



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS)

Document de recherche 2019/029

Région du Centre et de l'Arctique

Évaluation des données du relevé aérien visuel de LGL pour l'estimation de l'abondance des narvals dans le détroit d'Eclipse durant la période des eaux libres de 2013 à 2015

**Cory J.D. Matthews, Claire A. Hornby,
Steven H. Ferguson, and Marianne Marcoux**

Freshwater Institute
Pêches et Océans Canada
501 University Crescent
Winnipeg, MB, R3T 2N6

Avant-propos

La présente série documente les fondements scientifiques des évaluations des ressources et des écosystèmes aquatiques du Canada. Elle traite des problèmes courants selon les échéanciers dictés. Les documents qu'elle contient ne doivent pas être considérés comme des énoncés définitifs sur les sujets traités, mais plutôt comme des rapports d'étape sur les études en cours.

Publié par :

Pêches et Océans Canada
Secrétariat canadien de consultation scientifique
200, rue Kent
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

[http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/
csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca](http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca)



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2019
ISSN 2292-4272

La présente publication doit être citée comme suit :

Matthews, C.J.D., Hornby, C.A., Ferguson, S.H., et Marcoux, M. 2019. Évaluation des données du relevé aérien visuel de LGL pour l'estimation de l'abondance des narvals dans le détroit d'Eclipse durant la période des eaux libres de 2013 à 2015. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech. 2019/029. iv + 25 p.

Also available in English :

Matthews, C.J.D., Hornby, C.A., Ferguson, S.H., and Marcoux, M. 2019. Evaluation of LGL visual aerial survey data for estimating narwhal abundance in Eclipse Sound during the open water season 2013–2015. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2019/029. iv + 23 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	iv
INTRODUCTION	1
MÉTHODES	2
ZONE ET CONCEPTION DU RELEVÉ	2
PROTOCOLE DU RELEVÉ	2
ANALYSE DES DONNÉES	3
Évaluation des relevés	3
Strates autres que les fjords	3
Strates de fjords	5
Estimations de l'abondance	6
RÉSULTATS	6
FONCTION DE DÉTECTION	6
ESTIMATIONS DE L'ABONDANCE	7
DISCUSSION	7
CONCLUSION	9
REMERCIEMENTS	9
RÉFÉRENCES CITÉES	9
TABLEAUX ET FIGURES	12

RÉSUMÉ

Le stock de narval (*Monodon monoceros*) du détroit d'Eclipse est l'un des regroupements estivaux de la population de la baie de Baffin. La Baffinland Iron Mines Corporation a retenu les services de LGL Environmental Research Associates pour effectuer des relevés aériens des narvals dans le détroit d'Eclipse pendant la saison des eaux libres (du début août à la mi-octobre) de 2013 à 2015 afin d'évaluer les impacts du transport maritime lié au projet de Mary River sur leur répartition. Baffinland a fourni au MPO les données du relevé aérien sur trois ans afin d'évaluer l'abondance du stock de narval du détroit d'Eclipse. La couverture spatio-temporelle des relevés variait d'une année à l'autre, et seuls les relevés de 2014 couvraient toute l'aire de répartition des narvals du détroit d'Eclipse entre le début et la fin août, période pendant laquelle on suppose que les narvals résident dans leur aire de répartition estivale. Les données de 2013, en particulier, excluaient certaines parties de l'aire d'estivage du narval du détroit d'Eclipse pendant la période d'occupation de pointe, et n'ont donc pas été analysées. Les histogrammes du nombre de détections avec distance perpendiculaire ont révélé qu'un grand nombre de détections n'ont pas été relevées à l'intérieur de la bande photographique définie pendant toutes les années de relevé. Bien que l'échantillonnage avec mesure des distances puisse expliquer de telles diminutions dans les détections à mesure que la distance par rapport au tracé du relevé augmente, la proportion élevée d'observations ne comportant pas de distances perpendiculaires a posé des problèmes pour cette analyse. En particulier, il n'a pas été possible d'évaluer les hypothèses selon lesquelles les distances manquantes n'étaient pas présentes sur le tracé du relevé ou l'étaient de façon aléatoire par rapport à la distance perpendiculaire. Parmi les autres limites, mentionnons les transects uniques le long de la ligne médiane des strates des fjords, qui ne respectaient pas les hypothèses d'échantillonnage par distance et ne couvraient pas une gamme suffisante de valeurs des covariables pour estimer l'abondance à l'aide de la modélisation de surface de densité. La validité des estimations de l'abondance pour le calcul des quotas de chasse est donc incertaine. Toutefois, les estimations pourraient servir d'indices de l'abondance relative tout au long de la période de relevé et d'une année à l'autre pour les zones qui ont fait régulièrement l'objet de relevés.

INTRODUCTION

Comptant environ 140 000 individus, la population de narvals de la baie de Baffin (*Monodon monoceros*) est la plus importante des deux populations du Canada (Doniol-Valcroze *et al.* 2015a). L'été, le narval de la baie de Baffin est présent dans les fjords et les bras de mer du nord-est du Canada et de l'ouest du Groenland, les individus se montrant généralement fidèles à une région donnée pendant la période suivant la mise bas (Dietz *et al.* 2001, Heide-Jørgensen *et al.* 2002, Heide-Jørgensen *et al.* 2003, Dietz *et al.* 2008, Watt *et al.* 2012). Ces regroupements régionaux estivaux forment la base de stocks gérés de façon indépendante au Canada et au Groenland, où les narvals font l'objet de chasses de subsistance. Dans les eaux canadiennes, il existe quatre stocks définis de narvals de la baie de Baffin, soit celui de l'île Somerset, celui de l'inlet de l'Amirauté, celui du détroit d'Eclipse et celui de l'est de l'île de Baffin, ainsi que deux stocks présumés, à savoir ceux du détroit de Smith et du détroit de Jones (Richard 2010).

Pêches et Océans Canada (MPO) a effectué des relevés du stock de narval du détroit d'Eclipse en 2004 et 2013, qui ont donné des estimations de l'abondance de 20 225 animaux (coefficient de variation [CV] = 0,36) et de 10 489 (CV = 0,24) respectivement (Richard *et al.* 2010, Doniol-Valcroze *et al.* 2015a). En revanche, l'estimation du stock voisin de l'inlet de l'Amirauté (35 043 individus; CV = 0,42; Doniol-Valcroze *et al.* 2015a) en 2013 était plus élevée que la précédente, qui remontait à 2010 (18 049; CV = 0,23; Asselin et Richard 2011), ce qui a soulevé des questions sur le mélange des animaux entre les deux stocks estivaux voisins (Doniol-Valcroze *et al.* 2015a). Les preuves à l'appui n'ont pas été concluantes parce que, bien que la plupart des narvals marqués dans le secteur du détroit d'Eclipse demeurent habituellement dans la région tout au long de l'été et y reviennent après avoir hiverné dans la baie de Baffin (Dietz *et al.* 2001, Heide-Jørgensen *et al.* 2002, Watt *et al.* 2012), Watt *et al.* (2012) ont signalé qu'un narval marqué dans le détroit de Tremblay en 2010 a passé l'été dans l'inlet de l'Amirauté en 2011, et que près de la moitié des narvals marqués dans le détroit d'Eclipse en 2009 et 2010 avaient quitté la région à la fin août pour se rendre dans des zones occupées par les stocks de l'inlet de l'Amirauté et de l'île Somerset, plus à l'ouest.

D'autres estimations de l'abondance des narvals du détroit d'Eclipse sont nécessaires pour évaluer la variation interannuelle de l'abondance et pour fournir des données supplémentaires en vue de modéliser la trajectoire de l'abondance du stock (Witting 2015, Watt *et al.* 2019). À cette fin, le MPO a effectué un troisième relevé aérien du stock en août 2016, qui a donné une estimation de l'abondance de 12 039 individus (CV = 0,23; Marcoux *et al.* 2019). Le MPO a également reçu les données de relevés aériens qui ont été recueillies par la société d'experts-conseils en environnement LGL Environmental Research Associates en 2013, 2014 et 2015. LGL a été embauchée par la société minière Baffinland Iron Mines Corporation pour évaluer les impacts potentiels du transport du minerai de fer provenant du projet de Mary River de Baffinland sur les narvals de la région. Des relevés aériens ont été effectués en 2013 et 2014 principalement pour recueillir des données de référence avant le début de la navigation opérationnelle en 2015, alors que les efforts de recherche étaient axés sur la documentation des impacts potentiels sur les narvals (Thomas *et al.* 2015a). Même si les relevés visaient à déceler des changements dans la répartition spatio-temporelle globale des narvals en réponse à l'intense trafic maritime, ils ont été effectués selon des protocoles similaires et couvraient une zone semblable à celle des relevés du MPO conçus pour évaluer l'abondance.

La série chronologique des données de relevé sur trois années consécutives (dont deux n'ont pas fait l'objet d'un relevé par le MPO) pourrait être utile pour modéliser les tendances de l'abondance du narval du détroit d'Eclipse (Witting 2015, Watt *et al.* 2019) et faire progresser les efforts du MPO pour gérer ce stock selon le cadre de l'approche de précaution (Stenson et

Hammill 2008, Stenson *et al.* 2012). Nous évaluons ici si la couverture spatio-temporelle et la qualité des données des relevés de LGL peuvent être utilisées pour obtenir des estimations de l'abondance comparables à celles des relevés du MPO.

MÉTHODES

ZONE ET CONCEPTION DU RELEVÉ

Des relevés aériens ont été effectués environ toutes les deux semaines pendant une bonne partie de la saison des eaux libres (du début août à la mi-septembre ou plus tard) et ont couvert la plupart, sinon la totalité, de l'aire de répartition estivale des narvals dans le détroit d'Eclipse. Les détails des relevés aériens de 2013, 2014 et 2015, qui diffèrent quelque peu dans leur calendrier et leur couverture spatiale, sont présentés dans Elliott *et al.* (2015), Thomas *et al.* (2015a) et Thomas *et al.* (2015b), respectivement.

