

Suivis télémétriques des phoques gris et veaux-marins avant, pendant la construction, pendant l'exploitation du parc éolien en mer de Dieppe – Le Tréport, et suivi des colonies de baie d'Authie et de baie de Somme.

Suivi du régime alimentaire et de l'écologie trophique des phoques : Rapport final sur l'état de référence



Planque, Y., Spitz, J., Caurant, F., Monnet, S., Fremau, M.-H.,
Leviez, F., Everard, A., You, L., Guillou, G., Vincent, C.

Mars 2023



Suivis télémétriques des phoques gris et veaux-marins avant, pendant la construction, pendant l'exploitation du parc éolien en mer de Dieppe – Le Tréport, et suivi des colonies de baie d'Authie et de baie de Somme.

Suivi du régime alimentaire et de l'écologie trophique des phoques : Rapport final sur l'état de référence

Planque¹, Y., Spitz^{1,2}, J., Caurant^{1,2}, F., Monnet³, S., Fremau⁴, M.-H., Leviez⁴, F., Everard⁵, A., You¹, L., Guillou⁶, G., Vincent¹, C.

¹ CEBC, CNRS/La Rochelle Université

² Pelagis, CNRS/La Rochelle Université

³ Picardie Nature

⁴ ADN (Association Découverte Nature)

⁵ GDEAM-62

⁶ LIENSs, CNRS/La Rochelle Université

Citation du document : Planque, Y., Spitz, J., Caurant, F., Monnet, S., Fremau, M.-H., Leviez, F., Everard, A., You, L., Guillou, G., Vincent, C. 2023. Suivi du régime alimentaire et de l'écologie trophique des phoques : Rapport final sur l'état de référence. Rapport CEBC/Picardie Nature/ADN/GDEAM-62 pour EMDT. Mars 2023. 59 PP.

Photographies en page de garde : Yann Planque.

Table des matières

Table des matières	2
Résumé étendu	3
Contexte et objectifs	4
1 – Chapitre 1 : Analyse du régime alimentaire des phoques.....	6
1.1 Méthodologie	6
1.2 Distribution de l'échantillonnage	9
1.3 Composition taxonomique du régime alimentaire par l'analyse des pièces dures	12
1.4 Diversité du régime alimentaire.....	24
1.5 Taille des proies.....	26
1.6 Variabilité saisonnière et interannuelle du régime alimentaire des phoques en baie de Somme	28
1.7 Discussion générale	31
2 – Chapitre 2 : Analyse de la niche isotopique des phoques	34
2.1 Méthodologie	34
2.2 Valeurs isotopiques de $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ le long des vibrisses	40
2.3 Niches isotopiques	43
2.4 Positionnement des valeurs isotopiques de proies potentielles par rapport aux niches isotopiques de phoques	48
2.5 Discussion complémentaire sur les niches isotopiques	50
Remerciements	54
Disponibilité des données	54
Références bibliographiques	55

Résumé étendu

La présente étude porte sur un état de référence de l'écologie trophique des phoques veaux-marins (*Phoca vitulina*) et des phoques gris (*Halichoerus grypus*) au niveau des colonies des baies de Somme, d'Authie et de Canche (région Hauts-de-France), réalisé en 2022, dans le cadre de la construction future d'éoliennes en mer à Dieppe – Le Tréport (EMDT). L'écologie trophique de ces espèces a ici été étudiée avec deux méthodes complémentaires : 1) l'identification du régime alimentaire effectuée par l'analyse « traditionnelle » du contenu de fèces (collectées de 2019 à 2022) en pièces dures diagnostiques de proies, et 2) l'évaluation des niches isotopiques (isotopes stables du carbone $\delta^{13}\text{C}$ et de l'azote $\delta^{15}\text{N}$) de phoques mesurés dans les vibrisses d'individus capturés en 2019 et en 2022 (cf. individus suivis par balises GPS/GSM et DTags). Le régime alimentaire des phoques veaux-marins et gris évalué en baie de Somme est majoritairement composé de poissons plats benthiques (59.5% [IC95% : 37.1-83.1%] et 67.3% [45.4-87.9%] respectivement ; e.g. plies communes, flets communs, soles). Ces proies sont d'autant plus détectées dans les fèces au printemps/été, plus particulièrement chez les phoques veaux-marins (86.0% [44.5-100%]), ce qui suggère l'existence de variations saisonnières. Les petits poissons plats benthiques issus de nurseries côtières et estuariennes semblent être d'intérêt majeur chez les phoques veaux-marins, à cette saison, alors que les phoques gris s'alimentent surtout sur des plus grands poissons plats. D'autres proies complémentaires ont été détectées telles que des poissons démersaux (e.g. tacauds), des poissons pélagiques (e.g. sardines), des poissons benthiques non-plats (e.g. dragonnets) et des céphalopodes (e.g. encornets, seiches). Enfin, la comparaison de ces résultats avec ceux d'études précédentes (2002-2018) suggère que le régime alimentaire estival des phoques veaux-marins est assez stable depuis plusieurs années. Le chevauchement alimentaire interspécifique entre ces espèces apparaît important en baie de Somme. Bien que le nombre d'échantillons soit limité, les résultats de régime alimentaire obtenus en baies d'Authie et de Canche permettent d'avoir les premières informations connues sur les proies consommées dans ces zones. En baie d'Authie, par exemple, les fèces de phoques incluent des restes de poissons plats benthiques, ce qui suppose des similarités alimentaires avec la baie de Somme. Les régimes alimentaires évalués sur ces deux sites sont complémentaires à ceux de la baie de Somme mais restent néanmoins préliminaires : ils révèlent la nécessité de poursuivre ces suivis pour arriver à des conclusions plus robustes. L'analyse des niches isotopiques effectuée ici confirme l'existence d'un fort chevauchement trophique entre phoques veaux-marins et phoques gris. Les niches isotopiques des phoques veaux-marins en 2022 (état de référence EMDT) et en 2019 pour la même espèce (étude précédente), plus petites, sont toutes deux incluses dans la plus grande niche isotopique des phoques gris en 2019 (même étude précédente). La niche des phoques veaux-marins en 2022 apparaît aussi un peu plus large qu'en 2019, ce qui renforce l'hypothèse d'une variation saisonnière du régime alimentaire puisque cette première inclut surtout l'automne/hiver/printemps et cette seconde l'été. Les résultats de chevauchement de niches isotopiques sont cohérents avec les zones de chasse de ces espèces (voir suivi EMDT associé, relatif aux suivis GPS/GSM), et appuient l'hypothèse que la niche trophique des phoques veaux-marins est étroite et fortement dépendante de la consommation de poissons plats benthiques (essentiellement issus de nurseries côtières et estuariennes) en Manche Nord-Est. La niche trophique des phoques gris est quant à elle plus large, ce qui s'explique essentiellement par leurs zones de chasse plus étendues en Manche Est et en mer du Nord (et un régime alimentaire diversifié à cette échelle), mais se chevauche fortement avec celle des phoques veaux-marins. Grâce à tous ces résultats, nous soulevons ici des enjeux écologiques autour de ces espèces. L'importance des poissons plats et la possible existence d'une compétition interspécifique et/ou intraspécifique dans l'accès à la ressource sont des points essentiels qui nécessiteront une attention particulière pour comprendre l'écologie des populations de phoques dans les prochaines années (notamment pendant et après la construction des éoliennes en mer, afin d'observer tout potentiel changement qui pourrait être lié à des effets synergiques).

Contexte et objectifs

Face aux défis du changement climatique et des enjeux d'indépendance énergétique, la France a mis en place une Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE) permettant de détailler les orientations du gouvernement français en matière de politique énergétique. Cette programmation prévoit notamment de porter à 40% la part de production d'électricité issue des énergies renouvelables d'ici 2030¹. Une partie de cette électricité d'origine renouvelable doit provenir de l'éolien en mer : à court terme, les objectifs sont d'atteindre une puissance installée de 2.4 GW en 2023 et 5.2 à 6.2 GW en 2028 (Décret n° 2020-456 du 21 avril 2020 relatif à la PPE). Ces projets de constructions sont accompagnés d'études environnementales sur l'état de référence et le suivi des impacts de ces travaux.

Le parc éolien en mer posé de Dieppe-Le Tréport est issu du deuxième appel d'offres lancé en 2013. Composé de 62 éoliennes installées dans un périmètre de 83 km², il aura une puissance installée totale de 496 MW. Les travaux de construction des éoliennes en mer sont actuellement prévus pour 2024. Le présent projet porte sur l'établissement d'une partie de l'état de référence, qui servira de base à l'évaluation et au suivi des effets et des impacts du projet de parc éolien en mer de Dieppe Le Tréport sur l'environnement. Il n'inclut pas les parties relatives au raccordement au réseau de transport électrique public (géré par RTE) ainsi que les bases d'exploitation et de maintenance.

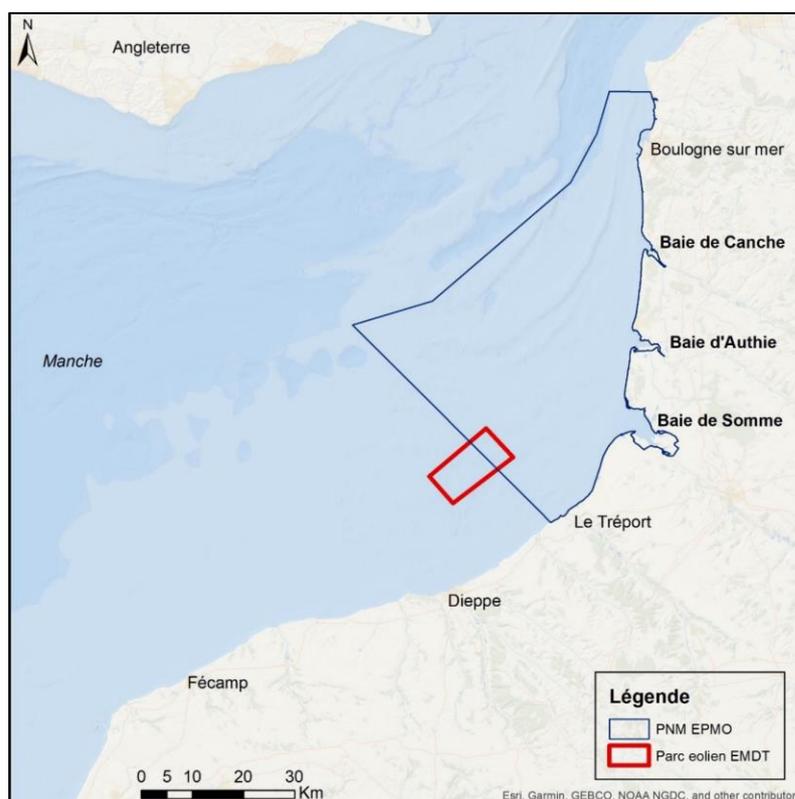


Figure i.1 : Localisation des trois baies (en gras) au sein desquelles les suivis des phoques ont été réalisés. PNM EPMO : Parc naturel marin des estuaires picards et de la mer d'Opale. EMDT : Eoliennes en Mer Dieppe – Le Tréport.

¹ <https://www.ecologie.gouv.fr/energies-renouvelables>

Ce rapport relate l'état d'avancement de la mesure de suivi « SE1bis » relative au suivi des colonies de phoques gris (*Halichoerus grypus*) et veaux-marins (*Phoca vitulina*) des baies de Somme, Authie et Canche (Figure i.1) dans le cadre de l'état de référence pour le projet éolien en mer de Dieppe-Le Tréport (EMDT). Les deux premières baies se trouvent dans l'Aire d'Etude Eloignée (AEE) tandis que la troisième se trouve dans l'Aire d'Etude Large (AEL). Ces suivis sont répartis en plusieurs actions, qui sont présentées ici en autant de rapports finaux : 1) les recensements (terrestres et aériens) et la photo-identification des phoques dans les trois baies, 2) le suivi télémétrique des phoques par balises GPS/GSM, 3) le suivi télémétrique des phoques par balises DTags, 4) le suivi du régime alimentaire et de l'écologie trophique des phoques, et 5) le suivi des niveaux de stress des phoques. La combinaison de ces différentes méthodes permet d'obtenir une vision aussi complète que possible de la dynamique des populations, de la mobilité des individus entre colonies (ou de leur fidélité aux sites), de leur écologie en mer (types de ressources exploitées, zones et comportements de chasse) et de leur niveau de stress. Cet état de référence permettra de suivre ultérieurement les potentielles évolutions de ces différents paramètres au cours du futur projet de construction des éoliennes en mer.

Le présent projet porte spécifiquement sur le suivi du régime alimentaire et de l'écologie trophique des phoques veaux-marins et des phoques gris au niveau des baies de Somme, d'Authie et de Canche. Un premier chapitre présente les résultats d'identification du régime alimentaire des phoques veaux-marins et gris, par site, obtenus par l'analyse « traditionnelle » du contenu de fèces de phoques (collectées de 2019 à 2022) en pièces dures diagnostiques de proies ([Chapitre 1](#)). Un effort de collecte de fèces a été réalisé en 2022, dans le cadre du projet, afin d'effectuer l'analyse de ces échantillons en laboratoire, et d'obtenir ainsi une bonne évaluation de l'état de référence du régime alimentaire des phoques. Des échantillons collectés avant le projet, de 2019 à 2021, ont également été analysés afin d'enrichir cet état de référence. Les résultats de régime alimentaire présentés pour la baie de Somme s'appuient aussi sur les résultats issus du suivi à plus long terme réalisé sur ce site depuis une vingtaine d'années, ce qui permet d'avoir un bon recul sur les connaissances. Les résultats de régime alimentaire des phoques en baies d'Authie et de Canche, présentés dans cette étude, sont les premiers du genre pour ces deux sites et sont donc plus préliminaires que ceux obtenus en baie de Somme. Le second chapitre de ce rapport présente l'analyse des niches isotopiques des phoques veaux-marins et des phoques gris en baie de Somme ([Chapitre 2](#)). Ces niches isotopiques sont évaluées grâce aux isotopes stables du carbone $\delta^{13}\text{C}$ et de l'azote $\delta^{15}\text{N}$ mesurés le long des vibrisses de phoques capturés pour être équipés de balises GPS/GSM ou de DTags. De nouvelles données isotopiques de phoques veaux-marins ont été obtenues au cours du projet (2022, individus équipés de DTags) et viennent compléter des acquises sur des phoques veaux-marins et gris au cours d'une étude précédentes (2019 ; individus équipés de balises GPS/GSM). Ces résultats de niche isotopique viennent compléter les résultats de régime alimentaire pour, finalement, arriver à l'évaluation la plus robuste possible d'un état de référence de l'écologie trophique des populations de phoques avant la construction future des éoliennes en mer de Dieppe – Le Tréport. Dans ce rapport, nous mettons en lumière les paramètres alimentaires/trophiques clés pour comprendre l'écologie des deux espèces de phoques sur le secteur d'étude, et qui doivent ainsi requérir une attention particulière.

1 – Chapitre 1 : Analyse du régime alimentaire des phoques

L'évaluation du régime alimentaire des phoques veaux-marins et gris, dans le cadre du projet EMDT, repose sur l'analyse du contenu de fèces collectées sur les reposoirs de trois sites d'étude : la baie de Somme, la baie d'Authie et la baie de Canche. Les résultats présentés ici portent essentiellement sur l'analyse des échantillons collectés de 2019 à 2022, dans l'optique d'avoir une évaluation récente et assez robuste (avec suffisamment d'échantillons) du régime alimentaire de ces deux espèces de phoques, pour effectuer un état de référence écologique. Ces résultats portent ainsi sur l'analyse de fèces collectées pendant l'état de référence du projet EMDT (2022), et de fèces collectées peu de temps avant (2019-2021), en complément. Des résultats de régime alimentaire de phoques veaux-marins et gris obtenus avec des échantillons plus anciens, de 2002 à 2018 en baie de Somme (Spitz et al. 2015; Vincent et al. 2018; Planque 2021; Planque et al. 2021), sont également parfois présentés comme éléments comparatifs aux résultats obtenus dans la présente étude.

1.1 Méthodologie

• Collecte des fèces et analyse de leur contenu en laboratoire

Les résultats de régime alimentaire des phoques présentés ici ont été obtenus en suivant une procédure classique d'analyse du contenu des fèces de pinnipèdes en restes de proies (Pierce et Boyle 1991; Ridoux et al. 2007; Spitz et al. 2010). Les fèces de phoques veaux-marins et gris ont été collectées sur leurs reposoirs, puis congelées à -20°C jusqu'aux analyses ultérieures. Un aliquote de chacune des fèces a été préalablement prélevé (volume d'environ ~1.5 mL). Les deux espèces de phoques pouvant parfois utiliser les mêmes reposoirs, il pouvait parfois y avoir un doute sur l'espèce de phoque productrice de la fèces. Ainsi, en cas d'incertitude, une analyse de biologie moléculaire a été réalisée sur cet aliquote pour évaluer l'espèce productrice (méthode présentée par Spitz et al. 2015). Certains échantillons analysés très récemment n'ont pas encore pu être associés à une espèce de phoques, mais le seront prochainement.

Chaque fèces a ensuite été décongelée puis filtrée sur un tamis en nylon de fine maille (0.2 mm), afin de récupérer les parties dures diagnostiques. Les parties dures diagnostiques étudiées sont des os de poissons, des otolithes de poissons et des becs de céphalopodes. Les espèces proies consommées ont été identifiées sur la base de ces pièces dures, en fonction de critères morphologiques distinctifs (forme et taille des pièces), en utilisant des guides d'identification (Härkönen 1986; Tuset et al. 2008) et avec le matériel de référence disponible à l'Observatoire Pelagis (UAR 3462 CNRS – La Rochelle Université). L'identification taxonomique des proies a été réalisée jusqu'à l'échelle de l'espèce lorsque cela a été possible, ou à défaut à l'échelle de plusieurs espèces proches regroupées (*e.g.* soles communes *Solea solea* et soles poles *Pegusa lascaris*), voire à l'échelle de la famille.

Les résultats de régime alimentaire sont ici présentés par espèce de phoque et par site suivant trois différentes indices :

- L'**occurrence** de chacune des proies, qui correspond à la proportion de toutes les fèces qui incluent au moins une trace de cette espèce proie (ou groupe d'espèces). Elle est exprimée en nombre et en pourcentage de fèces.
- L'**abondance relative** des espèces proies, qui correspond au nombre d'individus estimés par espèce proie (ou groupe d'espèces). Le nombre d'individus est estimé sur la base du nombre

de pièces diagnostiques appariées de la proie (otolithes, opercules, dentaires, prémaxillaires, ou autres os caractéristiques pairés) ou du nombre de pièces diagnostiques non-appariées (*e.g.* parasphénoïde de poisson, partie supérieure ou inférieure d'un bec de céphalopode). Ce nombre d'individus correspond alors au nombre de pièces appariées divisé par deux ou au nombre absolu de pièces non-appariées, selon la valeur des deux qui est la plus grande. L'abondance est exprimée en nombre et pourcentage d'individus estimés par espèce, parmi tous les individus détectés dans toutes les fèces.

- La **masse reconstruite** de proies ingérées. Celle-ci est présentée en masse et en pourcentage de masse par espèce proie (ou groupe d'espèces), parmi toutes les proies détectées dans toutes les fèces. Cette masse a été uniquement reconstruite pour les espèces dites « mesurables », c'est-à-dire pour lesquelles il était possible de déterminer la masse relative des individus par applications de relations allométriques (voir ci-après). La masse moyenne de tous les individus détectés dans une fèces (ou à défaut dans toutes les fèces) a été appliquée lorsque la masse d'un individu d'une espèce mesurable ne pouvait être reconstruite.

La masse et de taille relative des individus des proies « mesurables » ont été estimées par application de relations allométriques sur des mesures de certaines pièces diagnostiques mesurables. Ces mesures sont : la largeur ou la longueur des otolithes de poissons (selon l'espèce), et la mesure de la longueur du rostre des becs inférieurs de céphalopodes. Les relations allométriques appliquées sont issues de la littérature (*e.g.* Clarke 1986; Härkönen 1986; Lundström et al. 2007), ou de données non publiées de l'Observatoire Pelagis (la majorité de ces relations sont présentées en annexe de Planque et al. 2021²). Les valeurs estimées de masse et de taille des proies sont minimales puisque nous n'avons ici pas pris en compte l'érosion des pièces dures liée à la digestion.

• Groupes fonctionnels de proies

La majorité des résultats de régime alimentaire sont ici présentés à l'échelle taxonomique la plus fine possible (échelle des espèces ou groupes d'espèces proies). Chacune de ces proies a également été associée à des groupes fonctionnels, ces derniers permettant de décrire plus justement les interactions écologiques proies-prédateurs que les groupes taxonomiques classiques (Smith et al. 2015; Spitz et al. 2018). Les groupes fonctionnels choisis ici ont déjà été utilisés précédemment sur le même contexte d'étude (écologie trophique des phoques veaux-marins et gris en baie de Somme ; Planque et al. 2021). Les sept groupes fonctionnels regroupant les espèces proies sont : petits poissons plats benthiques, grands poissons plats benthiques, poissons benthiques non-plats, poissons démersaux, poissons pélagiques, encornets pélagiques et céphalopodes démersaux. Les poissons plats benthiques ont été divisés en deux groupes fonctionnels, petits (taille relative < 200 mm) et grands (taille relative ≥ 200 mm), sur la base des fortes différences écologiques existant entre les poissons plats juvéniles (dépendant des nurseries côtières et estuariennes) et les poissons plats adultes/matures en Manche Est (*e.g.* Riou 2001; Rochette et al. 2010).

Ces groupes fonctionnels sont ici présentés en complément des informations taxonomiques afin de préciser l'écologie de ces proies. Certaines estimations du régime alimentaire complémentaires (*e.g.* par saisons et années) ont aussi parfois été effectuées à l'échelle de ces groupes fonctionnels.

² Annexe de Planque et al. (2021) disponibles en ligne : <https://onlinelibrary.wiley.com/action/downloadSupplement?doi=10.1002%2Fce3.7739&file=ece37739-sup-0001-AppendixS1-S6.pdf>

• Intervalle de confiance autour du régime alimentaire évalué (Bootstrap)

La composition du régime alimentaire, en abondance (nombre d'individus proies) ou en masse reconstruite (masse totale reconstruite des proies), évaluée avec plusieurs fèces, a été calculée en pourcentage pour chaque espèce proie (à l'échelle taxonomique ou fonctionnelle). Un intervalle de confiance à 95% (IC95%) a été estimé autour de ces pourcentages en appliquant une méthode d'inférence statistique de bootstrap (Reynolds et Aebischer 1991) avec un code personnalisé sous R (script disponible sur GitHub³). L'ensemble des N fèces utilisées pour déterminer le régime alimentaire ont été rééchantillonnées N fois avec remise, et ce procédé a été relancé 1000 fois pour générer 1000 compositions aléatoires de régime alimentaire. Les bornes inférieures et supérieures de l'IC95% de la composition du régime alimentaire ont ainsi été définies par les quantiles à 2.5% et à 97.5% des valeurs générées.

• Chevauchement alimentaire

Le chevauchement entre deux compositions de régime alimentaire (en biomasse reconstruite) a parfois été mesuré afin d'effectuer des comparaisons entre espèces de phoques (comparaison interspécifique), entre saisons ou entre sites d'études. Le chevauchement alimentaire entre deux jeux de données a été mesuré avec l'indice de Pianka (1974) (voir la formule et la méthode de calcul de l'IC95% associé dans Planque et al. 2021, et le script R associé³). Cet indice produit une valeur unique allant de 0 à 1, où 0 indique une absence totale de chevauchement, et 1 indique un chevauchement complet entre les deux régimes alimentaires.

• Indices de diversité et d'équitabilité

Plusieurs indices ont été calculés afin de mesurer la diversité spécifique du régime alimentaire des phoques, évalué par l'analyse des contenus des fèces en restes durs de proies. Différents indices de diversité, compilés et présentés par Hill (2003), ont ici été calculés :

- La **richesse spécifique** ; il s'agit simplement du nombre d'espèces proies détectées dans un régime alimentaire
- L'**indice de Shannon** ou **entropie de Shannon** ; cet indice caractérise la diversité spécifique. Cet indice augmente lorsque la diversité et l'équitabilité augmentent, tout en donnant plus de poids à la diversité qu'à l'équitabilité. Il varie généralement entre 1.5 et 3.5 en écologie ;
- L'**équitabilité de Shannon** ; l'équitabilité est une mesure synthétique décrivant le schéma de distribution de l'abondance relative entre les différentes espèces d'une communauté (ici d'un régime alimentaire). La valeur d'équitabilité est de 1 lorsque toutes les espèces ont la même abondance relative, et elle est d'autant plus faible que l'abondance est inégalement répartie entre les espèces.
- L'**indice de Gini-Simpson** ; cet indice caractérise la diversité spécifique. Comme l'indice de Shannon, il augmente lorsque la diversité et l'équitabilité augmentent, mais, comparé à l'indice de Shannon, il donne plus de poids à l'équitabilité. Cet indice est une valeur de probabilité (de rencontre interspécifique d'une espèce) variant de 0 (lorsque la distribution est parfaitement irrégulière entre espèces) à 1 (lorsque la distribution est parfaitement régulière).

³ *Identifying diet clusters and interspecific overlap*. Script écrit en langage R, disponible depuis GitHub : https://github.com/YannPlanque/Diet_Cluster_and_Overlap

- **L'équitabilité de Simpson** ; elle est une mesure supplémentaire de l'équitabilité, et sa valeur est d'autant plus importante que l'abondance est également répartie entre les espèces.

Ces indices de diversité et d'équitabilité ont ici été calculés sur les résultats régimes alimentaires (en abondance et en biomasse) des phoques veaux-marins et des phoques gris en baie de Somme exclusivement (les données acquises en baies d'Authie et de Canche étant trop réduites en nombre). L'intervalle de confiance (IC95%) autour de ces indices a été calculé en suivant la procédure de bootstrap décrite précédemment.

1.2 Distribution de l'échantillonnage

Des collectes de fèces de phoques veaux-marins sont réalisées depuis une vingtaine d'années en baie de Somme (depuis 2002), et depuis plus récemment pour les fèces de phoques gris sur ce même site (depuis 2017) (Figure 1.1.A). Jusqu'à maintenant, les connaissances préalables du régime alimentaire de ces deux espèces de phoques sur le secteur d'étude (du projet EMDT) reposaient ainsi exclusivement sur des fèces collectées en baie de Somme jusqu'à 2019 (Spitz et al. 2015; Vincent et al. 2018; Planque 2021; Planque et al. 2021). Quelques fèces de phoques veaux-marins et gris ont également été collectées en baies d'Authie et de Canche à partir de 2019 (Figure 1.1.B), mais n'étaient pas encore analysées.

