



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 2019/030

Région du Centre et de l'Arctique

**Incidence de l'emprisonnement de narvals (*Monodon monoceros*) dans les glaces
en 2015 sur le stock de narvals du détroit d'Eclipse**

Cortney A. Watt, Marianne Marcoux, J. Blair Dunn, Robert Hodgson, Richard Moore,
et Steven H. Ferguson

L'Institut des eaux douces
Pêches et Océans Canada
501 University Crescent
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 :

Watt, C.A., Marcoux, M., Dunn, J.B., Hodgson, R., Moore, R., et Ferguson, S.H. 2019. Incidence de l'emprisonnement de narvals (*Monodon monoceros*) dans les glaces en 2015 sur le stock de narvals du détroit d'Eclipse. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech. 2019/030. iv + 14 p.

Also available in English :

Watt, C.A., Marcoux, M., Dunn, J.B., Hodgson, R., Moore, R., and Ferguson, S.H. 2019. Effect of the 2015 narwhal (*Monodon monoceros*) entrapment on the Eclipse Sound narwhal stock. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2019/030. iv + 12 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	IV
INTRODUCTION	1
MÉTHODES	2
CONTEXTE	2
MODÈLE DE PRÉLÈVEMENT BIOLOGIQUE POTENTIEL (PBP).....	3
MODÈLE DE POPULATION	3
RÉSULTATS.....	5
MODÈLE DE PRÉLÈVEMENT BIOLOGIQUE POTENTIEL (PBP).....	5
MODÈLE DE POPULATION	7
DISCUSSION.....	9
CONCLUSIONS.....	11
REMERCIEMENTS	12
RÉFÉRENCES CITÉES.....	12

RÉSUMÉ

Au moins 249 narvals (*Monodon monoceros*) ont été emprisonnés dans les glaces près de la collectivité de Pond Inlet, au Nunavut, en novembre 2015. Nous avons évalué l'incidence de cet événement particulier d'emprisonnement dans les glaces sur le total autorisé des captures débarquées (TACD) à Pond Inlet dans les années à venir, et nous avons modélisé l'incidence d'événements de ce genre sur le stock de narvals du détroit d'Éclipse au cours des 100 prochaines années. Pour déterminer les incidences de l'emprisonnement dans les glaces sur le TACD, nous avons modélisé des événements d'emprisonnement de différentes ampleurs, de 249 narvals (minimum) à 1 000 narvals (maximum). Les données tirées du marquage par satellite des dernières années ont révélé un certain mélange des stocks de narvals de l'inlet de l'Amirauté et du détroit d'Éclipse. En raison de ce mélange potentiel de narvals, nous avons modélisé des scénarios où 100 % de l'emprisonnement dans les glaces comprenait des baleines provenant uniquement du détroit d'Éclipse, et un autre scénario où seulement 76 % des individus provenaient du détroit d'Éclipse, en supposant que les 24 % restants provenaient de l'inlet de l'Amirauté (proportion du stock qui a quitté l'inlet de l'Amirauté et est arrivé au détroit d'Éclipse à l'automne selon les étiquettes repérables par satellite 4/42). Le prélèvement biologique potentiel (PBP) a été calculé en supposant que l'emprisonnement dans les glaces dépassait les taux de mortalité déjà inclus dans le taux de base de mortalité naturelle dans des proportions variables (20 %, 40 %, 60 %, 80 % et 100 %). Un modèle de population a également été utilisé pour étudier l'incidence des emprisonnements dans les glaces fréquents (tous les 3, 5, et 10 ans) dont l'ampleur varie de 200 à 1 000 narvals afin d'examiner l'incidence à long terme que ces événements pourraient avoir sur le stock de narvals du détroit d'Éclipse. Les modèles ont été exécutés sans terme d'erreur et avec une erreur de traitement arbitraire de 0,05. Les résultats du modèle de PBP ont indiqué que dans le pire des cas, lorsque l'emprisonnement dans les glaces touchait 1 000 individus provenant tous du détroit d'Éclipse et lorsque la mortalité est considérée comme supérieure à la mortalité naturelle déjà incluse dans le calcul du PBP, le TACD ne doit être réduit que de 13 animaux, de 134 à 121. Lorsqu'aucun terme d'erreur n'a été inclus dans le modèle de population, le modèle a indiqué que des emprisonnements dans les glaces de l'ampleur de ceux observés précédemment dans le détroit d'Éclipse n'entraîneraient pas l'extinction du stock si de tels événements se produisent tous les trois ans. Cependant, la limite inférieure de l'intervalle de confiance de 90 % suggère une possibilité d'extinction si les emprisonnements dans les glaces se produisent tous les trois ans, et indique une diminution de la taille du stock si les événements se produisent tous les cinq ou dix ans. Des résultats semblables ont été observés lorsqu'un terme d'erreur a été inclus dans le modèle de population, sauf que des emprisonnements dans les glaces se produisant tous les trois ans entraîneraient l'extinction du stock dans les 100 ans, et la taille médiane du stock diminue même si les emprisonnements dans les glaces ne se produisent que tous les cinq ou dix ans. Dans l'éventualité d'un emprisonnement dans les glaces à l'avenir, la surveillance de l'événement et la recherche sur le comportement des narvals nous aideraient à mieux comprendre les incidences de ces événements sur les stocks de narvals.

INTRODUCTION

Les narvals (*Monodon monoceros*) de la population de la baie de Baffin passent l'hiver dans le détroit de Davis et la baie de Baffin et migrent au printemps vers leurs aires d'estivage. Les narvals ont tendance à revenir dans les mêmes aires d'estivage année après année (Dietz *et al.* 2001, Heide-Jørgensen *et al.* 2002, Heide-Jørgensen *et al.* 2003, Dietz *et al.* 2008) et en raison de cette fidélité aux sites, les agrégations estivales sont gérées comme des stocks individuels. Il existe quatre stocks de narvals définis au nord du Canada, soit les stocks de l'inlet de l'Amirauté, de l'île Somerset, du détroit d'Eclipse et de l'est de l'île de Baffin, et deux stocks présumés, les stocks du détroit de Smith et du détroit de Jones (MPO 2015). Des prises annuelles ont lieu dans l'Arctique et des quotas de narvals sont en place pour gérer et assurer la durabilité de la chasse. Les Inuits chassent chaque année les animaux du stock du détroit d'Eclipse principalement à Pond Inlet, au Nunavut; toutefois, certaines de ces baleines peuvent aussi être chassées sur leur route migratoire par d'autres communautés au Canada et au Groenland (Heide-Jørgensen *et al.* 2013a).

