



EXAMEN SCIENTIFIQUE DES RELEVÉS SUR LE NARVAL (*MONODON MONOCEROS*) MENÉS PAR GOLDER ET WSP DE 2019 À 2023 AUX FINS D'UTILISATION DANS LES ÉVALUATIONS DES STOCKS DE POISSONS

CONTEXTE

Le projet de Baffinland (BIM) à Mary River est une mine de fer à ciel ouvert située au nord de l'île de Baffin, au Nunavut. Conformément aux conditions du certificat de projet, Golder Associates Ltd. (ci-après « Golder ») et WSP Canada Inc. (ci-après « WSP ») ont mené des relevés annuels sur le narval (*Monodon monoceros*) dans le détroit d'Eclipse et le bras Admiralty en août 2019, 2020, 2021 (Golder Associates Ltd. 2020a, 2021, 2022), et 2022 et 2023 (WSP Canada Inc. 2023, 2024).

Le Secteur des sciences de Pêches et Océans Canada (MPO) est responsable de fournir un avis sur la chasse durable des stocks de narval. Les relevés du MPO et la modélisation subséquente des populations reposent sur la réalisation de relevés sur les regroupements de narvals lorsqu'ils se trouvent dans leur aire d'estivage. Une série chronologique d'estimations de l'abondance fournit une modélisation robuste de la dynamique des populations pour l'évaluation des stocks. Par conséquent, le présent document passe en revue les relevés menés par Golder et WSP ainsi que les estimations de l'abondance qui en résultent aux fins d'utilisation dans les futurs modèles de dynamique des populations.

Golder et WSP ont effectué des relevés pendant la saison des eaux libres et la saison intermédiaire (avant la débâcle au printemps et après la formation de glace à l'automne); le présent examen se concentre uniquement sur les relevés effectués pendant la saison des eaux libres (en août). Les relevés du mois d'août effectués par Golder et WSP sont décrits brièvement et examinés ici. On présente également des recommandations sur les estimations définitives de l'abondance qui pourraient être intégrées aux futurs modèles de dynamique des populations.

La présente réponse des Sciences découle de l'examen par les pairs régional du 16 octobre 2024 sur l'examen scientifique des relevés du narval (*Monodon Monoceros*) effectués par Golder-WSP en 2019-2023 aux fins d'utilisation dans les évaluations des stocks de poissons du MPO.

ANALYSE ET RÉPONSE

Méthodes de relevé de Golder et de WSP

Conception du relevé

La conception des relevés dans le détroit d'Eclipse comprend des transects linéaires systématiques avec des lignes de relevé séparées par 8,6 km dans les strates de l'est du détroit d'Eclipse et du bras Pond, par 4,3 km dans la strate de l'ouest du détroit d'Eclipse, par 10 km dans la strate du bras Navy Board et par 4 km dans la strate du nord du bras Milne (voir la

Figure 1). Les strates du détroit de Tremblay et du sud du bras Milne, qui abritent généralement de grands regroupements de narvals, ont fait l'objet de relevés photographiques complets. Des relevés de reconnaissance ont également été effectués dans les fjords et les baies au large du détroit d'Eclipse.

Les relevés dans le bras Admiralty ont été divisés en trois strates (nord du bras Admiralty, sud du bras Admiralty, fjords du bras Admiralty; Figure 1). On a eu recours à des transects systématiques espacés par 8,5 km dans les strates nord et sud du bras Admiralty, et des relevés de reconnaissance ont été effectués dans ses fjords.

Les relevés ont été répétés autant de fois que le temps le permettait. Toutefois, l'analyse des données n'a été effectuée que pour les relevés ayant une couverture complète et des conditions de relevé adéquates.

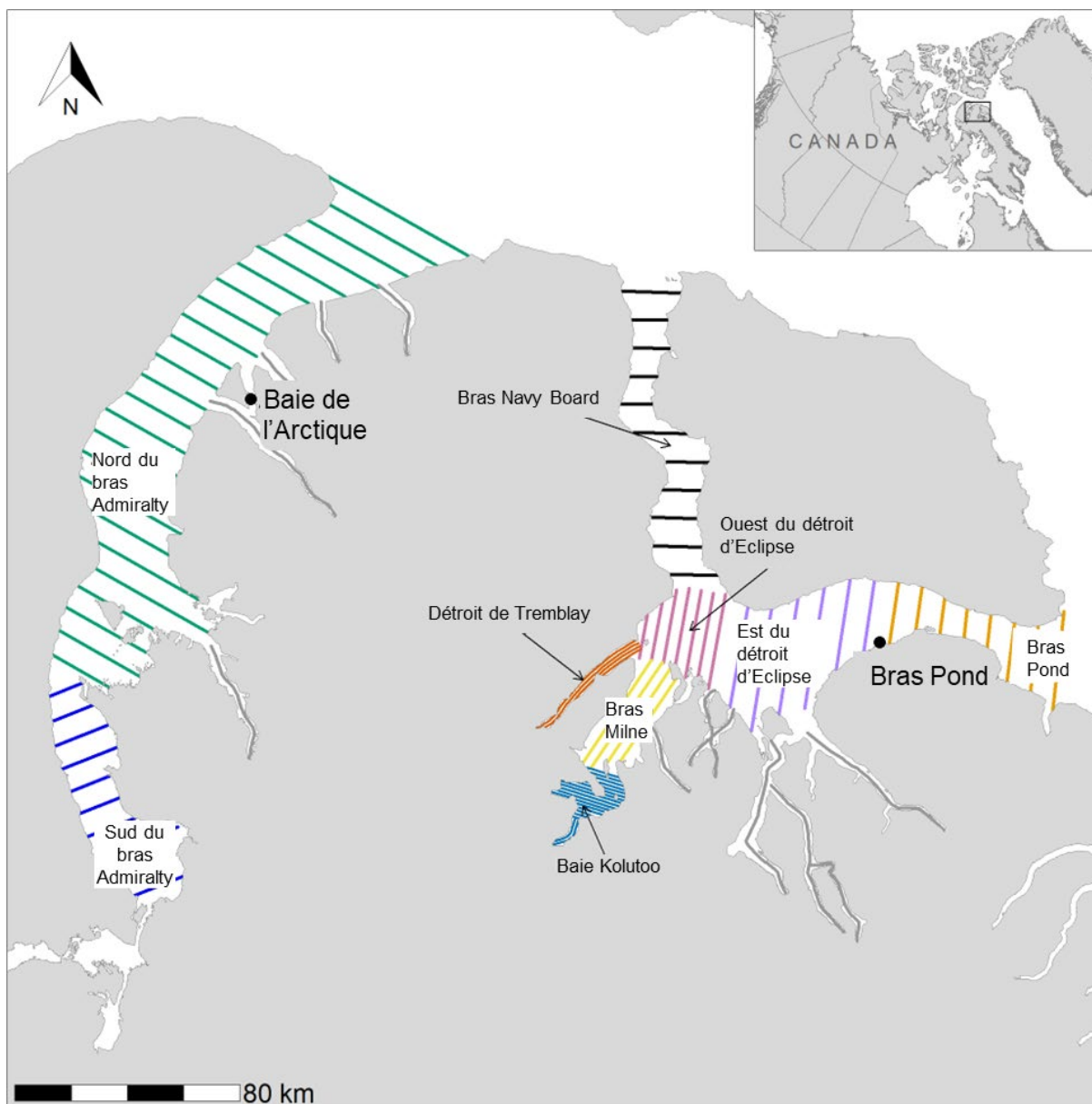


Figure 1. Carte de la zone de relevé et transects prévus (figure adaptée de Golder Associates Ltd. [2021], mais utilisée dans tous les relevés menés par Golder et WSP de 2019 à 2023).

Relevés visuels

Des méthodes élaborées et utilisées par le MPO ont été employées dans le cadre des relevés (p. ex., Doniol-Valcroze *et al.* 2015). Tous les relevés ont été effectués à bord d'avions Twin Otter de De Havilland (DH-6) à une altitude de 305 m (1 000 pi) et à une vitesse sol de 185 km/h (100 kn). Les relevés ont été conçus comme une expérience à deux plateformes comprenant deux observateurs principaux et deux observateurs secondaires aux coupoles d'observation. Les deux observateurs placés d'un même côté de l'aéronef ont été isolés sur les plans visuel et acoustique. Tous les observateurs ont consigné les groupes de narvals, la taille des groupes et l'angle de déclinaison perpendiculaire (pour calculer la distance perpendiculaire à partir du transect). Les observateurs primaires ont également consigné les conditions environnementales, y compris la concentration de glace, l'état de la mer, le brouillard et l'éblouissement. Ces conditions environnementales ont été enregistrées au début et à la fin de chaque transect. Des photographies ont été prises pendant le relevé visuel pour compléter les observations visuelles en ce qui concerne l'inclinaison mesurée par clinomètre et la taille des groupes.

Si de grands regroupements étaient repérés pendant les transects visuels (p. ex., plus de 50 narvals, ou lorsque les observateurs ont indiqué qu'ils ne pouvaient pas dénombrer avec précision les narvals), l'équipe du relevé mettait fin aux méthodes de relevé visuel et lançait un protocole de relevé photographique (voir ci-dessous pour plus de détails sur les méthodes photographiques) portant sur l'ensemble du regroupement de narvals et à l'aide de grilles de relevé planifiées à l'avance. Le relevé photographique prenait fin une fois la couverture complète du regroupement atteinte.