Au cours de l'état de référence du projet EMDT (année 2022), des fèces de phoques veaux-marins et de phoques gris ont été collectées sur les reposoirs des sites d'étude afin d'effectuer le suivi du régime alimentaire (présent rapport) et le suivi du niveau de stress des phoques (cf. suivi associé dans le cadre du même projet). Au total, 112 fèces de phoques ont été collectées en 2022 : 73 fèces de phoques veaux-marins (69 en baie de Somme et 4 en baie d'Authie), 15 fèces de phoques gris (exclusivement en baie de Somme) et 24 fèces de phoques non identifiés (exclusivement en baie d'Authie). La majorité de ces fèces (N = 88) ont été utilisées pour le suivi du régime alimentaire. Ces échantillons ont également été complétés par l'analyse d'échantillons collectés ultérieurement, mais peu de temps avant le début de cette étude : de 2019 à 2021. L'analyse de ces échantillons complémentaires vise ici à apporter l'image la plus exhaustive possible du régime alimentaire des phoques, tout en incluant les possibles variations d'origine écologique telles que les variations saisonnières et/ou les variations inter-individuelles (cf. importance de la taille du nombre de fèces analysées pour évaluer un régime alimentaire à l'échelle de la colonie / de l'espèce ; Trites et Joy 2005).

Au total, les contenus de 184 nouvelles fèces de phoques veaux-marins et gris, collectées en baies de Somme, d'Authie et de Canche de 2019 à 2022, ont ici été analysés en laboratoire dans le cadre de l'état de référence du projet EMDT (analyse des contenus en pièces dures de proies) : 96 fèces de phoques veaux-marins (76 de baie de Somme, 4 de baie d'Authie, 16 de baie de Canche), 64 fèces de phoques gris (exclusivement de baie de Somme) et 24 fèces de phoques non identifiés (exclusivement de baie d'Authie). Parmi toutes les fèces analysées, 88% d'entre elles (N = 161) contenaient au moins une trace de reste de proie et ont pu alors apporter une donnée de régime alimentaire. Les fèces restantes, totalement vides, ont été exclues des analyses. Les données associées sont ainsi venues compléter les données préalables existantes (données de 2002 à 2019) (Figure 1.1).

Dans le cadre de la présente étude, seuls les contenus des fèces collectées de 2019 à 2022 ont été utilisées pour évaluer un état de référence du régime alimentaire des phoques veaux-marins et gris, avant la construction future des éoliennes en mer de Dieppe – Le Tréport. Les résultats généraux de régime alimentaire se focalisent donc exclusivement sur cette période d'étude. La distribution de ces données est présentée par site, par saison et par année en Figure 1.1 afin de caractériser la

représentativité des régimes alimentaires évalués ici. Les contenus des fèces collectées de 2002 à 2018 sont ici présentés dans certains résultats (cf. sections 1.5 et 1.6), mais uniquement comme élément comparatif à l'état de référence afin d'explorer la stabilité du régime alimentaire entre ces deux périodes.

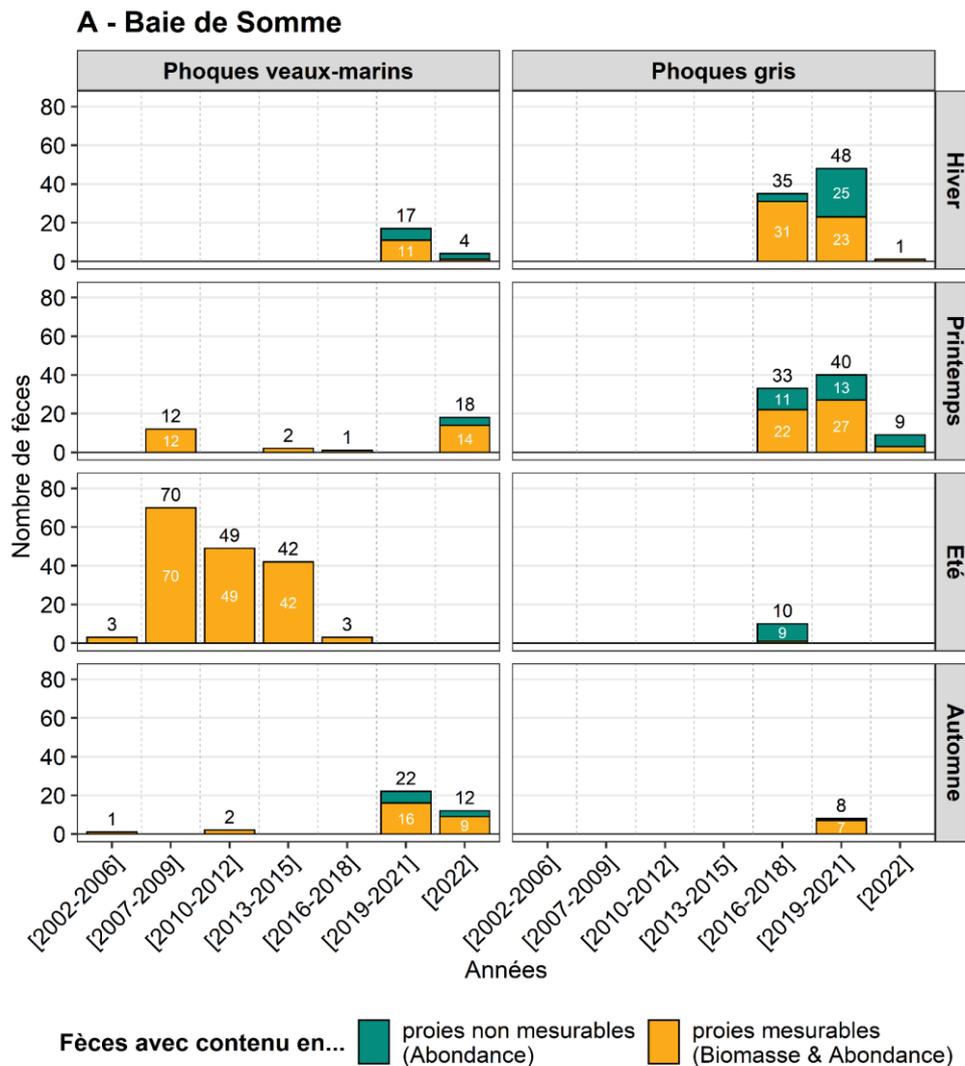


Figure 1.1 : Distribution temporelle des fèces de phoques veaux-marins et gris collectées en baie de Somme (A), en baie d'Authie (B) et en Baie de Canche (C), et dont le contenu en restes durs de proies a été analysé pour évaluer le régime alimentaire. Seules les fèces non vides, contenant au moins une trace de proie, sont ici représentées. Les fèces contenant uniquement des proies non mesurables (sans reconstruction de masse) sont en vert et celles contenant au moins une proie mesurable (avec reconstruction de la masse) sont en jaune. Seules les fèces collectées à partir de 2019 servent ici à l'évaluation de l'état de référence du régime alimentaire, les précédentes servant comme élément de comparaison. (Suite de la figure ci-après).

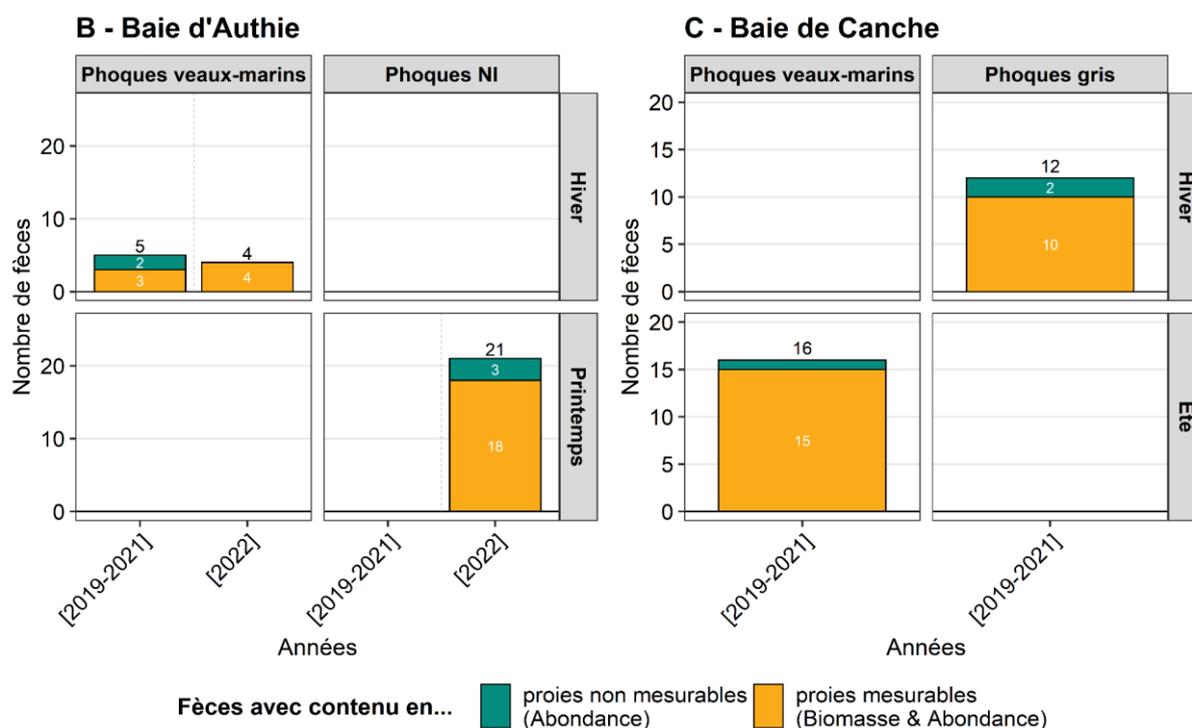


Figure 1.1 : (Suite de la figure).

La majorité des fèces servant ici à l'identification du régime alimentaire des phoques de 2019 à 2022 ont été collectées en baie de Somme, et incluent 73 fèces de phoques veaux-marins et 106 fèces de phoques gris (Figure 1.1.A). Parmi ces échantillons, 51 fèces de phoques veaux-marins (soit 70%) et 61 fèces de phoques gris (58%) incluent au moins une proie « mesurable », c'est-à-dire pour laquelle il est possible de reconstruire une masse (par relation allométrique sur les pièces diagnostiques), utile à la quantification du régime alimentaire en pourcentage de biomasse. Avant 2019, la majorité des fèces de phoques veaux-marins en baie de Somme étaient essentiellement collectées au cours de l'été, ce qui ne permettait pas de détecter toute possible variation saisonnière du régime alimentaire (Spitz et al. 2015; Planque et al. 2021). Les efforts de collectes récents, depuis 2019, permettent de mieux équilibrer l'échantillonnage entre les saisons (21 fèces en hiver, 18 au printemps et 34 à l'automne) et d'envisager ainsi une meilleure détection des possibles différences saisonnières de régime alimentaire chez les phoques veaux-marins. Aucune fèces de cette espèce incluant des restes de proies n'a cependant été acquise récemment en été. La majorité des fèces de phoques gris acquises depuis 2019 en baie de Somme ont été collectées en hiver (N = 49 ; 46%), et au printemps (N = 49 ; 46%). Seules quelques fèces de cette espèce ont été collectées en automne (N = 8), et aucune d'entre elle n'a été acquise en été depuis 2019.

Les fèces utilisées ici pour évaluer le régime alimentaire des phoques en baie d'Authie ont été collectées de 2019 à 2022 pour celles associées à des phoques veaux-marins (N = 9), et exclusivement en 2022 pour celles non associées à une espèce de phoque (N = 21) (Figure 1.1.B). Les fèces de phoques veaux-marins ont toutes été acquises en hiver, et celles de phoques non identifiés au printemps. L'identification de l'espèce de phoque productrice de 21 fèces n'a pas encore pu être effectuée, mais celle-ci pourra être validée prochainement par utilisation d'outils moléculaires.

Le régime alimentaire des phoques en baie de Canche a quant à lui été évalué sur la base de 16 fèces de phoques veaux-marins collectées en hiver et 12 fèces de phoques gris collectées en été, en 2019-2021 (Figure 1.1.C).

1.3 Composition taxonomique du régime alimentaire par l'analyse des pièces dures

Le régime alimentaire des phoques en baies de Somme, d'Authie et de Canche a été évalué sur la base du contenu des fèces collectés de 2019 à 2022 (Figure 1.1.) à l'échelle taxonomique la plus fine possible (échelle des espèces proies ou de groupes d'espèces). La composition taxonomique du régime alimentaire est ici présentée par espèce de phoque en rassemblant tous les échantillons contenant au moins une proie, sans distinction de saison ou d'année de collecte.

• Composition du régime alimentaire par site de collecte en biomasse reconstruite

Les échantillons analysés incluant au moins une proie mesurable (échantillons en jaune en Figure 1.1.) ont permis d'évaluer le régime alimentaire taxonomique en termes de biomasse reconstruite, à l'échelle de chaque site d'étude (Figure 1.2, Figure 1.3 et Figure 1.4).

○ Baie de Somme

En baie de Somme, le nombre de fèces incluant au moins une proie mesurable est assez conséquent sur la période d'étude (2019-2022), à la fois pour les phoques veaux-marins (N = 51) et pour les phoques gris (N = 61), ce qui permet d'évaluer raisonnablement leur régime alimentaire (Figure 1.2) bien qu'il persiste des incertitudes liées à l'échantillonnage et aux limites des méthodes.

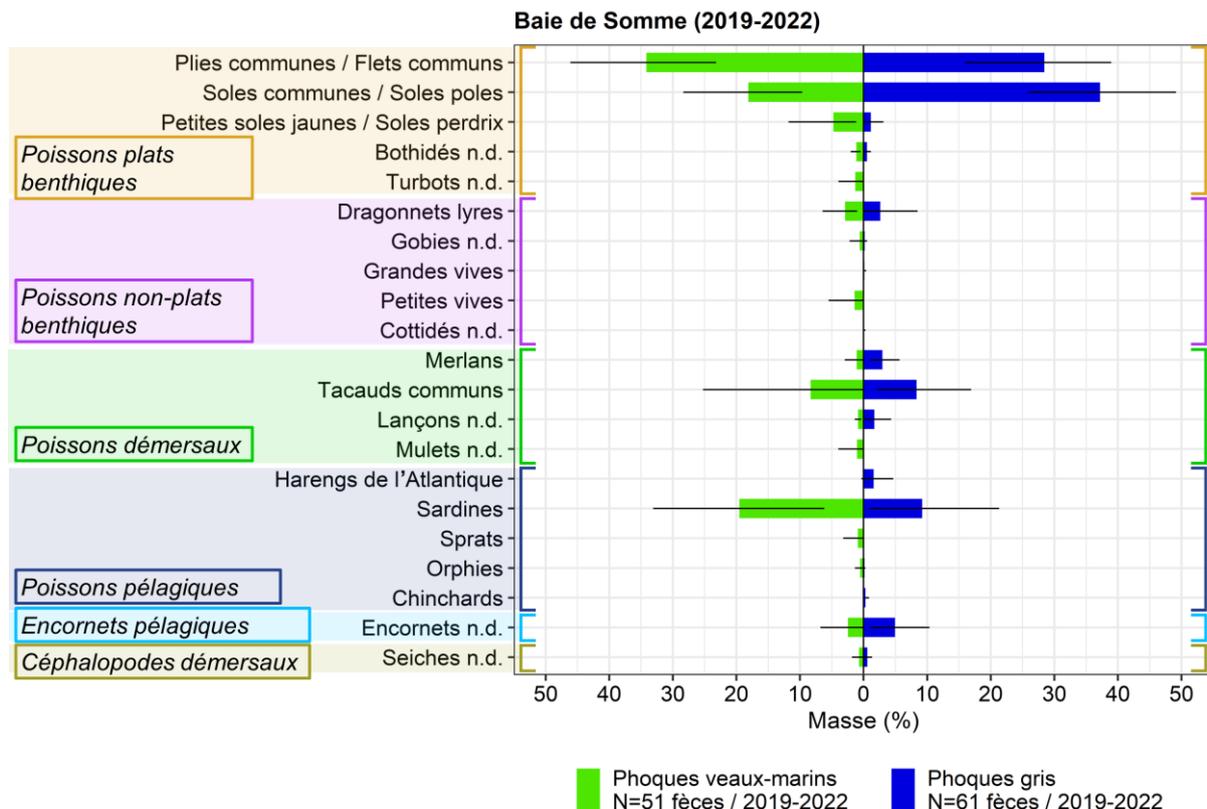


Figure 1.2 : Composition du régime alimentaire des phoques veaux-marins et gris en baie de Somme de 2019 à 2022, en pourcentage de biomasse consommée, évalué par l'analyse du contenu en parties dures de 51 et 61 fèces respectivement. Barres d'erreur : intervalle de confiance à 95% (IC95%). n.d. : non déterminé.

Les espèces de poissons plats benthiques constituent la majorité du contenu des fèces de phoques veaux-marins et de phoques gris en baie de Somme, puisqu'elles représentent respectivement 59.5% [IC95% : 37.1-83.1%] et 67.3% [45.4-87.9%] de la biomasse totale reconstruite par espèce de phoque. Les plies communes (*Pleuronectes platessa*) / flets communs (*Platichthys flesus*) et les soles communes (*Solea solea*) / soles poles (*Pegusa lascaris*) sont les deux groupes d'espèces proies majoritaires, que ça soit pour les phoques veaux-marins (34.1% [23.2-46.1%] et 18.1% [9.7-28.3%] respectivement) ou pour les phoques gris (28.4% [15.9-38.9%] et 37.2% [25.9-49.1%] respectivement). Les petites soles jaunes (*Buglossidium luteum*) / soles perdrix (*Microchirus variegatus*) constituent quant à elles une faible part du régime alimentaire des phoques veaux-marins (4.7% [1.2-11.8%] de la biomasse), mais sont négligeables dans celui des phoques gris (1.1% [0.1-3.1%]).

Les poissons non-plats benthiques ont quant à eux été détectés dans de faibles proportions dans les fèces de phoques veaux-marins (5.0% [1.5-11.1%] de la biomasse) et de phoques gris (3.0% [0.1-9.5%]), et ces proies incluent essentiellement les dragonnets lyres (*Callionymus lyra*) complétés par quelques traces d'autres espèces (e.g. petites vives (*Echiichthys vipera*)). Des restes de poissons démersaux ont également été détectés dans les fèces de phoques veaux-marins et gris, dont essentiellement des tacauds (*Trisopterus* spp. ; 8.3% [0.0-25.3%] et 8.3% [2.1-16.9%] respectivement), des merlans (*Merlangius merlangus* ; 1.1% [0.0%-3.0%] et 2.9% [1.0-5.6%] respectivement) et quelques espèces de lançons (Ammodytidae ; 0.9% [0.3-1.4%] et 1.7% [0.2-4.3%] respectivement).

Les poissons pélagiques constituent le deuxième type fonctionnel de proies détectées dans les fèces de phoques veaux-marins puisqu'ils constituent plus d'un cinquième de la biomasse reconstruite pour cette espèce. La majorité de ces proies est représentée par les sardines (*Sardina pilchardus*) puisqu'elles constituent 19.5% [6.2-33.1%] de la biomasse reconstruite dans les fèces de phoques veaux-marins, et 9.2% [0.9-21.3%] dans les fèces de phoques gris.

Enfin, quelques encornets pélagiques (*Loligo* spp.) et céphalopodes démersaux (exclusivement des espèces de seiches *Sepia* spp.) ont été détectées à la fois dans les fèces de phoques veaux-marins (2.5% [0.0-6.8%] et 0.7% [0.0-1.8%] de la biomasse respectivement) et dans les fèces de phoques gris (5.0% [1.0-10.4%] et 0.6 [0.0-1.3%] respectivement).

En bref, les régimes alimentaires de phoques veaux-marins et gris en baie de Somme (2019-2022), toutes saisons confondues, révèlent une composition taxonomique assez similaire, en pourcentage de biomasse, avec une présence des mêmes proies principales dans les contenus des deux espèces. Les quelques différences interspécifiques résident essentiellement dans la détection des espèces proies d'importance secondaire dans les fèces – par exemple, les espèces de mulets (Mugilidae) sont exclusivement détectées dans les fèces de phoques veaux-marins (1.0% [0.0-4.0%]) et les harengs de l'Atlantique (*Clupea harengus*) sont presque exclusivement détectés dans les fèces de phoques gris (1.6% [0.1-4.7%]). Un fort chevauchement a ainsi été détecté entre les régimes alimentaires taxonomiques des phoques veaux-marins et gris, en baie de Somme : valeur d'indice de Pianka de 0.88 [0.62-0.96].

Ces résultats de régime alimentaire obtenus en baie de Somme incluent quelques limites d'étude liées à la taille de l'échantillonnage, à sa représentativité (par saisons, années) (Figure 1.1.A ; cf. section 1.2), aux méthodes utilisées et à l'incertitude associée. Néanmoins, l'homogénéité des résultats entre les deux espèces étudiées et la similarité avec les résultats obtenus précédemment (avant 2019) sur ce même site (Spitz et al. 2015; Planque et al. 2021) nous amènent ici à apporter un crédit raisonnable dans la représentativité des régimes alimentaires évalués. Ces derniers peuvent alors être considérés comme un élément clé de l'évaluation de l'état de référence de l'écologie des phoques veaux-marins et gris sur le secteur d'étude.

○ Baie d'Authie

En baie d'Authie, le nombre de fèces qui intègrent une proie mesurable (pour laquelle la biomasse a pu être reconstruite) est bien plus faible qu'en baie de Somme (N = 25 fèces de phoques veaux-marins et de phoques non identifiés), ce qui engendre une plus grande incertitude dans l'évaluation du régime alimentaire des phoques (Figure 1.3). La plupart des fèces (N = 18) n'ont pas encore été assignées à l'espèce productrice de phoque, et il est alors impossible de confirmer si le régime alimentaire associé reflète plutôt celui de phoques veaux-marins, de phoques gris, ou des deux espèces combinées. Vu les nombres limités d'échantillons et l'incertitude sur l'espèce productrice de phoques, il a été décidé ici de présenter les résultats de régime alimentaire en combinant les données issues de toutes les fèces (de phoques veaux-marins et d'espèce inconnue), sans distinction de l'espèce (Figure 1.3).

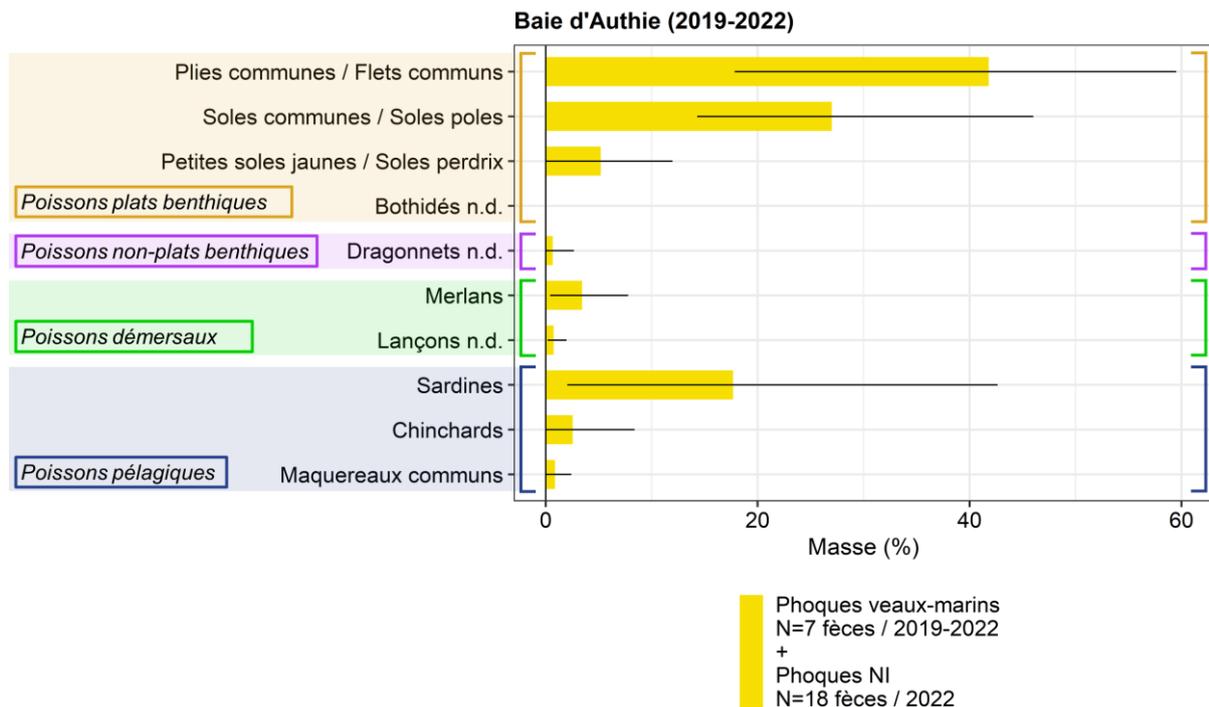


Figure 1.3 : Composition du régime alimentaire des phoques veaux-marins et de phoques d'espèce inconnue (NI) en baie d'Authie de 2019 à 2022, en pourcentage de biomasse consommée, évalué par l'analyse du contenu en parties dures de 7 et 18 fèces respectivement. L'estimation du régime alimentaire est ici effectuée en rassemblant toutes les fèces, sans distinction de l'espèce de phoque. Barres d'erreur : intervalle de confiance à 95% (IC95%). n.d. : non déterminé.

Les fèces de phoques veaux-marins et de phoques d'espèces inconnues de baie d'Authie ont un contenu alimentaire assez similaire à celui des phoques veaux-marins et gris de baie de Somme. Ces fèces de phoques incluent une majorité de poissons plats benthiques (74.0% [32.1-100%] de la biomasse totale), dont essentiellement des plies communes / flets communs (41.8% [17.8-59.5%]) et des soles communes / soles poles (27.0% [14.3-46.0%]). Les sardines constituent également une part importante du régime alimentaire estimé (17.7% [2.0-42.6%]), bien que l'incertitude associée soit grande. Quelques proies secondaires ont également été détectées dans ces fèces telles que des poissons non-plats benthiques (dragonnetts), des poissons démersaux (merlans, lançons) et des poissons pélagiques (chinchards *Trachurus trachurus* et maquereaux communs *Scomber scombrus*). Le régime alimentaire évalué avec les contenus de fèces de phoques possède ainsi des similarités avec

celui évalué pour les phoques veaux-marins et gris en baie de Somme (Figure 1.2, cf. dominance d'espèces de poissons plats benthiques). Les incertitudes restent grandes, ce qui s'explique par un nombre limité de fèces analysées sur ce site. De plus, ces quelques échantillons ont été collectés exclusivement au printemps et en hiver (Figure 1.1.B), et il s'avère donc difficile de généraliser globalement ces résultats.

À la vue de ces premiers résultats, les espèces de proies retrouvées et la diversité taxonomique apparaissent proches des résultats obtenus en baie de Somme. Cependant, il s'avère difficile dans l'état actuel de conclure sur un état de référence des connaissances suffisant pour détecter tout futur changement du régime alimentaire à l'échelle de la baie d'Authie. Ces résultats devront alors être interprétés au regard des résultats également obtenus en baies de Somme et de Canche, de façon plus globale et intégrée. La collecte de nouvelles fèces sur ce site pourrait également être poursuivie dans les prochains mois, avant le début des travaux des éoliennes en mer à Dieppe – Le Tréport, afin d'enrichir nos connaissances sur l'état de référence alimentaire (ces nouveaux échantillons pourraient alors être analysés dans les prochaines phases du projet).