En 2013, huit relevés ont été menés du 31 août au 18 octobre. Deux ont été effectués des jours consécutifs toutes les deux semaines environ (tableau 1). Les quatre premiers, qui ont eu lieu à la fin d'août et à la mi-septembre, portaient sur l'inlet Navy Board, le tiers occidental du détroit d'Eclipse, l'inlet Milne et le détroit de Tremblay (figure 1). La couverture des cinquième et sixième relevés a été étendue vers l'est pour inclure le reste du détroit d'Eclipse (fin septembre). Le septième relevé a couvert toute la région, y compris l'inlet Pond, à la mi-octobre (figure 1). La couverture spatiale du dernier (huitième) relevé effectué les deux jours suivants était semblable, mais omettait la baie de Koluktoo et le détroit de Tremblay (tableau 1). Les relevés dans l'inlet Navy Board, le détroit d'Eclipse, l'inlet Milne, la baie de Koluktoo et l'inlet Pond ont suivi des transects systématiques, tandis que le détroit Tremblay a fait l'objet d'un seul transect non linéaire exécuté au milieu du détroit.

En 2014, 12 relevés ont été réalisés du début août à la fin octobre. Comme en 2013, deux ont eu lieu à peu près toutes les deux semaines sur des jours consécutifs, ce qui a donné six périodes de relevé (tableau 1). Le premier relevé de chaque période de deux semaines couvrait toute l'aire d'estivage des narvals du détroit d'Eclipse, y compris les fjords du sud du détroit d'Eclipse (figure 1). Les fjords ont été omis dans le relevé du deuxième jour de chaque paire de relevés effectués des jours consécutifs.

En 2015, les relevés ont été menés seulement une fois toutes les deux semaines, du 1^{er} août au 17 septembre (tableau 1). Comme en 2014, le relevé a été effectué dans le détroit d'Eclipse, l'inlet Milne, la baie de Koluktoo et l'inlet Pond selon des transects systématiques (figure 1), et dans le détroit de Tremblay selon un transect non linéaire au centre du détroit (figure 1). Les strates de l'inlet Navy Board et des fjords ont été exclues de tous les relevés en 2015.

PROTOCOLE DU RELEVÉ

Les relevés ont été effectués à l'aide du même modèle d'aéronef et des mêmes paramètres de vol pendant les trois années (Elliott *et al.* 2015, Thomas *et al.* 2015a, b). Un Twin Otter DeHavilland DHC-6 de la série 300, équipé de quatre fenêtres concaves et d'un hublot ventral de prise de vue en verre à l'arrière de l'avion, a survolé la zone à une altitude de 1 000 pieds (305 m) au-dessus du niveau de la mer à une vitesse sol de 120 nœuds (222 km/h). Les relevés ont été effectués à l'aide d'un modèle d'observateur à deux plateformes avec quatre observateurs assis à des fenêtres concaves, deux de chaque côté de l'aéronef. Toutefois, seules les données des observateurs principaux à l'avant de l'avion ont été fournies au MPO. Les observateurs ont enregistré la taille des groupes de narvals dans une bande de ~1 000 m qui s'étendait de 135,7 m à 1 137,9 m de l'avion, bien qu'ils aient également cherché à repérer des narvals au-delà de la bande définie, à un niveau d'effort réduit, lorsqu'aucun animal n'était

observé près de l'aéronef (Elliott *et al.* 2015). L'angle de déclinaison perpendiculaire à chaque observation a été mesuré à l'aide d'un clinomètre, bien que les observateurs ne l'aient pas fait lorsque les fortes densités de narvals dépassaient leur capacité à enregistrer la taille du groupe et à mesurer les angles (Elliott *et al.* 2015). Les deux observateurs principaux ont également consigné la couverture de glace, le type de glace, l'état de la mer (échelle de Beaufort), la « détectabilité » et l'éblouissement solaire toutes les 2 minutes sur le transect, et chaque fois que des changements notables dans ces conditions sont survenus. Les données de vol (latitude, longitude et altitude) ont été enregistrées continuellement à intervalles d'une seconde par un récepteur GPS Garmin connecté à un ordinateur portable à bord de l'avion.

ANALYSE DES DONNÉES

Évaluation des relevés

Les premières évaluations de la couverture temporelle et spatiale des relevés de LGL ont conduit à exclure les données de 2013 de la suite de l'analyse, car la couverture spatiale était incomplète. Les seuls relevés couvrant toute la région en 2013 ont été effectués à la mi-octobre, après que les narvals du détroit d'Eclipse (et les stocks plus à l'ouest qui peuvent traverser le détroit d'Eclipse) ont commencé leur migration vers l'est vers la baie de Baffin (Watt *et al.* 2012). Par conséquent, les relevés de 2013 ne fourniraient pas des estimations de l'abondance comparables à celles des relevés antérieurs du MPO effectués entre le début et la mi-août, et n'ont pas été pris en compte plus avant.

En 2014, la couverture spatiale du relevé était largement semblable à celle des relevés du MPO, et les quatre premiers relevés ont eu lieu entre le début et la mi-août, c'est-à-dire au moment où le MPO effectue ses relevés (selon le moment où le stock de narval du détroit d'Eclipse occupe son aire d'estivage; Watt *et al.* 2012). Bien que le relevé de 2015 ait omis les strates de l'inlet Navy Board et du fjord oriental, ces strates n'abritaient pas ou peu de narvals dans les relevés précédents (Doniol-Valcroze *et al.* 2015a) ou subséquents (Marcoux *et al.* 2019). Compte tenu de cette mise en garde, l'évaluation des données des relevés de 2014 et de 2015 a été approfondie afin d'estimer l'abondance.

Strates autres que les fjords

Bien que les relevés aient été effectués à l'aide d'un plan en bandes, l'examen initial des données a clairement montré que des détections avaient été ratées sur la largeur de la bande (voir la section « Résultats »). Les données des relevés de 2014 et 2015 ont donc été traitées comme un plan de transect linéaire, ce qui permet de réduire la probabilité de détection à mesure que la distance par rapport au transect augmente (Buckland *et al.* 2001, 2004). Les données ont été analysées à l'aide d'un échantillonnage avec mesure des distances, qui modélise la probabilité de détection en fonction de la distance par rapport à une ligne (ou à un point) pour estimer la demi-largeur effective de la bande (ESHW; voir Thomas *et al.* 2010), qui est utilisée pour estimer la densité ($\hat{D}$) selon la formule :

$$\hat{D} = \frac{n \cdot \hat{E}(s)}{2 * L * ESHW}$$

avec l'écart déterminé à l'aide de l'équation suivante :

$$ar(\hat{D}) = \hat{D}^2 \times \left\{ \frac{var(n)}{n^2} + \frac{var(ESHW)}{ESHW^2} + \frac{var(\hat{E}(s))}{\hat{E}(s)^2} \right\}$$

où n est le nombre de groupes détectés, $\hat{E}(s)$ est la taille prévue du groupe et L est la longueur totale du transect constituant le relevé (Buckland *et al.* 2001). On peut alors estimer l'abondance ($\hat{N}$) comme suit :

$$\hat{N} = \hat{D} * A$$

où A est la superficie du relevé.

Les données des relevés de 2014 et 2015 ont révélé un nombre exceptionnellement élevé de détections pour lesquelles il manquait les mesures de l'angle de déclinaison (57 % et 53 % de toutes les observations en 2014 et 2015, respectivement) nécessaires pour calculer les distances perpendiculaires, ce qui a posé un problème pour l'analyse par échantillonnage avec mesure des distances qui est habituellement effectuée selon l'une de deux approches. La plus prudente des deux est d'exclure simplement de l'analyse toutes les détections pour lesquelles il manque des distances, car l'échantillonnage avec mesure des distances produit des estimations non biaisées à condition que les détections omises ne soient pas à distance nulle (Thomas *et al.* 2010). Toutefois, cette approche exclut les données qui, autrement, contribueraient à l'estimation du taux de rencontre et de la taille des groupes et, dans ce cas particulier, éliminerait la majorité des données du relevé. La seconde approche, qui a été utilisée dans des analyses antérieures des relevés du MPO (bien que dans des cas où il manquait moins de données sur les distances), consiste à ajuster la fonction de détection aux observations comportant des distances pour estimer la probabilité moyenne de détection, qui est ensuite appliquée dans une analyse de tout l'ensemble de données pour estimer la taille des groupes et le taux de rencontre (Doniol-Valcroze *et al.* 2015a, Matthews *et al.* 2017).

L'hypothèse principale de l'échantillonnage avec mesure des distances est que tous les objets sur le tracé du relevé sont détectés (Buckland *et al.* 2001, Laake et Borchers 2004). L'échec de cette hypothèse se produit habituellement dans les relevés aériens parce que la zone sous l'avion peut être cachée à la vue et que les objets plus près du tracé du relevé semblent passer plus vite que ceux qui sont plus éloignés (Becker et Quang 2009). Les histogrammes des détections avec distance perpendiculaire montrent que les relevés de LGL ont clairement raté des observations sur le tracé du relevé (voir la section « Résultats »), ce qui reflète probablement le protocole de relevé visant à se concentrer sur un décalage de la bande par rapport au tracé (tel que décrit dans Elliott *et al.* 2015). Pour satisfaire à l'hypothèse de la probabilité de détection à distance nulle égale à 1 ($g(0) = 1$), les données des relevés aériens sont généralement tronquées à gauche, ce qui a pour effet de décaler le tracé du relevé vers la distance perpendiculaire où les détections maximales ont été effectuées. Toutefois, la troncature des données pose un problème pour l'inclusion des observations pour lesquelles il manque des distances afin d'estimer la densité une fois que la fonction de détection a été ajustée, car on ne peut présumer qu'elles se sont produites dans la plage des données tronquées. Nous avons donc opté pour ajuster les fonctions de détection gamma qui, à la différence des fonctions clés semi-normale et du taux de probabilité, qui ont une probabilité de détection de 1 à distance nulle, ne sont pas en ogive avec une probabilité de détection de 0 à distance nulle (Becker et Quang 2009). Les fonctions de détection ont été ajustées à l'ensemble des distances perpendiculaires non regroupées tirées de toutes les strates étudiées une année donnée, car bon nombre des relevés individuels ne comportaient pas un nombre suffisant d'observations pour que les fonctions de détection soient ajustées séparément. Les données ont été tronquées à droite à 1 000 m, et les observations pour lesquelles il manquait des distances perpendiculaires ont été exclues avant l'ajustement du modèle à l'aide des moteurs d'échantillonnage classique avec mesure des distances (CDS) et d'échantillonnage avec mesure des distances à covariables multiples (MCDS) au moyen du progiciel mrds 2.1.14 (Laake *et al.* 2015) du logiciel statistique R, version 3.1.3 (2015). L'échantillonnage avec mesure des distances à covariables multiples (MCDS) permet d'inclure des covariables

supplémentaires qui peuvent influencer l'échelle de la fonction de détection. Les covariables, y compris l'observateur, l'état de la mer de Beaufort, l'éblouissement solaire et la « détectabilité », qui était une évaluation subjective des conditions générales, ont été modélisées individuellement et en combinaison. Les covariables potentiellement apparentées (p. ex., la détectabilité et l'éblouissement ou l'état de la mer de Beaufort) n'ont pas été incluses dans le même modèle. Les modèles les mieux adaptés ont été évalués selon le critère d'information d'Akaike (CIA).

Pour les estimations finales de la densité (et de l'abondance), la probabilité moyenne de détection (p) et son ET à partir du modèle le mieux adapté ont été entrés comme multiplicateurs dans une analyse finale à l'aide du logiciel Distance 7.1 (Thomas *et al.* 2010) qui appliquait une fonction uniforme, sans expansion, à toutes les données d'observation. Nous avons supposé que toutes les observations dont les distances perpendiculaires manquaient se situaient à l'intérieur de la plage tronquée (0-1 000 m) puisqu'il y avait très peu de détections avec des distances perpendiculaires mesurées de plus de 1 000 m. Les estimations de la densité, de la taille des groupes et du taux de rencontre ont été calculées au niveau de la strate. La taille moyenne des groupes a été utilisée dans les estimations de la densité, puisque les régressions de la taille des groupes par rapport à la probabilité de détection (en utilisant uniquement des observations avec distances perpendiculaires) ont montré qu'il n'y avait aucun biais dans la taille des groupes par rapport à la distance perpendiculaire (Buckland *et al.* 2001). Le taux de rencontre et sa variance ont été estimés à l'aide d'un plan de stratification a posteriori (estimateur de variance « S2 »), dont il a été démontré qu'il réduit le biais dans l'estimation de la variance pour les plans systématiques (Fewster *et al.* 2009).

Strates de fjords

Les relevés des strates du détroit de Tremblay et des autres strates de fjords ont été effectués selon des transects simples et non linéaires qui suivaient généralement le milieu de chaque strate. Ce plan enfreint plusieurs hypothèses de l'échantillonnage avec mesure des distances (p. ex., la probabilité de couverture inégale), et des parties étroites de la strate peuvent influencer la fonction de détection lorsque les côtes tronquent la distance d'observation (Doniol-Valcroze *et al.* 2015b). C'est pourquoi les transects non linéaires dans les strates de fjords ont été analysés à l'aide de l'échantillonnage avec mesure des distances à covariables multiples (MCDS) et de la modélisation de la surface de densité (DSM; Miller *et al.* 2013a, Doniol-Valcroze *et al.* 2015a, b). La baie de Koluktoo, qui a fait l'objet d'un relevé au moyen de transects systématiques en dents de scie, a été analysée au moyen de l'analyse de distance décrite précédemment. La DSM modélise les données de transects linéaires en appliquant une approche linéaire généralisée et fournit des estimations spatialement explicites de l'abondance des animaux à partir de l'échantillonnage avec mesure des distances, de la présence/absence ou de méthodes de terrain par transects en bandes (Miller *et al.* 2013a). Cette méthode va au-delà de l'échantillonnage classique avec mesure des distances en tenant compte des covariables environnementales comme la profondeur, et peut modéliser les effets des covariables sur les données de comptage, améliorant ainsi l'interprétation des résultats. Reprenant la même approche que celle utilisée par Doniol-Valcroze *et al.* (2015b) pour estimer l'abondance des narvals dans les strates de fjords étudiées par le MPO en 2013, nous avons estimé la probabilité de détection/demi-largeur effective de la bande (ESHW) des transects des fjords en ajustant une fonction de détection gamma qui incorporait les covariables de l'observateur, de la détectabilité et de l'état de la mer Beaufort aux données des relevés regroupées par année. Les observations le long des transects ont été résumées en segments d'un kilomètre de long. Des modèles additifs généralisés (MAG; Wood 2006) ont ensuite été construits à l'aide des comptages par segment comme variable de réponse (les surfaces des segments étant corrigées pour tenir compte de la détectabilité), ainsi qu'à l'aide de la distance

jusqu'à la côte et de la distance jusqu'à l'embouchure du fjord comme variables explicatives (Doniol-Valcroze *et al.* 2015b). Les analyses de DSM ont été effectuées à l'aide du progiciel « dsm » version 2.2.15 (Miller *et al.* 2013b) du logiciel statistique R, version 3.1.3 (R Core Team 2015). L'échantillonnage MCDS a également été effectué de la façon décrite précédemment pour les strates autres que les fjords à l'aide des probabilités de détection moyennes des fonctions gamma ajustées séparément aux observations ne concernant pas les fjords.

Estimations de l'abondance

L'abondance en surface a été estimée pour chaque strate de chaque relevé. Ces estimations ont été ajustées pour tenir compte du biais de disponibilité, qui fait référence à la proportion d'animaux qui étaient submergés à des profondeurs non observables pendant le relevé (Marsh et Sinclair 1989), en utilisant des facteurs de correction déterminés à partir des profils de plongée des narvals du détroit d'Eclipse et de l'inlet de l'Amirauté qui ont été marqués et suivis par satellite de 2009 à 2012 (Watt *et al.* 2015). Le facteur de correction pour la classe de 0-2 m, $3,18 \pm 0,107$ (Watt *et al.* 2015), a été appliqué à toutes les strates d'après une étude ayant montré que les observateurs ne pouvaient pas détecter des modèles en forme de narval à des profondeurs de plus de 2 m (Richard *et al.* 1994). Le biais de perception, qui fait référence aux animaux qui étaient disponibles pour la détection mais qui n'ont pas été détectés, n'a pu être estimé à l'aide de l'échantillonnage avec mesure des distances par marquage-recapture (MRDS) parce que seules les données des observateurs placés à l'avant de l'avion ont été fournies au MPO. L'abondance des narvals pour chaque relevé a été estimée en additionnant les estimations corrigées en fonction des biais de surface et de disponibilité (et leurs variances associées) des différentes strates. Les intervalles de confiance à 95 % ont été calculés en supposant une distribution log-normale (Buckland 2001).

RÉSULTATS

FONCTION DE DÉTECTION

Les histogrammes de la distribution des distances perpendiculaires des transects en ligne droite à partir des strates autres que les fjords indiquent que le plus grand nombre de détections a eu lieu autour de 200-300 m en 2014 et 2015, et que les fonctions de détection gamma étaient correctement ajustées (figure 2). Les covariables « observateur » et « détectabilité » ont été incluses dans le modèle le mieux adapté pour l'ensemble des données de relevé de 2014, avec une probabilité de détection moyenne de 0,362 (erreur-type [ET] = 0,013) et une demi-largeur effective de la bande (ESHW) de 361,9 m. Le modèle CDS (avec la distance perpendiculaire comme seule covariable) était le modèle le mieux adapté pour l'ensemble des données de 2015, avec une probabilité de détection moyenne de 0,403 (ET = 0,031) et une ESHW de 403,1 m (tableau 2).

Les histogrammes pour les strates du détroit de Tremblay et les autres strates de fjords différaient de ceux des strates autres que des fjords, ainsi qu'entre les deux années (figure 3). La covariable « observateur » a été incluse dans le modèle le mieux adapté pour l'ensemble des données de relevé de 2014, avec une probabilité de détection moyenne de 0,505 (ET = 0,0559) et une ESHW de 505,3 m. Le réajustement de la fonction de détection avec une troncature à droite des données à 800 m, où un plus petit pic de détection s'est produit, a donné peu de changement, avec une probabilité de détection moyenne de 0,510 (ET = 0,161) et une ESHW de 509,8 m. Le modèle MCDS avec la covariable « détectabilité » était le modèle le mieux adapté pour l'ensemble des données de 2015, avec une probabilité de détection moyenne de 0,422 (ET = 0,0289) et une (demi-)largeur effective de bande de 275,8 m

(tableau 3). La ESHW réduite en 2015 n'était pas attribuable au fait que la fonction de 2014 comprenait des strates de fjords qui n'avaient pas fait l'objet d'un relevé en 2015 parce que toutes les distances perpendiculaires utilisées pour ajuster la fonction de détection de 2014, sauf une, provenaient du détroit de Tremblay.

ESTIMATIONS DE L'ABONDANCE

Les estimations de l'abondance en surface différaient grandement d'une strate à l'autre, entre les relevés effectués des jours consécutifs, tout au long de la période de relevé et entre les années de relevé (tableau 4, figure 4). La variance du taux de rencontre (voir le tableau 5) a contribué à > 90 % à la variance globale estimée, tandis que la variance de la taille des groupes et la probabilité de détection étaient des composantes négligeables de la variance globale. Les modèles de surface de densité ont produit de mauvais ajustements pour les données d'observation et des estimations d'abondance aberrantes pour les strates des fjords, qui reflétaient probablement la couverture spatiale et les détections éparses dans le relevé des fjords (données non illustrées). Toutes les estimations subséquentes de l'abondance ont été calculées à l'aide d'un échantillonnage avec mesure des distances, qui équivaut aux modèles naïfs utilisés par Doniol-Valcroze *et al.* (2015b) lorsque les modèles de surface de densité donnaient des résultats aussi médiocres. Il est à noter que cela a empêché l'intégration de la variance du taux de rencontre dans les estimations de variance connexes, qui sont donc faibles par rapport aux autres strates (tableaux 5 et 6). Les estimations de l'abondance totale corrigée en fonction du biais de disponibilité pour l'ensemble des strates allaient de 2 296 à 40 074 narvals en 2014 et de 3 603 à 13 200 en 2015 (tableau 7, figure 4).

Les changements généraux dans l'abondance entre les strates reflètent probablement des changements dans le nombre ou la répartition des narvals dans l'ensemble de la zone du relevé. Par exemple, en 2014, le nombre de narvals était plus élevé au début et à la fin de la saison des eaux libres dans l'inlet Pond et le détroit d'Eclipse que pendant la saison, tandis que les strates de l'inlet Milne, de la baie de Koluktoo et du détroit de Tremblay affichaient la tendance inverse (tableau 6). Bien que les relevés de 2015 ne se soient pas prolongés aussi loin dans la saison qu'en 2014, la même tendance générale s'est dégagée dans les strates du détroit d'Eclipse, de l'inlet Milne et du détroit de Tremblay (tableau 6). Il n'y avait pas, ou très peu, de narvals dans les strates de l'inlet Navy Board (relevées seulement en 2014) jusqu'à la mi-septembre ou au début octobre.