Dans les aires d'hivernage, on sait que les narvals habitent des eaux dont la couverture de glace dépasse 95 % (Laidre et Heide-Jørgensen 2011). Cependant, lorsque le temps change soudainement ou que de la glace se forme rapidement dans les fjords ou les bras de mer utilisés par les narvals à l'automne ou sur les voies de migration, des emprisonnements dans les glaces peuvent se produire. Les emprisonnements dans les glaces sont une source de mortalité naturelle pour les baleines de l'Arctique et sont pris en compte dans le taux intrinsèque de croissance de la population utilisé pour gérer des niveaux de prises durables. Malgré cela, on craint que des emprisonnements dans les glaces importants ou plus fréquents puissent avoir des incidences sur les stocks individuels de narvals. Un emprisonnement dans les glaces important a eu lieu en 1924 dans l'inlet de l'Amirauté, où 600 narvals ont été emprisonnés (Degerbøl et Freuchen 1935). Par la suite, l'emprisonnement dans les glaces le plus important de l'histoire canadienne s'est produit en 2008 dans le détroit d'Eclipse, près de la collectivité de Pond Inlet. L'emprisonnement aurait touché plus de 1 000 baleines, dont 629 ont été capturées (Laidre *et al.* 2012). Un autre emprisonnement dans les glaces important s'est produit près de Pond Inlet en 2015, où au moins 259 narvals ont été capturés et jusqu'à 1 000 narvals ont été piégés. Cela s'est produit sept ans après l'emprisonnement important précédent, ce qui suggère qu'il pourrait y avoir une augmentation de la fréquence de ces événements, ce qui pourrait avoir une incidence sur l'abondance des stocks individuels de narvals. Par conséquent, nous évaluons l'incidence de cet événement particulier d'emprisonnement dans les glaces sur le total autorisé des captures débarquées (TACD) à Pond Inlet dans les années à venir, et nous modélisons l'incidence sur le stock si des événements de cette ampleur se produisaient tous les trois, cinq, ou dix ans.

Les relevés aériens effectués en 2013 ont permis d'estimer à 10 489 (CV de 24 %) le nombre d'individus dans le stock de narvals du détroit d'Éclipse (MPO 2015). Cela représente une baisse de près de 50 % par rapport à un relevé précédent mené en 2004, qui avait estimé le stock à 20 225 individus (Richard *et al.* 2010). Toutefois, l'estimation de l'abondance du stock dans l'inlet de l'Amirauté a connu une augmentation semblable, passant de 18 049 en 2010 (MPO 2012a) à 35 043 dans le relevé de 2013 (MPO 2015). Les données fournies par les étiquettes repérables par satellite des narvals marqués dans le détroit d'Éclipse ont montré que certaines baleines se déplacent entre les stocks du détroit d'Éclipse et de l'inlet de l'Amirauté et qu'au moins un narval est retourné dans une région d'estivage différente de celle où il a été marqué après avoir hiverné dans le détroit de Davis (Watt *et al.* 2012). Par conséquent, il est possible que les changements dans l'abondance s'expliquent par le déplacement des narvals entre les deux régions.

En raison du mélange potentiel de narvals entre l'inlet de l'Amirauté et le détroit d'Éclipse, nous avons modélisé des scénarios pour calculer le TACD où 100 % de l'emprisonnement dans les glaces comprenait des baleines provenant uniquement du détroit d'Éclipse, et un autre scénario où seulement 76 % des individus provenaient du détroit d'Éclipse, en supposant que les 24 % restants provenaient de l'inlet de l'Amirauté. Cette partie a été déterminée à partir de données de télémétrie par satellite qui ont montré que des narvals marqués par des étiquettes 4/42 se déplaçaient de l'inlet de l'Amirauté au détroit d'Éclipse à l'automne et qu'ils auraient pu être disponibles pour un emprisonnement hivernal précoce dans les glaces ($4/42 = 0,095$) (Watt *et al.* 2012). En utilisant ce ratio comme hypothèse pour le comportement de l'ensemble du stock de l'inlet de l'Amirauté, on calcule le nombre de baleines de l'inlet de l'Amirauté qui pourraient se déplacer vers le détroit d'Éclipse en multipliant la proportion d'étiquettes (0,095) par l'estimation de l'abondance dans l'inlet de l'Amirauté (35 043; MPO 2015) pour un total de 3 329 baleines. Si les baleines de l'inlet de l'Amirauté se déplacent vers le détroit d'Éclipse, l'abondance de narvals dans le détroit d'Éclipse passerait de 10 489 (MPO 2015) à 13 818 (soit 3 329 baleines supplémentaires). D'après ces données, la proportion de baleines provenant de l'inlet de l'Amirauté lors de l'emprisonnement dans les glaces pourrait être de 0,24 (3 329 baleines divisées par l'estimation de l'abondance totale de 13 818 baleines). Ainsi, dans le deuxième scénario, nous supposons que 24 % des individus emprisonnés appartiennent au stock de l'inlet de l'Amirauté et 76 % à celui du détroit d'Éclipse.

Il est possible que les baleines impliquées dans l'emprisonnement proviennent aussi de stocks autres que ceux de l'inlet de l'Amirauté ou du détroit d'Éclipse, mais à l'heure actuelle, nous disposons de peu de preuves au moyen d'étiquettes repérables par satellite pour appuyer la modélisation de ces scénarios.

Bien que la fréquence des emprisonnements dans les glaces soit inconnue, nous voulions déterminer leurs incidences à long terme sur le stock advenant que ces événements soient de nature cyclique. Par conséquent, nous avons utilisé un modèle de population pour déterminer quelle serait l'incidence des emprisonnements dans les glaces se produisant tous les 3, 5, et 10 ans sur la taille du stock du détroit d'Éclipse au cours des 100 prochaines années, si nous supposons que le nombre de baleines impliquées dans l'emprisonnement provenant du détroit d'Éclipse varie de façon aléatoire à chaque emprisonnement de 200 à 1 000 baleines.