○ Baie de Canche

En baie de Canche, le nombre de fèces qui intègrent une proie mesurable est limité, que ce soit pour les phoques veaux-marins (N = 15) ou les phoques gris (N = 12), et, tout comme pour la baie d'Authie, les estimations de régime alimentaire doivent alors être interprétées avec prudence (Figure 1.4). Néanmoins, tout comme en baie d'Authie, ces résultats sont les premiers obtenus sur les phoques veaux-marins et gris en baie de Canche.

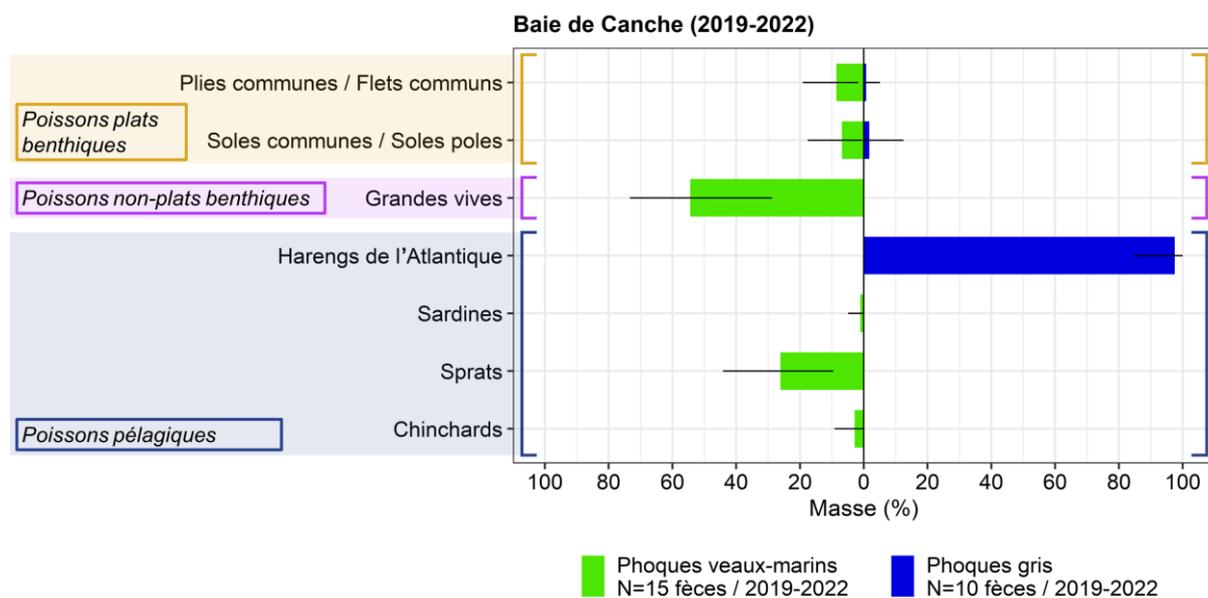


Figure 1.4 : Composition du régime alimentaire des phoques veaux-marins et gris en baie de Canche de 2019 à 2021, en pourcentage de biomasse consommée, évalué par l'analyse du contenu en parties dures de 15 et 10 fèces respectivement. Barres d'erreur : intervalle de confiance à 95% (IC95%).

Les fèces de phoques veaux-marins collectées en baie de Canche (en juillet-août 2019 et septembre 2021) ont un contenu alimentaire taxonomique très différent de celui des fèces de phoques gris collectées (en février 2019). Les quelques fèces de phoques veaux-marins incluent essentiellement des grandes vives (*Trachinus draco* ; poissons non-plats benthiques ; 54.4% [28.7-73.3%] de la

biomasse) et des sprats (*Sprattus sprattus* ; poissons pélagiques ; 26.1% [9.3-44.0%]), complétés dans une moindre mesure par une part de poissons plats benthiques (15.5% [0.4-43.5%]) et par quelques proies secondaires (sardines et chinchards). Les fèces de phoques gris incluent, quant à elles, presque exclusivement des harengs de l'Atlantique, en termes de biomasse (97.5% [86.1-100.0%]).

Le chevauchement alimentaire entre phoques veaux-marins et gris est très faible sur la base des échantillons analysés en baie de Canche : valeur d'indice de Pianka de 0.01 [0-0.03].

Ces premiers résultats de régime alimentaire des phoques en baie de Canche doivent être pris avec prudence. En effet, comme en baie d'Authie, le nombre d'échantillons analysés et leur distribution saisonnière (cf. Figure 1.1.C) limite la représentativité et, la robustesse de ces résultats à l'échelle de la colonie. De plus, ici, les contenus alimentaires se distinguent nettement de ceux obtenus en baies de Somme et d'Authie puisque les poissons plats ne constituent qu'une très faible part des restes de proies trouvés. Sachant les similarités écosystémiques entre les trois estuaires que sont les baies de Somme, d'Authie et de Canche (cf. nurseries de poissons plats benthiques ; *e.g.* Riou 2001; Rochette et al. 2010), et la possible connectivité entre les phoques entre ces trois sites (Vincent et al. 2017, 2018 ; et voir les rapports des suivis de recensements, de photo-identification et télémétriques du projet EMDT), nous pouvons ici nous attendre à un plus haut degré de similarités alimentaires entre la baie de Canche et les deux autres sites. Ainsi, il est ici probable que les quelques contenus de fèces puissent refléter une réalité écologique à l'échelle des quelques dates de collectes ou de quelques individus (*e.g.* présence ponctuelle de certaines proies d'intérêt telles que les harengs de l'Atlantique en hiver, comme déjà observé pour les phoques gris en baie de Somme ; Planque et al. 2021), mais ils pourraient plus difficilement refléter le régime alimentaire à l'échelle de la colonie, sur plusieurs saisons et mois. La collecte d'un nombre plus conséquent de fèces à l'avenir apparaît alors indispensable pour mieux tester ces hypothèses.

Tout comme pour le site de la baie d'Authie, les résultats de régime alimentaire des phoques présentés pour la baie de Canche sont une première étape d'un suivi qui mériterait d'être poursuivi à plus long terme, ce qui permettrait ainsi de mieux évaluer les tendances alimentaires (saisonnières et interannuelles). En l'état actuel, les résultats obtenus sur ce site peuvent être difficilement interprétés indépendamment de ceux obtenus en baies de Somme et de Canche, et servir comme un état de référence unique. En effet, les lacunes actuelles de connaissances depuis ce site permettront difficilement d'identifier tout potentiel changement à venir du régime alimentaire des phoques. Similairement au cas de la baie d'Authie, de nouvelles fèces de phoques pourraient être collectées en baie de Canche, avant le début des travaux des éoliennes en mer, afin de compléter les connaissances sur l'état de référence du régime alimentaire.

• Composition détaillée du contenu des fèces en restes de proies

L'ensemble des contenus des fèces de phoques en proies sont présentés à l'échelle taxonomique, de façon détaillée, par espèce de phoque et par site d'étude (Tableaux Tableau 1.1, Tableau 1.2, Tableau 1.3, Tableau 1.4, Tableau 1.5 et Tableau 1.6). Ces résultats détaillés sont complémentaires à ceux présentés précédemment, en biomasse reconstruite. Ils incluent l'ensemble des mesures du régime alimentaire réalisées grâce à l'analyse des pièces dures diagnostiques, à l'échelle taxonomique la plus fine possible : occurrence des proies dans les fèces, abondance des individus proies, taille et masse relatives moyennes des individus proies, et biomasse totale relative.

Quelques détails spécifiques sont brièvement décrits ci-dessous par site de collecte.

○ [Baie de Somme](#)

Les résultats détaillés de l'analyse du contenu des fèces de phoques collectées en baie de Somme de 2019 à 2022 sont présentés en Tableau 1.1 (phoques veaux-marins) et en Tableau 1.2 (phoques gris). Ces résultats apportent des précisions sur la présence de certaines proies dans le régime alimentaire. Par exemple, les dragonnets lyres (poissons non-plats benthiques) et les lançons (poissons démersaux) sont faiblement représentés dans le régime alimentaire des phoques veaux-marins en termes de biomasse (2.9% [1-6.5%] et 0.9% [0.3-1.4%] respectivement), alors que les restes de ces proies sont observés dans plus d'un sixième des fèces (17.8% et 15.1% respectivement, cf. occurrence). Similairement, les lançons représentent 1.7% [0.2-4.3%] du régime alimentaire des phoques gris en biomasse, alors que ces proies sont détectées dans 5.7% des fèces. Ces proies pourraient alors avoir une importance complémentaire, non négligeable, dans le régime alimentaire des phoques veaux-marins, bien qu'elles soient des proies d'ordre secondaires en termes de biomasse. L'analyse des pièces diagnostiques renseigne également sur la taille des proies consommées, ce qui est un apport significatif à l'évaluation du régime alimentaire. Ici, par exemple, nous pouvons constater que les poissons plats benthiques consommés par les deux espèces de phoques sont, en moyenne, plus petits dans les fèces de phoques veaux-marins que dans celles de phoques gris, ce qui peut avoir des implications écologiques – les différences interspécifiques en tailles de proies sont plus amplement présentées en section 1.5.

Certaines proies telles que les chondrichthyens ne sont détectées qu'à l'état de traces, sans pièce diagnostique permettant de reconstruire une masse relative. Ces poissons cartilagineux correspondent ici à la détection d'écailles placoides de raies (*Raja* spp.) détectées dans 2.7% des fèces de phoques veaux-marins et 3.8% des fèces de phoques gris. Des crustacés ont également été détectés dans 26% et 15.1% des fèces de phoques veaux-marins et gris respectivement, mais ceux-ci pourraient peut-être correspondre à des proies secondaires, elles-mêmes consommées par d'autres proies.

○ [Baie d'Authie](#)

Les résultats détaillés de l'analyse du contenu des fèces de phoques collectées en baie d'Authie de 2019 à 2022 sont présentés en Tableau 1.3 (phoques veaux-marins) et en Tableau 1.4 (phoques d'espèce non identifiée). Ces résultats confirment ici l'incertitude associée à la détermination du régime alimentaire en baie d'Authie du fait d'un échantillonnage limité. Par exemple, dans les fèces de phoques veaux-marins, les sardines (poissons pélagiques) représentent la quasi-totalité de la biomasse reconstruite (89.5% [0-98.1%]) alors que ces proies ne sont observées que dans deux des neuf échantillons analysés (soit 22.2% d'occurrence). L'évaluation du régime apparaît alors ici d'autant plus fragile, qu'elle ne dépend que de quelques fèces. Des traces de chondrichthyens et de céphalopodes ont également été détectées dans une fèces de phoque non identifié.

○ [Baie de Canche](#)

Les résultats détaillés de l'analyse du contenu des fèces de phoques collectées en baie de Canche de 2019 à 2021 sont présentés en Tableau 1.5 (phoques veaux-marins) et en Tableau 1.6 (phoques gris). Ces résultats confirment également ici l'incertitude associée à la détermination du régime alimentaire du fait d'un échantillonnage limité. La présence d'espèces de poissons plats benthiques dans plus d'un quart des fèces de phoques veaux-marins montre par exemple leur possible importance, bien qu'elles ne représentent qu'une faible part en biomasse. Enfin, similairement aux autres sites, des traces de chondrichthyens ont été détectées dans une fèces de phoque veau-marin.

Tableau 1.1 : Contenu en proies de 73 fèces de **phoques veaux-marins** collectées en **baie de Somme** de 2019 à 2022. 51 fèces incluent au moins une proie mesurable. Occurrence : nombre de fèces (Nfèces) (et %) contenant cette proie. Nproies : nombre de proies individuelles. IC95% : intervalle de confiance à 95%. Und. et NI : espèces proies non déterminées.

Proies identifiées				Proie mesurable	Occurrence		Abondance			Taille relative des proies (mm)	Masse reconstruite des proies (g)	Biomasse (kg)			
Groupe fonctionnel	Famille	Nom scientifique	Nom vernaculaire		Nfèces	%	Nproies	%N	IC95%	Moy. ± SD	Moy. ± SD	Masse	%Total masse	IC95%	
Poissons plats benthiques	Pleuronectidae	<i>Pleuronectes platessa</i> / <i>Platichthys flesus</i>	Plies communes / Flets communs	1	27	37.0	183	18.8	11.5–27	190 ± 55	80 ± 86	14.2	34.1	23.2–46.1	
	Soleidae	<i>Solea solea</i> / <i>Pegusa lascaris</i>	Soles communes / Soles poles	1	20	27.4	130	13.4	7.8–18.5	166 ± 59	59 ± 74	7.6	18.1	9.7–28.3	
		<i>Buglossidium luteum</i> / <i>Microchirus variegatus</i>	Petites soles jaunes / Soles perdrix	1	18	24.7	128	13.2	4.6–25.3	112 ± 37	15 ± 13	2.0	4.7	1.2–11.8	
		Und. Bothidae	Bothidés NI	1	13	17.8	42	4.3	1.9–7.2	89 ± 20	11 ± 7	0.5	1.1	0.4–2	
		Scophthalmidae	<i>Scophthalmus</i> spp.	Turbots NI	1	1	1.4	7	0.7	0–2.3	164 ± 56	78 ± 84	0.5	1.3	0–4
		Und. Flatfish	Poissons plats NI	0	6	8.2	11	1.1	0.3–2.1	–	–	–	–	–	
Poissons non-plats benthiques	Callionymidae	<i>Callionymus lyra</i>	Dragonnets lyres	1	13	17.8	101	10.4	2.7–21.2	108 ± 43	12 ± 14	1.2	2.9	1–6.5	
	Gobiidae	Und. Gobiidae	Gobiidés NI	1	1	1.4	43	4.4	0–14.4	82 ± 9	6 ± 3	0.2	0.6	0–2.2	
	Trachinidae	<i>Trachinus draco</i>	Grandes vives	1	1	1.4	1	0.1	0–0.4	114	14	0.0	0.0	0–0.1	
		<i>Echiichthys vipera</i>	Petites vives	1	1	1.4	43	4.4	0–15.1	101 ± 19	14 ± 7	0.6	1.4	0–5.5	
Poissons démersaux	Gadidae	<i>Merlangius merlangus</i>	Merlans	1	3	4.1	7	0.7	0–1.9	195 ± 47	65 ± 36	0.5	1.1	0–3	
		<i>Trisopterus</i> spp.	Tacauds NI	1	3	4.1	29	3.0	0–8.2	196 ± 50	120 ± 86	3.5	8.3	0–25.3	
		Und. Gadidae	Gadidés NI	0	1	1.4	1	0.1	0–0.4	–	–	–	–	–	
		Ammodytidae	Und. Sandeels	Laçons NI	1	11	15.1	31	3.2	1.5–5.2	129 ± 64	12 ± 16	0.4	0.9	0.3–1.4
		Mugilidae	Und. Mulletts	Mulets NI	1	1	1.4	1	0.1	0–0.4	364	429	0.4	1.0	0–4
		Labridae	Und. Labridae	Labres NI	0	1	1.4	1	0.1	0–0.4	–	–	–	–	–
Poissons pélagiques	Clupeidae	<i>Clupea harengus</i>	Harengs de l'ATL	1	1	1.4	1	0.1	0–0.3	202	39	0.0	0.1	0–0.4	
		<i>Sardina pilchardus</i>	Sardines	1	10	13.7	100	10.3	3.1–18.5	192 ± 30	81 ± 36	8.1	19.5	6.2–33.1	
		<i>Sprattus sprattus</i>	Sprats	1	2	2.7	14	1.4	0–4.4	137 ± 22	26 ± 15	0.4	0.9	0–3.2	
	Belonidae	<i>Belone belone</i>	Orphies	1	2	2.7	2	0.2	0–0.5	–	–	0.2	0.5	0–1.4	
Poissons NI	Und. Fish	Poissons NI		0	35	47.9	66	6.8	4.2–10.4	–	–	–	–	–	
Poissons cartilagineux	Und. Chondrichthyans	Chondrichthyens NI		0	2	2.7	2	0.2	0–0.5	–	–	–	–	–	
Encornets pélagiques	Loliginidae	<i>Loligo</i> spp.	Encornets NI	1	2	2.7	6	0.6	0–1.8	196 ± 13	172 ± 26	1.0	2.5	0–6.8	
Céphalopodes démersaux	Sepiidae	<i>Sepia</i> spp.	Seiches NI	1	3	4.1	3	0.3	0–0.7	111	98	0.3	0.7	0–1.8	
Céphalopodes NI	Und. Cephalopods	Céphalopodes NI		0	1	1.4	1	0.1	0–0.4	–	–	–	–	–	
Crustacés NI	Und. Crustaceans	Crustacés NI		0	19	26.0	19	2.0	1.2–3	–	–	–	–	–	

Tableau 1.2 : Contenu en proies de 106 fèces de **phoques gris** collectées en **baie de Somme** de 2019 à 2022. 61 fèces incluent au moins une proie mesurable. Occurrence : nombre de fèces (Nfèces) (et %) contenant cette proie. Nproies : nombre de proies individuelles. IC95% : intervalle de confiance à 95%. Und. et NI : espèces proies non déterminées.

Proies identifiées				Proie mesurable	Occurrence		Abondance			Taille relative des proies (mm)	Masse reconstruite des proies (g)	Biomasse (kg)		
Groupe fonctionnel	Famille	Nom scientifique	Nom vernaculaire		Nfèces	%	Nproies	%N	IC95%	Moy. ± SD	Moy. ± SD	Masse	%Total masse	IC95%
Poissons plats benthiques	Pleuronectidae	<i>Pleuronectes platessa</i> / <i>Platichthys flesus</i>	Plies communes / Flets communs	1	19	17.9	72	9.9	5.5–14.5	245 ± 74	188 ± 160	13.5	28.4	15.9–38.9
	Soleidae	<i>Solea solea</i> / <i>Pegusa lascaris</i>	Soles communes / Soles poles	1	29	27.4	191	26.2	15.5–37.3	204 ± 52	94 ± 81	17.6	37.2	25.9–49.1
		<i>Buglossidium luteum</i> / <i>Microchirus variegatus</i>	Petites soles jaunes / Soles perdrix	1	6	5.7	22	3.0	0.4–7	142 ± 23	26 ± 11	0.5	1.1	0.1–3.1
	Bothidae	Und. Bothidae	Bothidés NI	1	6	5.7	7	1.0	0.3–1.8	117 ± 56	36 ± 56	0.3	0.5	0.1–1.1
		Und. Flatfish	Poissons plats NI	0	6	5.7	31	4.3	0.4–9.4	–	–	–	–	–
Poissons non-plats benthiques	Callionymidae	<i>Callionymus lyra</i>	Dragonnets lyres	1	2	1.9	10	1.4	0–4.5	237 ± 76	124 ± 90	1.2	2.6	0–8.5
	Gobiidae	Und. Gobiidae	Gobiidés NI	1	1	0.9	2	0.3	0–1	121 ± 24	40 ± 34	0.1	0.2	0–0.6
	Trachinidae	<i>Trachinus draco</i>	Grandes vives	1	2	1.9	2	0.3	0–0.8	137 ± 24	31 ± 19	0.1	0.1	0–0.4
		Und. Trachinidae	Vives NI	0	1	0.9	1	0.1	0–0.5	–	–	–	–	–
	Cottidae	Und. Cottidae	Cottidés NI	1	1	0.9	1	0.1	0–0.5	132	34	0.0	0.1	0–0.3
Poissons démersaux	Gadidae	<i>Merlangius merlangus</i>	Merlans	1	10	9.4	23	3.2	1–5.9	182 ± 55	59 ± 45	1.4	2.9	1–5.6
		<i>Trisopterus</i> spp.	Tacauds NI	1	14	13.2	55	7.6	3.2–13.7	161 ± 58	75 ± 71	3.9	8.3	2.1–16.9
		Und. Gadidae	Gadidés NI	0	3	2.8	3	0.4	0–0.9	–	–	–	–	–
	Ammodytidae	Und. Sandeels	Lançons NI	1	6	5.7	86	11.8	1.3–25.2	125 ± 34	9 ± 7	0.8	1.7	0.2–4.3
	Labridae	Und. Labridae	Labres NI	0	1	0.9	1	0.1	0–0.5	–	–	–	–	–
Poissons pélagiques	Clupeidae	<i>Clupea harengus</i>	Harengs de l'ATL	1	9	8.5	65	8.9	0.9–24	128 ± 29	12 ± 8	0.8	1.6	0.1–4.7
		<i>Sardina pilchardus</i>	Sardines	1	7	6.6	52	7.1	0.9–16.6	195 ± 30	84 ± 38	4.4	9.2	0.9–21.3
	Belonidae	<i>Belone belone</i>	Orphies	1	6	5.7	6	0.8	0.3–1.7	233	11	0.1	0.1	0–0.3
	Carangidae	<i>Trachurus trachurus</i>	Chinchards	1	2	1.9	2	0.3	0–0.7	188 ± 51	65 ± 48	0.1	0.3	0–0.9
Poissons NI	Und. Fish	Poissons NI	0	56	52.8	61	8.4	5.7–13.2	–	–	–	–	–	
Poissons cartilagineux	Und. Chondrichthyans	Chondrichthyens NI	0	4	3.8	4	0.5	0.1–1.2	–	–	–	–	–	
Encornets pélagiques	Loliginidae	<i>Loligo</i> spp.	Encornets NI	1	5	4.7	7	1.0	0.2–2	256 ± 23	335 ± 74	2.3	5.0	1–10.4
Céphalopodes démersaux	Sepiidae	<i>Sepia</i> spp.	Seiches NI	1	3	2.8	4	0.5	0–1.2	102	69	0.3	0.6	0–1.3
Céphalopodes NI	Und. Cephalopods	Céphalopodes NI	0	4	3.8	4	0.5	0.1–1.3	–	–	–	–	–	
Crustacés NI	Und. Crustaceans	Crustacés NI	0	16	15.1	16	2.2	1.2–3.6	–	–	–	–	–	

Tableau 1.3 : Contenu en proies de 9 fèces de **phoques veaux-marins** collectées en **baie d'Authie** en mars 2019 et en février 2022. 7 fèces incluent au moins une proie mesurable. Occurrence : nombre de fèces (Nfèces) (et %) contenant cette proie. Nproies : nombre de proies individuelles. IC95% : intervalle de confiance à 95%. Und. et NI : espèces proies non déterminées.

Phoques veaux-marins – Baie d'Authie (2019-2022) – contenu de 9 fèces

Proies identifiées				Proie mesurable	Occurrence		Abondance			Taille relative des proies (mm)	Masse reconstruite des proies (g)	Biomasse (kg)		
Groupe fonctionnel	Famille	Nom scientifique	Nom vernaculaire		Nfèces	%	Nproies	%N	IC95%	Moy. ± SD	Moy. ± SD	Masse	%Total masse	IC95%
Poissons non-plats benthiques	Callionymidae	<i>Callionymus lyra</i>	Dragonnets lyres	1	1	11.1	68	47.6	0–85.4	67 ± 13	2 ± 1	0.1	3.7	0–42.3
	Trachinidae	Und. Trachinidae	Vives NI	0	2	22.2	14	9.8	0–35	–	–	–	–	–
Poissons démersaux	Gadidae	<i>Merlangius merlangus</i>	Merlans	1	1	11.1	3	2.1	0–13.1	171 ± 5	37 ± 4	0.1	3.0	0–40.3
	Ammodytidae	Und. Sandeels	Langons NI	1	4	44.4	17	11.9	1–43.6	122 ± 23	8 ± 3	0.1	3.8	0.3–50.6
Poissons pélagiques	Clupeidae	<i>Sardina pilchardus</i>	Sardines	1	2	22.2	38	26.6	0–77.1	198 ± 26	87 ± 30	3.3	89.5	0–98.1
Poissons NI		Und. Fish	Poissons NI	0	3	33.3	3	2.1	0–9.1	–	–	–	–	–

Tableau 1.4 : Contenu en proies de 21 fèces de **phoques non identifiés** collectées en **baie d'Authie** en avril-mai 2022. 18 fèces incluent au moins une proie mesurable. Occurrence : nombre de fèces (Nfèces) (et %) contenant cette proie. Nproies : nombre de proies individuelles. IC95% : intervalle de confiance à 95%. Und. et NI : espèces proies non déterminées.

Phoques non identifiés – Baie d'Authie (2022) – contenu de 21 fèces

Proies identifiées		Proie mesurable	Occurrence		Abondance			Taille relative des proies (mm)	Masse reconstruite des proies (g)	Biomasse (kg)				
Groupe fonctionnel	Famille		Nom scientifique	Nom vernaculaire	Nfèces	%	Nproies	%N	CI95%	Moy. ± SD	Moy. ± SD	Masse	%Total masse	CI95%
Poissons plats benthiques	Pleuronectidae	<i>Pleuronectes platessa</i> / <i>Platichthys flesus</i>	Plies communes / Flets communs	1	12	57.1	184	40.4	19.2–54.2	171 ± 46	56 ± 56	9.6	49.7	23–67.1
	Soleidae	<i>Solea solea</i> / <i>Pegusa lascaris</i>	Soles communes / Soles poles	1	13	61.9	126	27.6	14–46.8	167 ± 46	51 ± 46	6.2	32.1	15.6–54.4
		<i>Buglossidium luteum</i> / <i>Microchirus variegatus</i>	Petites soles jaunes / Soles perdrix	1	2	9.5	36	7.9	0–16.4	139 ± 50	33 ± 41	1.2	6.2	0–13.7
	Bothidae	Und. Bothidae	Bothidés NI	1	1	4.8	1	0.2	0–0.9	66	4	0.0	0.0	0–0.1
		Und. Flatfish	Poissons plats NI	0	8	38.1	37	8.1	3.8–10.8	–	–	–	–	–
Poissons non-plats benthiques	Callionymidae	<i>Callionymus lyra</i>	Dragonnets lyres	1	2	9.5	8	1.8	0–5.9	88	4	0.0	0.1	0–0.4
Poissons démersaux	Gadidae	<i>Merlangius merlangus</i>	Merlans	1	5	23.8	19	4.2	0.5–9.5	166 ± 28	36 ± 15	0.7	3.5	0.3–7.8
		Und. Gadidae	Gadidés NI	0	1	4.8	1	0.2	0–0.9	39	0	–	–	–
	Ammodytidae	Und. Sandeels	Lançons NI	1	6	28.6	11	2.4	0.5–6	82 ± 17	3 ± 1	0.0	0.2	0–0.5
Poissons pélagiques	Clupeidae	<i>Sardina pilchardus</i>	Sardines	1	2	9.5	10	2.2	0–6.5	201 ± 27	90 ± 38	0.8	4.2	0–12.7
	Carangidae	<i>Trachurus trachurus</i>	Chinchards	1	1	4.8	4	0.9	0–2.8	255 ± 15	147 ± 24	0.6	3.0	0–9.8
	Scombridae	<i>Scomber scombrus</i>	Maquereaux commun	1	2	9.5	2	0.4	0–1.3	231 ± 9	102 ± 11	0.2	1.1	0–3
Poissons NI	Und. Fish	Poissons NI	0	6	28.6	7	1.5	0.5–3.9	–	–	–	–	–	
Poissons cartilagineux	Und. Chondrichthyans	Chondrichthyens NI	0	1	4.8	1	0.2	0–0.7	–	–	–	–	–	
Céphalopodes NI	Und. Cephalopods	Céphalopodes NI	0	1	4.8	1	0.2	0–0.9	–	–	–	–	–	
Crustacés NI	Und. Crustaceans	Crustacés NI	0	8	38.1	8	1.8	0.7–4	–	–	–	–	–	

Tableau 1.5 : Contenu en proies de 16 fèces de **phoques veaux-marins** collectées en **baie de Canche** en juillet-août 2019 et en septembre 2021. 15 fèces incluent au moins une proie mesurable. Occurrence : nombre de fèces (Nfèces) (et %) contenant cette proie. Nproies : nombre de proies individuelles. IC95% : intervalle de confiance à 95%. Und. et NI : espèces proies non déterminées.