Relevé photographique

Les relevés photographiques ont été effectués à une altitude de 610 m (2 000 pi) et à une vitesse sol de 185 km/h (100 kn). Les aéronefs étaient équipés d'une trappe pour caméra optique recouverte de verre à l'arrière et de deux systèmes de caméra identiques. Les caméras ont été connectées à un ordinateur portable pour contrôler les paramètres d'exposition et l'intervalle entre les photographies. Elles étaient orientées dans le sens de la largeur (le côté long perpendiculaire à la ligne de transect) et présentaient un angle oblique de 25 à 27°. L'intervalle entre les photographies a été établi de manière à maintenir un chevauchement (sur le bord intérieur) d'environ 15 à 30 % (selon l'année du relevé) entre deux photographies consécutives. Le chevauchement entre les photographies consécutives était plus important sur le bord extérieur compte tenu de la projection trapézoïdale des photographies. Les modèles de caméras et de lentilles diffèrent entre 2019-2022 et 2023, et sont détaillés dans le Tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques de la caméra.

Année du relevé	Modèle	Type	Lentille	Distan- ce focale (mm)	Longue- ur du capteur (mm)	Largeur du capteur (mm)	Taille de l'image (mégapix- els)	Angle de la caméra (°)
2019- 2022	Canon EOS 5DS R	Appareil reflex mono- objectif	Sigma 35 mm f/1.4 DG HSM	35	35,9	24	50,3 (8,7 x 5,8)	27
			Zeiss 35 mm f/1.4 Milvus ZE					
2023	Fujifilm GFX 100s	Grand format	Fujifilm 45 mm f/2,8 WR	45	45,8	32,9	102 (11,6 x 8,7)	25

Analyse de l'échantillonnage par distance

Pour les composantes visuelles du relevé, des analyses d'échantillonnage par distance avec marquage-recapture (ÉDMR) ont été effectuées en utilisant la distance perpendiculaire liée à la détection de groupes de narvals. Les observations répétées entre les observateurs primaires et secondaires ont été déterminées en fonction du moment de l'observation (dans les 10 secondes) et de l'angle de déclinaison perpendiculaire (différence inférieure à 10° entre les observations). Lorsque la taille du groupe différait selon les observateurs primaires et secondaires, la plus grande taille du groupe a été utilisée dans le cadre de l'analyse (à l'exception des relevés de 2019 où on a utilisé la taille du groupe selon l'observateur primaire). On a mené les analyses d'ÉDMR avec une configuration d'indépendance des points à l'aide du progiciel écrit en R ÉDMR (Laake *et al.* 2018; version 3.6.2 en 2019 et en 2020 [R Core Team 2019] et version 4.1.2 en 2021, en 2022 et en 2023 [R Core Team 2021]). Des covariables liées à l'environnement et aux observateurs ont été incluses pour ajuster la fonction de détection et les modèles de marquage-recapture. Les modèles ont été sélectionnés à l'aide du critère d'information d'Akaike (AIC) minimal.

Analyse photographique

Les photographies ont été orthorectifiées en fonction de l'angle de la caméra et de l'inclinaison du plan avant d'être examinées dans ArcMap 10.1 (Esri). La clarté de l'eau a été évaluée sur chaque photographie et classée comme étant trouble (eau dans laquelle le narval ne peut être observé qu'à la surface) ou claire (eau dans laquelle le narval peut être observé jusqu'à 2 m de profondeur) afin d'appliquer l'ajustement associé au biais de disponibilité (voir plus bas). Dans le cadre du relevé de 2019, un analyste de photographies principal possédant huit ans d'expérience en analyse photographique a formé trois lecteurs ayant divers niveaux d'expérience. Les trois stagiaires analysaient conjointement les photographies pour détecter la présence de narvals. Un sous-ensemble aléatoire de photographies a été analysé à nouveau par l'analyste de photographies principal afin d'évaluer la fiabilité et la répétabilité. L'un des stagiaires du relevé de 2019 a examiné toutes les photographies des relevés plus récents pour détecter les narvals. Un sous-ensemble sélectionné au hasard des photographies (en 2020, en 2021 et en 2022) ou de toutes les photographies (en 2023) a été analysé à nouveau par un deuxième analyste de photographies expérimenté pour évaluer la fiabilité et la répétabilité.

La superficie couverte par chaque photographie a été calculée dans ArcMap en fonction de l'altitude, de la longueur focale du capteur de la caméra, de sa longueur et de sa largeur, de l'angle de la caméra et de l'inclinaison de l'aéronef. La superficie couverte par les terres a été soustraite de chaque photographie le cas échéant. Les analystes de photographies ont également repéré des zones où l'éblouissement du soleil rendait impossible l'évaluation de la présence de narvals, et ces zones ont été retirées des photographies. La densité du narval a été calculée comme étant la somme des narvals trouvés divisée par la somme de la superficie dans toutes les photographies. Le nombre total de narvals a été estimé en multipliant la densité des narvals par la superficie totale de l'eau dans toutes les photographies fusionnées (c.-à-d. avec suppression des zones de chevauchement afin qu'aucune zone d'eau ne soit incluse plus d'une fois).

Biais de disponibilité et de perception

Les estimations de l'abondance près de la surface ont été ajustées pour tenir compte des narvals qui étaient sous l'eau pendant le relevé et qui n'ont pas pu être comptés par les observateurs ou les analystes de photographies (correction du biais de disponibilité, C_d). Les facteurs de correction étaient ceux utilisés lors des relevés aériens du MPO précédents (Doniol-Valcroze *et al.* 2015, Marcoux *et al.* 2016). Dans le cadre du relevé photographique, des facteurs de correction de 3,18 (coefficient de variation [CV] = 0,03) pour la mi-août et de 3,16

(CV = 0,03) pour la fin août (d'après Watt *et al.* 2015) ont été utilisés. Dans le cadre du relevé visuel, des facteurs de correction ajustés en fonction du temps de visibilité ont été utilisés : 2,94 (CV = 0,03) pour la mi-août et 2,92 (CV = 0,03) pour la fin août (d'après Doniol-Valcroze *et al.* 2015). La correction du biais de disponibilité a été appliquée au transect.

Un ajustement associé au biais de perception a été calculé à l'aide d'une analyse d'ÉDMR à deux plateformes (voir plus haut).

Résultats des relevés menés par Golder et WSP

Relevé de 2019

En 2019, cinq relevés répétés ont été effectués; trois d'entre eux (relevés n° 3, 4 et 5) couvraient complètement le plan de relevé dans le détroit d'Eclipse et ont été analysés (voir les Figures 24-A, 25-A et 26-A dans Golder Associates Ltd. 2020a). Le relevé n° 3 a été effectué les 21 et 22 août, le relevé n° 4 les 25 et 27 août et le relevé n° 5 les 29 et 30 août (voir le Tableau 11 dans Golder Associates Ltd. 2020a).

Pour estimer une fonction de détection, 414 observations de narvals dans le détroit d'Eclipse ont été utilisées. En raison de la détection plus faible le long du transect (par opposition à 200 m du transect) dans le détroit d'Eclipse, une fonction de détection gamma a été sélectionnée dans le progiciel EDMR, et les données ont été tronquées à droite à 1 200 m (c.-à-d. que les observations au-delà de 1 200 m n'ont pas été incluses dans la définition de la fonction de détection). Le meilleur modèle d'échantillonnage par distance avait une fonction gamma clé et des covariables liées à l'éblouissement, au côté de l'aéronef et à l'état de la mer de Beaufort (on a utilisé l'échelle des vents de Beaufort, mais elle est appelée « état de la mer de Beaufort »; $g[x] = 0,42$ [CV = 0,04 %]; voir la Figure 27 dans Golder Associates Ltd. 2020a qui est un histogramme des distances perpendiculaires dans le détroit d'Eclipse).

La sélection du modèle de marquage-recapture avec l'AIC le plus faible comprenait deux covariables : le nombre d'observations des observateurs au cours des 30 dernières secondes et l'interaction entre le côté de l'aéronef et l'observateur. Le modèle a donné une valeur $p(0)$ de 0,60 pour l'observateur 1 et de 0,38 pour l'observateur 2, et une valeur $p(0)$ combinée de 0,74 (CV = 0,07), ce qui a donné une probabilité de détection de 0,31 (CV = 0,07).

Les relevés de reconnaissance n'étaient pas décrits dans le document, mais on a couvert 912 km dans les fjords du bras Admiralty et aucun narval n'a été observé (voir le Tableau 18 dans Golder Associates Ltd. 2020a).

Sur les cinq relevés répétés effectués en 2019, seul le relevé n° 5 présentait une couverture complète dans le bras Admiralty (voir le Tableau 11 dans Golder Associates Ltd. 2020a), mais Golder Associates Ltd. (2020a) a estimé que l'utilisation des relevés n° 3, 4 et 5 serait préférable puisque ces relevés ont également été analysés pour le détroit d'Eclipse; le relevé n° 3 couvrait environ 75 % du plan de relevé dans le bras Admiralty et le relevé n° 4, 55 %. Le relevé n° 5 a été remplacé par un relevé photographique dans une petite zone du bras Admiralty.

Pour estimer une fonction de détection, 473 observations de narvals dans le bras Admiralty ont été utilisées. Les données ont été tronquées à droite à 900 m. Le modèle le mieux ajusté était une fonction gamma avec des covariables liées à l'interaction entre l'observateur et l'état de la mer de Beaufort, à l'éblouissement et au nombre d'observations des observateurs au cours des 30 dernières secondes ($g[x] = 0,39$ [CV = 0,03]; voir la Figure 30 dans Golder Associates Ltd. 2020a qui est un histogramme des distances perpendiculaires dans le bras Admiralty).