MÉTHODES

CONTEXTE

Le jeudi 5 novembre 2015, l'Organisation de chasseurs et de trappeurs Mittimatalik (OCT) (Pond Inlet) a avisé le bureau de secteur du MPO à Iqaluit d'un possible emprisonnement de narvals dans le secteur du détroit d'Éclipse. L'estimation initiale de l'emprisonnement dans les glaces était d'environ 1 000 animaux. La découverte a été faite par un chasseur qui se rendait à Lavoie Pt. (N72.732, O80.225) du côté ouest du détroit d'Éclipse. Alors qu'il se déplaçait en motoneige, il s'est arrêté à un trou de respiration des phoques près de Dufour Pt. (N72.760, O79.579). Lors de son arrêt, il a installé un hydrophone pour écouter les vocalisations des mammifères marins – peut-être pour écouter l'activité des phoques. Il a alors entendu les vocalisations distinctes des narvals. Il a présumé que les baleines se trouvaient quelque part dans le secteur et qu'elles étaient probablement piégées par la couverture de glace. L'OCT a été mis au courant de cette découverte et a entrepris des recherches pour trouver l'endroit où les narvals étaient piégés. Après presque un mois de recherches en motoneige à l'aide d'hydrophones et d'observations visuelles, les narvals ont finalement été trouvés le mercredi 2 décembre dans deux petits trous de respiration dans le détroit d'Éclipse juste au nord de l'île Ragged et de Cape Hatt (N72.62174, O79.82822). Le nombre de narvals

emprisonnés a été estimé à 250 ou plus. Les chasseurs ont creusé un troisième trou dans la glace pour répartir les baleines et améliorer l'efficacité de la capture. La capture par les chasseurs de l'OCT et de Pond Inlet a commencé le samedi 5 décembre et s'est terminée le jeudi 10 décembre. La capture totale débarquée était de 229 narvals, plus 20 autres individus qui ont été tués par des ours (n = 12) ou perdus (n = 8) pendant la capture. Le Secteur des sciences du MPO a envoyé deux employés pour prélever de la peau et de la graisse sur toutes les baleines capturées et d'autres tissus (yeux, défenses enchâssées, sang, foie, reins et muscles) d'autant de baleines que possible en fonction du temps et de la température (environ -53 °C).

MODÈLE DE PRÉLÈVEMENT BIOLOGIQUE POTENTIEL (PBP)

Nous supposons que la mortalité minimale des baleines du stock de narvals du détroit d'Éclipse est de 249 baleines (capturées et perdues), et nous calculons les estimations du modèle selon trois limites supérieures présumées de mortalité : 300, 650, et notre mortalité maximale qui a été estimée à 1 000 baleines d'après les renseignements fournis par les chasseurs.

La mortalité naturelle attribuables aux emprisonnements dans les glaces est déjà incluse dans le calcul du prélèvement biologique potentiel (PBP; Wade 1998); cependant, étant donné l'ampleur de cet événement et l'éventuelle fréquence de ces emprisonnements à grande échelle, nous avons modélisé différents taux de mortalité par emprisonnement supérieurs à ceux déjà inclus dans le taux intrinsèque de croissance de la population. Nous avons utilisé les mêmes scénarios modélisés par le MPO (2012b) où la mortalité par emprisonnement dépassait de 20 %, 40 %, 60 %, 80 %, et 100 % le taux de base de mortalité naturelle (le pire scénario).

Le PBP a été calculé à la suite des recherches effectuées par Wade (1998) (voir ci-dessous) pour chaque scénario et le PBP a ensuite été divisé par le taux de perte (1,28 [Richard 2008]) pour calculer un TACD révisé pour tous les scénarios possibles.

$$PBR = 0.5 * R_{Max} * N_{Min} * F_R$$

Où :

$$N_{Min} = N / \exp(z \sqrt{\ln(1 + CV^2)})$$

La valeur de N pour le détroit d'Éclipse est de 10 489 et le CV est de 0,24 (MPO 2015). La valeur de N change selon les différentes estimations de la mortalité par emprisonnement en prenant N – mortalité, mais le CV demeure à 0,24.

Z = 0,842 pour le 20^e centile de la distribution log-normale de la taille estimée de la population (Wade 1998).

R_{Max} = taux d'accroissement maximal du stock. La valeur par défaut pour les cétacés lorsque le taux est inconnu est de 0,04. Elle est ensuite multipliée par 0,5 pour simuler l'effet de la croissance logistique dépendante de la densité.

F_R = facteur de rétablissement fixé à 1,0 pour un stock en santé (Wade et Angliss 1997).

MODÈLE DE POPULATION

Le modèle que nous avons utilisé pour déterminer la fréquence à laquelle les emprisonnements dans les glaces auraient une incidence sur le stock de narvals du détroit d'Éclipse a été formulé à partir d'un modèle décrit pour la première fois par Wade (1998), puis utilisé par Richard et Young (2015) pour déterminer les effets d'un quota flexible. Le modèle utilise une forme discrète de l'équation logistique généralisée moins le PBP. Nous avons également soustrait

l'emprisonnement pour simuler les incidences des emprisonnements sur le stock de narvals du détroit d'Éclipse. Dans le modèle, nous supposons que le TACD est pris chaque année, et que le PBP est recalculé tous les 5 ans, puisqu'il s'agit du taux proposé dans ces relevés.

Le modèle utilisé ici est le suivant :

$$N_{t+1} = N_t + N_t * R_{max} \left[1 - \left(\frac{N_t}{K} \right) \theta \right] - PBR - E$$

où :

N_t = taille du stock à l'année t; N_0 commence en 2013 avec une estimation de l'abondance de 10 489 (MPO 2015).

R_{max} = taux de recrutement net maximal fixé comme valeur par défaut pour les cétacés à 0,04

K = la taille ou la capacité de charge du stock avant l'exploitation – 25 000 pour ces stocks simulés (Richard et Young 2015)

θ = le paramètre de forme dépendant de la densité – 1 dans ce cas pour une productivité nette maximale à 50 % K (croissance logistique).