Phoques veaux-marins – Baie de Canche (2019-2021) – contenu de 16 fèces

Proies identifiées				Proie mesurable	Occurrence		Abondance			Taille relative des proies (mm)	Masse reconstruite des proies (g)	Biomasse (kg)		
Groupe fonctionnel	Famille	Nom scientifique	Nom vernaculaire		Nfèces	%	Nproies	%N	IC95%	Moy. ± SD	Moy. ± SD	Masse	%Total masse	IC95%
Poissons plats benthiques	Pleuronectidae	<i>Pleuronectes platessa</i> / <i>Platichthys flesus</i>	Plies communes / Flets communs	1	5	31.3	16	5.5	1.2–13.7	158 ± 37	39 ± 34	0.7	8.6	2–18.8
	Soleidae	<i>Solea solea</i> / <i>Pegusa lascaris</i>	Soles communes / Soles poles	1	4	25.0	12	4.1	0.4–13.1	170 ± 34	47 ± 28	0.5	6.9	0.6–18.1
		Und. Flatfish		Poissons plats NI	0	1	6.3	4	1.4	0–5.9	–	–	–	–
Poissons non-plats benthiques	Trachinidae	<i>Trachinus draco</i>	Grandes vives	1	8	50.0	86	29.5	13–54.8	158 ± 14	49 ± 14	4.3	54.4	28.7–73.3
Poissons pélagiques	Clupeidae	<i>Sardina pilchardus</i>	Sardines	1	1	6.3	1	0.3	0–1.7	198	87	0.1	1.1	0–4.8
		<i>Sprattus sprattus</i>	Sprats	1	9	56.3	158	54.1	18.2–74.8	112 ± 23	14 ± 8	2.1	26.1	9.3–44
	Carangidae	<i>Trachurus trachurus</i>	Chinchards	1	1	6.3	6	2.1	0–6.1	159 ± 23	37 ± 16	0.2	2.9	0–9.9
Poissons NI	Und. Fish		Poissons NI	0	3	18.8	5	1.7	0–4.6	–	–	–	–	–
Poissons cartilagineux	Und. Chondrichthyans		Chondrichthyens NI	0	1	6.3	1	0.3	0–1	–	–	–	–	–
Crustacés NI	Und. Crustaceans		Crustacés NI	0	3	18.8	3	1.0	0–3.6	–	–	–	–	–

Tableau 1.6 : Contenu en proies de 12 fèces de **phoques gris** collectées en **baie de Canche** en février 2019. 10 fèces incluent au moins une proie mesurable. Occurrence : nombre de fèces (Nfèces) (et %) contenant cette proie. Nproies : nombre de proies individuelles. IC95% : intervalle de confiance à 95%. Und. et NI : espèces proies non déterminées.

Phoques gris – Baie de Canche (2019) – contenu de 12 fèces

Proies identifiées				Proie mesurable	Occurrence		Abondance			Taille relative des proies (mm)	Masse reconstruite des proies (g)	Biomasse (kg)		
Groupe fonctionnel	Famille	Nom scientifique	Nom vernaculaire		Nfèces	%	Nproies	%N	IC95%	Moy. ± SD	Moy. ± SD	Masse	%Total masse	IC95%
Poissons plats benthiques	Pleuronectidae	<i>Pleuronectes platessa</i> / <i>Platichthys flesus</i>	Plies communes / Flets communs	1	1	8.3	2	0.6	0–3.8	152 ± 13	29 ± 8	0.1	0.7	0–5.3
	Soleidae	<i>Solea solea</i> / <i>Pegusa lascaris</i>	Soles communes / Soles poles	1	1	8.3	1	0.3	0–1.7	245	136	0.1	1.7	0–11.9
Poissons pélagiques	Clupeidae	<i>Clupea harengus</i>	Harengs de l'ATL	1	8	66.7	299	85.7	42–99.2	169 ± 34	26 ± 13	7.7	97.5	86.1–100
Poissons NI		Und. Fish	Poissons NI	0	3	25.0	46	13.2	0–55.6	–	–	–	–	–
Crustacés NI		Und. Crustaceans	Crustacés NI	0	1	8.3	1	0.3	0–1.7	–	–	–	–	–

1.4 Diversité du régime alimentaire

Différents indices de diversité et d'équitabilité ont été calculés sur la base du régime alimentaire évalué à l'échelle taxonomique, en abondance (nombre d'individus proies) et en biomasse reconstruite, par espèce de phoque et par site de collecte des fèces (Figure 1.5).

La richesse spécifique calculée avec les données d'abondance est systématiquement supérieure à celle calculée avec les données de biomasse, quel que soit le cas d'étude (espèce, site) (Figure 1.5.A). Ceci s'explique naturellement par la détection d'un plus grand nombre d'espèces proies en abondance, puisque la biomasse ne considère que les « espèces proies mesurables ». La diversité spécifique et l'équitabilité, calculées avec deux indices pour chacune d'entre elles (Figure 1.5.B à E), sont généralement supérieures en abondance, ou d'ordres de grandeur similaires entre abondance et biomasse. Les mêmes tendances (inter-espèces et inter-sites) sont également similaires entre ces deux types de mesure. Dans un souci de clarté, seuls les résultats de diversité associés à l'abondance sont donc présentés ci-après.

Le nombre d'espèces proies détectées dans toutes les fèces de l'état de référence (2019-2022) est assez similaire en baie de Somme pour les phoques veaux-marins (N = 26) et pour les phoques gris (N = 25) (cf. richesse spécifique), alors que le nombre d'échantillons analysés est supérieur pour ces derniers (106 fèces de phoques gris vs 73 fèces de phoques veaux-marins). La diversité spécifique (Figure 1.5.B et D) est assez similaire entre les deux espèces, bien que parfois très légèrement supérieure en moyenne pour les phoques veaux-marins par rapport aux phoques gris – les incertitudes associées amènent cependant à rester prudents sur une possible supériorité. Les indices d'équitabilité (Figure 1.5.C et E) indiquent que la distribution de l'abondance entre les différentes espèces proies est d'une régularité assez équivalente entre les deux espèces de phoques. Globalement, la diversité et l'équitabilité pourraient être supérieures chez les phoques veaux-marins en baie de Somme, mais cette hypothèse reste fragile à cause de l'incertitude associée (due à la taille de l'échantillonnage).

La richesse spécifique et la diversité des régimes alimentaires évalués en baies d'Authie et de Canche sont quant à elles inférieures à celles détectées en baie de Somme. Ceci s'explique par la taille réduite du set d'échantillons analysés. En effet, les nombres réduits de fèces analysées ne permettent probablement pas de refléter correctement la diversité alimentaire réelle des phoques sur ces sites, à l'échelle de la colonie/population (cf. influence du nombre d'échantillons analysés sur l'image du régime alimentaire ; Trites et Joy 2005). Ainsi, même si certaines tendances peuvent être observées entre espèces (*e.g.* la diversité spécifique est supérieure en baie de Canche pour les phoques veaux-marins par rapport aux phoques gris), il est fortement probable qu'elles soient plus liées aux limites de l'échantillonnage qu'à une réalité écologique.

Bien que fortement dépendant de l'échantillonnage et des limites associées (surtout pour les baies d'Authie et de Canche), les résultats d'indices de diversité et d'équitabilité révèlent ici l'intérêt de tels outils lorsque les sets d'échantillons sont suffisants (comme en baie de Somme). La réalisation future d'analyses de raréfaction, comme initiées précédemment (Planque 2021), testant l'influence du nombre d'échantillons analysés sur la richesse spécifique et sur la diversité spécifique, pourraient à l'avenir enrichir nos connaissances sur la composition et la structure du régime alimentaire des phoques.

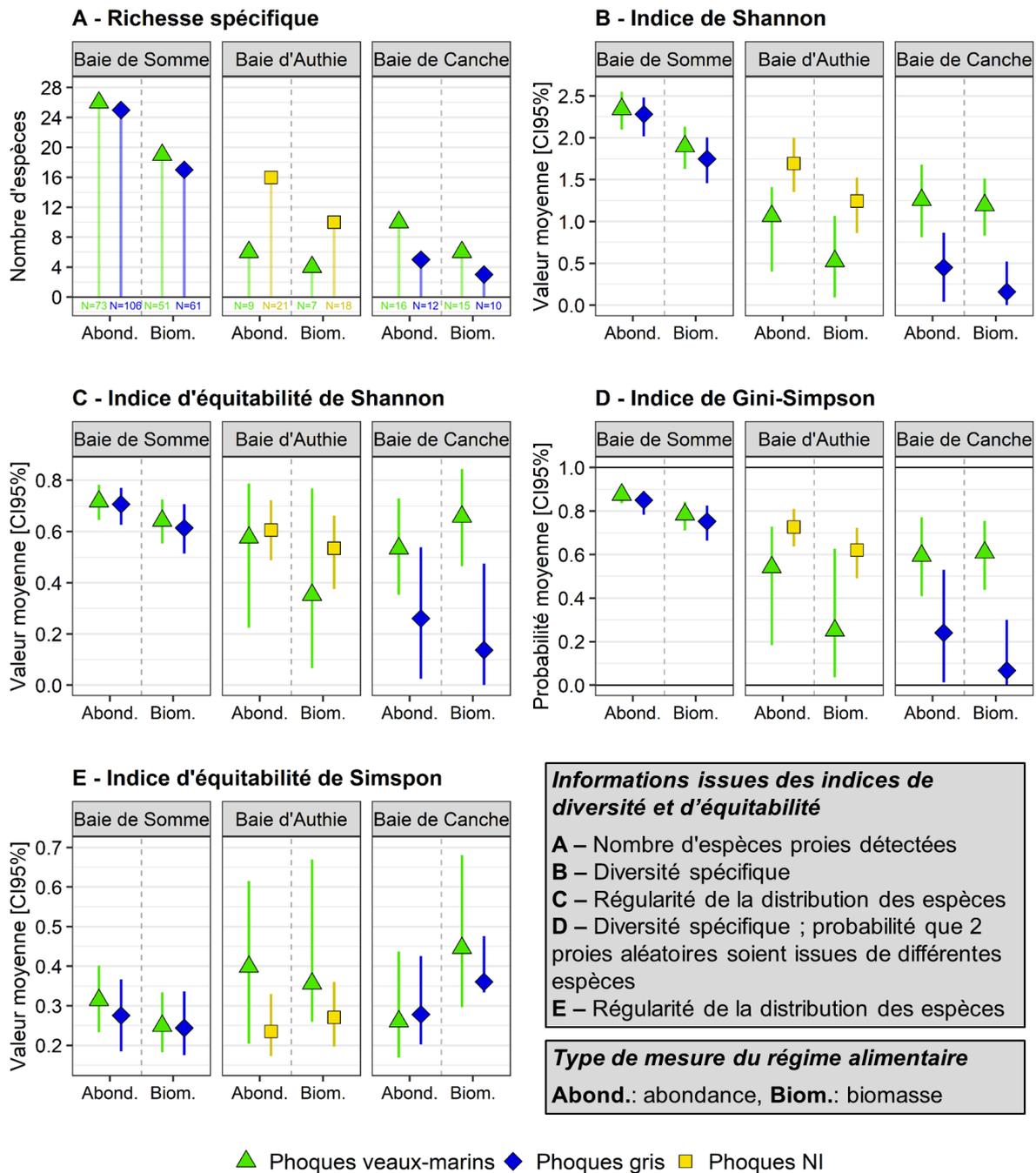


Figure 1.5 : Richesse spécifique (A), indices de diversité (B et D) et indices d'équitabilité (C et E) évalués sur les données de régime alimentaire de phoques veaux-marins, de phoques gris de phoques non identifiés (NI) en baies de Somme, d'Authie et de Canche, de 2019 à 2022. Ces indices sont calculés sur les mesures de régime alimentaire en abondance (Abond.) et en biomasse (Biom.). Barres d'erreur (de B à E) : intervalle de confiance à 95% (IC95%). B et D : plus la valeur d'indice est élevée, plus la diversité est élevée. L'indice de Gini-Simpson (D) varie entre 0 et 1. C et E : l'équitabilité est une mesure synthétique décrivant le schéma de distribution de l'abondance relative entre les différentes espèces proies ; pour C, la valeur est d'autant plus faible que la distribution est inéquitable entre les espèces proies (elle est de 1 lorsque toutes les espèces proies ont la même abondance relative) ; pour E, la valeur est d'autant plus élevée que la distribution est inéquitable entre les espèces proies.

1.5 Taille des proies

Les distributions des tailles relatives des individus proies (identifiés dans les fèces de phoques) sont présentés par groupe fonctionnel de proies, par espèce de phoques et par site d'échantillonnage (Figure 1.6). Les données acquises en baie de Somme pour l'état de référence (2019-2022) sont aussi confrontées aux données acquises précédemment (2002-2018 ; Spitz et al. 2015; Planque et al. 2021) afin d'identifier les similarités/différences avec les connaissances préalables du régime alimentaire.

En baie de Somme (2019-2022), les poissons plats benthiques mesurés dans les fèces de phoques veaux-marins sont en moyenne de plus petite taille que ceux mesurés dans les fèces de phoques gris (154 ± 61 mm vs 207 ± 63 mm respectivement ; t-test non apparié, $t = -11.02$, $P < 0.001$). La même tendance a été observée avant l'état de référence, de 2002-2018 en baie de Somme, puisque les poissons plats mesurés dans les fèces de phoques veaux-marins et gris étaient en moyenne respectivement de 156 ± 50 mm vs 203 ± 69 mm ($t = -11.48$, $P < 0.001$). Les tailles moyennes de poissons plats benthiques consommés en baie de Somme sont alors de même taille entre 2002-2018 et 2019-2022, que ça soit pour les phoques veaux-marins ($t = 0.72$, $P = 0.47$) ou pour les phoques gris ($t = -0.58$, $P = 0.56$). Comme suggéré dans des études précédentes (Spitz et al. 2015; Planque 2021; Planque et al. 2021), les phoques veaux-marins s'alimenteraient plus sur les nurseries côtières et estuariennes de poissons plats benthiques de la Manche Nord-Est, dont ils dépendraient en partie, alors que les phoques gris s'alimenteraient en partie sur des proies adultes qui peuvent aussi être présentes plus au large. Ce résultat est central dans l'interprétation l'écologie trophique des phoques veaux-marins et gris, et est aussi renforcée par les zones de chasse des individus de phoques veaux-marins (côtières/estuariennes, là où sont localisées les nurseries de poissons plats) et de phoques gris (plus étendues, à la côte et au large) depuis la baie de Somme (Planque et al. 2020, 2021; Planque 2021 ; et voir le rapport du suivi télémétrique pour l'état de référence EMDT). Les poissons plats benthiques mesurés dans les fèces de phoques non identifiés en baie d'Authie ont une taille corporelle moyenne de 166 ± 47 mm, soit d'une taille moyenne légèrement supérieure à celle dans les fèces de phoques veaux-marins en baie de Somme ($t = 3.14$, $P < 0.01$) et inférieure à celle de phoques gris en baie de Somme ($t = -8.66$, $P < 0.001$).

Les poissons non-plats benthiques mesurés dans les fèces de phoques veaux-marins sont globalement de petite taille corporelle en baie de Somme (113 ± 44 mm avant 2019, 97 ± 30 mm à partir de 2019) et en baie d'Authie (66 ± 44 mm), mais sont plus grands en baie de Canche (158 ± 14 mm), ce qui peut s'expliquer, dans ce dernier cas, par une consommation majoritaire de grandes vives (peu présentes dans les autres régimes alimentaires). Pour les poissons démersaux, la taille corporelle moyenne est assez proche entre les sites et varie de 130 ± 28 mm pour les phoques veaux-marins en baie d'Authie jusqu'à 164 ± 58 mm pour les phoques gris en baie de Somme (2002-2018). Quelques différences de taille corporelle des poissons pélagiques sont observées entre les espèces de phoques et/ou les sites. Par exemple, les poissons pélagiques sont en moyenne plus grands dans les fèces de phoques veaux-marins que dans celles de phoques gris en baie de Somme, que ça soit en 2002-2018 (201 ± 68 mm vs 153 ± 35 mm respectivement ; $t = 4.36$, $P < 0.001$) ou en 2019-2022 (185 ± 35 mm vs 161 ± 45 mm respectivement ; $t = 4.11$, $P < 0.001$). Ceci pourrait s'expliquer par certaines différences de composition taxonomique de ce groupe fonctionnel dans le régime alimentaire, notamment pour celui des phoques gris qui inclut une plus grande diversité d'espèces de poissons pélagiques. Enfin, les restes d'encornets pélagiques, peu nombreux, permettent difficilement d'évaluer de possibles variations de taille corporelle ; les résultats associés sont ici présentés à titre informatif.

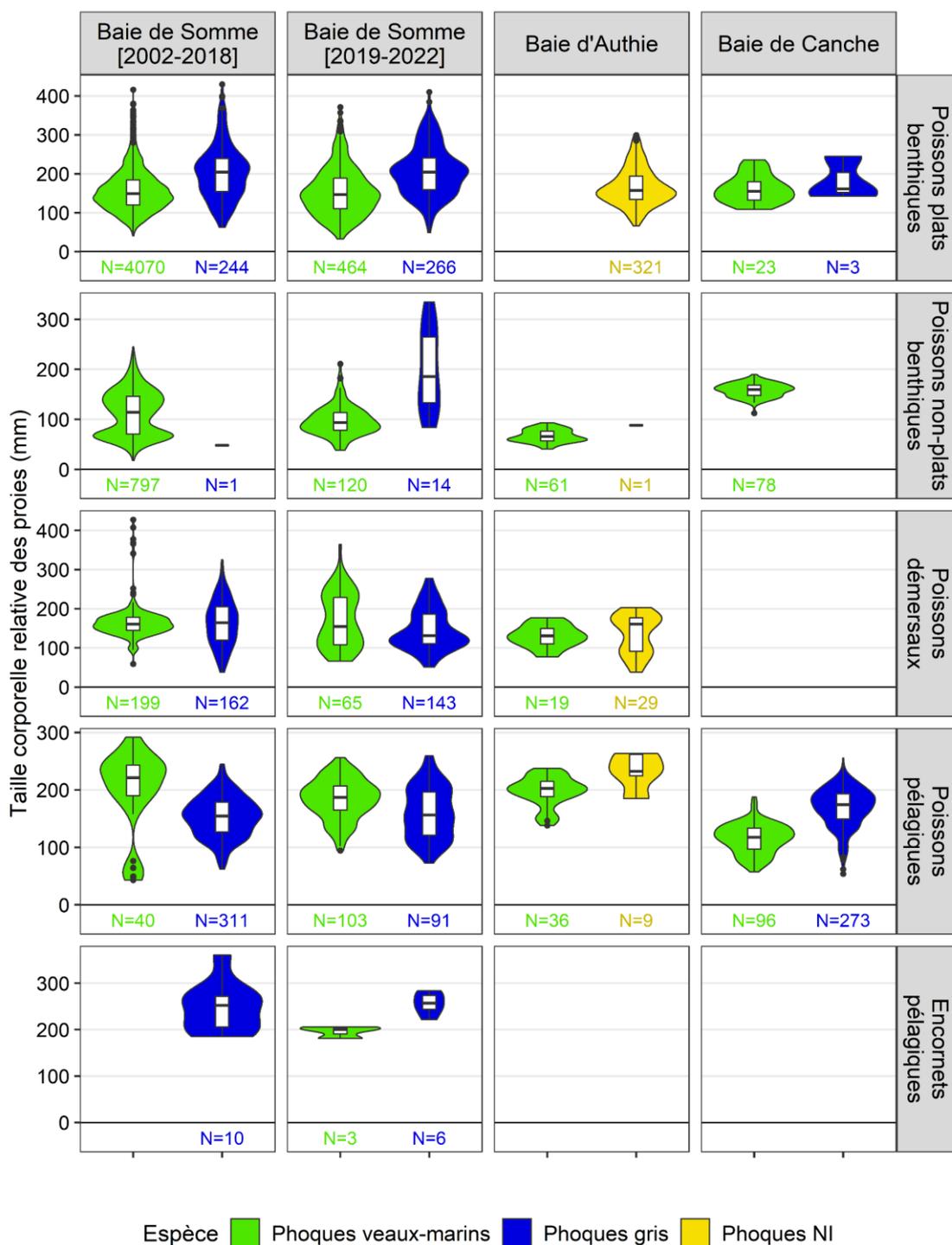


Figure 1.6 : Distribution de la taille corporelle relative des proies fonctionnelles consommées par les phoques veaux-marins et gris (détectées dans le contenu de toutes les fèces analysées) par site d'étude, voire par période d'étude pour la baie de Somme (2002-2018, avant état de référence ; 2019-2022, pour état de référence EMDT). Les distributions sont représentées sous forme de diagrammes en violon (de densité) et sous forme de boxplots (en blanc). Les tailles relatives des proies (en mm) sont estimées à partir des mesures d'otolithes de poissons et de becs de céphalopodes. N : nombre d'individus proies. Les céphalopodes démersaux sont ici écartés du graphique par manque de données.

1.6 Variabilité saisonnière et interannuelle du régime alimentaire des phoques en baie de Somme

L'évaluation de variations saisonnières et interannuelles du régime alimentaire des phoques n'a pu être effectuée ici que pour la baie de Somme, où les données sont en quantité suffisante pour identifier des tendances. Cet exercice n'est pas réalisable pour les baies d'Authie et de Canche puisque les premières fèces analysées sont très inégalement distribuées entre espèces, saisons et années (cf. Figure 1.1). Quoiqu'il en soit, il convient d'interpréter avec prudence certaines tendances saisonnières et interannuelles lorsqu'elles reposent sur un nombre de fèces limité (avec contenu en proies « mesurables »).

La composition taxonomique du régime alimentaire des phoques veaux-marins et gris en baie de Somme (2019-2022) a été évaluée par saisons (printemps/été et automne/hiver), sur la base des contenus de fèces en biomasse reconstruite (Figure 1.7).

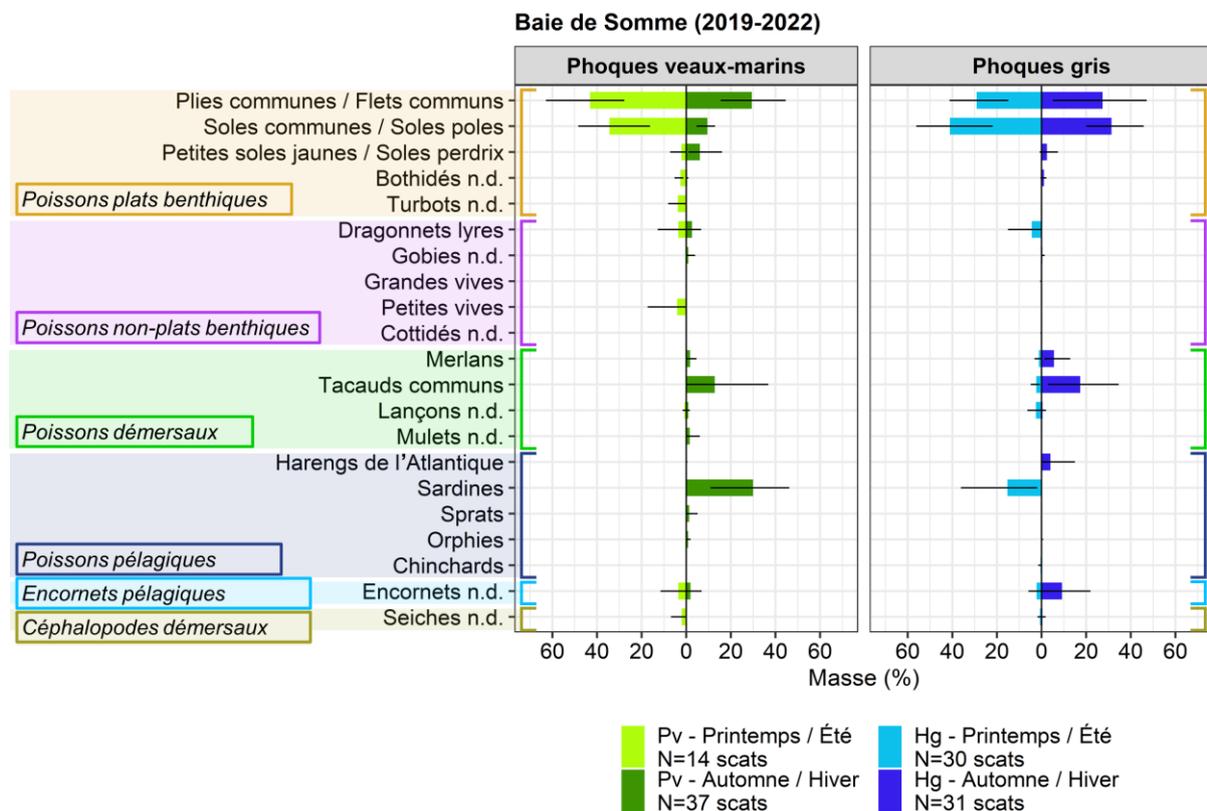


Figure 1.7 : Composition du régime alimentaire taxonomique des phoques veaux-marins et gris en baie de Somme par saisons (printemps/été et automne/hiver), de 2019 à 2022, en pourcentage de biomasse consommée, évalué par l'analyse du contenu en parties dures de 51 et 61 fèces respectivement. Barres d'erreur : intervalle de confiance à 95% (IC95%). n.d. : non déterminé.

La composition des fèces de phoques veaux-marins collectées en baie de Somme présente quelques différences entre les saisons de printemps/été et d'automne/hiver. Les espèces de poissons plats benthiques constituent la grande majorité du régime alimentaire des phoques veaux-marins estimé au printemps/été (86.0% [44.5-100%] de la biomasse), et environ la moitié à l'automne/hiver (45.3% [23.7-71.4%]). Au printemps/été, ce type fonctionnel de proies est ici essentiellement représenté par les plies communes / flets communs (43.1% [27.8-62.9%]) et les soles communes / soles poles (34.4% [16.3-48.4%]). Les fèces de cette même saison sont également complétées par d'autres types de proies tels que des poissons non-plats benthiques ou des céphalopodes, mais dans des proportions moindres que les poissons plats. Les fèces collectées à l'automne/hiver ont quant à elles un contenu plus diversifié, avec une proportion importante de sardines (poissons pélagiques) (30.0% [10.9-46.2%]), complétée par des tacauds communs (poissons démersaux) (12.8% [0.0-36.7%]) et par quelques autres proies à l'état de traces. Ainsi, il existe certaines différences alimentaires entre les deux saisons étudiées, bien qu'il persiste un fort chevauchement entre ces deux périodes (valeur d'indice Pianka de 0.64 [0.33-0.82]) expliqué par la consommation de poissons plats benthiques.

Pour les phoques gris, quelques différences de contenus alimentaires peuvent également être notées entre les fèces collectées au printemps/été et celles collectées en automne/hiver mais, dans l'ensemble, elles incluent toutes deux une majorité de poissons plats (70.6% [43.7-93.8%] au printemps/été et 62.3% [30.9-100%] à l'automne/hiver). Les principales différences entre ces saisons résident dans : la présence de sardines (poissons pélagiques) dans le régime alimentaire du printemps/été (15.3% [2.0-36.2%]), et la présence de tacauds communs (poissons démersaux) (17.3% [3.0-34.6%]), de merlans (5.6% [1.3-12.9%]) et d'encornets pélagiques (9.1% [0.0-21.9%]) dans le régime alimentaire d'automne/hiver. Ces différences de régime alimentaire entre les deux saisons semblent, cependant, moins marquées chez les phoques gris que chez les phoques veaux-marins, ce qui se caractérise pour ces premiers par un chevauchement alimentaire entre ces saisons (valeur d'indice de Pianka de 0.87 [0.49-0.95]).

Les régimes alimentaires des phoques veaux-marins et gris en baie de Somme (2019-2022), évalués ici par l'analyse des fèces en pièces dures de proies, sont plus similaires entre eux au cours du printemps/été (valeur d'indice de Pianka de 0.91 [0.57-0.97]) qu'au cours de l'automne/hiver (valeur d'indice de Pianka de 0.64 [0.26-0.81]). Ce plus haut chevauchement interspécifique au printemps/été s'explique ici par la prépondérance des poissons plats benthiques dans le régime alimentaire des deux espèces de phoques au cours de cette saison.

Ces tendances saisonnières reposent néanmoins sur un nombre limité d'échantillons par espèce de phoques et par saison. La comparaison de ces tendances avec celles observées précédemment (de 2002 à 2018 ; Planque et al. 2021), depuis le même site d'étude, apporte une référence clé pour détecter les possibles variations interannuelles du régime alimentaire et pour étayer les variations saisonnières (Figure 1.8).

Le régime alimentaire des phoques veaux-marins en baie de Somme au printemps/été a largement été décrit dans des études précédentes (Spitz et al. 2015; Planque et al. 2021), et repose sur un échantillonnage conséquent (N = 182 fèces de 2002 à 2018). Avant 2019, les poissons plats benthiques constituaient déjà la majorité du régime alimentaire des phoques veaux-marins au printemps/été (87.3% [75.7-100.0%]), similairement à l'évaluation faite ici, de 2019 à 2022 (86.0% [44.5-100%]). Dans les deux cas d'étude, les poissons plats benthiques de petite taille (taille relative < 200 mm) et de grande taille (taille relative ≥ 200 mm) sont présents dans les fèces en proportions équivalentes, ce qui confirme l'importance écologique des nurseries de poissons plats pour cette

espèce de phoques, à cette saison. Enfin, cette similarité de résultats saisonniers entre les deux périodes d'étude renforce ici la probabilité que le jeu de données obtenu en 2019-2022 puisse correctement refléter une réalité écologique, malgré le faible nombre de fèces analysées associé (N = 14).

Les efforts de collectes récents en baie de Somme ont permis d'acquérir un jeu de données (37 fèces) permettant d'effectuer une estimation plus robuste du régime alimentaire en automne/hiver, alors que ces données étaient jusque-là très limitées à cette saison (Planque et al. 2021). Ces nouvelles données nous amènent ici à suggérer qu'il pourrait surement y avoir des variations saisonnières de régime alimentaire des phoques veaux-marins. Cette différence pourrait s'expliquer par une consommation plus importante de poissons pélagiques (sardines) et démersaux à l'automne/hiver.

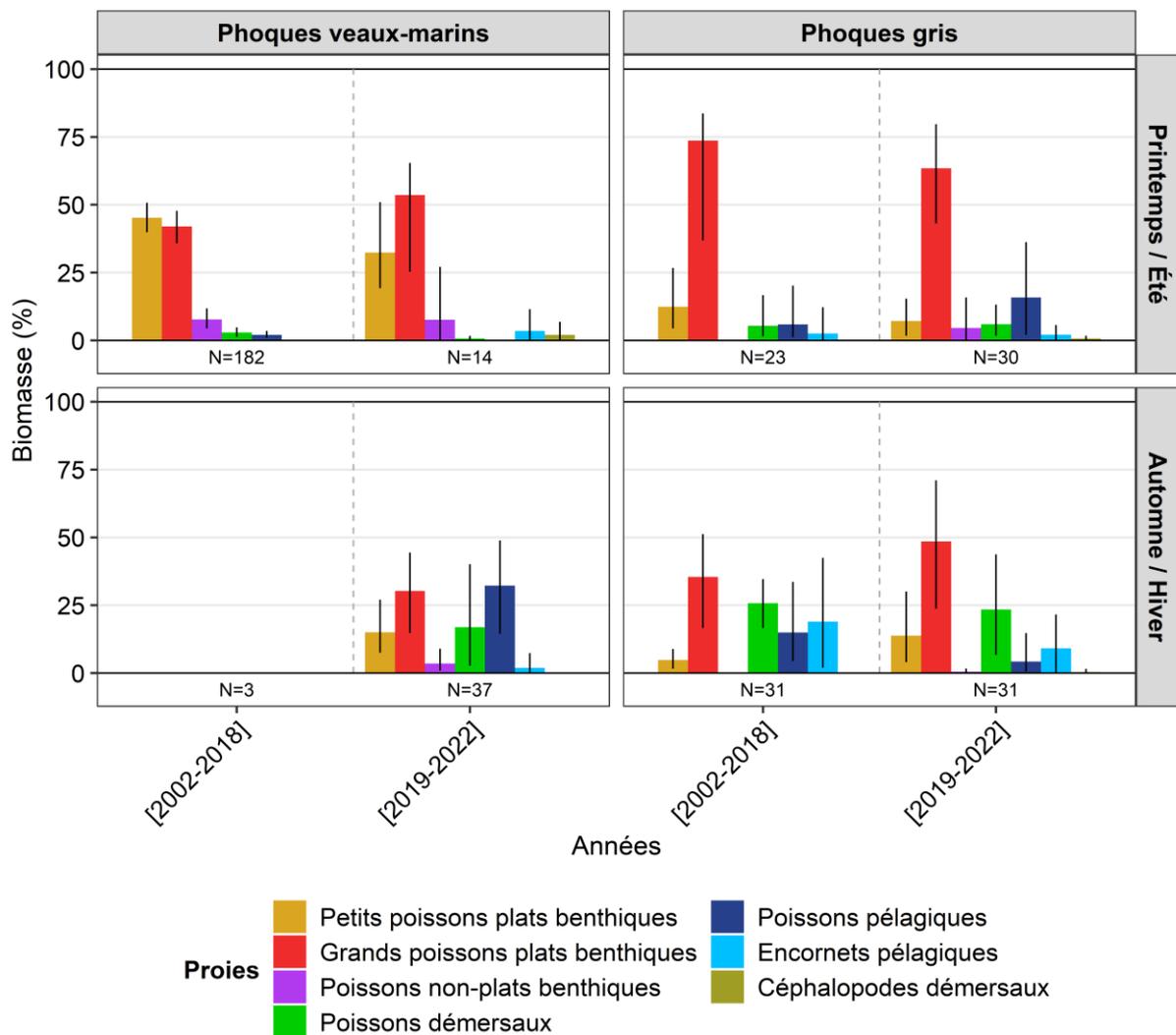


Figure 1.8 : Composition du régime alimentaire fonctionnel des phoques veaux-marins et gris en baie de Somme par saisons et par classes d'années de collectes (2002-2018, avant état de référence, cf. Planque et al. 2021 ; 2019-2022 pour la présente étude, état de référence EMDT), en pourcentage de biomasse consommée, évalué par l'analyse du contenu en parties dure de 236 et 115 fèces respectivement. Barres d'erreur : intervalle de confiance à 95% (IC95%).

Similairement aux phoques veaux-marins, la comparaison des résultats du régime alimentaire des phoques gris les plus récents (2019-2022) avec les plus anciens (avant 2019) permet de renforcer les tendances saisonnières observées. Au printemps/été, les poissons plats benthiques (principalement grands) constituent la grande majorité des proies détectées dans les fèces de phoques gris, que ça soit dans l'étude présente ou avant 2019 (73.6% [36.9-83.6%] et 63.5% [43.1-79.7%] de grands poissons plats benthiques respectivement). Dans les deux cas présentés (avant et pendant la période d'étude), le régime alimentaire des phoques gris s'avère plus diversifié en automne/hiver qu'au printemps/été, les grands poissons plats benthiques étant alors complétés par des proportions importantes de poissons démersaux (*e.g.* tacauds et merlans), de poissons pélagiques (*e.g.* harengs de l'Atlantique, sardines) et d'encornets pélagiques. La principale différence entre les deux périodes est que la proportion de poissons pélagiques composant le régime alimentaire des phoques gris à cette saison, avant 2019, était peut-être plus grande qu'en 2019-2022 (15.8% [2.0-36.3%] vs 6.0% [1.3-20.2%] respectivement). Ceci pourrait s'expliquer par une plus grande présence de harengs de l'Atlantique dans le régime alimentaire avant 2019 (Planque et al. 2021), alors que cette espèce proies a été observé en quantité bien plus réduite dans les échantillons les plus récents.

1.7 Discussion générale

Les résultats de régime alimentaire présentés dans cette étude apportent des informations clés sur l'écologie trophique des phoques veaux-marins et gris des baies de Somme, d'Authie et de Canche, de 2019 à 2022. Ces résultats servent ici d'état de référence écologique avant la construction future des éoliennes en mer au niveau de Dieppe – Le Tréport.

Les résultats de régime alimentaire obtenus en baie de Somme sont les plus détaillés des trois sites étudiés, ce qui s'explique principalement par les effectifs de phoques plus importants, augmentant les opportunités de collectes de fèces en plus grand nombre, à des périodes plus diversifiées (différentes saisons et années). L'étude du régime alimentaire des phoques en baie de Somme découle aussi d'un suivi commencé il y a une vingtaine d'années (Spitz et al. 2015; Vincent et al. 2018; Planque 2021; Planque et al. 2021), ce qui permet d'avoir des connaissances de référence (de 2002 à 2018) et ainsi plus de recul sur les résultats. Les analyses effectuées sur les contenus de fèces de 2019 et 2022 confirment ici l'importance majeure des espèces de poissons plats benthiques (*e.g.* plies communes, flets communs, soles communes, soles poles) dans le régime alimentaire des phoques veaux-marins et des phoques gris en baie de Somme, comme déjà observé dans les études précédentes. Le régime alimentaire des phoques veaux-marins inclut plus de poissons plats de plus petite taille que celui des phoques gris, ce qui peut révéler des différences écologiques majeures entre les deux espèces de phoques. En effet, les poissons plats juvéniles sont dépendants des nurseries côtières et estuariennes durant les premières années, puis sont recrutés au stade adulte à partir duquel ils peuvent se disperser sur des zones plus profondes pour s'alimenter (*e.g.* Riou 2001; Rochette et al. 2010). Ces stratégies alimentaires apparaissent aussi cohérentes avec les zones de chasse de phoques veaux-marins, côtières et à proximité des estuaires des baies de Somme, d'Authie et Canche, alors que celles de phoques gris sont plus largement étendues à l'échelle de la Manche Est et de la mer du Nord (Planque et al. 2020, 2021; Planque 2021 ; et voir le rapport des suivis télémétriques de ce même projet). Cependant, ces nurseries de poissons sont soumises à des changements écologiques substantiels en Manche Est, liés à des causes anthropiques telles que le réchauffement global des eaux marines (McLean et al. 2019). Ce dernier paramètre participerait vraisemblablement à une

réorganisation des communautés de poissons en Manche Est, ce qui s'est caractérisé par un déclin de 80% de la biomasse totale de poissons au niveau de la baie de Somme au cours des trente dernières années (Auber et al. 2017; McLean et al. 2019). De fortes pressions existent donc sur les nurseries de poissons en baie de Somme et peuvent affecter leur stabilité. La poursuite à venir des suivis de régime alimentaire, notamment au cours de la phase de construction des éoliennes offshore de Dieppe – Le Tréport, permettra d'évaluer si les poissons plats continuent ou non d'être les proies majoritaires des phoques veaux-marins et gris. Une telle modification pourrait alors avoir différentes origines possibles, dont certaines pourraient être synergiques : la compétition trophique intraspécifique (entre individus de phoques) et/ou interspécifique (entre les deux espèces de phoques) diminuant l'accès à cette ressource (Planque et al. 2021), le changement climatique induisant la diminution d'abondance de certaines espèces de poissons (*e.g.* McLean et al. 2019), ou toute autre pression anthropique pouvant impacter ponctuellement l'habitat de ces espèces (activités de pêche, modification des habitats lors de la construction des éoliennes en mer, *etc.*).

Les résultats de cette étude sont en faveur de l'existence de variations saisonnières du régime alimentaire des phoques veaux-marins et gris en baie de Somme. Les poissons plats benthiques sont fortement majoritaires dans le régime alimentaire des deux espèces de phoques au printemps/été, mais, bien que toujours présents en forte quantité en automne/hiver, ils sont également complétés par des proportions importantes de poissons pélagiques, des poissons démersaux et des céphalopodes à cette saison. Cette tendance avait déjà pu être détectée chez les phoques gris, mais elle est ici nouvellement observée chez les phoques veaux-marins, par rapport aux études précédentes (Planque et al. 2021). Cette variation saisonnière était peut-être non détectée jusque-là, par manque de fèces de phoques veaux-marins collectées à l'automne/hiver. La présence de poissons pélagiques tels que les sardines ou les harengs de l'Atlantique et de poissons démersaux tels que les tacauds ou les merlans dans le régime alimentaire des phoques devra alors être aussi porter une attention particulière à l'avenir afin de détecter toute potentielle modification alimentaire.

Les résultats de régime alimentaire de phoques obtenus dans cette étude au niveau des baies d'Authie et de Canche sont les premiers au niveau de ces sites. Bien que marqués par des limites liées à la taille de l'échantillonnage analysé et l'incertitude autour de l'espèce productrice de certaines fèces, ces résultats apportent les premières informations sur leur régime alimentaire. Une forte similarité de contenu alimentaire a été détectée entre les baies d'Authie et de Somme, ce qui nous permet de supposer que les phoques présents sur ces deux sites devraient avoir des régimes alimentaires assez proches. Cette hypothèse est d'autant plus probable qu'il existe une connectivité des individus entre ces sites (*cf.* suivi d'abondance, de photo-identification et télémétriques de ce projet), et que ces derniers sont spatialement proches. Néanmoins, l'analyse future d'un plus grand nombre de fèces, à différentes saisons, apparaît nécessaire ici pour mieux tester cette hypothèse. Enfin, l'estimation des régimes alimentaires en baie de Canche repose sur un nombre très réduit de fèces, et dont la distribution entre saisons/années est trop inégale pour arriver à des conclusions robustes. La collecte de nouvelles fèces apparaît nécessaire sur ce site pour évaluer toute potentielles différences ou similarités de régimes alimentaires avec les baies de Somme et d'Authie.

L'analyse « traditionnelle » des contenus de fèces de pinnipèdes en pièces dures diagnostiques de proies est une méthode qui présente certains biais et limites d'étude (*e.g.* Pierce et Boyle 1991; Bowen 2000; Phillips et Harvey 2009; Bowen et Iverson 2013). La représentativité des résultats de régime alimentaire à l'échelle de la colonie / de l'espèce est évidemment dépendante du nombre d'échantillons analysés et de la diversité inter-individuelle (Trites et Joy 2005). Les contenus de fèces reflètent ainsi quelques événements d'alimentation, quelques heures/jours avant la production de ces

fèces. Il peut alors s'avérer limitant de représenter les stratégies alimentaires des phoques à une large échelle temporelle (inter-saisons et inter-années) avec seulement quelques échantillons. Les pièces diagnostiques de certaines espèces proies peuvent également subir une érosion liée à la digestion, ce qui peut parfois mener à sous-estimer la taille et la masse de certaines proies, et donc à sous-estimer leur représentation dans le régime alimentaire (Tollit et al. 1997; Grellier et Hammond 2006). L'ensemble de ces biais amènent alors à interpréter les résultats de régime alimentaire avec certaines précautions. Face aux limites associées aux méthodes « traditionnelles » d'étude du régime alimentaire des pinnipèdes, des chercheurs ont testé des approches de biologie moléculaire, depuis le début du 21^e siècle, pour identifier l'ADN de proies dans des fèces (*e.g.* Purcell et al. 2004; Deagle et al. 2005). Cette approche moléculaire peut alors s'avérer parfois complémentaire aux méthodes traditionnelles (*e.g.* Jeanniard-du-Dot et al. 2017). Dans ce sens, une étude est actuellement en cours sur le même secteur d'étude (baie de Somme) afin de tester l'utilisation d'une approche moléculaire (techniques d'ADNe / metabarcoding) pour évaluer le régime alimentaire de phoques veaux-marins et de phoques gris (étude réalisée sur suggestion du Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS) Eolien en Mer, et financée par Eoliennes en Mer Dieppe – Le Tréport (EMDT), mandaté par le GIS Eolien en Mer). Les apports possibles de ces approches moléculaires ont été présentés dans le cadre d'un travail d'état de l'art, complété de la présentation des protocoles testés (Planque et Spitz 2022), et les résultats issus de ces tests sont présentés séparément. L'utilisation possible de ces approches permettra peut-être, à terme, de mieux préciser le régime alimentaire des phoques sur ce secteur d'étude.

L'adoption d'une démarche multi-approches peut s'avérer vertueuse dans ce type d'étude en écologie trophique, afin que chaque méthodologie utilisée puisse préciser des éléments écologiques non précisés par une autre méthode (cf. limites associées à ces méthodes). Cette démarche a déjà été appliquée sur l'étude de l'écologie trophique des phoques veaux-marins et gris en baie de Somme (Planque 2021; Planque et al. 2021), et est ici réutilisée dans la présente étude. Ainsi, l'analyse des niches isotopiques des phoques est ici réalisée en complément de l'analyse du régime alimentaire, afin de mieux caractériser l'écologie trophique de ces espèces – les résultats d'analyses isotopiques sont présentés ci-après dans le [Chapitre 2](#) de ce rapport.

2 – Chapitre 2 : Analyse de la niche isotopique des phoques

Les isotopes stables du carbone $\delta^{13}\text{C}$ et de l'azote $\delta^{15}\text{N}$ sont très couramment utilisés comme marqueurs écologiques pour étudier l'écologie trophique d'espèces animales. Les rapports de ces isotopes stables peuvent alors renseigner sur la source de carbone et l'habitat utilisé ($\delta^{13}\text{C}$ qui reflète la source de la production primaire à la base du réseau trophique) ainsi que sur la position trophique d'un consommateur (azote $\delta^{15}\text{N}$) (Post 2002; Fry 2006). Nous utilisons ici ces deux marqueurs écologiques pour étudier l'écologie trophique des phoques veaux-marins et gris, en effectuant des analyses isotopiques sur les vibrisses des individus capturés en baie de Somme pour effectuer les suivis télémétriques (voir le rapport du suivi télémétrique des phoques pour l'état de référence EMDT et voir Planque 2021). L'objectif est finalement d'évaluer les niches isotopiques en $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ (espace bidimensionnel) à l'échelle de la colonie, afin d'évaluer la taille des niches et le chevauchement interspécifique (entre les deux espèces de phoques).

La taille des niches isotopiques peut nous renseigner sur le degré probable de variabilité alimentaire à l'échelle de la colonie : une niche plus grande signifiera que les phoques ont vraisemblablement un régime alimentaire diversifié et/ou que la variabilité trophique entre individus (variabilité intraspécifique) est importante. À l'inverse, une niche plus petite signifiera que les phoques de la colonie ont un régime alimentaire peu diversifié et/ou que les individus présentent d'importantes similarités trophiques entre eux. L'évaluation du chevauchement entre les niches des deux espèces de phoques permet donc d'identifier quel pourrait être leur degré de similarités alimentaires. Un haut chevauchement des niches isotopiques pourrait impliquer une potentielle compétition pour la ressource entre ces espèces (Planque et al. 2021). Enfin, connaissant les proies potentielles de ces deux espèces de phoques, il est possible de positionner les valeurs isotopiques de ces proies (si elles sont connues) sur les niches isotopiques des espèces de phoques (Planque et al. 2021). Cet exercice permet d'estimer quelles sont les proies qui contribuent à la structure de ces niches isotopiques de phoques, ce qui est qualitativement complémentaire aux études de régime alimentaire (cf. [Chapitre 1](#)).

2.1 Méthodologie

Des analyses de rapports d'isotopes stables ont été réalisées le long de vibrisses collectées sur les phoques veaux-marins et gris capturés en baie de Somme en 2022 pour être équipés de balises DTags et ainsi effectuer le suivi de leur comportement en mer (voir l'étude associée pour l'état de référence EMDT ; rapport final prévu courant 2023). Les plus longues vibrisses de neuf phoques veaux-marins capturés en mai 2022 ont ainsi été prélevées afin d'être analysées en laboratoire (Tableau 2.1). Des analyses isotopiques ont déjà été réalisées depuis le même site (baie de Somme) dans le cadre de travaux antérieurs, sur des vibrisses de phoques veaux-marins et gris collectées en 2019 (thèse de doctorat sur l'écologie trophique des phoques veaux-marins et gris en Manche Est ; Planque 2021) et en 2008-2012 (Planque et al. 2021). Les résultats d'analyses obtenus sur les données isotopiques de 2019 sont ici présentés en complément de ceux obtenus pour le présent projet (individus capturés en 2022), car ils permettent d'enrichir l'état de référence. Ces données complémentaires ont été acquises sur 15 phoques veaux-marins (4 capturés en mai 2019, 11 capturés en octobre 2019 dont 1 de mai 2019 recapturé) et 12 phoques gris (10 capturés en mai 2019, 2 capturés en octobre 2019) (Planque 2021) (Tableau 2.1). L'intérêt est ici d'avoir des informations sur la niche isotopique des phoques gris,

non étudiée en 2022, comme élément de référence comparatif. Les résultats obtenus sur les données isotopiques de 2008-2012 (Planque et al. 2021) ne sont pas présentés dans ce rapport car ils sont trop anciens pour servir d'état de référence pour le projet EMDT. Cependant, ils pourront être discutés en parallèle de ceux obtenus avec les individus capturés en 2022 et en 2019.

Les données de mesures d'isotopes stables réalisées dans les vibrisses des phoques veaux-marins et gris capturés en baie de Somme en 2022 et en 2019, qui ont permis d'effectuer les analyses de ce chapitre, sont disponibles en ligne en libre accès (voir Disponibilité des données ; Planque et al. 2023).

- **Analyses isotopiques sur des vibrisses de phoques**

- **Intégration temporelle des vibrisses**

Les vibrisses de phoques sont composées de tissus kératineux et apportent une intégration temporelle de l'information isotopique durant leur période de croissance (Hobson et al. 1996; Hiron et al. 2001; Greaves et al. 2004; Zhao et Schell 2004). La collecte de la plus longue vibrisse de chaque individu permet ainsi d'acquérir la plus longue intégration temporelle disponible d'isotopes stables pour un individu. Les vibrisses mesuraient 116 ± 9 mm pour les phoques veaux-marins de 2022, 113 ± 9 mm pour les phoques veaux-marins de 2019, et 96 ± 14 mm pour les phoques gris de 2019 en moyenne (\pm écart-type). Ces vibrisses ont été sectionnées par segments de 1 mm en 2022 (2 mm en 2019), et un segment a été échantillonné environ tous les 10 mm de chaque vibrisse pour effectuer la mesure des isotopes stables du carbone $\delta^{13}\text{C}$ et de l'azote $\delta^{15}\text{N}$. Ces mesures isotopiques ont donc été réalisées sur 401 segments de vibrisses, soit en moyenne sur 11.9 ± 0.9 segments par vibrisse de phoque veau-marin et 9.7 ± 1.7 segments par vibrisse de phoque gris (Tableau 2.1).

Compte tenu des connaissances sur le schéma de croissance des vibrisses des phoques veaux-marins et gris (discontinue au cours du temps) issues de la littérature scientifique (Greaves et al. 2004; Zhao et Schell 2004), nous pouvons estimer très approximativement le temps d'intégration des vibrisses de phoques. Ainsi, il est probable que les vibrisses de phoques veaux-marins collectées en octobre 2019 aient intégré les variations isotopiques des quatre mois précédant la capture, c'est-à-dire à la fin du printemps, en été et au début d'automne. En revanche, la croissance des vibrisses étant plus faible en hiver-printemps (environ $0.075 \text{ mm.jour}^{-1}$) qu'en été-automne (environ $0.78 \text{ mm.jour}^{-1}$; estimations calculées par Zhao et Schell 2004 sur des individus en captivités), il est probable que les vibrisses collectées en mai 2022 et 2019 aient intégré les variations isotopiques sur une période plus longue : environ neuf mois précédant la capture (comprenant ainsi la période hivernale).

La croissance des vibrisses de phoques gris est asynchrone, discontinue au cours du temps, et avec peu ou pas de tendance saisonnière claire (Greaves et al. 2004). Seule une estimation de $0.24 \text{ mm.jour}^{-1}$ des vibrisses de phoques gris sur plusieurs mois est alors proposée dans la littérature scientifique pour cette espèce (Greaves et al. 2004). Les vibrisses des phoques collectées en mai et octobre 2019 pourraient alors avoir intégré des variations isotopiques pendant environ un an avant la capture, voire un peu plus, excepté pour les vibrisses les plus petites (individu G20, 77 mm).

Ces estimations de taux de croissance des vibrisses de phoques veaux-marins et gris restent très approximatives, puisqu'elles sont basées sur des périodes d'étude relativement courtes, et un faible nombre d'individus étudiés. Il persiste donc de grandes lacunes de connaissances précises sur le

schéma de croissance des vibrisses de ces deux espèces, et les estimations précédentes sont donc indicatives et à prendre avec beaucoup de précautions. De plus, bien que la plupart des études s'accordent pour dire que les vibrisses de nombreuses espèces de phocidés chutent généralement au moment de la mue, d'autres études ont récemment mis en évidence une chute bisannuelle de certaines vibrisses chez certaines espèces de phocidés (*e.g.* éléphants de mer) (Beltran et al. 2015; Lübcker et al. 2016; Rogers et al. 2016; McHuron et al. 2019). Supposant que ce schéma de croissance pourrait exister chez les phoques veaux-marins et gris, nous ne pouvons pas exclure ici que les vibrisses aient pu intégrer des variations isotopiques jusqu'à l'année N-2 avant la capture. Il convient donc ici de rester très prudent sur l'intégration temporelle probable associée aux vibrisses étudiées.

○ Analyses isotopiques

L'ensemble des segments de vibrisses sélectionnés ont été analysés avec un analyseur élémentaire (Flash 2000, Thermo Scientific, Milan, Italie) couplé à un spectromètre de masse de rapport isotopique (Delta V Plus avec une interface Conflo IV, Thermo Scientific, Bremen, Allemagne). Les résultats ont été exprimés avec l'annotation usuelle δ en parts pour mille (‰), relatif au standard de Vienna PeeDee Belemnite pour le $\delta^{13}\text{C}$ et à l'azote atmosphérique N_2 pour le $\delta^{15}\text{N}$. Les résultats ont été calculés suivant cette formule :

$$\delta^{13}\text{C} \text{ ou } \delta^{15}\text{N} = \left(\frac{R_{\text{sample}}}{R_{\text{standard}}} - 1 \right) \times 10^3$$

où R sont les ratios isotopiques $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ou $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$.

Sur la base de mesures répliquées de USGS-61, USGS-62 et de USGS-42 utilisés comme standards en interne au laboratoire, la précision analytique isotopique était respectivement $< 0.10\text{‰}$ pour le $\delta^{13}\text{C}$ et $< 0.15\text{‰}$ pour le $\delta^{15}\text{N}$.

Tableau 2.1 : Tableau récapitulatif des individus de phoques veaux-marins et gris, capturés en mai 2022 pour ceux équipés de DTags (étude présente, état de référence d'EMDT) et en mai et octobre 2019 (étude précédente, données issues de Planque 2021), et dont la vibrisse la plus longue a été prélevée pour analyser leur composition en isotopes stables du carbone ($\delta^{13}\text{C}$) et de l'azote ($\delta^{15}\text{N}$). * : le même individu recapturé.

Source des données isotopiques	Espèce	Individus	Sexe	Masse corporelle kg	Date de capture	Analyses des isotopes stables $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ sur les segments de vibrisses	
						Longueur vibrisse mm	Nombre de segments de vibrisses analysés
Cette étude (EMDT)	Phoques veaux-marins	S26	M	96	21/05/2022	123	13
		S27	M	60	22/05/2022	114	12
		S28	M	110	22/05/2022	121	13
		S29	M	75	22/05/2022	105	11
		S30	M	101	23/05/2022	118	12
		S31	M	103	23/05/2022	114	12
		S32	M	92	23/05/2022	108	11
		S33	M	103	23/05/2022	133	14
		S34	F	82	23/05/2022	110	12
Planque (2021)	Phoques veaux-marins	S11	M	112	25/05/2019	100	11
		S12	M	118	25/05/2019	115	12
		S13	F	128	25/05/2019	100	11
		S14*	M	84	25/05/2019	118	12
		S15	M	70	05/10/2019	116	12
		S16	M	78	05/10/2019	116	11
		S17	M	70	05/10/2019	118	12
		S18	M	69	05/10/2019	108	10
		S19	M	61	05/10/2019	136	14
		S20	M	73	05/10/2019	113	12
		S21	M	67	05/10/2019	110	12
		S22*	M	78	06/10/2019	106	11
		S23	M	79	06/10/2019	115	12
		S24	M	77	06/10/2019	101	11
S25	M	83	07/10/2019	117	12		
Planque (2021)	Phoques gris	G13	M	92	23/05/2019	90	10
		G14	M	60	23/05/2019	97	9
		G15	M	84	23/05/2019	114	10
		G16	M	142	23/05/2019	95	10
		G17	M	108	24/05/2019	86	8
		G18	M	62	24/05/2019	104	10
		G19	M	122	24/05/2019	83	9
		G20	F	58	24/05/2019	77	7
		G21	M	52	24/05/2019	82	9
		G22	M	134	25/05/2019	101	11
G23	M	300	07/10/2019	97	10		
G24	M	74	07/10/2019	127	13		

• Évaluation des niches isotopiques à l'échelle de la colonie

○ Modèle Bayésien

Les niches isotopiques de phoques veaux-marins et de phoques gris ont été quantifiées par un modèle hiérarchique que nous avons développé dans un cadre Bayésien (Planque et al. 2021). L'objectif de ce modèle est d'évaluer les niches isotopiques sous forme d'ellipses standards, comme précédemment proposé par Jackson et al. (2011). Ce type de modèle développé dans un cadre Bayésien est particulièrement adéquat pour identifier des niches isotopiques à l'échelle de la colonie avec un échantillonnage de petite taille, *i.e.* avec peu d'individus échantillonnés (Jackson et al. 2011). Cette approche permet de rendre compte des incertitudes existantes, et des inconnues que nous pouvons avoir dans l'inférence d'une niche isotopique à l'échelle d'une colonie – le faible nombre d'individus généralement échantillonné pour ce type d'étude implique cette incertitude. La particularité du modèle que nous avons développé est qu'il prend en compte deux niveaux de variabilité isotopique : **1**) un niveau de variabilité intra-individuelle (cf. plusieurs mesures le long de la vibrisse dans le cas présent) et **2**) un niveau de variabilité inter-individuelle (Planque et al. 2021). Ce modèle permet ainsi d'intégrer une variabilité temporelle dans les niches isotopiques, correspondant au temps de croissance des vibrisses (plusieurs mois).

L'ensemble des détails méthodologiques du modèle sont présentés dans l'article scientifique Planque et al. (2021), dans la thèse de Planque (2021), et le code R permettant de réaliser ces analyses est disponible sur GitHub⁴.

○ Identification des niches isotopiques, de l'aire et de leur chevauchement

Les niches isotopiques ont ainsi été définies par espèce et par colonie avec des ellipses déterminées dans les dimensions $\delta^{13}\text{C}$ et en $\delta^{15}\text{N}$ (avec l'intervalle de confiance à 95% dans leur tracé), obtenues en sortie de modèle. Chaque ellipse a été évaluée par ce modèle en simulant les valeurs de 100 nouveaux individus. Ce procédé a été répliqué 1000 fois (itérations du modèle), afin d'obtenir un échantillon de 1000 ellipses, avec lesquelles il est possible d'évaluer plusieurs informations telles que les tailles de niche ou le chevauchement interspécifique entre les niches de deux espèces, ainsi que les incertitudes associées.

L'aire des niches isotopiques correspond finalement à l'aire des ellipses en sortie de modèle, et est exprimé en %². Pour une niche isotopique d'une espèce (à l'échelle d'une colonie), les résultats d'aire sont alors exprimés en moyenne (des aires des 1000 ellipses estimées) avec l'intervalle de crédibilité à 95% (noté IC95%).

⁴ *Isotopic Niche Overlap: considering both intra- and interindividual variability in the identification of isotopic niches with standard ellipses.* Script écrit en langage R, disponible depuis GitHub : https://github.com/YannPlanque/Isotopic_Niche_Overlap

Le chevauchement entre les niches isotopiques de deux espèces A et B a été calculé en pourcentages d'aires d'ellipses couvertes. Trois mesures de chevauchement ont été calculées :

- le pourcentage d'aire de la niche isotopique de l'espèce A incluse dans celle de l'espèce B
- le pourcentage d'aire de la niche isotopique de l'espèce B incluse dans celle de l'espèce A
- le pourcentage d'aire de la niche isotopique totale couverte par les espèces A et B qui se chevauche

Similairement aux valeurs d'aires de niches, les valeurs de ce chevauchement ont été calculées sur les 1000 ellipses, et sont finalement exprimées en moyenne et en IC95%.

Les niches isotopiques ont également été représentées graphiquement par des gammes de probabilités d'appartenance à ces niches. Ainsi, la probabilité qu'un point isotopique (dans les dimensions $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) appartienne à la niche isotopique a été calculée sur la base des 1000 itérations : elle est basée sur la probabilité que ce point appartienne aux 1000 ellipses. Les gammes de probabilités d'appartenir aux niches sont finalement représentées sous formes elliptiques. Sachant la probabilité d'appartenir aux niches de l'espèce A et de l'espèce B, il a aussi été possible de calculer la probabilité qu'un point isotopique soit dans les niches des deux espèces, c'est-à-dire la probabilité de chevauchement interspécifique. Cette mesure a finalement aussi été représentée dans l'espace isotopique sous forme de gammes de probabilités. Ce procédé est plus amplement présenté dans la thèse de Planque (2021).

• Positionnement des valeurs isotopiques de proies potentielles de phoques

Les valeurs isotopiques des certaines espèces de poissons et céphalopodes identifiées comme principales proies des phoques veaux-marins et gris (cf. analyses du régime alimentaire, [Chapitre 1](#)) sont disponibles pour la Manche Est (Kopp et al. 2015). Les résultats isotopiques de cette étude sont présentés par compartiment/espèce pour chacune des couches des profondeurs échantillonnées, et pour toutes les profondeurs regroupées. Ici nous avons extrait de cette étude les valeurs isotopiques d'espèces de proies potentielles de phoques pour toutes les profondeurs regroupées, excepté pour le hareng de l'Atlantique (*Clupea harengus*) et la sardine (*Sardina pilchardus*) pour lesquels deux couches de profondeurs ont été distinguées : les harengs et sardines à 0-20 m avec une structuration benthique, et à 20-38 m avec une structuration pélagique (Kopp et al. 2015).

La consommation de proies par des prédateurs se traduit systématiquement par un enrichissement des valeurs isotopiques de $\delta^{13}\text{C}$ et de $\delta^{15}\text{N}$ des tissus des proies jusqu'aux tissus des consommateurs, et ce phénomène est usuellement nommé « fractionnement trophique ». La valeur d'enrichissement associée à ce fractionnement est notée « facteur d'enrichissement trophique » (*Trophic Enrichment Factor*, TEF). Les valeurs de TEFs ont été empiriquement estimées à environ +1.5‰ pour le $\delta^{13}\text{C}$ et +3.4‰ pour le $\delta^{15}\text{N}$ (DeNiro et Epstein 1978; Post 2002). Cependant les TEFs peuvent considérablement varier selon les espèces de consommateurs, selon les espèces proies consommées, et selon les types de tissus analysés (Crawford et al. 2008). Il a donc été choisi ici d'appliquer des valeurs de TEFs évaluées par Lerner et al. (2018) pour les vibrisses de phoques gris. Ces TEFs moyens sont : $+2.4 \pm 1.3\text{‰}$ pour le $\delta^{13}\text{C}$ et $+2.6 \pm 1.2\text{‰}$ pour le $\delta^{15}\text{N}$. Les valeurs isotopiques moyennes de proies potentielles ont finalement été recalculées en combinant les valeurs de proies et de TEFs avec leurs incertitudes – rééchantillonnage des deux paramètres suivant une loi normale selon

leur moyenne \pm SD, puis application du TEF – afin d’être positionnées sur les niches isotopiques des phoques veaux-marins et gris.

2.2 Valeurs isotopiques de $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ le long des vibrisses

Les valeurs isotopiques de $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ mesurées le long des vibrisses prélevées sur les phoques veaux-marins capturés en baie de Somme en 2022 sont représentées en Figure 2.1. Celles mesurées le long des vibrisses prélevées sur les phoques veaux-marins et gris capturés en baie de Somme en 2019 sont représentées en Figure 2.2. Considérant les différences de croissance des vibrisses entre les saisons et les espèces, les données sont ici représentées selon l’espèce et le mois de prélèvement de la vibrisse sur les individus (**A** : mai, **B** : octobre, en Figure 2.2). Cette représentation des valeurs isotopiques brutes, de la valeur la plus ancienne (extrémité de la vibrisse) à la valeur la plus récente (base de la vibrisse), renseigne sur la variabilité isotopique intra-individuelle.

De manière générale, la variabilité intra-individuelle en $\delta^{15}\text{N}$ est assez réduite le long des vibrisses de phoques veaux-marins capturés en mai 2022 (variations isotopiques sur un intervalle de 1.5‰ environ) (Figure 2.1). Seule la vibrisse de l’individu S30 est caractérisée par des valeurs en $\delta^{15}\text{N}$ supérieures à celles mesurées sur les autres individus. La variabilité intra-individuelle en $\delta^{13}\text{C}$ apparaît plus élevée en 2022, avec des variations isotopiques sur un intervalle de 3.5‰ environ. Cette variabilité est observée sur les vibrisses de certains individus tels que S26 ou S32, et se caractérise par des valeurs en $\delta^{13}\text{C}$ plus élevées sur la partie la plus ancienne de leur vibrisse (vers leur extrémité) et par des valeurs plus faibles sur la partie la plus récente de leur vibrisse (vers leur base). Sachant que les vibrisses croissent pendant plusieurs mois, il est probable que celles de phoques veaux-marins capturés au mois de mai puissent intégrer les périodes de printemps, hiver et probablement automne, précédant la capture.

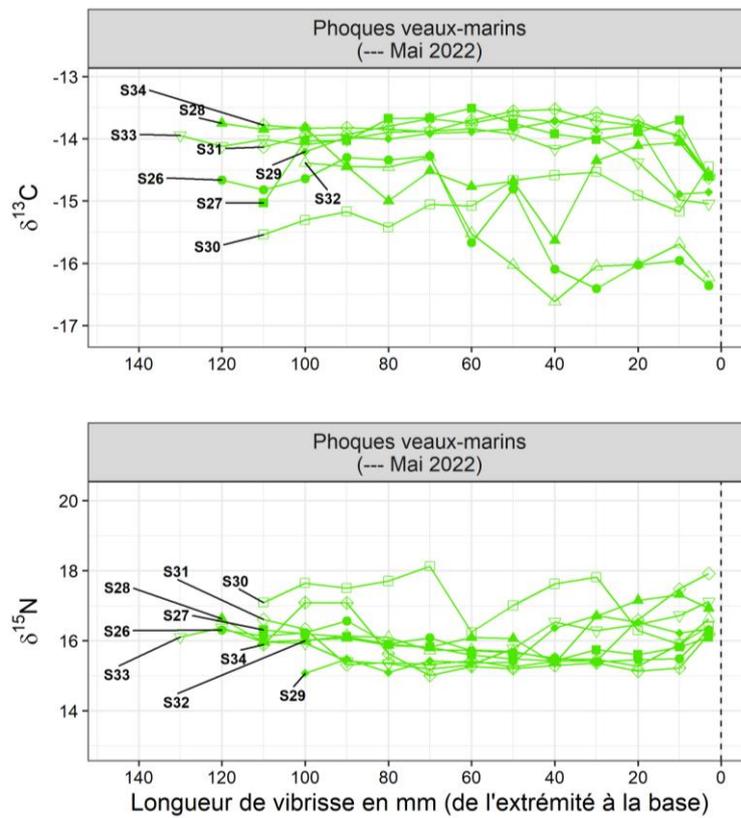
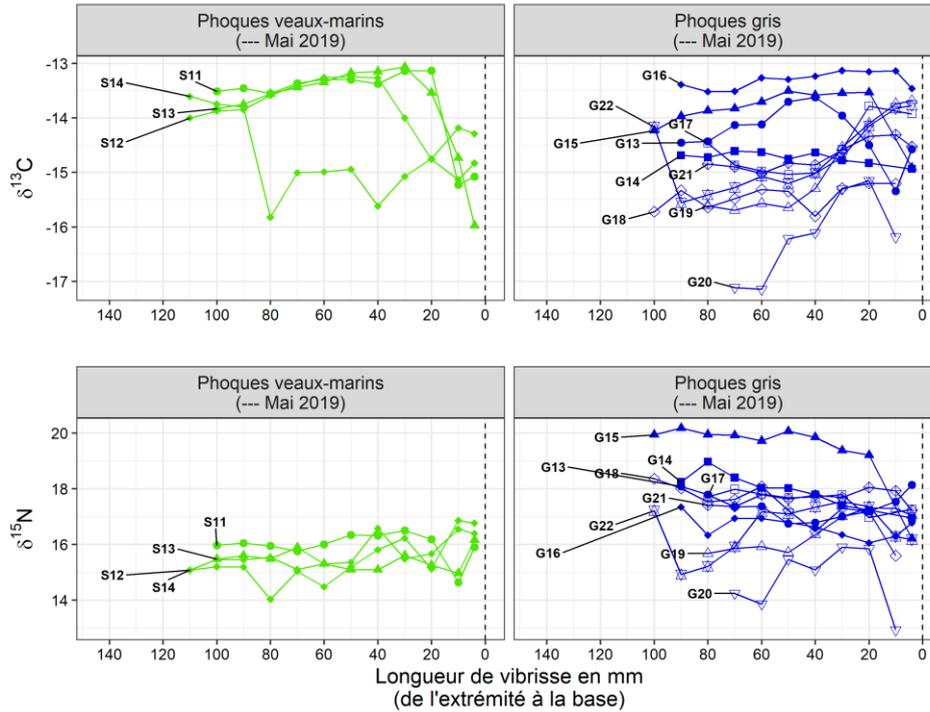


Figure 2.1 : Valeurs isotopiques brutes de $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ mesurées le long des vibrisses de 9 phoques veaux-marins capturés en baie de Somme en 2022 (*données acquises pour l'état de référence EMDT*). Les données sont ordonnées de l'extrémité à la base de la vibrisse.

Similairement aux individus de 2022, la variabilité isotopique en $\delta^{13}\text{C}$ semble être légèrement supérieure à celle en $\delta^{15}\text{N}$ le long des vibrisses des phoques veaux-marins capturés en mai ou octobre 2019 (Figure 2.2). Les valeurs isotopiques en $\delta^{13}\text{C}$ varient sur un intervalle d'environ 3‰ pour ces individus, ce qui est légèrement supérieur à la variabilité intra-individuelle observée pour les individus de 2022. Une tendance temporelle semble être observée sur la plupart des vibrisses collectées en octobre, avec des valeurs en $\delta^{13}\text{C}$ légèrement plus faibles sur la partie la plus ancienne de leur vibrisse (vers leur extrémité) et avec des valeurs légèrement plus élevées sur la partie la plus récente de leur vibrisse (vers leur base) (Figure 2.2.B). Les valeurs en $\delta^{15}\text{N}$ sont quant à elles peu variables sur les vibrisses de phoques veaux-marins collectées en 2019, et fortement similaires entre les différents individus. En bref, les valeurs isotopiques obtenues sur cette espèce sont fortement similaires entre chaque individu, bien que légèrement plus variables en $\delta^{13}\text{C}$ qu'en $\delta^{15}\text{N}$, et peu de différences sont observées entre les individus de 2022 et ceux de 2019. Il est alors possible qu'il y ait de fortes similarités alimentaires entre phoques veaux-marins et qu'il y ait potentiellement une certaine stabilité du régime alimentaire au cours du temps (plusieurs mois/saisons). Cependant, ceci reste hypothétique car les similarités isotopiques entre prédateurs peuvent aussi découler de similarités isotopiques entre plusieurs différentes proies.

A - Individus capturés en mai 2019



B - Individus capturés en octobre 2019

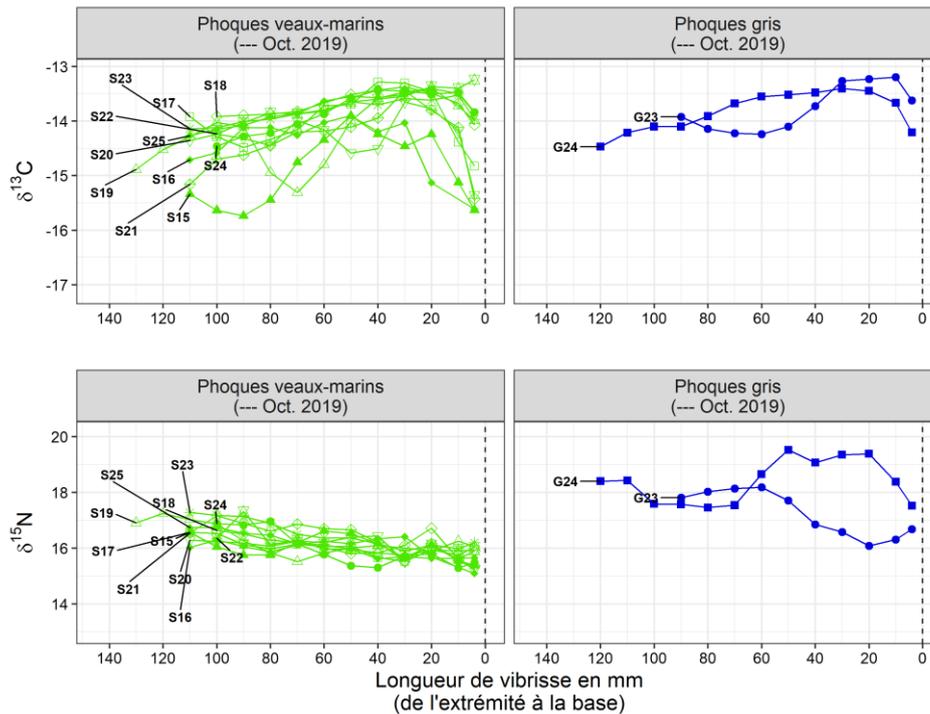


Figure 2.2 : Valeurs isotopiques brutes de $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ mesurées le long des vibrisses de 14 phoques veaux-marins et 12 phoques gris, capturés en baie de Somme en 2019 (A : individus capturés en mai 2019, B : individus capturés en octobre 2019). Les données sont ordonnées de l'extrémité à la base de la vibrisse. Les phoques veaux-marins S14 et S22 correspondent au même individu recapturé. Ces données sont issues de Planque (2021).

Les variabilités intra- et inter-individuelles en $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ apparaissent plus importantes chez les phoques gris capturés en 2019 que chez les phoques veaux-marins (quelle que soit l'année d'étude) (Figure 2.2). Cependant, au regard des graphiques, nous pourrions suggérer que la variabilité isotopique entre individus est plus forte que celle d'un même individu au cours du temps (le long de la vibrisse, au cours de plusieurs mois). À ce stade, il apparaît donc probable qu'il y ait une plus forte variabilité intraspécifique du régime alimentaire des phoques gris, caractérisée par des différences interindividuelles et peut-être quelques variations temporelles.

L'ensemble de ces données brutes ont été utilisées pour identifier les niches isotopiques.

2.3 Niches isotopiques

• Taille des niches isotopiques, variabilité intraspécifique (interindividuelle) et chevauchement interannuel des niches de phoques veaux-marins (2022 vs 2019)

La niche isotopique de phoques veaux-marins, évaluée sur la base des individus capturés en baie de Somme en 2022, est d'aire plus importante que celle estimée sur la base des individus de la même espèce capturés en 2019 : 7.5‰^2 [IC95% : 2.5-15.1 ‰^2] en 2022 vs 3.0‰^2 [1.4-5.1 ‰^2] en 2019 (Figure 2.3 et Figure 2.4.A). La niche des phoques veaux-marins en 2022 est vraisemblablement plus grande que celle de 2019, puisque la probabilité associée est de 0.95. Cette différence d'aire de niche peut s'expliquer principalement par une plus forte variabilité intraspécifique en $\delta^{13}\text{C}$ entre phoques veaux-marins en 2022 par rapport à celle entre individus en 2019 : 0.8‰ [0.4-1.3 ‰] vs 0.4‰ [0.3-0.7 ‰] (probabilité d'être plus élevée de 0.92). En revanche, la faible variabilité intraspécifique en $\delta^{15}\text{N}$ est plutôt du même ordre de grandeur entre deux années d'étude (0.6‰ [0.3-0.9 ‰] en 2022 vs 0.4‰ [0.2-0.6 ‰] en 2019), bien qu'il existe une probabilité modérée qu'elle soit plus élevée en 2022 ($P = 0.83$).

Les niches isotopiques de phoques veaux-marins possèdent de fortes similarités entre les deux années étudiées, puisque 90% [64-100%] de l'aire de la niche de 2019, plus petite, est incluse dans celle de 2022, plus grande. La part de la niche isotopique de 2022 se chevauchant avec celle de 2019 est plus réduite (40% [11-73%] de son aire), ce qui s'explique par la plus grande étendue de la niche isotopique de 2022 vers des valeurs en $\delta^{13}\text{C}$ plus faibles. Sachant que les valeurs isotopiques en $\delta^{13}\text{C}$ sont un indice de l'habitat utilisé par le prédateur (Post 2002; Fry 2006), nous pourrions ici supposer, à ce stade, que les phoques veaux-marins de 2022 se seraient alimentés sur des proies plus pélagiques (valeurs en $\delta^{13}\text{C}$ plus faibles) en complément des proies plus benthiques (valeurs en $\delta^{13}\text{C}$ plus élevées) également consommées par les individus de 2019.

La niche isotopique des phoques gris en 2019, d'aire de 14.7‰^2 [6.0-27.7 ‰^2], est quant à elle plus grande que celle des phoques veaux-marins capturés la même année (3.0‰^2 [1.4-5.1 ‰^2]) et que celle des phoques veaux-marins en 2022 (7.5‰^2 [2.5-15.1 ‰^2]) (Figure 2.3 et Figure 2.4.A). Les probabilités associées sont respectivement de 1 et 0.89. Cette différence d'aire de niche s'explique par la plus forte variabilité intraspécifique en $\delta^{13}\text{C}$ et en $\delta^{15}\text{N}$ pour les phoques gris (0.8‰ [0.4-1.2 ‰] en $\delta^{13}\text{C}$ et 1.1‰ [0.6-1.7 ‰] en $\delta^{15}\text{N}$) par rapport aux phoques veaux-marins (voire valeurs dans les paragraphes précédents). Seule la variabilité intraspécifique en $\delta^{13}\text{C}$ des phoques veaux-marins en 2022 est équivalente à celle des phoques gris en 2019 (0.8‰ [0.4-1.3 ‰] vs 0.8‰ [0.4-1.2 ‰] respectivement). Cette plus grande étendue de la niche isotopique des phoques gris pourrait ainsi

s'expliquer par exemple par une plus grande diversité alimentaire et/ou par une plus grande variabilité des stratégies individuelles de chasse.

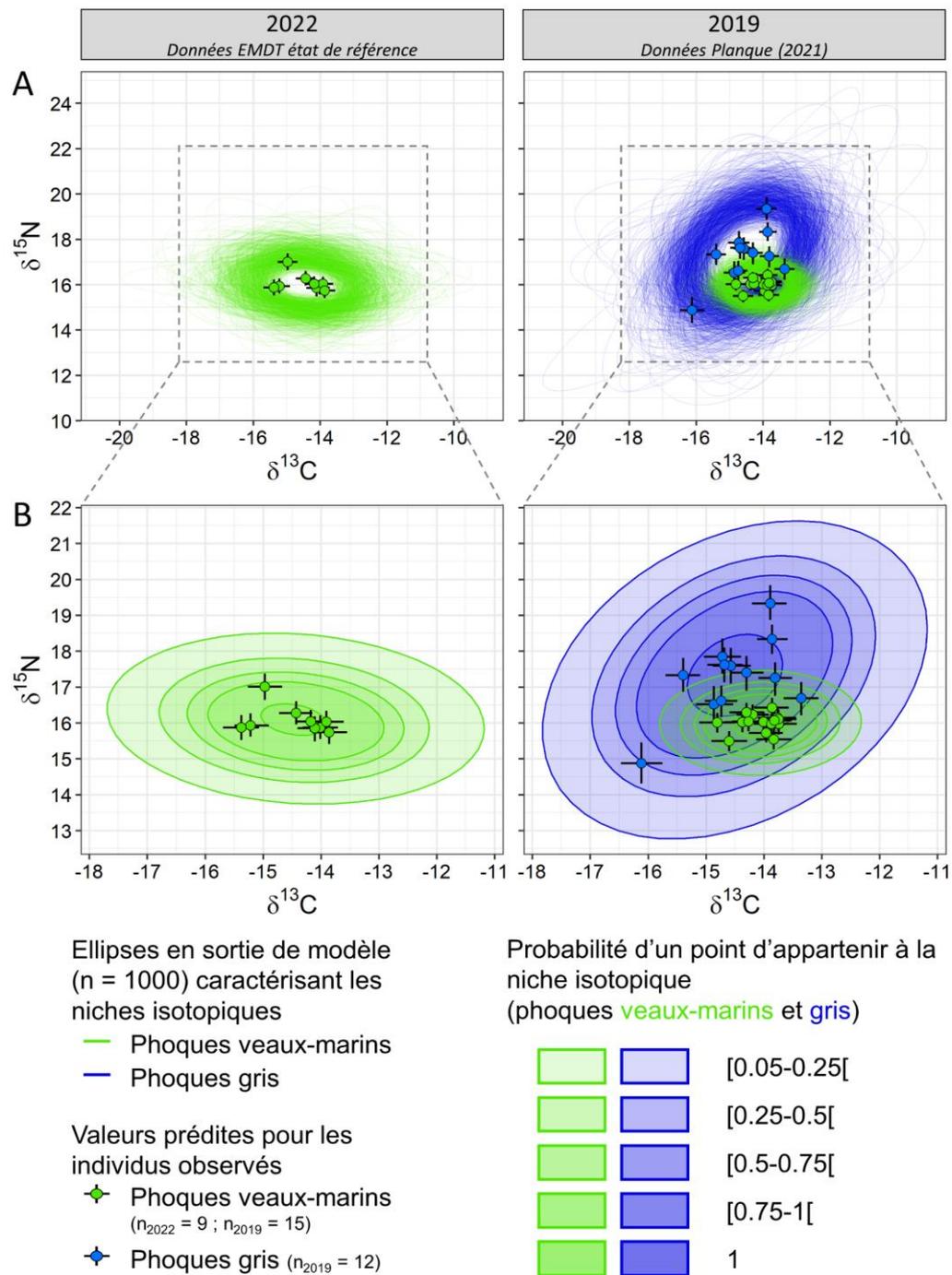


Figure 2.3 : Niches isotopiques de phoques veaux-marins et gris évaluées par modélisation Bayésienne avec les ratios isotopiques $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ mesurés le long d'une vibrisse de 9 phoques veaux-marins capturés en 2022 (à gauche, données EMDT) et de 14 phoques veaux-marins (dont 1 recapturé) et 12 phoques gris capturés en 2019 (à droite, données Planque 2021). **A :** Niches isotopiques caractérisées par les ellipses standard (95% d'intervalle de confiance) pour les phoques veaux-marins (vert) et gris (bleu). **B :** Gammes de probabilité d'un point isotopique $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ d'appartenir aux niches.

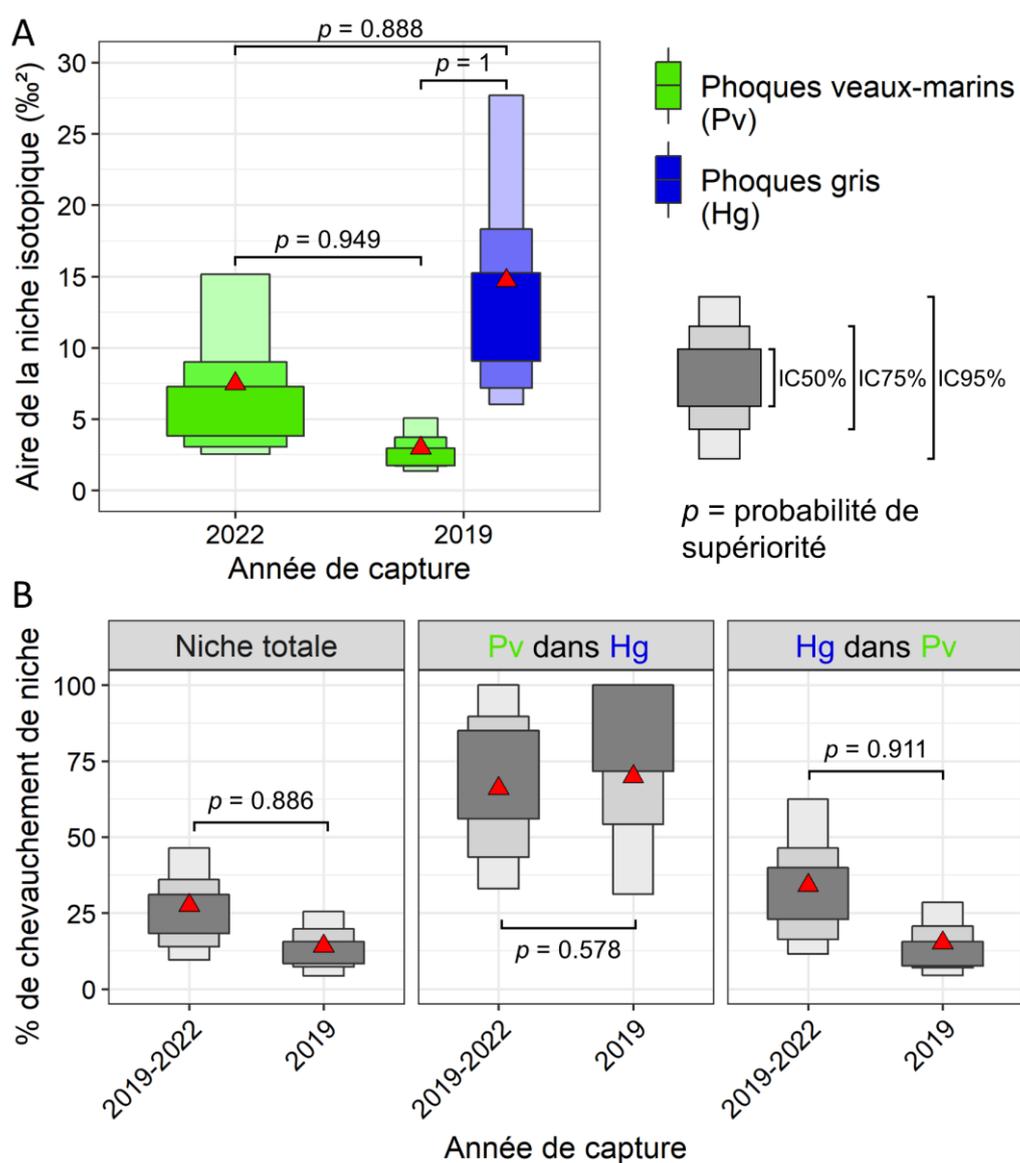


Figure 2.4 : **A** : Aires des niches isotopiques de phoques veaux-marins et gris (en ‰²) évaluées par modélisation Bayésienne avec les valeurs isotopiques de $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ mesurées le long d'une vibrisse des individus capturés en 2022 et en 2019. **B** : Pourcentage de chevauchement d'aire entre la niche isotopique des phoques veaux-marins en 2022 ou en 2019 avec celle des phoques gris en 2019, mesuré pour l'aire totale de niche isotopique couverte par ces espèces (gauche), pour l'aire de la niche des phoques veaux-marins incluse dans celle des phoques gris (milieu), ou l'inverse (droite). Les boîtes sont les intervalles de crédibilité (IC) à 95%, 75% et 50%. Les triangles rouges sont les moyennes des valeurs prédites.

• Chevauchement interspécifique des niches isotopiques

○ Mesure du chevauchement

En l'absence de données sur les phoques gris en 2022, le chevauchement interspécifique entre les niches isotopiques de phoques veaux-marins et de phoques gris (Figure 2.3) a été mesuré selon deux cas de comparaisons : comparaison de la niche isotopique des phoques gris en 2019 **1**) avec celle des phoques veaux-marins en 2022 ('2019-2022' sur la figure) et **2**) avec celle des phoques veaux-marins en 2019 ('2019' sur la figure). Cet exercice vise alors à vérifier si la tendance de chevauchement interspécifique précédemment observée en 2019 est toujours la même en 2022. Trois mesures du chevauchement ont ainsi été obtenues par comparaison (Figure 2.4.B).

Le chevauchement entre les niches isotopiques de phoques veaux-marins et gris représente 14% [4-26%] de l'aire totale de niche couverte par les deux espèces en 2019. Ce chevauchement interspécifique est probablement plus élevé pour la comparaison avec 2022 puisqu'il représente 27% [10-46%] de l'aire totale de niche couverte par les deux espèces (probabilité qu'il soit plus élevé de 0.89). Cette différence s'explique essentiellement par la plus grande étendue de la niche isotopique des phoques veaux-marins en 2022 en $\delta^{13}\text{C}$ que celle des individus de 2019, couvrant alors plus la niche isotopique des phoques gris (2019).

Dans les deux comparaisons interspécifiques (2022 vs 2019 et 2019 vs 2019), la part de la niche des phoques veaux-marins incluse dans celle des phoques gris (67% [34-100%] et 72% [32-100%] respectivement) est plus grande que la part de la niche des phoques gris incluse dans celle des phoques veaux-marins (34% [12-62%] et 15% [5-29%] respectivement). Ces résultats signifient que la plus petite niche isotopique des phoques veaux-marins, qu'elle soit de 2022 ou de 2019, est toujours incluse dans la plus grande niche isotopique des phoques gris de 2019. Ce haut chevauchement de niche isotopique entre phoques veaux-marins et gris nous amène à suggérer, à ce stade, qu'un fort chevauchement alimentaire est probable entre ces espèces.

○ Positionnement des individus sur le chevauchement interspécifique

Les probabilités d'un point isotopique (en $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$) d'appartenir aux niches isotopiques (Figure 2.3.B) ont permis de calculer les probabilités d'être sur l'espace isotopique caractérisant un chevauchement entre les niches isotopiques de phoques veaux-marins (2022 ou 2019) et de phoques gris (2019) (gammes de probabilités en rouge en Figure 2.5). Les valeurs isotopiques prédites pour chaque individu ont également été positionnées sur ce graphique (Figure 2.5).

La quasi-totalité des phoques veaux-marins capturés en 2022 et en 2019 ont des valeurs isotopiques prédites (par le modèle) au cœur des plus hautes probabilités de chevauchement interspécifique des niches isotopiques (Figure 2.5). Quelques différences isotopiques inter-individuelles peuvent être notées avec, par exemple, les individus S26 et S32 en 2022 qui sont caractérisés par des valeurs isotopiques en $\delta^{13}\text{C}$ légèrement plus faibles que celles des autres individus. Pour les phoques gris, seuls quelques individus tels que G19 et G22 (et dans une moindre mesure G16) ont des valeurs isotopiques prédites proches de celles des phoques veaux-marins. Les autres phoques gris ont des valeurs isotopiques prédites dans des gammes de probabilité de chevauchement interspécifique plus faibles, voire quasi-nulles. Ce résultat nous permet de suggérer que le chevauchement isotopique observé entre les deux espèces de phoques serait induit par quelques

phoques gris de la population, qui sont caractérisés par des valeurs isotopiques similaires aux phoques veaux-marins, alors que les autres individus diffèrent.

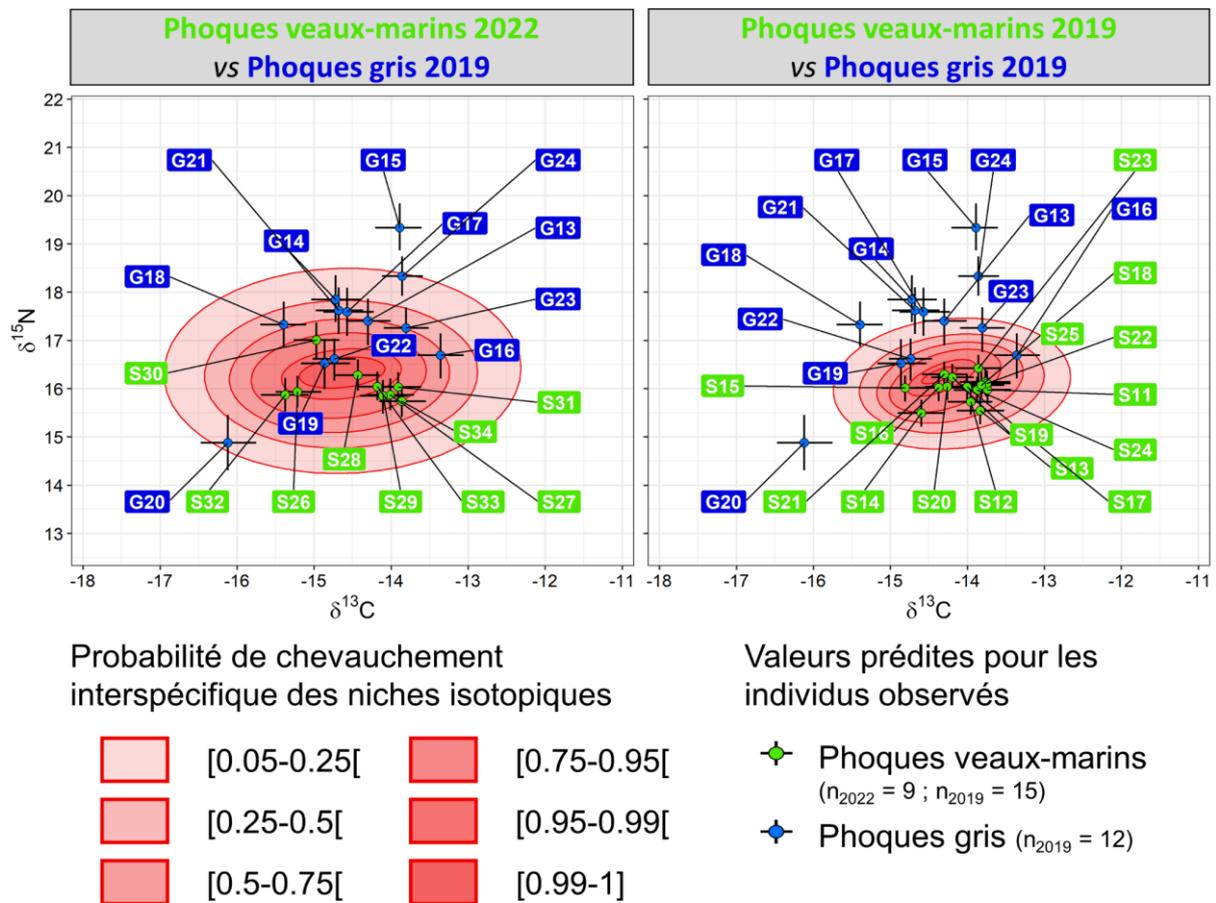


Figure 2.5 : Gammes de probabilité de chevauchement interspécifique entre les niches isotopiques de phoques veaux-marins en 2022 et de phoques gris en 2019, à gauche, et les niches de phoques veaux-marins et gris en 2019, à droite. Les points sont les moyennes des valeurs isotopiques prédites pour chaque individu de phoque veau-marin et gris étudié, et les barres d'erreurs sont les intervalles de crédibilité à 95%. Les noms de chaque individu sont notés afin d'identifier le positionnement isotopique de ces individus par rapport à la zone probable de chevauchement des niches isotopiques.

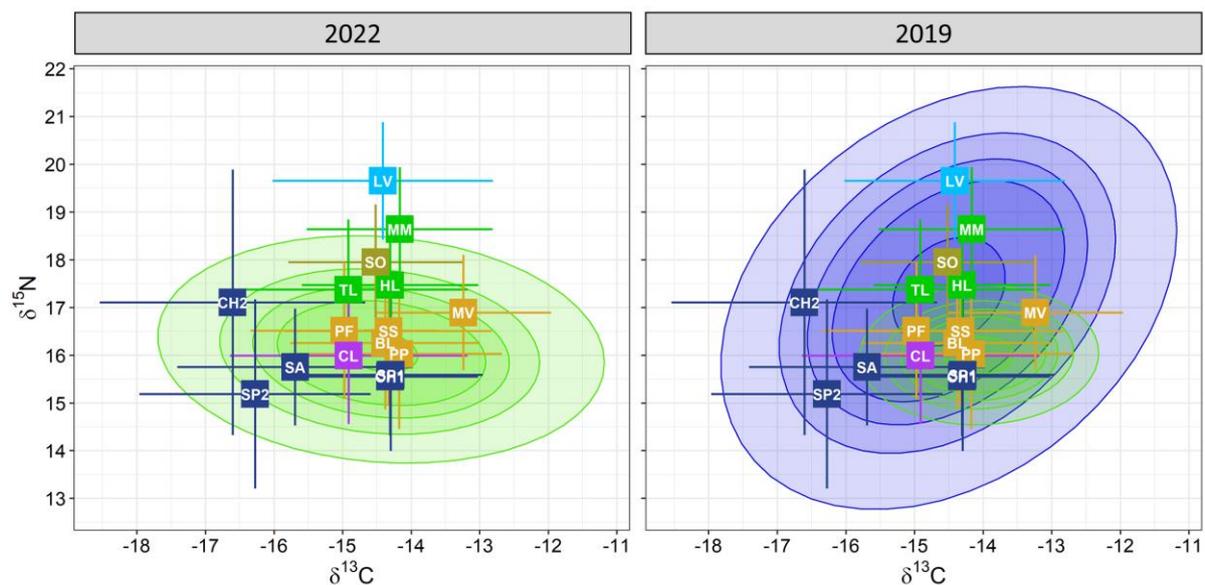
2.4 Positionnement des valeurs isotopiques de proies potentielles par rapport aux niches isotopiques de phoques

Les compositions isotopiques de proies potentielles de phoques, après applications de facteurs d'enrichissements trophiques (TEFs) (facteurs appliqués supposant une consommation), ont été positionnées sur les niches isotopiques de phoques veaux-marins (2022 et 2019) et de phoques gris (2019) (Figure 2.6). Cette représentation graphique permet d'évaluer la contribution de différentes espèces proies à la structure des niches isotopiques, voire d'identifier les espèces qui pourraient induire un chevauchement interspécifique des niches isotopiques. Cet exercice est complémentaire aux analyses de régime alimentaire (Chapitre 1), et permet de préciser l'importance de certaines espèces proies.

Que ce soit pour les phoques veaux-marins en 2022 ou les phoques veaux-marins et gris en 2019, les poissons plats benthiques sélectionnés sont tous au cœur de leurs niches isotopiques (carrés jaunes en Figure 2.6). Seule la sole-perdrix (*Microchirus variegatus*) est au niveau de plus faibles probabilités de niches, pour les phoques veaux-marins. Cette observation s'avère cohérente avec les analyses de régime alimentaire, et révèle bien l'importance probable des poissons plats benthiques pour les deux espèces de phoques en Manche Nord-Est. Ceci appuie également l'importance de ces proies dans le chevauchement interspécifique, puisqu'elles sont localisées précisément où les niches isotopiques se chevauchent.

Les trois espèces de poissons démersaux sélectionnées (carrés verts en Figure 2.6) ont quant à elles des valeurs isotopiques (+TEF) localisées au cœur de la niche isotopique de phoques gris en 2019. Pour les phoques veaux-marins, les merlans (*Merlangius merlangus*) sont en dehors ou en limite des deux niches isotopiques (en 2022 et en 2019), et les tacauds communs (*Trisopterus luscus*) et les lançons communs (*Hyperoplus lanceolatus*) sont au niveau des plus faibles probabilités de la niche de 2019. Cependant, ces deux dernières proies potentielles sont au niveau de plus fortes probabilités, pour la niche de 2022. Ce résultat est cohérent avec la plus forte présence de poissons démersaux dans le régime alimentaire des phoques gris que dans celui des phoques veaux-marins. Il reste cependant probable que les tacauds communs et lançons communs aient pu partiellement contribuer aux niches de phoques veaux-marins en 2022 (probablement plus qu'en 2019).

Certaines proies potentielles ont été principalement observées dans le régime alimentaire de l'une des deux espèces de phoques, mais moins dans l'autre. C'est le cas des encornets pélagiques (*Loligo* spp.), par exemple, essentiellement observés dans les fèces de phoques gris en baie de Somme (occurrence de 4.7%) mais moins fréquemment dans celles de phoques veaux-marins (occurrence de 2.7%) (voir Chapitre 1). Ceci est cohérent avec les niches isotopiques puisque les encornets (*Loligo vulgaris*) ont une valeur isotopique (+TEF) uniquement localisée dans la niche isotopique de phoques gris (et en bordure de celles des phoques veaux-marins en 2022) (carrés bleus cyans en Figure 2.6). Les dragonnets lyres (*Callionymus lyra*), poissons non-plats benthiques, ont, quant à eux, été principalement observés dans le régime alimentaire des phoques veaux-marins (occurrence de 17.8% contre 1.9% pour les phoques gris), alors que leur valeur isotopique (+TEF) est située au centre des niches isotopiques des deux espèces de phoques. Ce dernier exemple illustre bien qu'un chevauchement isotopique ne caractérise pas systématiquement un chevauchement alimentaire complet, puisque deux prédateurs pourraient avoir consommé des proies différentes mais ayant des valeurs isotopiques similaires (voir les précautions d'usage sur les isotopes stables, Phillips et al. 2014).



Source des données isotopiques de proies potentielles : Kopp et al. (2015)

Après application d'un enrichissement TEF de la proie au prédateur : $\delta^{13}\text{C} = +2.4 \pm 1.3\text{‰}$, $\delta^{15}\text{N} = +2.6 \pm 1.2\text{‰}$ (Lerner et al., 2018)

Probabilité d'un point d'appartenir à la niche isotopique (phoques veaux-marins et gris)



Composition isotopique d'espèces de proies potentielles de phoques (moyenne \pm écart-type) après application d'un TEF

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ Poissons plats benthiques <ul style="list-style-type: none"> PP: Plies communes (<i>Pleuronectes platessa</i>) PF: Flets communs (<i>Platichthys flesus</i>) SS: Soles communes (<i>Solea solea</i>) MV: Soles perdrix (<i>Microchirus variegatus</i>) BL: Petites soles jaunes (<i>Buglossidium luteum</i>) ■ Poissons non-plats benthiques <ul style="list-style-type: none"> CL: Dragonnets lyres (<i>Callionymus lyra</i>) ■ Poissons démersaux <ul style="list-style-type: none"> MM: Merlans (<i>Merlangius merlangus</i>) TL: Tacauds communs (<i>Trisopterus luscus</i>) HL: Lançons communs (<i>Hyperoplus lanceolatus</i>) | <ul style="list-style-type: none"> ■ Poissons pélagiques <ul style="list-style-type: none"> CH: Harengs de l'Atlantique (<i>Clupea harengus</i>) <ul style="list-style-type: none"> CH1: 0-20 m de profondeur CH2: 20-38 m de profondeur SP: Sardines (<i>Sardina pilchardus</i>) <ul style="list-style-type: none"> SP1: 0-20 m de profondeur SP2: 20-38 m de profondeur SA: Sprats (<i>Sprattus sprattus</i>) ■ Céphalopodes pélagiques <ul style="list-style-type: none"> LV Encornets (<i>Loligo vulgaris</i>) ■ Céphalopodes démersaux <ul style="list-style-type: none"> SO Seiches communes (<i>Sepia officinalis</i>) |
|---|---|

Figure 2.6 : Positionnement des valeurs isotopiques de proies potentielles en Manche Est par rapport aux niches isotopiques de phoques veaux-marins et gris après application d'un enrichissement trophique théorique. Données isotopiques de proies potentielles issues de Kopp et al. (2015). TEF : Facteur d'Enrichissement Trophique (TEFs appliqués issus de Lerner et al. 2018).

La structure des niches isotopiques pourrait également s'expliquer par la consommation de poissons pélagiques (carrés en bleu foncé en Figure 2.6) : le hareng de l'Atlantique (*Clupea harengus*) (principalement dans le régime alimentaire des phoques gris), la sardine (*Sardina pilchardus*)

(principalement dans le régime alimentaire des phoques veaux-marins), et le sprat (*Sprattus sprattus*). Kopp et al. (2015) – étude dont sont issues les données de proies potentielles – ont identifié de fortes différences isotopiques entre les individus de harengs de l’Atlantique et de sardines en zones peu profondes (0-20 m, CH1 et SP1 respectivement), et ceux en zones plus profondes (20-38 m, CH2 et SP2 respectivement) : les premiers étaient intégrés dans une voie benthique du réseau trophique (valeurs en $\delta^{13}\text{C}$ plus élevées) alors que les seconds étaient intégrés dans une voie pélagique du réseau trophique (valeurs en $\delta^{13}\text{C}$ plus faibles) (Figure 2.6). Les harengs de l’Atlantique et sardines en zones peu profondes (CH1 et SP1) ont des valeurs isotopiques (+TEF) localisées au cœur des deux niches de phoques veaux-marins (2022 et 2019) et de celle de phoques gris (2019), et donc au niveau du chevauchement interspécifique. Ceci est cohérent avec l’observation de ces proies dans le régime alimentaire des deux espèces de phoques – essentiellement harengs de l’Atlantique pour le phoque gris et sardines pour le phoque veau-marin. En revanche, lorsqu’elles sont plus sur une voie pélagique du réseau trophique, ces deux proies (CH2 et SP2) sont au niveau de plus faibles probabilités de la niche isotopique des phoques gris (2019) et de celle des phoques veaux-marins en 2022 uniquement. Ce résultat apparaît cohérent avec le comportement des phoques gris qui peuvent chasser sur des zones plus profondes (cf. rapport des suivis télémétriques de ce même projet), et la haute diversité de leur régime alimentaire (cf. [Chapitre 1](#)). Ces proies pélagiques pourraient aussi avoir structuré la niche isotopique des phoques veaux-marins en 2022, cette dernière étant plus étendue vers des valeurs plus négatives en $\delta^{13}\text{C}$ (plus pélagiques) qu’en 2019. Ainsi, il est probable que la différence de niches isotopiques observées chez les phoques veaux-marins entre 2019 et 2022 puisse reposer sur la consommation de sardines et/ou de harengs de l’Atlantique en voie benthique au cours de l’année d’étude la plus récente (2022) et/ou au cours de la saison intégrée dans la niche (automne-hiver). Ceci est cohérent avec la présence de sardines dans les fèces de phoques veaux-marins collectées en automne/hiver (cf. Figure 1.7).

2.5 Discussion complémentaire sur les niches isotopiques

• Évolutions temporelles et variations saisonnières des niches isotopiques ? Comparaison avec les résultats obtenus en amont (2008-2012) (Planque et al. 2021)

Les précédents travaux d’identification des niches isotopiques de phoques veaux-marins et gris en baie de Somme, réalisés sur la base d’individus capturés en 2008 et 2012 respectivement, nous apportent une référence sur l’écologie de ces espèces il y a plus d’une décennie (Planque et al. 2021). Les résultats obtenus ici s’avèrent être de tendance similaire à ceux de cette étude précédente, ce qui nous permet de renforcer les hypothèses émises et de supposer qu’il n’y a pas eu de modification majeure dans l’écologie trophique des phoques veaux-marins et gris sur ce secteur au cours des dernières années. En effet, la niche isotopique des phoques veaux-marins en 2008, d’aire plus restreinte, est fortement incluse dans la niche isotopique des phoques gris en 2012, d’aire plus importante, comme c’est encore le cas pour 2019 et 2022.

La niche isotopique des phoques veaux-marins apparaît assez similaire, c’est-à-dire d’aire restreinte et de position isotopique similaire, en 2008 (Planque et al. 2021), en 2019 (Planque 2021) et en 2022 (cette étude). Ces fortes similarités pourraient potentiellement s’expliquer par : **1**) de fortes similarités interindividuelles de stratégies alimentaires au sein de la colonie de phoques veaux-marins en baie de Somme, et/ou **2**) l’alimentation sur des proies partageant des valeurs isotopiques en $\delta^{13}\text{C}$

et en $\delta^{15}\text{N}$ semblables, et/ou **3**) une faible variation du régime alimentaire des phoques veaux-marins sur ce secteur au cours des quinze dernières années (Planque 2021). La différence entre les niches isotopiques de phoques veaux-marins en 2008 et en 2019 était très faible (Planque 2021), cependant, bien que de tendances globalement similaires (et fortement chevauchantes), la niche isotopique en 2022 présente une différence avec les deux précédentes : elle est plus variable en $\delta^{13}\text{C}$ et s'étend vers des valeurs plus négatives (*i.e.* vers des valeurs caractéristiques d'une alimentation plus pélagique). Nous ne pouvons donc pas totalement exclure l'hypothèse de l'existence de certaines variabilités interannuelles de niches isotopiques chez les phoques veaux-marins, qui seraient liées à des variations alimentaires. Parmi ces dernières, des variations saisonnières de régime alimentaire peuvent être envisagées. En effet, les études précédentes étaient basées sur des individus capturés majoritairement en octobre (2008 ou 2019), et la niche isotopique associée devait donc essentiellement intégrer la période estivale (cf. croissance des vibrisses). En 2022, les individus ont été capturés en mai, et la niche isotopique devait alors essentiellement intégrer des périodes d'automne/hiver et de début de printemps. La niche isotopique en 2022, plus étendue vers des valeurs isotopiques plus pélagiques ($\delta^{13}\text{C}$ plus négatives) pourrait alors caractériser certaines variations alimentaires saisonnières que nous ne pouvions détecter avec les données plus anciennes (niches isotopiques intégrant surtout l'été jusqu'à 2019, et fèces surtout collectées au printemps-été, avant 2019). Ces résultats pourraient ainsi s'expliquer par exemple par la consommation de poissons pélagiques tels que le hareng de l'Atlantique ou la sardine, en plus grande quantité que précédemment et/ou par rapport à la période hivernale. Ces proies pélagiques étaient observées en plus faible quantité lors des précédentes études (Spitz et al. 2015; Planque et al. 2021), cependant les nouvelles données acquises pour EMDT (régime alimentaire et niches isotopiques) révèlent que ces proies devraient avoir une importance pour les phoques veaux-marins en Manche Nord Est, à l'automne/hiver, bien que non majoritaires (par rapport aux poissons plats benthiques).

Enfin, ce cas d'étude plus récent nous permet aussi de supposer qu'il existerait une plus grande diversité de stratégies alimentaires individuelles chez cette espèce que détectée auparavant.

Pour les phoques gris, une différence d'aire des niches peut être notée entre les deux périodes d'étude (niche de 2019 plus large que celle de 2012), dont les explications possibles pourraient être : **1**) l'échantillonnage d'une plus forte diversité de stratégies individuelles avec un nombre d'individus de la sous-population plus important, et/ou **2**) un élargissement de la niche isotopique entre ces deux périodes qui pourrait être liée à la forte augmentation du nombre d'individus entre 2012 et 2019 (cf. rapport du suivi de l'abondance des phoques pour le projet EMDT), induisant alors plus de compétition intraspécifique dans l'accès à la ressource et donc une augmentation de la diversité alimentaire (Planque 2021). La première hypothèse reste cependant la moins probable, sachant que l'arrivée de phoques gris en Manche Est s'explique par l'émigration d'individus venus de la mer du Nord (Vincent et al. 2017), probablement pour éviter une compétition intraspécifique (voire interspécifique) au cœur de leur répartition européenne.

• Des résultats complémentaires aux analyses de régime alimentaire

Les résultats de niches isotopiques obtenus dans cette étude sont complémentaires aux résultats du régime alimentaire des phoques veaux-marins et gris (analyse du contenu de fèces collectées en baie de Somme ; [Chapitre 1](#)), et permettent ainsi de renforcer nos connaissances sur leur écologie trophique.

Les analyses de niches isotopiques suggèrent ici l'existence d'un fort chevauchement trophique entre les deux espèces de phoques, sur le secteur de la baie de Somme. L'importance des poissons plats benthiques dans ce chevauchement trophique interspécifique est ici aussi renforcée par ces résultats. En effet, les espèces de poissons plats benthiques, qui constituent la majorité du régime alimentaire des deux espèces de phoques (cf. [Chapitre 1](#)), ont des valeurs isotopiques positionnées au cœur des niches isotopiques de phoques (après enrichissement). Ces deux résultats complémentaires permettent ainsi de renforcer les hypothèses faites précédemment sur l'importance des poissons plats benthiques. Il en est de même pour d'autres espèces de proies telles que le dragonnet lyre (poissons non-plats benthiques) qui est à la fois détecté dans le régime alimentaire et dont les signatures isotopiques sont localisées au cœur des niches. Cependant, un chevauchement isotopique ne caractérise pas systématiquement un chevauchement alimentaire complet puisque des proies différentes peuvent avoir des valeurs isotopiques similaires (voir la revue de Phillips et al. 2014 qui indique les précautions d'usage sur les isotopes stables). Il est alors impossible de mesurer le poids de proies aux valeurs isotopiques similaires dans l'écologie trophique des phoques, si elles sont toutes deux au cœur de la niche isotopique. A contrario, les analyses de régime alimentaire (contenus de fèces) le permettent. Ainsi, par exemple, l'analyse des contenus de fèces permet de détecter la plus forte importance des plies communes / flets communs (poissons plats benthiques) dans le régime alimentaire des phoques par rapport aux dragonnets lyres (poissons non-plats benthiques), alors que ces proies sont toutes au cœur des niches isotopiques de phoques.

La niche isotopique des phoques gris (en 2019) est plus grande que celle des phoques veaux-marins (que ça soit en 2019 ou en 2022), ce qui suggère une plus grande diversité alimentaire pour cette première espèce. Cependant, les contenus de régime alimentaires n'ont pas permis de détecter une différence nette de diversité spécifique entre les régimes alimentaires des deux espèces de phoques (voir section 1.4 du [Chapitre 1](#)). Au vu des résultats de niches isotopiques, nous pourrions ici supposer que le régime alimentaire des phoques gris inclut une plus grande proportion de proies à des niveaux trophiques supérieurs aux poissons plats tels que des tacauds ou merlans (poissons démersaux), des encornets pélagiques ou des céphalopodes démersaux (espèces de seiches). Cependant, ceci n'est pas vérifié dans les résultats de l'analyse du régime alimentaire. Cette différence pourrait peut-être s'expliquer par une intégration temporelle différente des deux méthodes utilisées : les fèces caractérisent des événements d'alimentation quelques heures à quelques jours avant la collecte alors que les valeurs isotopiques mesurées le long des vibrisses caractérisent des tendances alimentaires des individus sur plusieurs mois (cf. croissance des vibrisses). Les phoques gris suivis depuis la baie de Somme par télémétrie (suivis par balises GPS/GSM) se déplacent globalement à une plus large échelle spatiale (échelle de la Manche Est / mer du Nord) que les phoques veaux-marins (à proximité des baies de Somme, d'Authie et de Canche). Il est alors très probable qu'une partie de la niche isotopique des phoques gris puisse en partie caractériser des événements d'alimentation qui ont eu lieu plus loin que la Manche Nord-Est.

L'hypothèse d'une variation saisonnière du régime alimentaire des phoques, émise avec les résultats d'analyse des contenus de fèces ([Chapitre 1](#)), pourrait être renforcée ici par les résultats de niches isotopiques. Comme évoqué précédemment, la niche isotopique des phoques veaux-marins en 2022, plus étendue, pourrait caractériser une plus forte consommation de proies pélagiques (cf. plus étendue vers des valeurs $\delta^{13}\text{C}$ plus faibles) que la niche isotopique de 2019, plus restreinte à des valeurs benthiques ($\delta^{13}\text{C}$ plus élevé). Or, la niche de 2022 inclurait probablement mieux les périodes d'automne/hiver, et celle de 2019 la période estivale (cf. période de collecte des vibrisses et leur

schéma de croissance). Le résultat obtenu ici par analyses isotopiques apparaît donc cohérent avec les résultats de régime alimentaire des phoques veaux-marins qui suggèrent une plus grande consommation de poissons pélagiques – essentiellement des sardines – à l’automne/hiver qu’au printemps/été. Cette hypothèse apparaît donc d’autant plus probable, au regard de l’ensemble des résultats de cette étude.

• **Quel état de référence de niches isotopiques dans le contexte de la prochaine installation du parc d’éoliennes offshore de Dieppe – Le Tréport ?**

L’analyse de la niche isotopique des phoques veaux-marins et gris en baie de Somme apporte ici des informations qualitatives, quantitatives et complémentaires aux analyses de régime alimentaire, dans le contexte d’évaluation d’un état de référence écologique avant la construction future du parc d’éoliennes offshore de Dieppe – Le Tréport. L’ensemble des niches isotopiques évaluées ici, avec les données acquises pour le projet (2022) ou pour une étude précédente (données de 2019 ; Planque 2021), sont de bons indicateurs de l’état actuel de l’écologie trophique des populations de phoques sur le secteur d’étude (à proximité du futur parc d’éoliennes en mer). Les niches isotopiques sont aussi un très bon outil pour quantifier de potentielles variations au cours du temps (*e.g.* par comparaison des tailles de niches, par mesure du chevauchement). Leur évaluation future, entre autres pendant la construction du parc d’éoliennes en mer et après son installation, permettront de détecter tout potentiel changement d’origine trophique. Si la ressource en poissons plats benthiques – principales proies ciblées ici par les deux espèces de phoques – devenait limitante à l’avenir, ponctuellement ou sur le moyen terme, les niches trophiques des phoques veaux-marins et/ou des phoques gris pourrait s’élargir ou changer de position. Ceci pourrait se traduire par exemple par une diversification du régime alimentaire des phoques (poissons démersaux, pélagiques ou céphalopodes), par un élargissement de leurs zones de chasse, et/ou par une augmentation de l’effort de chasse en mer. Une attention toute particulière pourrait être donnée à la niche isotopique des phoques veaux-marins, en parallèle du suivi de leur régime alimentaire, puisque ces derniers ont une niche trophique spatialement très restreinte et côtière à proximité du site d’étude, et fortement dépendante des nurseries de poissons plats. Comme évoqué précédemment, en discussion du [Chapitre 1](#) (section 1.7), une telle modification écologique pourrait avoir différentes origines possibles, dont certaines pourraient être synergiques (*e.g.* compétition trophique intraspécifique et/ou interspécifique, Planque et al. 2021 ; réorganisation des communautés de proies, McLean et al. 2019 ; pressions anthropiques sur les habitats des proies dont hypothétiquement lors de la phase de construction des éoliennes en mer), et il sera alors important de considérer tous ces paramètres dans l’interprétation des futurs résultats.

Remerciements

Merci à Gaël Guillou de la Plateforme de Spectrométrie Isotopique (IRMS) du laboratoire Littoral Environnement et Sociétés (LIENSs, UMR 7266 CNRS/La Rochelle Université) pour la réalisation des analyses de rapports d'isotopes stables en laboratoire.

Merci à Vanessa Becquet pour l'accès à la plateforme Biologie Moléculaire du laboratoire LIENSs, et pour l'aide apportée sur les analyses ADN sur les fèces de phoques (pour assigner l'espèce productrice).

Merci aux partenaires qui ont financé l'analyse du contenu de fèces de phoques de 2002 à 2015 : la Région Picardie, le Conseil général de la Somme, et La Rochelle Université. Les analyses de fèces collectées plus récemment (2015 à 2018), ainsi qu'une partie la valorisation et l'analyse des données sur les populations de phoques et leur écologie alimentaire, ont été en partie financées à travers le projet « Eco-Phoques » (2015-2018), financé par la Région Hauts-de-France et le Parc naturel marin des estuaires picards et de la mer d'Opale (PNM EPMO, Office Français de la Biodiversité).

Merci à l'ensemble des personnes qui se sont investies dans la collecte des fèces de phoques en baies de Somme, d'Authie et de Canche, avant le début du projet EMDT (de 2002 à 2021) et pendant l'état de référence EMDT (2022), et qui sont issus de différentes structures : Picardie Nature, ADN, GDEAM-62 et Parc Naturel Marin des estuaires picards et de la mer d'Opale.

Merci aux nombreux stagiaires et techniciens de laboratoire, à l'Observatoire Pelagis et au CEBC, qui, depuis plusieurs années, ont permis d'acquérir une partie des données de régime alimentaire et d'isotopes stables présentés dans ce rapport intermédiaire : Magali Dumont, Marine Beudet, Morgane Dubois, Marta Tykarska, Andrea Kabumbu Bakaji, Emma Lebrault, Alice Blanchard, Alice Riti, Katie Besson, Zoé Provost, Bruno Dubief, Marie-Hélène Picard, et Lucien You.

Merci à Matthieu Authier (Observatoire Pelagis) pour son aide dans le développement du modèle Bayésien permettant d'analyser les données d'isotopes stables (évaluation des niches isotopiques).

Merci à Bruno Mansoux et Amandine Hénon (MNHN) pour leur appui dans publication des données d'isotopes stables dans data.InDoRES.

Disponibilité des données

Les données de valeurs d'isotopes stables du carbone ($\delta^{13}\text{C}$) et de l'azote ($\delta^{15}\text{N}$) mesurées dans les vibrisses des phoques veaux-marins et gris capturés en baie de Somme en 2019 (suivis GPS/GSM) et en 2022 (suivis DTags) sont disponibles en libre accès sur data.InDoRES (Planque et al. 2023, <https://doi.org/10.48579/PRO/KWCXOA>). Les résultats bruts d'estimation du régime alimentaire (par analyse des pièces dures diagnostiques) sont disponibles dans ce rapport (voir les Tableaux Tableau 1.1, Tableau 1.2, Tableau 1.3, Tableau 1.4, Tableau 1.5 et Tableau 1.6).

Planque Y, Vincent C, Guillou G, Caurant F (2023) $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ stable isotope compositions of the whisker of 24 harbour seals (*Phoca vitulina*) and 12 grey seals (*Halichoerus grypus*) captured in the baie de Somme, France, in 2019 and in 2022, for telemetry tracking. *Données publiées* dans data.InDoRES. <https://doi.org/10.48579/PRO/KWCXOA>

Références bibliographiques

- Auber A, Gohin F, Goascoz N, Schlaich I (2017) Decline of cold-water fish species in the Bay of Somme (English Channel, France) in response to ocean warming. *Estuar Coast Shelf Sci* 189:189-202. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.03.010>
- Beltran RS, Sadou MC, Condit R, Peterson SH, Reichmuth C, Costa DP (2015) Fine-scale whisker growth measurements can reveal temporal foraging patterns from stable isotope signatures. *Mar Ecol Prog Ser* 523:243-253. <https://doi.org/10.3354/meps11176>
- Bowen WD (2000) Reconstruction of pinniped diets: Accounting for complete digestion of otoliths and cephalopod beaks. *Can J Fish Aquat Sci* 57:898-905. <https://doi.org/10.1139/f00-032>
- Bowen WD, Iverson SJ (2013) Methods of estimating marine mammal diets: A review of validation experiments and sources of bias and uncertainty. *Mar Mammal Sci* 29:719-754. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2012.00604.x>
- Clarke MR (1986) A handbook for the identification of cephalopod beaks. Clarendon Press.
- Crawford K, McDonald RA, Bearhop S (2008) Applications of stable isotope techniques to the ecology of mammals. *Mamm Rev* 38:87-107. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2907.2008.00120.x>
- Deagle BE, Tollit DJ, Jarman SN, Hindell MA, Trites AW, Gales NJ (2005) Molecular scatology as a tool to study diet: analysis of prey DNA in scats from captive Steller sea lions. *Mol Ecol* 14:1831-1842. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2005.02531.x>
- DeNiro MJ, Epstein S (1978) Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochim Cosmochim Acta* 42:495-506. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(78\)90199-0](https://doi.org/10.1016/0016-7037(78)90199-0)
- Fry B (2006) *Stable Isotope Ecology*. Springer, New York, USA. <https://doi.org/10.1007/0-387-33745-8>
- Greaves DK, Hammill MO, Eddington JD, Pettipas D, Schreer JF (2004) Growth rate and shedding of vibrissae in the gray seal, *Halichoerus grypus*: a cautionary note for stable isotope diet analysis. *Mar Mammal Sci* 20:296-304. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2004.tb01158.x>
- Grellier K, Hammond PS (2006) Robust digestion and passage rate estimates for hard parts of grey seal (*Halichoerus grypus*) prey. *Can J Fish Aquat Sci* 63:1982-1998. <https://doi.org/10.1139/F06-092>
- Härkönen T (1986) Guide to the otoliths of the bony fishes of the Northeast Atlantic. 256 pp. Danbiu ApS. Biological Consultants, Hellerup, Denmark.
- Hill T (2003) Using ecological diversity measures with bacterial communities. *FEMS Microbiol Ecol* 43:1-11. [https://doi.org/10.1016/S0168-6496\(02\)00449-X](https://doi.org/10.1016/S0168-6496(02)00449-X)
- Hirons AC, Schell DM, St. Aubin DJ (2001) Growth rates of vibrissae of harbor seals (*Phoca vitulina*) and Steller sea lions (*Eumetopias jubatus*). *Can J Zool* 79:1053-1061. <https://doi.org/10.1139/z01-055>
- Hobson KA, Schell DM, Renouf D, Noseworthy E (1996) Stable carbon and nitrogen isotopic fractionation between diet and tissues of captive seals: implications for dietary reconstructions involving marine mammals. *Can J Fish Aquat Sci* 53:528-533. <https://doi.org/10.1139/f95-209>
- Jackson AL, Inger R, Parnell AC, Bearhop S (2011) Comparing isotopic niche widths among and within communities: SIBER - Stable Isotope Bayesian Ellipses in R. *J Anim Ecol* 80:595-602. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2011.01806.x>

- Jeanniard-du-Dot T, Thomas A, Chérel Y, Trites A, Guinet C (2017) Combining hard-part and DNA analyses of scats with biologging and stable isotopes can reveal different diet compositions and feeding strategies within a fur seal population. *Mar Ecol Prog Ser* 584:1-16. <https://doi.org/10.3354/meps12381>
- Kopp D, Lefebvre S, Cachera M, Villanueva MC, Ernande B (2015) Reorganization of a marine trophic network along an inshore–offshore gradient due to stronger pelagic–benthic coupling in coastal areas. *Prog Oceanogr* 130:157-171. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2014.11.001>
- Lerner JE, Ono K, Hernandez KM, Runstadler JA, Puryear WB, Polito MJ (2018) Evaluating the use of stable isotope analysis to infer the feeding ecology of a growing US gray seal (*Halichoerus grypus*) population. *PLoS One* 13:e0192241. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192241>
- Lübcker N, Condit R, Beltran RS, De Bruyn PJN, Marthán BN (2016) Vibrissal growth parameters of southern elephant seals *Mirounga leonina*: Obtaining fine-scale, time-based stable isotope data. *Mar Ecol Prog Ser* 559:243-255. <https://doi.org/10.3354/meps11899>
- Lundström K, Hjerne O, Alexandersson K, Karlsson O (2007) Estimation of grey seal (*Halichoerus grypus*) diet composition in the Baltic Sea. *NAMMCO Sci Publ* 6:177-196. <https://doi.org/10.7557/3.2733>
- McHuron EA, Holser RR, Costa DP (2019) What's in a whisker? Disentangling ecological and physiological isotopic signals. *Rapid Commun Mass Spectrom* 33:57-66. <https://doi.org/10.1002/rcm.8312>
- McLean MJ, Mouillot D, Goascoz N, Schlaich I, Auber A (2019) Functional reorganization of marine fish nurseries under climate warming. *Glob Chang Biol* 25:660-674. <https://doi.org/10.1111/gcb.14501>
- Phillips DL, Inger R, Bearhop S, Jackson AL, Moore JW, Parnell AC, Semmens BX, Ward EJ (2014) Best practices for use of stable isotope mixing models in food-web studies. <https://doi.org/10.1139/cjz-2014-0127>
- Phillips EM, Harvey JT (2009) A captive feeding study with the Pacific harbor seal (*Phoca vitulina richardii*): Implications for scat analysis. *Mar Mammal Sci* 25:373-391. <https://doi.org/10.1111/j.1748-7692.2008.00265.x>
- Pianka ER (1974) Niche overlap and diffuse competition. *Proc Natl Acad Sci U S A* 71:2141-2145. <https://doi.org/https://doi.org/10.1073/pnas.71.5.2141>
- Pierce GJ, Boyle PR (1991) A Review of Methods for Diet Analysis in Piscivorous Marine Mammals. *Oceanogr Mar Biol An Annu Rev* 29:409-486.
- Planque Y, Huon M, Caurant F, Pinaud D, Vincent C (2020) Comparing the horizontal and vertical approaches used to identify foraging areas of two diving marine predators. *Mar Biol* 167:25. <https://doi.org/10.1007/s00227-019-3636-8>
- Planque Y, Spitz J, Authier M, Guillou G, Vincent C, Caurant F (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). *Ecol Evol* 11:10004-10025. <https://doi.org/10.1002/ece3.7739>

- Planque Y (2021) Écologie trophique de deux espèces sympatriques de phoques en périphérie de leur aire de répartition. La Rochelle Université (France). *Thèse de doctorat*. 368 pp. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-03720984/>
<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.35986.12480>
- Planque Y, Spitz J (2022) Apport des approches moléculaires dans l'étude du régime alimentaire de phoques dans des restes alimentaires (fèces) : état de l'art et présentation du protocole. *Rapport intermédiaire pour le GIS Eolien en Mer*. La Rochelle, France. 80 pp. *Rapport en français*.
- Planque Y, Vincent C, Guillou G, Caurant F (2023) $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ stable isotope compositions of the whisker of 24 harbour seals (*Phoca vitulina*) and 12 grey seals (*Halichoerus grypus*) captured in the baie de Somme, France, in 2019 and in 2022, for telemetry tracking. *Données publiées dans data.InDoRES*. <https://doi.org/10.48579/PRO/KWCXOA>
- Post DM (2002) Using stable isotopes to estimate trophic position: Models, methods, and assumptions. *Ecology* 83:703-718. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[0703:USITET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[0703:USITET]2.0.CO;2)
- Purcell M, Mackey G, LaHood E, Huber H, Park L (2004) Molecular methods for the genetic identification of salmonid prey from Pacific harbor seal (*Phoca vitulina richardsi*) scat. *Fish Bull* 102:213-220. <http://hdl.handle.net/1834/30897>
- Reynolds JC, Aebischer NJ (1991) Comparison and quantification of carnivore diet by faecal analysis: a critique, with recommendations, based on a study of the Fox *Vulpes vulpes*. *Mamm Rev* 21:97-122. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2907.1991.tb00113.x>
- Ridoux V, Spitz J, Vincent C, Walton M j. (2007) Grey seal diet at the southern limit of its European distribution: combining dietary analyses and fatty acid profiles. *J Mar Biol Assoc United Kingdom* 87:255-264. <https://doi.org/10.1017/S002531540705463X>
- Riou P (2001) Relative contributions of different sole and plaice nurseries to the adult population in the Eastern Channel: application of a combined method using generalized linear models and a geographic information system. *Aquat Living Resour* 14:125-135. [https://doi.org/10.1016/S0990-7440\(01\)01110-X](https://doi.org/10.1016/S0990-7440(01)01110-X)
- Rochette S, Rivot E, Morin J, Mackinson S, Riou P, Le Pape O (2010) Effect of nursery habitat degradation on flatfish population: Application to *Solea solea* in the Eastern Channel (Western Europe). *J Sea Res* 64:34-44. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2009.08.003>
- Rogers TL, Fung J, Slip D, Steindler L, O'Connell TC (2016) Calibrating the time span of longitudinal biomarkers in vertebrate tissues when fine-scale growth records are unavailable. *Ecosphere* 7:e01449. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ecs2.1449>
- Smith LA, Link JS, Cadrin SX, Palka DL (2015) Consumption by marine mammals on the Northeast U.S. continental shelf. *Ecol Appl* 25:373-389. <https://doi.org/10.1890/13-1656.1>
- Spitz J, Mariotti L, Ridoux V, Caillot E, Elder JF (2010) The diet of harbour seals (*Phoca vitulina*) at the southern limit of its European distribution (Normandy, France). *NAMMCO Sci Publ* 8:313-328. <https://doi.org/10.7557/3.2696>
- Spitz J, Dupuis L, Becquet V, Dubief B, Trites AW (2015) Diet of the harbour seal *Phoca vitulina*: implication for the flatfish nursery in the Bay of Somme (English Channel, France). *Aquat Living Resour* 28:11-19. <https://doi.org/10.1051/alr/2015001>

- Spitz J, Ridoux V, Trites AW, Laran S, Authier M (2018) Prey consumption by cetaceans reveals the importance of energy-rich food webs in the Bay of Biscay. *Prog Oceanogr* 166:148-158. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2017.09.013>
- Tollit DU, Steward MJ, Thompson PM, Pierce GJ, Santos MB, Hughes S (1997) Species and size differences in the digestion of otoliths and beaks: Implications for estimates of pinniped diet composition. *Can J Fish Aquat Sci* 54:105-119. <https://doi.org/10.1139/f96-264>
- Trites AW, Joy R (2005) Dietary Analysis from Fecal Samples: How Many Scats are Enough? *J Mammal* 86:704-712. [https://doi.org/10.1644/1545-1542\(2005\)086\[0704:DAFFSH\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1644/1545-1542(2005)086[0704:DAFFSH]2.0.CO;2)
- Tuset VM, Lombarte A, Assis CA (2008) Otolith atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic. *Sci Mar* 72:7-198. <https://doi.org/10.3989/scimar.2008.72s17>
- Vincent C, Huon M, Caurant F, Dabin W, Deniau A, Dixneuf S, Dupuis L, Elder J-F, Fremau M-H, Hassani S, Hemon A, Karpouzopoulos J, Lefeuvre C, McConnell BJ, Moss SEW, Provost P, Spitz J, Turpin Y, Ridoux V (2017) Grey and harbour seals in France: Distribution at sea, connectivity and trends in abundance at haulout sites. *Deep Sea Res Part II Top Stud Oceanogr* 141:294-305. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2017.04.004>
- Vincent C, Planque Y, Brévarc C, Leviez F, Karpouzopoulos J, Monnet S, Dupuis L, Fremau M-H, Ruellet T, Decomble M, Caurant F, Spitz J (2018) Eco-Phoques : Bases scientifiques pour une meilleure connaissance des phoques et de leurs interactions avec les activités humaines en Manche Nord-Est. 127 pp. *Rapport final de projet pour la région Hauts-de-France et l'AFB*. France. *Rapport en français* : [https://www.researchgate.net/publication/353523831_ECO-PHOQUES - Bases scientifiques pour une meilleure connaissance des phoques et de leurs interactions avec les activités humaines en Manche Nord-Est](https://www.researchgate.net/publication/353523831_ECO-PHOQUES_-_Bases_scientifiques_pour_une_meilleure_connaissance_des_phoques_et_de_leurs_interactions_avec_les_activites_humaines_en_Manche_Nord-Est)
- Zhao L, Schell DM (2004) Stable isotope ratios in harbor seal *Phoca vitulina* vibrissae: effects of growth patterns on ecological records. *Mar Ecol Prog Ser* 281:267-273. <https://doi.org/10.3354/meps281267>