analyser les relations trophiques entre pêcheries et mammifères marins dans une région dont les contours seront prochainement délimités (en fonction de la disponibilité de données de captures de pêche). Des travaux en cours sont d'ores et déjà en cours pour analyser d'autres traceurs écologiques à partir des biopsies de cétacés, en particulier pour étudier le régime alimentaire des orques et petits rorquals de Saint-Pierre et Miquelon (collaboration DFO Canada). De plus, des analyses de polluants organiques seront aussi effectuées dans les mois qui viennent sur les principales espèces de cétacés fréquentant les eaux de l'archipel. Enfin, les biopsies collectées au cours du programme COPEMAM sont également partagées avec plusieurs institutions de recherche (DFO, Université de St Andrews, Université de La Rochelle-Observatoire Pelagis) pour étudier la structure des populations de plusieurs espèces de cétacés, notamment le lagénorhynque à bec blanc, le dauphin commun, l'orque et le petit rorqual.

De nombreuses questions demeurent sur l'écologie des cétacés à Saint-Pierre et Miquelon, en particulier sur l'utilisation des habitats, leurs interactions trophiques ou encore leurs mouvements (temps de résidence, migrations saisonnières). Il serait donc opportun de développer des programmes de télémétrie complémentaires à ceux qui ont/ont été entrepris sur les phoques.

B – Distribution, abondance et écologie trophique des phoques autour de SPM

Ce chapitre est consacré à l'ensemble des suivis des deux espèces de phoques observées très régulièrement dans l'archipel : les phoques gris (*Halichoerus grypus*) et les phoques veaux-marins (*Phoca vitulina*). D'autres espèces, principalement polaires (phoques du Groenland ou phoques à capuchon, (Savouré-Soubelet et al. 2016), peuvent occasionnellement fréquenter les eaux de Saint-Pierre et Miquelon ou s'y échouer, mais leur observation est plus rare et ne fait pas l'objet du présent suivi.

B1 – Recensement des phoques à terre

Les phoques passent la majorité de leur temps en mer, mais se posent à terre (ou sur la glace) pour assurer certaines fonctions primordiales de leur cycle annuel – principalement la reproduction et la mue – ainsi que pour se reposer (Hall & Russell 2018, Teilmann & Galatius 2018). La proportion de temps passé à terre ou en mer varie fortement en fonction des saisons : pendant la mue annuelle et la période de reproduction, cette proportion de temps passé à terre est plus importante que le reste du temps. En nord-ouest Atlantique, la saison de reproduction du phoque veau-marin est en mai-juin (Coltman *et al.* 1997) suivie par la mue en juillet-août (Boulva 1973), tandis que la saison de reproduction du phoque gris s'étend de fin décembre à début février (Lidgard *et al.* 2003, Bowen *et al.* 2006b) et la saison de mue est en mai-juin (Beck *et al.* 2003). Il est donc attendu que le nombre de phoques à terre soit plus élevé pendant ces périodes de l'année, sans pour autant signifier une augmentation du nombre de phoques dans la région.

Les recensements consistent à compter les phoques, si possible en précisant l'espèce, dans un périmètre délimité (ici, la lagune du Grand Barachois ou l'ensemble des côtes de l'archipel). Ils sont réalisés de préférence à marée basse (Vincent *et al.* 2017), lorsque les reposoirs utilisés par les phoques sont émergés (particulièrement les bancs de sable dans le Grand Barachois), et en milieu de journée/après-midi, les phoques des deux espèces profitant en effet des plus chaudes heures de la journée pour leur thermorégulation (Stewart 1984, Yochem *et al.* 1987). Les impératifs logistiques et impondérables météorologiques peuvent néanmoins faire varier les périodes exactes de recensements.

Recensements mensuels des phoques dans la lagune du Grand Barachois

Ces recensements sont réalisés depuis 2006 par l'ONCFS, puis OFB à partir de 2020. Le protocole prévoit un recensement mensuel, lorsque les conditions météorologiques et les autres missions du service le permettent. Les phoques sont généralement observés et recensés à la longue-vue à partir de l'observatoire faunistique situé à la Pointe aux Barges. En juin, ce poste d'observation est doublé d'un autre situé à l'est de la lagune. En hiver lorsque le taux de glace est important dans la lagune (contrariant la bonne observation des phoques), un autre poste d'observation peut également être utilisé à la butte des tauds au nord du grand barachois. Depuis 2014, les phoques sont comptés indépendamment par deux voire trois observateurs avant comparaison et validation. De 2006 à début

2008, les deux espèces (phoques gris et phoques veaux-marins) étaient distinguées dans les comptages. Cette distinction a ensuite progressivement disparu, en raison de la difficulté d'identification des espèces à grande distance, notamment dans les groupes compacts ; cette distinction a été faite de nouveau lors de quelques recensements entre 2011 et 2013, puis systématiquement depuis 2016. Sur les 141 comptages réalisés d'avril 2006 à mai 2022, 107 ont été réalisés à marée basse dont 63 avec distinction des deux espèces.

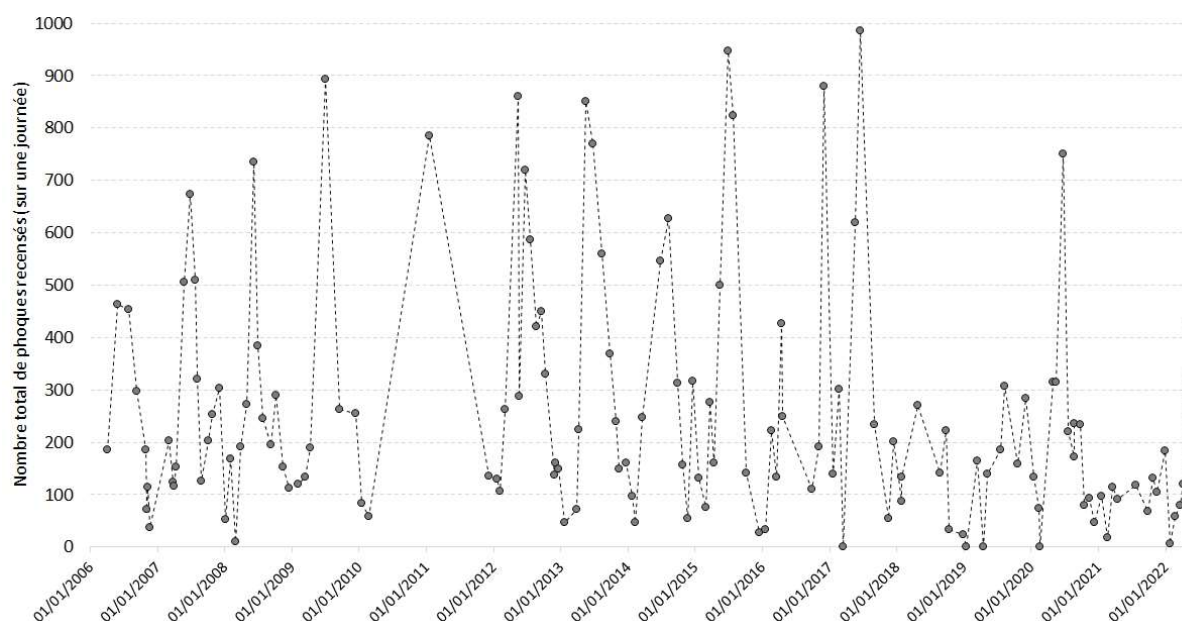


Figure B1.01 : Nombre total de phoques recensés à marée basse dans la lagune du Grand Barachois d'avril 2006 à mai 2022 par l'OFB (ONCFS de 2006 à 2019). Les deux espèces de phoques (gris et veaux-marins) sont additionnées dans ce graphique, les deux espèces n'ayant pas toujours été spécifiées selon les années.

Le nombre total de phoques recensés dans le Grand Barachois a varié de 0 (par exemple en janvier 2019 ou février 2020) à 985 au maximum (le 18/06/2017), avec de fortes variations saisonnières (Figure B.01). Le test de corrélation de Pearson appliqué à ces effectifs suggère une tendance négative ($\rho = -0.173$) mais non significative ($p=0.074$).

Les variations saisonnières, et notamment mensuelles, de ces effectifs sont documentées dans la Figure B.02. Le nombre total de recensements réalisés dans l'année étant variable (minimum 2 en 2010 et 2011, maximum 13 en 2012 et 2020), la distribution des effectifs recensés mensuellement est documentée sur trois périodes successives : de 2006 à 2010 inclus, de 2011 à 2016 inclus puis de 2017 à 2022 inclus (Figure B.02). Le graphique indique une augmentation nette du nombre de phoques à terre à partir de la fin du printemps (mai) et en début été : cette tendance avait déjà été observée lors d'une précédente analyse des données, jusqu'en 2015, et semblait correspondre majoritairement aux périodes de reproduction puis de mue des phoques veaux-marins (Vincent & Ridoux 2015). Sur la dernière période d'étude néanmoins, seuls les mois de mai et surtout juin indiquent une forte augmentation du nombre de phoques à terre, mais une diminution nette de ces effectifs en juillet pendant la période la plus récente (2017-2022) par rapport aux deux périodes précédentes (Figure

B.02). En juillet, la reproduction des phoques veaux-marins tire sur la fin et la période de mue de cette espèce débute, ce qui suggère que les phoques veaux-marins passent beaucoup moins de temps dans le Grand Barachois pour leur mue qu'il y a 6 ou 10 ans. Les effectifs moyens du mois de juin étant en revanche supérieurs à ce qu'ils étaient de 2006 à 2016 (Figure B.01), cette forte diminution des effectifs en juillet ne s'explique a priori pas par une diminution du nombre total de phoques veaux-marins dans l'archipel, mais bien par une probable redistribution des phoques sur d'autres sites que le Grand Barachois pour la mue.

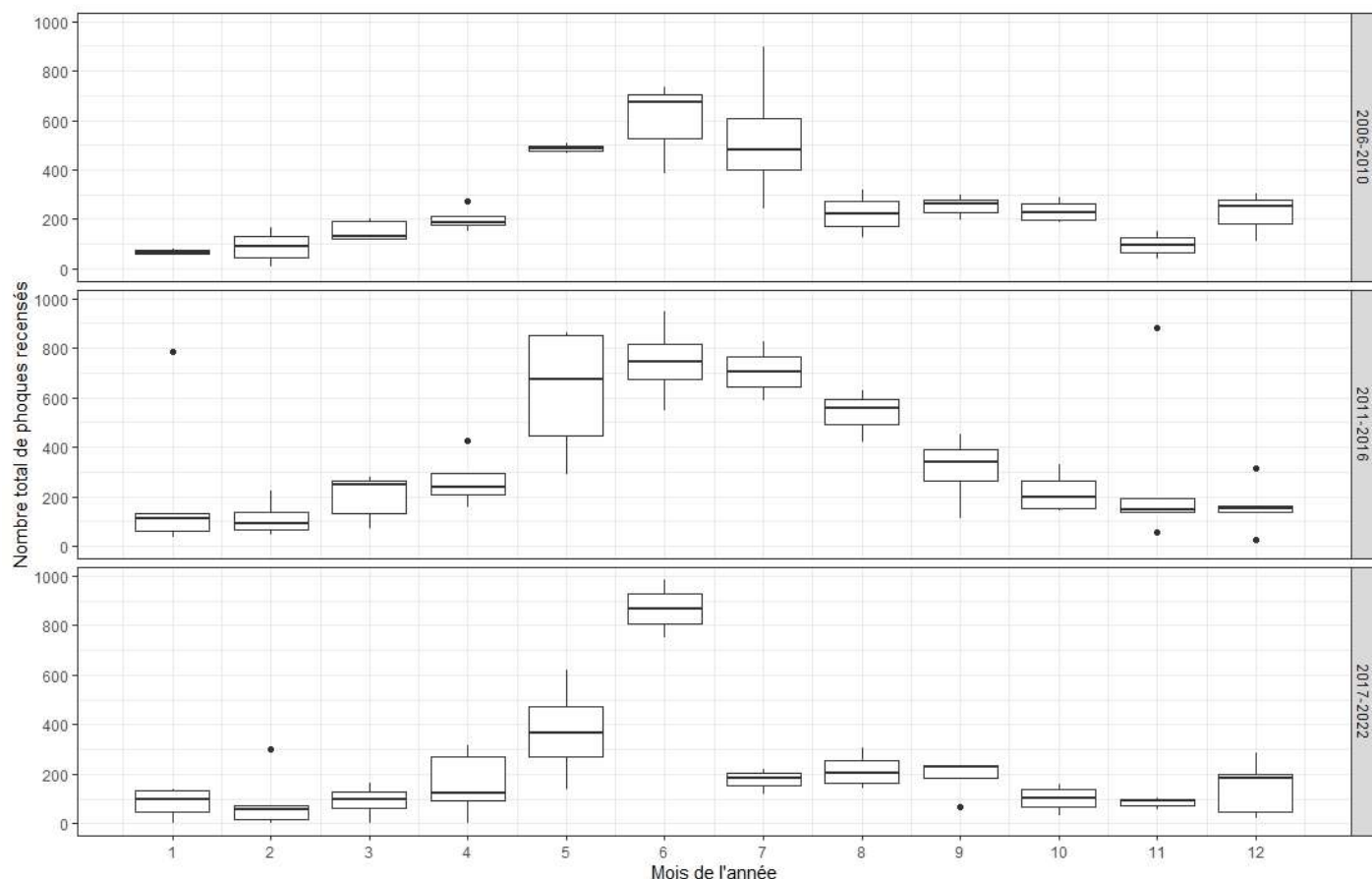


Figure B1.02 : Distribution des effectifs relatifs de phoques (deux espèces confondues, phoques gris + phoques veaux marins) recensés à terre dans la lagune du Grand Barachois de janvier à décembre (mois 1 à 12), en 2006-2010, 2011-2016 puis 2017-2022. Les *boxplots* représentent la médiane des valeurs individuelles (trait épais dans chaque boîte), les 1^{er} et 3^{ème} quartile (bas et haut des « boîtes ») et les « moustaches » (traits verticaux) représentent 1.5 fois la valeur de l'écart interquartile. Les points représentent les valeurs extrêmes en dehors de ces intervalles.

Lorsque les espèces ont pu être identifiées, les recensements dans le Grand Barachois ont confirmé la prédominance des phoques veaux-marins sur les phoques gris. Sur toute la période d'étude et indépendamment des saisons, les comptages ont permis de recenser 79.5% de phoques veaux-marins et 20.5% de phoques gris. Des variations saisonnières sont observées, mais elles ne sont pas constantes d'une période (pluri-annuelle) à une autre : la proportion de phoques veaux-marins est néanmoins généralement plus élevée en hiver (au sens large), et dépasse toujours 60% (Figure B.03).

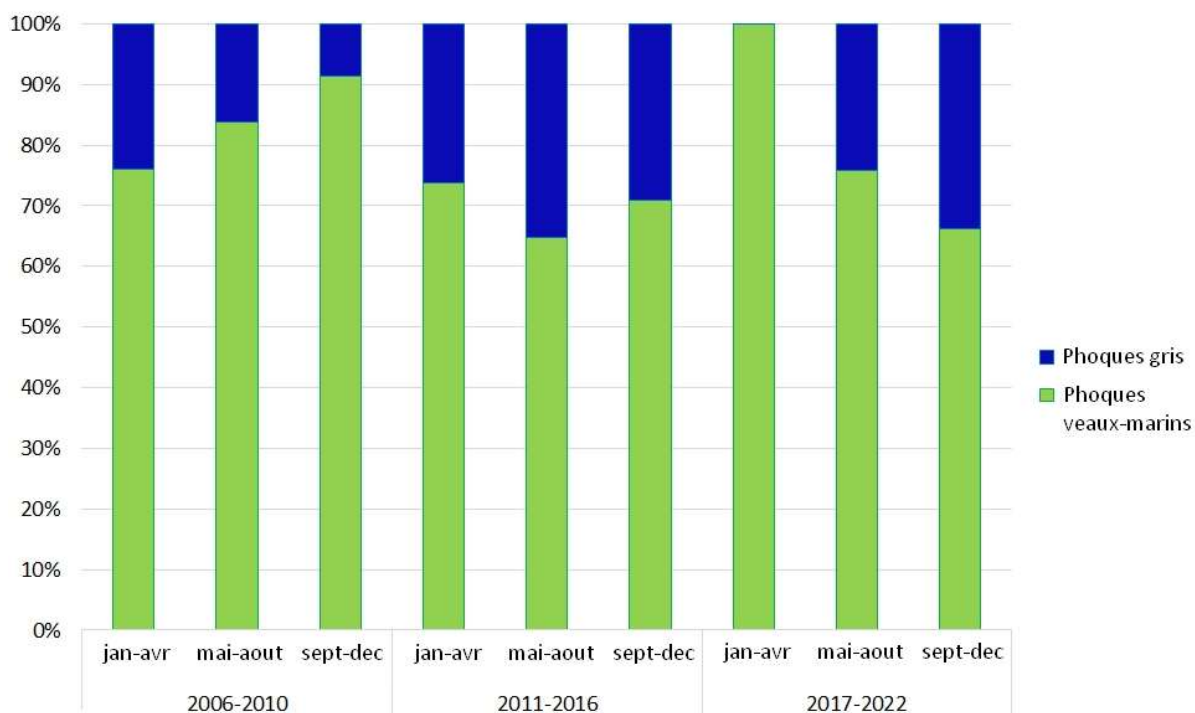


Figure B1.03 : Proportions de phoques gris ou veaux-marins dans les effectifs de phoques recensés dans le Grand Barachois d’avril 2006 à mai 2022. Seuls les comptages au cours desquels les deux espèces ont été distinguées sont pris en considération.

Recensements des phoques dans l’ensemble de l’archipel

Suite à la recommandation faite en 2015 d’étendre les recensements à l’ensemble des zones de reposoirs utilisées par les phoques dans l’archipel (Vincent & Ridoux 2015), des comptages coordonnés par la DTAM et réalisés avec de nombreux partenaires (institutionnels et individuels) ont été organisés autour de Miquelon, Langlade, Saint-Pierre et l’Île Verte. Nécessitant simultanément plusieurs embarcations et de nombreux opérateurs, ces recensements exhaustifs ne peuvent pas être organisés mensuellement : au total, douze recensements complets ont pu être réalisés de juillet 2016 à mai 2022. Les phoques sont comptés à partir d’embarcations le long des côtes, et par drone dans le Grand Barachois.

Le nombre total de phoques recensés sur les reposoirs a varié de 900-950 phoques au minimum (en novembre 2016, avril 2018 et septembre 2020) à plus de 1850 phoques en mai 2020 et un peu moins de 2100 phoques en août 2019 (Figure B.04). La période couverte et le nombre total de recensements exhaustifs réalisés ne permettent pas encore de réaliser des analyses de tendance sur l’évolution pluriannuelle de ces effectifs, mais ces chiffres sont les tout premiers permettant d’évaluer l’abondance relative total de phoques se posant à sec autour de Saint-Pierre et Miquelon.

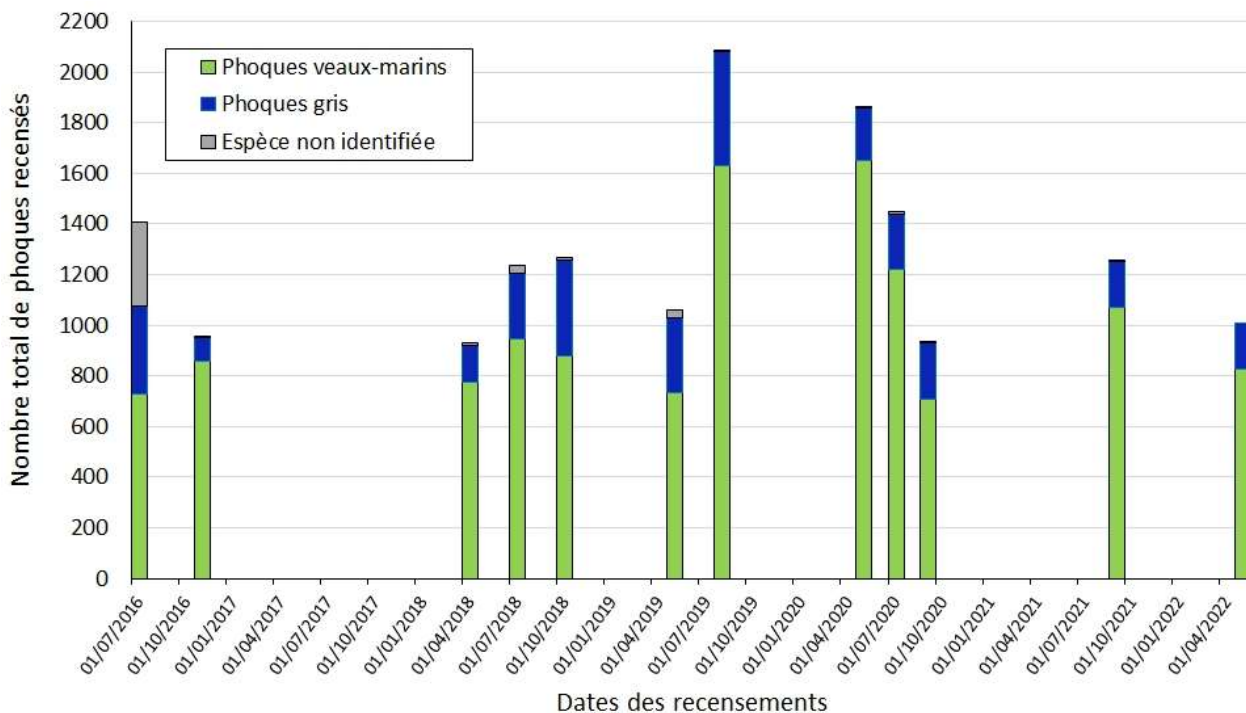


Figure B1.04 : Nombre total de phoques recensés et distinction des espèces lors des recensements exhaustifs réalisés autour de Saint-Pierre et Miquelon de 2016 à 2022.

Sur l'ensemble des phoques dont l'espèce a pu être identifiée lors de ces recensements, et indépendamment des saisons et années, les phoques veaux-marins ont représenté 80.1% des phoques recensés contre 19.9% de phoques gris (Figure B.04). Ces chiffres sont remarquablement proches de ceux obtenus au cours des recensements réalisés par l'OFB (préalablement ONCFS) dans la lagune du Grand Barachois (79.5% et 20.5% respectivement, cf. plus haut), ce qui suggère que les deux espèces fréquentent dans les mêmes proportions la lagune et les côtes de Miquelon, Langlade et Saint-Pierre. Cela ne présage néanmoins pas d'éventuelles préférences individuelles des phoques (ce peuvent être les mêmes individus qui se posent à terre indifféremment dans différentes zones reposoirs, ou des individus majoritairement différents dans le Grand Barachois et en-dehors).

Des variations saisonnières peuvent par ailleurs être observées : en valeur absolue, le nombre de phoques gris recensés à terre est minimum aux mois d'avril et novembre, et plus élevé de mai à octobre, avec des fluctuations importantes selon les années (Figure B.05). Il est important de rappeler que les recensements exhaustifs n'ont pu être réalisés que d'avril à novembre, en raison des conditions de navigation trop difficiles de décembre à mars. Les données ne sont donc pas disponibles en plein hiver, mais les recensements réalisés par l'OFB dans le Grand Barachois ont montré que des phoques gris y étaient également présents en hiver de 2006 à 2016, tandis qu'aucun phoque gris n'a été observé dans le Grand Barachois entre janvier et mars depuis 2017 (Figure B.03). Sur l'ensemble de l'archipel, les effectifs maxima de phoques veaux-marins ont été recensés en mai 2020 et août 2019 respectivement, soit au début de la saison de reproduction et pendant la mue de cette espèce respectivement, ce qui est tout à fait logique compte tenu des besoins physiologiques des phoques à ces périodes. Ce sont ces effectifs maxima de phoques veaux marins (1652 le 19/05/2020 et 1631 le 31/08/2019 respectivement) qui expliquent les effectifs totaux maxima, puisque cette espèce représente la grande majorité des phoques observés autour de l'archipel.

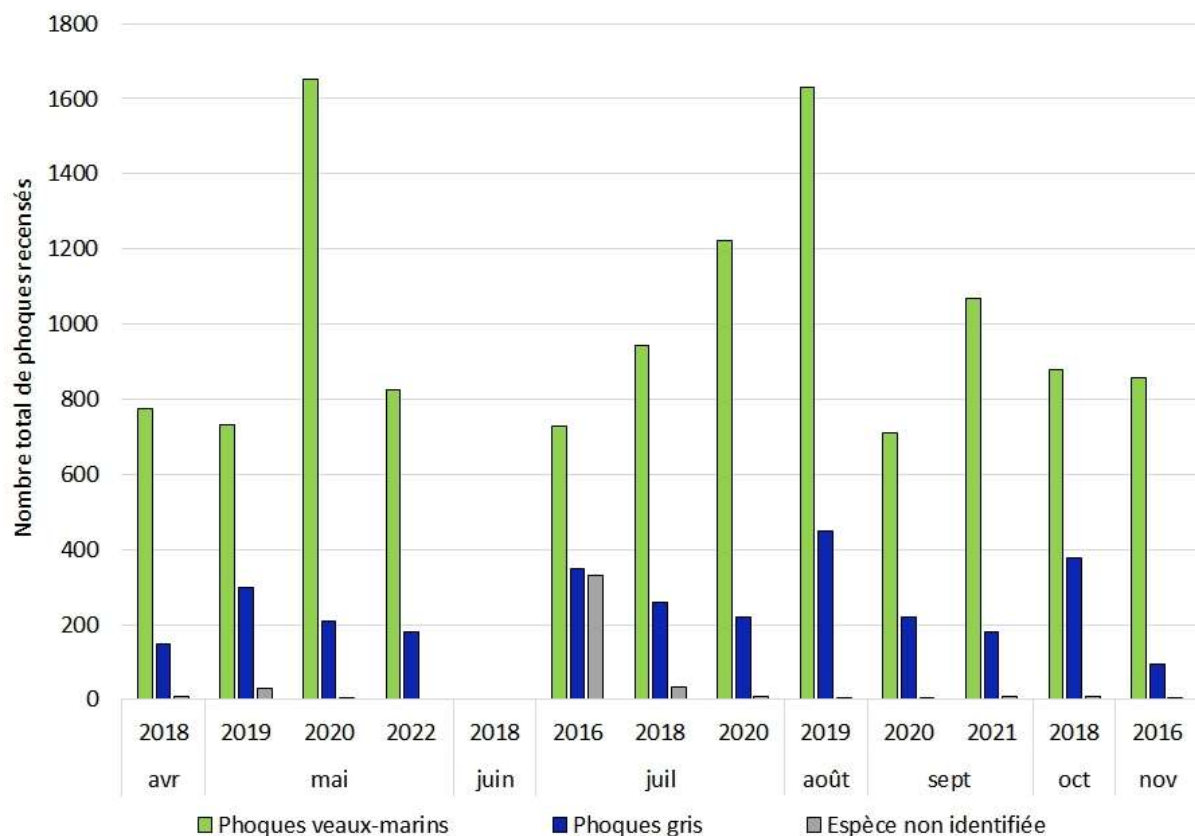


Figure B1.05 : Distribution saisonnière (de mai à novembre) des effectifs de phoques recensés (et distinction des espèces le cas échéant) lors des recensements exhaustifs réalisés autour de Saint-Pierre et Miquelon de 2016 à 2022.

La forte présence de phoques veaux-marins autour de Saint-Pierre et Miquelon en août confirme que ces dernières années, cette espèce est bien présente pendant la période de mue (Figure B.05), et la répartition spatiale des effectifs recensés confirme que ces phoques sont largement répartis au-delà de la lagune du Grand Barachois à cette saison (Figure B.06). En août et septembre (2019, 2020 et 2021), pendant la mue des phoques veaux-marins, les effectifs de phoques recensés dans le Grand Barachois ne représentent que 17 à 21% du nombre total d'individus recensés dans tout l'archipel, tandis qu'ils sont 35 à 52% à être recensés autour de Langlade (et 17 à 29% autour de Miquelon). Inversement, en avril 2018 et juillet 2020 ce sont 41% des effectifs totaux recensés à terre qui sont localisés dans la lagune du Grand Barachois (Figure B.06). Les phoques veaux-marins utilisent donc préférentiellement la lagune pendant leur reproduction, mais se répartissent largement ailleurs, notamment au sud de Langlade, pendant la mue.

Sur la totalité des recensements effectués, abstraction faite des saisons et espèces, les phoques sont majoritairement autour de Langlade (39%) puis dans le Grand Barachois (28%), autour de Miquelon (16%), Saint-Pierre (7%), l'Île Verte (5%) l'isthme (3%), ou le platier des Veaux Marins à l'ouest de Miquelon (2%). Il existe néanmoins des différences marquées entre phoques gris et veaux-marins : les phoques gris sont surtout recensés autour de Miquelon (24%) et l'Île Verte (22%), puis le Grand Barachois (15%), Langlade (12%), l'isthme (10%) et le platier des Veaux-Marins (9%), tandis que les phoques veaux-marins sont globalement plus nombreux autour de Langlade (44%), dans le Grand Barachois (32%) puis Miquelon (14%) et Saint-Pierre (8% ; Figure B.06).