PBP_t = Prélèvement biologique potentiel à l'année t, calculé tous les 5 ans entre les relevés, à partir de t = 2015 (2 ans après l'estimation initiale de l'abondance pour compenser le calcul du PBP avec la fréquence estimée des emprisonnements)

$$PBR_t = N_{min,t} * 0.5 * R_{max} * F_r$$

où :

$N_{min,t}$ = 20 % de la distribution log-normale de la taille estimée du stock, une estimation $E(N_t)$ avec un CV fixe de 30 % (le CV utilisé est le même que celui supposé dans Richard et Young [2015])

$N_{min,t} = E(N_t) / [\exp(\exp(z * \sqrt{\ln(1 + CV^2)}))]]$, tout simplement $E(N_t) / 1,280407$ avec $z = 0,842$ (variante normale standard pour le 20^e centile) et un CV = 0,3

La valeur $E(N_t)$ estimée utilisée pour mettre à jour $N_{min,t}$ et le PBR est échantillonné à partir d'une distribution log-normale de la valeur moyenne N_t et du CV de 30 %, comme suit :

$$E(N_t) = EXP\left(\text{Log}\left(\frac{N_t}{(1 + (CV^{0.5}))}\right)\right) + Z * ((\text{LOG}(1 + CV^2))^{0.5})$$

où :

z est un écart aléatoire normal = $(-2 * \text{Log}(\text{Uniform}(0,1))) * \text{Cos}(2 * \pi * \text{Uniform}(0,1))$

R_{max} = le taux d'accroissement maximal de la population (0,04)

F_r = facteur de rétablissement = 0,5 ou 1 selon que le scénario place la population de départ (N_t) à un niveau inférieur au niveau de population durable optimal (0,5 K ou 12 500) puis $F_r = 0,5$, ou à un niveau supérieur au niveau de population durable optimal puis $F_r = 1$.

E = l'ampleur de l'emprisonnement (varie de façon aléatoire entre les simulations à partir d'une distribution uniforme comprise entre 200 et 1 000 narvals pour chaque emprisonnement indépendamment)

Nous avons effectué 10 000 itérations du modèle pour déterminer une courbe médiane du stock avec des intervalles de confiance à 90 % autour de la médiane. Le modèle a été utilisé pour

projeter les incidences des emprisonnements fréquents sur le stock sur une période de 100 ans. Le modèle a été exécuté avec trois fréquences de piégeage, en présumant un événement tous les trois ans, tous les cinq ans et tous les dix ans. Le modèle suppose que la mortalité par emprisonnement est de 100 % supérieure à celle déjà incluse dans le taux de mortalité naturelle pris en compte dans le PBP et que l'ampleur des emprisonnements varie de façon complètement aléatoire de 200 à 1 000 narvals pour chaque emprisonnement (d'après les estimations des emprisonnements qui se sont produits en 2008 et en 2015). Le modèle suppose également que toutes les baleines (comprises entre 200 et 1 000) provenaient du stock de narvals du détroit d'Éclipse et qu'elles avaient toutes péri lors de l'événement.

En raison d'une préoccupation croissante concernant le fait que les modèles déterministes ne reflètent pas la variation naturelle dans les processus de la population (Dennis *et al.* 2006), nous avons également exécuté les modèles suivants avec un paramètre aléatoire supplémentaire pour l'erreur de traitement (Hilborn et Mangel 1997) :

$$N_{t+1} = W_t + N_t * R_{max} \left[1 - \left(\frac{N_t}{K} \right)^\theta \right] - PBR - E$$

où :

$$W_t = \exp (z * S_{pro} - [S_{pro}^2 / 2])$$

où :

$S_{pro} = 0,05$ (comme décrit ci-dessous), et;

Z = un écart aléatoire normal tel que défini ci-dessus.

Puisqu'il existe peu de preuves de ce qu'est une erreur de traitement réaliste pour toute population de mammifères marins, nous avons utilisé la même erreur de traitement arbitraire (0,05) que celle utilisée par Richard et Young (2015). Cette valeur est conforme à l'hypothèse selon laquelle la dynamique des populations de narvals à longue espérance de vie n'est pas très variable (Richard et Young 2015).

RÉSULTATS

MODÈLE DE PRÉLÈVEMENT BIOLOGIQUE POTENTIEL (PBP)

Les nouveaux calculs du PBP pour le stock de narvals du détroit d'Éclipse ont indiqué que l'effet de la mortalité maximale par emprisonnement variable avait relativement peu d'incidence sur le TACD correspondant, peu importe si l'emprisonnement comprenait des baleines provenant uniquement du détroit d'Éclipse (tableau 1) ou du détroit d'Éclipse et de l'inlet de l'Amirauté (tableau 2). Dans le pire des scénarios où toutes les baleines provenaient du détroit d'Éclipse, où 1 000 baleines ont péri et où toute mortalité est prise en compte en plus de celle déjà incluse dans le calcul du PBP, le TACD est passé de 134 à 121, soit une différence de 13 narvals (tableau 1). Si seulement 76 % des baleines piégées provenaient du détroit d'Éclipse, dans le pire des cas, le TACD est passé de 134 à 125, soit une différence de 9 narvals (tableau 2).

Tableau 1. PBP et TACD révisés selon différentes estimations de la mortalité causée par l'emprisonnement dans les glaces, en supposant que tous les narvals piégés provenaient du stock du détroit d'Éclipse. Le PBP a été calculé après l'événement. La dernière colonne indique la différence entre le TACD proposé de 134 avant l'événement et les TACD recalculés qui tiennent compte des différentes proportions de la mortalité par emprisonnement en 2015 qui s'ajoutent à la mortalité naturelle.

Mortalité par emprisonnement des narvals du détroit d'Éclipse*	Proportion de la mortalité par emprisonnement en 2015 qui s'ajoute au taux de base de mortalité naturelle	N _{Min}	PBP	TACD (après le taux d'animaux perdus)	Différence
249	0 % - 0 animal	8 594	171	134	0
	20 % - 50 animaux	8 553	171	134	0
	40 % - 100 animaux	8 512	170	133	-1
	60 % - 149 animaux	8 472	169	132	-2
	80 % - 199 animaux	8 431	169	132	-2
	100 % - 249 animaux	8 390	168	131	-3
300	0 % - 0 animal	8 594	171	134	0
	20 % - 60 animaux	8 545	171	134	0
	40 % - 120 animaux	8 496	170	133	-1
	60 % - 180 animaux	8 447	169	132	-2
	80 % - 240 animaux	8 397	168	131	-3
	100 % - 300 animaux	8 348	167	130	-4
650	0 % - 0 animal	8 594	171	134	0
	20 % - 130 animaux	8 488	170	133	-1
	40 % - 260 animaux	8 381	168	131	-3
	60 % - 390 animaux	8 275	165	129	-5
	80 % - 520 animaux	8 168	163	128	-6
	100 % - 650 animaux	8 061	161	126	-8
1 000	0 % - 0 animal	8 594	171	134	0
	20 % - 200 animaux	8 430	169	132	-2
	40 % - 400 animaux	8 266	165	129	-5
	60 % - 600 animaux	8 102	162	127	-7
	80 % - 800 animaux	7 939	159	124	-10
	100 % - 1 000 animaux	7 775	155	121	-13

*En supposant que 100 % des baleines provenaient du détroit d'Éclipse

Tableau 2. PBP et TACD révisés selon différentes estimations de la mortalité causée par l'emprisonnement dans les glaces, en supposant que 76 % des baleines provenaient du stock du détroit d'Éclipse et que 24 % des baleines provenaient du stock de l'inlet de l'Amirauté. Le PBP a été calculé après l'événement. La dernière colonne indique la différence entre le TACD proposé de 134 avant l'événement et les TACD recalculés qui tiennent compte des différentes proportions de la mortalité par emprisonnement en 2015 qui s'ajoutent à la mortalité naturelle.

Mortalité par emprisonnement des narvals du détroit d'Éclipse*	Proportion de la mortalité par emprisonnement en 2015 qui s'ajoute au taux de base de mortalité naturelle	N _{Min}	PBP	TACD (après le taux d'animaux perdus)	Différence
189	0 % - 0 animal	8 594	171	134	0
	20 % - 38 animaux	8 563	171	134	0
	40 % - 76 animaux	8 532	171	133	-1
	60 % - 113 animaux	8 501	170	133	-1
	80 % - 151 animaux	8 470	169	132	-2
	100 % - 189 animaux	8 439	169	132	-2
228	0 % - 0 animal	8 594	171	134	0
	20 % - 46 animaux	8 556	171	134	0
	40 % - 91 animaux	8 519	170	133	-1
	60 % - 137 animaux	8 482	170	133	-1
	80 % - 182 animaux	8 445	169	132	-2
	100 % - 228 animaux	8 407	168	131	-3
493	0 % - 0 animal	8 594	171	134	0
	20 % - 99 animaux	8 513	170	133	-1
	40 % - 197 animaux	8 433	169	132	-2
	60 % - 296 animaux	8 352	167	130	-4
	80 % - 394 animaux	8 271	165	129	-5
	100 % - 493 animaux	8 190	164	128	-6
759	0 % - 0 animal	8 594	171	134	0
	20 % - 152 animaux	8 470	169	132	-2
	40 % - 303 animaux	8 356	167	130	-4
	60 % - 455 animaux	8 221	164	128	-6
	80 % - 607 animaux	8 097	162	127	-7
	100 % - 759 animaux	7 972	159	125	-9

*En supposant que 76 % des baleines provenaient du détroit d'Éclipse

MODÈLE DE POPULATION

L'estimation de l'abondance médiane du stock pour les simulations sans erreur de traitement suggère que l'abondance du stock demeure relativement stable avec des emprisonnements dans les glaces tous les cinq et dix ans, et diminue lorsque des emprisonnements dans les glaces se produisent tous les trois ans (figure 1). Lorsqu'on a supposé que les emprisonnements dans les glaces se produisaient tous les trois ans, après 100 ans, le stock serait considéré comme en voie de disparition, et la limite inférieure de l'intervalle de confiance de 90 % pour le modèle suggère que le stock pourrait s'effondrer dans environ 60 ans (figure 1A). La taille médiane du stock demeure relativement stable si les emprisonnements dans les glaces se produisent tous les cinq ans (figure 1B), bien que la limite inférieure de l'intervalle de confiance de 90 % suggère une certaine diminution de la taille. Lorsque les emprisonnements dans les glaces ont lieu tous les dix ans, la taille médiane du stock augmente, ce qui laisse penser que le taux de croissance de la population peut compenser les événements de mortalité; cependant, la limite inférieure de l'intervalle de confiance de 90 % suggère une diminution de la taille du stock (figure 1C).

En général, l'ajout de l'erreur de traitement a entraîné une taille du stock légèrement inférieure pour toutes les fréquences d'emprisonnement (figure 2). Dans le cas où les emprisonnements se produisent tous les trois ans, on prévoit que la taille médiane du stock atteindra 0 avant 80 ans, tandis que la limite inférieure de l'intervalle de confiance de 90 % suggère que l'extinction est possible dans les 40 ans (figure 2A). Pour les emprisonnements se produisant tous les cinq ans avec erreur de traitement incluse dans le modèle, la médiane suggère une légère diminution du stock au fil du temps, tandis que la limite inférieure de l'intervalle de confiance de 90 % se rapproche d'une taille de stock de 0 en moins de 60 ans (figure 2B). Lorsqu'on suppose que les emprisonnements dans les glaces se produisent tous les 10 ans et que l'erreur de traitement est intégrée, le stock médian diminue au fil du temps (figure 2C). Pour le cycle d'emprisonnement de 10 ans, la limite inférieure de l'intervalle de confiance de 90 % suggère que le stock s'éteindra dans environ 100 ans (figure 2C).

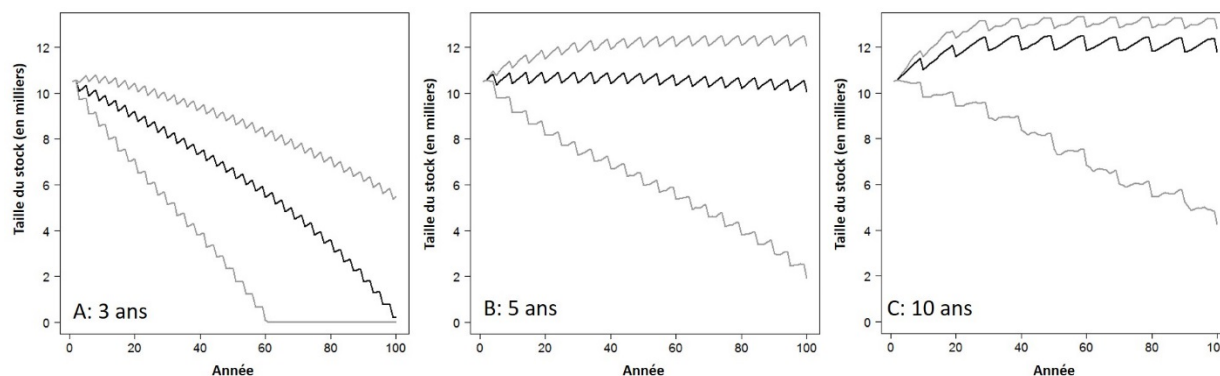


Figure 1. Projections de l'abondance du stock de narvals du détroit d'Éclipse, en supposant que des événements d'emprisonnement dans les glaces variant de 200 à 1 000 animaux se produisent tous les trois ans (A), tous les cinq ans (B) et tous les 10 ans (C). Les lignes noires continues représentent la taille médiane du stock sur 10 000 itérations, les lignes grises tiretées les intervalles de confiance à 90 % autour de la médiane.

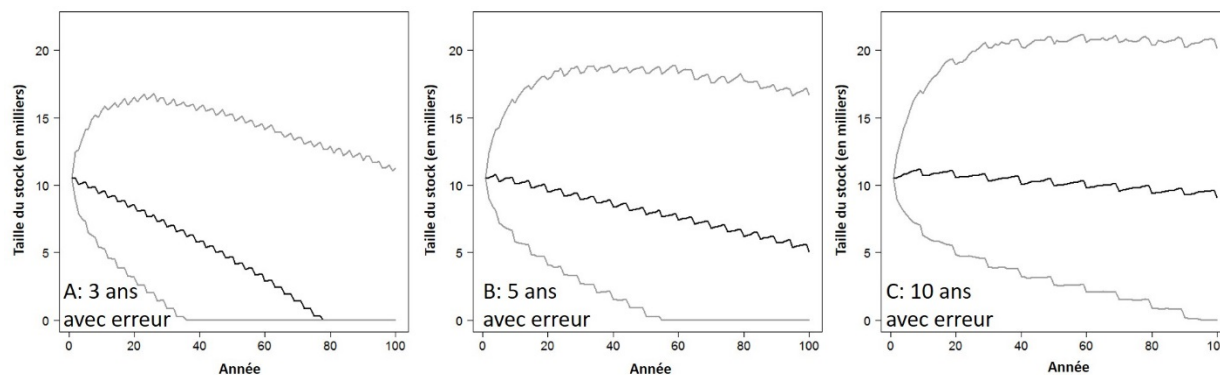


Figure 2. Projections de l'abondance du stock de narvals du détroit d'Éclipse, en supposant que des événements d'emprisonnement dans les glaces variant de 200 à 1 000 animaux se produisent tous les trois ans (A), tous les cinq ans (B) et tous les 10 ans (C) ans avec erreur de traitement intégrée au modèle. Les lignes noires continues représentent la taille médiane du stock sur 10 000 itérations, les lignes grises tiretées les intervalles de confiance à 90 % autour de la médiane.

DISCUSSION

L'exercice de modélisation de la population sans erreur de traitement a révélé que des événements d'emprisonnement dans les glaces de cette ampleur devaient être assez fréquents (tous les trois ans ou moins) pour que la taille médiane du stock diminue au cours des 100 prochaines années. Toutefois, le stock n'augmentera pas même si les emprisonnements dans les glaces ne se produisent que tous les cinq ans. À un rythme d'emprisonnement tous les 10 ans, la taille médiane du stock suggère une augmentation, mais il est difficile d'interpréter l'ampleur de l'augmentation puisque nous avons supposé une capacité de charge de 25 000 (ce qui peut ne pas être exact), et que le facteur de croissance et le facteur de rétablissement varient tous deux au-dessus de 50 % de la capacité de charge. Nous mettons en garde contre l'interprétation de l'ampleur de l'augmentation, mais il est évident que les emprisonnements dans les glaces qui se produisent tous les dix ans ou plus n'entraînent pas une diminution du stock du détroit d'Éclipse. Cela laisse penser que si les emprisonnements n'ont lieu que tous les dix ans, le taux de mortalité naturelle déjà pris en compte dans le calcul du PBP peut déjà tenir compte de la totalité de la mortalité attribuable à ces événements. Toutefois, si la fréquence des emprisonnements est tous les trois ou cinq ans, le taux de mortalité naturelle présumé dans le PBP peut être dépassé. Cependant, puisque le PBP de ce stock est idéalement évalué tous les cinq ans, nous pourrions être en mesure de saisir tous les événements d'emprisonnement dans les glaces dans les relevés aériens (selon la précision du relevé) et d'ajuster ensuite le PBP en conséquence. Si les emprisonnements dans les glaces sont plus fréquents, des relevés devraient également être effectués plus fréquemment afin de saisir les incidences de ces événements sur le stock.

Pour le modèle de population avec erreur de traitement intégrée, les intervalles de confiance sont plus grands et les probabilités que le stock s'éteigne sont plus grandes pour toutes les fréquences d'emprisonnement. Nous tenons à souligner que l'erreur de traitement choisie n'est pas fondée sur des données biologiques concernant les populations de mammifères marins, mais provient d'estimations réalisées pour les ongulés (Ahrestani *et al.* 2013) et doit donc être interprétée avec prudence. Une autre limite du modèle de population est qu'à l'heure actuelle, il ne tient pas compte des effets d'un emprisonnement biaisé en faveur des femelles. Sans renseignements supplémentaires sur les taux de natalité, l'âge à la première reproduction, la structure par âge des narvals piégés et plus de preuves pour savoir si la mortalité par emprisonnement est vraiment plus élevée chez les femelles que chez les mâles, ou si les mâles se noient simplement en essayant de s'échapper, sont nécessaires pour intégrer ce paramètre. Cependant, nous pouvons supposer que les projections à long terme seraient pires pour le stock si les femelles reproductrices constituaient la majorité de l'emprisonnement, car cela pourrait avoir une incidence sur le taux de croissance maximal de la population dans les années à venir (actuellement estimé à 0,04 pour les cétacés). Les intervalles de confiance à 90 % pour les estimations de la taille du stock étaient assez grands et indiquent notre incertitude quant aux paramètres de population utilisés, ainsi que la variabilité de la taille des emprisonnements (de 200 à 1 000 baleines) pouvant se produire. Malgré ces limites, nous croyons que l'exercice de modélisation fournit un cadre utile pour évaluer les incidences que les emprisonnements fréquents peuvent avoir sur le stock de narvals du détroit d'Éclipse.

Les emprisonnements dans les glaces sont des sources de mortalité naturelle chez les baleines de l'Arctique, bien qu'il soit peu probable que tous les emprisonnements entraînent la mort de toutes les baleines (certaines baleines peuvent survivre assez longtemps pour s'échapper ou survivre à l'emprisonnement). Les emprisonnements localisés et les animaux capturés par les chasseurs peuvent en fait augmenter la mortalité des baleines, puisque les baleines capturées sans cruauté lors de ces événements ne sont pas actuellement considérées comme faisant partie du TACD. Il est difficile de déterminer si ces événements augmentent en fréquence ou en

ampleur. Il est peu probable que l'emprisonnement dans les glaces en 2015 ait été localisé si un chasseur n'avait pas utilisé un hydrophone sous la glace pour entendre les baleines. L'augmentation de la distance que les chasseurs peuvent parcourir depuis leur collectivité grâce aux motoneiges à essence permet de surveiller une plus grande étendue et les technologies, comme les hydrophones, augmentent également les probabilités de trouver un emprisonnement. Bien que la détection des emprisonnements ait probablement connu des améliorations, l'incidence des emprisonnements dans les glaces résultant de changements imprévisibles en termes de perturbations climatiques et anthropiques pourrait également augmenter. L'augmentation de la pollution sonore causée par les levés sismiques utilisés pour localiser les réserves d'hydrocarbures peut également être liée à des événements d'emprisonnement (Heide-Jørgensen *et al.* 2013b). On suggère que le grand événement d'emprisonnement en 2008 près de Pond Inlet aurait pu se produire parce que les baleines ont quitté la région d'estivage au cours de leur migration habituelle, mais ont été bombardées de bruits, ce qui aurait pu les ramener dans les régions d'estivage, lesquelles étaient finalement recouvertes de glaces et ont causé un emprisonnement (Heide-Jørgensen *et al.* 2013b). Toutefois, il n'a pas été possible d'établir un lien direct entre les levés sismiques et les emprisonnements dans les glaces. Bien qu'un consortium de sociétés pétrolières (Petroleum Geo-Services Inc. (PGS), Multi Klient Invest AS (MKI), TGS-NOPEC Geophysical Company ASA (TGS)), ait obtenu une licence de cinq ans pour effectuer des levés sismiques au large des côtes canadiennes dans la baie de Baffin et le détroit de Davis (Speers-Roesch 2014), les sociétés ont décidé de suspendre les levés en 2015 puisque les collectivités étaient contre ces levés et le litige fait actuellement l'objet d'un examen par les tribunaux (Lessard 2015). Des levés sismiques étaient en cours au large de la côte est du Groenland (Grégoire 2015), mais il est peu probable qu'ils aient eu un impact sur les baleines au Canada en 2015. Les membres de la collectivité de Pond Inlet ont laissé entendre que l'emprisonnement pourrait avoir été causé par les activités de navigation dans le détroit d'Eclipse, ce qui pourrait avoir perturbé les habitudes de migration des narvals (L. Postma, communication personnelle). À l'heure actuelle, il existe peu de renseignements sur l'interaction entre les navires et les narvals; toutefois, cette question devrait faire l'objet d'une étude plus approfondie.

Les changements climatiques qui entraînent le retard de la formation des glaces, mais une formation plus imprévisible des glaces peuvent aussi causer des emprisonnements dans les glaces. Des treize narvals marqués dans le détroit d'Eclipse en août 1997-1999, tous sauf un avaient quitté le détroit le 1^{er} octobre (Dietz *et al.* 2001, Heide-Jørgensen *et al.* 2002). Par contre, sur douze narvals marqués dans la même région en août 2010-2011, seulement quatre avaient quitté la région d'estivage le 1^{er} octobre, la majorité des baleines étant parties entre le 4 et le 16 octobre (Watt *et al.* 2012). Il s'agit d'une différence en termes de début de la migration automnale de plus de deux semaines. Toutefois, cela est encore beaucoup plus tôt que la date établie de l'emprisonnement, qui n'a pas eu lieu avant novembre. On ne sait pas pourquoi les baleines en 2015 sont restées dans la région d'estivage si longtemps pendant la saison hivernale; si des étiquettes repérables par satellite avaient été apposées sur les narvals cet été-là, nous aurions pu avoir un aperçu de leur comportement. Par exemple, si les étiquettes montraient des narvals quittant l'aire d'estivage, mais revenant en octobre ou en novembre, cela pourrait indiquer qu'une certaine perturbation a pu les inciter à retourner dans leur région d'estivage.

Par ailleurs, les narvals peuvent choisir de rester plus longtemps dans leur région d'estivage pour d'autres raisons, comme l'abondance de proies, ou pour réduire le risque de prédation. L'état corporel des narvals dans l'emprisonnement de 2015 semblait bon, et quelques estomacs de narvals (5-10) ont été inspectés et ont révélé une abondance de calmars frais, ce qui suggère que les narvals se nourrissaient pendant l'emprisonnement. Les narvals peuvent avoir choisi de demeurer dans le détroit d'Éclipse pour profiter de cette source de proies avant leur

migration dans le détroit de Davis. En général, les scientifiques en savent très peu sur les événements d'emprisonnement, et ignorent si ces événements sont toujours mortels ou pas. De futures recherches sur les événements d'emprisonnement sont nécessaires. En particulier, la surveillance des emprisonnements (p. ex. l'échantillonnage et la capture contrôlés au fil du temps pour déterminer l'état et la santé des baleines) ou le marquage par satellite des narvals fournirait des renseignements précieux pour déterminer ce que les baleines font sous les glaces (c'est-à-dire si elles se nourrissent [plongée profonde], s'il y a d'autres trous [s'éloignent, mais reviennent ensuite aux mêmes trous de respiration], etc.). Les narvals sont très bons nageurs dans les glaces (Laidre et Heide-Jørgensen 2011), de sorte que certains ont peut-être pu s'échapper de l'emprisonnement.

Les échantillons prélevés dans les deux emprisonnements de Pond Inlet comprenaient une plus grande proportion de femelles que de mâles (> 80 % de femelles en 2008 [Watt et Ferguson 2011], et > 74 % en 2015). On suppose que les mâles sont capables de plonger plus longtemps et à des profondeurs plus importantes que les femelles et qu'ils peuvent avoir réussi à s'échapper de l'emprisonnement. De plus, les femelles peuvent escorter leurs petits qui sont incapables de plonger aussi longtemps que les baleines adultes, ce qui peut accroître la vulnérabilité des femelles et des jeunes aux événements d'emprisonnement. Par ailleurs, les mâles adultes peuvent quitter la région d'estivage avant les femelles. En 2010, lorsque les baleines ont été marquées dans le détroit d'Éclipse, les deux grands narvals mâles (444 et 461 cm de longueur) ont été les premiers à quitter l'aire d'estivage, ce qui suggère que les femelles pourraient retarder leur migration, peut-être pour prendre soin des petits plus longtemps dans le calme des fjords, ou pour éviter le risque de prédation. En 2011, le seul mâle marqué n'a quitté l'aire d'estivage qu'en octobre, à peu près au même moment que les femelles marquées; cependant, cette baleine ne mesurait que 310 cm de longueur, avec une très petite défense (20 cm de longueur) indiquant qu'elle était encore immature (Hay 1984, Watt *et al.* 2012). Il est possible que les grands mâles quittent la région d'estivage plus tôt. Cependant, les habitants de la région ont trouvé des carcasses au printemps (sexes non indiqués) indiquant des emprisonnements hivernaux (White 2012); les mâles peuvent se noyer en tentant de s'échapper et ne pas être capturés sur le site de l'emprisonnement. Certains chasseurs peuvent préférer chasser les narvals mâles pour obtenir une défense tout en recueillant le muktuk (P. Hall, communication personnelle). Cela peut mettre moins de pression sur le stock puisque les femelles en âge de se reproduire et les jeunes baleines (tant les femelles sans défense que les mâles avec une petite défense) sont évitées. Les emprisonnements dans les glaces, par contre, peuvent avoir une plus grande incidence sur le stock puisque les femelles en âge de se reproduire et leurs petits semblent plus susceptibles de se retrouver emprisonnés. Cependant, bien que les emprisonnements biaisés en faveur des femelles puissent avoir une incidence négative sur le stock de narvals, même le pire scénario pour l'emprisonnement en 2015 dans le détroit d'Éclipse n'a pas eu d'incidence significative sur le stock.

CONCLUSIONS

En résumé :

- En novembre 2015, plus de 249 narvals se sont retrouvés emprisonnés dans les glaces dans le détroit d'Éclipse.
- La présente étude a évalué l'incidence de cet emprisonnement sur le TACD proposé et l'abondance future du stock de narvals du détroit d'Éclipse.
- Différents scénarios ont été utilisés pour évaluer la mesure selon laquelle différentes tailles d'emprisonnement (249, 300, 650, et 1 000 baleines), avec des taux de mortalité dépassant

le taux de mortalité naturelle dans des proportions variables (20, 40, 60, 80, et 100 %), auraient une incidence sur le PBP et le TACD correspondant.

- Ces scénarios ont été répétés afin de déterminer l'incidence si l'emprisonnement avait touché des individus des deux stocks du détroit d'Éclipse (76 %) et de l'inlet de l'Amirauté (24 %).
- Les résultats ont indiqué que dans le pire des scénarios, lorsque l'emprisonnement comprenait 1 000 individus provenant tous du détroit d'Éclipse, si toutes les mortalités sont prises en compte en plus de celles déjà incluses dans le PBP, le TACD ne doit être réduit que de 13 animaux, de 134 à 121.
- Un modèle de population avec et sans erreur de traitement a été utilisé pour projeter les estimations (jusqu'à 100 ans) de l'abondance future du stock.
- Les résultats du modèle de population sans erreur de traitement indiquent que les emprisonnements dans les glaces se produisant tous les trois ans nuiraient au stock et que ceux se produisant tous les cinq ans empêcheraient la croissance du stock tandis que ceux se produisant tous les dix ans pourraient encore permettre au stock d'augmenter en taille, mais avec de grands intervalles de confiance.
- Les résultats du modèle de population avec erreur de traitement indiquent que le stock de narvals du détroit d'Éclipse diminue à toutes les fréquences d'emprisonnement (tous les trois ans, cinq ans et 10 ans) examinées.
- Si la fréquence ou l'ampleur des emprisonnements augmente, il pourrait être nécessaire de réviser le TACD, surtout si l'on tient compte du fait que les événements d'emprisonnement sont biaisés en faveur des femelles et peuvent donc avoir une incidence plus importante sur le stock que la chasse, qui est généralement biaisée en faveur des mâles.
- Dans l'éventualité d'un futur emprisonnement dans les glaces, des recherches devraient être entreprises pour tenter de mieux comprendre ces événements et leurs incidences sur les narvals.

REMERCIEMENTS

Nous aimerions remercier l'OCT de Pond Inlet, S. Angoyuak, J. Panipak, J. Ootova, J. Tigullaraq et S. Maktar pour leur aide sur le terrain.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Ahrestani, F.S., Hebbelwhite, M., and Post, E. 2013. The importance of observation versus process error in analysis of global ungulate populations. *Sci. Rep.* 3: 1–10.
- Degerbøl, M., and Freuchen, P. 1935. Mammals. Report of the Fifth Thule Expedition 1921-24. Gyldendalske Boghandel, Nordisk Forlag. 2(4-5): 1–278 p. [Copenhagen]
- Dennis, B., Ponciano, J.-M., Lele, S.R., Taper, M.L., and Staples, D.F. 2006. Estimating density dependence, process noise, and observation error. *Ecol. Monogr.* 76: 323–341.
- Dietz, R., Heide-Jørgensen, M.P., 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: 244–261.

-
- Dietz, R., Heide-Jørgensen, M.P., Richard, P., Orr, J., Laidre, K., and Schmidt, H.C. 2008. Movements of narwhals (*Monodon monoceros*) from Admiralty Inlet monitored by satellite telemetry. *Polar Biol.* 31: 1295–1306.
- Gregoire, L. 2015. [Greenpeace tracks Arctic seismic ship off east Greenland coast](#). Nunatsiaq News. (accessed August 2016)
- Hay, K.A. 1984. The life history of the narwhal (*Monodon monoceros* L.) in the Eastern Canadian Arctic. Thesis (PhD) McGill University, Montreal, QC. 280 p.
- Heide-Jørgensen, M.P., 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.
- Heide-Jørgensen, M.P., Dietz, R., Laidre, K., