



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 2019/028

Région du Centre et de l'Arctique

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

Marianne Marcoux, Leah M. Montsion, J. Blair Dunn,
Steven H. Ferguson, Cory J.D. Matthews

Institut des eaux douces
Pêches et Océans Canada
501 croissant University
Winnipeg (Manitoba) 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 :

Marcoux, M., Montsion, L.M., Dunn, J.B., Ferguson, S.H., et Matthews, C.J.D. 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.

Also available in English :

Marcoux, M., Montsion, L.M., Dunn, J.B., Ferguson, S.H., and Matthews, C.J.D. 2019. Estimate of the abundance of the Eclipse Sound narwhal (*Monodon Monoceros*) summer stock from the 2016 photographic aerial survey. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2019/028. iv + 16 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	IV
INTRODUCTION	1
MÉTHODES	1
ZONE DE RELEVÉ ET MÉTHODOLOGIE.....	1
MÉTHODES DE RELEVÉ PHOTOGRAPHIQUE	1
ANALYSE DES PHOTOS	2
ANALYSE PAR TRANSECT DE BANDE	2
MODÉLISATION DE DENSITÉ DE SURFACE	3
FACTEUR DE CORRECTION DU BIAIS DE DISPONIBILITÉ	4
ESTIMATION DE L'ABONDANCE DU STOCK.....	4
TOTAL AUTORISÉ DES CAPTURES DÉBARQUÉES RECOMMANDÉ.....	ERROR!
BOOKMARK NOT DEFINED.	
RÉSULTATS.....	4
JOURS DE RELEVÉ.....	5
CORRECTION DU BIAIS DE DISPONIBILITÉ.....	5
ANALYSE DES PHOTOS	5
ANALYSE PAR TRANSECT DE LIGNE.....	5
ABONDANCE DU STOCK DE NARVALS ET TOTAL AUTORISÉ DE CAPTURES DÉBARQUÉES	6
DISCUSSION.....	6
RÉFÉRENCES CITÉES.....	7
TABLEAUX ET FIGURES	8
ANNEXE	16

RÉSUMÉ

En août 2016, un relevé aérien a été mené afin d'estimer la taille du stock estival de narvals dans le détroit d'Éclipse. Ce relevé était entièrement fondé sur des photos aériennes. Des analyses par transect de bande ont été effectuées pour les strates du détroit d'Éclipse, de Pond Inlet, du bras Navy Board et du bras Milne. Une approche de modélisation de densité de surface a permis d'estimer le nombre d'individus dans les strates du détroit de Tremblay et de la baie Koluktoo, où les trajectoires de relevé étaient irrégulières. Même si les strates avaient fait l'objet de plusieurs activités de relevé, nous avons estimé la taille du stock de narvals en additionnant les estimations pour chaque strate, calculées à partir des données recueillies lors du relevé effectué du 7 au 10 août, une période relativement courte pendant laquelle toutes les strates avaient été couvertes. Après avoir été corrigée pour inclure les narvals n'ayant pas pu être détectés parce qu'ils étaient sous l'eau (facteur de correction de 3,18), la taille du stock a été estimée à 12 039 narvals (coefficient de variation = 0,23, intervalle de confiance à 95 % de 7 768 à 18 660 individus). En utilisant la méthode du prélèvement biologique potentiel, nous avons estimé la valeur du total autorisé des captures débarquées à 117 narvals.

INTRODUCTION

Le dernier relevé de Pêches et Océans Canada (MPO) portant sur le stock estival de narvals du détroit d'Éclipse a été mené en 2013. Dans le cadre de ce relevé, la taille du stock avait été estimée à 10 500 individus (Doniol-Valcroze *et al.* 2015a, 2015b). Cette estimation était nettement inférieure à l'estimation précédente de 20 200 narvals, calculée lors du relevé de 2004 (Richard *et al.* 2010). En août 2016, un relevé photographique aérien a été mené afin de mettre à jour l'estimation de la taille de ce stock estival de narvals.

MÉTHODES

ZONE DE RELEVÉ ET MÉTHODOLOGIE

Le relevé aérien a été conçu pour couvrir l'aire de répartition du stock estival de narvals du détroit d'Éclipse. Des changements mineurs ont été apportés par rapport à la zone couverte par le relevé précédent et aux strates étudiées lors de celui-ci (Richard *et al.* 2010, Doniol-Valcroze *et al.* 2015a); notamment, le nombre de lignes de transect a été augmenté dans la plupart des strates, et la strate des bras Navy Board et Milne a été divisée en trois strates distinctes selon la densité de narvals enregistrée lors des relevés précédents. La zone de relevé a été divisée en six strates : Pond Inlet, détroit d'Éclipse, bras Navy Board, bras Milne, baie Koluktoo et détroit de Tremblay (figure 1). Pour les activités de relevé menées dans les strates de Pond Inlet, du détroit d'Éclipse, du bras Navy Board et du bras Milne, les lignes de transect étaient parallèles et la distance entre celles-ci était uniforme (10 km pour le bras Navy Board, 4,4 km pour le détroit d'Éclipse et Pond Inlet, et 3,6 km pour le bras Milne). Les activités de relevé dans les strates du détroit de Tremblay et de la baie Koluktoo reposaient sur une approche de modélisation de densité de surface puisque la forme étroite et complexe de ces étendues d'eau ainsi que le relief élevé de leurs rivages ne permettaient pas l'utilisation de lignes de transect uniformes. Ainsi, les hypothèses liées aux méthodes d'échantillonnage à distance conventionnelles n'ont pas pu être vérifiées en raison du point de départ non aléatoire des transects et de la probabilité de couverture inégale.

MÉTHODES DE RELEVÉ PHOTOGRAPHIQUE

Le relevé était entièrement photographique. Il a été effectué au moyen d'un aéronef de Havilland Twin Otter 300 volant à une altitude cible de 610 m (2 000 pi) et à une vitesse cible de 185 km/h (100 kt). Un appareil photo Nikon D800, muni d'un objectif de 25 mm, était monté sur un port attaché à la partie ventrale arrière de l'aéronef. L'appareil était orienté vers le bas et positionné de façon à ce que la partie la plus longue des photos soit perpendiculaire à la trajectoire de relevé. Il était connecté à un appareil GPS pour que les photos puissent être géoréférencées. De plus l'appareil photo était connecté à un ordinateur portable pour que les paramètres d'exposition et l'intervalle entre les photos puissent être contrôlés, et pour que les photos puissent être enregistrées sur le disque dur de l'ordinateur. À l'altitude cible de 610 m, la surface couverte par chaque photo mesurait 875,4 m sur 585,2 m. À la vitesse et à l'altitude cibles, un intervalle de neuf secondes entre chaque photo créait un recouvrement de 20 % entre deux photos consécutives le long de chaque transect. Cependant, en raison de variations de la vitesse, de l'altitude et du tangage de l'aéronef, il a fallu utiliser des intervalles plus courts (sept ou huit secondes) pour s'assurer que la couverture de chaque transect était uniforme.

ANALYSE DES PHOTOS

Une spécialiste de l'interprétation de photos aériennes a examiné les photos sur un écran haute définition de 24 po afin de dénombrer les narvals. Cette spécialiste avait déjà examiné des photos aériennes dans le cadre de trois autres relevés du MPO portant sur des espèces de la famille des monodontidés. Les photos ont été géoréférencées et examinées avec le logiciel ArcMap 10.1 (ESRI). Grâce au logiciel Photoshop (Adobe Systems), la spécialiste a pu améliorer la qualité de certaines photos en ajustant la luminosité, le contraste, les niveaux, les courbes, l'exposition, la vibrance, la saturation et la teinte de celles-ci. Après une première analyse de toutes les photos du relevé, la spécialiste a procédé à une seconde analyse de 50 photos prises lors de la première journée du relevé afin d'évaluer la fiabilité des résultats. La sélection aléatoire de ces photos aurait produit un échantillon contenant trop de photos sans narval, donc les 50 photos ont plutôt été choisies afin de permettre l'évaluation de la variation du nombre de narvals repérés sur chaque photo.

La clarté de l'eau a été évaluée de façon subjective sur chaque photo et caractérisée comme « trouble » (eau dans laquelle il était seulement possible de repérer les narvals à la surface) ou « limpide » (eau dans laquelle il était possible de repérer les narvals jusqu'à une profondeur de deux mètres). Une partie de certaines photos se situe dans une zone d'éblouissement à cause de la réflexion du soleil dans l'eau, ce qui a empêché la spécialiste d'y repérer des narvals. Pour ces photos, la spécialiste a créé un fichier shapefile afin de couvrir la zone d'éblouissement et n'a pas analysé la partie touchée. L'aire de cette partie a été calculée, puis soustraite de l'aire totale de la photo. La partie correspondant au recouvrement entre deux photos consécutives a été coupée de la première de ces deux photos. Dans le cas des strates du détroit de Tremblay et de la baie Koluktoo, il y avait également un recouvrement entre les lignes de transect adjacentes. La partie correspondant à ce recouvrement a été coupée de la surface de la seconde ligne de transect. La spécialiste a également coupé la superficie des terres des photos en superposant un fichier shapefile de zones terrestres aux photos. La superficie d'eau restante (sans zone d'éblouissement) sur chaque photo a ensuite été calculée.

ANALYSE PAR TRANSECT DE BANDE

Nous avons effectué une analyse par transect de bande des narvals repérés à partir des photos prises dans les strates du détroit d'Éclipse, de Pond Inlet, du bras Navy Board et du bras Milne. Nous avons ensuite calculé la densité de narvals en divisant le nombre de narvals repérés par la superficie d'eau sans zone d'éblouissement totale. La densité a ensuite été multipliée par la superficie de la strate afin d'obtenir une estimation du nombre de narvals situés près de la surface dans chaque strate \hat{N}_{sur} .

Nous avons ensuite ajusté l'estimation du nombre de narvals près de la surface pour tenir compte des narvals qui étaient en train de plonger en profondeur et qui n'avaient pas pu être observés (voir la section CALCUL DU BIAIS DE DISPONIBILITÉ).

$$\hat{N} = \hat{N}_{sur} \times C_a$$

Dans cette équation, C_a est le facteur de correction du biais de disponibilité et \hat{N} est l'estimation d'abondance ajustée.

Nous avons calculé la variance totale pour chaque strate en additionnant la variance du taux d'occurrence $var(E(n))$ et du facteur de correction du biais de disponibilité $var(C_a)$ grâce à la méthode delta (Buckland *et al.* 2001) :

$$var(\hat{N}) = \hat{N}^2 \times \left\{ \frac{var(E(n))}{(E(n))^2} + \frac{var(C_a)}{C_a^2} \right\}$$

La variance associée au taux d'occurrence a été calculée selon l'équation 3 de Fewster *et al.* (2009) :

$$\text{var}\left(\frac{n}{L}\right) = \frac{k}{L^2(k-1)} \sum_{i=1}^k l_i^2 \left(\frac{n_i}{l_i} - \frac{n}{L}\right)^2$$

Où $\frac{n}{L}$ est le taux d'occurrence, $n = \sum_{i=1}^k n_i$ est la somme des narvals repérés à la surface de l'eau ou près de celle-ci pour chaque ligne de transect, $L = \sum_{i=1}^k l_i$ est l'effort total pour chaque strate calculé comme la somme de toutes les longueurs de ligne de transect l_i et k est le nombre de lignes de transect.

Nous avons calculé le coefficient de variation, $cv(\hat{N})$, en divisant la racine carrée de la variance (erreur-type) par l'estimation du nombre de narvals, \hat{N} .

MODÉLISATION DE DENSITÉ DE SURFACE

Un cadre de modélisation de densité de surface a été utilisé pour modéliser les données de dénombrement géoréférencées. Nous avons construit un modèle additif généralisé (GAM) (Wood 2006) en utilisant le nombre de narvals par photo comme variable dépendante. L'emplacement du centre de chaque photo a été enregistré au moyen d'un appareil GPS lié à l'appareil photo installé sur l'aéronef. Les coordonnées de latitude et de longitude ont été générées en mètres pour que les distances soient uniformes dans toutes les directions (voir le tableau A.1 de l'annexe pour obtenir des spécifications sur la projection cartographique). Pour chaque photo, nous avons extrait deux covariables spatiales : la distance du centre de la photo au rivage le plus proche et la distance du centre de la photo à l'embouchure du fjord (vers la strate d'eau libre adjacente). Ces variables ont été évaluées puisque les narvals peuvent choisir un habitat de rivage pour éviter la prédation par l'épaulard (Breed *et al.* 2017). Il est aussi possible que les narvals s'éloignent de l'embouchure du fjord pour la même raison.

La zone de relevé a été divisée en carrés d'une résolution de 250 m x 250 m (d'après Doniol-Valcroze *et al.* 2015b) qui ont été utilisés pour prédire le nombre de narvals. Nous avons calculé les valeurs des variables explicatives (la latitude, la longitude, les distances jusqu'au rivage et jusqu'à l'embouchure du fjord) à partir des coordonnées du point médian de chaque carré.

Les dénombrements par photo ont été modélisés comme une somme des fonctions continues de covariables (p. ex., l'emplacement et les distances jusqu'au rivage et jusqu'à l'embouchure du fjord) mesurées à l'échelle d'une photo à l'aide du modèle GAM. Les fonctions continues ont été modélisées en splines. De plus, pour les données d'emplacement, nous avons également appliqué un algorithme de lissage de type « soap film » (Wood *et al.* 2008) qui permet d'obtenir une représentation dans les strates de péninsule aux contours complexes, ou des splines Duchon qui réduisent le problème d'exagération des prédictions par rapport aux données observées (Miller et Wood 2014).

Tout comme Doniol-Valcroze *et al.* (2015b), nous avons décidé de ne pas utiliser la distribution de Poisson (selon laquelle on suppose que la variance de chaque observation est égale à la moyenne de celle-ci). Nous avons modélisé les dénombrements selon une distribution binomiale négative ou une distribution Tweedie. Cette dernière représente une solution flexible pour les données de dénombrement qui comprennent une grande proportion de zéros (Miller *et al.* 2013).

Nous avons analysé l'ajustement du modèle à l'aide de graphiques de diagnostic de modèle standards. Nous avons également examiné les fonctions de lissage ajustées et les prédictions

de surfaces lisses en cherchant des signes d'effet de bordure et nous avons écarté celles qui présentaient de tels signes.

Les 24 modèles ajustés ont été classés en fonction du critère d'information d'Akaike (CIA). Les modèles les mieux classés pour lesquels $\Delta CIA < 7$ ont été considérés comme faisant partie des meilleurs modèles (choix du type de distribution, de l'algorithme de lissage et des covariables; voir le tableau A.2 de l'annexe pour obtenir une liste des meilleurs modèles). Le meilleur modèle est celui pour lequel la valeur de ΔCIA est la plus petite. Nous avons vérifié la présence de résidus dans les modèles choisis pour assurer leur normalité et leur homogénéité.

L'estimation de l'abondance « naïve », semblable à une analyse par transect de bande, a été calculée pour chaque activité de relevé afin de la comparer aux prédictions du meilleur modèle spatial.

FACTEUR DE CORRECTION DU BIAIS DE DISPONIBILITÉ

Dans toutes les photos, la clarté de l'eau a été évaluée comme étant limpide, c'est-à-dire que les narvals pouvaient être repérés jusqu'à deux mètres sous l'eau à partir de l'aéronef (Richard *et al.* 1994). Les estimations du nombre de narvals près de la surface ont été ajustées pour tenir compte de ceux qui étaient en train de plonger à plus de deux mètres de profondeur et qui n'avaient donc pas pu être repérés (biais de disponibilité). Watt *et al.* (2015) ont calculé les facteurs de correction en fonction des données de plongée de 24 narvals équipés d'émetteurs satellitaires dans le détroit d'Éclipse et le bras Admiralty de 2009 à 2012. Le facteur de correction du biais de disponibilité, C_a , a été calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$C_a = 1/\text{proportion du temps passé à moins de deux mètres de la surface}$$

ESTIMATION DE L'ABONDANCE DU STOCK

Nous avons obtenu l'estimation de l'abondance du stock de narvals en additionnant les estimations pour chaque strate, calculées pendant une période de quatre jours (du 7 au 10 août). Dans la strate du détroit de Tremblay, deux activités de relevé ont été effectuées pendant cette période. La moyenne de l'estimation de la taille du stock établie lors de chacune des activités de relevé a donc été utilisée pour estimer l'abondance totale du stock de narvals. La variance totale du relevé correspond à la somme de la variance de chaque strate. La variance finale de l'estimation moyenne a été calculée à l'aide de l'équation suivante (équation 8.8 de Buckland *et al.* 2001) :

$$var(\hat{N}^*) = \frac{E_1^2 \times var(\hat{N}_1) + E_2^2 \times var(\hat{N}_2)}{(E_1 + E_2)^2}$$

où E_1 et E_2 représentent l'effort estimé à partir du nombre de photos prises lors de la première et la deuxième activité de relevé, et \hat{N}_1 et \hat{N}_2 représentent l'estimation d'abondance ajustée de la première et la deuxième activité de relevé.

Nous avons calculé les intervalles de confiance en supposant une distribution log-normale, comme le suggère Buckland (2001).

TOTAL AUTORISÉ DES CAPTURES DÉBARQUÉES RECOMMANDÉ

Nous avons utilisé la méthode du prélèvement biologique potentiel (PBP; Wade 1998), que nous avons corrigée pour inclure les pertes associées à la chasse (c.-à-d. les individus frappés qui n'ont pas pu être récupérés) afin de calculer le total autorisé des captures débarquées recommandé (TACD):

$$TACD = \frac{PBP}{TCP}$$

où :

$$PBR = 0,5 * R_{max} * N_{min} * F_r$$

TCP est le taux de correction selon les pertes associées à la chasse, soit 1,28 (erreur-type = 0,15; Richard 2008), R_{max} est le taux d'augmentation maximal du stock (cette valeur est inconnue, donc nous avons utilisé la valeur par défaut pour les cétacés, soit 0,04; Wade 1998), N_{min} est le 20^e percentile de la distribution log-normale de N et F_r est le facteur de rétablissement, qui est fixé entre 0,1 et 1 (Wade 1998). Nous avons utilisé $F_r = 0,75$ puisque le stock est abondant, mais que les données connexes sont limitées et que les tendances de la population sont inconnues (Hammill *et al.* 2017).

RÉSULTATS

JOURS DE RELEVÉ

Le relevé a été effectué du 7 au 21 août (tableau 1). En raison de contraintes liées aux ressources et au temps, il n'a pas été possible d'analyser les photos prises lors de tous les jours de relevé. Nous avons plutôt choisi d'analyser les photos prises lors du sous-ensemble de jours qui a permis d'obtenir la couverture la plus complète (le plus de strates couvertes) pendant la durée la plus courte. Les strates suivantes ont fait l'objet d'une analyse : le bras Navy Board (7 août); le détroit de Tremblay (7, 9 et 21 août); le détroit d'Éclipse (9 et 21 août); Pond Inlet (9 août); la baie Koluktoo (10 et 21 août); le bras Milne (10 et 21 août).

CORRECTION DU BIAIS DE DISPONIBILITÉ

De 2009 à 2012, 24 narvals ont été équipés avec des émetteurs satellitaires. D'après les moyennes pondérées de temps que ces narvals ont passé à une profondeur de moins de deux mètres de la surface, le facteur de correction a été établi à 3,18 (coefficient de variation [CV] = 0,107).

ANALYSE DES PHOTOS

Les deux dénombrements obtenus lors de l'analyse de 50 photos étaient fortement corrélés (régression linéaire simple; r^2 ajusté = 0,997, $F_{1,48} = 1,863 \times 10^4$, $p < 0,001$). Les dénombrements obtenus lors de la première et de la seconde analyse étaient les mêmes pour 42 des 50 photos, mais différaient d'un narval pour sept photos, et de deux narvals pour une photo. Par conséquent, la différence absolue moyenne était de 0,18 narval par photo. Les dénombrements originaux ont été conservés pour l'analyse de l'abondance.

ANALYSE PAR TRANSECT DE LIGNE

Aucun narval n'a été observé dans la strate du bras Navy Board ni dans la strate de Pond Inlet (tableau 2). Dans la strate du détroit d'Éclipse, l'estimation du nombre de narvals situés près de la surface était de 1924 individus (CV = 0,39) le 9 août et de 85 individus (CV = 0,53) le 21 août (figure 2). Dans la strate du bras Milne, l'estimation du nombre de narvals situés près de la surface était de 853 individus (CV = 0,39) le 10 août et de 1257 (CV = 0,43) individus le 21 août (figure 3).

MODÉLISATION DE DENSITÉ DE SURFACE

Dans la strate du détroit de Tremblay, l'estimation du nombre de narvals situés près de la surface était de 452 individus (CV = 0,18) le 7 août, de 361 individus (CV = 0,19) le 9 août et de 525 individus (CV = 0,19) le 21 août (figure 4; tableau 3). Dans la strate de la baie de Koluktoo, l'estimation du nombre de narvals situés près de la surface était de 602 individus (CV = 0,11) le 10 août et de 884 individus (CV = 0,12) le 21 août (figure 5; tableau 3).

ABONDANCE DU STOCK DE NARVALS ET TOTAL AUTORISÉ DE CAPTURES DÉBARQUÉES

Toutes les strates ont fait l'objet d'activités de relevé pendant une période de quatre jours (du 7 au 10 août), ce qui a permis de calculer une estimation complète et combinée de 12 039 narvals (CV = 0,23, IC à 95 % : de 7 768 à 18 660 individus; tableau 4). Selon les calculs, la valeur du prélèvement biologique potentiel était de 150 narvals et l'estimation du total autorisé de captures débarquées était de 117 narvals.

DISCUSSION

Nous avons estimé l'abondance du stock de narvals en additionnant les dénombrements dans chaque strate, obtenus à partir du relevé effectué du 7 au 10 août. Ce sous-ensemble de jours était le seul qui permettait d'obtenir une couverture complète de l'aire de répartition du stock estival de narvals dans le détroit d'Éclipse pendant une période relativement courte (quatre jours).

Les relevés aériens doivent être corrigés pour tenir compte des individus qui ne peuvent pas être repérés puisqu'ils sont situés trop en profondeur (biais de disponibilité). Idéalement, des données provenant d'individus munis d'émetteurs satellitaires recueillies pendant la période du relevé devraient être utilisées afin de calculer le facteur de correction du biais de disponibilité. En 2016, il y a eu un programme sur le terrain visant à marquer des narvals dans le détroit d'Éclipse, mais aucun individu n'était marqué pendant la période de relevé. Par conséquent, nous avons utilisé les données de plongée provenant de narvals marqués recueillies dans le détroit d'Éclipse et la bras Admiralty de 2009 à 2012 afin de calculer le facteur de correction du biais de disponibilité pour cette étude (Watt *et al.* 2015). Dans le cadre de cette approche, nous avons présumé que les narvals marqués de 2009 à 2012 s'étaient comportés de façon semblable aux narvals dénombrés en 2016.

Il s'agit du premier relevé entièrement photographique du MPO portant sur les narvals. Même si les relevés photographiques nécessitent moins de personnel sur le terrain, il a fallu un an et demi à la spécialiste de l'interprétation de photos aériennes pour analyser manuellement toutes les photos afin d'y dénombrer les narvals. Il y a toutefois de nombreux avantages à conserver les données d'un relevé photographique de façon permanente, notamment la possibilité d'analyser les photos à nouveau pour obtenir des données sur l'espèce visée et sur d'autres espèces non visées par le relevé. Nous recommandons donc de continuer à mener des relevés photographiques. L'amélioration de méthodes de détection semi-automatisées actuellement en cours favoriserait la diminution du temps requis pour l'interprétation de photos et permettrait d'inclure des données supplémentaires aux estimations d'abondance finales.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Breed, G.A., Matthews, C.J.D., Marcoux, M., Higdon, J.W., LeBlanc, B., Petersen, S.D., Orr, J., Reinhart, N.R., and Ferguson, S.H. 2017. Sustained disruption of narwhal habitat use and behavior in the presence of Arctic killer whales. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 114(10): 2628–2633. doi:10.1073/pnas.1611707114.
- Buckland, S.T., Anderson, D.R., Burnham, K.P., Laake, J.L., Borchers, D.L., and Thomas, L. 2001. *Introduction to distance sampling: estimating abundance of biological populations.* Oxford University Press, Oxford, U.K. 432 p.
- Doniol-Valcroze, T., Gosselin, J.-F., Pike, D., Lawson, J.W., Asselin, N.C., Hedges, K.J., and Ferguson, S. 2015a. [Abundance estimates of narwhal stocks in 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.G., 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.
- 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(1): 225–236. doi:10.1111/j.1541-0420.2008.01018.x.
- Hammill, M., Stenson, G.B., and Doniol-Valcroze, T. 2017. [A management framework for Nunavik beluga.](#) DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/060. v + 34 p.
- Miller, D.L., Burt, M.L., Rexstad, E.A., and Thomas, L. 2013. Spatial models for distance sampling data: recent developments and future directions. *Methods Ecol. Evol.* 4(11): 1001–1010. doi:10.1111/2041-210X.12105.
- Miller, D.L., and Wood, S.N. 2014. Finite area smoothing with generalized distance splines. *Environ. Ecol. Stat.* 21(4): 715–731. doi:10.1007/s10651-014-0277-4.
- Richard, P.R. 2008. [On determining the total allowable catch for Nunavut odontocete stocks.](#) DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2008/022. iv + 12 p.
- Richard, P., Weaver, P., Dueck, L., and Baber, D. 1994. Distribution and numbers of Canadian High Arctic narwhals (*Monodon monoceros*) in August 1984. *Meddelelser om Grønland. Bioscience* 39: 41–50.
- 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(1): 85–99.
- Wade, P.R. 1998. Calculating limits to the allowable human-caused mortality of cetaceans and pinnipeds. *Mar. Mammal Sci.* 14(1): 1–37.
- 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. v + 13 p.
- Wood, S.N. 2006. *Generalized additive models: an introduction with R.* Chapman and Hall/CRC, Boca Raton, Florida, U.S.A. 476 p.
- Wood, S.N., Bravington, M.V., and Hedley, S.L. 2008. Soap film smoothing. *J. R. Stat. Soc. Ser. B Stat. Methodol.* 70(5): 931–955. doi:10.1111/j.1467-9868.2008.00665.x.

TABLEAUX ET FIGURES

Tableau 1. Résumé des activités de relevé portant sur le stock estival de narvals du détroit d'Éclipse. Les crochets (✓) signifient qu'un relevé complet a été volé. Les cellules grises représentent les strates et les journées pour lesquelles les dénombrements ont été analysés et utilisés dans le cadre de la présente étude. Les chiffres entre parenthèses représentent l'état de la mer, estimé à l'aide de l'échelle de Beaufort.

	Pond Inlet	Détroit d'Éclipse	Bras Navy Board	Bras Milne	Baie Koluktoo	Détroit de Tremblay
7 août 2016			✓ (2-4)			✓ (2-4)
9 août 2016	✓ (1-2)	✓ (1-2)				✓ (1-3)
10 août 2016			✓	✓ (0)	✓ (0-1)	✓
11 août 2016				✓	✓	
14 août 2016						✓
15 août 2016*		✓		✓	✓	✓
20 août 2016						✓
21 août 2016		✓ (0-1)		✓ (0-1)	✓ (0-1)	✓ (0-1)

* Les photos prises le 15 août n'ont pas été utilisées dans l'analyse en raison de problèmes liés à la qualité des images.

Tableau 2. Nombre de narvals par strate estimé grâce à une analyse par transect de bande. CV : coefficient de variation de l'estimation du nombre de narvals près de la surface en fonction de la variance du taux d'occurrence.

Date	Strate	Superficie de la strate (km ²)	Nombre de photos	% de zone d'éblouissement dans les photos	% couvert par les photos	Nombre de narvals observés	Estimation du nombre près de la surface	CV
7 août 2016	Bras Navy Board	1 675	409	3,79	8,94	0	0	-
9 août 2016	Détroit d'Éclipse	2 937	1 646	0,61	18,61	358	1 924	0,39
9 août 2016	Pond Inlet	1 950	977	2,15	15,78	0	0	-
10 août 2016	Bras Milne	752	416	0,08	18,40	157	853	0,39
21 août 2016	Détroit d'Éclipse	2 937	1 641	0,01	18,88	16	85	0,53
21 août 2016	Bras Milne	752	416	0,47	18,62	234	1 257	0,43

Tableau 3. Modèles de densité de surface sélectionnés pour les activités de relevé effectuées dans le détroit de Tremblay et la baie de Koluktoo. $N_{naïve}$: estimation de l'abondance naïve (analyse par transect de bande); algorithme de lissage (x,y) : meilleur algorithme de lissage sélectionné parmi les splines de régression de type plaque mince, les splines introduites par Duchon et les algorithmes de type « soap film » (avec le nombre réel de degrés de liberté [dl]); covariables : distance du centre de la photo à l'embouchure du fjord (embouchure) et distance du centre de la photo au rivage (rivage); N_{mds} : estimation du nombre de narvals près de la surface d'après un modèle de densité de surface; ET : erreur-type; CV : coefficient de variation de l'estimation du nombre de narvals près de la surface.

Date	Superficie de la strate (km ²)	Nombre de photos	Superficie couverte par les photos (km ²)	Nombre de narvals observés	$N_{naïve}$	Type de distribution	(x,y) Algorithme de lissage (dl)	Covariables	Écarts expliqués (%)	N_{mds}	ET (CV)
Détroit de Tremblay											
7 août 2016	154,89	190	68,43	281	636	Binomiale négative	Soap (2,86)	Embouchure	93,7	453	79,90 (0,18)
9 août 2016	154,89	249	70,56	298	654	Binomiale négative	Duchon (0,47)	Embouchure	74,4	361	67,73 (0,19)
21 août 2016	154,89	340	93,15	462	768	Binomiale négative	Soap (5,66)	Embouchure Rivage	94,9	525	97,6 (0,19)
Baie Koluktoo											
10 août 2016	235,97	331	98,12	323	777	Binomiale négative	Soap (14,71)	Embouchure	80,3	602	67,96 (0,11)
21 août 2016	235,97	337	110,97	447	951	Binomiale négative	Duchon (14,87)	Embouchure	90,84	884	102,75 (0,12)

Tableau 4. Estimation de l'abondance du stock de narvals dans le détroit d'Éclipse lors du relevé aérien de 2016, ajustée d'après le biais de disponibilité (facteur de correction = 3,18 et CV = 0,107).

Strate	Date	Superficie (km ²)	Superficie couverte par les photos (%)	Estimation du nombre de narvals près de la surface	Nombre d'individus (ajusté)	Coefficient de variation
Détroit de Tremblay	7 août 2016	155	44,18	453	1 437	0,21
Détroit de Tremblay	9 août 2016	155	45,55	361	1 148	0,22
Moyenne				407	1 294	0,14
Détroit d'Éclipse	9 août 2016	2 937	18,61	1 924	6 118	0,40
Baie Koluktoo	10 août 2016	236	41,16	602	1 914	0,15
Bras Milne	10 août 2016	752	18,40	853	2 713	0,40
TOTAL				3 786	12 039	0,23

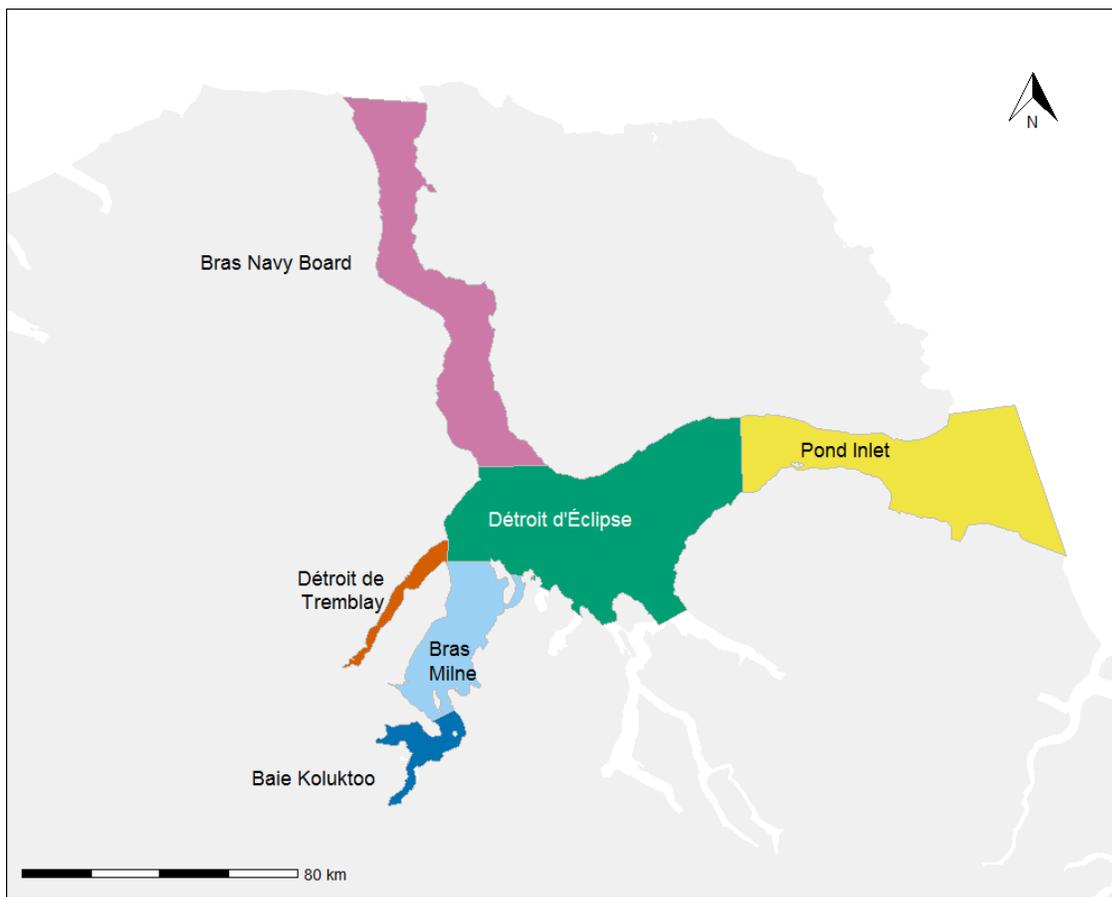
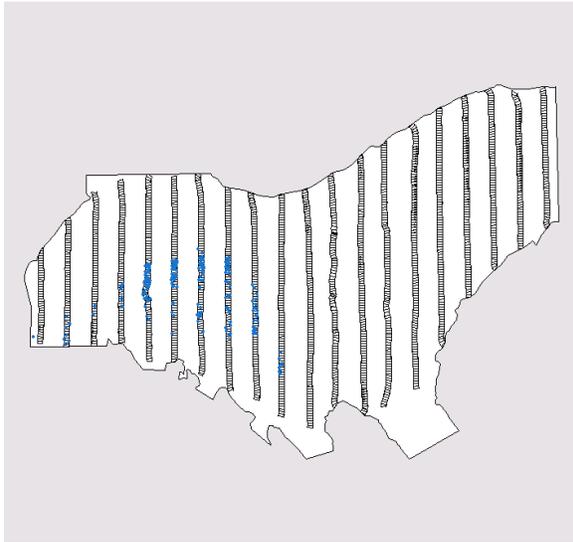


Figure 1. Carte illustrant les six strates de la zone d'étude du relevé aérien de 2016 portant sur le stock estival de narvals dans le détroit d'Éclipse.

Détroit d'Éclipse le 9 août



Détroit d'Éclipse le 21 août

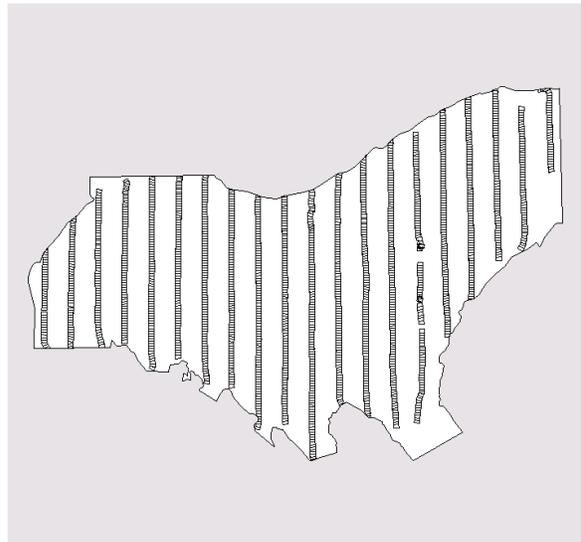
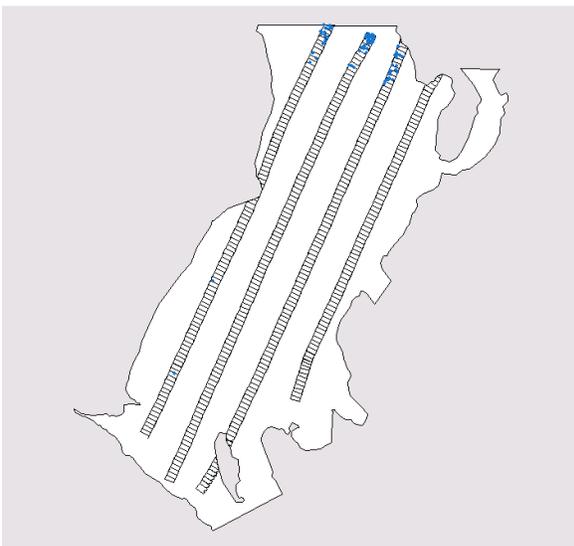


Figure 2. Carte des deux activités de relevé effectuées dans la strate du détroit d'Éclipse montrant les narvals repérés (points bleus) et les superficies photographiées.

Bras Milne le 10 août



Bras Milne le 21 août

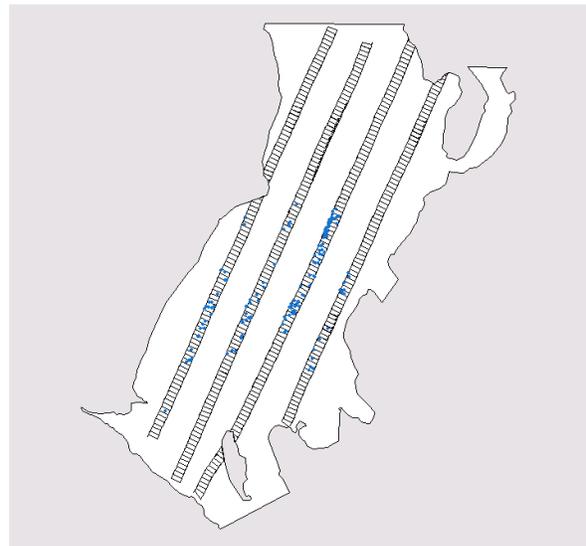


Figure 3. Carte des deux activités de relevé effectuées dans la strate du bras Milne montrant les narvals repérés (points bleus) et les superficies photographiées.

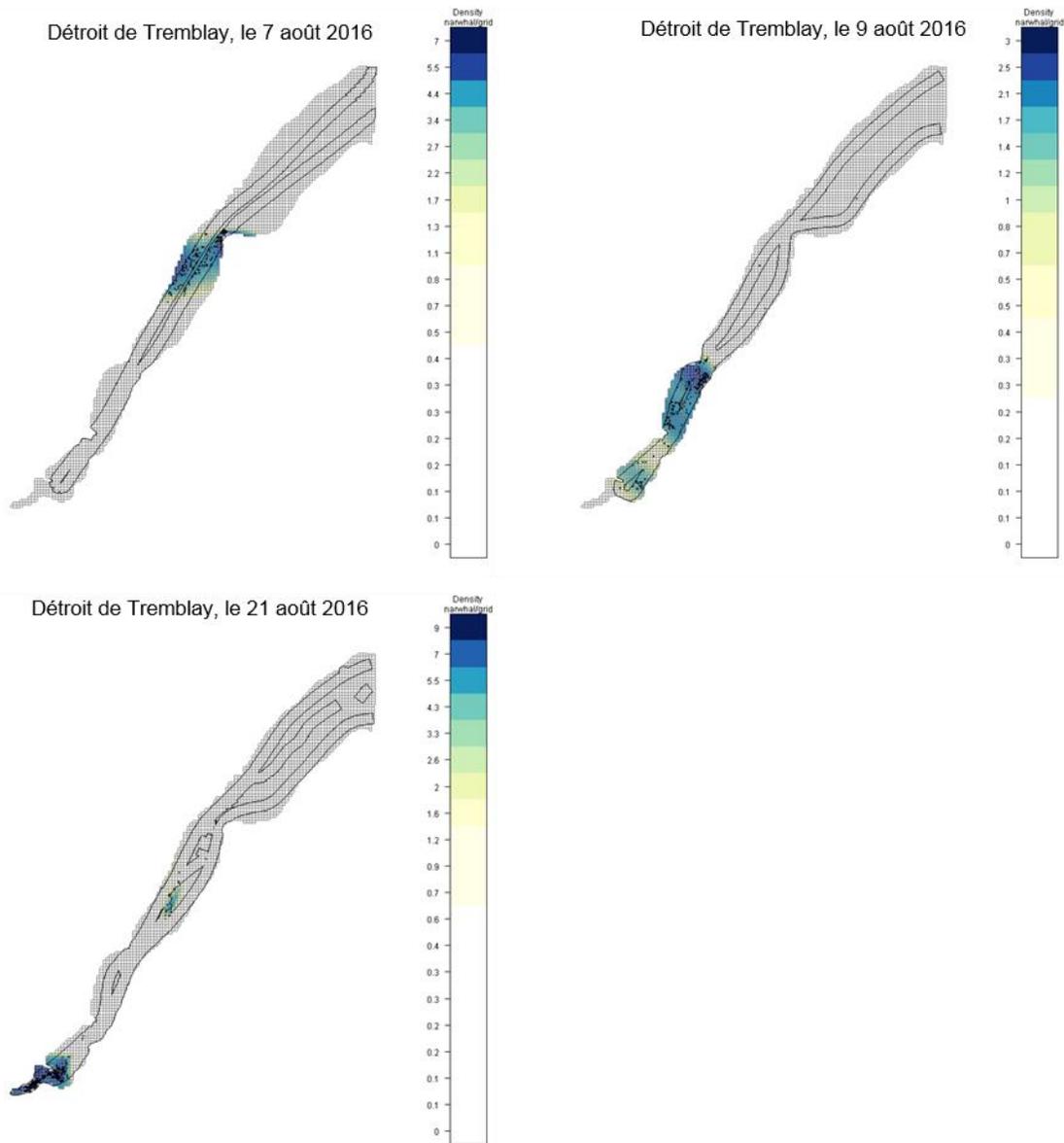


Figure 4. Carte des trois activités de relevé effectuées dans la strate du détroit de Tremblay montrant la grille de prédiction d'après le meilleur modèle de densité de surface (voir le dégradé de couleurs), les narvals repérés (points noirs) et les superficies photographiées (tracé noir).

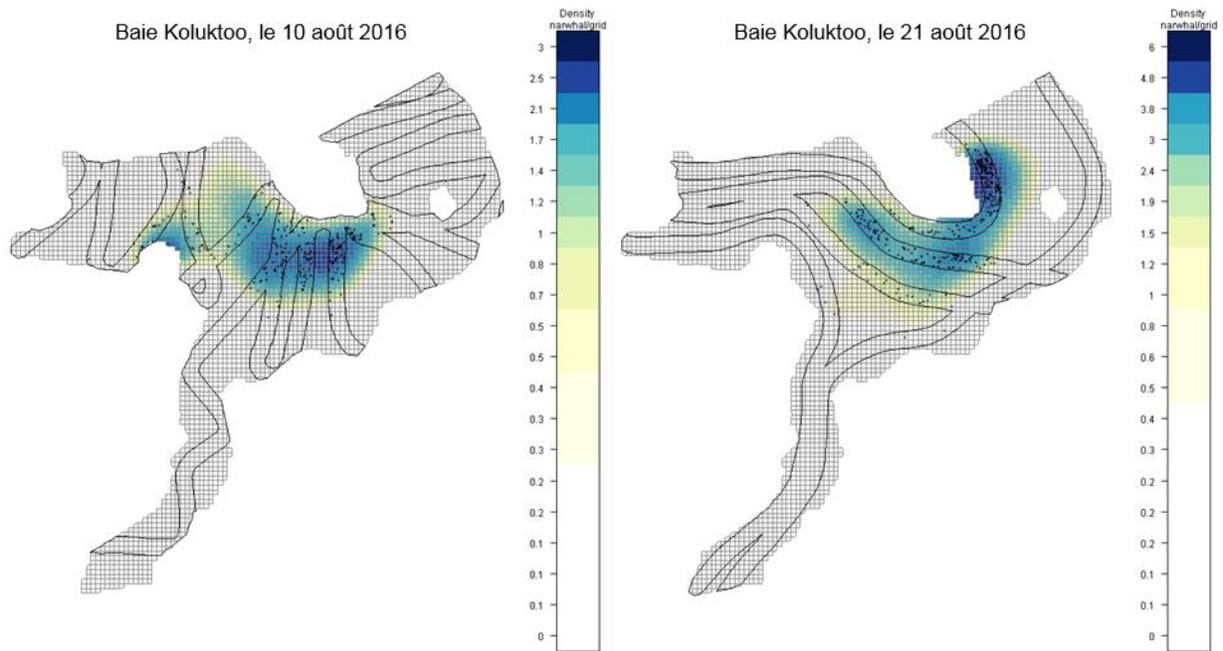


Figure 5. Carte des deux activités de relevé effectuées dans la strate de la baie Koluktoo montrant la grille de prédiction d'après le meilleur modèle de densité de surface (voir le dégradé de couleurs), les narvals repérés (points noirs) et les superficies photographiées (tracé noir).

ANNEXE

Tableau A1. Projection cartographique utilisée pour calculer les distances et les superficies dans le cadre de l'analyse de 2016 du relevé aérien du stock estival de narvals dans le détroit d'Éclipse.

Projection	Projection conique conforme de Lambert
Latitude d'origine	72,6
Latitude du premier parallèle de référence	73,8
Latitude du deuxième parallèle de référence	71,9
Méridien central	-79,5
Système de référence	NAD38
Ellipsoïdes	GRS80
Transformation du système de référence en WGS84 (towgs84)	0, 0, 0

Tableau A2. Modèles densité de surface utilisés pour les strates du détroit de Tremblay et de la baie de Koluktoo, classés en fonction du critère d'information d'Akaike (CIA) et possédant un $\Delta CIA < 7$. Type de distribution : « bn » signifie binomiale négative. Algorithme de lissage : « Soap » représente l'algorithme de lissage de type « soap film » (Wood et al. 2008) et « Duchon » représente les splines introduites par Duchon (Miller et Wood 2014). Covariables : « Embouchure » est la distance du centre de la photo à l'embouchure du fjord et « Rivage » est la distance du centre de la photo au rivage. « N » est l'estimation du nombre de narvals d'après les prédictions du modèle spatial. « ET » est l'erreur-type et « CV » est le coefficient de variation de l'estimation du nombre.

Type de distribution	Algorithme de lissage	Covariables	Écarts expliqués (%)	AIC	ΔAIC	N	ET	CV
Strate du détroit de Tremblay								
7 août 2016								
bn	Soap	Embouchure	93,66	211,08	0	453	79,90	0,18
bn	Soap	-	93,23	211,37	0,29	551	135,06	0,25
9 août 2016								
bn	Duchon	Embouchure	74,39	400,62	0	361	67,73	0,19
bn	Duchon	Embouchure Rivage	74,94	402,62	2	404	93,81	0,23
bn	Duchon	Rivage	74,74	402,7	2,08	400	92,55	0,23
bn	Duchon	-	73,84	403,91	3,29	349	64,93	0,19
bn	Soap	-	74,66	406,99	6,37	420	86,36	0,21
21 août 2016								
bn	Soap	Embouchure Rivage	94,89	287,05	0	525	97,61	0,19
bn	Soap	Embouchure	94,27	288,73	1,68	506	92,65	0,18
Strate de la baie Koluktoo								
10 août 2016								
bn	Soap	Embouchure	80,35	501,08	0	602	67,96	0,11
bn	Soap	Embouchure Rivage	80,58	502,18	1,1	601	68,07	0,11
bn	Duchon	Embouchure Rivage	79,80	503,17	2,09	560	58,70	0,10
bn	Duchon	Rivage	79,39	504,99	3,91	557	58,67	0,11
bn	Duchon	Embouchure	79,19	505,11	4,03	573	61,11	0,11
bn	Duchon	-	78,84	506,39	5,31	568	60,33	0,11
21 août 2016								
bn	Duchon	Embouchure	90,84	441,69	0	884	102,75	0,12
bn	Duchon	Embouchure Rivage	90,88	443,01	1,32	1 076	283,38	0,26
bn	Duchon	-	90,32	446,95	5,26	803	82,185	0,10
bn	Duchon	Rivage	90,33	448,01	6,32	917	172,38	0,19
bn	Soap	Embouchure	90,77	448,06	6,37	1 087	316,57	0,29