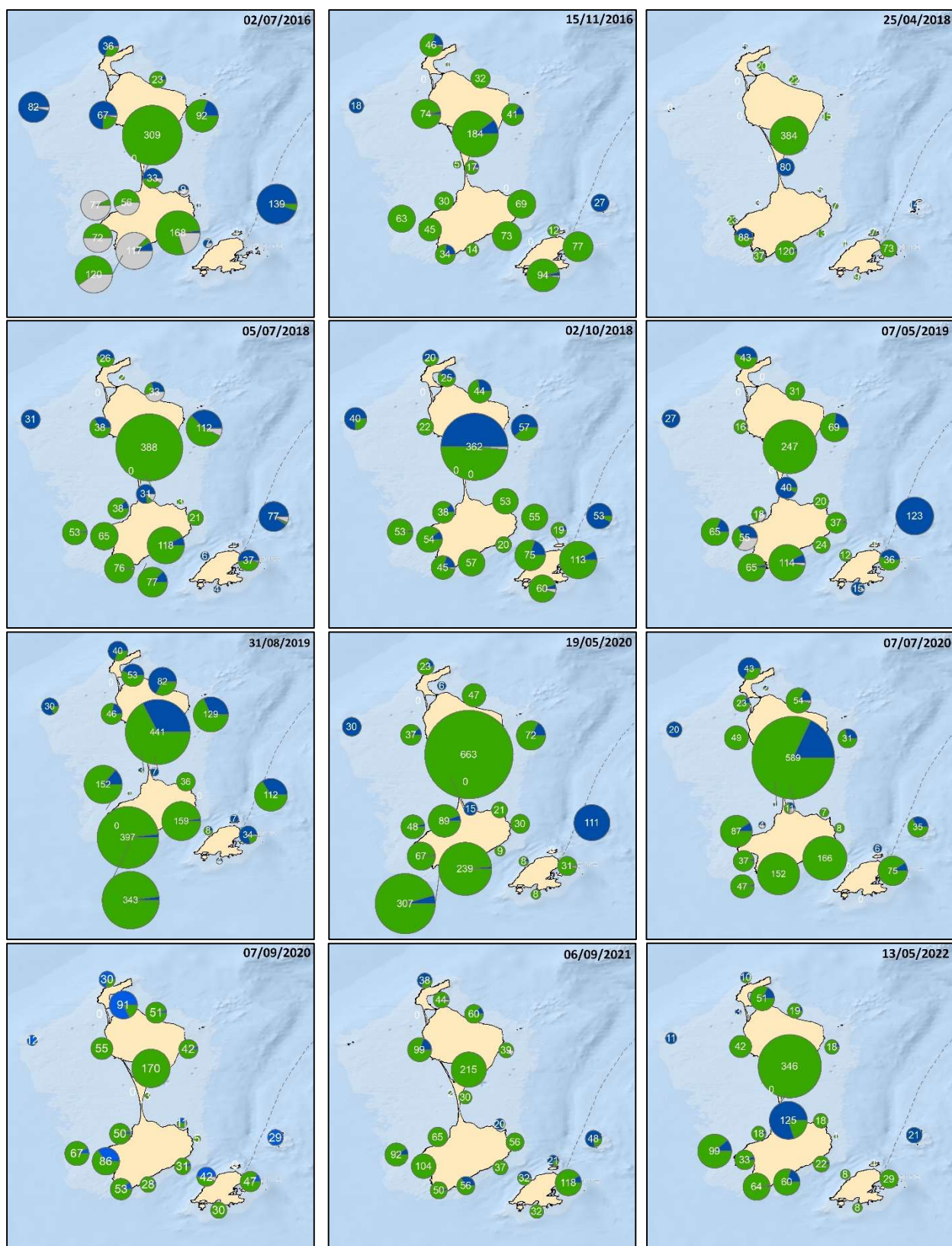


Figure B1.06 : Distribution des effectifs de phoques autour de l'archipel lors des recensements exhaustifs. Le pourcentage de phoques veaux-marins est indiqué en vert, celui de phoques gris en bleu, et les phoques dont l'espèce n'est pas identifiée sont en gris. Le chiffre (en blanc) indique le nombre total de phoques recensés pour chaque zone de repos identifiée (cf. Vincent & Ridoux 2015). La date de chaque recensement est indiquée en haut à droite de chaque carte.

Les recensements « exhaustifs » réalisés sur l'ensemble de l'archipel incluent le recensement des phoques dans le Grand Barachois, et cette partie du comptage est réalisée par drone. Le 25/04/2018, le comptage des phoques a été réalisé indépendamment par deux équipes : celle coordonnée par la DTAM dans le cadre du recensement complet, et celle de l'OFB réalisant le comptage à partir du point d'observation terrestre. Le premier a donné une estimation de 384 phoques veaux-marins, le second 271 phoques (espèce non identifiée). Une telle différence peut s'expliquer de deux façons : soit les heures de recensement ont été différentes pour les deux équipes (information non disponible dans les bases de données), et le nombre de phoques à terre était réellement différent, soit le recensement par drone a permis de localiser et recenser des phoques qui n'étaient pas visibles à partir du point d'observation terrestre. Une telle différence a déjà été relevée dans d'autres colonies de phoques veaux-marins en France, soulignant le plus grand nombre d'individus recensés par drone par rapport à l'approche terrestre (Elder & Gautier 2008).

Enfin, une tentative de recensement des naissances a été réalisée par la DTAM le 8 juin 2022. Le comptage a permis de recenser 169 nouveau-nés (la plupart allaitant au moment du comptage). Il s'agit de la toute première estimation de production de jeunes phoques veaux-marins à Saint-Pierre et Miquelon depuis des décennies. Un recensement unique ne permet malheureusement pas d'estimer le nombre total de naissances, les femelles ne mettant pas toutes bas au même moment, mais ce premier chiffre donne une estimation minimale du nombre de naissances de phoques veaux-marins dans l'archipel, et confirme la faisabilité de ce recensement par drone. A titre de comparaison, le nombre total de naissances de phoques veaux-marins en France métropolitaine est estimé à 301 (en 2021) dont 178 naissances en baie de Somme, la principale colonie pour cette espèce en métropole (Poncet *et al.* 2022).

Recensements à terre : conclusion

Les comptages des phoques sur leurs reposoirs terrestres fournissent des effectifs relatifs qui peuvent être comparés d'une année sur l'autre, à la même saison, si les conditions environnementales restent relativement similaires (pas d'évènement météorologique exceptionnel ni de dérangement ponctuel des groupes de phoques avant le comptage). Ces effectifs relatifs sont très importants car, lorsque ces conditions sont respectées, ils permettent d'estimer l'évolution pluriannuelle de fréquentation du site par les phoques de chaque espèce, et permettent également de souligner l'éventuelle saisonnalité de leur présence.

Les résultats décrits ici soulignent que les phoques des deux espèces peuvent être observés à Saint-Pierre et Miquelon toute l'année, même si les données récentes suggèrent que les phoques gris ne sont plus observés de janvier à mars depuis quelques années. Depuis 2006, le nombre de phoques recensés dans le Grand Barachois n'a pas augmenté ou diminué de façon significative. Les recensements exhaustifs dans l'ensemble de l'archipel sont trop récents et trop peu nombreux pour réaliser une analyse de tendance, mais ils ont permis de souligner la répartition des deux espèces autour des îles à différentes saisons. La combinaison des deux types de recensements a notamment permis de mettre en évidence que la présence des phoques est maximale dans le Grand Barachois en mai et juin, pendant la reproduction des phoques veaux-marins, tandis que pendant la mue (juillet et août dans une moindre mesure) ils sont répartis plus largement autour des îles (notamment au sud de Langlade). La baisse du nombre de phoques veaux-marins dans le Barachois en 2017-2022 par rapport

à 2006-2011 et 2012-2017 s'explique sans doute par cette redistribution spatiale. Les raisons d'une telle redistribution ne sont pas connues, mais pourraient être liées à la présence du phoque gris, espèce potentiellement compétitrice des phoques veaux-marins (Bowen *et al.* 2003a) mais surtout présente autour de Miquelon, de l'isthme, du Grand Barachois et de l'Île Verte (les phoques veaux-marins étant en revanche plus nombreux autour de Langlade).

Les phoques étant impossibles ou très difficilement recensés en mer, les recensements des phoques sur leurs reposoirs terrestres constituent la principale approche disponible pour connaître l'abondance relative des phoques dans la zone d'études. D'autres méthodes peuvent être appliquées telles les analyses de capture-marquage-recapture à partir de photo-identification (*e.g.* Gerondeau *et al.* 2007, Hiby *et al.* 2007, Cordes & Thompson 2015), mais cette technique requiert une présence accrue sur le terrain et une longue analyse des photographies, qui semble peu réaliste à Saint-Pierre et Miquelon compte tenu du nombre de phoques présents et de la logistique requise.

Dans la majorité des autres régions du monde, la taille totale des populations de phoques gris est estimée à partir du nombre des naissances (Bowen *et al.* 2007, Thomas *et al.* 2019) ; cette méthode ne peut néanmoins pas être appliquée à Saint-Pierre et Miquelon, puisque cette espèce ne se reproduit pas sur place. Comme nous le verrons plus loin, les phoques gris observés autour de l'archipel appartiennent à une population plus vaste, du nord-ouest de l'Atlantique, se reproduisant principalement dans des colonies situées au Canada.

Pour les phoques veaux-marins, la taille globale des populations est généralement estimée à partir des recensements réalisés pendant la mue (Thompson & Harwood 1990, Boveng *et al.* 2003). Le nombre de phoques comptés pendant cette période où les phoques sont censés passer une plus grande partie de leur temps à terre est considéré comme une estimation minimale de la taille de population, mais plusieurs études ont modélisé la proportion de temps passé à terre (à sec) par les phoques afin d'affiner ces chiffres et d'estimer une abondance totale (Merkel *et al.* 2013, SCOS 2020). Ce facteur de correction peut varier considérablement selon les sites d'étude et les méthodes de recensements, et doit être calculé pour chaque cas d'étude.

Les chiffres présentés dans ce chapitre constituent donc bien des abondances relatives ponctuelles et non des estimations d'abondance totale de population de phoques, quelle que soit l'espèce étudiée. Tout au plus ces chiffres indiquent-ils le nombre minimum de phoques fréquentant Saint-Pierre et Miquelon aux différentes saisons.

B2 – Suivi télémétrique de phoques à partir de Saint-Pierre et Miquelon

Les recensements des phoques sur leurs reposoirs ont permis d'estimer leur abondance relative, et de souligner les éventuelles variations saisonnières. Des suivis télémétriques ont également été réalisés sur quelques individus afin de compléter ces connaissances par la description de leur activité en mer, où ils passent la majorité de leur temps.

Les balises utilisées sont des balises Argos transmettant des données comportementales et des localisations GPS¹. La toute nouvelle génération de balises construites par le *Sea Mammal Research Unit* inclut un accéléromètre 3D qui permet de mesurer les accélérations des phoques, notamment lorsqu'ils pourchassent une proie. Les balises ont ainsi transmis les informations suivantes : les profondeurs maximales, durées totales et formes des plongées des phoques, le nombre de tentatives de captures de proies, l'orientation de la tête (en degrés) et l'effort de nage, par phase de plongée (descente, fond et remontée), les dates et durées des repos à terre, les temps passé en surface en mer, et localisations GPS enregistrées à bord. L'ensemble des informations, en partie résumées, est transmis par satellite grâce au système Argos (Fedak *et al.* 2001, Photopoulou *et al.* 2015).

Les opérations de capture des phoques se sont déroulées dans le port de Saint-Pierre, dans la lagune du Grand Barachois, au nord de Langlade et sur l'île aux Pigeons. Elles sont soumises à dérogations ministérielles pour captures d'espèces protégées. Les phoques ont été capturés dans l'eau (Figure B2.01), grâce à des filets conçus spécialement pour la capture des phoques (tailles de maille et mèche adaptées). Ces filets ont été déployés à proximité immédiate des reposoirs utilisés par les phoques à marée basse.

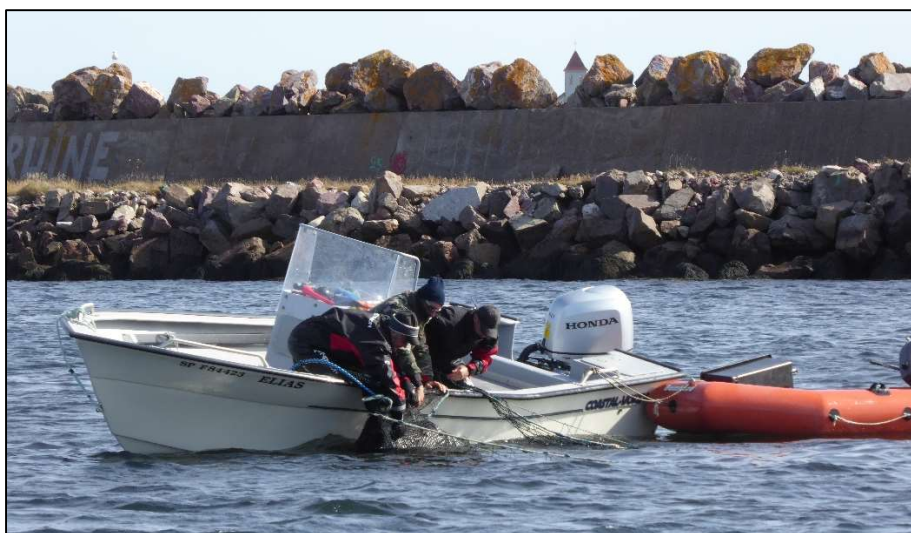


Figure B2.01 : Capture d'un phoque dans un filet à partir d'une embarcation, dans le port de Saint-Pierre. Photo Cécile Vincent

¹ <http://www.smru.st-andrews.ac.uk/Instrumentation/GPSArgosTag/>

Une fois capturés dans les filets, les phoques ont été ramenés à terre, pesés, anesthésiés puis libérés des filets. Le poil à l'arrière de la nuque des phoques a été nettoyé et séché, puis chaque balise collée à l'aide d'une colle epoxy à prise rapide (Figure B2.02). Avant le réveil des phoques, des prélèvements biologiques ont été réalisés (prise de sang, vibrisse, poil) pour de futures analyses, et une bague plastique numérotée a été fixée dans la palmure arrière des phoques. Ces bagues permettront une éventuelle identification ultérieure, notamment en cas d'échouage des phoques.



Figure B2.02 : Collage d'une balise à l'arrière de la tête d'un phoque gris. *Photos Jérôme Anger.*

Les phoques repartent à l'eau après un réveil spontané, l'anesthésie durant généralement 15 à 20 minutes (Figure B.03)



Figure B2.03 : Phoque veau-marin équipé d'une balise Argos, avant son départ dans l'eau. *Photo Cécile Vincent*

Deux opérations de captures de phoques ont été nécessaires, en septembre 2019 puis 2020, afin de déployer les 12 balises disponibles. Les caractéristiques des phoques capturés et équipés de balises sont détaillées dans le tableau B2.01.

Tableau B2.01 : Caractéristiques des dix phoques veaux-marins et deux phoques gris capturés à Saint-Pierre et Miquelon en 2019 et 2020 et équipés de balises Argos. Les durées de suivi comptabilisent le nombre de jours entre la date de capture et la date de dernière transmission de données par la balise.

Date capture	Numéro phoque	Espèce	Sexe	Zone capture	Poids (kg)	Longueur (cm)	Numéro de bague	Durée de suivi (jours)
22/09/2019	P01	Veau-marin	M	Port St Pierre	(env 85)	140	10 blanc	162
22/09/2019	P02	Veau-marin	F	Port St Pierre	91	149	11 blanc	159
26/09/2019	P03	Veau-marin	F	Grand Barachois	91	148	21 blanc	158
27/09/2019	P04	Veau-marin	F	Port St Pierre	57	131	13 blanc	97
27/09/2019	P05	Veau-marin	M	Port St Pierre	70	138	14 blanc	153
11/09/2020	Q01	Phoque gris	F	Grand Barachois	129	175	37 - 25 blanc	141
12/09/2020	Q02	Phoque gris	F	Grand Barachois	143	170	26 blanc	122
13/09/2020	P06	Veau-marin	M	Nord Langlade	65	128	27 blanc	159
13/09/2020	P07	Veau-marin	F	Nord Langlade	64	138	28 blanc	134
13/09/2020	P08	Veau-marin	F	Nord Langlade	57	128	-	148
13/09/2020	P09	Veau-marin	M	Nord Langlade	78	150	29 blanc	156
15/09/2020	P10	Veau-marin	M	Ile aux pigeons	71	160	30 blanc	153

La majorité des phoques veaux-marins capturés sont des adultes (jeunes adultes pour certains), compte tenu de leur taille corporelle (Härkönen & Heide-Jørgensen 1990) ; le mâle P06 est sans doute un juvénile. Les masses corporelles des phoques veaux-marins ne sont pas très élevées en septembre, car les adultes se sont reproduits en début d'été puis tous les phoques (reproducteurs ou non) ont mué en juillet-août, ces deux périodes entraînant une importante dépense énergétique. Leur poids est donc minimal à cette période de l'année, et l'automne coïncide pour les veaux-marins avec une période de recherche alimentaire intense afin de reconstituer leurs réserves corporelles.

Cartes de déplacement des phoques, connectivité entre sites

La Figure B2.04 présente l'ensemble des déplacements des 10 phoques veaux-marins et 2 phoques gris équipés de balises, pendant les 5 mois de suivis (en moyenne : 145 ± 19 jours, cf. Tableau B2/01).

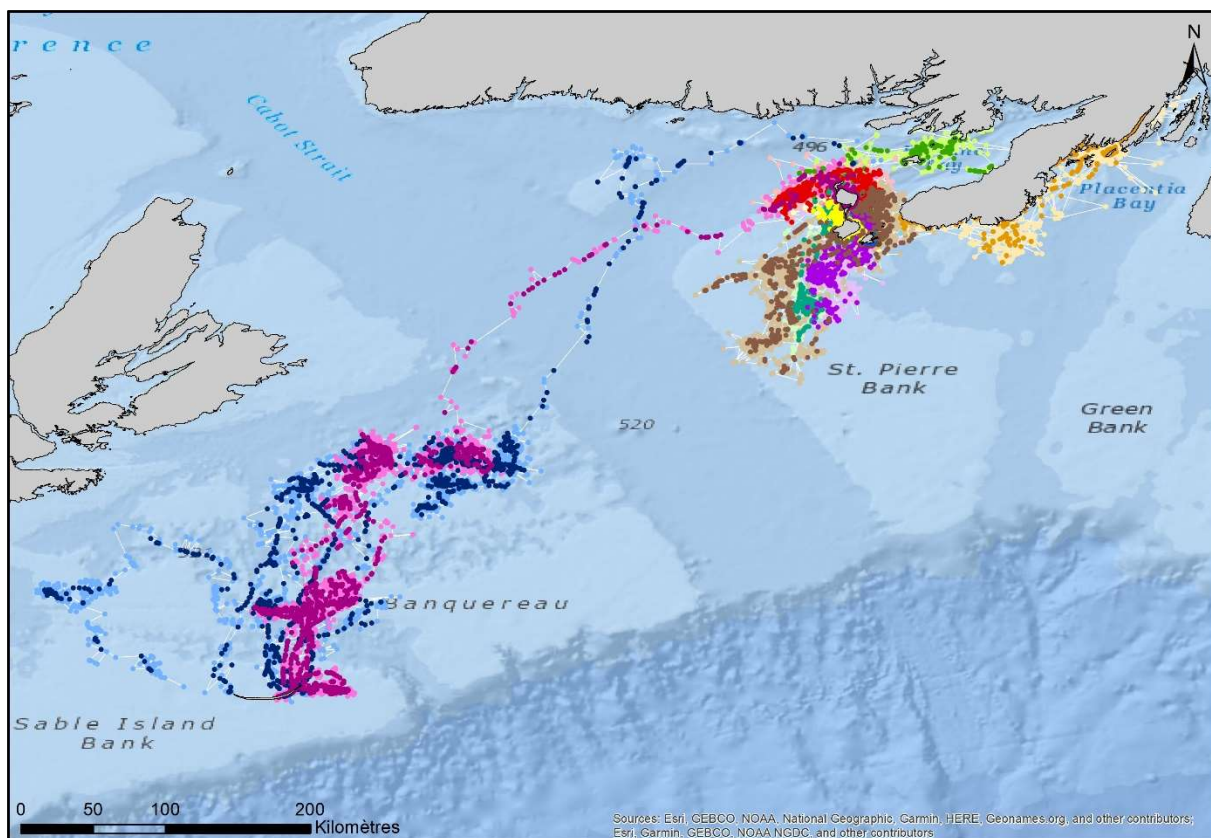


Figure B2.04 : Carte des déplacements des 10 phoques veaux-marins et 2 phoques gris suivis par balises Argos en 2019-2020 et 2020-2021. Chaque individu est représenté par une couleur. Les points de couleur claire indiquent les localisations de type Argos, celles de couleur plus foncée indiquent les localisations de type GPS (plus précises).

Les cartes individuelles de déplacements des phoques sont présentées en Figure B2.05. Deux phoques veaux-marins (P02 et P04) sont restés à proximité immédiate du port de Saint-Pierre pendant la totalité de leur suivi télémétrique (durant pourtant 159 et 97 jours respectivement). Ils sont restés à l'est et au sud de l'île, n'effectuant qu'un très court déplacement le long de la côte est de Langlade pour P02 (Figure B2.05a), et restant à quelques kilomètres des côtes de Saint-Pierre le reste du temps. La plupart des autres phoques veaux-marins (P05 à P10 ; Figure B2.05a et b) se sont déplacés le long des côtes de Miquelon, Langlade et/ou Saint-Pierre, dans le Barachois ou atour de l'isthme.

La majorité de leurs déplacements sont également restés très côtiers. A partir du 7 décembre et jusqu'à la fin de son suivi le 19 février, le phoque P06 a effectué des voyages en mer fréquents à l'ouest de Miquelon (à environ 20 km des côtes) à partir du Grand Barachois (Figure B2.05a). Les phoques P07, P08 et P10 ont également effectué des voyages en mer un peu plus éloignés de l'archipel, tout en revenant toujours se poser à terre à Saint-Pierre et Miquelon, en se déplaçant au sud sur le banc de Saint-Pierre (jusqu'à une centaine de kilomètres de l'archipel). Ces déplacements sur le banc de Saint-Pierre ont été surtout réalisés à partir du mois de décembre.

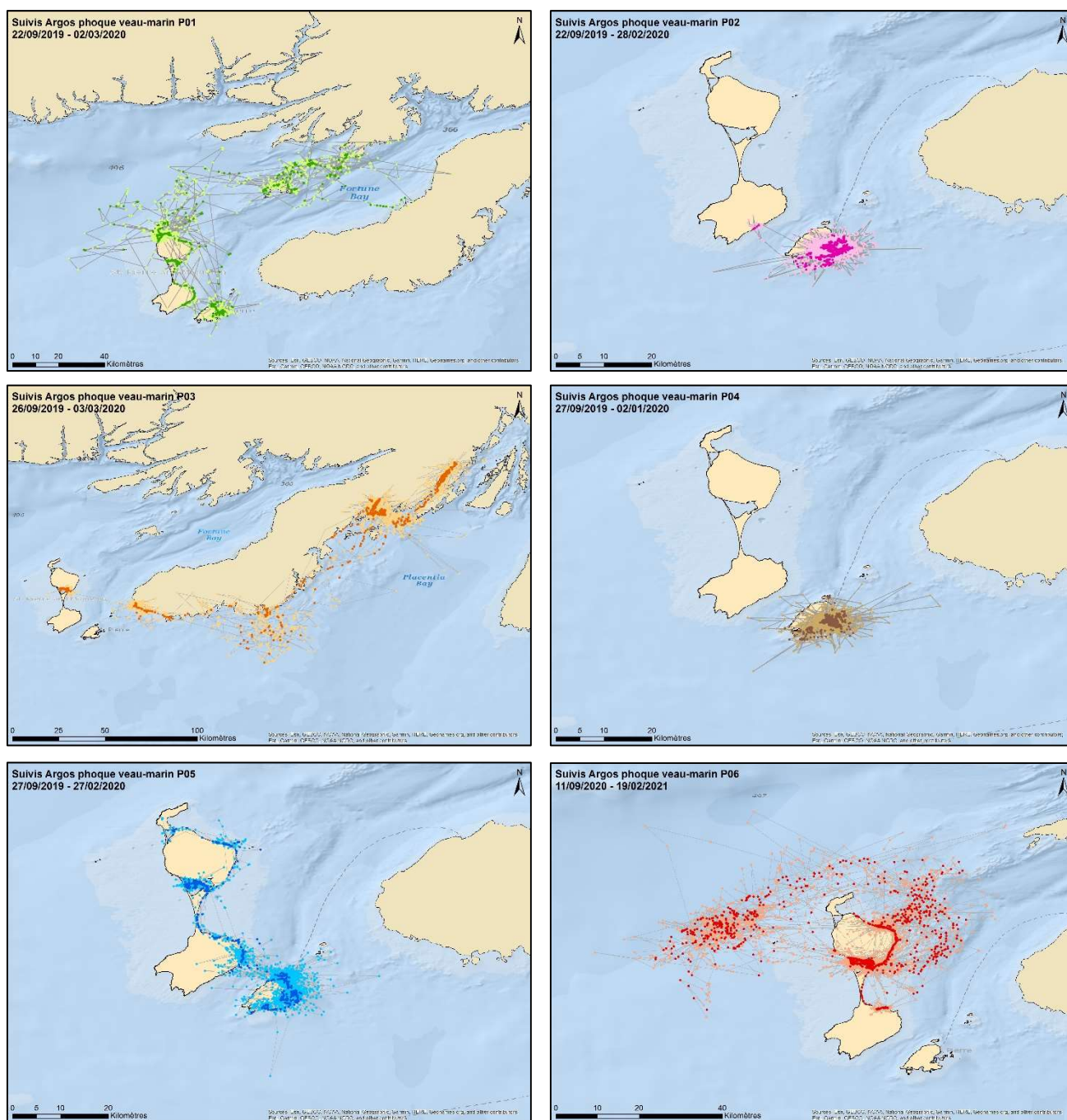


Figure B2.05a : Cartes des déplacements des phoques veaux-marins P01 à P06 suivis par balises Argos en 2019-2020 et 2020-2021. Les dates de début et fin de suivi sont indiqués sur chaque carte. Les points de couleur claire indiquent les localisations de type Argos, celles de couleur plus foncée indiquent les localisations de type GPS (plus précises).

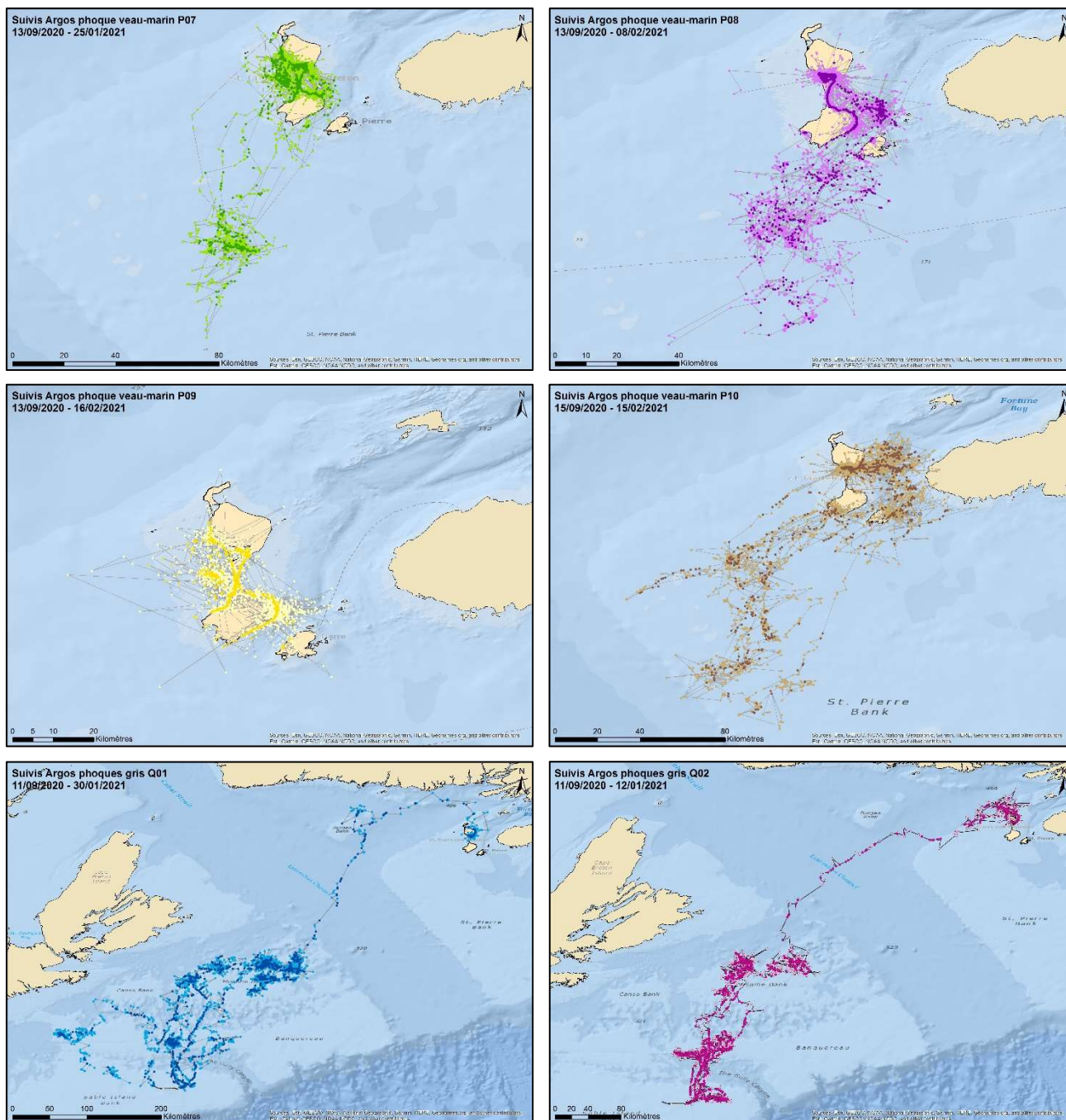


Figure B2.05b : Cartes des déplacements des phoques veaux-marins P07 à P10 (en haut) et phoques gris Q01 et Q02 (en bas) suivis par balises Argos en 2020-2021. Les dates de début et fin de suivi sont indiqués sur chaque carte. Les points de couleur claire indiquent les localisations de type Argos, celles de couleur plus foncée indiquent les localisations de type GPS (plus précises).

Enfin, des phoques veaux-marins se sont éloignés de l'archipel pour se déplacer dans les eaux canadiennes : le phoque P01 est parti fin décembre vers le nord, passant du temps autour de l'île Brunette, Sagona island ou St John's island dans la baie de Fortune. Après quelques déplacements côtiers jusqu'aux côtes de Terre-Neuve, ce phoque est revenu à Miquelon début février. La femelle P03 est le phoque veau-marin ayant passé le moins de temps à Saint-Pierre et Miquelon, et la très grande majorité de son temps le long des côtes canadiennes (Figure B2.05a). Capturée le 26/09/2019, elle est partie dès le 1^{er} octobre vers la péninsule de Burin à l'est, et s'est déplacée le long de 175 km de côtes de Point May à l'ouest à Monkstown à l'est. Elle n'est plus revenue à Saint-Pierre et Miquelon avant la fin de son suivi télémétrique le 3 mars 2020.

Ces cartes de déplacements des phoques veaux-marins illustrent une diversité de comportements parmi les animaux suivis. Si la plupart des phoques sont restés très côtiers et relativement sédentaires dans l'archipel, plusieurs individus se sont éloignés en mer à certaines saisons (jusqu'à 100 km des côtes), et deux ont passé une partie significative de leur temps le long des côtes de Terre-Neuve. En Atlantique est, le phoque veau-marin est considéré comme une espèce relativement sédentaire, principalement en comparaison des phoques gris (Sharples *et al.* 2012, Vincent *et al.* 2017), mais des individus peuvent se déplacer à une centaine de kilomètres de leur zone de repos à terre (Vincent *et al.* 2021). En Atlantique Ouest, il existe peu de données télémétriques sur cette espèce, mais Lesage *et al.* (2004) ont montré des migrations de plus de 200 km de phoques veaux-marins dans l'estuaire du Saint-Laurent. Les déplacements observés dans notre étude ne sont donc pas exceptionnels pour l'espèce, et ils suggèrent une certaine connectivité entre Saint-Pierre et Miquelon et Terre-Neuve pour les phoques veaux-marins.

Les deux femelles phoques gris également équipées de balises sont restées sédentaires et côtières autour du Grand Barachois et de Miquelon jusqu'en octobre (3/10 pour Q01, 18/10 pour Q02), date à laquelle elles ont quitté l'archipel pour traverser le chenal laurentien et se diriger vers le plateau de Nouvelle Ecosse (Figure B2.05b). Après de longues périodes en mer, elles se sont posées à terre à l'île de Sable, où la femelle Q02 a mis bas le 09/01/2021, avant de repartir après le sevrage de son jeune le 26/01/2021 (Figure B2.06). La femelle Q01 n'a pas été observée en reproduction, et sa balise a cessé d'émettre le 30/01/2021.



Figure B2.06 : Femelle Q02 sur l'île de Sable avec son jeune. La balise est visible sur la photo. *Photo Damian Lidgard, Fisheries and Oceans Canada.*

Aucune naissance de phoque gris n'étant observée à Saint-Pierre et Miquelon, la migration des phoques gris, au moins celles des adultes reproducteurs, vers d'autres sites en hiver était une

évidence. Ces deux suivis de femelles adultes confirment qu’une partie au moins de ces phoques gris observés en été dans l’archipel se reproduisent sur l’île de Sable, principale colonie de reproduction de l’espèce en Atlantique nord-ouest (den Heyer *et al.* 2020). Des suivis satellitaires de phoques gris réalisés à partir de Saint-Pierre et Miquelon en 2017 avaient déjà souligné cette connectivité, avec l’île de Sable principalement et les îles de la Madeleine dans le Golfe du Saint-Laurent dans une moindre mesure (Stenson *et al.*, données non publiées).

Rythmes d’activité

Les données comportementales enregistrées, résumées puis transmises par les balises ont permis d’étudier notamment les rythmes d’activité des phoques.

En moyenne, les phoques (deux espèces confondues) ont passé 12.3% de leur temps à sec, 30.5% de leur temps dans l’eau en surface et 57.2% de leur temps en mer sous au moins 1.5m de profondeur (Figure B2.07). Ces données rappellent que ces mammifères marins passent la majorité de leur temps sous l’eau. Ils reviennent en surface pour respirer, et plus rarement à terre pour se reposer. Les suivis ayant été réalisés en dehors des saisons de reproduction et de mue des phoques veaux-marins (et les données des deux phoques gris à terre pendant la reproduction ayant été omises de la Figure B2.07), ces chiffres sont valables en dehors de ces deux périodes clés du cycle annuel des phoques.

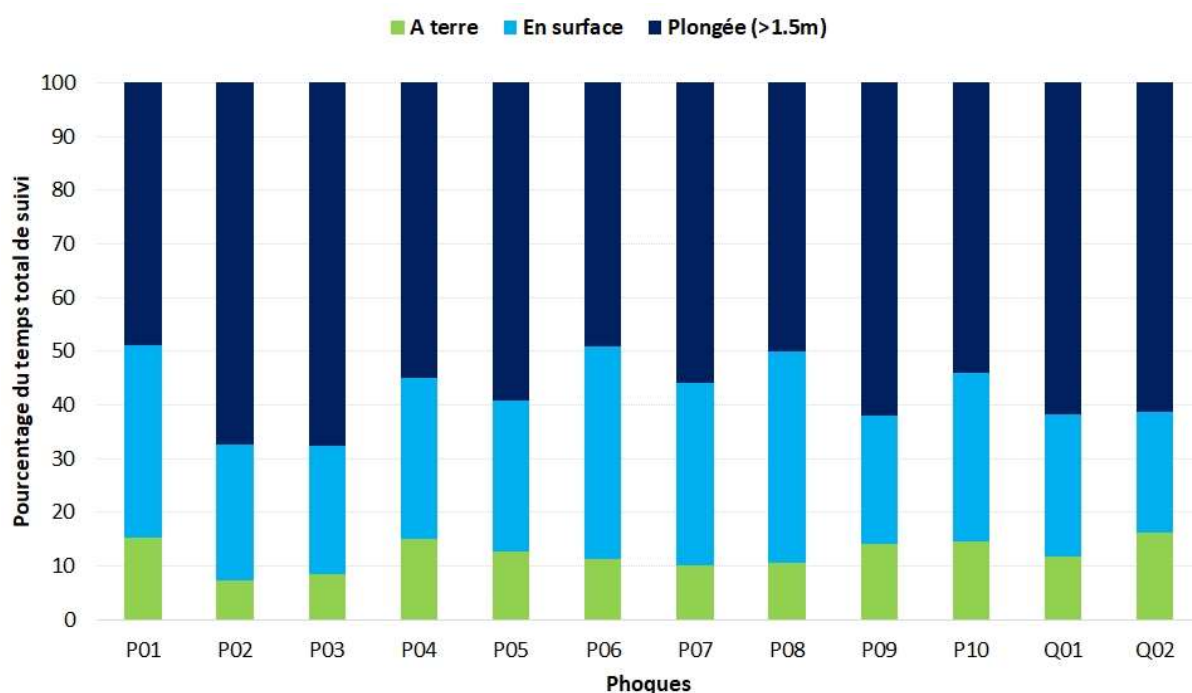


Figure B2.07 : Répartition du temps de suivi télémétrique des 10 phoques veaux-marins (P01 à P10) et 2 phoques gris (Q01 et Q02, à droite) à terre (en vert), dans l’eau à la surface (en bleu clair) ou dans l’eau à au moins 1.5m de profondeur (en bleu foncé) sur la durée totale du suivi (hors reproduction des phoques gris sur l’île de Sable).

Zones et rythmes de repos à terre

Les suivis télémétriques permettent de suivre en continu le comportement et les localisations des phoques, de jour comme de nuit. Les zones de repos à terre ont ainsi pu être localisées sur la totalité du temps de suivi télémétrique (Figure B2.08). Quelques « repos à sec » ont été enregistrés par les balises en pleine mer, lorsque les phoques flottent à la surface pendant plus de dix minutes sans plonger et que la mer est très calme : abstraction faite de ces quelques points en mer, les autres sites de repos à sec sont localisés le long des côtes de Saint-Pierre et Miquelon (ou de Terre-Neuve le cas échéant). A l'exception de l'île verte et du platier des Veaux-marins, toutes les zones couvertes par les recensements exhaustifs ont été fréquentées par ces phoques, même lorsque leur zone de capture en était éloignée. Les zones de captures des phoques sont néanmoins largement utilisées (port de Saint-Pierre, Grand Barachois, nord de Langlade).

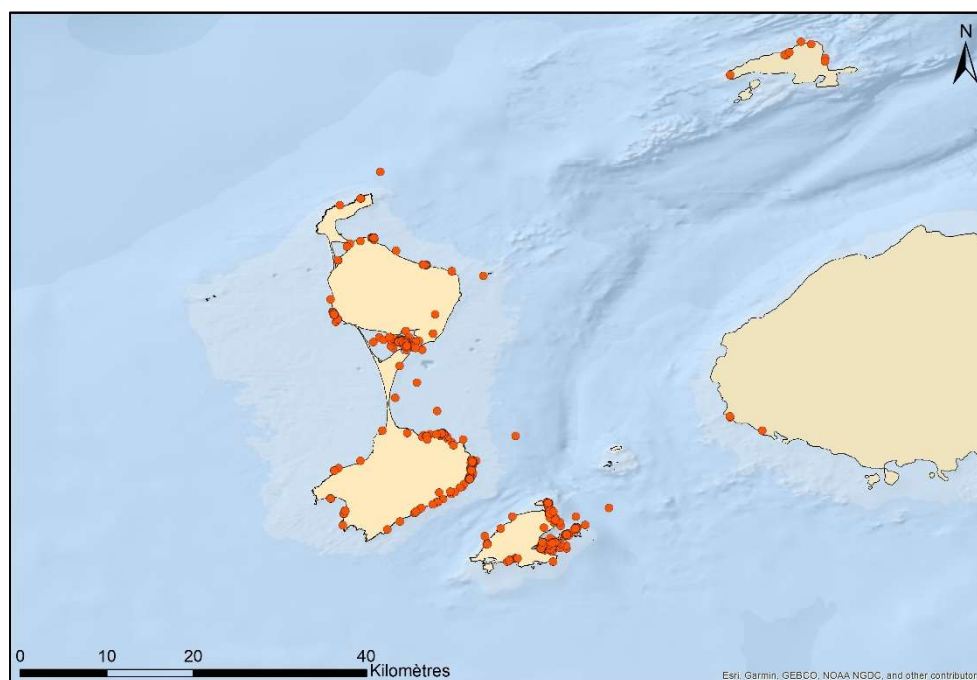


Figure B2.08 : Carte des localisations des « repos à sec » enregistrés par les balises des 12 phoques suivis à partir de Saint-Pierre et Miquelon en 2019 et 2020.

Les phoques veaux-marins suivis par balises ont passé en moyenne 12% de leur temps à terre (à sec). Ce pourcentage est significativement plus faible que celui de phoques de la même espèce suivis avec les mêmes balises dans d'autres colonies en France métropolitaine (Figure B2.09 ; test de Kruskal Wallis, $p < 0.0001$). Le pourcentage de temps passé à terre par les deux femelles phoques gris (13.3% du temps en moyenne) est également très faible par rapport aux phoques de la même espèce sur d'autres sites (en Iroise et baie de Somme, Figure B2.10), mais le nombre d'individus suivis à Saint-Pierre et Miquelon reste trop faible pour tester la significativité de cette différence. Les possibles explications pour un faible pourcentage de temps passé à terre sont multiples : elles peuvent être liées aux différences de températures dans les différents sites d'étude (impactant la thermorégulation), ou à un besoin accru de passer du temps en mer pour chasser (moindre disponibilité alimentaire ou plus forte compétition intra- ou interspécifique). L'état actuel des

connaissances sur Saint-Pierre et Miquelon ne permet pas de conclure sur les causes de cette différence régionale.

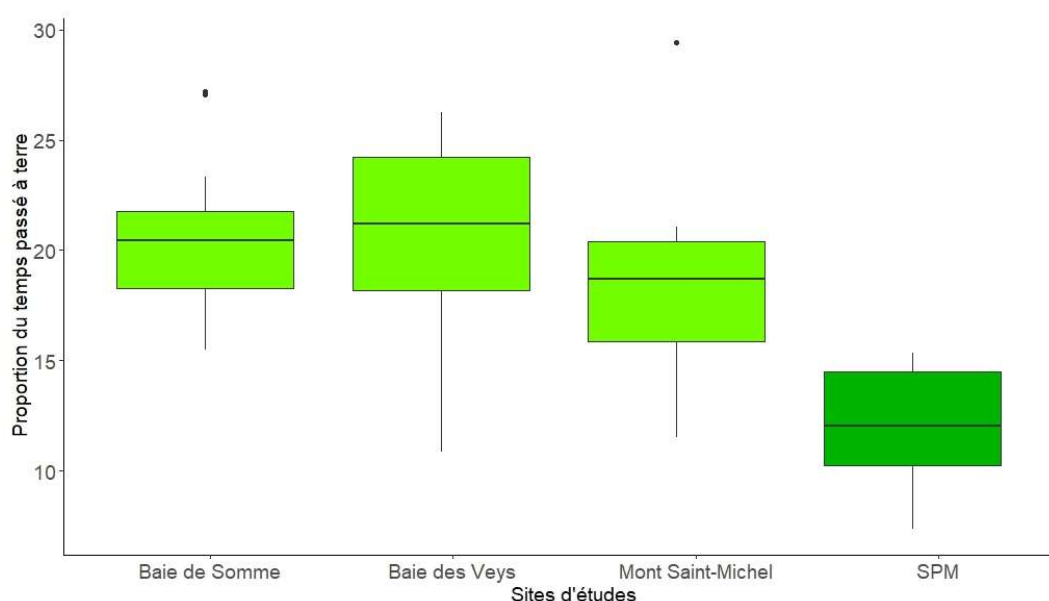


Figure B2.09 : Comparaison des pourcentages globaux de temps passé à terre par les phoques veaux-marins suivis par balises GPS/GSM dans différentes colonies en France : en baie de Somme (25 individus, Vincent *et al.* (2021), en baie des Veys (26 individus, Vincent *et al.* (2010b), en baie du Mont Saint-Michel (8 individus, Vincent *et al.* (2008) et à Saint-Pierre et Miquelon (SPM, 10 individus, cette étude).

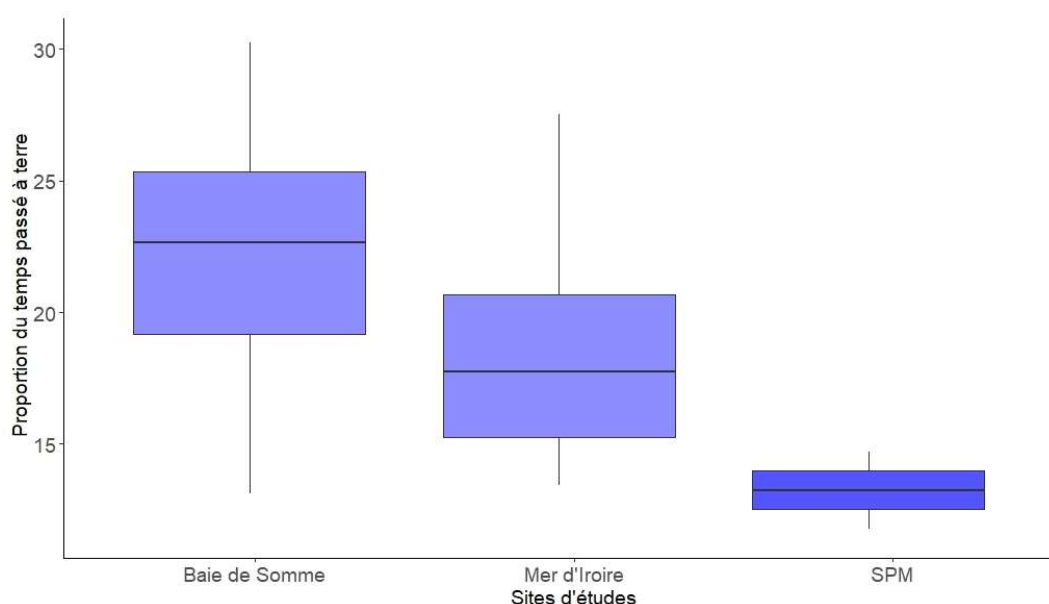


Figure B2.10 : Comparaison des pourcentages globaux de temps passé à terre par les phoques gris suivis par balises GPS/GSM dans différentes colonies en France : en baie de Somme (24 individus, Vincent *et al.* (2021), en mer d'Iroise (21 individus, Vincent *et al.* (2015) et à Saint-Pierre et Miquelon (SPM, 2 individus, cette étude).

La Figure B2.11 détaille le nombre de repos à terre quotidiens des phoques suivis par balises. Ces chiffres ne présagent pas de la durée des repos à terre, mais bien du nombre de fois où le phoque est sorti de l'eau (sur un rocher ou un banc de sable) puis où il est retourné à l'eau. En moyenne, dans 47% des cas, les phoques ne se posent pas du tout à sec sur 24 heures. Des variations importantes sont observées entre individus : 7 phoques veaux-marins se posent moins d'un jour sur deux (plus de 50% des jours sans aucun repos à terre), mais d'autres (P03 et P04 en particulier) se posent à terre au moins une fois dans 75% des jours de suivi (Figure B2.11). Lorsqu'ils se posent à terre dans une journée, la plupart des phoques ne le font qu'une seule fois, mais ils peuvent aussi se poser à sec deux voire trois fois dans la journée. Les chiffres supérieurs (jusqu'à 6 fois par jour) sont plus rares. Les durées et localisations de ces repos à terre successifs ne sont pas détaillés ici ; ces repos à terre successifs sur une journée peuvent être liés à plusieurs facteurs : un phoque peut être dérangé (par d'autres animaux du groupe, la marée montante ou des vagues, par des activités humaines, etc.) et interrompre un repos à sec pour se déplacer sur un autre, ou bien il peut choisir de partir en mer se nourrir puis revenir se poser à sec pour un nouveau repos dans un délai de moins de 24 heures.

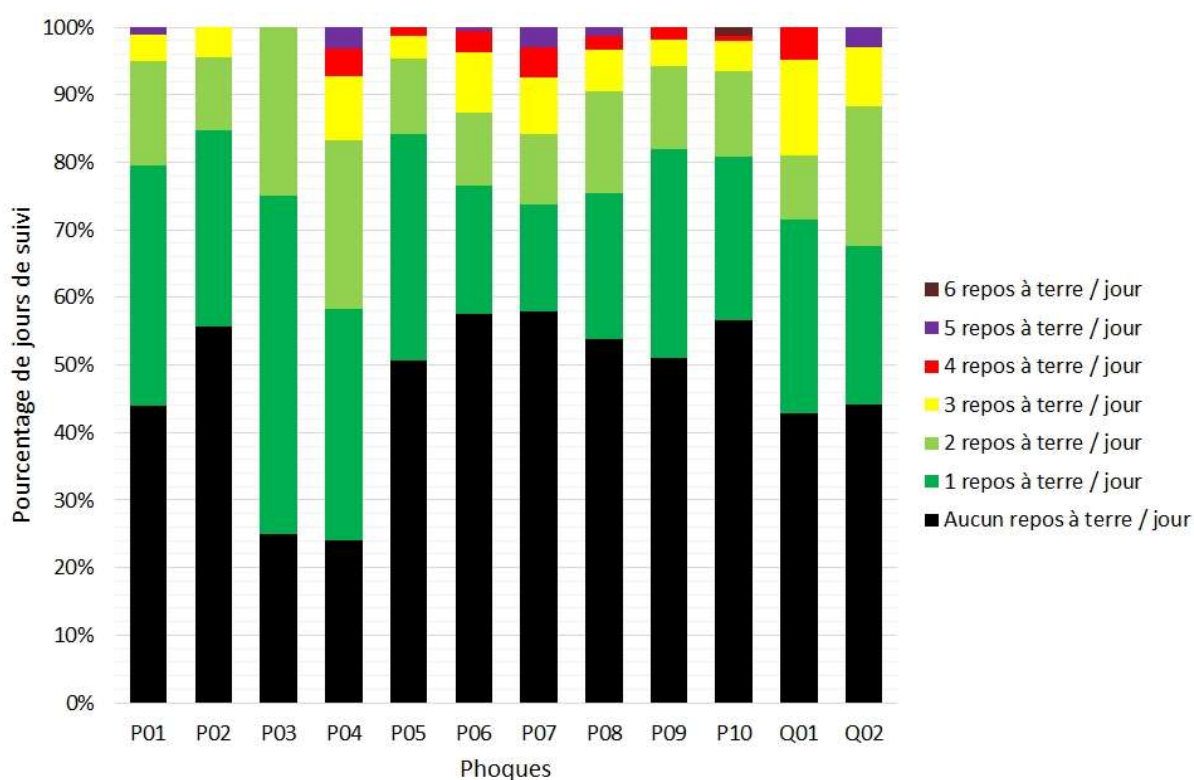


Figure B2.11 : Distribution du nombre de repos à terre quotidiens pour chacun des 12 phoques suivis par balises à partir de Saint-Pierre et Miquelon. Deux repos à terre successifs sont considérés comme indépendants à partir du moment où le phoque (la balise) passe au moins 40 secondes dans l'eau.

Les rythmes de repos à sec ont été analysées en fonction de l'heure de la journée et du cycle de marées. Seules les localisations obtenues à terre ont été conservées pour ces analyses, et les deux espèces de phoques sont étudiées séparément.

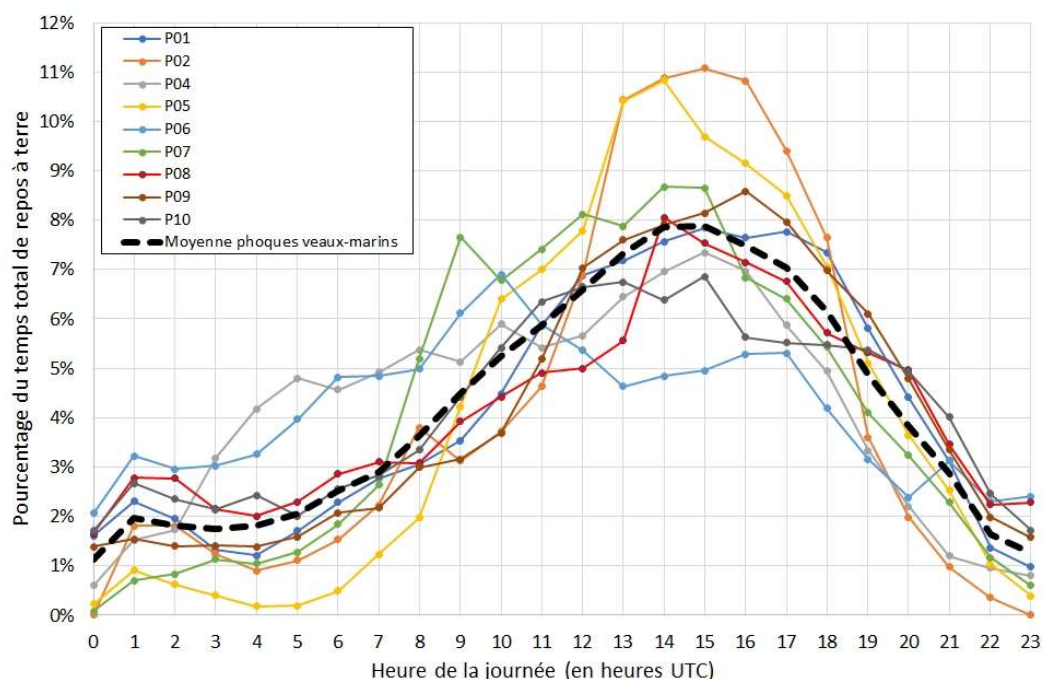


Figure B2.12 : Distribution du pourcentage de temps passé à terre par les phoques veaux-marins équipés de balise en fonction de l'heure de la journée (en heures UTC). Pour obtenir les équivalents en heure locale, enlever 2h pour l'heure d'été ou 3h pour l'heure d'hiver à Saint-Pierre et Miquelon).

Autour des îles de Saint-Pierre et Miquelon et dans le Grand Barachois, les phoques veaux-marins suivis par balises se sont majoritairement reposés à terre en journée, entre 9h et 20h UTC environ (soit 7h-18h locales en été, ou 6h-17h en hiver ; Figure B2.12). Le pic de présence à terre se situe entre 14h et 15h UTC (soit 12h-13h locales en été, 11 h-12h en hiver), c'est-à-dire au moment de plus fort ensoleillement. Ce résultat concorde avec ce qui est connu pour de l'espèce dans d'autres régions du monde (e.g. Pauli & Terhune 1987), il s'explique par la préférence des phoques de se poser à sec lorsque la température de l'air est supérieure, afin d'améliorer leur thermorégulation et de réduire leurs dépenses énergétiques au minimum pendant ces temps de repos (Blanchet *et al.* 2021).

Un autre cycle influence les rythmes de repos à terre des phoques : le cycle tidal. Les phoques veaux-marins ont passé beaucoup plus de temps à terre à marée basse qu'à marée haute (Figure B2.13). En moyenne, le pic de présence à terre se situe environ 1h30 après la basse mer, mais la distribution des temps passés à terre varie selon les individus. Globalement, le pourcentage de temps passé à terre est plus important entre 1 heure avant la basse mer et 3 heures après (Figure B2.13). Une telle influence du rythme de marée sur les repos à terre des phoques (notamment veaux-marins) est courante dans lorsqu'ils fréquentent des écosystèmestidaux (Hamilton *et al.* 2014, Pauli & Terhune 1987, Granquist & Hauksson 2016), néanmoins selon les sites, l'affluence maximale des phoques sur les reposoirs peut se situer avant ou après l'heure de basse mer (Hayward *et al.* 2005). A Saint-Pierre et Miquelon, le marnage est faible, mais il est suffisant pour faire émerger ou immerger les reposoirs (bancs de sable) dans le Grand Barachois notamment. La disponibilité des côtes rocheuses à toute

heure de la marée autour des îles de Langlade et Miquelon notamment explique que le pourcentage de temps passé à sec n'est pas nul à marée haute.

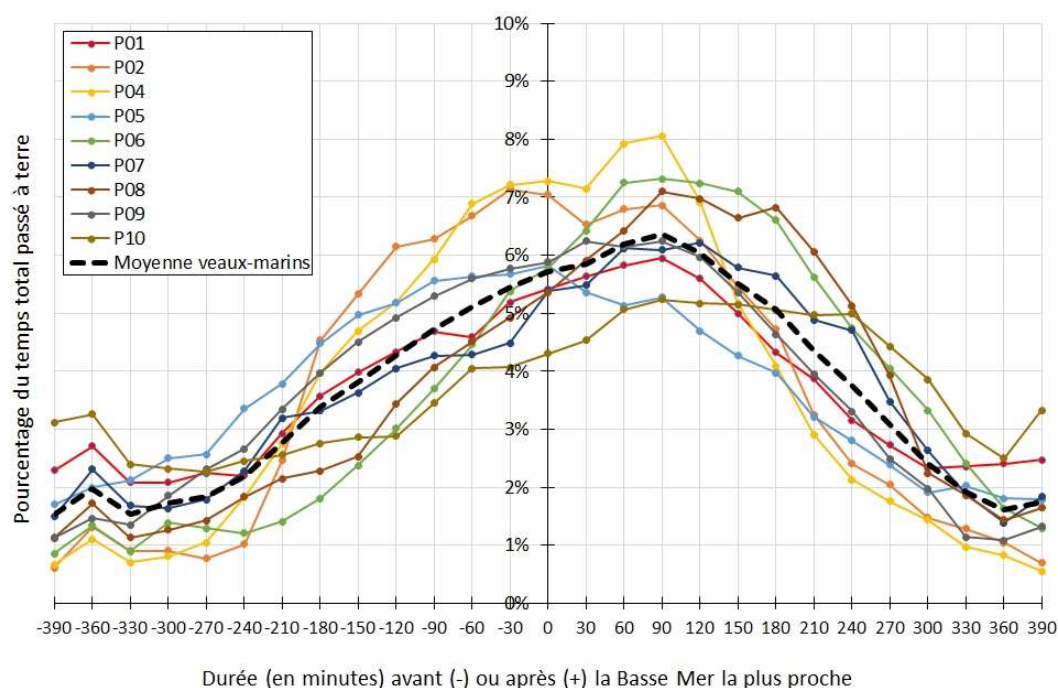


Figure B2.13 : Distribution du pourcentage de temps passé à terre par les phoques veaux-marins équipés de balise en fonction du délai avant (-) ou après (+) la basse mer la plus proche (par classes de 30 minutes).

Avec seulement deux phoques gris suivis par balises, restés dans l'archipel seulement 22 et 24 jours respectivement, la description du rythme de repos à terre pour cette espèce reste très parcellaire. Les Figures B2.14 et B2.15 illustrent les mêmes distributions des temps passés à terre par les phoques en fonction du rythme nycthéral et tidal respectivement, pour les deux phoques gris suivis par balises. Les deux femelles ont eu des rythmes légèrement différents par rapport à l'heure de la journée, Q01 se posant préférentiellement à terre entre 13h et 18h UTC (soit 11h-16h locale en été) tandis que Q02 a une distribution bimodale de son temps passé à terre, préférentiellement de 3h à 7h UTC puis de 14h à 19h UTC (Figure B2.14). L'influence du rythme de marée est en revanche remarquablement similaire pour les deux phoques gris, qui se posent préférentiellement à sec entre 1h30 avant la marée basse et 4h3 après (avec un pic maximal entre 30 minutes avant et 4h après la basse mer ; Figure B2.15).

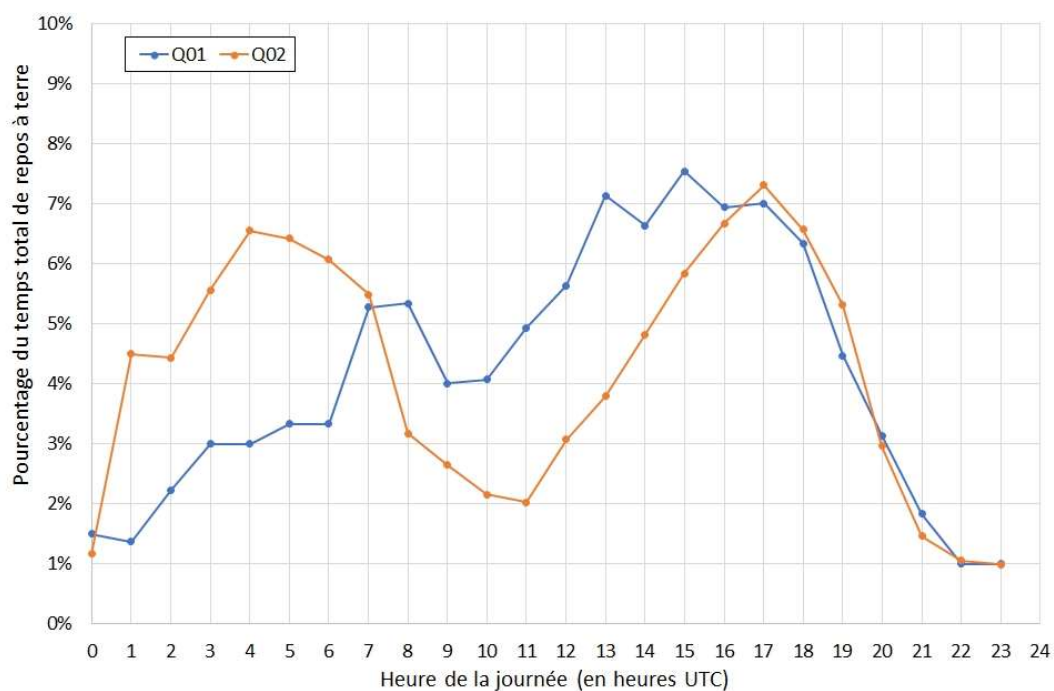


Figure B2.14 : Distribution du pourcentage de temps passé à terre par les deux phoques gris équipés de balise en fonction de l'heure de la journée (en heures UTC).

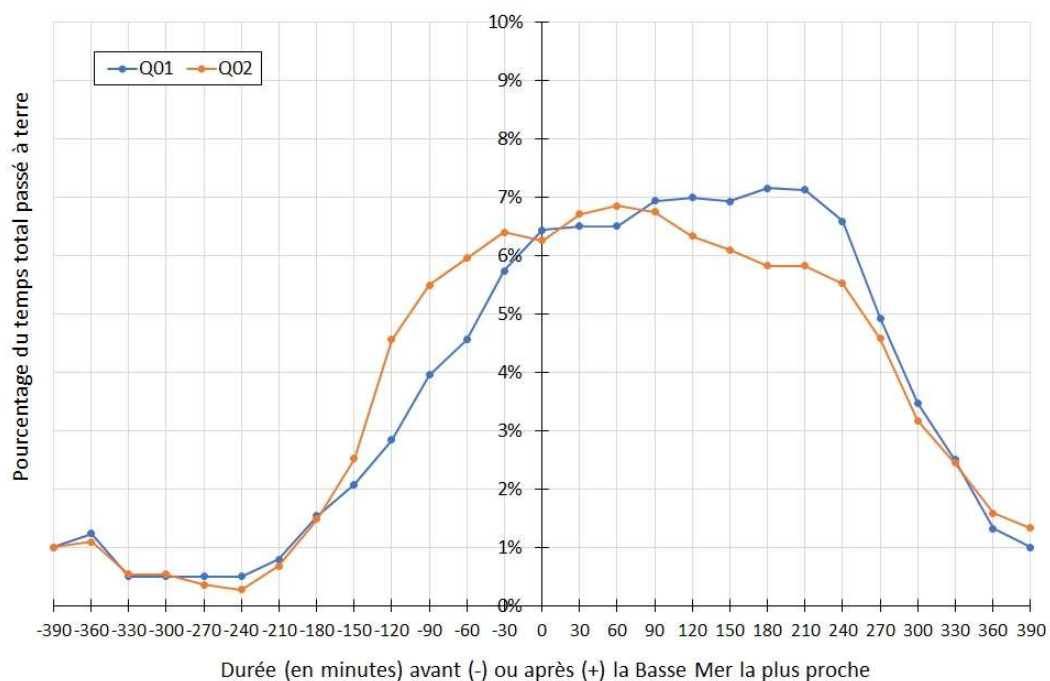


Figure B2.15 : Distribution du pourcentage de temps passé à terre par les phoques gris équipés de balise en fonction du délai avant (-) ou après (+) la basse mer la plus proche (par classes de 30 minutes).

Facteurs de correction des recensements

Les recensements des phoques à terre permettent d'estimer une abondance relative, soit une proportion (variable selon les saisons, cf. Hall & Russell, 2018 et Teilmann & Galatius, 2018) du nombre total de phoques fréquentant une région donnée. Même en choisissant le moment optimal du recensement, lorsque la proportion de phoques à terre est censée être maximale (*e.g.* Hamilton et al. 2014), les comptages ne permettent jamais d'accéder à 100% des animaux. Un certain nombre d'entre eux sont en mer pour chasser ou se déplacer. Grâce aux données de comportement et localisations transmises par les balises, il est possible d'identifier pour chaque date et heure de recensement potentiel, si les individus suivis par balise étaient bien à sec le long des côtes de l'archipel au moment du recensement, ou s'ils étaient en mer. Ces données peuvent être compilées pour estimer un pourcentage de phoques présents au moment des recensements, et donc un facteur de correction des recensements permettant d'estimer une abondance totale de phoques dans la région à ce moment-là.

Pour réaliser ce calcul, la période « théorique optimale » de recensement est déterminée à partir des résultats précédemment décrits de rythmes de repos à terre des phoques équipés de balises. Ce calcul n'a pu être effectué que pour les phoques veaux-marins (puisque seuls deux phoques gris ont été suivis par balises, et n'ont passé qu'une partie de leur temps autour de Saint-Pierre et Miquelon). Pour les phoques veaux-marins, la période « théorique optimale » de recensement a été estimée entre 14h et 15h UTC, et entre basse mer +1h et basse mer + 2h (cf. Figures B2.12 et B2.13). Les phoques ayant été suivis par balises entre octobre et février, les calculs suivants ne sont valables que pour cette période de l'année. En particulier, il est connu que la proportion de temps passé à terre augmente nettement pendant la reproduction et la mue, soit de mai à août pour le phoque veaux-marin à Saint-Pierre et Miquelon : la proportion de temps passé à terre estimée à partir des présentes données de télémétrie ne peut donc pas s'appliquer aux saisons printanière et estivale.

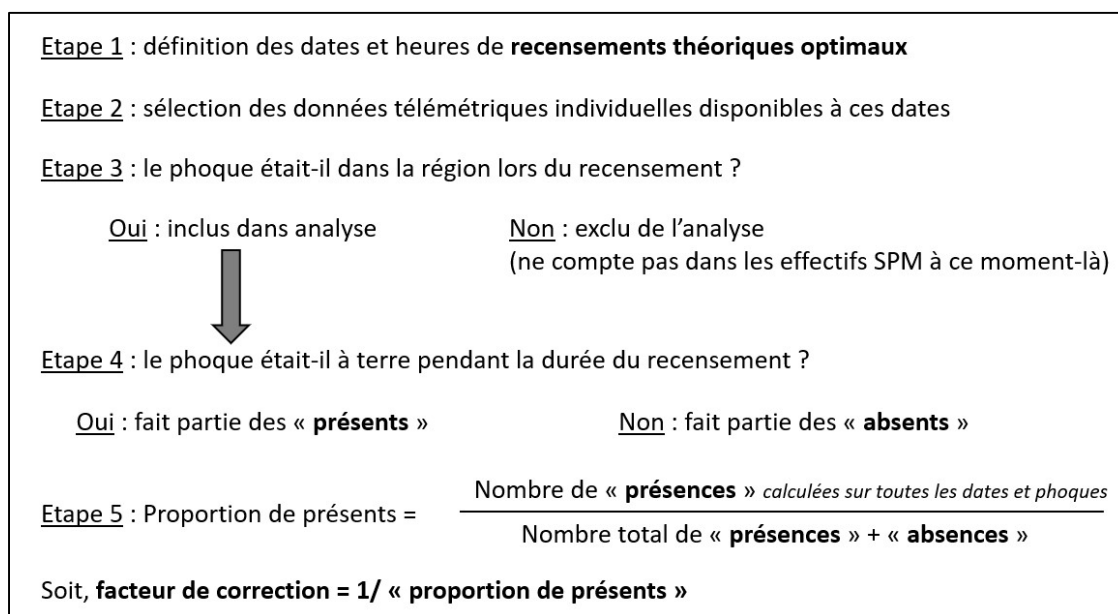


Figure B2.16 : description des étapes successives du calcul du facteur de correction des recensements. Voir détails ci-après sur la définition de la « région » autour de Saint-Pierre et Miquelon.

Afin de bien estimer le nombre total de phoques fréquentant les eaux autour de Saint-Pierre et Miquelon, les données des phoques P01 (lorsqu'il était en baie de Fortune) et surtout P03 (en baie de Plaisance) ont été exclues de ces analyses, car considérés « hors de la région de Saint-Pierre et Miquelon ». Les phoques ont ainsi été considérés comme présents dans la région s'ils réalisaient des trajets en mer à partir d'un reposoir situé sur les côtes de l'archipel, et revenant se poser à terre également à Saint-Pierre et Miquelon au retour de ce voyage en mer (y compris lors de longs voyages en mer sur le banc de Saint-Pierre par exemple). Le détail du calcul du pourcentage de phoques présents pendant les créneaux de recensements optima théoriques est présenté en Figure B2.16.

Au total, 33 dates de « recensement optimal potentiel » ont été identifiées pendant les suivis télémétriques (d'au moins 1 individu), pour un total de 128 échantillonnages (détermination présence/absence à terre de chaque phoque équipé de balise). En moyenne, les phoques étaient présents à terre à Saint-Pierre et Miquelon pendant 41% des recensements (intervalle de confiance à 95% : 33-50%). Cela signifie que le facteur de correction, pour des recensements réalisés entre octobre et février aux heures de marée préconisées, est de x2.4 en moyenne (intervalle de confiance : x2.0 à x3.0).

Aucun des recensements complets réalisés autour de l'archipel depuis 2016 ne réunit toutes les conditions citées ci-dessus (recensement réalisé entre octobre et février, entre 14h et 15h UTC, et entre basse mer +1h et basse mer + 2h). Le recensement du 06/09/2021 est celui qui se rapproche le plus de ces conditions, avec un recensement réalisé entre 12h et 16h heure locale (14h-18h UTC) et une basse mer à 14h29 heure locale (16h29 UTC), mais début septembre correspond à la fin de période de mue des phoques veaux-marins et n'entre pas dans la période (octobre-février) pour laquelle le facteur de correction a été estimé. Les phoques passant plus de temps à terre pendant la mue (pas tout à fait finie début septembre), l'application du facteur de correction pourrait surestimer l'abondance totale des phoques. La seconde date se rapprochant un peu des conditions théoriques optimales est le recensement du 15/11/2016 (basse mer à 15h35 heure locale, et comptages entre 9h15 et 16h15 heure locale). Ce jour-là, 856 phoques veaux-marins ont été comptés. En appliquant les facteurs de correction, on obtient une estimation totale de 2067 phoques veaux-marins potentiellement présents autour de Saint-Pierre et Miquelon (intervalle de confiance à 95% : 1713-2607). Ce calcul est à considérer avec beaucoup de précautions en raison des différentes incertitudes précédemment citées (faible nombre de phoques suivis par balises, adéquation incomplète des conditions de recensements aux conditions théoriques optimales...) mais permet d'obtenir un premier ordre de grandeur de la population de phoques veaux-marins à Saint-Pierre et Miquelon. Le facteur de correction fourni ici pourra servir aux prochains recensements réalisés dans les créneaux horaires proposés entre octobre et février. Il serait également souhaitable à l'avenir d'obtenir de nouvelles données télémétriques sur les phoques gris à Saint-Pierre et Miquelon pour élargir ce calcul de facteur de correction des recensements aux effectifs de phoques gris.

Zones et rythmes de chasse

Le comportement de recherche alimentaire des phoques en mer a pu être étudié grâce aux capteurs de pression et à l'accéléromètre 3D intégrés aux balises Argos. Les plongées individuelles ont été considérées comme « plongées probables de chasse » lorsqu'au moins une tentative de capture de proie (*Prey Capture Attempts*, Ydesen et al. (2014)) a été détectée. Pour répondre aux objectifs de la présente étude, seules les plongées réalisées autour de Saint-Pierre et Miquelon (jusqu'au banc de Saint-Pierre inclus et jusqu'aux côtes de Terre-Neuve mais pas au-delà) ont été analysées pour documenter le comportement des phoques spécifiquement autour de l'archipel. Les plongées de chasse probable représentent $22 \pm 7\%$ de l'ensemble des plongées individuelles des phoques veaux-marins suivis par balise, contre $19 \pm 4\%$ pour les phoques gris. La distribution spatiale de ces plongées probables de chasse a alors été documentée grâce aux densités de Kernel (à 50, 75 et 95% pour les zones de chasse probables des plus aux moins denses respectivement).

Sans surprise, ces zones d'alimentation des phoques (Figures B2.17a et b) suivent en grande partie les schémas de distribution observés sur les cartes de déplacements des Figures B2.05a et b. La majorité des zones de chasse probables des phoques ont ainsi très côtières. Cinq phoques veaux-marins (P01, P02, P04, P05 et P10) ont chassé autour de l'île de Saint-Pierre dont deux (P02 et P04) exclusivement dans cette zone, à proximité du port. Six phoques (P06, P07, P08, P10, Q01 et Q02) ont chassé régulièrement au niveau du Grand-Barachois. Parmi ces phoques, deux (P06 et Q02) ont chassé également près de l'Étang de Mirande, au nord de la Grande Miquelon. Certains (P06, P07 et Q02) ont des zones de chasse probable à l'ouest de Saint-Pierre-et-Miquelon. Enfin, les trois phoques veaux-marins (P07, P08 et P10) qui se sont déplacés sur le banc de Saint-Pierre environ 80 km au sud de l'archipel y ont effectivement chassé. Les zones de chasse probable de l'individu P10 sont plus larges que celles des autres phoques veaux-marins. En effet, celui-ci a principalement chassé à l'est de Saint-Pierre-et-Miquelon, aux alentours de l'île verte et de Saint-Pierre mais également à environ 100 km au sud de Saint-Pierre-et-Miquelon. Il est important de rappeler que les femelles phoques gris Q01 et Q02 sont restées moins de 4 semaines à Saint-Pierre et Miquelon au cours de leur suivi télémétrique, les zones de chasse probable identifiées peuvent donc être ponctuelles. De la même façon, la femelle phoque veau-marin P03 étant très rapidement partie de l'archipel pour se nourrir le long des côtes de Terre-Neuve, ce phoque ne figure pas dans les cartes de la Figure B2.17a.

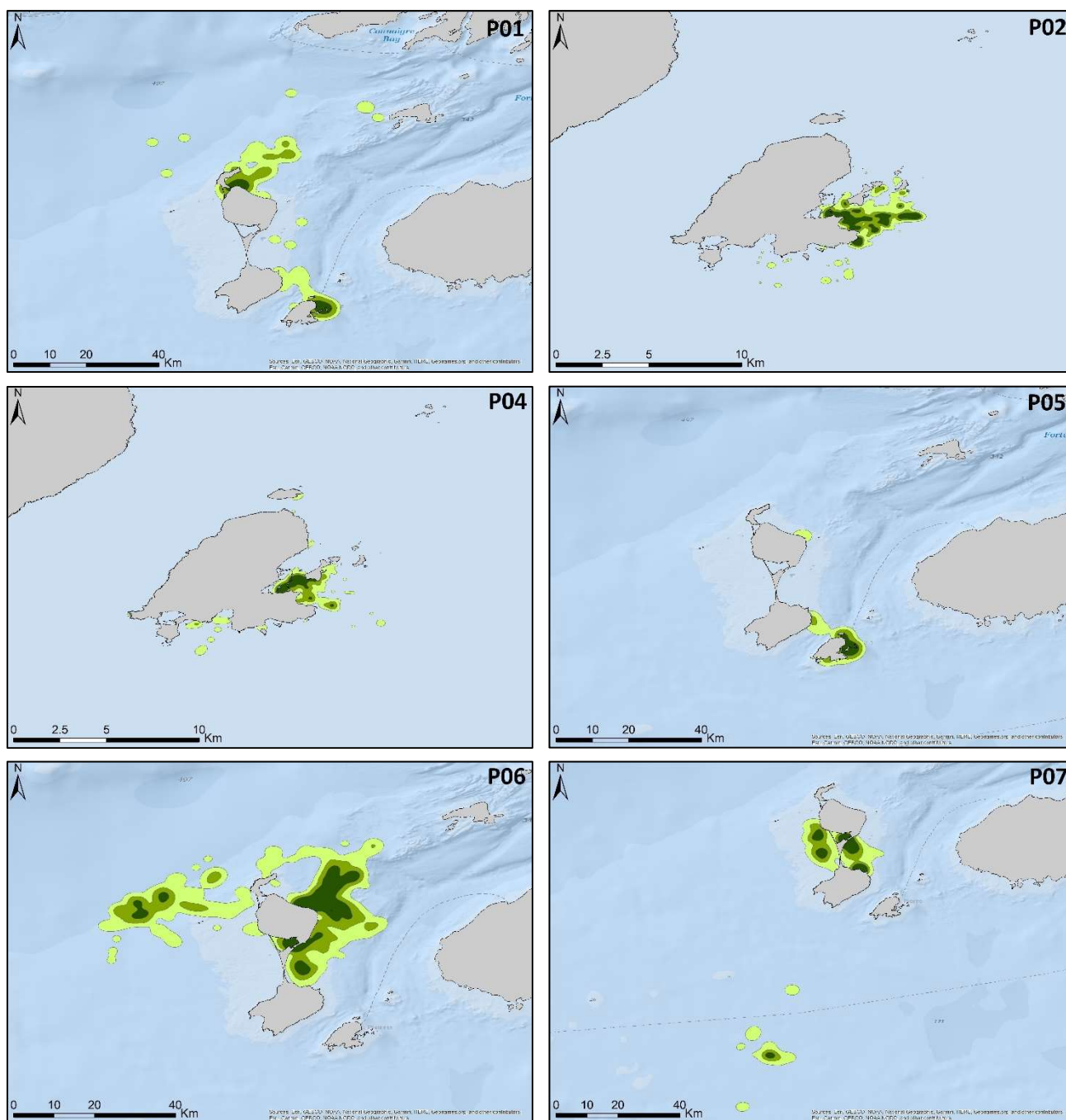


Figure B2.17a : Distribution spatiale des zones de chasse probables des phoques veaux-marins (P01 à P07) suivis par balises Argos à partir de Saint-Pierre et Miquelon. Seules les plongées de chasse probable localisées autour de l'archipel sont prises en compte sur ces cartes. Les densités de Kernel à 95, 75 et 50% indiquent respectivement les zones de concentrations croissantes de ces plongées de chasse probable (couleurs de plus en plus foncées).

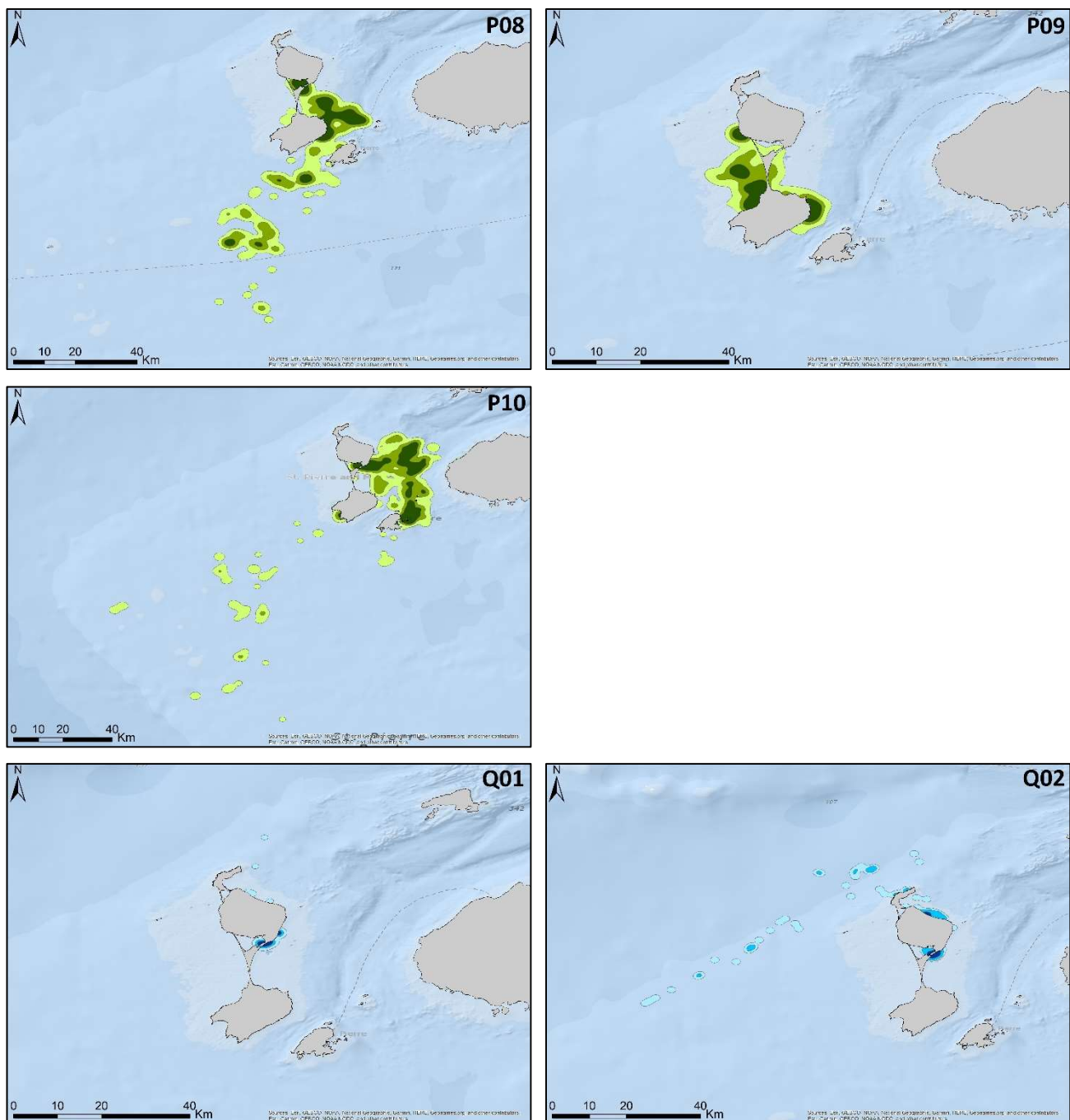


Figure B2.17b : Distribution spatiale des zones de chasse probables des phoques veaux-marins (P08 à P10, en vert) et phoques gris (Q01 et Q02, en bleu) suivis par balises Argos à partir de Saint-Pierre et Miquelon. Seules les plongées de chasse probable localisées autour de l'archipel sont prises en compte sur ces cartes. Les densités de Kernel à 95, 75 et 50% indiquent respectivement les zones de concentrations croissantes de ces plongées de chasse probable (couleurs de plus en plus foncées).

Le positionnement des phoques dans la colonne d'eau lors de leur comportement de chasse probable a été étudié en calculant le ratio de la profondeur maximale de plongée par la profondeur disponible (soit la bathymétrie à la verticale de chaque plongée des phoques). Ce ratio varie entre 0 et 1, où 0 indique que les plongées sont proches de la surface et où 1 indique que les plongées sont sur ou proches du fond marin. Le seuil de 0.95 a été choisi pour identifier si la plongée est plutôt benthique (> 0.95) ou pélagique (< 0.95) (Jessop *et al.* 2013). Le pourcentage de plongées « benthiques » ou « pélagiques » a ainsi été calculé. On constate une différence entre les plongées de chasse ou de non-chasse. Les plongées de chasse sont majoritairement situées à proximité du fond marin avec la totalité des médianes égales à 1 (Figure B2.18). En moyenne, 80.3 ± 11.3 % des plongées de chasse des phoques suivis par balises sont « benthiques » (contre 41.3 ± 10.8 % pour les plongées de « non chasse »). Le phoque veau-marin P08 semble avoir un comportement légèrement différent puisque la distribution de ses plongées de chasse probable est plus étendue dans la colonne d'eau (seulement 56.4% de plongées de chasse probable « benthique »).

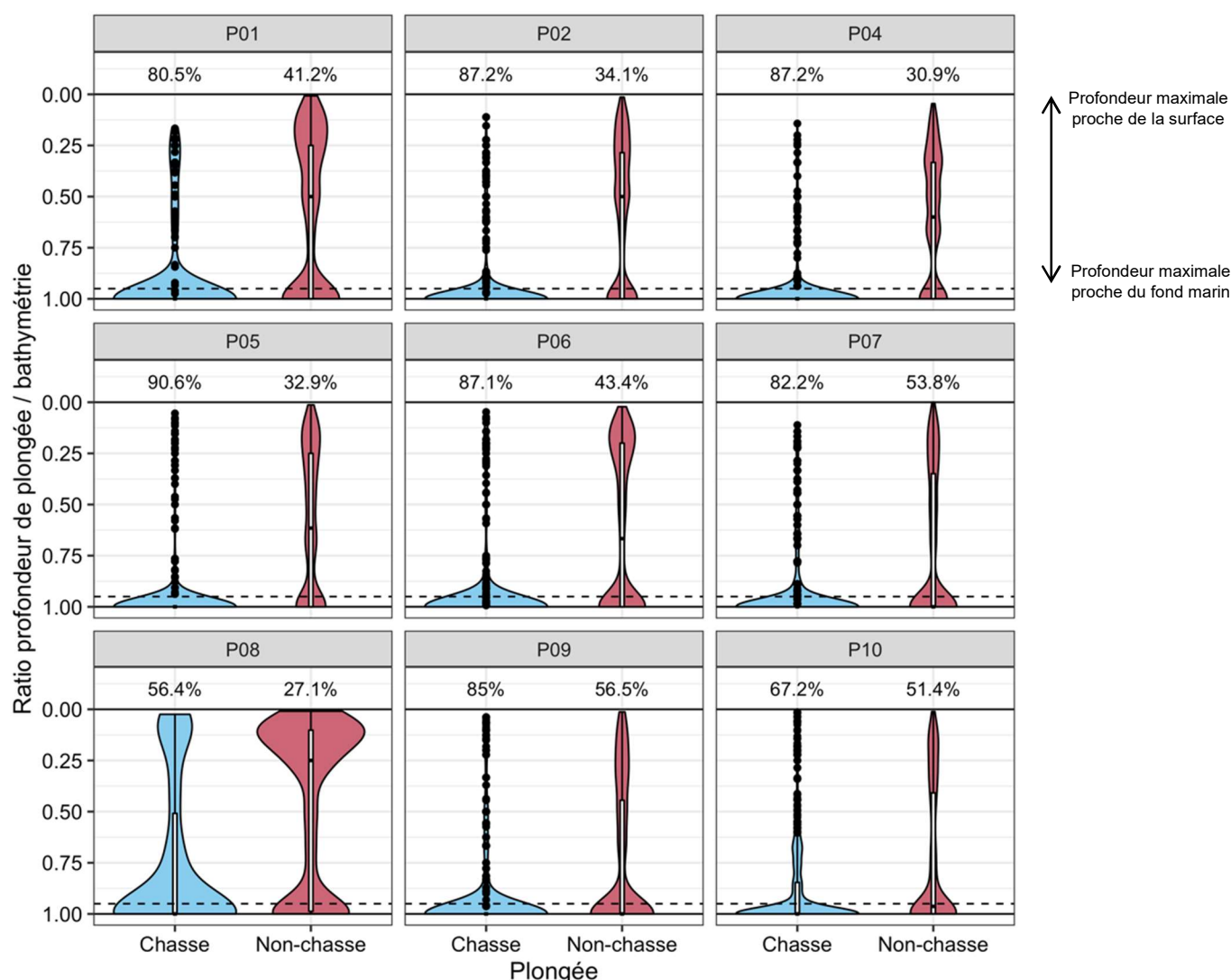


Figure B2.18 : Distribution des plongées de chasse probable (bleu) et de « non-chasse » (rouge) en fonction du ratio entre la profondeur maximale de plongée et la bathymétrie disponible. La distribution des plongées est ici caractérisée par des "diagrammes en violons" correspondant aux courbes de densité de probabilité des différentes valeurs, et par un boxplot au milieu en blanc.

Par ailleurs, les enregistrements de l'accéléromètre ont permis d'étudier plus finement le comportement des phoques sous l'eau, et particulièrement l'orientation de la tête lorsqu'ils sont à la profondeur maximale de la plongée. Lors de leurs plongées de chasse probable majoritairement benthiques, la tête des phoques est majoritairement (dans $95.6 \pm 3.6\%$ des cas) orientée vers le bas (angle $< -10^\circ$ par rapport à l'horizontale).

L'influence des rythmes nycthéméral et tidal sur le comportement de recherche alimentaire des phoques autour de Saint-Pierre et Miquelon a également été étudiée. Pour ces analyses, les plongées des phoques veaux-marins situées dans la baie de Fortune (P01) ou le long des côtes de la Péninsule de Burin (P03), ainsi que celles des phoques gris sur le plateau de Nouvelle Ecosse (Q01 et Q02) ont été exclues.

Chez les phoques veaux-marins (Figure B2.19) comme chez les phoques gris (Figure B2.20), les plongées probables de chasse sont principalement nocturnes (entre 22h et 10/12h UTC pour les phoques veaux-marins, soit 20h-8/10h heure locale en été ou 19h-7/9h heure locale en hiver, et 22h et 9h UTC pour les phoques gris). Le pourcentage de plongées de chasse probable est particulièrement faible en milieu de journée, entre 14h et 21h UTC (12h-19h en été, 11h-18h en hiver). Cette observation est cohérente puisqu'elle est inverse du rythme de repos à terre des phoques (prédominance du temps passé à terre entre 9h et 20h UTC, cf. Figure B2.12). Deux hypothèses peuvent expliquer cette observation, potentiellement complémentaires : comme nous l'avons déjà souligné les phoques préfèrent se reposer à sec en milieu de journée pour des raisons de thermorégulation (Pierotti & Pierotti 1983), mais ils peuvent également chasser préférentiellement de nuit pour 1) accéder à des proies absentes le jour et uniquement présentes la nuit dans la colonne d'eau, ou 2) être mieux cachés de ces proies en l'absence de lumière. Une telle préférence de chasse nocturne a déjà été démontrée surtout chez les phoques gris, en Atlantique Nord-Est (e.g. Russell *et al.* 2015, Vincent *et al.* 2015).

En revanche, bien que la marée soit connue pour avoir une possible influence sur les rythmes de chasse des deux espèces (Zamon 2001, Vincent *et al.* 2010a, Hastie *et al.* 2016), elle ne semble pas ici impacter le comportement de chasse des phoques équipés de balises (Figures B2.21 et B2.22). Nous avons vu que le cycle tidal a pourtant une importance évidente sur le rythme de repos à terre de ces phoques (cf. Figures B2.13 et B.15), sans doute en raison de la nécessaire émergence des reposoirs utilisés par les phoques. Pour la chasse en revanche la marée n'a que peu d'influence sur le comportement des phoques, sans doute car elle en a peu également sur la présence et le comportement des espèces proies ciblées par les phoques. Les phoques ne se posant pas tous les jours à terre (cf. Figure B2.11), leur rythme global de chasse n'est pas calqué sur le cycle de marées.

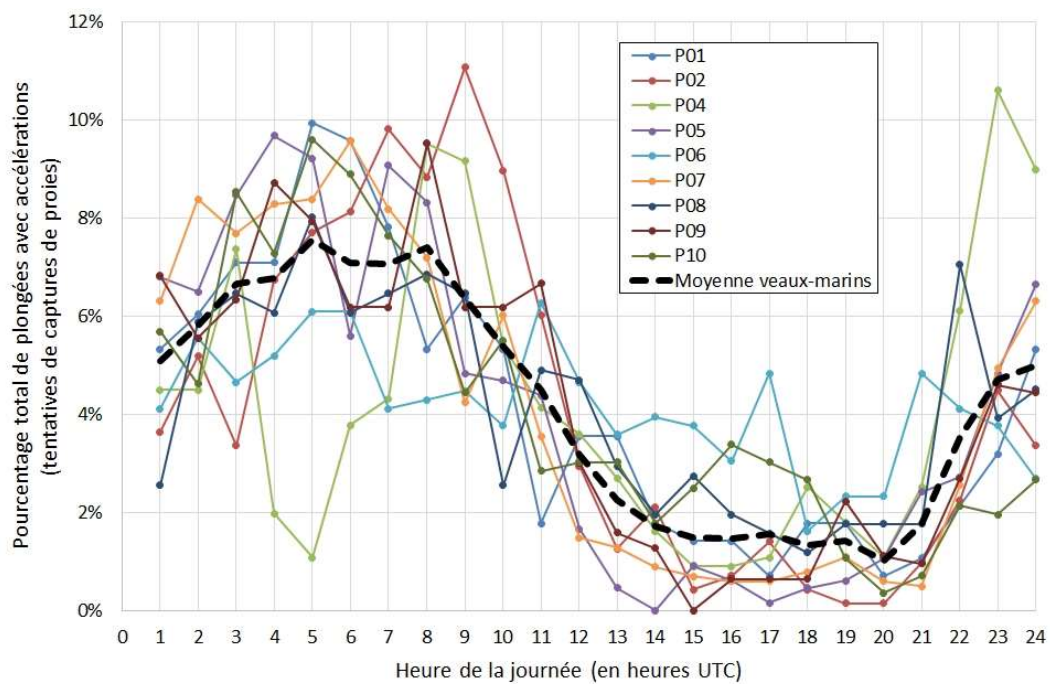


Figure B2.19 : Distribution des plongées de chasse probable des 10 phoques veaux-marins équipés de balise en fonction de l'heure de la journée (en heures UTC).

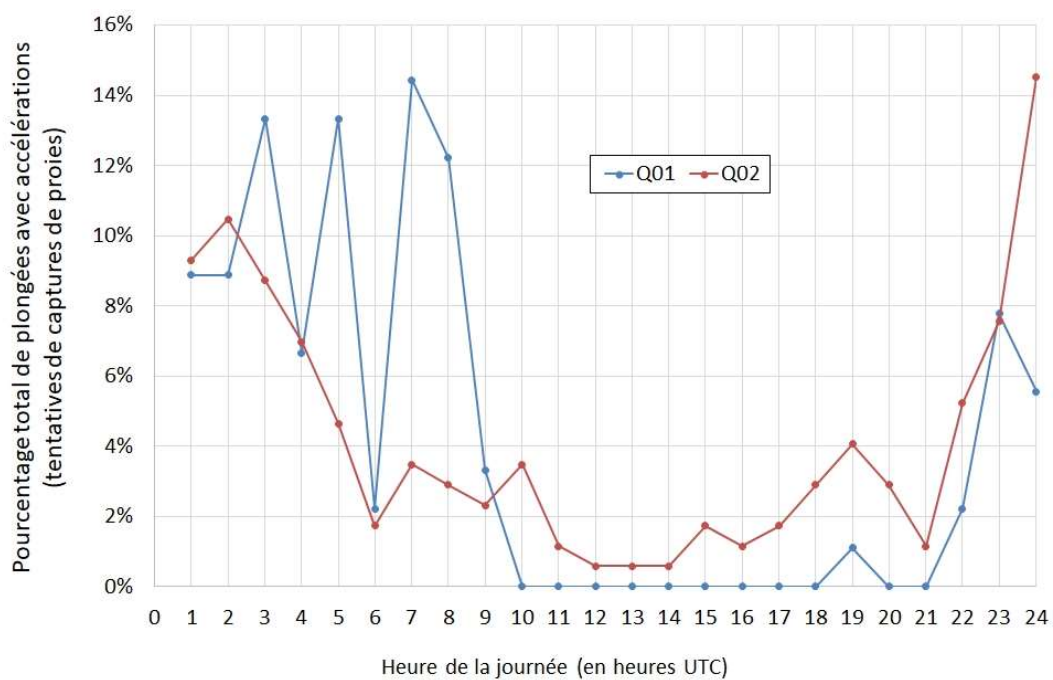


Figure B2.20 : Distribution des plongées de chasse probable des deux phoques gris équipés de balise en fonction de l'heure de la journée (en heures UTC).

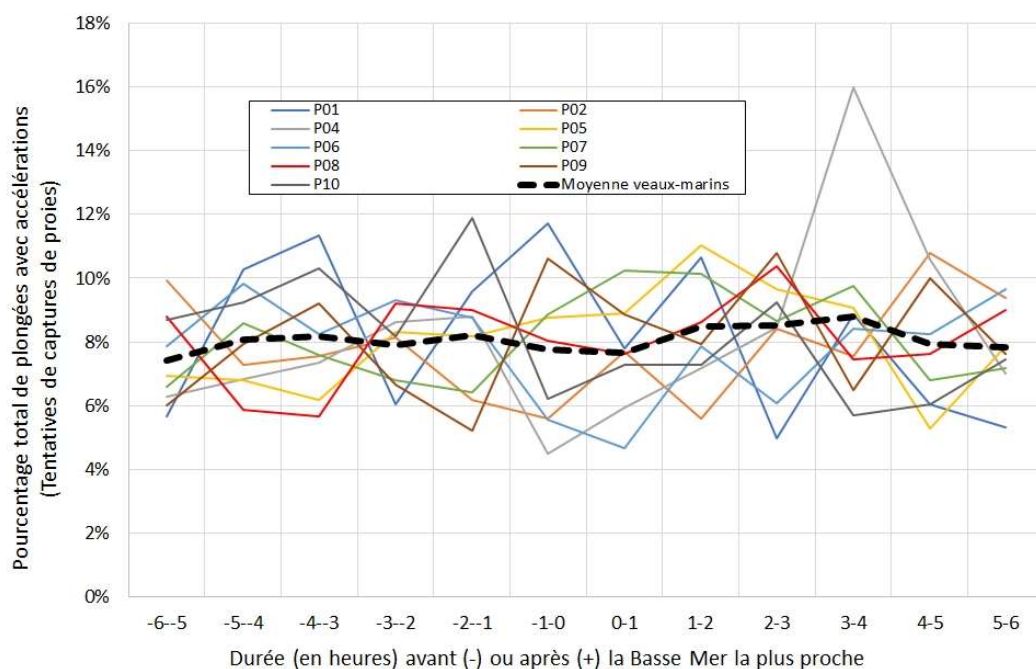


Figure B2.21 : Distribution du pourcentage de temps passé à terre par les phoques veaux-marins équipés de balise en fonction du délai avant (-) ou après (+) la basse mer la plus proche (par classes de 1 heure).

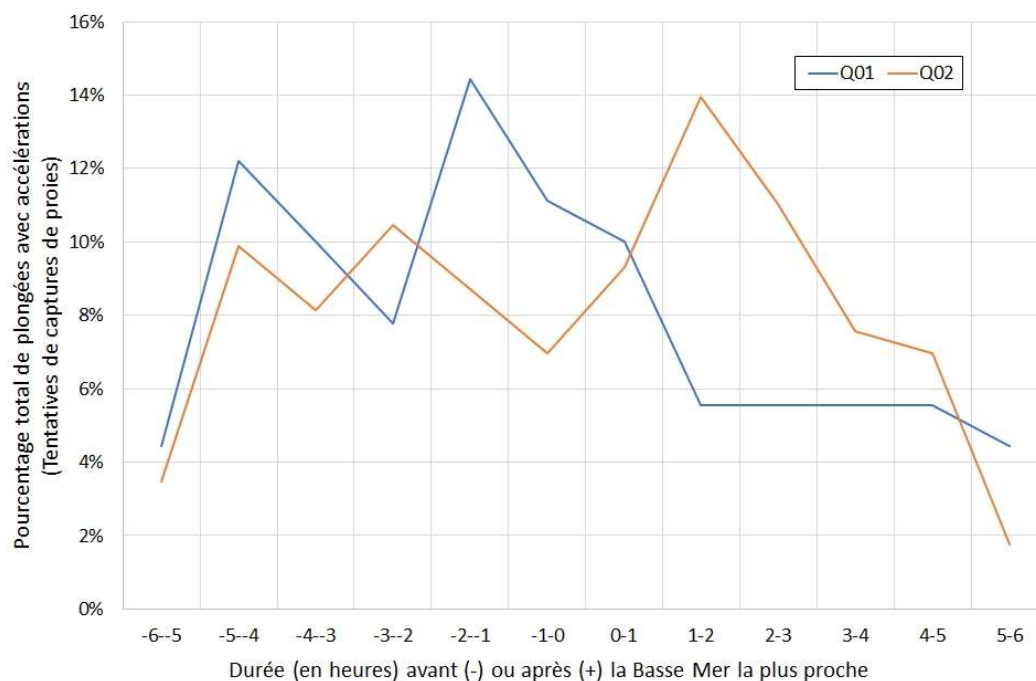


Figure B2.22 : Distribution du pourcentage de temps passé à terre par les phoques gris équipés de balise en fonction du délai avant (-) ou après (+) la basse mer la plus proche (par classes de 1 heure).

Modélisation de l'habitat préférentiel des phoques

L'influence de différents paramètres environnementaux sur le comportement de chasse des phoques veaux-marins à Saint-Pierre-et-Miquelon a été modélisée. Les données télémétriques sur les deux femelles de phoques gris étaient insuffisantes pour pouvoir étudier l'influence sur cette espèce car elles sont restées moins de 4 semaines autour de l'archipel.

La méthode de pseudo-absence développée par Huon *et al.* (2021) a été appliquée. Cette méthode permet de générer deux points de pseudo-absences par plongée de chasse (pour chaque plongée de chasse, deux points aléatoires sont générés) dans une zone trois fois plus grande que la zone d'étude. Les points de pseudo-absences sont ensuite comparés avec les plongées de chasse probable et permettent donc d'évaluer la sélection d'habitat de chasse. À partir de ce nouveau jeu de données, la distance au dernier reposoir et la distance à la côte ont été calculé pour chaque point. Une valeur de bathymétrie a été associée à chacun des points à la verticale de leur localisation, sur la base des données bathymétriques de GEBCO. Ensuite, un modèle additif généralisé mixte (*Generalised additive Mixed Models*, GAMM) de famille binomiale a été utilisé. Les plongées de chasse probable et les points de pseudo-absences ont servi de variable réponse avec des valeurs de 1 et 0 respectivement. La bathymétrie, la distance des reposoirs et la distance de la côte ont été utilisées comme des variables fixes continues. Le paramètre individu a également été utilisé comme variable aléatoire afin de prendre en compte l'influence intra-individuelle. Les différents modèles testés sont présentés dans le tableau B2.02.

Tableau B2.02 : Les différents modèles testés pour la sélection d'habitat par les phoques veaux-marins capturés entre 2019 et 2020 à Saint-Pierre-et-Miquelon, avec les valeurs *Akaike's Information Criterion* (AIC).

Modèles	AIC	Déviance expliquée
Sélection ~ bathymétrie + re (Individu)	10395.9	41.2%
Sélection ~ distance_cote + re (Individu)	6821.3	61.4%
Sélection ~ distance_reposoir + re (Individu)	3021.3	82.9%
Sélection ~ distance_reposoir + distance_cote + re (Individu)	2940.0	83.4%
Sélection ~ distance_reposoir + bathymétrie + re (Individu)	2843.7	84.0%
Sélection ~ distance_reposoir + distance_cote + bathymétrie + re (Individu)	2804.6	84.2%

Le modèle avec l'AIC (« *Akaike Information Criterion* ») la plus petite a été choisi (Akaike 1973). Le dernier modèle est donc choisi, incluant l'influence des trois paramètres sur le comportement de chasse des phoques veaux-marins. Les phoques sélectionnent des habitats de chasse allant jusqu'à 100 km de leurs reposoirs à terre et de la côte mais avec plus de 85% des plongées de chasse dans les 20 premiers km. Ils sélectionnent également des zones avec des eaux peu profondes allant jusqu'à 100 m (86% des plongées de chasse) ce qui est cohérent avec la distance à la côte. En Atlantique Nord-Est,

ces paramètres ont également une influence sur la sélection d'habitat de chasse des phoques (Thompson *et al.* 1996, Huon *et al.* 2021). Ils ne s'éloignent pas de leurs reposoirs côtiers car ce sont des prédateurs à place centrale et donc ont besoin de revenir fréquemment à terre pour des raisons biologiques (repos, reproduction, *etc.* ; Orians and Pearson (1979). Mais certains individus peuvent occasionnellement s'éloigner notamment en fonction de la disponibilité des proies donc peuvent aller jusqu'à 100 km de leur reposoirs côtiers (Dietz *et al.* 2013).

B3 – Régime alimentaire des phoques

Le régime alimentaire des phoques à Saint-Pierre et Miquelon a été étudié par l'analyse des pièces dures diagnostiques de proies trouvées dans les fèces de phoques. Les échantillons ont été récoltés entre avril et septembre sur les reposoirs des phoques. Une procédure classique, utilisée pour analyser le contenu des fèces de pinnipèdes en restes de proies (Pierce & Boyle 1991, Ridoux *et al.* 2007, Spitz *et al.* 2010), a ici été appliquée. Une fois collectées, les fèces ont été congelées à -20°C jusqu'aux analyses ultérieures. Elles ont ensuite été filtrées un tamis en nylon de fine maille (0.2 mm) à la DTAM à Saint-Pierre et Miquelon, afin de ne conserver que les parties dures non digérées. Une fois transférées au CEBC sur La Rochelle, les pièces dures diagnostiques telles que les otolithes de poissons, les os de poissons, les becs de céphalopodes ou encore les restes de crustacés ont été inspectées afin d'identifier les espèces proies consommées, en fonction de critères distinctifs (forme et taille des pièces), en utilisant des guides d'identification (Härkönen 1986, Tuset *et al.* 2008, McBride *et al.* 2010) et avec le matériel de référence disponible à l'Observatoire Pelagis (UAR CNRS/La Rochelle Université). La taille et la masse relative des espèces proies ont été reconstruites par application de relations allométriques sur les pièces diagnostiques mesurables (ici seuls les otolithes ont été utilisés) (Härkönen 1986, Hunt 1992, Bowen & Harrison 1994, Lundström *et al.* 2007). Toutes ces analyses ont finalement permis de résumer les résultats de régime alimentaire suivant trois mesures différentes : l'occurrence (proportion de toutes les fèces qui incluent au moins une trace de l'espèce proie concernée), l'abondance relative (nombre total d'individus proies associés à l'espèce concernée) et la biomasse reconstruite (pourcentage de la masse totale en proies associées à l'espèce concernée ; uniquement calculable lorsque des otolithes mesurables étaient disponibles pour la proie).

Au total, 164 fèces ont été filtrées et analysées (Figure B3.01) dont 107 provenaient de phoques gris, 55 de phoques veaux-marins et deux de phoques non-identifiés. Les échantillons ont été récoltés de 2017 à 2021 par les équipes de la DTAM, de l'OFB et d'Ifremer de Saint-Pierre et Miquelon. Les fèces de phoques gris ont été majoritairement récoltées en mai et juin (dans une moindre mesure en avril puis août), tandis que celles de phoques veaux-marins ont été très majoritairement récoltées en juin (avec quelques récoltes en avril, juillet, août et septembre ; Figure B3.01). Le contenu en proies des fèces est présenté dans le tableau B3.01.

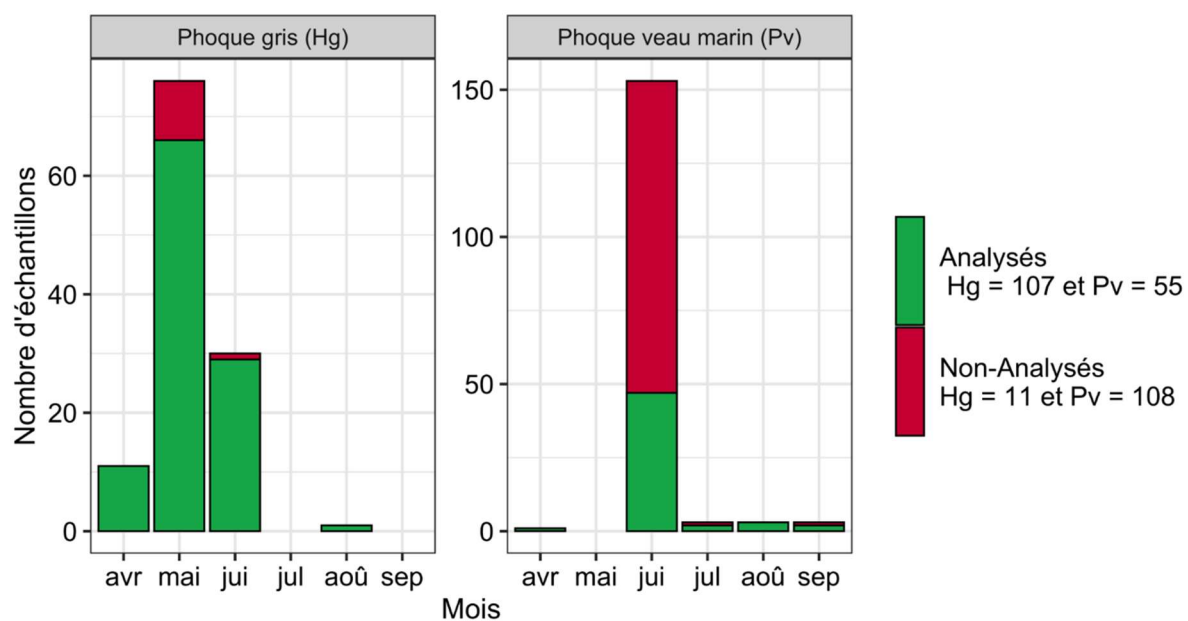


Figure B3.01 : Nombre d'échantillons (fèces) récoltés par espèce de phoque en fonction des mois. Tous les échantillons ont été récoltés entre avril et septembre. Le nombre d'échantillons analysés lors du projet est précisé ainsi que le nombre d'échantillons disponibles non encore analysés.

Tableau B3.01 : Occurrence (en %), abondance et biomasse reconstituée (en %, avec intervalles de confiances à 95% - IC95%) des proies de phoques gris et veaux-marins identifiées à partir du contenu de 107 et 55 fèces respectivement, récoltées à SPM entre 2016 et 2021. n.d. : espèce proie non déterminée. PPX : groupes de poissons plats.

	Famille / Nom scientifique	Phoques gris					Phoques veaux-marins				
		Occurrence	Abondance		Biomasse		Occurrence	Abondance		Biomasse	
		%	% N	IC95%	% Masse totale	IC95%	%	% N	IC95%	% Masse totale	IC95%
Poisson osseux	Pleuronectidae										
	Pleuronectidae n.d (poissons plats n.d.)	4.7%	1.6%	0.4-3.0%	-	-	0.0%	0.0%	0.0%	-	-
	PP1 : <i>Glyptocephalus</i> spp.	2.8%	5.9%	0.0-26.7%	13.0%	0.0-33.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	PP2 : <i>Hippoglossoides platessoides</i>	4.7%	6.2%	0.0-21.7%	6.8%	0.5- 16.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	PP3 : <i>Limanda</i> spp. / <i>Pleuronectes</i> spp. / <i>Pseudopleuronectes</i> spp.	0.9%	0.3%	0.0-1.6%	1.1%	0.0-3.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	PP4 : <i>Pleuronectes</i> spp. / <i>Pseudopleuronectes</i> spp. / <i>Limanda</i> spp.	2.8%	0.9%	0.0-2.4%	0.2%	0.0-0.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	PP5 : <i>Pleuronectes</i> spp./ <i>Pseudopleuronectes</i> spp./ <i>Limanda</i> spp.	0.9%	0.3%	0.0-2.8%	0.7%	0.0-3.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Gadidae										
	Gadidae n.d	11.2%	0.9%	0.0-2.3%	-	-	0.0%	0.0%	0.0%	-	-
	<i>Gadus morhua</i>	2.8%	15.6%	6.4-28.0%	76.7%	46.4-96.6%	1.8%	0.1%	0.0-0.3%	0.6%	0.0-2.3%
	Ammodytidae										
	Ammodytidae n.d (lançons n.d.)	16.8%	16.2%	6.2-28.6%	1.1%	0.4-3.7%	3.6%	0.3%	0.0-0.9%	0.6%	0.0-1.7%
	Clupeidae										
	<i>Clupea harengus</i>	2.8%	0.9%	0.0-2.1%	0.20%	0.0-0.9%	3.6%	0.8%	0.0-2.5%	8.3%	0.0-23.2%
	Gasterosteidae										
	Gasterosteidae n.d (épinoches n.d.)	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	92.0%	96.2%	92.5-98.0%	90.5%	74.7-100.0%
	Poissons n.d.										
	Poissons n.d	67.3%	22.4%	17.7-31.9%	-	-	29.1%	1.3%	0.7-2.4%	-	-
	Espèce A	0.0%	0.0%	0.0%	-	-	1.8%	0.2%	0.0-0.6%	-	-
	Espèce B	0.0%	0.0%	0.0%	-	-	1.8%	0.1%	0.0-0.3%	-	-
	Espèce C	0.9%	0.3%	0.0-1.2%	-	-	0.0%	0.0%	0.0%	-	-
Autres	Chondrichthyens n.d	15.0%	5.0%	3.0-7.4%	-	-	0.0%	0.0%	0.0%	-	-
	Céphalopodes n.d	0.9%	0.3%	0.0-1.1%	-	-	0.0%	0.0%	0.0%	-	-
	Crustacés n.d	69.2%	23.1%	17.6-29.8%	-	-	25.5%	1.1%	0.5-2.2%	-	-

Régime alimentaire des phoques veaux-marins

La plupart des fèces de phoques veaux-marins (96.4%) contenaient des restes de proies. Dans la plupart des cas, une espèce proie (ou groupe d'espèces proies) a pu être identifiée avec ces pièces diagnostiques. Parmi tous les échantillons, 89% contenaient des restes proies « mesurables », c'est-à-dire ceux pour lesquels il y avait au moins une pièce diagnostique permettant de reconstruire la biomasse (par application de relations allométriques).

La majorité de ces pièces correspondaient à la famille des Gastérostéidés. En effet, les pièces dures de Gastérostéidés sont retrouvées dans 92.0% des fèces de phoques veaux-marins, représentant 96.2 % [IC95% : 92.5–98.0%] de l'abondance en proies et 90.5% [74.7–100.0%] de la biomasse totale reconstruite en proies (Tableau B3.01). D'après l'INPN², à Saint-Pierre-et-Miquelon, trois espèces de Gastérostéidés sont présentes : l'épinoche (*Gasterosteus aculeatus*), l'épinochette (*Pungitius pungitius*) et l'apelte (*Apeltes quadracus*). Ces espèces sont anadromes, c'est-à-dire qu'elles ont un cycle de vie marqué par une alternance entre une présence en milieu dulcicole (eau douce) et le milieu marin (Craig & FitzGerald 1982). Elles sont également benthiques et se nourrissent principalement de crustacés et d'annélides (Mussen & Peeke 2001), des restes retrouvés dans les fèces de phoques veaux-marins. Dans cette étude, la majorité des fèces analysées, et contenant une grande majorité de Gastérostéidés, ont été collectées essentiellement au cours du mois de juin (2020-2021). À cette période, les phoques sont en période de reproduction et ne s'éloignent donc peu des côtes et de leurs reposoirs (Thompson & Miller 1990). En juin, les Gastérostéidés quittent les eaux douces et se reproduisent sur la côte, dans des eaux allant jusqu'à 100 m de profondeur (Craig & FitzGerald 1982). Ces connaissances sur ces proies sont cohérentes avec les habitats utilisés par les phoques veaux-marins autour de Saint-Pierre-et-Miquelon, comme identifié avec les suivis télémétriques (cf. Tableau B2.02). Les Gastérostéidés ont déjà été observés dans le régime alimentaire des phoques annelés (Sinisalo *et al.* (2006) mais, à notre connaissance, aucune étude n'avait jusque-là identifié cette famille d'espèces proies dans le régime alimentaire de phoques veaux-marins. Néanmoins, des observations de poissons anadromes dans leur régime alimentaire de phoques veaux-marins ont déjà été relevés dans d'autres études (Willson & Halupka 1995, Hauser *et al.* 2008). Ils constatent que les phoques changent leur comportement lorsque les espèces anadromes migrent vers la mer et deviennent donc disponibles. Ils modifient leurs zones de repos afin d'être proches des embouchures et peuvent même chasser occasionnellement dans les rivières et les estuaires (Roffe & Mate 1984, Stanley & Shaffer 1995, Orr *et al.* 2004, Wright *et al.* 2009, Hauser *et al.* 2008). La prédation sur les poissons anadromes identifiée avec le régime alimentaire est ainsi cohérente avec les zones de chasse qui sont situées dans le Grand Barachois et dans l'Étang de Mirande (lagunes de l'archipel Saint-Pierre-et-Miquelon).

D'autres espèces de proies ont pu être identifiées. Des traces de lançons (Ammodytidae) et de harengs de l'Atlantique (*Clupea harengus*) n'ont été retrouvées que dans deux fèces (3.6%). Ils représentent respectivement 0.3% [0–0.9%] et 0.8% [0–2.5%] de l'abondance de proies et 0.6% [0–0.5%] et 8.3% [0–22.4%] de la biomasse totale de proies consommées. Des restes de morue de l'Atlantique (ou morue franche) (*Gadus morhua*) ont été retrouvés dans seulement un échantillon (1.8%), ne représentant ainsi que 0.1% [0–0.3%] de l'abondance totale de proies et 0.6% [0–2.3%] de la biomasse totale consommée. Environ un quart des échantillons contenaient des traces de crustacés (25.5%) et de poissons non-identifiés (29.1%). Au regard de la taille des crustacés, il semblerait que ces restes soient plutôt des proies dites secondaires, c'est-à-dire des proies consommées par les proies des phoques, et dont les traces peuvent persister dans les fèces. Enfin, deux espèces de poissons non-

² <https://inpn.mnhn.fr/collTerr/oultreMer/975/SPM/tab/especes>

identifiables, mais distinguables, nommées espèce A (1.8%) et espèce B (1.8%), ont également été détectées dans les échantillons.

La présence de proies majoritairement benthiques et côtières est cohérente avec le comportement de chasse des phoques veaux-marins observé à partir des suivis télémétriques (Tableau B2.02, Figures B2.16a et b et B2.17). Ces résultats sont similaires aux résultats trouvés en Atlantique Nord-Est (Thompson et al. 1996, Dietz et al. 2013, Huon et al. 2021). Ils sont majoritairement benthiques et côtiers. Leur comportement de chasse et leur régime alimentaire varie selon leur saisonnalité, de la disponibilité des proies et de la potentielle pression causée par la compétition intraspécifique et interspécifique.

Régime alimentaire des phoques gris

Lors de l'analyse des fèces de phoques gris, 96.3% des échantillons contenaient des restes de proies et seulement 32.7% contenaient des restes de proies « mesurables ». La quantification du régime alimentaire en termes de masse consommée ne repose donc que sur environ un tiers des échantillons, et doit alors être interprétée avec beaucoup de précautions.

Les lançons (Ammodytidae) sont les proies les plus récurrentes, dans les fèces de phoques gris, avec un pourcentage d'occurrence de 16.8%. Ces proies benthiques représentent 16.2% [7.2-30.7%] de l'abondance totale de proie (Tableau B3.01). Cependant, le pourcentage de biomasse totale est très faible (1.1% [0.1-1.4%]), ce qui peut s'expliquer par la faible masse de ce type de proies. Les morues de l'Atlantique (*Gadus morhua*) ont été détectées dans une très faible part des fèces (2.8%), cependant, elles représentent une part non négligeable du nombre d'individus proies (abondance de 15.6% [6.4 -28.0%]) et plus de trois quarts de la biomasse en proies reconstruite (76.7% [46.4-96.8%] de la biomasse totale). Les résultats coïncident avec les résultats de Trzcinski *et al.* (2011), qui avaient trouvé que la plupart des phoques gris ne mangeaient pas de morue de l'Atlantique, mais seulement une petite partie des individus consomme la morue de l'Atlantique en grande quantité. Ces résultats mettent également en avant une des limites de la méthode d'identification du régime alimentaire. La morue de l'Atlantique étant une espèce de grande taille, l'estimation de la biomasse totale consommée par les phoques peut être surestimée par rapport au faible pourcentage d'occurrence. Ainsi, les fèces qui incluent un grand nombre de lançons (majoritaire) de quelques grammes chacun auront un poids nettement plus réduit dans le calcul de la biomasse totale que les fèces qui incluent des morues de l'Atlantique de quelques kilogrammes chacune. Dans notre cas d'étude, il est donc très important de prendre en compte les trois paramètres d'estimation du régime alimentaire que sont l'occurrence, l'abondance et la biomasse reconstituée. Les restes de harengs de l'Atlantique dans les fèces de phoques gris est faible, et ne représentent que 2.8% d'occurrence, 0.9% [0.0-2.1%] de l'abondance totale en proies et uniquement 0.2% [0.0-0.9%] de la biomasse reconstruite. Des espèces de poissons plats ont été détectées dans les fèces de phoques gris. Les pleuronectidés représentent 4.7% d'occurrence mais n'ont pas pu être identifiés plus précisément, ce qui représente une abondance minimale de 1.60% [0.4-3.0%]. De plus, les restes de poissons plats identifiables ont été répartis en cinq groupes. Leur identification n'a pas pu être réalisée jusqu'à l'espèce, à cause d'un trop fort degré d'érosion des pièces diagnostiques. Ainsi, nous avons associé ces proies à des groupes probables d'espèces de poissons plats (Pleuronectidés), en fonction de leurs similarités et différences (sur la base des formes d'otolithes), afin d'appliquer des relations allométriques les plus adaptées possibles. Le groupe d'espèce le plus abondant est PP2 et est de type *Hippoglossoides platessoides*, et celui-ci représente 6.2% [0.0-21.7%] de l'abondance de proie et 6.8% [1.2-21.5%] de la biomasse totale

consommée avec une occurrence de 4.7%. Le groupe PP1, de type *Glyptocephus* est présent dans une plus faible part des fèces (2.8%) et représente 5.9% [0.0-26.7%] de l'abondance totale de proie mais sa biomasse est plus importante (13.0% [0.0-33.6%]). De plus, il y a trois groupes différents (PP3, PP4 et PP5) qui ont été associés aux *Pleuronectes* / *Pseudopleuronectes* / *Limanda*. Ils ne représentent qu'une faible partie du régime alimentaire des phoques gris (Tableau B3.01). Les crustacés et les poissons non-identifiés ont un pourcentage d'occurrence de 69.2% et 67.3%. Comme pour les phoques veaux-marins, les crustacés sembleraient être des proies secondaires.

Comparaison entre les deux espèces de phoques

De nombreuses proies sont communes aux régimes alimentaires des phoques gris et des phoques veaux-marins (tableau B3.02). En effet, le régime alimentaire des deux espèces contient des lançons, des harengs de l'Atlantique, des morues de l'Atlantique et des traces de crustacés. Ces proies sont typiques de ces prédateurs et sont retrouvées dans leur régime alimentaire dans différentes zones géographiques (Bowen & Harrison 1994, Spitz *et al.* 2015, Planque *et al.* 2021). Cependant, chez les phoques gris, on constate une diversité de proies plus importante en abondance que chez les phoques veaux-marins. Le nombre de fèces analysées différents pourrait être une explication possible puisque les fèces de phoques veaux-marins sont près de deux fois moins nombreuses (N = 55) que celles de phoques gris (N = 107). Bien que les gadidés soient prédominants en masse dans les fèces de phoques gris (Figure B3.02a), on constate une importance non négligeable d'espèces de poissons plats (Pleuronectidés) et de lançons (Ammodytidés) en termes d'occurrence (8.7% et 17.4% respectivement) et d'abondance (15.3% [3.4-28.4%] et 16.2% [6.2-27.6%] respectivement). Chez les phoques veaux-marins, la diversité est plus faible, car il y a une dominance des espèces d'épinoches (Gastérostéidés), que ce soit en occurrence (86.8%), abondance (96.2% [92.2-98.1%]) ou biomasse reconstituée (90.5% [75.9-100.0%]). D'autres familles de proies sont néanmoins présentes dans leur régime alimentaire (Ammodytidés, Clupéidés et Gadidés) mais en faible quantité (Figure B3.02). Dans les échantillons actuels, les poissons plats n'ont pas été identifiés dans le régime alimentaire des phoques veaux-marins. En Atlantique Nord-Est, les poissons plats font aussi partie de leur régime alimentaire (Spitz *et al.* 2015, Planque *et al.* 2021). Cette différence ne semble pas liée à la distribution des poissons plats. D'après Bowering and Brodie (1991), une grande partie de ces espèces est localisée sur le banc de Saint-Pierre, une zone fréquentée par plusieurs individus (P07, P08 et P10). De plus, les poissons plats ont déjà été observés dans le régime alimentaire des phoques veaux-marins à l'île de Sable dans les années 1970 avant l'augmentation de la population de phoques gris (Boulva & McLaren 1979, Bowen *et al.* 2003b). Il est donc possible que les phoques veaux-marins se nourrissent peu ou pas de poissons plats pour éviter une compétition avec les phoques gris dans la zone autour de l'archipel.

Le régime alimentaire des deux espèces est constitué d'une faible diversité en proies. En Atlantique du Nord-Est, le régime alimentaire des phoques veaux-marins et gris est composé de plus d'une dizaine de groupes de poissons (Bowen & Harrison 1994, Spitz *et al.* 2015, Planque *et al.* 2021) alors que d'après les échantillons analysés dans la présente étude, la diversité est plus faible, il y n'a que cinq familles de poissons principales dans le régime alimentaire identifié. Ce résultat semble en contradiction avec les nombreuses études qui soulignent le caractère généraliste des phoques (Brown *et al.* 2001, Browne *et al.* 2002, Gosch *et al.* 2014, Hui *et al.* 2017). La composition du régime

alimentaire des phoques peut être variable entre différents sites, en fonction de la disponibilité de leurs proies dans le milieu (Brown *et al.* 2012).

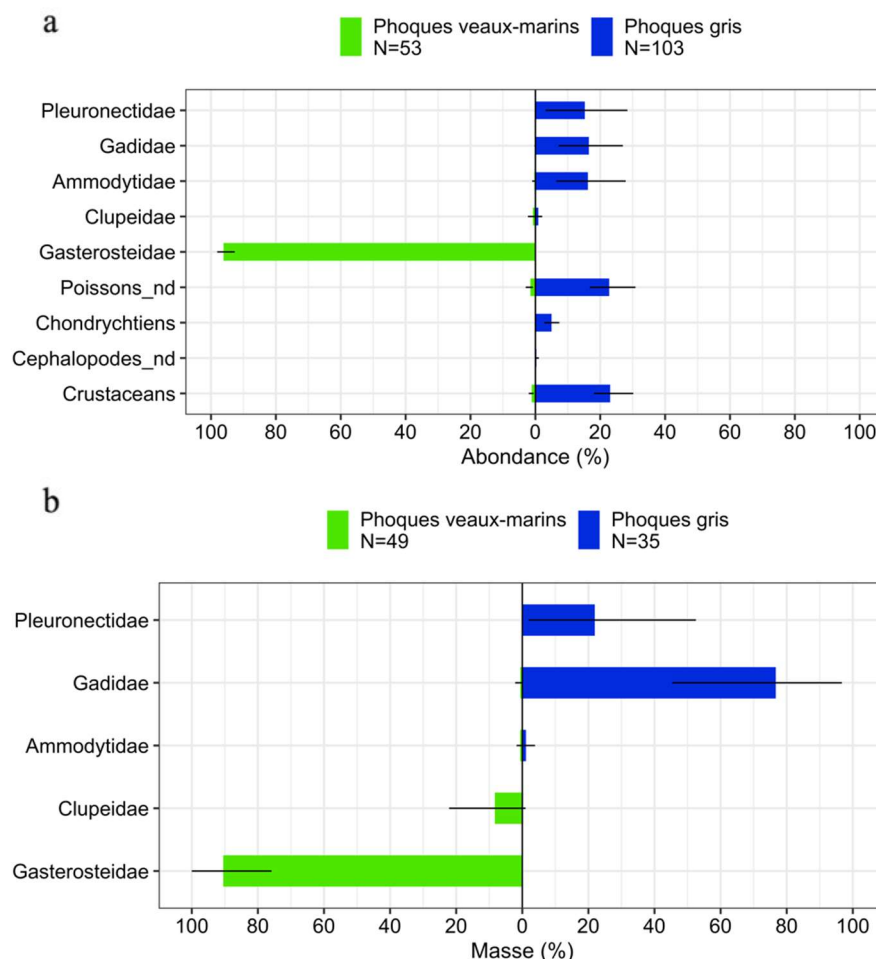


Figure B03.02 : Comparaison du régime alimentaire (par famille de proies) des phoques veaux-marins (vert) et phoques gris (bleu) identifiés par l'analyse du contenu de 164 fèces. (a) le pourcentage d'abondance, (b) le pourcentage de biomasse consommée. Barres d'erreurs : intervalle de confiance à 95% estimée par méthode de rééchantillonnage aléatoire avec remise (Bootstrap).

La méthode de l'identification du régime alimentaire permet de donner une image du régime alimentaire de l'individu à un instant t (Planque 2021). Ainsi, plus le nombre d'échantillons est élevé, plus le régime alimentaire identifié est représentatif du régime alimentaire probable de l'espèce (Trites & Joy 2005). Il est donc essentiel de poursuivre les collectes et les analyses de fèces de phoques à Saint-Pierre et Miquelon afin d'avoir une meilleure compréhension de leur régime alimentaire et d'approfondir les connaissances sur les variations interspécifiques. En l'état actuel des choses, il convient donc de rester assez prudents sur l'évaluation du régime alimentaire des phoques veaux-marins et gris à Saint-Pierre-et-Miquelon. En effet, l'image obtenue du régime alimentaire peut aussi être dépendante des saisons échantillonnées et du nombre d'échantillons associés. L'analyse de nouveaux échantillons à l'avenir permettrait probablement de renforcer nos connaissances du régime alimentaire de ces deux espèces sur cette zone d'étude.

B4 – Niche isotopique et écologie trophique des phoques

Mesure d'isotopes stables et évaluation des niches isotopiques

Les isotopes stables du carbone ($\delta^{13}\text{C}$) et de l'azote ($\delta^{15}\text{N}$) ont été mesurés le long de vibrisses de phoques veaux-marins et gris, échantillonnées lors des captures de 36 individus pour les suivis téléométriques (2017-2020) et sur deux individus échoués en 2021. Les rapports de ces isotopes stables sont couramment utilisés comme des marqueurs écologiques, pour étudier l'écologie trophique d'espèces animales. Ils peuvent nous renseigner sur l'habitat utilisé par un consommateur (carbone $\delta^{13}\text{C}$ qui reflète la source de la production primaire à la base du réseau trophique ; Fry (2008)), et sur sa position trophique dans le réseau trophique (azote $\delta^{15}\text{N}$; Post (2002)). Ces isotopes stables apportent ainsi un indice sur les habitudes alimentaires d'une espèce animale sur des échelles de temps de quelques mois (Bearhop *et al.* 2002).

La mesure de ces rapports d'isotopes stables a ici été réalisée tous les 10 mm le long de la vibrisse de chaque individu étudié (capturé ou échoué), afin d'acquérir la plus longue intégration temporelle possible des habitudes alimentaires individuelles. Seul le premier segment de la vibrisse a été sélectionné à 3 mm de la base, afin d'écarter le bulbe de la vibrisse. Cette intégration temporelle correspond à la croissance de cette vibrisse, pendant plusieurs mois avant l'échantillonnage de l'individu. Sachant les connaissances sur le rythme de croissance des vibrisses de phoques (Greaves *et al.* 2004, Zhao & Schell 2004), nous pouvons ici supposer que les vibrisses aient intégré plusieurs mois/saisons de variations isotopiques pour chaque individu.

Les niches isotopiques des phoques veaux-marins et des phoques gris à Saint-Pierre-et-Miquelon, ainsi que des phoques gris à l'île de Sable, ont été évaluées à l'aide d'un modèle hiérarchique développé dans un cadre Bayésien, proposé par Planque *et al.* (2021). Cette méthode permet d'estimer des niches isotopiques à l'échelle de la colonie/population, à partir d'un échantillon de petite taille, tout en prenant en compte l'incertitude liée à ce petit échantillon (peu d'individus à l'échelle de l'espèce). Ce modèle a la particularité d'avoir été spécifiquement développé pour prendre en compte deux niveaux de variabilités isotopiques : 1) un niveau de variabilité interindividuelle (similairement aux modèles plus classiques d'estimation des niches isotopiques à un niveau de variabilité ; cf. Jackson *et al.* (2011)), mais également 2) un niveau de variabilité intra-individuelle. Ce modèle est alors bien adapté aux données acquises le long des vibrisses (cf. plusieurs mesures au cours du temps), c'est-à-dire avec plusieurs valeurs isotopiques par individu.

Chaque niche isotopique a été évaluée en sortie sous forme de 1000 ellipses, correspondant à 1000 tirages (itérations du modèle). Ici ces niches ont été caractérisées à l'échelle du site/espèce. Les aires de niches isotopiques correspondent finalement aux aires de ces ellipses, et sont exprimées en $\%^2$. Pour une niche isotopique d'une espèce (à l'échelle d'une colonie / population), les résultats d'aire sont alors exprimés en moyenne (des aires des 1000 ellipses estimées) avec l'intervalle de crédibilité à 95% (noté IC95%).

Le chevauchement entre les niches isotopiques de différentes espèces ou de différents sites a été calculé en % d'aire d'ellipses qui se chevauchent. Trois types de mesures ont pu alors être calculées : le pourcentage d'aire de la niche isotopique de l'espèce/site A incluse dans celle de l'espèce/site B, le pourcentage d'aire de la niche isotopique de l'espèce/site B incluse dans celle de l'espèce/site A, et le pourcentage d'aire de la niche isotopique totale couverte par les deux espèces/sites qui se chevauche.

Similairement aux aires de niches, ces résultats de chevauchement ont été exprimés en moyennes et en IC95%.

Suivant la méthode de Planque et al. (2021), la probabilité d'appartenir aux niches isotopiques a été graphiquement représentée. Elle est caractérisée par des gammes de probabilités d'un point isotopique d'appartenir à cette niche (c'est-à-dire, la probabilité d'être incluse aux 1000 ellipses). La méthode est amplement plus détaillée dans l'article associé ((Planque et al. 2021).

Enfin, la variabilité intraspécifique des niches isotopiques a été estimée pour chaque espèces/sites à partir d'un paramètre de différences interindividuelles en carbone ($\delta^{13}\text{C}$) et en azote ($\delta^{15}\text{N}$), obtenu en sortie de modèle.

Niches isotopiques et variabilité interspécifique

Les niches isotopiques ont été estimées en fonction de l'espèce de phoques ou de la zone de capture/d'échantillonnage (figure B4.01), à partir des valeurs isotopiques du carbone ($\delta^{13}\text{C}$) et de l'azote ($\delta^{15}\text{N}$) mesurées dans les vibrisses de phoques.

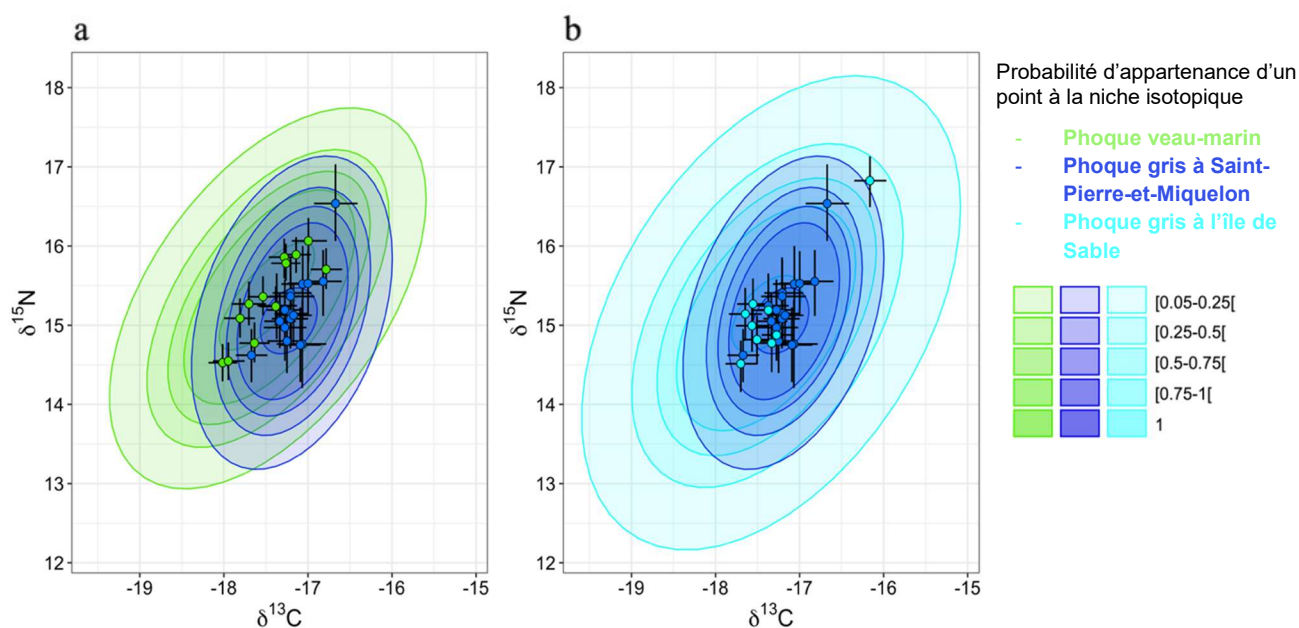


Figure B4.01 : Niches isotopiques des phoques veaux-marins et gris estimées à partir des rapports d'isotopes stables du carbone ($\delta^{13}\text{C}$) et de l'azote ($\delta^{15}\text{N}$), caractérisées par des gammes de probabilité d'appartenir aux niches. (a) Comparaison des niches des phoques veaux-marins (vert) et des phoques gris à Saint-Pierre-et-Miquelon (bleu foncé), (b) Comparaison des phoques gris à Saint-Pierre-et-Miquelon (bleu foncé) et des phoques gris à l'île de Sable (bleu clair). Les points correspondent aux valeurs isotopiques prédites pour les individus observés, et les barres d'erreur associées correspondent à l'intervalle de crédibilité à 95% (IC95%)

Un chevauchement des niches isotopiques a été observé entre les phoques veaux-marins et les phoques gris à Saint-Pierre-et-Miquelon (38.8% [19.4-62.3%] de l'aire totale couverte par les deux niches). La niche isotopique des phoques veaux-marins capturés/échantillonnés à Saint-Pierre-et-Miquelon apparaît plus grande que celles des phoques gris capturés sur ce même site (4.5‰^2 [IC95% 2.0-8.1% 2] et 2.5‰^2 [1.0-4.1% 2] respectivement ; figure B4.01a). La probabilité que la niche isotopique des phoques veaux-marins soit plus grande que celle des phoques gris à SPM est de 0.9. De plus, la niche des phoques gris, plus petite, est davantage comprise dans la niche isotopique des phoques veaux-marins, plus grande, qu'inversement : 79.5% [52.2-100.0%] contre 45.7% [17.8-78.0%] de l'aire de ces niches, respectivement. Enfin, la variabilité interindividuelle intraspécifique en $\delta^{13}\text{C}$ au sein des niches est plus importante pour les phoques veaux-marins (0.47‰ [0.27-0.70%]) que pour les phoques gris (0.30‰ [0.18-0.44%]) ; probabilité d'être supérieure de 0.9). Il en est de même en $\delta^{15}\text{N}$ (0.63‰ [0.36-0.95%] et 0.50‰ [0.29-0.76%] pour les phoques veaux-marins et gris respectivement), bien que la supériorité de variabilité interindividuelle pour les phoques veaux-marins soit plus incertaine (probabilité de supériorité de 0.8).

Ces résultats de niches isotopiques peuvent sembler contre-intuitifs, par rapport aux résultats du régime alimentaire. En effet, la diversité alimentaire apparaît plus grande dans les fèces de phoques gris que dans celles de phoques veaux-marins (cf. section B2-), ce qui aurait pu se caractériser par une niche isotopique des phoques gris plus large que celle des phoques veaux-marins, ce qui n'est pas le cas ici. Il existe plusieurs hypothèses pour expliquer cette différence entre les deux méthodes. Premièrement, la taille importante de la niche isotopique des phoques veaux-marins peut être liée à une grande diversité de proies dans leur régime alimentaire, ce qui n'est pas observé avec les échantillons actuels de fèces. Il est donc important d'augmenter le nombre d'échantillons pour valider ou invalider cette hypothèse. Cette différence pourrait également être liée à la présence de poissons anadromes dans le régime alimentaire des phoques veaux-marins. Ces espèces fréquentent deux milieux différents (dulcicole et marin) dont l'origine du carbone à la base du réseau trophique peut être sensiblement différente (Peterson & Fry 1987, Letourneur *et al.* 2013). Leur signature isotopique pourrait donc varier lorsqu'ils s'alimentent sur des proies au comportement dulcicole ou au comportement marin. Cela pourrait ainsi étendre la niche isotopique des phoques veaux-marins, même si la diversité alimentaire est réduite. Il sera donc nécessaire à l'avenir d'étudier les signatures isotopiques des proies potentielles afin d'étudier leur positionnement en fonction des niches isotopiques des phoques, et ainsi vérifier ces hypothèses. Pour terminer, cette différence de résultats entre méthodologies pourrait aussi s'expliquer par une différence dans l'échelle de temps d'intégration des deux méthodes. Les fèces représentent une image du régime alimentaire à l'instant t. Les échantillons actuels ne reflètent que le régime alimentaire des phoques en été (mai - septembre) avec une majorité d'échantillons en juin. En revanche, les analyses d'isotopes stables ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) dans les vibrisses peuvent intégrer les habitudes alimentaires sur plusieurs mois, au cours de plusieurs saisons. La croissance des vibrisses de phoques est asymptotique et irrégulière dans le temps (Greaves *et al.* 2004). L'analyse des isotopes stables ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) dans les vibrisses de phoques veaux-marins peut retracer leurs habitudes alimentaires sur environ quatre à cinq mois. Pour les phoques gris, les habitudes alimentaires peuvent être retracées dans les vibrisses jusqu'à environ un an (Greaves *et al.* 2004, Zhao & Schell 2004, Planque *et al.* 2021).

Variabilité intraspécifique des niches isotopiques chez les phoques gris

Les niches isotopiques des phoques gris capturés à Saint-Pierre-et-Miquelon et des phoques gris capturés à l'île de Sable se chevauchent (38.6% [13.4-65.3%] de l'aire totale couverte par les deux niches ; figure B4.01b). D'après la Figure B2.05b, les deux femelles de phoques gris quittent Saint-Pierre-et-Miquelon pour rejoindre l'île de Sable en octobre pour la période de reproduction. Les phoques gris ne se reproduisent pas à Saint-Pierre-et-Miquelon. Aucune naissance n'a été observée dans cette zone (Vincent & Ridoux 2015). La majorité des phoques gris de l'Atlantique Nord-Ouest se réunissent à l'île de Sable pendant la période de reproduction. D'après (den Heyer et al. 2020), 80% des naissances de la population de phoques gris d'Atlantique Nord-Ouest ont lieu sur l'île de Sable. Sachant qu'une vibrisse de phoque gris pourrait retracer les habitudes alimentaires sur une année, le comportement de chasse de l'individu à l'île de Sable devrait probablement y être intégré.

Bien que deux individus aient des valeurs isotopiques sensiblement différentes des autres individus, les valeurs isotopiques ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) de la plupart des individus sont très proches entre les deux sites étudiés (Saint-Pierre-et-Miquelon et île de Sable), ce qui signifie que les proies ciblées ont des signatures isotopiques similaires et/ou que les proies ciblées sont les mêmes. Cette forte similarité isotopique suggère qu'il y aurait de très fortes similarités trophiques entre les deux sites. En effet, la composition de leur régime alimentaire des phoques gris à Saint-Pierre-et-Miquelon évaluée ici est assez similaire à celle précédemment évaluée à l'île de Sable : lançons, morues de l'Atlantique, harengs de l'Atlantique, poissons plats, chondrichthyens ou encore crustacés (Bowen & Harrison 1994). Néanmoins, il a été constaté une différence dans la proportion de proies consommées. Au premier abord, en termes de biomasse reconstituée, le lançon est la proie principale identifiée à l'île de Sable (Bowen *et al.* 2006a, Bowen *et al.* 2011) alors qu'à Saint-Pierre-et-Miquelon, nos résultats suggèrent que la morue de l'Atlantique constitue une part non-négligeable de la biomasse reconstituée. Cependant, cette espèce pourrait être surestimée, notamment car la biomasse de la morue de l'Atlantique provient de seulement 2.8% des fèces. De plus, si la morue de l'Atlantique était l'espèce la plus abondante dans le régime alimentaire des phoques gris à Saint-Pierre-et-Miquelon, il y aurait une différence entre les niches isotopiques des deux sites. La niche des phoques gris à Saint-Pierre-et-Miquelon serait plus élevée en carbone et en azote que celle des phoques gris à l'île de Sable car les signatures isotopiques de la morue de l'Atlantique sont plus élevées que celles du lançon (Lesage *et al.* 2001). Or, ce n'est pas le cas ici dans les niches isotopiques de phoques observées sur ces deux sites. Il est donc important de récolter plus d'échantillons de fèces afin d'approfondir et confirmer ou infirmer ces résultats.

La niche isotopique des phoques gris capturés à l'île de Sable est plus grande (6.0‰^2 [2.04‰^2 - 11.5‰^2]) que la niche des phoques gris capturés à Saint-Pierre-et-Miquelon (2.5‰^2 [1.0‰^2 - 4.1‰^2]) (Figure 8.b), avec une probabilité d'être supérieure à 0.9. De plus, la niche des phoques gris à Saint-Pierre-et-Miquelon, plus petite, est davantage comprise dans celle des phoques gris à l'île de Sable (90.7% [65.1‰ - 100.0%]) que l'inverse (42.1% [12.4‰ - 79.5%]). Les variabilités interindividuelles en $\delta^{13}\text{C}$ et en $\delta^{15}\text{N}$ sont également plus importantes pour les phoques gris à l'île de Sable (0.54‰ [0.27‰ - 0.88‰] et 0.73‰ [0.34‰ - 1.18‰] respectivement) que pour les phoques gris à Saint-Pierre-et-Miquelon (0.30‰ [0.18‰ - 0.44‰] ; 0.50‰ [0.29‰ - 0.76‰] respectivement) avec une probabilité d'être supérieur de 0.9 pour le $\delta^{13}\text{C}$ et 0.8 pour $\delta^{15}\text{N}$. Ces observations sont fortement liées à deux individus (C11 et SBL09) qui ont des signatures isotopiques plus élevées en $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ que celles de la majorité des autres individus. Ces deux phoques semblent s'alimenter sur des proies d'un niveau trophique plus élevé et/ou semblent être plus côtiers et/ou benthiques que les autres phoques gris suivis dans les mêmes zones. D'après les données de localisations de Stenson *et al.* (*unpublished*), le phoque gris C11 capturé à Saint-Pierre-et-Miquelon passe une grande partie de son temps proche de l'archipel et dans le golfe du Saint-Laurent autour des îles-de-la-Madeleine (golfe du Saint-Laurent). Cependant, les données de localisation seules ne suffisent pas à expliquer cette différence avec les autres individus. Le phoque gris SBL09 capturé à l'île de Sable a, quant à lui, la particularité d'avoir une tête de couleur rouge (Figure B4.02). Ce phénomène a été observé dans plusieurs régions du monde (Allen *et al.* 1993, Neumann & Schmahl 1999). Il a été suggéré que ce pelage distinctif est lié à la présence de grande concentration de fer dans le milieu fréquenté par l'individu. En effet, le phoque SBL09 a passé une grande partie de son temps dans la baie de Chedabucto sur la côte sud-est de la Nouvelle-Écosse (Canada). La coloration du pelage est uniquement sur la tête du phoque, ce qui permet de dire que la concentration de fer n'est probablement pas spécialement importante dans la colonne d'eau mais serait plutôt présente dans le sédiment. Lors de la recherche de nourriture, ils enfouissent leur tête dans le sédiment riche en fer (Neumann & Schmahl 1999). Ainsi, cette coloration distinctive du pelage permet donc de supposer que l'individu a des habitats d'alimentation probablement différents, ce qui est renforcé ici par des valeurs isotopiques différentes des autres individus étudiés.



Figure B4.02 : Photographie de l'individu SBL09 et son pelage distinctif lié à un comportement de chasse unique. Photo Damian Lidgard

B5 – Perspectives d'études sur les phoques autour de Saint-Pierre et Miquelon

Les résultats décrits dans les chapitres précédents ont permis de documenter pour la première fois plusieurs aspects de l'écologie trophique et de la répartition spatiale des phoques autour de Saint-Pierre et Miquelon. Ces travaux constituent une première étape essentielle à la compréhension du rôle de ces mammifères marins dans l'écosystème. Ils ne permettent néanmoins pas d'apporter de réponses définitives à toutes les questions et mériteront par ailleurs d'être poursuivis afin de détecter d'éventuelles évolutions. Certaines pistes pour de futures études sont suggérées ci-après pour compléter ou préciser ces résultats à l'avenir :

Les recensements des phoques sur leurs reposoirs terrestres ont permis de documenter d'une part la saisonnalité des effectifs de chaque espèce toute l'année dans le Grand Barachois, et d'autre part la répartition spatiale et les effectifs relatifs globaux sur l'ensemble de l'archipel d'avril à novembre. Il est essentiel de poursuivre cet effort afin de détecter à l'avenir d'éventuelles variations dans ces effectifs : dans la mesure du possible, il est important de bien réaliser ces comptages autour de l'heure de marée basse et en milieu de journée (cf. Figures B2.12 à B2.15), au moment où les phoques passent plus de temps à terre. L'utilisation du drone est encouragée dans les zones permettant, particulièrement lorsque les effectifs dans les groupes de phoques sont élevés. Si de nouveaux suivis télémétriques sont réalisés (augmentation de la taille d'échantillonnage), ceux-ci pourraient permettre d'estimer des facteurs de correction des recensements terrestres, grâce à la quantification du pourcentage de temps passé à terre par ces phoques dans les créneaux de recensements. L'utilisation de tels facteurs de correction nécessite néanmoins un respect strict du protocole de recensement (par rapport à l'heure de marée, etc.), dont l'application peut être rendue difficile par les conditions de navigation autour de Saint-Pierre et Miquelon et les exigences logistiques de tels recensements.

Les suivis télémétriques ont permis de renseigner de façon détaillée le comportement en mer des phoques, et tout particulièrement de souligner la connectivité avec les côtes et îles canadiennes, pour les phoques gris comme pour les phoques veaux-marins. Seuls deux phoques gris ont été équipés de balises dans la présente étude, et les suivis satellitaires de phoques gris réalisés par Stenson *et al.* (*unpublished*) à partir du Grand Barachois en 2017/18 n'ont pas détaillé les zones et comportement de chasse de ces individus. L'une des perspectives pour le futur serait donc d'équiper de nouveaux phoques gris de balises du même type que celles déployées dans la présente étude, dès la fin du printemps (après la mue annuelle) afin de décrire avec précision les rythmes, comportements et zones de chasse des phoques gris autour de Saint-Pierre et Miquelon en été, au moment où ils semblent les plus nombreux.

L'analyse des fèces de phoques a permis d'apporter les premiers éléments qualitatifs et quantitatifs du régime alimentaire des deux espèces autour de Saint-Pierre et Miquelon. Nous avons néanmoins souligné plusieurs interrogations dans l'interprétation de ces résultats préliminaires et il serait particulièrement important de poursuivre l'échantillonnage, en particulier (si possible) pendant les saisons peu ou pas couvertes par la présente étude. Le régime alimentaire des phoques peut varier

saisonnièrement (Hall *et al.* 1998, de la Vega *et al.* 2016, Damseaux *et al.* 2021), il serait donc nécessaire d'acquérir un plus grand nombre d'échantillons répartis sur plusieurs saisons (pour les deux espèces de phoques) pour documenter avec précision ces variations. Plusieurs études ont néanmoins souligné les limites de l'analyse des pièces dures dans les fèces (érosion des pièces dures, absence de pièce diagnostique pour certains types de proies, etc... Pierce & Boyle 1991, Tollit *et al.* 1997, Bowen 2000, Grellier & Hammond 2006, Phillips & Harvey 2009). Certains poissons, notamment de grande taille (*e.g.* saumon, morue), peuvent parfois être consommés de façon partielle (sans la tête), ne laissant ainsi aucun otolithe dans les fèces qu'ils produisent : pour palier à ces biais, d'autres approches telles que le séquençage de l'ADN de proies dans les fèces (par utilisation d'outils de biologie moléculaire tels que le barcoding) sont actuellement développées et appliquées avec succès (*e.g.* Deagle *et al.* 2005, Tollit *et al.* 2009, Thomas *et al.* 2022). Ce type d'approche serait particulièrement pertinent et complémentaire des approches classiques d'étude du régime alimentaire des phoques, notamment à Saint-Pierre et Miquelon. Il permettrait sans doute d'identifier certaines proies citées dans les interactions avec les pêcheries, mais non identifiées dans la présente étude (saumon), même si la saisonnalité des collectes de fèces a également une grande importance.

Les analyses des niches isotopiques de phoques veaux-marins et gris ont permis d'étayer les connaissances sur l'écologie alimentaire de ces espèces autour de Saint-Pierre et Miquelon. Cependant, certains doutes persistent sur ces résultats : les interprétations faites sur ces niches isotopiques restent hypothétiques, en l'état actuel. Il serait intéressant à l'avenir de confronter les données isotopiques des phoques avec celles des proies potentielles. Certaines méthodologies telles que les modèles à mélange (développés dans un cadre Bayésien ; *e.g.* Parnell *et al.* 2010, Smith *et al.* 2013, Phillips *et al.* 2014, Stock *et al.* 2018) permettrait de mesurer la contribution de chacune des proies potentielles aux niches isotopiques des phoques (et donc indirectement à leur régime alimentaire). Ce travail pourrait être réalisé en partie grâce aux données isotopiques de proies acquises au cours de COPEMAM (section A), et d'autres proies complémentaires (les épinoches, par exemple). Enfin, un dernier axe d'étude possible serait de compléter les analyses isotopiques en carbone $\delta^{13}\text{C}$ et en azote $\delta^{15}\text{N}$, par la mesure d'un troisième isotope stable : celui du soufre $\delta^{34}\text{S}$. Ce rapport isotopique $\delta^{34}\text{S}$ peut être utile par exemple pour identifier un potentiel gradient entre une base des réseaux trophiques plus marine (influence des sulfates de l'eau de mer) et une base des réseaux trophiques plus côtière et/ou estuarienne (où les apports d'eau douce terrestres sont plus nombreux ; *e.g.* Niño-Torres *et al.* 2006, Pinzone *et al.* 2019). Cette troisième dimension isotopique permettrait alors de mieux comprendre l'origine des proies des phoques veaux-marins et gris, et de mieux mesurer les similarités alimentaires entre ces espèces.

C – Enquêtes sur les interactions entre mammifères marins et pêcheurs autour de Saint-Pierre et Miquelon

Les conflits entre mammifères marins et pêcheries peuvent prendre une multitude de formes. De manière générale, les interactions entre mammifères marins et pêcheries sont divisés en deux principales catégories : les interactions opérationnelles et les interactions biologiques. Les interactions opérationnelles incluent les captures accidentelles dans les engins de pêche et la déprédation (lorsque les mammifères marins altèrent les captures sur les engins de pêche). Ce type d'interactions peut causer des blessures aux animaux impliqués voire la mort. De plus, la déprédation peut engendrer des pertes économiques importantes pour les pêcheries, à la fois du fait de la destruction des captures ou des engins de pêche (Read 2008). Les interactions biologiques sont plus subtiles et souvent difficiles à évaluer et font référence à la compétition entre pêcheries et mammifères marins pour les ressources. Les deux types d'interaction requiert généralement des mesures de gestion différentes.

A Saint-Pierre et Miquelon, les phoques (en particulier le phoque gris) sont souvent incriminés par les pêcheurs pour les dégâts qu'ils causent sur les engins de pêche et les prises, ainsi que sur les ressources. La communauté des pêcheurs exprime régulièrement des inquiétudes et des frustrations, alors qu'aucun travail n'a réellement été réalisé pour mieux comprendre ces interactions. Dans le cadre du projet COPEMAM, de manière à caractériser les conflits entre mammifères marins et pêcheries, nous avons choisi de réaliser des enquêtes auprès des usagers de la mer. Une enquête a été élaborée et ensuite administrée par un étudiant dans le cadre de son stage de BTSM (Brevet de Technicien Supérieur de la Mer) Pêche et Gestion de l'Environnement Marin (Thomas Le Manac'h). Cette approche permet de mieux comprendre les perceptions que les usagers, en particulier les pêcheurs ont des mammifères marins, qu'il s'agisse de leur biodiversité, de leurs rôles écologiques dans les écosystèmes, ou de leurs interactions avec les activités humaines et les ressources marines. L'approche par enquête est préliminaire et soumise à un certain nombre de biais, notamment du fait qu'elle est basée par des perceptions individuelles influencées par des expériences vécues mais qui ne sont pas étayées par des données quantitatives. Elles peuvent également être influencées par des contraintes sociales et économiques (ex. l'industrie du tourisme cherche à défendre les intérêts du tourisme, les pêcheurs cherchent à défendre les intérêts de la pêche, etc.). Néanmoins, l'approche par enquête permet de dégager des tendances des usagers, ainsi que d'engager un dialogue entre la recherche, ces usagers et à l'interface, par les décideurs et les acteurs de la gestion de l'environnement et des ressources naturelles.

Les enquêtes ont été administrées en septembre et octobre 2021 (Annexe 1). Après un discours introductif donné par l'enquêteur, notamment sur le cadre du projet et de l'enquête, la nature des questions ou encore sur la préservation de l'identité, un total de 36 questions a été posé, notamment sur la catégorie socio-professionnelle, d'âge et les pratiques et usages de l'océan par l'enquêté. La deuxième partie de l'enquête consistait en des questions sur la connaissance des mammifères marins par l'enquêté, en particulier sur les espèces présentes autour de l'archipel, leurs tendances de populations et leur écologie alimentaire. Enfin, le questionnaire abordait des questions relatives aux interactions entre pêche et mammifères marins, notamment sur l'occurrence de captures accidentelles, la perception des enquêtés sur les interactions compétitives entre les pêches et ces

espèces ou encore les mesures de gestion proposées pour réduire les conflits pêche/mammifères marins.

Au total, 20 enquêtes ont été administrées. La majorité des enquêtés pratiquait la pêche de plaisance (45 %) suivi par la pêche professionnelle (30 %, Figure C.1). L'essentiel des enquêtés (75 %) avait un âge situé entre 45 et 65 ans, contre 20 % qui avant un âge entre 25 et 45 ans. Une seule personne (retraité) enquêté avait un âge supérieur à 65 ans. Par ailleurs, 75 % des personnes interrogées résidait sur l'île de Saint Pierre. Une seule personne enquêtée résidait sur l'île de Miquelon. Trois personnes enquêtées résidaient aussi sur l'île de Langlade, notamment au cours de la saison estivale.

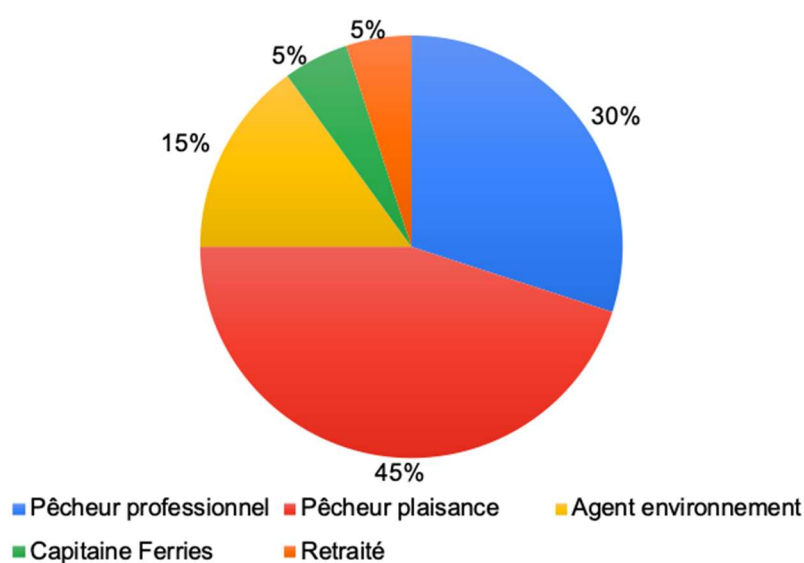


Figure C.1 : Catégories socio-professionnelles personnes enquêtées (n = 20).

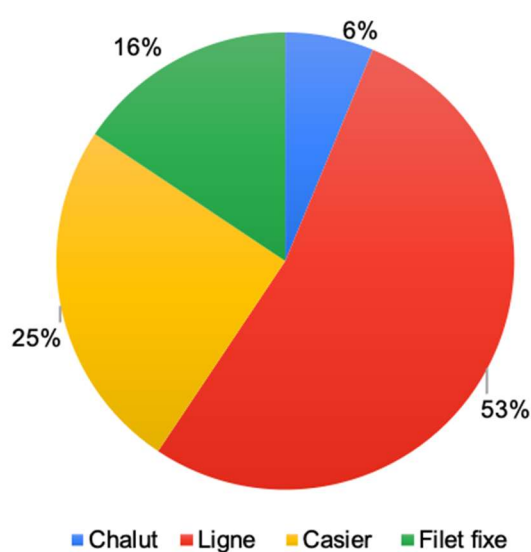


Figure C.2 : Engins de pêche utilisés par les enquêtés.

Les enquêtés pouvaient utiliser plusieurs types d'engins de pêche, notamment pour la pêche de plaisance, alors que les pêcheurs professionnels interrogés utilisaient le chalutage (au large, ciblant les concombres de mer). Dans la majorité des cas, les pêcheurs de plaisance utilisaient la ligne, le casier (principalement pour le homard et autres crustacés) et le filet calé, ciblant une diversité d'espèces de poisson, particulièrement le saumon (Figure C.2). Les zones de pêche utilisées par les pêcheurs étaient en grande majorité les eaux côtières de Saint-Pierre et Miquelon (moins de 5 milles nautiques des côtes), alors que les pêcheurs professionnels déclaraient pêcher plus au large dans les limites de la ZEE (Zone Économique Exclusive). Les pêcheurs de plaisance déclaraient cibler une grande diversité d'espèce, notamment le saumon (pêche au filet), le homard, crabes et autres crustacés (casier) et un nombre important d'espèces de poissons (cabillaud, hareng, capelan, maquereaux en particulier, à la ligne).

La connaissance des mammifères marins par les usagers de la mer interrogés peut être considérée comme importante. La grande majorité des personnes interrogées étaient en mesure de citer plusieurs noms d'espèces de cétacés et de phoques et d'indiquer quelles espèces fréquentent le plus les côtes de Saint-Pierre et Miquelon (Figure C.3).

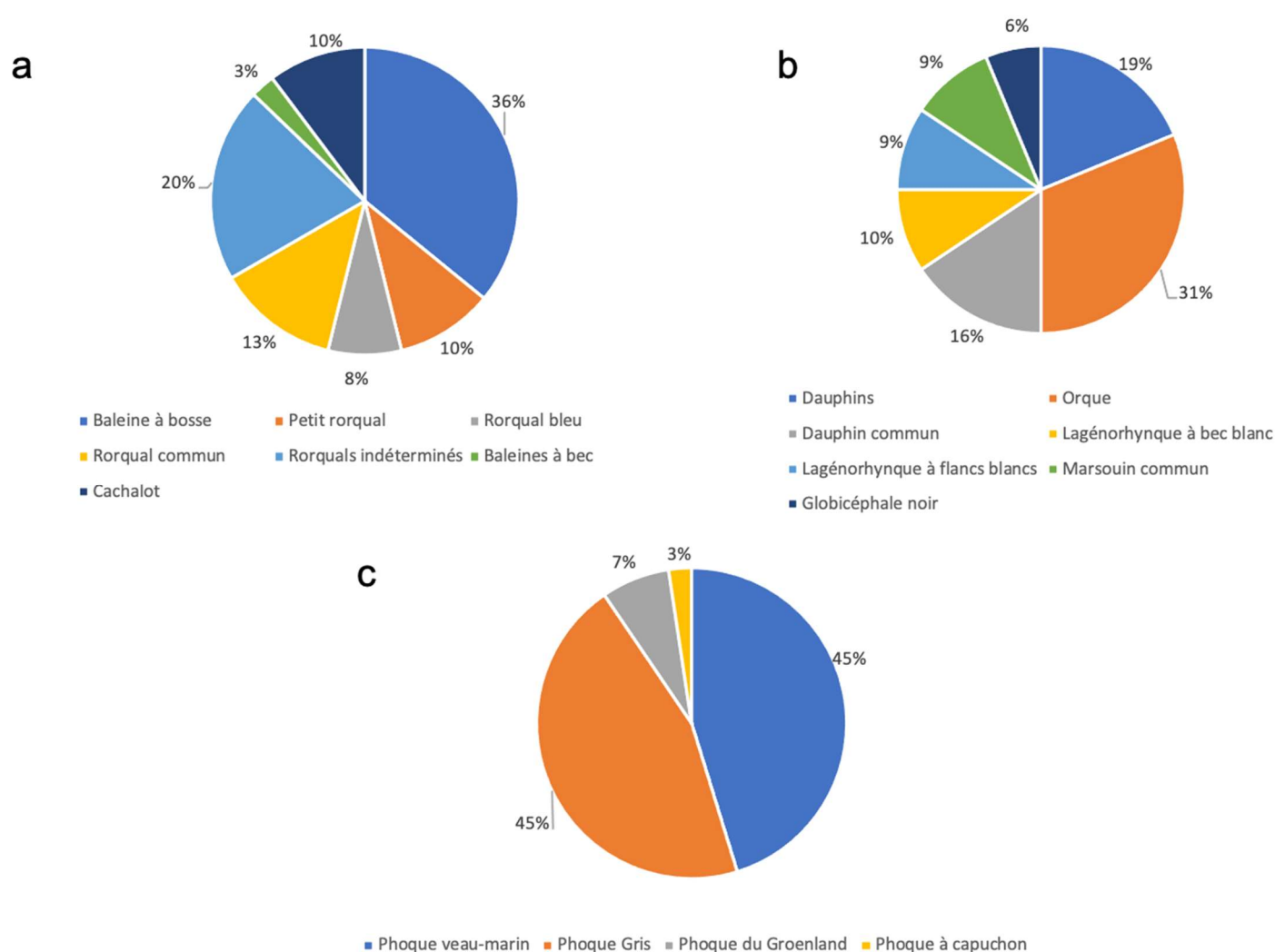


Figure C.3 : Espèces de cétacés (grands cétacés : a ; petits cétacés : b) et de phoques (c) mentionnées comme communément rencontrées le long des côtes de Saint-Pierre et Miquelon.

Ainsi, 4 espèces de mysticètes, le cachalot (*Physeter macrocephalus*) et les baleines à bec furent mentionnées comme espèces fréquentant les eaux de l'archipel, avec une occurrence tout particulièrement forte pour la baleine à bosse et les rorquals indéterminés et le rorqual commun (Figure C.3). Pour les petits cétacés, les espèces les plus couramment mentionnées comme fréquentant les eaux de Saint-Pierre et Miquelon sont l'orque, les dauphins indéterminés, le dauphin commun, et à proportions égales, le lagénorhynque à bec blanc, le marsouin commun et le lagénorhynque à flancs blancs.

La connaissance des phoques semble plus importante pour les personnes interrogées, puisque toutes ont pu déterminer quelles espèces fréquentaient le plus les côtes de Saint-Pierre et Miquelon, notamment le phoque veau-marin, le phoque gris et dans une moindre mesure deux espèces de phoques polaires : le phoque du Groenland (*Pagophilus groenlandicus*) et le phoque à capuchon (*Cystophora cristata*). L'écologie alimentaire des cétacés semblait peu connue par les enquêtés, alors que ceux-ci fournissent des détails relativement importants sur les habitudes alimentaires des phoques, notamment les deux principales espèces fréquentant l'archipel. Ainsi, la compilation de l'ensemble des proies consommées connues par les enquêtés pour être consommées par les phoques est donnée à la figure C.4 (en valeur absolue).

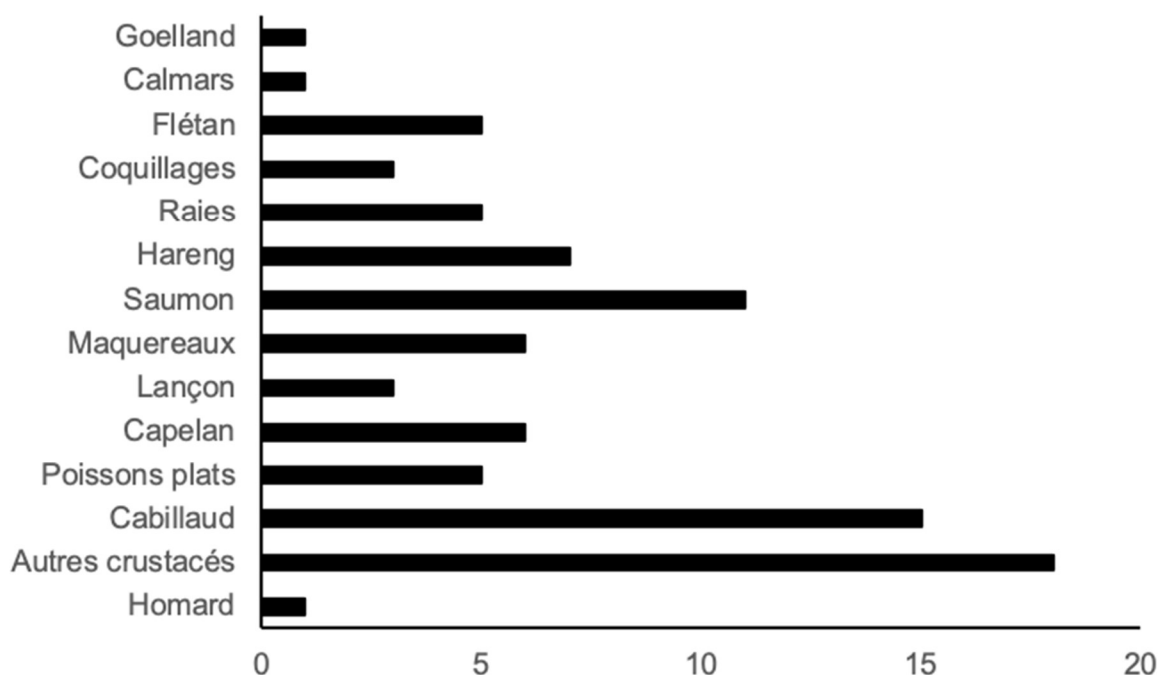


Figure C.4 : Nombre de cumulé des proies mentionnées par les personnes interrogées pendant l'enquête.

Ainsi, les enquêtés (notamment les pêcheurs plaisanciers) ont déclaré que les crustacés (en particulier crabes), le cabillaud, le saumon et une diversité d'autres proies (poissons osseux, raies et dans un cas des oiseaux de mer) sont consommés par les deux espèces de phoques.

Alors que les personnes enquêtées ne perçoivent pas clairement de tendance de populations (augmentation, diminution, stabilité) pour les cétacés (55 %), certains usagers perçoivent une augmentation de population ou d'occurrence pour certaines espèces, notamment l'orque (30 %), alors que 10 % des personnes interrogées pensent que l'occurrence ou l'abondance des cétacés diminue le long des côtes de l'archipel. Pour ce qui est des pinnipèdes, la tendance est encore une fois beaucoup plus claire, avec 85 % des personnes interrogées qui pensent que les populations de phoque (en particulier le phoque gris et dans une moins mesure le phoque veau-marin) augmentent de manière très significative. Selon 60 % les enquêtés, les phoques ne détruisent pas les engins de pêche (en particulier les filets fixes et les casiers), 20 % ont répondu que oui alors que 20 % ne se sont pas prononcés sur cette question. Selon toutes les personnes interrogées, aucune espèce de cétacé n'est connu pour endommager les engins de pêche.

En revanche, 85 % des personnes interrogées déclarent avoir été confronté à des destructions de leurs captures de pêche (déprédation) directement dans les filets (notamment les filets fixes en pêche et ciblant le saumon), mais aussi des casiers (ciblant le homard) mais aussi les ligne (au moment de la remontée). Les cétacés semblent peu impliqués dans la déprédation (deux pêcheurs ont mentionné de la déprédation de saumon par le marsouin commun dans des filets). Les personnes interrogées déclarent que la réduction des conflits entre mammifères marins, particulièrement les phoques, doit passer par l'abattage administratif de ces espèces dans 55 % des cas, alors que les autres personnes interrogées suggèrent de ne pas tenter d'action.

En conclusion, même si la taille de l'échantillonnage fut réduite du fait d'une multitude de raisons (indisponibilité des personnes approchées pour les enquêtes ou réticence à répondre aux questions), cette étude révèle l'intérêt des techniques d'enquête auprès des usagers de la mer (notamment des pêcheurs) pour mieux comprendre leur connaissance des mammifères marins et leurs perceptions des conflits qui subsistent entre leur activité et ces espèces. Il est recommandé de poursuivre l'effort d'enquête dans les années à venir pour mieux caractériser les interactions entre pêche et mammifères marins, notamment les phoques. Ceci permettra notamment de mieux cerner la connaissance des pêcheurs et autres usagers de la mer vis-à-vis de ces espèces et de la comparer à certaines données collectées de manière empirique au cours du programme COPEMAM. Ainsi, il serait possible de comparer les informations sur les habitudes alimentaires des phoques via l'analyse des crotte et d'isotopes stables à celles perçues par les usagers de la mer.

Valorisation scientifique du programme COPEMAM

Voici une liste de publications et présentations, passées ou en cours de préparation qui utilisent tout ou partie des données collectées dans le cadre du programme COPEMAM.

En préparation (liste des auteurs à définir et liste non exhaustive) :

Occurrence and habitat preferences of cetaceans around the northwestern Atlantic archipelago of Saint-Pierre et Miquelon using opportunistic and dedicated survey data.

Habitat preferences and influence of prey dynamics on the distribution of minke whales (*Balaenoptera acutorostrata*) in a coastal summer feeding ground

Genetic population structure of white-beaked dolphins (*Lagenorhynchus albirostris*) and Atlantic white-sided dolphins (*Lagenorhynchus acutus*) in the North Atlantic Ocean

Foraging ecology and prey preferences of cetaceans in a productive coastal ecosystem in the northwestern Atlantic

Using quantitative fatty acid profiles to assess the diet of killer whales (*Orcinus orca*) in the North Atlantic

Mémoires de Master 2 :

Garnier, T. 2021. Écologie alimentaire des phoques veaux veaux-marins (*Phoca vitulina*) et gris (*Halichoerus grypus*) à Saint-Pierre-et-Miquelon. Mémoire de Master 2, CEBC/Université de Bretagne Occidentale. Juin 2021. 42 PP.

Wynn-Simmonds, S. 2022. Écologie trophique des phoques veaux-marins (*Phoca vitulina*) et gris (*Halichoerus grypus*) à Saint-Pierre-et-Miquelon. Mémoire de Master 2, CEBC/La Rochelle Université. Juin 2022. 49 PP.

Présentations à des colloques scientifiques :

Garnier, T., Spitz, J., Caurant, F., Koelsch, D., Urtizberea, F., Guillou, G., Planque, Y., Lawson, J., Stenson, G., Vincent, C. 2021. Écologie trophique des phoques gris et veaux-marins à Saint-Pierre et Miquelon. Congrès franco-canadien sur les sciences aquatiques. Saint-Pierre et Miquelon, 30 septembre – 3 octobre 2021. Présentation orale.

Vincent, C., Boissel, G., Koelsch, D., Urtizberea, F. 2021. Suivi satellitaire de phoques gris et veaux-marins à Saint-Pierre et Miquelon. Congrès franco-canadien sur les sciences aquatiques. Saint-Pierre et Miquelon, 30 septembre – 3 octobre 2021. Présentation orale.

Remerciements

Ce programme n'aurait pas pu voir le jour sans le soutien fort des organismes qui le financent, l'Office Français de la Biodiversité (OFB) et la Direction des territoires, de l'alimentation et de la mer (DTAM) de Saint-Pierre et Miquelon. Il a été rendu possible par la participation active des personnels de la DTAM 975, service SAAEB, de l'OFB, d'Ifremer, de la mairie de Miquelon, de l'aviation civile ainsi que des particuliers bénévoles qui ont participé directement à la collecte des données analysées dans ce rapport (avec des remerciements spécifiques aux propriétaires des bateaux sollicités lors des sorties). Outre les co-auteurs de ce rapport dont la participation a été essentielle, nous souhaitons vivement remercier, dans l'ordre alphabétique : Jérôme Anger, Jean-Paul Aspeteguy, Claudine Baudry, Stéphanie Bialoux, Gianni Boissel, Franck Bourgeois, Eve Briand, Yoann Busnot, Marie Cormier, Carole Coquio, David Cormier, Willy Dabin, Anaïs Demagny, Nell den Heyer, Stéphane Dixneuf, Herlé Goraguer, Benjamin Guichard, Laurent Jackman, Alexandre Hublart, Thibaut Lestra, Damian Lidgard, Francis Louis, Laurent Malthieux, Cédric Mattheeuws, Logan Michel, Marion Olagnon, Gilles Olaizola, Louis Quénée, Gaetan Renoux, Nicolas Salomon, Mylène Tesson, Luc Thillais. Nous remercions aussi Thomas Le Manac'h pour avoir réalisé les enquêtes de terrain avec l'aide de la DTAM, ainsi que toutes les personnes ayant participé à l'enquête. Enfin nous remercions les services administratifs de La Rochelle Université, de Florida International University, de l'OFB et de la DTAM975 pour leur aide à la gestion administrative et financière de ce programme.

Références bibliographiques

- Akaike, H. 1973. Maximum likelihood identification of Gaussian autoregressive moving average models. *Biometrika* 60:255-265.
- Allen, S., M. Stephenson, R. Risebrough, L. Fancher, A. Shiller and D. Smith. 1993. Red-Pelaged Harbor Seals of the San Francisco Bay Region. *American Society of Mammalogists* 74:588-593.
- Bearhop, S., S. Waldron, Stephen c. Votier and Robert w. Furness. 2002. Factors That Influence Assimilation Rates and Fractionation of Nitrogen and Carbon Stable Isotopes in Avian Blood and Feathers. *Physiological and Biochemical Zoology* 75:451-458.
- Beck, C., W. Bowen and S. Iverson. 2003. Sex differences in the seasonal patterns of energy storage and expenditure in a phocid seal. *Journal of Animal Ecology* 72:280-291.
- Blanchet, M.-A., C. Vincent, J. N. Womble, S. M. Steingass and G. Desportes. 2021. Harbour Seals: Population Structure, Status, and Threats in a Rapidly Changing Environment. *Oceans* 2:41-63.
- Boulva, J. 1973. The harbour seal, *Phoca vitulina concolor*, in Eastern Canada. PhD, University of Dalhousie, 169 pp.
- Boulva, J. and I. McLaren. 1979. Biology of the harbor seal, *Phoca vitulina*, in Eastern Canada. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada* 200:1-24.
- Boveng, P., J. Bengtson, D. Withrow, J. Cesarone and M. Simpkins. 2003. The Abundance of Harbor Seals in the Gulf of Alaska. *Marine Mammal Science* 19:111-127.
- Bowen, D., C. Beck, S. Iverson, D. Austin and J. Mcmillan. 2006a. Linking predator foraging behaviour and diet with variability in continental shelf ecosystems: grey seals of eastern Canada. Pages 63-81 in I. Boyd, S. Wanless and C. Camphuysen eds. *Top predators in Marine Ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Bowen, D., S. Iverson, J. Mcmillan and D. Boness. 2006b. Reproductive performance in grey seals: age-related improvement and senescence in a capital breeder. *Journal of Animal Ecology* 75:1340-1351.
- Bowen, D., J. Mcmillan and W. Blanchard. 2007. Reduced population growth of gray seals at Sable island: evidence from pup production and age of primiparity. *Marine Mammal Science* 23:48-64.
- Bowen, W. 2000. Reconstruction of pinniped diets: accounting for complete digestion of otoliths and cephalopod beaks. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 57:898-905.
- Bowen, W., P. Carter and M. Hammill. 2011. Estimated grey seal diet near Sable island derived from fecal samples: 1991 to 2010. vi + 7p pp.
- Bowen, W., S. Ellis, S. Iverson and D. Boness. 2003a. Maternal and newborn life-history traits during periods of contrasting population trends: implications for explaining the decline of harbour seals (*Phoca vitulina*), on Sable Island. *Journal of Zoology, London* 261:155-163.
- Bowen, W. and G. Harrison. 1994. Offshore diet of grey seals *Halichoerus grypus* near Sable island, Canada. *Marine Ecological Progress Series* 112:1-11.
- Bowen, W., J. Mcmillan and R. Mohn. 2003b. Sustained exponential population growth of grey seals at Sable Island, Nova Scotia. *ICES Journal of Marine Science* 60:1265-1274.
- Bowering, W. R. and W. B. Brodie. 1991. Distribution of commercial flatfishes in the Newfoundland-Labrador region of the Canadian Northwest Atlantic and changes in certain biological parameters since exploitation. *Netherlands Journal of Sea research* 27:407-422.
- Bridier, G., T. Meziane, J. Grall, L. Chauvaud, S. Donnet, P. Lazure and F. Olivier. 2021. Sources, quality and transfers of organic matter in a highly-stratified sub-Arctic coastal system (Saint-Pierre-et-Miquelon, NW Atlantic). *Progress in Oceanography* 190:102483.
- Brown, E., G. Pierce, J. Hislop and M. Santos. 2001. Interannual variation in the summer diets of harbour seals *Phoca vitulina* at Mousa, Shetland (UK). *Journal of Marine Biology Association, U.K.* 81:325-337.

- Brown, S., S. Bearhop, C. Harrod and R. McDonald. 2012. A review of spatial and temporal variation in grey and common seal diet in the United Kingdom and Ireland. *Journal of Marine Biology Association, U.K.* 92:1711-1722.
- Browne, P., J. L. Laake and R. L. Delong. 2002. Improving pinniped diet analysis through identification of multiple skeletal structures in fecal samples. *Fishery Bulletin* 100:423-433.
- Charnov, E. 1976. Optimal foraging, the marginal value theorem. *Theoretical Population Biology* 9:129-136.
- Coltman, D., D. Bowen, D. Boness and S. Iverson. 1997. Balancing foraging and reproduction in the male harbour seal, an aquatically mating pinniped. *Animal Behavior* 54:663-678.
- Cordes, L. and P. Thompson. 2015. Mark-resight estimates of seasonal variation in harbor seal abundance and site fidelity. *Population Ecology* 57:467-472.
- Craig, D. and G. J. Fitzgerald. 1982. Reproductive tactics of four sympatric sticklebacks (*Gasterosteidae*). *Environmental Biology of Fishes* 7:369-375.
- Damseaux, F., U. Siebert, P. Pomeroy, G. Lepoint and K. Das. 2021. Habitat and resource segregation of two sympatric seals in the North Sea. *Science of the Total Environment*.
- De La Vega, C., B. Lebreton, U. Siebert, G. Guillou, K. Das, R. Asmus and H. Asmus. 2016. Seasonal variation of harbor seal's diet from the Wadden sea in relation to prey availability. *Plos One* 11:e0155727.
- Deagle, B., D. Tollit, S. Jarman, M. Hindell, A. Trites and N. Gales. 2005. Molecular scatology as a tool to study diet: analysis of prey DNA in scats from captive Steller sea lions. *Molecular Ecology* 14:1831-1842.
- Den Heyer, C. E., W. D. Bowen, J. Dale, J.-F. Gosselin, M. O. Hammill, D. W. Johnston, S. L. C. Lang, K. T. Murray, G. B. Stenson and S. A. Wood. 2020. Contrasting trends in gray seal (*Halichoerus grypus*) pup production throughout the increasing northwest Atlantic metapopulation. *Marine Mammal Science* 37:611-630.
- Dietz, R., J. Teilmann, S. Andersen, F. Rigét and M. Olsen. 2013. Movements and site fidelity of harbour seals (*Phoca vitulina*) in Kattegat, Denmark, with implications for the epidemiology of the phocine distemper virus. *ICES Journal of Marine Science* 70:186-195.
- Elder, J.-F. and G. Gautier. 2008. Bilan du suivi 2007 par ULM des colonies de phoques veaux-marins (*Phoca vitulina*) de la baie du Mont-Saint-Michel et de la baie des Veys. 36 pp.
- Fedak, M., P. Lovell and S. Grant. 2001. Two approaches to compressing and interpreting time-depth information as collected by time-depth recorders and satellite-linked data recorders. *Marine Mammal Science* 17:94-110.
- Forest, A., R. Chevalier, D. Briand and J.-C. Mahé. 1979. Ressources halieutiques dans la région de Saint-Pierre et Miquelon (Subdivision 3 Ps de l'I.C.N.A.F.). *Science et Pêche* 287:1-16.
- Fry, B. 2008. Stable isotope ecology. Springer, New York, NY.
- Gerondeau, M., C. Barbraud, V. Ridoux and C. Vincent. 2007. Abundance estimate and seasonal patterns of grey seal (*Halichoerus grypus*) occurrence in Brittany, France, as assessed by photo-identification and capture-mark-recapture. *Journal of Marine Biology Association, U.K.* 87:365-372.
- Gosch, M., G. Hernandez-Milian, E. Rogan, M. Jessop and M. Cronin. 2014. Grey seal diet analysis in Ireland highlights the importance of using multiple diagnostic features. *Aquatic Biology* 20:155-167.
- Granquist, S. and E. Hauksson. 2016. Seasonal, meteorological, tidal and diurnal effects on haul-out patterns of harbour seals (*Phoca vitulina*) in Iceland. *Polar Biology*.
- Greaves, D., M. Hammill, J. Eddington, D. Pettipas and J. Schreer. 2004. Growth rate and shedding of vibrissae in the gray seal, *halichoerus grypus*: a cautionary note for stable isotope diet analysis. *Marine Mammal Science* 20:296-304.
- Grellier, K. and P. S. Hammond. 2006. Robust digestion and passage rate estimates for hard parts of grey seal (*Halichoerus grypus*) prey. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 63:1982-1998.

- Hall, A., J. Watkins and P. Hammond. 1998. Seasonal variation in the diet of harbour seals in the south-western North sea. *Marine Ecological Progress Series* 170:269-281.
- Hall, A. J. and D. J. F. Russell. 2018. Gray Seal: *Halichoerus grypus*. Pages 420-422 in B. Würsig, J. G. M. Thewissen and K. M. Kovacs eds. *Encyclopedia of Marine Mammals (Third Edition)*. Academic Press.
- Hamilton, C., C. Lydersen, R. Ims and K. Kovacs. 2014. Haul-out behaviour of the world's northernmost population of harbour seals (*Phoca vitulina*) throughout the year. *Plos One* 9:e86055.
- Härkönen, T. 1986. Guide to the otoliths of the bony fishes of the Northeast Atlantic. Danbiu ApS. Biological Consultants, Hellerup, Denmark.
- Härkönen, T. and M. Heide-Jørgensen. 1990. Comparative life histories of East Atlantic and other harbour seal populations. *Ophelia* 32:211-235.
- Hastie, G., D. Russell, S. Benjamins, S. Moss, B. Wilson and D. Thompson. 2016. Dynamic habitat corridors for marine predators; intensive use of a coastal channel by harbour seals is modulated by tidal currents. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 70:2161-2174.
- Hauser, D. D. W., C. S. Allen, H. B. Rich and T. P. Quinn. 2008. Resident Harbor Seals (*Phoca vitulina*) in Iliamna Lake, Alaska: Summer Diet and Partial Consumption of Adult Sockeye Salmon (*Oncorhynchus nerka*). *Aquatic Mammals* 34:303-309.
- Hayward, J., S. Henson, C. Logan, C. Parris, M. Meyer and B. Dennis. 2005. Predicting numbers of hauled-out harbour seals: a mathematical model. *Journal of Applied Ecology* 42:108-117.
- Hiby, A., T. Lundberg, O. Karlsson, J. Watkins, M. Jüssi, I. Jüssi and B. Helander. 2007. Estimates of the size of the Baltic grey seal population based on photo-identification data. *NAMMCO Scientific Publications* 6:163-175.
- Hui, T., Y. Morita, Y. Kobayashi, Y. Mitani and K. Miyashita. 2017. Dietary analysis of harbour seals (*Phoca vitulina*) from faecal samples and overlap with fisheries in Erimo, Japan. *Marine Ecology* 38:e12431.
- Hunt, J. 1992. Morphological characteristics of otoliths for selected fish in the Northwest Atlantic. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science* 13:63-75.
- Huon, M., Y. Planque, M. J. Jessopp, M. Cronin, F. Caurant and C. Vincent. 2021. Fine-scale foraging habitat selection by two diving central place foragers in the Northeast Atlantic. *Ecology and Evolution* 11:12349–12363.
- Jackson, A. L., R. Inger, A. C. Parnell and S. Bearhop. 2011. Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER - Stable Isotope Bayesian Ellipses in R: Bayesian isotopic niche metrics. *Journal of Animal Ecology* 80:595-602.
- Jessop, M., M. Cronin and T. Hart. 2013. Habitat-mediated dive behavior in free-ranging grey seals. *Plos One* 8:e63720.
- Khan, A. H., E. Levac and G. L. Chmura. 2013. Future sea surface temperatures in Large Marine Ecosystems of the Northwest Atlantic. *ICES Journal of Marine Science* 70:915-921.
- Lesage, V., M. Hammill and K. Kovacs. 2001. Marine mammals and the community structure of the Estuary and Gulf of St Lawrence, Canada: evidence from stable isotope analysis. *Marine Ecological Progress Series* 210:203-221.
- Lesage, V., M. Hammill and K. Kovacs. 2004. Long-distance movements of harbour seals (*Phoca vitulina*) from a seasonally ice-covered area, the St Lawrence River estuary, Canada. *Canadian Journal of Zoology* 82:1070-1081.
- Letourneur, Y., T. Lison De Loma, P. Richard, M. L. Harmelin-Vivien, P. Cresson, D. Banaru, M. F. Fontaine, T. Gref and S. Planes. 2013. Identifying carbon sources and trophic position of coral reef fishes using diet and stable isotope ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$) analyses in two contrasted bays in Moorea, French Polynesia. *Coral Reefs* 32:1091-1102.
- Lidgard, D., D. Boness, W. Bowen and J. Mcmillan. 2003. Diving behaviour during the breeding season in the terrestrially breeding male grey seal: implications for alternative mating tactics. *Canadian Journal of Zoology* 81:1025-1033.
- Lundström, K., O. Hjerne, K. Alexandersson and O. Karlsson. 2007. Estimation of grey seal (*Halichoerus grypus*) diet composition in the Baltic Sea. *NAMMCO Scientific Publications* 6:177-196.

- Mcbride, R., J. Hauser and S. Sutherland. 2010. Brodeur's guide to otoliths of some northwest Atlantic fishes. 35 pp.
- Merkel, B., C. Lydersen, N. Yoccoz and K. Kovacs. 2013. The world's northernmost harbour seal population - how many are there? *Plos One* 8:e67576.
- Mussen, T. D. and H. V. S. Peeke. 2001. Nocturnal Feeding in the Marine Threespine Stickleback (*Gasterosteus aculeatus* L.): Modulation by Chemical Stimulation. *Behaviour* 138:857-871.
- Neumann, D. and W. Schmahl. 1999. Red-pelaged harbour seals, in Humboldt County, California: why some seals rust. *Marine Pollution Bulletin* 38:1177-1183.
- Niño-Torres, C. A., J. P. Gallo-Reynoso, F. Galván-Magaña, E. Escobar-Briones and S. A. Macko. 2006. Isotopic analysis of $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, and $\delta^{34}\text{S}$ "A feeding tale" in teeth of the longbeaked common dolphn, *Delphinus capensis*. *Marine Mammal Science* 22:831-846.
- Orians, G. and N. Pearson. 1979. On the theory of central place foraging. Pages 155-177 in D. Horn, R. Stairs and R. Mitchell eds. *Analysis of ecological systems*. Ohio State University Press, Columbus.
- Orr, A., A. Banks, S. Mellman, H. Huber and R. Delong. 2004. Examination of the foraging habits of Pacific harbor seal (*Phoca vitulina richardsi*) to describe their use of the Umpqua River, Oregon, and their predation on salmonids. *Fishery Bulletin* 102:108-117.
- Parnell, A. C., R. Inger, S. Bearhop and A. L. Jackson. 2010. Source Partitioning Using Stable Isotopes: Coping with Too Much Variation. *Plos One* 5:e9672.
- Pauli, B. and J. Terhune. 1987. Tidal and temporal interaction on harbour seal haul-out patterns. *Aquatic Mammals* 13:93-95.
- Peterson, B. J. and B. Fry. 1987. Stable Isotopes in Ecosystem Studies. *Annual Review of Ecology and Systematics* 1:293-320.
- Phillips, D. L., R. Inger, S. Bearhop, A. L. Jackson, J. W. Moore, A. C. Parnell, B. X. Semmens and E. J. Ward. 2014. Best practices for use of stable isotope mixing models in food-web studies. *Canadian Journal of Zoology* 92:823-835.
- Phillips, E. M. and J. T. Harvey. 2009. A captive feeding study with the Pacific harbor seal (*Phoca vitulina richardii*): Implications for scat analysis. *Marine Mammal Science* 25:373-391.
- Photopoulou, T., P. Lovell, M. Fedak, L. Thomas and J. Matthiopoulos. 2015. Efficient abstracting of dive profiles using a broken-stick model. *Methods in Ecology & Evolution* 6:278-288.
- Pierce, G. and P. Boyle. 1991. A review of methods for diet analysis in piscivorous marine mammals. *Oceanographic Marine Biology Annual Review* 29:409-486.
- Pierotti, R. and D. Pierotti. 1983. Costs of thermoregulation in adult pinipeds. *Evolution* 37:1087-1091.
- Pinzone, M., F. Damseaux, L. N. Michel and K. Das. 2019. Stable isotope ratios of carbon, nitrogen and sulphur and mercury concentrations as descriptors of trophic ecology and contamination sources of Mediterranean whales. *Chemosphere* 237:124448.
- Planque, Y. 2021. Ecologie trophique de deux espèces sympatriques de phoques en périphérie de leur aire de répartition. Thèse de Doctorat, La Rochelle Université, 368 pp.
- Planque, Y., J. Spitz, M. Authier, G. Guillou, C. Vincent and F. Caurant. 2021. Trophic niche overlap between sympatric harbour seals (*Phoca vitulina*) and grey seals (*Halichoerus grypus*) at the southern limit of their European range (Eastern English Channel). *Ecology and Evolution* 11:10004-10025.
- Poncet, S., I. Mercereau, C. Couvrat, M. Le Baron, M. Francou, A. Hemon, M.-H. Frémau, J.-F. Elder, C. Gicquel, S. Monnet, C. Rault, J. Karpouzopoulos, J. Lefebvre, A. Everard, F. Colomb, M. Diard Combet, P. Provost, A. Deniau, F. Urtizberea, D. Koelsch, B. Letournel and C. Vincent. 2022. Recensement des colonies et reposoirs de phoques en France en 2020 et 2021. 50 pp.
- Post, D. M. 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: Models, methods, and assumptions. 83:16.
- Rice, J. 2002. 3 Changes to the large marine ecosystem of the Newfoundland-Labrador shelf. Pages 51-103 in K. Sherman and H. R. Skjoldal eds. *Large Marine Ecosystems*. Elsevier.

- Ridoux, V., J. Spitz, C. Vincent and M. Walton. 2007. Grey seal diet at the southern limit of its European distribution: combining dietary analyses and fatty acid profiles. *Journal of Marine Biology Association*, U.K. 87:255-264.
- Roffe, T. and B. Mate. 1984. Abundances and feeding habits of pinnipeds in the Rogue river, Oregon. *Journal of Wildlife Management* 48:1262-1274.
- Russell, D., B. McClintock, J. Matthiopoulos, P. Thompson, D. Thompson, P. Hammond, E. Jones, M. Mackenzie, S. Moss and B. McConnell. 2015. Intrinsic and extrinsic drivers of activity budgets in sympatric grey and harbour seals. *Oikos* in press:001-011.
- Savouré-Soubelet, A., S. Aulagnier, P. Haffner, F. Moutou, O. Van Canneyt, J.-B. Charrassin and V. Ridoux. 2016. Atlas des mammifères sauvages de France - Volume 1 : Mammifères marins. Marseille.
- Scos. 2020. Scientific advice on matters related to the management of seal populations: 2020. 223 pp.
- Sharples, R., S. Moss, T. Patterson and P. Hammond. 2012. Spatial variation in foraging behaviour of a marine top predator (*Phoca vitulina*) determined by a large-scale satellite tagging program. *Plos One* 7:e37216.
- Sinisalo, T., E. T. Valtonen, E. Helle and R. I. Jones. 2006. Combining stable isotope and intestinal parasite information to evaluate dietary differences between individual ringed seals (*Phoca hispida botnica*). *Canadian Journal of Zoology* 84:823-831.
- Smith, J. A., D. Mazumder, I. M. Suthers and M. D. Taylor. 2013. To fit or not to fit: evaluating stable isotope mixing models using simulated mixing polygons. *Methods in Ecology and Evolution* 4:612-618.
- Spitz, J., L. Dupuis, V. Becquet, B. Dubief and A. Trites. 2015. Diet of the harbour seal *Phoca vitulina*: implication for the flatfish nursery in the Bay of Somme (English Channel, France). *Aquatic Living Resources* DOI: 10.1051 / alr / 2015001.
- Spitz, J., L. Mariotti, V. Ridoux, E. Caillot and J.-F. Elder. 2010. The diet of harbour seals (*Phoca vitulina*) at the southern limit of its European distribution (Normandy, France). *NAMMCO Scientific Publications* 8:313-328.
- Stanley, W. T. and K. E. Shaffer. 1995. Harbor seal (*Phoca vitulina*) predation on seined salmonids in the Lower Klamath river, California. *Marine Mammal Science* 11:376-385.
- Stewart, B. 1984. Diurnal hauling patterns of harbor seals at San Miguel island, California. *Journal of Wildlife Management* 48:1459-1461.
- Stock, B. C., A. L. Jackson, E. J. Ward, A. C. Parnell, D. L. Phillips and B. X. Semmens. 2018. Analyzing mixing systems using a new generation of Bayesian tracer mixing models. *PeerJ* 6:e5096.
- Teilmann, J. and A. Galatius. 2018. Harbor Seal: *Phoca vitulina*. Pages 451-455 in B. Würsig, J. G. M. Thewissen and K. M. Kovacs eds. *Encyclopedia of Marine Mammals (Third Edition)*. Academic Press.
- Thomas, A. C., B. Deagle, C. Nordstrom, S. Majewski, B. W. Nelson, A. Acevedo-Gutiérrez, S. Jeffries, J. Moore, A. Loudon, H. Allegue, S. Pearson, M. Schmidt and A. W. Trites. 2022. Data on the diets of Salish Sea harbour seals from DNA metabarcoding. *Scientific Data* 9:68.
- Thomas, L., D. J. F. Russell, C. D. Duck, C. D. Morris, M. Lonergan, F. Empacher, D. Thompson and J. Harwood. 2019. Modelling the population size and dynamics of the British grey seal. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 29:6-23.
- Thompson, P. and J. Harwood. 1990. Methods for estimating the population size of common seals, *Phoca vitulina*. *Journal of Applied Ecology* 27:924-938.
- Thompson, P., B. Mc Connell, D. Tollit, A. Mackay, C. Hunter and P. Racey. 1996. Comparative distribution, movements and diet of harbour and grey seals from the Moray Firth, N. E. Scotland. *Journal of Applied Ecology* 33:1572-1584.
- Thompson, P. and D. Miller. 1990. Summer foraging activity and movements of radio-tagged common seals (*Phoca vitulina* L.) in the Moray Firth, Scotland. *Journal of Applied Ecology* 27:492-501.
- Tollit, D., A. Schulze, A. Trites, P. Olesiuk, S. Crockford, T. Gelatt, R. Ream and K. Miller. 2009. Development and application of DNA techniques for validating and improving pinniped diet estimates. *Ecological Applications* 19:889-905.

- Tollit, D., M. Steward, P. Thompson, G. Pierce, M. Santos and S. Hughes. 1997. Species and size differences in the digestion of otoliths and beaks: implications for estimates of pinniped diet composition. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science* 54:105-119.
- Trites, A. and R. Joy. 2005. Dietary analysis from faecal samples: how many scats are enough? *Journal of Mammalogy* 86:704-712.
- Trzcinski, M. K., R. Mohn and W. D. Bowen. 2011. Estimation de l'impact du phoque gris sur les populations de morue des parties orientale du plateau néo-écossais jusqu'en 2009. 27.
- Tuset, V. M., A. Lombarte and C. A. Assis. 2008. Otolith atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic. *Scientia Marina* 72S1:7-198.
- Vincent, C., S. Delayat, J.-F. Elder, G. Gautier, B. McConnell and V. Ridoux. 2008. Suivi télémétrique de phoques veaux en Baie du Mont-Saint-Michel et baie des Veys. Université de La Rochelle. 64 pp.
- Vincent, C., M. Huon and F. Caurant. 2015. Suivis télémétriques de phoques gris dans le Parc naturel marin d'Iroise (2010-2014). 123 pp.
- Vincent, C., M. Huon, F. Caurant, W. Dabin, A. Deniau, S. Dixneuf, L. Dupuis, J.-F. Elder, M.-H. Fremau, S. Hassani, A. Hemon, J. Karpouzopoulos, C. Lefeuve, B. J. McConnell, S. E. W. Moss, P. Provost, J. Spitz, Y. Turpin and V. Ridoux. 2017. Grey and harbour seals in France: Distribution at sea, connectivity and trends in abundance at haulout sites. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 141:294-305.
- Vincent, C., B. McConnell, S. Delayat, J.-F. Elder, G. Gautier and V. Ridoux. 2010a. Winter habitat use of harbour seals (*Phoca vitulina*) fitted with Fastloc GPS/GSM tags in two tidal bays in France. *NAMMCO Scientific Publications* 8:285-302.
- Vincent, C., B. J. McConnell, W. Dabin, J.-F. Elder, C. Hunter and V. Ridoux. 2010b. Suivis télémétriques 2007-2009 de phoques veaux-marins *Phoca vitulina* en baie des Veys. Université de La Rochelle. 60 PP pp.
- Vincent, C., Y. Planque, M. Huon and F. Caurant. 2021. Suivis télémétriques de phoques gris et phoques veaux-marins à partir de la baie de Somme - Rapport final (juillet 2021). La Rochelle Université. 80 pp.
- Vincent, C. and V. Ridoux. 2015. Les phoques à Saint-Pierre et Miquelon : État des lieux et recommandations de suivis. 50 pp.
- Willson, M. F. and K. C. Halupka. 1995. Anadromous Fish as Keystone Species in Vertebrate Communities. *Conservation Biology* 9:489-497.
- Wright, A., N. Rose, E. Parsons and S. Dolman. 2009. Urging cautious policy applications of captive research data is not the same as rejecting those data. *Marine Pollution Bulletin* 58:314-316.
- Ydesen, K., D. Wisniewska, J. Hansen, K. Beedholm, M. Johnson and P. Madsen. 2014. What a jerk: prey engulfment revealed by high-rate, super-crnial accelerometry on a harbour seal (*Phoca vitulina*). *The Journal of Experimental Biology* 217:2239-2243.
- Yochem, P., B. Stewart, R. Delong and D. Demaster. 1987. Diel haul-out patterns and site fidelity of harbor seals (*Phoca vitulina richardsi*) on San Miguel island, California, in autumn. *Marine Mammal Science* 3:323-332.
- Zamon, J. 2001. Seal predation on salmon and forage fish schools as a function of tidal currents in the San Juan Islands, Washington, USA. *Fisheries Oceanography* 10:353-366.
- Zhao, L. and D. Schell. 2004. Stable isotope ratios in harbor seal *Phoca vitulina* vibrissae: effects of growth patterns on ecological records. *Marine Ecological Progress Series* 281:167-173.

Annexe 1

Enquêtes sur les observations et interactions entre pêcheries et mammifères marins à Saint Pierre et Miquelon

Je suis Thomas Le Manac'h et je suis actuellement en BTS PGEM (Pêche et Gestion de l'Environnement Marin). Je vais être présent sur l'archipel pendant environ deux mois pour mieux comprendre les interactions et conflits entre mammifères marins (baleines, dauphins, phoques) et pêcheries à SPM, qu'elles soient professionnelles ou récréatives.

Ce travail est réalisé dans le cadre du programme COPEMAM qui s'intéresse à l'écologie des mammifères marins en relation avec les pêches et les ressources de SPM. Il s'agit d'un projet mené par le CNRS et l'Université Internationale de Floride, en collaboration avec la DTAM.

Cette enquête est totalement anonyme et volontaire. Elle vise à mieux comprendre la relation entre pêcheries et mammifères marins et à collecter des informations sur la connaissance locale relative à ces espèces. Cette enquête durera 20 minutes environ. Merci de votre temps et de votre aide !

1. Renseignements sur l'enquêté(e)

1.1 Profession :

Pêcheur professionnel ☐ Pêcheur plaisancier ☐ Autre (à préciser) : _____

Occupation en rapport avec la mer (si la personne n'est pas un pêcheur)

1.2 Classe d'âge : 18-25 ☐ 25-45 ☐ 45-65 ☐ +65 ☐

1.3 Vivez-vous de manière permanente sur l'archipel et si oui sur quelle île ?

1.4 Depuis combien d'années allez-vous en mer ?

1.5 Type de pêche (chalut, filets maillants, long line, casier, etc.) (si enquêté est pêcheur) :

1.6 Fonction à bord (si enquêté est pêcheur) :

1.7 Type de navire :

1.8 Zones de navigation et de pêche (ex. ZEE SPM, eaux côtières de Langlade, partie sud de St Pierre, rivières, etc.) :

1.9 Espèces ciblées (si enquêté est pêcheur) :

1.10 Appâts ou leurres utilisés (si enquêté est pêcheur) :

1.11 Quelle est la fréquence de vos sorties en mer (nombre de jours par an ou par semaine, saison) ?

2. Mammifères marins à Saint Pierre et Miquelon

2.1 Savez-vous combien d'espèces fréquentent l'archipel ?

2.2 Quelles sont les espèces de cétacés les plus fréquemment observées en mer ?

2.3 Quelles sont les espèces de phoques les plus fréquemment observées (en mer et le long des côtes) ?

2.4 Connaissez-vous des secteurs autour de l'archipel où les cétacés sont les plus fréquemment rencontrés ?

2.5 Connaissez-vous des secteurs autour de l'archipel où les phoques sont les plus fréquemment rencontrés ?

2.6 Pensez-vous que les populations de cétacés sont plus abondantes, moins abondantes ou stables ?

2.7 Quelles espèces en déclin ou augmentent en abondance ?

2.8 Pensez-vous que les populations de phoques sont plus abondantes, moins abondantes ou stables ?

2.9 Quelles espèces en déclin ou augmentent en abondance ?

2.10 Selon vous, qu'est-ce que les dauphins mangent autour de l'archipel

2.11 Selon vous, qu'est-ce que les baleines mangent autour de l'archipel

2.12 Selon vous, qu'est-ce que les phoques mangent autour de l'archipel

3. Pêche et mammifères marins à SPM :

3.1 Vous arrive-t-il de capturer accidentellement des mammifères marins ? Si oui quelles espèces, dans quels engins et à quelle fréquence ?

3.2 En cas de capture, que faites-vous de l'animal (qu'il soit mort ou vivant) ?

3.3 Savez-vous si des destructions volontaires de mammifères marins se produisent à SPM ? Quelles espèces sont-elles concernées ?

3.4 Savez-vous si la chair de mammifères marins est appréciée/consommée à SPM ?

3.5 Observations et remarques supplémentaires :

3.6 Est-ce que les cétacés sont responsables de problèmes de déprédation (si oui quelles espèces, où et à quelle fréquence/an) ?

3.7 Est-ce que les phoques sont responsables de problèmes de déprédation (si oui quelles espèces, où et à quelle fréquence/an) ?

3.8 Est-ce que les mammifères marins sont impliqués dans la destruction des engins de pêche ? Si oui, quelles espèces et à quelle fréquence ?

3.9 Selon vous, quelles seraient les mesures à prendre pour réduire les problèmes de déprédation ou de destruction des engins de pêche (qu'il s'agisse de cétacés ou de phoques) ?

3.10 Pensez-vous que les cétacés entrent en compétition avec les pêcheries pour les ressources (si oui, avec quelles ressources) ?

3.11 Pensez-vous que les cétacés entrent en compétition avec les pêcheries pour les ressources (si oui, avec quelles ressources) ?

3.12 Selon vous, quelles seraient les meilleures mesures à prendre pour réduire la compétition entre mammifères marins et pêcheries ?

3.13 Remarques et observations supplémentaires :