DISCUSSION

Même si, à l'origine, les données du relevé de LGL ont été recueillies à des fins autres que pour estimer l'abondance, elles peuvent constituer un ajout très utile à la série chronologique des estimations de l'abondance du narval dans le détroit d'Eclipse nécessaires pour modéliser l'abondance et la trajectoire du stock (Witting 2015, Watt *et al.* 2019). Les estimations publiées de l'abondance des narvals du détroit d'Eclipse ne comprennent que deux années (2004 et 2013), un nombre de points de données insuffisant pour bien comprendre les tendances. L'objectif du MPO dans le cadre de son approche de précaution (Stenson et Hammill 2008, Stenson *et al.* 2012) est de recueillir les données nécessaires pour élaborer des modèles de population pour les stocks de mammifères marins qui sont actuellement considérés comme étant peu documentés et qui sont gérés sur la base du prélèvement biologique potentiel (PBP). Selon l'approche fondée sur les modèles, les avis sur les prises devraient plutôt être fondés sur les tendances à long terme de la population, tirées des séries chronologiques des estimations de l'abondance et des prélèvements. Malheureusement, les estimations de l'abondance dérivées des données des relevés de LGL ont été jugées inappropriées pour prolonger la série chronologique des relevés du MPO en raison de la forte proportion de données pour lesquelles

il manque des distances perpendiculaires. Il est impossible de déterminer si les détections pour lesquelles il manquait la distance perpendiculaire par rapport au tracé du relevé étaient distribuées aléatoirement sur le plan de la distance perpendiculaire, ou si elles étaient biaisées d'une façon ou d'une autre. Les distances manquaient surtout lorsque les regroupements très denses de narvals dépassaient la capacité des observateurs à mesurer les angles de déclinaison (Elliott *et al.* 2015, Thomas *et al.* 2015a, b) nécessaires pour calculer les distances perpendiculaires. Puisque les objets plus proches de l'avion passent plus rapidement dans le champ de vision de l'observateur que ceux qui sont plus éloignés, il se peut que les distances manquantes se soient produites plus fréquemment plus près du tracé du relevé.

Il est pratique courante de modéliser les fonctions de détection globale à partir de données regroupées tirées de relevés menés à l'aide du même aéronef et des mêmes observateurs dans des conditions similaires (p. ex., Doniol-Valcroze *et al.* 2015a, Matthews *et al.* 2017), comme nous l'avons fait ici. Une autre option consiste à ajuster les fonctions de détection aux données d'observation de chaque relevé. Les distances perpendiculaires manquent pour moins de 10 % des observations des relevés effectués le 1^{er} ou le 2 août en 2014 et 2015 (tableau 1), ce qui est semblable aux relevés précédents du MPO (p. ex., Matthews *et al.* 2017). Cependant, ces deux relevés ont été réalisés plus tôt que les relevés précédents du MPO, qui ont eu lieu les 18 et 19 août 2013 (Doniol-Valcroze *et al.* 2015) et du 7 au 21 août en 2016 (Marcoux *et al.* 2019). Les estimations dérivées des données de LGL sont plus élevées plus tard en août, ce qui donne à penser que les relevés menés au début du mois ont exclu une partie du stock. D'autres relevés dans lesquels il manque moins de données de distance ont également eu lieu tard dans la saison (tableau 1), mais bien après que les narvals ont commencé à quitter le détroit d'Eclipse (et peut-être à pénétrer dans le détroit d'Eclipse pour des stocks plus à l'ouest). Un autre facteur à prendre en compte pour l'ajustement des fonctions de détection au nombre relativement faible d'observations pour les différents relevés, est que la taille de l'échantillon ne conviendrait probablement pas pour modéliser les covariables qui ont un impact significatif sur la probabilité de détection dans notre analyse des données regroupées.

En plus des distances perpendiculaires manquantes, les transects à ligne centrale unique des strates de fjords ne satisfont pas à l'hypothèse de probabilité égale de détection de l'échantillonnage avec mesure des distances (Thomas *et al.* 2002). La modélisation de la surface de densité s'est avérée une mauvaise option, car les modèles prédisaient mal la densité et l'abondance des narvals. Les modèles de surface de densité nécessitent de grandes quantités de données spatialement référencées qui couvrent une gamme suffisante de valeurs des covariables modélisées. Avec un seul transect et souvent peu de détections, les données étaient insuffisantes pour alimenter les modèles. En particulier, les transects suivant le centre des fjords étaient équidistants par rapport à la côte et n'ont donc pas échantillonné une plage de la covariable « distance jusqu'à la côte ». En revanche, Doniol-Valcroze *et al.* (2015b) et Marcoux *et al.* (2019) ont utilisé avec succès des modèles de surface de densité pour estimer les densités de narvals dans les mêmes fjords, mais leur analyse reposait sur plusieurs transects de chaque fiord. Les comparaisons des estimations de l'abondance dans les strates de fjords dérivées de l'échantillonnage classique avec mesure des distances et de la DSM indiquent que les deux diffèrent, l'échantillonnage avec mesure des distances produisant des estimations plus élevées dans des analyses récentes de l'abondance des narvals (Doniol-Valcroze *et al.* 2015b, Marcoux *et al.* 2019). Par conséquent, l'analyse de l'échantillonnage avec mesure des distances peut avoir produit des estimations de l'abondance des narvals biaisées positivement dans le détroit de Tremblay et le fiord F6, ce qui aurait ensuite biaisé les estimations totales (particulièrement pour les relevés dans lesquels les dénombrements étaient élevés). Cela dit, il est néanmoins intéressant de noter que la plupart

des relevés ont donné des estimations comparables ou inférieures à celles tirées des relevés de narvals du détroit d'Eclipse réalisés par le MPO.

Pour les raisons expliquées précédemment, nous recommandons de ne pas utiliser les estimations de l'abondance dérivées des données des relevés de LGL pour élaborer des avis de gestion. Cependant, à condition que les biais soient cohérents entre les estimations des relevés, les estimations produites ici peuvent être utiles comme indices de la variation relative de l'abondance des narvals entre les répétitions et tout au long de la saison des eaux libres. Les séries chronologiques des estimations des relevés effectués à peu près toutes les deux semaines montrent une tendance semblable pour l'ensemble de la saison des eaux libres en 2014 et en 2015, révélant des changements généraux dans la répartition entre les strates des relevés, ainsi que le moment où ces changements se produisent. Les narvals hivernent dans la baie de Baffin et commencent leur migration printanière dans l'Arctique canadien après la débâcle à la fin juin et en juillet (Finley et Gibb 1982). On présume que les narvals du détroit d'Eclipse y pénètrent avant le mois d'août et y restent tout le mois d'août. Les plus grands nombres de narvals ont été observés dans l'inlet Milne, la baie de Koluktoo et le détroit de Tremblay pendant les relevés d'août, tandis que les plus faibles densités ont été observées dans les strates du détroit d'Eclipse et de l'inlet Pond. Les effectifs plus élevés dans les strates du détroit d'Eclipse et de l'inlet Pond plus tôt dans la saison étaient probablement des narvals qui se déplaçaient dans le secteur avant d'atteindre d'autres strates, tandis que les effectifs plus élevés dans le détroit d'Eclipse, l'inlet Pond et l'un des fjords orientaux pendant les relevés de septembre et octobre étaient probablement des animaux en migration automnale qui retournaient dans la baie de Baffin. Les narvals observés en plus grand nombre dans l'inlet Navy Board vers la fin de la période du relevé en 2014 provenaient peut-être des stocks de l'inlet de l'Amirauté ou de l'île Somerset.

CONCLUSION

Il n'est pas possible d'évaluer l'incidence du nombre élevé de données de distance manquantes sur les estimations de l'abondance finale; il n'est donc pas recommandé de les utiliser pour fournir des avis de gestion. Toutefois, les estimations peuvent servir d'indices de l'abondance relative pendant toute la saison des eaux libres et entre les années de relevé.

REMERCIEMENTS

Valerie Moulton (LGL Environmental Research Associates), Wayne McPhee, et Todd Burlingame (Baffinland Iron Mines Corporation) ont fourni les données des relevés aériens recueillies par LGL. Ted Elliott (LGL) a fourni des renseignements supplémentaires sur la collecte et la présentation des données des relevés.

RÉFÉRENCES CITÉES

- 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.
- Buckland, S.T., Anderson, D.R., Burnham, K.P., Laake, J.L., Brochers, D.L., and Thomas, L. 2001. Introduction to distance sampling, Estimating abundance of biological populations. Oxford University Press, New York. 432 p.
- Buckland, S.T., Anderson, D.R., Burnham, K.P., Laake, J.L., Brochers, D.L., and Thomas, L. 2004. Advanced distance sampling, Estimating abundance of biological populations. Oxford University Press, New York. 416 p.

-
- Dietz, R., Richard, P.R., and Acquarone, M. 2001. Summer and Fall Movements of Narwhals (*Monodon monoceros*) from Northeastern Baffin Island towards Northern Davis Strait. *Arctic* 54(3): 244–261.
- Dietz, R., Heide-Jørgensen, M.P., Richard, P., Orr, J., Laidre, K.L., and Schmidt, H.C. 2008. Movements of narwhals (*Monodon monoceros*) from Admiralty Inlet monitored by satellite telemetry. *Polar Biol.* 31: 1295–1306.
- Doniol-Valcroze, T., Gosselin, J.F., Pike, D., Lawson, J., Asselin, N., Hedges, K., and Ferguson, S. 2015a. [Abundance estimates of narwhal stocks in the Canadian High Arctic in 2013](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2015/060. v + 36 p.
- Doniol-Valcroze, T., Gosselin, J.-F., Pike, D., and Lawson, J. 2015b. [Spatial modelling of narwhal density in fiords during the 2013 High Arctic Cetacean Survey \(HACS\)](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2015/059. v + 31 p.
- Elliott, R.E., Raborn, S., Smith, H.R., and Moulton, V.D. 2015. Marine mammal aerial surveys in Eclipse Sound, Milne Inlet, Navy Board Inlet, and Pond Inlet, 31 August – 18 October 2013. Final LGL Report No. TA8357-3. Prepared by LGL Limited, King City, ON for Baffinland Iron Mines Corporation, Oakville, ON. 61 p.
- 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.
- Finley, K.J., and Gibb, E.J. 1982. Summer diet of the narwhal (*Monodon monoceros*) in Pond Inlet, northern Baffin Island. *Can. J. Zool.* 60: 3353–3363.
- Heide-Jørgensen, M., Dietz, R., Laidre, K., and Richard, P. 2002. Autumn movements, home ranges, and winter density of narwhals (*Monodon monoceros*) tagged in Tremblay Sound, Baffin Island. *Polar Biol.* 25: 331–341.
- Laake, J.L., and Borchers, D.L. 2004. Methods for incomplete detection at distance zero. *In* Advanced Distance Sampling. Edited by S.T. Buckland, D.R. Anderson, K.P. Burnham, J.L. Laake, D.L. Borchers, and L. Thomas. Oxford University Press, Oxford. pp. 108–189.
- Laake J, Borchers, D., Thomas, L., Miller, D., and Bishop, J. 2015. [mrds: Mark-Recapture Distance Sampling. R package version 2.1.14](#).
- Marcoux, M., Matthews, C.J.D., Montsion, L.M., and Dunn, J.B. 2019. [Estimation de l'abondance du stock estival de narvals \(*Monodon Monoceros*\) dans le détroit d'Éclipse à partir d'un relevé photographique aérien effectué en 2016](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2019/028. iv + 17 p. (sous presse)
- Marsh, H., and Sinclair, D.F. 1989. Correcting for Visibility Bias in Strip Transect Aerial Surveys of Aquatic Fauna. *J. Wildl. Manag.* 53: 1017–1024.
- Matthews, C.J.D., Watt, C.A., Asselin, N.C., Dunn, J.B., Young, B.G., Montsion, L.M., Westdal, K.H., Hall, P.A., Orr, J.R., Ferguson, S.H., and Marcoux, M. 2017. [Estimated abundance of the Western Hudson Bay beluga stock from the 2015 visual and photographic aerial survey](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/061. v + 20 p.
- Miller, D. L., Burt, M. L., Rexstad, E. A. and Thomas, L. 2013a. Spatial models for distance sampling data: recent developments and future directions. *Methods Ecol Evol.* 4: 1001–1010. doi: 10.1111/2041-210X.12105.
- Miller, D.L, Rexstad, E.A, Burt, M.L., Bravington, M.V., and Hedley, S.L. 2013b. [dsm: Density surface modelling of distance sampling data](#).
-

-
- R Core Team. 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Richard, P., Weaver, P., Dueck, L., and Barber, D. 1994. Distribution and numbers of Canadian High Arctic narwhals (*Monodon monoceros*) in August 1984. Medd. Grøn., Biosci. 39: 41–50.
- Richard, P.R. 2010. [Stock definition of belugas and narwhals in Nunavut](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2010/022. iv + 14 p.
- Stenson, G.B., and Hammill, M. 2008. [Incorporating the precautionary approach into the provision of advice on marine mammals](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2008/079. iv + 12 p.
- Stenson, G.B., Hammill, M., Ferguson, S., Stewart, R., and Doniol-Valcroze, T. 2012. [Applying the Precautionary Approach to Marine Mammal Harvests in Canada](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2012/107. ii + 15 p.
- Thomas, L., Buckland, S.T., Rexstad, E.A., Laake, J.L., Strindberg, S., Hedley, S.L., Bishop, J.R.B., Marques, T.A., and Burnham, K.P. 2010. Distance software: design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size. J. Appl. Ecol. 47: 5–14. doi: 10.1111/j.1365-2664.2009.01737.x
- Thomas, T.A., Raborn, S., Elliott, R.E., and Moulton, V.D. 2015a. Marine mammal aerial surveys in Eclipse Sound, Milne Inlet, Navy Board Inlet, and Pond Inlet, 1 August – 22 October 2014. Final LGL Report No. FA0024-2. Prepared by LGL Limited, King City, ON for Baffinland Iron Mines Corporation, Oakville, ON. 70 p.
- Thomas, T.A., Elliott, R.E., and Moulton, V.D. 2015b. Marine mammal aerial surveys in Eclipse Sound, Pond Inlet, and Milne Inlet, 1 August – 17 September 2015: Survey methods and effort. LGL Interim Report No. FA0059-1. Prepared by LGL Limited, King City, ON for Baffinland Iron Mines Corporation, Oakville, ON. 7 p.
- Watt, C.A., Orr, J., LeBlanc, B., Richard, P., and Ferguson, S.H. 2012. [Satellite tracking of narwhals \(*Monodon monoceros*\) from Admiralty Inlet \(2009\) and Eclipse Sound \(2010-2011\)](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2012/046. iii + 17 p.
- 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. 2015/044. iv + 13 p.
- Watt, C.A., Witting, L., Marcoux, M., Doniol-Valcroze, T., Guldberg Hansen, R., Hobbs, R., Lee, D.S., Ferguson, S.H., and Heide-Jørgensen, M.P. 2019. [Modélisation de la répartition des prises pour les stocks de narvals \(*Monodon monoceros*\) partagés entre l'est du Canada et l'ouest du Groenland. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2019/031. iv + 29 p.](#)
- Witting, L. 2015. Meta population modelling of narwhals in East Canada and West Greenland. NAMMCO/SC/22 JCNB/SWG/2015-JWG/10. 20 p. doi: <http://dx.doi.org/10.1101/059691>
-

TABLEAUX ET FIGURES

Tableau 1. Résumé des relevés visuels aériens de narvals dans le complexe du détroit d'Eclipse durant les étés 2013, 2014 et 2015. Les strates visées par les relevés sont indiquées par des cases à cocher (✓), tandis que celles qui n'ont pas été étudiées sont ombragées. La proportion d'observations pour lesquelles il manque des distances perpendiculaires est indiquée pour les relevés de 2014 et 2015 qui ont été analysés.

Année	Relevé	Date	Inlet Pond	Détroit d'Eclipse	Inlet Milne	Baie de Koluktoo	Détroit de Tremblay	Inlet Navy Board	Fjord	Proportion pour laquelle il manque la distance
2013	1a	31 août		✓*	✓	✓	✓	✓		
	1b	1 ^{er} sept.		✓*	✓	✓	✓	✓		
	2a	14 sept.		✓*	✓	✓	✓	✓		
	2b	15 sept.		✓*	✓	✓	✓	✓		
	3a	29 sept.		✓	✓	✓	✓	✓		
	3b	30 sept.		✓	✓	✓	✓	✓		
	4a	14 au 16 oct.	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
	4b	16 au 18 oct.	✓	✓	✓			✓		
2014	1a	1 ^{er} -2 août	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0,06
	1b	3-4 août	✓	✓	✓	✓	✓	✓		0,25
	2a	14-15 août	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0,67
	2b	16-17 août	✓	✓	✓	✓	✓	✓		0,31
	3a	30-31 août	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0,48
	3b	1 ^{er} -2 sept.	✓	✓	✓	✓	✓	✓		0,89
	4a	14-15 sept.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0,03
	4b	16-17 sept.	✓	✓	✓	✓	✓	✓		0,28
	5a	29-30 sept.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0,22
	5b	1 ^{er} -2 oct.	✓	✓	✓	✓	✓	✓		0,00
	6a	17-20 oct.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	0,22
	6b	21-22 oct.	✓	✓	✓	✓	✓	✓		0,11

Année	Relevé	Date	Inlet Pond	Détroit d'Eclipse	Inlet Milne	Baie de Koluktoo	Détroit de Tremblay	Inlet Navy Board	Fjord	Proportion pour laquelle il manque la distance
2015	1	1 ^{er} août	✓	✓	✓	✓	✓			0,03
	2	16-17 août	✓	✓	✓	✓	✓			0,78
	3	31 août	✓	✓	✓	✓	✓			0,40
	4	15-17 sept.	✓	✓	✓	✓	✓			0,94

*Seul l'ouest de l'inlet Pond a fait l'objet d'un relevé.

Tableau 2. Statistiques sommaires (valeurs du CIA et probabilités de détection) des modèles CDS et MCDS avec fonctions clés gamma ajustées aux données d'observation regroupées pour les transects en ligne droite des relevés des narvals du détroit d'Eclipse en 2014 et 2015. Les covariables étaient l'observateur (six en 2014 et deux en 2015), l'état de la mer de Beaufort (0, 1, 2 et 3+ les deux années), la détectabilité (excellente, bonne, modérée et mauvaise en 2014; excellente, bonne et modérée en 2015) et l'éblouissement (aucun, moyen et fort en 2014; aucun et fort en 2015). Les modèles ayant le CIA le plus faible utilisé pour estimer la probabilité de détection sont indiqués en caractères gras.

Année*	Modèle	CIA	ΔCIA	Valeur moyenne de p	ET
2014	CDS	6 920,7	157,5	0,443	0,0159
	MCDS (observateur)	6 779,9	16,7	0,373	0,0128
	MCDS (Beaufort)	6 908,7	145,5	0,434	0,0164
	MCDS (détectabilité)	6 921,0	157,8	0,441	0,0157
	MCDS (observateur + détectabilité)	6 763,2	0,0	0,362	0,0130
	MCDS (éblouissement)	6 923,1	159,9	0,443	0,0162
	MCDS (Beaufort + éblouissement)	6 911,5	148,3	0,434	0,0164
	MCDS (observateur + Beaufort + éblouissement)	6 777,8	14,6	0,367	0,0132
2015	CDS	1 240,9	0	0,403	0,0309
	MCDS (observateur)	1 242,8	1,9	0,403	0,0310
	MCDS (Beaufort)	1 244,2	3,3	0,401	0,0309
	MCDS (détectabilité)	1 244,8	3,9	0,403	0,0315
	MCDS (observateur + détectabilité)	1 246,5	5,6	0,402	0,0314
	MCDS (éblouissement)	1 242,6	1,7	0,402	0,0308
	MCDS (Beaufort + éblouissement)*	S. O.	S. O.	S. O.	S. O.
	MCDS (observateur + Beaufort + éblouissement)*	S. O.	S. O.	S. O.	S. O.

*La majorité des données d'observation ne comportaient pas de distances perpendiculaires pour toutes les années du relevé. Le nombre d'observations disponibles pour l'ajustement de la fonction de détection (c.-à-d. avec des distances perpendiculaires) était de 524 en 2014 et de 96 en 2015.

*Pas de convergence du modèle.

Tableau 3. Statistiques sommaires (valeurs du CIA et probabilités de détection) des modèles CDS et MCDS avec fonctions clés gamma ajustées aux données d'observation de narvals regroupées pour les transects des strates de fjords entre 2014 et 2015. Les covariables étaient l'observateur (six en 2014 et deux en 2015) et la détectabilité (excellente, bonne, modérée et mauvaise en 2014; excellente, bonne et modérée en 2015). Les modèles ayant le CIA le plus faible utilisé pour estimer la probabilité de détection sont indiqués en caractères gras.

Année*	Modèle	CIA	Valeur moyenne de p	ET
2014	CDS	693,7	0,655	0,0533
	MCDS (observateur)	679,9	0,505	0,0559
	MCDS (détectabilité)	696,9	0,647	0,0737
	MCDS (observateur + détectabilité)	683,4	0,501	0,0609
2015	CDS	1 764,3	0,437	0,0304
	MCDS (observateur)	1 764,7	0,437	0,0302
	MCDS (détectabilité)	1 759,6	0,422	0,0289
	MCDS (observateur + détectabilité)	1 761,1	0,421	0,0291

*La majorité des données d'observation ne comportaient pas de distances perpendiculaires pour toutes les années du relevé. Le nombre d'observations disponibles pour l'ajustement de la fonction de détection (c.-à-d. avec des distances perpendiculaires) était de 49 en 2014 et de 143 en 2015.

Tableau 4. Estimations de l'abondance des narvals en surface (c.-à-d. non ajustées pour tenir compte du biais de disponibilité) pour chacune des strates étudiées en 2014 et 2015. Le pourcentage du coefficient de variation (% CV) est indiqué entre parenthèses (remarque : les variances pour les strates du détroit de Tremblay et des fjords, qui ont été étudiées avec un seul transect, ne comprennent pas la variance du taux de rencontre). Les cellules ombragées n'ont pas fait l'objet d'un relevé.

Année	Relevé	Date	Inlet Pond	Détroit d'Eclipse	Inlet Milne	Baie de Koluktoo	Détroit de Tremblay	Inlet Navy Board	Fjords	TOTAL
2014	1a	1-2 août	741 (58,31)	737 (56,22)	17 (96,73)	0	47 (72,28)	0	0	1 542 (38,90)
	1b	3-4 août	711 (42,74)	2 427 (22,05)	0	629 (40,19)	0	0		3 767 (17,66)
	2a	14-15 août	0	3 433 (25,79)	3 471 (49,34)	2 380 (32,56)	240 (20,87)	10 (67,36)	392 (18,6)	9 926 (20,95)
	2b	16-17 août	0	13 (87,73)	2 198 (83,35)	575 (43,7)	176 (20,09)	0		2 962 (62,44)
	3a	30-31 août	0	0	2 960 (97,08)	1 186 (33,32)	76 (22,54)	0	0	4 222 (68,71)
	3b	1-2 sept.	0	0	7 367 (86,29)	3 594 (28,84)	1 641 (12,90)	0		12 602 (51,37)
	4a	14-15 sept.	0	846 (91,20)	92 (102,13)	0	0	0	0	938 (82,86)
	4b	16-17 sept.	0	2 667 (81,02)	280 (75,21)	0	0	121 (94,04)		3 068 (70,86)
	5a	29-30 sept.	0	97 (72,29)	8 (96,73)	0	0	278 (115,20)	590 (15,90)	1 064 (32,46)
	5b	1-2 oct.	0	114 (97,58)	0	0	79 (51,66)	529 (91,82)		722 (69,25)
	6a	17-20 oct.	3 637 (40,96)	60 (71,71)	0	0	0	0	0	3 697 (40,31)
	6b	21-22 oct.	960 (11,52)	736 (55,92)	8 (94,88)	0	0	0		1 704 (25,01)
2015	1	1 août	32 (79,64)	33 (127,68)	422 (99,97)	454 (29,90)	192 (21,8)			1 133 (39,53)
	2	16-17 août	0	0	911 (94,04)	172 (90,38)	796 (12,4)			1 879 (46,63)
	3	31 août	0	0	90 (96,97)	727 (65,45)	3 334 (8,7)			4 151 (13,6)
	4	15-17 sept.	0	3 409 (61,53)	0	6 (147,46)	6 (6,9)			3 421 (61,31)

Tableau 5. Superficie, effort, taux de rencontre, pourcentage du coefficient de variation du taux de rencontre (% CV_{ER}), taille moyenne du groupe et pourcentage du CV de la taille du groupe (% CV_{GS}) pour les différentes strates autres que les fjords étudiées en 2014 et 2015.

Année	Relevé	Strate	Superficie (km ²)	Effort (km)	Taux de rencontre (groupes/km)	% CV _{ER}	Taille moyenne du groupe	% CV _{GS}
2014	1a	Inlet Pond	1 950,3	152,6	0,0852	54,7	3,23	19,9
		Détroit d'Eclipse	2 936,6	302,8	0,0726	54,4	2,50	13,9
		Inlet Milne	751,6	123,8	0,00808	96,7	2,00	S. O.
		Baie de Koluktoo	236,0	70,7	0	S. O.	S. O.	S. O.
		Inlet Navy Board	1 675,1	241,2	0	S. O.	S. O.	S. O.
	1b	Inlet Pond	1 950,3	151,6	0,145	40,92	1,82	11,8
		Détroit d'Eclipse	2 936,6	320,9	0,209	19,8	2,87	9,0
		Inlet Milne	751,6	126,1	0	S. O.	S. O.	S. O.
		Baie de Koluktoo	236,0	100,0	0,620	39,3	3,11	7,4
		Inlet Navy Board	1 675,1	231,8	0	S. O.	S. O.	S. O.
	2a	Inlet Pond	1 950,3	152,6	0	S. O.	S. O.	S. O.
		Détroit d'Eclipse	2 936,6	335,6	0,229	23,5	3,67	9,9
		Inlet Milne	751,6	123,8	0,678	48,4	4,93	9,0
		Baie de Koluktoo	236,0	113,8	2,17	31,8	3,36	5,8
		Inlet Navy Board	1 675,1	241,2	0,00415	67,3	1,0	S. O.
	2b	Inlet Pond	1 950,3	151,6	0	S. O.	S. O.	S. O.
		Détroit d'Eclipse	2 936,6	320,9	0,00312	87,7	1,0	S. O.
		Inlet Milne	751,6	126,1	0,682	82,6	3,10	10,8
		Baie de Koluktoo	236,0	120,7	0,464	42,5	3,80	9,5
		Inlet Navy Board	1 675,1	231,8	0	S. O.	S. O.	S. O.
	3a	Inlet Pond	1 950,3	152,6	0	S. O.	S. O.	S. O.
		Détroit d'Eclipse	2 936,6	335,6	0	S. O.	S. O.	S. O.
		Inlet Milne	751,6	123,8	0,678	96,7	4,20	8,3
		Baie de Koluktoo	236,0	106,3	0,959	32,2	3,79	7,8
		Inlet Navy Board	1 675,1	241,2	0	S. O.	S. O.	S. O.
	3b	Inlet Pond	1 950,3	151,6	0	S. O.	S. O.	S. O.
		Détroit d'Eclipse	2 936,6	320,9	0	S. O.	S. O.	S. O.
		Inlet Milne	751,6	126,1	1,72	86,5	4,12	4,7
		Baie de Koluktoo	236,0	104,3	2,99	28,34	3,68	4,0
		Inlet Navy Board	1 675,1	231,8	0	S. O.	S. O.	S. O.
	4a	Inlet Pond	1 950,3	117,1	0	S. O.	S. O.	S. O.
		Détroit d'Eclipse	2 936,6	335,6	0,107	90,4	1,94	11,4
		Inlet Milne	751,6	123,8	0,0242	96,7	3,67	32,8

Année	Relevé	Strate	Superficie (km ²)	Effort (km)	Taux de rencontre (groupes/km)	% CV _{ER}	Taille moyenne du groupe	% CV _{GS}
		Baie de Koluktoo	236,0	101,8	0	S. O.	S. O.	S. O.
		Inlet Navy Board	1 675,1	241,2	0	S. O.	S. O.	S. O.
	4b	Inlet Pond	1 950,3	151,6	0	S. O.	S. O.	S. O.
		Détroit d'Eclipse	2 936,6	320,9	0,243	80,3	2,71	9,99
		Inlet Milne	751,6	126,1	0,182	73,9	1,48	13,4
		Baie de Koluktoo	236,0	104,0	0	S. O.	S. O.	S. O.
		Inlet Navy Board	1 675,1	248,0	0,0161	79,0	3,25	50,8
	5a	Inlet Pond	1 950,3	152,6	0	S. O.	S. O.	S. O.
		Détroit d'Eclipse	2 936,6	335,6	0,00596	67,7	4,00	25,0
		Inlet Milne	751,6	123,8	0,00808	96,7	1	S. O.
		Baie de Koluktoo	236,0	82,2	0	S. O.	S. O.	S. O.
		Inlet Navy Board	1 675,1	241,2	0,0249	112,7	4,83	23,5
	5b	Inlet Pond	1 950,3	151,6	0	S. O.	S. O.	S. O.
		Détroit d'Eclipse	2 936,6	320,9	0,0156	95,3	1,80	20,8
		Inlet Milne	751,6	126,1	0	S. O.	S. O.	S. O.
		Baie de Koluktoo	236,0	105,9	0	S. O.	S. O.	S. O.
		Inlet Navy Board	1 675,1	231,8	0,0820	90,3	2,79	16,1
	6a	Inlet Pond	1 950,3	152,6	0,472	39,2	2,86	11,3
		Détroit d'Eclipse	2 936,6	335,6	0,0149	71,6	1,0	0,0
		Inlet Milne	751,6	123,8	0	S. O.	S. O.	S. O.
		Baie de Koluktoo	236,0	101,8	0	S. O.	S. O.	S. O.
		Inlet Navy Board	1 675,1	241,2	0	S. O.	S. O.	S. O.
	6b	Inlet Pond	1 950,3	151,6	0,237	7,26	1,50	8,2
		Détroit d'Eclipse	2 936,6	319,5	0,0751	54,0	2,42	14,1
		Inlet Milne	751,6	126,1	0,00793	94,8	1,0	S. O.
		Baie de Koluktoo	236,0	54,9	0	S. O.	S. O.	S. O.
		Inlet Navy Board	1 675,1	231,8	0	S. O.	S. O.	S. O.
2015	1	Inlet Pond	1 950,3	152,6	0,00655	79,3	2,0	S. O.
		Détroit d'Eclipse	2 936,6	335,6	0,00596	123,0	1,50	33,3
		Inlet Milne	751,6	123,8	0,121	96,7	3,73	24,3
		Baie de Koluktoo	236,0	148,4	0,438	22,4	3,54	18,2
	2	Inlet Pond	1 950,3	152,6	0	S. O.	S. O.	S. O.
		Détroit d'Eclipse	2 936,6	335,6	0	S. O.	S. O.	S. O.
		Inlet Milne	751,6	123,8	0,517	93,3	1,89	9,1
		Baie de Koluktoo	236,0	116,0	0,241	89,3	2,43	11,5
	3	Inlet Pond	1 950,3	152,6	0	S. O.	S. O.	S. O.

Année	Relevé	Strate	Superficie (km ²)	Effort (km)	Taux de rencontre (groupes/km)	% CV _{ER}	Taille moyenne du groupe	% CV _{GS}
		Détroit d'Eclipse	2 936,6	335,6	0	S. O.	S. O.	S. O.
		Inlet Milne	751,6	123,8	0,0969	96,7	1,0	0,0
		Baie de Koluktoo	236,0	119,3	1,32	64,8	1,89	5,3
	4	Inlet Pond	1 950,3	152,6	0	S. O.	S. O.	S. O.
		Détroit d'Eclipse	2 936,6	335,6	0,560	60,6	1,67	7,7
		Inlet Milne	751,6	123,8	0	S. O.	S. O.	S. O.
		Baie de Koluktoo	236,0	97,5	0,0103	147,3	2,0	S. O.

Tableau 6. Superficie, effort, taux moyen de rencontre, taille moyenne du groupe, pourcentage du coefficient de variation de la taille du groupe (% CV_{GS}) pour les strates du détroit de Tremblay et des différents fjords étudiées en 2014 et 2015. Il est à noter qu'il n'y a pas d'estimation de la variance du taux de rencontre puisque ces strates ont été étudiées à l'aide d'un transect.

Année	Relevé	Strate	Superficie (km²)	Effort (km)	Taux de rencontre (groupes/ km)	Taille moyenne du groupe	% CV_{GS}
2014	1a	Détroit de Tremblay	154,9	45,4	0,0441	7,00	71,4
	2a	Détroit de Tremblay	154,9	44,7	0,358	4,38	17,7
	2b	Détroit de Tremblay	154,9	47,1	0,276	4,16	16,8
	3a	Détroit de Tremblay	154,9	42,5	0,0941	5,25	19,6
	3b	Détroit de Tremblay	154,9	43,2	2,29	4,67	6,6
	5b	Détroit de Tremblay	154,9	46,5	0,0859	6,00	50,5
	2a	Fjord (F5)	38,4	14,2	2,61	3,95	15,0
2015	5a	Fjord (F6)	251,0	77,8	0,373	6,38	11,4
	1	Détroit de Tremblay	154,9	46,8	0,214	3,20	20,7
	2	Détroit de Tremblay	154,9	43,4	1,41	2,02	10,3
	3	Détroit de Tremblay	154,9	47,0	4,45	2,70	5,4
	4	Détroit de Tremblay	154,9	45,3	0,0221	1,0	S. O.

Tableau 7. Estimations de l'abondance des narvals ajustées pour tenir compte du biais de disponibilité pour chacune des strates étudiées en 2014 et 2015. Le pourcentage du coefficient de variation (% CV) est indiqué entre parenthèses. Les cellules grisées représentent les strates qui n'ont pas été étudiées.

Année	Relevé	Date	Inlet Pond	Détroit d'Eclipse	Inlet Milne	Baie de Koluktoo	Détroit de Tremblay	Inlet Navy Board	Fjords	TOTAL	IC à 95 %
2014	1a	1 ^{er} -2 août	2 356 (58,41)	2 344 (56,35)	54 (96,83)	0	149 (72,36)	0	0	4 904 (39,00)	2 346-10 248
	1b	3-4 août	2 261 (42,09)	7 718 (22,28)	0	2 000 (40,30)	0	0		11 979 (17,80)	8 474-16 934
	2a	14-15 août	0	10 917 (25,99)	11 038 (49,47)	7 568 (32,69)	763 (21,14)	32 (67,48)	1 248 (18,93)	31 566 (21,03)	20 996-47 457
	2b	16-17 août	0	41 (87,84)	6 990 (83,45)	1 829 (43,82)	560 (20,37)	0		9 419 (62,52)	3 055-29 036
	3a	30-31 août	0	0	9 413 (97,18)	3 771 (33,48)	242 (22,79)	0	0	13 426 (68,78)	3 964-45 469
	3b	1 ^{er} -2 sept.	0	0	23 427 (96,94)	11 429 (32,82)	5 218 (13,33)	0		40 074 (57,46)	14 066-114 173
	4a	14-15 sept.	0	2 690 (91,25)	293 (102,22)	0	0	0	0	2 983 (82,91)	723-12 312
	4b	16-17 sept.	0	8 481 (81,07)	890 (75,26)	0	0	385 (94,07)		9 756 (70,90)	2 793-34 081
	5a	29-30 sept.	0	308 (72,34)	25 (96,83)	0	0	884 (115,24)	2 166 (16,26)	3 384 (32,54)	1 816-6 301
	5b	1 ^{er} -2 oct.	0	363 (97,66)	0	0	251 (51,76)	1 682 (91,86)		2 296 (69,28)	673-7 833
	6a	17-20 oct.	11 756 (40,44)	191 (71,77)	0	0	0	0	0	11 756 (40,44)	5 483-25 208
	6b	21-22 oct.	3 053 (12,00)	2 340 (56,01)	25 (94,93)	0	0	0		5 419 (25,12)	3 337-8 800
2015	1	1 ^{er} août	102 (79,74)	105 (127,71)	1 342 (100,06)	1 444 (30,07)	611 (22,09)			3 603 (39,59)	1 706-7 611
	2	16-17 août	0	0	2 897 (94,11)	547 (90,42)	2 531 (12,82)			5 975 (46,69)	2 502-14 268
	3	31 août	0	0	286 (97,06)	2 312 (65,55)	10 602 (9,35)			13 200 (13,88)	10 070-17 304
	4	15-17 sept.	0	10 841 (61,66)	0	19 (147,54)	19 (7,63)			10 879 (61,44)	3 588-32 986

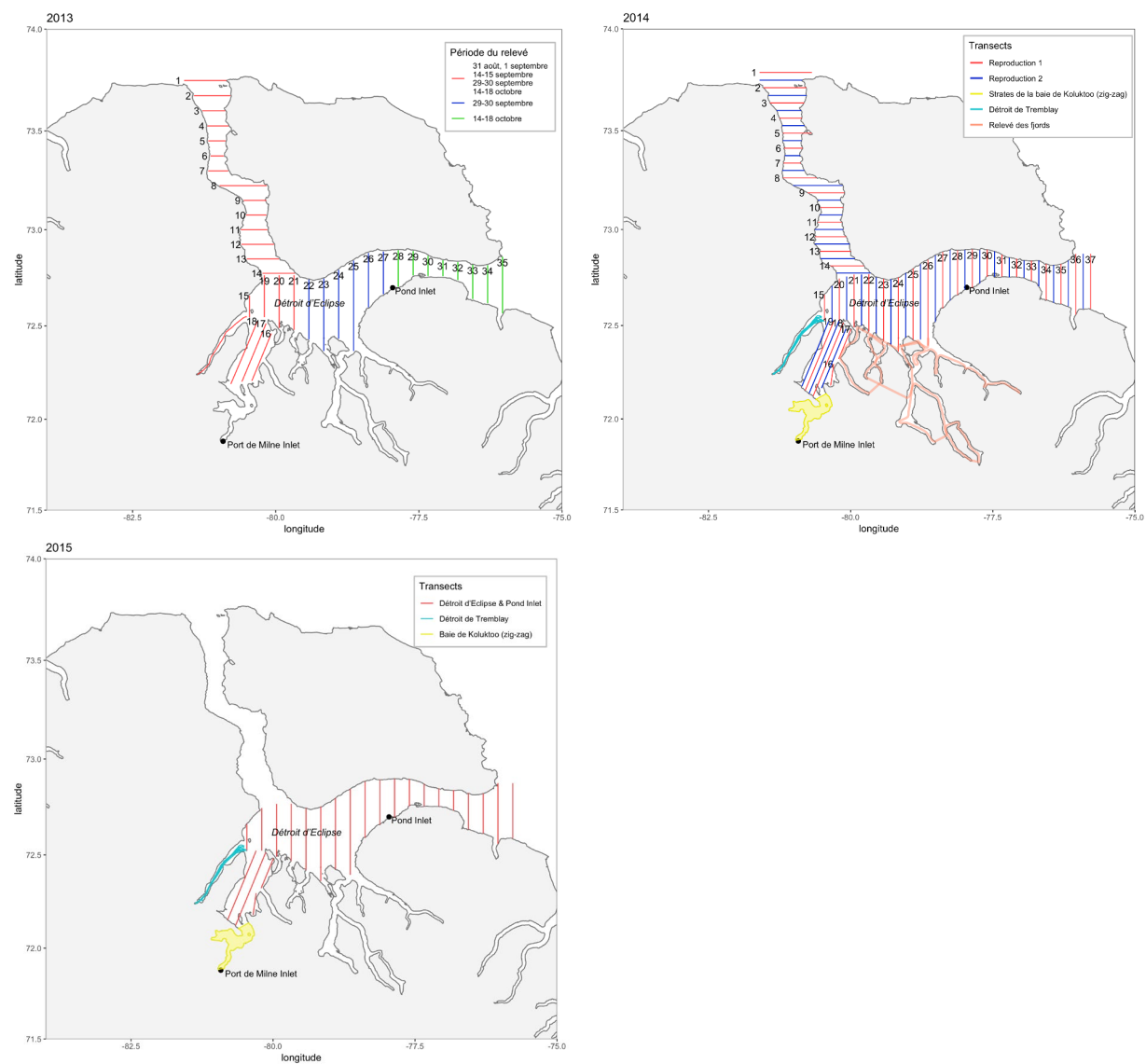


Figure 1. Couverture spatiale et temporelle des relevés par LGL des narvals du détroit d'Eclipse en 2013, 2014 et 2015.

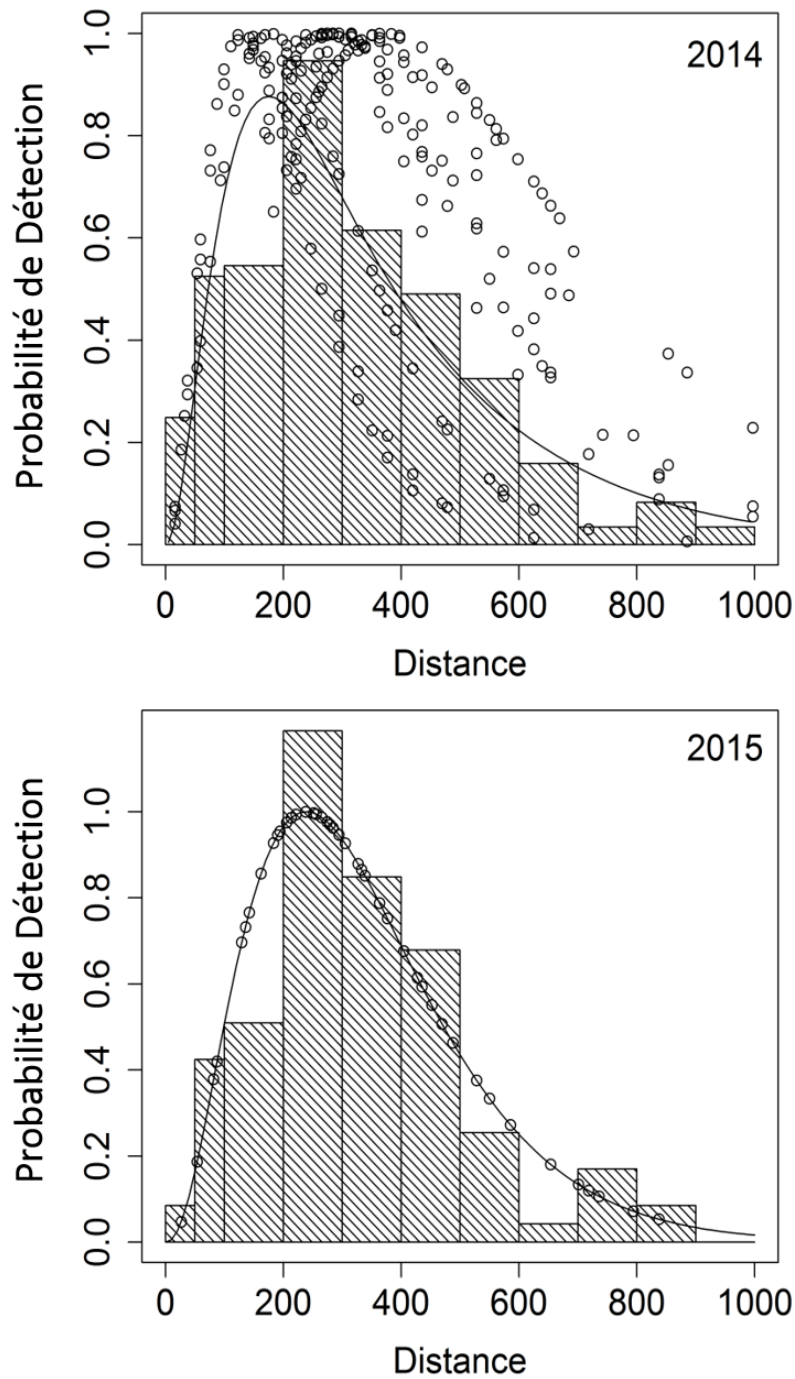


Figure 2. Histogramme des distances perpendiculaires des groupes de narvals détectés dans les strates autres que les fjords en 2014 (en haut) et en 2015 (en bas). Une fonction de détection gamma (ligne) a été ajustée aux données regroupées pour chaque année après la troncature à droite à 1 000 m. Les cercles représentent la probabilité de détection de chaque observation en fonction de la distance perpendiculaire et, pour les données de 2014, les valeurs des covariables « observateur » et « détectabilité ».

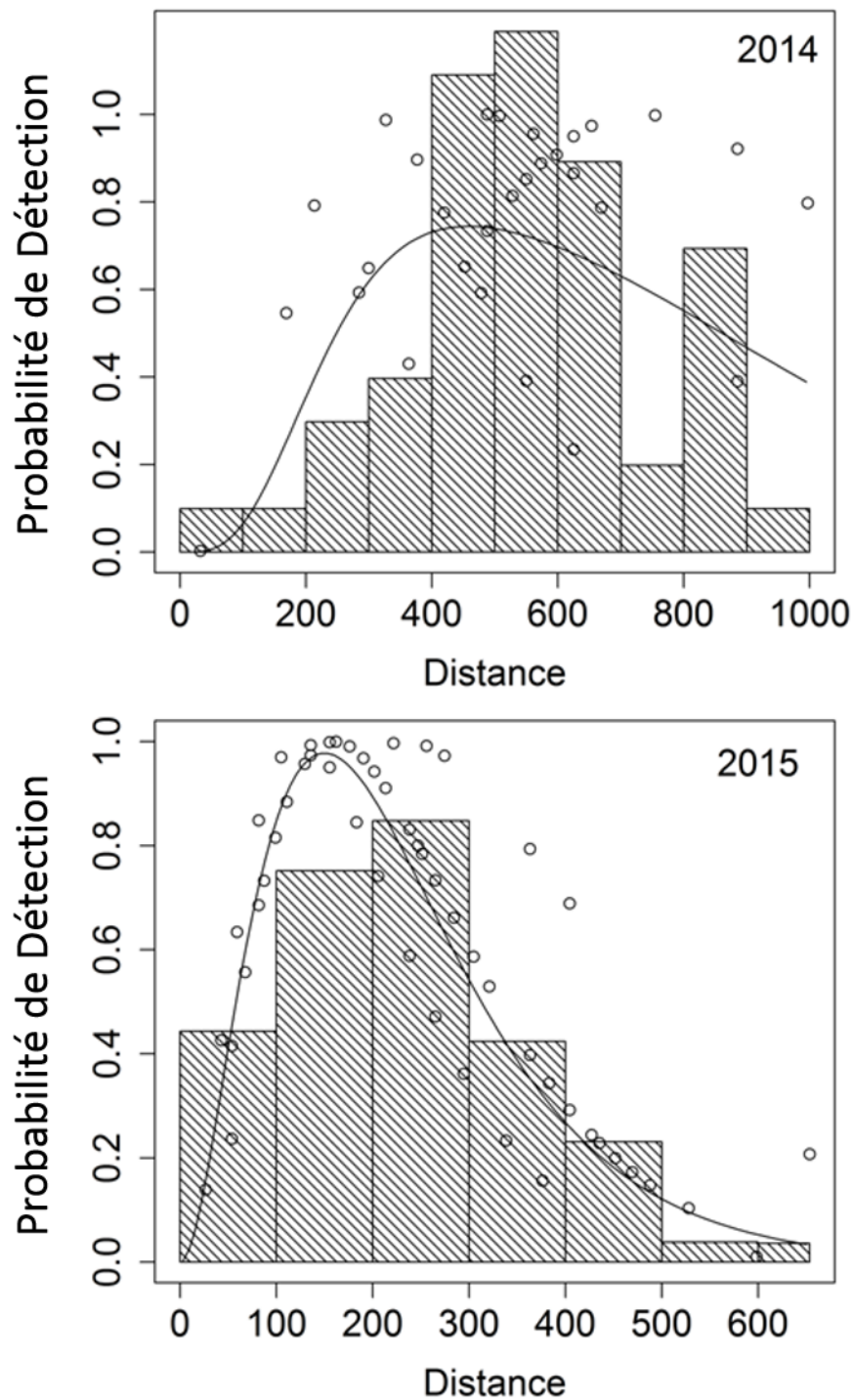


Figure 3. Histogramme des distances perpendiculaires des groupes de narvals détectés dans les strates des fjords en 2014 (en haut) et en 2015 (en bas). Une fonction de détection gamma (ligne) a été ajustée aux données regroupées pour chaque année après la troncature à droite à 1 000 m (2014) ou à la distance de détection maximale de 654 m (2015). Les cercles représentent la probabilité de détection de chaque observation en fonction de la distance perpendiculaire et des covariables « observateur » (2014) et' « détectabilité » (2015).

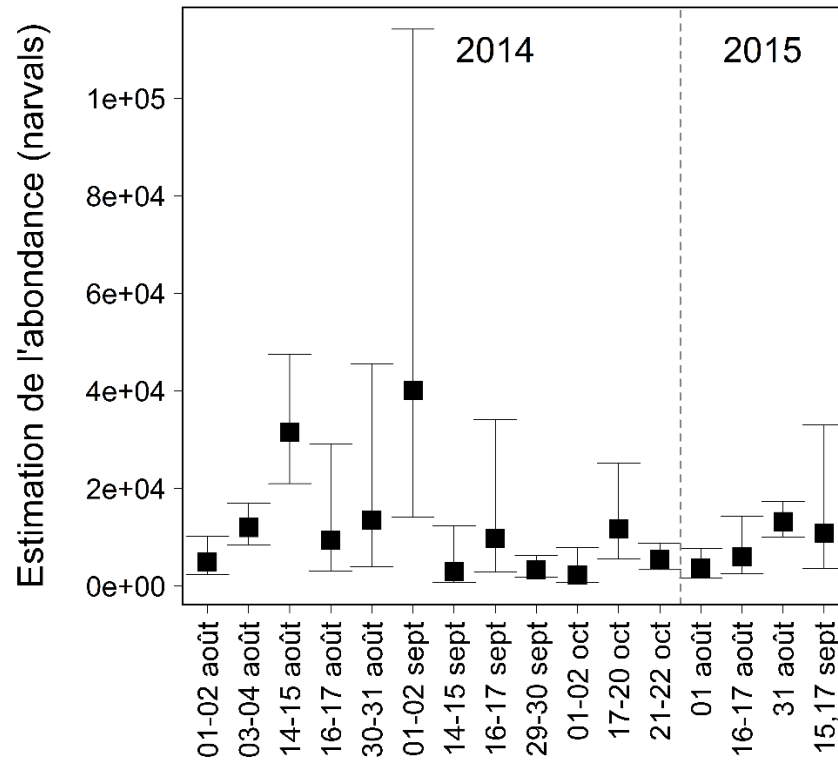


Figure 4. Estimations de l'abondance des narvals dans le détroit d'Eclipse pendant la saison des eaux libres en 2014 et 2015. Les barres d'erreur correspondent à l'intervalle de confiance (IC) à 95 %.