Dans le cadre du relevé photographique, on a créé une fonction de détection pour le narval puisqu'une diminution des observations était liée à l'augmentation de la distance par rapport au transect. Le modèle de détection pour le relevé photographique à 305 m, qui n'a été utilisé que pour trois relevés dans le bras Admiralty lorsqu'un grand regroupement de narvals provoquait le lancement du protocole de relevé photographique, a produit une probabilité de détection de 0,86 (facteur de correction de 1,17 [CV = 0,03], n = 571; voir la Figure 40 dans Golder Associates Ltd. 2020a). Le modèle de détection pour les autres relevés photographiques effectués à 610 m d'altitude, dans le détroit d'Eclipse et le bras Admiralty, a donné une probabilité de détection de 0,83 (facteur de correction de 1,20 [CV = 0,02], n = 987; voir la Figure 41 dans Golder Associates Ltd. 2020a).

Relevé de 2020

En 2020, l'équipe a effectué quatre répétitions du relevé dans la zone du détroit d'Eclipse. Cependant, seulement deux ont été analysées et présentées (du 20 au 21 août [relevé 1] et du 28 au 29 août [relevé 3]) dans le rapport de Golder (Golder Associates Ltd. 2021). On a omis la moitié supérieure du bras Navy Board dans le relevé 2 en raison des mauvaises conditions d'observation. Le relevé 4 a été effectué en deux jours en raison des conditions de la haute mer du premier jour. Golder a donc soutenu qu'il fallait exclure les relevés 2 et 4 de l'analyse; toutefois, les conditions d'observation du relevé 4 étaient l'état de la mer de Beaufort 3 ou moins pour 85 % du relevé. Au total, 230 observations et 405 narvals ont été enregistrés lors du relevé visuel (Tableau 10 dans Golder Associates Ltd. 2021). Au total, 3 464 observations et 5 916 narvals ont été enregistrés lors du relevé photographique (Tableau 12 dans Golder Associates Ltd. 2021).

Dans la région du bras Admiralty, deux répétitions ont été effectuées, l'une les 20 et 21 août et l'autre les 28 et 29 août, ce qui coïncide avec les répétitions conservées dans le détroit d'Eclipse (Golder Associates Ltd. 2021). Au total, 845 observations et 1 390 narvals ont été enregistrés lors du relevé visuel (Tableau 11 dans Golder Associates Ltd. 2021). Au total, 8 315 observations et 11 300 narvals ont été enregistrés lors du relevé photographique dans le bras Admiralty (Tableau 12 dans Golder Associates Ltd. 2021). Le modèle ayant l'AIC lié à la fonction de détection le plus faible comprenait une fonction taux de risque clé et des covariables tenant compte de l'observateur, d'une période d'observation continue de 30 secondes et de l'interaction entre l'intensité de l'éblouissement, le côté de l'aéronef et l'angle d'éblouissement ($g[0] = 0,49$, CV = 0,03). Le modèle ayant l'AIC lié à l'analyse de marquage-recapture le plus faible comprenait des covariables liées à l'intensité de l'éblouissement, à une période d'observation continue de 60 secondes et à l'interaction entre l'observateur et la distance ($p[0] = 0,73$ pour l'observateur 1, $p[0] = 0,73$ pour l'observateur 2 et $p[0] = 0,92$, CV = 0,02 pour les observateurs combinés). Les modèles combinés ont donné une probabilité de détection de 0,46 (CV = 0,04).

Relevé de 2021

En 2021, l'équipe a effectué cinq répétitions du relevé dans le détroit d'Eclipse; cependant, seules trois répétitions présentaient une couverture complète et ont été analysées (relevés 1 et 2 combinés, 4 et 5; Tableau 13 dans Golder Associates Ltd. 2022). Les relevés 1 et 2 ont été combinés en raison de problèmes techniques avec les caméras de l'un des aéronefs. Le relevé 3 n'a pas été analysé en raison du plafond bas et de l'état élevé de la mer de Beaufort. Dans le bras Admiralty, quatre répétitions du relevé ont été effectuées, mais seulement deux ont été conservées aux fins d'analyse (relevés 3 et 4; Tableau 16 dans Golder Associates Ltd. 2022). Les relevés 2 et 5 n'ont pas été analysés en raison des mauvaises conditions d'observation. Les conditions environnementales des relevés ont été présentées par Golder

(Golder Associates Ltd. 2022) pour les deux zones combinées. Pour le relevé 2, l'état de la mer de Beaufort était de 3 ou moins pour 85 % de l'effort déployé.

Le modèle ayant l'AIC lié à la fonction de détection le plus faible comprenait une fonction semi-normale clé et des covariables liées à la paire d'observateurs, à l'angle d'éblouissement et à l'interaction entre l'intensité de l'éblouissement, la période d'observation continue de 30 secondes et la taille du groupe ($g[x] = 0,36$, $CV = 0,04$ %). Pour l'analyse par marquage-recapture, le modèle ayant l'AIC le plus faible comprenait des covariables liées à l'observateur, à la distance, à la paire d'observateurs et à l'interaction entre la distance, la période d'observation continue de 15 secondes et la taille du groupe ($p[0] = 0,69$ pour l'observateur 1, $p[0] = 0,57$ pour l'observateur 2 et $p[0]$ combinée de 0,86, $CV = 0,03$). Les modèles combinés ont donné une probabilité de détection de 0,31 ($CV = 0,05$).

Pour le relevé 3, l'état de la mer de Beaufort était de 3 ou moins pour environ 81 % de l'effort déployé, et il y avait un brouillard variant entre léger et épais pour 6 % du relevé. Pour le relevé 5, le brouillard était négligeable et l'état de la mer de Beaufort était de 4 ou moins pour 72 % de l'effort déployé.

Le relevé 4 était le seul qui couvrait à la fois le bras Admiralty et le détroit d'Eclipse. Par conséquent, le rapport suggère d'utiliser le relevé 4 aux fins d'estimation de l'abondance. L'estimation de l'abondance selon le relevé 4 était la plus élevée à 2 595 (tandis que les relevés 2 et 5 ont produit des estimations de 2 172 et de 1 410, respectivement). Le rapport souligne également que le relevé 4 est préférable en raison de son coefficient de variation qui est le plus faible puisque la majorité des observations de narvals ont eu lieu dans la partie photographique du relevé. Cependant, on pourrait faire valoir que la partie photographique du relevé sous-estime généralement l'erreur associée à l'estimation et que les valeurs du coefficient de variation pour le relevé photographique devraient être révisées.

Dans la région du bras Admiralty, seuls les relevés 3 et 4 ont été effectués. Les autres relevés n'ont pas été entièrement réalisés en raison de mauvaises conditions ou de conditions se détériorant. Les nombres indiqués pour les différentes conditions de relevé comprennent les données du détroit d'Eclipse et du bras Admiralty. Sans données brutes, il est impossible d'évaluer séparément les conditions de relevé dans chaque zone.

Relevé de 2022

Dans le détroit d'Eclipse, trois répétitions du relevé ont permis de calculer des estimations de l'abondance (relevés 2, 3 et 4, Tableau 2). La détérioration des conditions a entraîné l'arrêt précoce du relevé 1. L'état de la mer de Beaufort était élevé dans le bras Navy Board (état de la mer de Beaufort de 4 à 6 durant 80 % de l'effort) et les parties ouest du détroit d'Eclipse (état de la mer de Beaufort de 4 à 6 durant 35 % de l'effort) pendant le relevé 2. En outre, l'estimation de l'abondance selon le relevé 2 était significativement plus faible que celle des deux autres répétitions. Pour cette raison, WSP a exclu ce relevé du calcul de l'estimation de l'abondance.

Dans le bras Admiralty, on a effectué deux répétitions du relevé (relevés 2 et 3), ce qui a donné lieu à 929 observations de narvals et 11 636 détections de narvals sur des photographies. Les deux relevés ont permis d'estimer l'abondance.

En général, on a enregistré un état de la mer de Beaufort entre 0 et 3 dans les deux zones de relevé. Si l'état de la mer de Beaufort dépassait 4, la zone était généralement abandonnée et le relevé prenait fin.

Le modèle d'échantillonnage par distance sélectionné avait une fonction semi-normale clé et comprenait un terme d'ajustement cosinus du deuxième ordre ainsi que des covariables liées à la couverture de l'éblouissement, à l'intensité de l'éblouissement et à l'équipe d'observateurs. Les facteurs liés à l'équipe d'observateurs et aux observateurs ont été inclus dans le modèle de

marquage-recapture, ce qui a donné une $p(0)$ de 0,78 pour l'observateur 1, de 0,29 pour l'observateur 2 et une $p(0)$ combinée de 0,83 (CV = 0,06). Les modèles combinés ont produit une probabilité de détection de 0,39 (CV = 0,08).

Relevé de 2023

On a effectué deux répétitions dans le détroit d'Eclipse en 2023 (relevés 1 et 3) et une seule dans le bras Admiralty (relevé 2; Tableau 2). Le relevé 1 dans le détroit d'Eclipse a été effectué en deux jours et a couvert toutes les strates de relevé prévues, tandis que le relevé 3 a été réalisé en trois jours. Deux transects dans la partie nord du bras Navy Board ont été exclus du relevé 3; cependant, aucun narval n'a été détecté autour de ces transects pendant le relevé 1.

Le relevé 2 dans le bras Admiralty a également été effectué en deux jours, mais il ne couvrait pas tous les transects prévus en raison du brouillard et de l'état de la mer de Beaufort. Les observations visuelles de narvals dans le détroit d'Eclipse et le bras Admiralty ont été combinées pour ajuster la fonction de détection du modèle d'échantillonnage par distance, car tous les relevés comprenaient les mêmes observateurs. Les données sur la distance ont été tronquées à droite à 900 m.

Le modèle de distance ayant la valeur AIC la plus faible avait une fonction gamma clé et comprenait des covariables liées à la paire d'observateurs (également appelée « équipe d'observateurs » dans le texte), à l'état de la mer de Beaufort, à la couverture de la glace (%) et au classement de l'intensité du brouillard. Le modèle de marquage-recapture sélectionné comprenait des covariables liées à l'observateur, à la distance, à la paire d'observateurs et aux facteurs d'interaction entre :

1. l'état de la mer de Beaufort et la turbidité;
2. l'angle de la couverture de l'éblouissement et la période d'observation continue de 60 secondes;
3. la distance et l'angle de la couverture de l'éblouissement.

Le modèle de marquage-recapture a produit une $p(0)$ de 0,79 pour l'observateur 1, de 0,40 pour l'observateur 2 et une $p(0)$ combinée de 0,86. Les modèles combinés de distance et de marquage-recapture ont produit une probabilité de détection de 0,339 (CV = 0,056).

L'état de la mer de Beaufort était entre 0 et 4 pour environ 98 % de l'effort total déployé. On a mis fin au relevé lorsque l'état de la mer de Beaufort dépassait 4.

Le Tableau 2 donne un aperçu de tous les résultats des relevés effectués par Golder Associates Ltd. (2020, 2021, 2022) et WSP Canada Inc. (2023, 2024).

Examen

Méthodes

Certains éléments des méthodes utilisées par la Golder et WSP peuvent générer un biais d'abondance positif. Par exemple, pour les observations en double de l'analyse d'ÉDMR, lorsque les deux observateurs n'étaient pas d'accord dans leur estimation de la taille du groupe, Golder et WSP ont conservé l'estimation plus importante au lieu de calculer une moyenne ou de conserver l'estimation de l'observateur principal, qui est généralement l'observateur le plus expérimenté (p. ex., Borchers *et al.* 1998). En 2019, on a retenu la taille du groupe selon l'observateur principal. Une comparaison entre la taille des groupes de narvals estimée par les observateurs des relevés aériens et celle des mêmes groupes estimés par les analystes de photographies au Groenland a montré que la taille des groupes estimée par les observateurs des relevés visuels était plus grande que celle estimée par les analystes de photographies

(Bröker *et al.* 2019). Bien que la taille réelle du groupe soit inconnue, l'utilisation de la plus grande estimation pourrait ne pas être précise et biaiser positivement l'abondance estimée définitive. L'incertitude quant à la taille du groupe, selon son ampleur, peut avoir une incidence ($\pm 5\%$) sur l'estimation de l'abondance qui en résulte (Hamilton *et al.* 2018); cependant, des méthodes pourraient être explorées pour tenir compte de cette incertitude (Clement *et al.* 2017).

La clarté de l'eau a été évaluée dans chaque photographie de manière subjective par chaque observateur. Le Secteur des sciences du MPO recommande d'utiliser une méthode objective pour évaluer la clarté de l'eau, comme l'utilisation d'une palette de couleurs à comparer avec les photographies pour déterminer le niveau de clarté (Watt *et al.* 2021a), la mesure de la turbidité dans diverses zones suivie de la division des strates en ces zones définies (Lesage *et al.* 2024), ou l'utilisation de données de télédétection aux fins d'évaluation de la turbidité (Dogliotti *et al.* 2015). De plus, la turbidité pourrait être consignée pendant les relevés visuels par transects linéaires, puis intégrée aux probabilités de détection. La clarté de l'eau détermine le facteur d'ajustement du biais de disponibilité utilisé pour ajuster le relevé et a une incidence importante sur l'estimation de l'abondance qui en résulte.

Analyse des données

Golder et WSP ont retiré des répétitions de relevés pour diverses raisons qui ne sont pas normalisées ou prédéterminées. Par exemple, pour le relevé du détroit d'Eclipse en 2019, Golder et WSP ont exclu le relevé 5 parce qu'un grand regroupement de narvals pourrait avoir été omis (voir le Tableau 17 dans Golder Associates Ltd. 2020a). La conception du relevé aérien suppose que la densité des animaux dans la zone non couverte par le relevé peut être prédite par la densité des animaux dans la zone couverte par le relevé. Cette extrapolation est appuyée par le placement uniforme de lignes à partir d'un point de départ aléatoire qui garantit que l'habitat couvert par le relevé est aussi semblable que possible à l'habitat dans la zone restante non étudiée (Buckland *et al.* 2004, Fewster *et al.* 2009). Golder n'a pas démontré que cette hypothèse n'était pas valide dans le cadre de ce relevé, mais a plutôt déterminé de façon arbitraire qu'il fallait exclure le relevé 5 en se fondant sur des hypothèses. En 2020, Golder a exclu le relevé 2 pour sa couverture incomplète. Le relevé 4 a également été exclu en raison des conditions défavorables. Cependant, les conditions ne peuvent pas réellement être déterminées à partir des données que Golder et WSP fournissent parce qu'elles combinent les conditions dans le bras Admiralty et le détroit d'Eclipse. Idéalement, un seuil uniforme devrait être défini pour déterminer les relevés à inclure dans l'estimation de l'abondance et remplacer l'approche ponctuelle adoptée.

L'abondance la plus élevée estimée par les répétitions de relevé a été considérée comme la meilleure estimation de l'abondance par Golder et WSP (p. ex., Golder Associates Ltd. 2021, WSP Canada Inc. 2024); cependant, l'établissement d'une moyenne des estimations des répétitions est la meilleure méthode pour tenir compte de la variabilité du comportement de plongée et de la répartition du narval au cours de la période de relevé (p. ex., Huber *et al.* 2001, Siebert *et al.* 2006, Lowry *et al.* 2008, Gosselin *et al.* 2014, Marcoux *et al.* 2016, Watt *et al.* 2021a). Par exemple, les relevés individuels, même en quelques jours ou le jour même, peuvent produire des estimations d'abondance variables (p. ex., Lowry *et al.* 2008, Gosselin *et al.* 2014, Marcoux *et al.* 2016). Cependant, les facteurs d'ajustement du biais de disponibilité sont fondés sur le temps moyen que les animaux passent à la surface et sous l'eau sur des périodes allant de quelques jours à plusieurs semaines. Par conséquent, des estimations d'abondance ajustées plus élevées fondées sur les répétitions peuvent représenter des périodes où les narvals passent une plus grande proportion de leur temps à la surface ou des répétitions durant lesquelles les observateurs rencontrent de plus grands groupes de narvals sur les lignes de relevé, plutôt qu'entre celles-ci.

Un autre biais d'abondance positif résulte potentiellement de l'analyse photographique. En moyenne, le chevauchement photographique (y compris le chevauchement de photographies consécutives et le chevauchement des photographies entre les lignes de transect) était de 52 % en 2019, de 65 % en 2020 et de 45 % en 2021. En 2022 et en 2023, aucun chevauchement photographique n'a été déclaré, mais il est à noter que le chevauchement cible était de 15 % entre les photographies consécutives et de 30 % entre les lignes de transect, tandis qu'en 2023, les cibles étaient de 23 % et de 25 %, respectivement. L'analyste de photographies a examiné les deux photographies de la zone de chevauchement pour détecter la présence du narval. Dans certains cas où la détection du narval pouvait être incertaine, l'analyste peut avoir utilisé la photographie complémentaire présentant un chevauchement pour confirmer la détection du narval. Étant donné que les analystes peuvent vérifier les photographies présentant un chevauchement afin de confirmer les observations, le relevé photographique ne devrait pas être traité comme instantané et le facteur d'ajustement du biais de disponibilité devrait tenir compte du temps de visibilité (McLaren 1961; Laake *et al.* 1997). Cette information est importante parce que les photographies qui se chevauchent peuvent introduire un biais positif selon la façon dont les photographies sont lues; l'analyste de photographies est plus susceptible de recenser avec certitude un narval si celui-ci se trouve sur deux photographies consécutives. Par conséquent, cette pratique pourrait entraîner une surestimation de l'abondance des narvals. Par exemple, pour un cycle de plongée moyen de 130 secondes chez le narval (avec une durée en surface de 43 secondes et une durée sous l'eau de 87 secondes; Asselin et Richard 2011, Doniol-Valcroze *et al.* 2020), et un intervalle de 6 secondes entre les photographies consécutives, la différence entre le facteur d'ajustement instantané ($C_{\text{instantané}} = 3,02$) et celui qui tient compte du temps de visibilité ($C_{6\text{secondes}} = 2,65$) augmente l'estimation de l'abondance de 14 %. Nous recommandons que l'ajustement instantané soit utilisé pour les observations dans les zones sans chevauchement et que l'ajustement tenant compte du temps de visibilité soit utilisé pour les observations dans les zones de chevauchement.

De plus, pour le relevé de 2023, WSP (2024) a fourni un tableau indiquant la différence entre les dénombrements de narvals par photographie réalisés par deux analystes expérimentés (Tableau 14). WSP (2024) conserve le dénombrement du premier analyste, dont l'abondance globale était plus élevée que celle du deuxième. Cette décision pourrait introduire un biais positif dans l'estimation de l'abondance; toutefois, il n'est pas possible d'évaluer l'ampleur de ce biais parce que les dénombrements originaux ne sont pas fournis dans le document. WSP (2024) indique qu'on a enregistré 140 observations de narvals au cours du relevé d'août, pour un total de 353 individus, que la taille moyenne des groupes serait de 2,5 et que la médiane serait de 2. Cependant, les chiffres du Tableau 12 (WSP 2024) et l'information provenant de la section du sommaire indiquent que les 140 observations de narvals comprennent également des observations ayant eu lieu pendant le relevé de reconnaissance effectué au début d'août. On ne sait pas si la taille moyenne des groupes utilisée pour calculer l'estimation de l'abondance tient compte également du relevé de reconnaissance, ce qui pourrait introduire un biais dans les estimations des relevés. Il faudrait plus de renseignements sur la taille des groupes pour évaluer la direction et l'ampleur du biais.

Golder et WSP utilisent le même facteur de correction du biais de disponibilité que celui utilisé dans le cadre du relevé sur le narval dans le Haut-Arctique effectué en 2013 par le MPO (Doniol-Valcroze *et al.* 2015). Cependant, il est recommandé que le facteur de correction du biais de disponibilité soit propre à chaque relevé en fonction des meilleures données disponibles sur le comportement de plongée du narval et du temps où un observateur peut voir un groupe de narvals (temps de visibilité). Idéalement, ces données devraient être recueillies dans la période de réalisation du relevé, car la plongée du narval varie dans le temps et est influencée par des facteurs environnementaux (Heide-Jørgensen *et al.* 2001). Des données plus récentes sur le cycle de plongée du narval sont disponibles grâce à des études de

marquage par satellite réalisées en 2017-2018 (Golder Associates Ltd. 2019, 2020b) et devraient être associées aux données du relevé pour calculer un facteur de correction du biais de disponibilité mis à jour. La durée pendant laquelle les observateurs voient la surface de l'océan varie selon les relevés et dépend du type d'aéronef, de sa vitesse et de la façon dont l'observateur scrute l'océan, ce qui peut varier d'un observateur à l'autre (Laake *et al.* 1997, Robertson *et al.* 2015). Par conséquent, la consignation du temps de visibilité devrait être une pratique normalisée lors de l'échantillonnage par distance (p. ex., Richard *et al.* 2010, Pike *et al.* 2020). D'après notre examen du Marine Mammal Observer Training Manual, présenté dans tous les rapports de Golder et de WSP, le manuel n'indique pas que les observateurs doivent consigner le temps de visibilité des narvals. Ils consignent plutôt les groupes d'individus qui passent par le travers, et non la période entre la première observation et le passage par le travers. Cependant, il est possible d'estimer le temps de visibilité en fonction de l'angle de recherche vers l'avant des observateurs et de la vitesse de l'aéronef (Forcada *et al.* 2004, Gómez de Segura *et al.* 2006). Ce temps de visibilité pourrait être intégré à l'estimation du biais de disponibilité.

Les coefficients de variation de Golder et de WSP liés aux estimations du relevé ne tiennent pas compte de l'autocorrélation spatiale dans les estimations de l'incertitude pour l'échantillonnage photographique adaptatif (c.-à-d. que la variance est calculée pour chaque occurrence en fonction des différences entre les photographies, mais sans tenir compte des relations spatiales ou des différences entre les occurrences photographiques; Clegeur *et al.* 2021). Cette pratique a fait en sorte que deux composantes de la variance ont été omises, et donc que le coefficient de variation est plus faible que prévu. Il n'est pas possible de déterminer cet écart sans avoir accès aux données brutes. Il existe également une incertitude quant à la profondeur maximale à laquelle le narval peut être observé sur une photographie ou par des observateurs, ce qui contribue à la variance. Cette incertitude n'a pas été prise en compte par Golder et WSP, ni dans les relevés les plus récents du MPO, mais pourrait l'être (groupe de travail conjoint de la NAMMCO-JCNB [Commission des mammifères marins de l'Atlantique Nord et de la Commission mixte Canada-Groenland sur le narval et le béluga] 2021).

Estimation de l'abondance

On a relevé des anomalies dans les abondances déclarées pour certaines parties du relevé dans le bras Admiralty et le détroit d'Eclipse. Il est probable que ces divergences résultent principalement de l'arrondissement des valeurs et des erreurs typographiques dans les densités déclarées de narvals ou les zones traitées dans le texte. Les anomalies relevées par le Secteur des sciences du MPO ont généralement entraîné une surestimation (< 0,03 %) et une sous-estimation de l'abondance négligeables. Cependant, en 2021, elles ont donné lieu à des surestimations de 5 % pour certaines strates (voir les commentaires dans le Tableau 2). Les valeurs indiquées dans le Tableau 2 sont celles des rapports de Golder et de WSP.

Évaluation

Nous avons calculé l'estimation de l'abondance annuelle, \hat{N} , à l'aide de la moyenne des estimations de l'abondance pour chaque ensemble de répétitions du relevé pour chaque année, pondérée selon l'effort. Nous avons adapté les méthodes proposées dans Buckland *et al.* (2004, section 3.6.2); cependant, au lieu de calculer la moyenne des transects répétés, nous avons calculé la moyenne des relevés complets répétés, comme dans Gosselin *et al.* (2007). Cette approche consistant à calculer la moyenne des relevés complets de la zone d'étude suppose que chaque relevé couvre toute l'étendue des stocks, mais que la répartition spatiale des individus peut changer de répétition à répétition au cours d'une année donnée. Par conséquent, une proportion différente du stock peut être répartie dans chaque strate du relevé. L'équation adaptée que nous avons utilisée est la suivante :

$$\hat{N} = \frac{\sum_{j=1}^d E_j \hat{N}_j}{E_t}$$

Où E_j est l'effort de chaque répétition, \hat{N}_j est l'estimation de l'abondance pour chaque répétition, E_t est l'effort total pour toutes les répétitions, et d est le nombre de répétitions.

Plutôt que d'utiliser les coefficients de variation rapportés par Golder Associates Ltd. (2020a, 2021, 2022) et WSP Canada Inc. (2023, 2024), qui sous-estiment l'incertitude, nous avons calculé la variance ($\text{var}[\hat{N}]$) et les coefficients de variation associés en fonction de la variation totale observée entre les répétitions des relevés (adaptation de l'équation 3.87 de Buckland *et al.* 2004, section 3.6.2).

$$\text{var}(\hat{N}) = \frac{\sum_{j=1}^d [E_j (\hat{N}_j - \hat{N})^2]}{E_t (d - 1)}$$

Les estimations combinées ainsi calculées sont présentées dans le Tableau 3. Cette approche donne des coefficients de variation plus élevés compte tenu des sources d'incertitude, à l'exception de l'estimation de l'abondance pour le bras Admiralty en 2022. Dans ce cas, en calculant le coefficient de variation des deux relevés répétés comme décrit ci-dessus, le coefficient de variation est de 5 %, ce qui est très faible pour une estimation de l'abondance des cétacés. Ce faible coefficient de variation résulte du fait que les deux relevés répétés ont estimé une abondance similaire (45 086 et 41 149; Tableau 2). Bien qu'il en résulte un coefficient de variation plus petit pour ce relevé particulier, le Secteur des sciences du MPO recommande toujours d'utiliser la variation de l'abondance entre les relevés répétés et d'envisager à l'avenir un coefficient de variation plus important associé à l'estimation du biais de disponibilité (comme celui proposé dans le document groupe de travail conjoint de la NAMMCO-JCNCB 2021). Les intervalles de confiance (IC) à 95 % associés aux estimations de l'abondance ont été calculés en fonction de la distribution log-normale (équation 3.71, Buckland *et al.* 2004; Tableau 3).

La plupart des répétitions de relevé qui ont été rejetées par Golder et WSP n'ont pas été présentées dans leurs rapports. Cependant, les données qui ont été recueillies dans le détroit d'Eclipse lors du relevé 5 en 2019, du relevé 2 en 2022 et du relevé 3 en 2023 ont été présentées par Golder Associates Ltd. (2020a) et WSP Canada Inc. (2023, 2024), et ont été incluses dans nos estimations moyennes fournies dans le Tableau 3. En général, l'exclusion de données *a posteriori* peut entraîner un biais de déclaration; un cadre décisionnel systématique pour exclure des données des relevés pourrait être défini *a priori* (Neves et Amaral 2020).

Recommandations relatives aux futurs relevés

1. Utiliser un plan de relevé systématique et combiner la prise de photographies aux observations visuelles pour valider les observations (dans la couverture photographique) et archiver les photographies pour de futures analyses.
2. Effectuer des relevés répétés et calculer les estimations moyennes entre les répétitions pour améliorer la précision et la fiabilité. S'assurer que toutes les répétitions des relevés effectués dans des conditions météorologiques prédéterminées sont présentées et analysées. Si une répétition est exclue de l'analyse, fournir une justification claire et transparente, y compris les critères utilisés pour prendre la décision.
3. Mettre à jour les facteurs d'ajustement du biais de disponibilité (1) en fonction des données de marquage existantes datant de 2017 à 2018, qui fournissent des informations sur le

cycle complet de plongée et présentent un coefficient de variation accru (Golder Associates Ltd. 2019, 2020b, Shuert *et al.* 2023), et (2) pour tenir compte des conditions environnementales comme la clarté de l'eau (voir plus haut et Dogliotti *et al.* 2015, Watt *et al.* 2021 et Lesage *et al.* 2024 pour des exemples de mesure de la clarté de l'eau) et la bathymétrie.

4. Envisager des modèles explicites sur le plan spatial pour estimer l'abondance dans les relevés photographiques à couverture complète afin de tenir compte des biais dus à la couverture non uniforme des relevés et aux données dépendantes sur le plan spatial (c.-à-d. images qui se chevauchent dans et entre les lignes de transect, p. ex. Cleguer *et al.* 2021).

CONCLUSIONS

L'examen détaillé réalisé dans le cadre de la présente réponse des Sciences a permis de conclure ce qui suit :

1. Le plan et les méthodes de relevé de Golder et de WSP ont principalement suivi ceux qui ont été élaborés et approuvés par le Secteur des sciences du MPO, et les résultats de ces relevés sont donc appropriés pour être utilisés dans la série chronologique actuelle des estimations de l'abondance pour la modélisation de l'évaluation des stocks du bras Admiralty et du détroit d'Eclipse.
2. Le Secteur des sciences du MPO a relevé des anomalies dans les chiffres déclarés, des éléments de variance manquants, ainsi que des aspects de la collecte et de l'analyse des données qui peuvent être améliorés lors des prochains relevés. Cependant, pour les relevés existants, il a été déterminé que ces problèmes peuvent être réduits au minimum en faisant la moyenne des estimations de l'abondance à partir des répétitions du relevé (voir plus haut la discussion concernant le relevé de 2022 dans le bras Admiralty).
3. Le Secteur des sciences du MPO recommande d'utiliser l'estimation moyenne de l'abondance de toutes les répétitions de relevés pertinentes présentées par Golder et WSP pour chaque année dans le bras Admiralty et le détroit d'Eclipse (Tableau 3) afin de l'intégrer à la série chronologique actuelle pour la modélisation de l'évaluation des stocks du bras Admiralty et du détroit d'Eclipse.
4. Les répétitions des relevés qui n'ont pas été présentées dans les rapports n'ont pas pu être évaluées, et nous recommandons que Golder et WSP fournissent toutes les données de relevé brutes.

Autres facteurs à prendre en considération

L'abondance des narvals évaluée par relevé aérien peut être sensible au moment de la débâcle. Il faudrait améliorer la documentation des changements dans l'abondance par rapport à la débâcle.

Le Secteur des sciences du MPO a recommandé de mettre à jour les estimations du biais de disponibilité puisque les estimations instantanées fournies dans Watt *et al.* (2015) sont désuètes et ont un coefficient de variation exagérément faible compte tenu de ce que nous savons du comportement du narval. Il serait utile que le Secteur des sciences du MPO fournisse des directives détaillées sur les pratiques exemplaires de l'estimation des facteurs d'ajustement du biais de disponibilité instantanée et non instantanée et qu'il envisage des méthodes permettant de mieux saisir l'incertitude (p. ex., augmenter le coefficient de variation),

comme celles présentées dans le document groupe de travail conjoint de la NAMMCO-JCNB (2021).

Tableau 2. Estimations de l'abondance provenant des relevés dans le détroit d'Eclipse et le bras Admiralty menés par Golder Associates Ltd. (2020, 2021, 2022) et WSP Canada Inc. (2023, 2024). Les estimations de l'abondance près de la surface dans les relevés photographiques fournis n'ont pas été corrigées pour tenir compte du biais de détectabilité. Cependant, les facteurs de correction du biais de détectabilité et de disponibilité utilisés pour fournir l'estimation corrigée définitive sont indiqués.

Année	Lieu	Relevé	Date	Relevé	Effort (km)	Estimation de l'abondance près de la surface [€]	Biais de détectabilité	Biais de disponibilité	Estimation corrigée*	CV	IC à 95 %
2019	Détroit d'Eclipse	3	21-22 août	Visuel	1 070,8	76	—	2,94	223	0,40	105-475
				Photographie	373,5	1 973	1,20	3,18	7 542	0,04	6 983-8 145
				Combiné	1 444,3	—	—	—	7 765	0,04	7 182-8 396
		4	25-27 août	Visuel	1 036,5	518	—	2,92	1 514	0,59	522-4 390
				Photographie	461,3	2 785	1,20	3,16	10 574	0,03	10 004-11 176
				Combiné	1 497,8	—	—	—	12 088	0,08	10 388-14 066
		5	29-30 août	Visuel	904,9 ^a	373	—	2,92	1 090	0,25	667-1 781
				Photographie	373,1	998	1,20	3,16	3 789	0,03	3 562-4 030
				Combiné	1 278,0	—	—	—	4 879	0,06	4 322-5 507
	Bras Admiralty	3	21-22 août	Visuel	714,1	6 937	—	2,94	20 396	0,19	1 413-2 943
				Photographie	168,7	1 857	1,20/1,17	3,18	7 040	0,03	6 697-7 400
				Combiné	882,8	—	—	—	27 436	0,14	20 860-36 084
		4	25-27 août	Visuel	516,8	6 821	—	2,92	19 918	0,44	8 727-45 459
				Photographie	134,6	2 908	1,17	3,16	10 720	0,04	10 094-11 385
				Combiné	651,4	—	—	—	30 638	0,29	17 668-53 129
		5	29-30 août	Visuel	1 168,5	6 035	—	2,92	17 621	0,21	11 697-26 545
				Photographie	15,4	357	1,20	3,16	1 355	0,04	1 250-1 468
				Combiné	1 183,9	—	—	—	18 976	0,20	12 963-27 779

Région de l'Arctique

Relevés sur le narval par Golder et WSP

Année	Lieu	Relevé	Date	Relevé	Effort (km)	Estimation de l'abondance près de la surface [€]	Biais de détectabilité	Biais de disponibilité	Estimation corrigée*	CV	IC à 95 %
2020	Déroit d'Eclipse	1	20-21 août	Visuel	1 187,5	44	—	2,94	130	0,34	3 195-3 594
				Photographie	371,7	960	1,11	3,18	3 389	0,03	68-247
				Combiné	1 559,2	—	—	—	3 519	0,03	3 308-3 743
		2	24-25 août	—	1 543,9	—	—	—	—	—	—
		3	28-29 août	Visuel	1 177,3	62	—	2,92	181	0,39	4 588-5 099
				Photographie	347,3	1 379	1,11	3,16	4 837	0,03	87-378
				Combiné	1 524,6	—	—	—	5 018	0,03	4 736-5 317
	Bras Admiralty	4	30 août-1 ^{er} sept.	—	1 662,9	—	—	—	—	—	—
		1	20-21 août	Visuel	1 231,0	4 907	—	2,94	14 427	0,22	9 425-22 084
				Photographie	22,7	798	1,11	3,18	2 817	0,05	2 533-3 133
				Combiné	1 253,7	—	—	—	17 244	0,18	12 056-24 664
		3	28-29 août	Visuel	1 105,3	6 754	—	2,92	19 721	0,23	12 715-30 588
				Photographie	166,1	3 223	1,11	3,16	11 305	0,03	10 677-11 970
				Combiné	1 271,4	—	—	—	31 026	0,14	23 406-41 126
2021	Déroit d'Eclipse	1-2	8-10 août	Visuel	1 064,5	21	—	2,94	61	1	12-312
				Photographie	361,4	605	1,10	3,18	2 111	0,04	1 989-2 241
				Combiné	1 425,9	—	—	—	2 172	0,04	2 005-2 353
		4	19-21 août	Visuel	1 210,3	297	—	2,94	873	0,99	172-4 429
				Photographie	495,5	467	1,10	3,18	1 722 ^b	0,05	1 594-1 860
				Combiné	1 705,8	—	—	—	2 595	0,33	1 369-4 919
		5	26 août	Visuel	1 195,7	7	—	2,92	20	0,96	4-98

Région de l'Arctique

Relevés sur le narval par Golder et WSP

Année	Lieu	Relevé	Date	Relevé	Effort (km)	Estimation de l'abondance près de la surface [€]	Biais de détectabilité	Biais de disponibilité	Estimation corrigée*	CV	IC à 95 %
	Bras Admiralty	3	14-18 août	Photographie	637,2	401	1,10	3,16	1 390	0,03	1 318-1 466
				Combiné	1 832,9	—	—	—	1 410	0,03	1 329-1 496
				Visuel	1 051,2	3 405	—	2,94	10 010	0,28	5 793-17 296
				Photographie	88,6	4 024	1,10	3,18	14 037	0,04	12 935-15 233
				Combiné	1 139,8	—	—	—	24 047	0,12	18 989-30 452
				Visuel	1 141,8	4 435	—	2,94	13 038	0,43	5 765-29 485
		4	19-21 août	Photographie	270,7	16 148	1,10	3,18	59 544 ^b	0,04	54 626-64 904
				Combiné	1 412,5	—	—	—	72 582	0,09	61 333-85 895
				Visuel	1 140,6	18	—	2,94	54	0,88	12-240
				Photographie	374,8	251	1,17	3,18	936	0,03	879-997
				Combiné	1 515,4	—	—	—	990	0,06	885-1 107
				Visuel	1 190,8	6	—	2,94	18	1,11	3-104
2022	Détroit d'Eclipse	3	17-18 août	Photographie	394,6	1 405	1,17	3,18	5 241	0,02	4 993-5 501
				Combiné	1 585,4	—	—	—	5 259	0,02	5 008-5 523
				Visuel	1 124,6	712	—	2,94	2 092	0,46	881-4 967
				Photographie	369,0	478	1,17	3,18	1 782	0,04	1 656-1 918
				Combiné	1 493,6	—	—	—	3 874	0,25	2 387-6 287
				Visuel	1 147,0	13 463	—	2,94	39 581	0,29	22 502-69 623
		2	14-16 août	Photographie	63,4	1 476	1,17	3,18	5 505 ^d	0,04	5 106-5 935
				Combiné	1 210,4	—	—	—	45 086	0,26	27 396-74 200
				Visuel	1 134,6	8 628	—	2,94	25 365	0,23	16 137-39 870
				Photographie	63,4	1 476	1,17	3,18	5 505 ^d	0,04	5 106-5 935
				Combiné	1 210,4	—	—	—	45 086	0,26	27 396-74 200
				Visuel	1 134,6	8 628	—	2,94	25 365	0,23	16 137-39 870

Année	Lieu	Relevé	Date	Relevé	Effort (km)	Estimation de l'abondance près de la surface [€]	Biais de détectabilité	Biais de disponibilité	Estimation corrigée*	CV	IC à 95 %
2023	Déroit d'Eclipse	1	12-13 août	Photographie	240,9	4 232	1,17	3,18	15 784 ^e	0,04	14 868-16 756
				Combiné	1 375,5	—	—	—	41 149	0,14	31 038-54 554
				Visuel	838,0	68	—	2,94	199	0,71	57-697
		3	23-25 août	Photographie	451,8	3 237	1,04	3,18	10 293	0,05	9 417-11 251
				Combiné	1 289,8	—	—	—	10 492	0,05	9 578-11 494
				Visuel	894,6	115	—	2,94	339	0,92	73-1 582
	Bras Admiralty	2	19-20 août	Photographie	484,5	2 903	1,04	3,18	9 233	0,04	8 588-9 926
				Combiné	1 379,1	—	—	—	9 572	0,05	8 706-10 524
				Visuel	842,8	7 950	—	2,94	23 372	0,19	16 068-33 996
				Photographie	187,8	2 152	1,04	3,18	6 842	0,06	6 063-7 721
				Combiné	1 030,6	—	—	—	30 214	0,15	22 559-40 467

[€] Golder et WSP n'ont pas fourni d'estimations de l'abondance en surface pour la partie visuelle des relevés. Pour calculer l'estimation de l'abondance en surface, nous avons pris l'abondance corrigée déclarée et l'avons divisée par la correction du biais de disponibilité. Par conséquent, cette estimation de l'abondance à la surface tient déjà compte du biais de détectabilité dans l'estimation.

* Pour les relevés photographiques, l'estimation de la surface est fondée sur la densité des baleines à la surface dans les photographies obliques et n'inclut pas encore de biais de détectabilité pour tenir compte de la détection variable sur l'ensemble de la photographie. Le biais de détectabilité a varié d'une année de relevé à l'autre et est présenté plus haut.

Les estimations corrigées pour les relevés photographiques sont celles qui figurent dans les rapports de Golder et de WSP (2020a, 2021, 2022, 2023, 2024) et ne correspondent pas toujours à l'abondance en surface multipliée par le biais de détectabilité et de disponibilité en raison de l'arrondissement.

^a Golder Associates Ltd. (2020a) rapporte 944,9 dans le texte, mais 904,9 dans le Tableau 11. Nous déclarons et utilisons (dans le Tableau 3) une abondance à la surface de 904,9 pour respecter le tableau présenté dans le rapport de Golder.

^b Golder Associates Ltd. (2022) a signalé 467 narvals (159 dans le bras Milne et 308 dans le détroit de Tremblay) comme estimation de l'abondance en surface non ajustée; toutefois, on note qu'on utilise les estimations du biais de détectabilité et de disponibilité de 1,10 et de 3,18, respectivement, dans la multiplication. Il en résulte une abondance corrigée de 1 634, et non de 1 722 (586 dans le sud du bras Milne et 1 136 dans le détroit de Tremblay), ce qui représente une différence de 5 % entre les deux estimations. Cependant, nous déclarons et utilisons (dans le Tableau 3) une estimation de 1 722 pour respecter le rapport de Golder.

^c Golder Associates Ltd. (2022) a indiqué 16 178 narvals (2 923 dans le nord du bras Admiralty et 13 255 dans le sud du bras Admiralty) comme estimation de l'abondance en surface non ajustée; toutefois, on note qu'on utilise les estimations du biais de détectabilité et de disponibilité de 1,10 et de 3,18, respectivement, dans la multiplication. Il en résulte une abondance corrigée de 56 591, et non de 59 544 (10 778 dans le nord du bras Admiralty et 48 766 dans le sud du bras Admiralty), ce qui représente une différence de 5 % entre les deux estimations. Cependant, nous déclarons et utilisons (dans le Tableau 3) une estimation de 59 544 pour respecter le rapport de Golder.

^d WSP Canada Inc. (2023) a déclaré 1 476 narvals comme estimation de l'abondance en surface non ajustée, mais note qu'on utilise les estimations du biais de détectabilité et de disponibilité de 1,17 et de 3,18, respectivement, dans la multiplication. Il en résulte une abondance corrigée de 5 492, et non de 5 505, comme il est indiqué. Cependant, nous déclarons et utilisons (dans le Tableau 3) une estimation de 5 505 pour respecter le rapport de Golder.

^e WSP Canada Inc. (2023) a déclaré 4 232 narvals comme estimation de l'abondance en surface non ajustée, mais note qu'on utilise les estimations du biais de détectabilité et de disponibilité de 1,17 et de 3,18, respectivement, dans la multiplication. Il en résulte une abondance corrigée de 15 746 individus, et non de 15 784 comme il est indiqué. Cependant, nous déclarons et utilisons (dans le Tableau 3) une estimation de 15 784 pour respecter le rapport de Golder.

Tableau 3. Estimations de l'abondance tirées de Golder Associates Ltd. (2020, 2021, 2022) et de WSP Canada Inc. (2023, 2024) tenant compte de toutes les répétitions de relevé présentées et comprenant une moyenne pondérée (lorsque possible) fondée sur l'effort.

Année	Lieu	Relevé	Date	Effort (km)	Estimation	CV	IC à 95 %
2019	Détroit d'Eclipse	3-5	21-30 août	4 220,1	8 425	0,25	5 221-13 596
	Bras Admiralty	3-5	21-30 août	2 718,1	24 519	0,14	18 497-32 501
2020	Détroit d'Eclipse	1 et 3	20-29 août	2 942,1	9 966	0,22	6 547-15 170
	Bras Admiralty	1 et 3	20-29 août	2 525,1	24 183	0,28	13 986-41 816
2021	Détroit d'Eclipse	1-2 et 4-5	8-26 août	4 964,6	2 036	0,18	1 445-2 868
	Bras Admiralty	3-4	14-21 août	2 552,3	50 907	0,47	21 066-123 019
2022	Détroit d'Eclipse	2-4	14-21 août	4 594,4	3 401	0,37	1 683-6 873
	Bras Admiralty	2-3	14-18 août	2 585,9	42 992	0,05	39 311-47 018
2023	Détroit d'Eclipse	1 et 3	10-25 août	2 668,9	10 017	0,05	9 155-10 959
	Bras Admiralty	2	19-20 août	1 030,6	30 214	0,15	22 559-40 467

LISTE DES PARTICIPANTS DE LA RÉUNION

Nom	Organisation/Affiliation
Steve Ferguson (Chaise)	MPO – Science, Région de l'Arctique
Emma Hodgson (Rapporteur)	MPO – Science, National Capital Region
Justin Shead (Rapporteur)	MPO – Science, Ontario and Prairie Region
David Boguski (SCAS)	MPO – Science, Région de l'Arctique
Cortney Watt	MPO – Science, Région de l'Arctique
Marianne Marcoux	MPO – Science, Région de l'Arctique
Roderick Hobbs	NAMMCO (retraité de la NOAA, Alaska Fisheries Center National Marine Fisheries)
Pierre Goulet	MPO – Science, Région de Terre-Neuve-et-Labrador
Megan Ferguson	Biodiversity Research Institute
Richard DiRocco	MPO – Gestion des pêches, Région de l'Arctique
Jean-Francois Gosselin	MPO – Science, Quebec Region
Heather Smith	MPO – Science, Région de la capitale nationale
Bruce Stewart	Arctic Biological Consultants
Paul Harper	MPO – Programme de protection du poisson et de son habitat, Région de l'Arctique
Bill Koski	LGL Limited
David Lee (examen écrit seulement)	Nunavut Tunngavik Inc.

SOURCES DE RENSEIGNEMENTS

- Asselin, N.C., and Richard, P.R. 2011. [Results of narwhal \(*Monodon monoceros*\) aerial surveys in Admiralty Inlet, August 2010](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2011/065. iv + 26 p.
- Borchers, D.L., Buckland, S.T., Goedhart, P.W., Clarke, E.D., and Hedley, S.L. 1998. Horvitz-Thompson estimators for double-platform line transect surveys. *Biometrics*. 54: 1221–1237.
- Bröker, K.C.A., Hansen, R.G., Leonard, K.E., Koski, W.R., and Heide-Jørgensen, M.P. 2019. [A comparison of image and observer based aerial surveys of narwhal](#). *Mar. Mamm. Sci.* 35(4): 1253–1279.
- Buckland, S., Anderson, D., Burnham, K., Laake, J., Borchers, D., and Thomas, L. 2004. *Advanced distance sampling*. Oxford University Press, NY. xvii + 416.
- Clement, M.J., Converse, S.J., and Royle, J.A. 2017. Accounting for imperfect detection of groups and individuals when estimating abundance. *Ecol. Evol.* 7: 7304–7310.
- Cleguer, C., Kelly, N., Tyne, J., Wieser, M., Peel, D., and Hodgson, A. 2021. A novel method for using small unoccupied aerial vehicles to survey wildlife species and model their density distribution. *Front. Mar. Sci.* 8: 640338.

- Dogliotti, A.I., Ruddick, K.G., Nechad, B., Doxaran, D., and Knaeps, E. 2015. A single algorithm to retrieve turbidity from remotely-sensed data in all coastal and estuarine waters. *Remote Sens. Environ.* 156: 157–168.
- Doniol-Valcroze, T., Gosselin, J.F., Pike, D., Lawson, J., Asselin, N., Hedges, K., and Ferguson, S. 2015. [Abundance estimates of narwhal stocks in the Canadian High Arctic in 2013](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2015/060. v + 36 p. (Erratum April 2022)
- Doniol-Valcroze, T., Gosselin, J.-F., Pike, D.G., Lawson, J.W., Asselin, N.C., Hedges, K., and Ferguson, S.H. 2020. Narwhal abundance in the Eastern Canadian High Arctic in 2013. *NAMMCO Sci. Pub.* 11.
- Fewster, R.M., Buckland, S.T., Burnham, K.P., Borchers, D.L., Jupp, P.E., Laake, J.L., and Thomas, L. 2009. Estimating the encounter rate variance in distance sampling. *Biometrics*. 65: 225–236.
- Forcada, J., Gazo, M., Aguilar, A., Gonzalvo, J., and Fernández-Contreras, M. 2004. Bottlenose dolphin abundance in the NW Mediterranean: addressing heterogeneity in distribution. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 275: 275–287.
- Golder Associates Ltd. 2019. Mary River Project: 2017 Narwhal Tagging Study – Technical Data Report. Report No. 1663724-082-R-Rev0. Prepared by Golder Associates Ltd. for Baffinland Iron Mines Corporation. Golder Associates Ltd., Victoria, BC. 113 p. + appendices.
- Golder Associates Ltd. 2020a. Mary River Project: 2019 Marine Mammal Aerial Survey. Report No. 1663724-191-R-Rev0-22000. Prepared by Golder Associates Ltd. for Baffinland Iron Mines Corporation. Golder Associates Ltd., Victoria, BC. 98 p. + appendices.
- Golder Associates Ltd. 2020b. Mary River Project: 2017-2018 Integrated Narwhal Tagging Study – Technical Data Report. Report No. 1663724-188-R-Rev0-12000. Prepared by Golder Associates Ltd. for Baffinland Iron Mines Corporation. Golder Associates Ltd., Victoria, BC. 167 p. + appendices.
- Golder Associates Ltd. 2021. Mary River Project: 2020 Marine Mammal Aerial Survey. Report No. 1663724-270-R-Rev1-39000. Prepared by Golder Associates Ltd. for Baffinland Iron Mines Corporation. Golder Associates Ltd., Victoria, BC. 79 p. + appendices.
- Golder Associates Ltd. 2022. Mary River Project: 2021 Marine Mammal Aerial Survey. Report No. 1663724-353-R-Rev0-49000. Golder Associates Ltd., Victoria, BC. 109 p. + appendices.
- Gómez de Segura, A., Crespo, E.A., Pedraza, S.N., Hammond, P.S., and Raga, J.A. 2006. Abundance of small cetaceans in waters of the central Spanish Mediterranean. *Mar. Biol.* 150: 149–160.
- Gosselin, J.-F., Hammill, M.O., and Lesage, V. 2007. [Comparison of photographic and visual abundance indices of belugas in the St. Lawrence Estuary in 2003 and 2005](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2007/025. ii + 27.
- Gosselin, J.-F., Hammill, M.O., and Mosnier, A. 2014. [Summer abundance indices of St. Lawrence Estuary beluga \(*Delphinapterus leucas*\) from a photographic survey in 2009 and 28 line transect surveys from 2001 to 2009](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2014/021. iv + 51 p.
- Heide-Jørgensen, M.P., Hammeken, N., Dietz, R., Orr, J., and Richard, P.R. 2001. Surfacing times and dive rates for narwhals (*Monodon monoceros*) and belugas (*Delphinapterus leucas*). *Arctic*. 54: 284–298.

- Hamilton, O.N.P., Kincaid, S.E., Constantine, R., Kozmian-Ledward, L., Walker, C.G., and Fewster, R.M. 2018. Accounting for uncertainty in duplicate identification and group size judgements in mark-recapture distance sampling. *Methods Ecol. Evol.* 9: 354–362.
- Huber, H.R., Jeffries, S.J., Brown, R.F., Delong, R.L., and Vanblaricom, G. 2001. Correcting aerial survey counts of harbor seals (*Phoca vitulina richardsi*) in Washington and Oregon. *Mar. Mamm. Sci.* 17: 276–293.
- Laake, J.L., Calambokidis, J., Osmek, S.D., and Rugh, D.J. 1997. Probability of detecting harbor porpoise from aerial surveys: estimating $g(0)$. *J. Wildl. Manage.* 61: 63–75.
- Laake, J.L., Borchers, D., Thomas, L., Miller, D., and Bishop, J. 2018. Mrds: Mark-recapture distance sampling. R package version 2.2.0.
- Lesage, V., Wing, S., Zuur, A.F., Gosselin, J.-F., Mosnier, A., St-Pierre, A.P., Michaud, R., et Berteaux, D. 2024. [Des facteurs environnementaux et le comportement des bélugas de l'estuaire du Saint-Laurent génèrent de l'hétérogénéité dans les biais de disponibilités associés aux inventaires aériens photographiques et visuels](#). *Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech.* 2023/046. iv + 48 p.
- Lowry, L.F., Frost, K.J., Zerbini, A., DeMaster, D., and Reeves, R.R. 2008. Trend in aerial counts of beluga or white whales (*Delphinapterus leucas*) in Bristol Bay, Alaska, 1993-2005. *J. Cetacean Res. Manage.* 10: 201–207.
- Marcoux, M., Young, B.G., Asselin, N.C., Watt, C.A., Dunn, J.B., and Ferguson, S.H. 2016. [Estimate of Cumberland Sound beluga \(*Delphinapterus leucas*\) population size from the 2014 visual and photographic aerial survey](#). *DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc.* 2016/037. iv + 19 p. (Erratum: October 2016)
- NAMMCO-JCNB Joint Working Group. 2021. Report of the Joint Working Group Meeting of the NAMMCO Scientific Committee Working Group on the Population Status of Narwhal and Beluga in the North Atlantic and the Canada/Greenland Joint Commission on Conservation and Management of Narwhal and Beluga Scientific Working Group, December 2021, Winnipeg, Canada. North Atlantic Marine Mammal Commission, Tromsø, Norway. v + 40 p.
- Neves, K., and Amaral, O.B. 2020. Addressing selective reporting of experiments through predefined exclusion criteria. *eLife* 9: e56626.
- Pike, D.G., Gunnlaugsson, T., Sigurjónsson, J., and Víkingsson, G. 2020. Distribution and abundance of cetaceans in Icelandic waters over 30 years of aerial surveys. *NAMMCO Sci. Pub.* 11: 22 p.
- R Core Team. 2019. [R: A language and environment for statistical computing](#). R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (accessed January 2024).
- R Core Team, 2021. [R: A language and environment for statistical computing](#). R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. (accessed January 2024).
- Richard, P.R., Laake, J.L., Hobbs, R.C., Heide-Jørgensen, M.P., Asselin, N.C., and Cleator, H. 2010. Baffin Bay narwhal population distribution and numbers: aerial surveys in the Canadian High Arctic, 2002-2004. *Arctic.* 63: 85–99.
- Robertson, F.C., Koski, W.R., Brandon, J.R., Thomas, T.A., and Trites, A.W. 2015. Correction factors account for the availability of bowhead whales exposed to seismic operations in the Beaufort Sea. *J. Cetacean Res. Manage.* 15: 35–44.

- Shuert, C.R., Hussey, N.E., Marcoux, M., Heide-Jørgensen, M.P., Dietz, R., and Auger-Méthé, M. 2023. Divergent migration routes reveal contrasting energy-minimization strategies to deal with differing resource predictability. *Mov. Ecol.* 11: 31 p.
- Siebert, U., Gilles, A., Lucke, K., Ludwig, M., Benke, H., Kock, K.-H., and Scheidat, M. 2006. A decade of harbour porpoise occurrence in German waters—Analyses of aerial surveys, incidental sightings and strandings. *J. Sea Res.* 56: 65–80.
- Watt, C.A., Marcoux, M., Asselin, N.C., Orr, J.R. and Ferguson, S.H. 2015. [Instantaneous availability bias correction for calculating aerial survey abundance estimates for narwhal \(*Monodon monoceros*\) in the Canadian High Arctic](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2015/046. vi + 21.
- Watt, C.A., Marcoux, M., Hammill, M.O., Montsion, L., Hornby, C., Charry, B., Dunn, J.B., Ghazal, M., Hobbs, R., Lee, D.S., Mosnier, A., et Matthews, C.J.D. 2021. [Estimations de l'abondance et du total autorisé des captures débarquées, d'après le relevé aérien de 2017 de la population de béluga \(*Delphinapterus leucas*\) de la baie Cumberland](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2021/050. iv + 35 p.
- WSP Canada Inc. 2023. Mary River Project, 2022 Marine Mammal Aerial Survey Program. WSP Report No. 166372401-428-R-Rev0-59000. Prepared by WSP Canada Inc. for Baffinland Iron Mines Corporation. WSP Canada Inc., Calgary, AB. 110 p. + appendices.
- WSP Canada Inc. 2024. Mary River Project, 2023 Marine Mammal Aerial Survey Program. WSP Report No. 166372402-498-R-Rev0-78000. Prepared by WSP Canada Inc. for Baffinland Iron Mines Corporation. WSP Canada Inc., Calgary, AB. 111 p. + appendices.

CE RAPPORT EST DISPONIBLE AUPRÈS DU :

Centre des avis scientifiques (CAS)
Région de l'Arctique
Pêches et Océans Canada
501 University Crescent
Winnipeg, Manitoba
R3T 2N6

Courriel : DFO.CACSA-CASCA.MPO@dfo-mpo.gc.ca

Adresse Internet : www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/

ISSN 1919-3815

ISBN 978-0-660-78761-9 N° cat. Fs70-7/2025-029F-PDF

© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre du
ministère des Pêches et des Océans, 2025

Ce rapport est publié sous la [Licence du gouvernement ouvert – Canada](#)



La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2025. Examen scientifique des relevés sur le narval (*Monodon monoceros*) menés par Golder et WSP de 2019 à 2023 aux fins d'utilisation dans les évaluations des stocks de poissons. Secr. can. des avis sci. du MPO. Rép. des Sci. 2025/029.

Also available in English:

DFO. 2025. *Science Review of Narwhal (Monodon monoceros) Surveys Conducted by Golder-WSP in 2019–2023 for use in Fisheries Stock Assessments.* DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Resp. 2025/029.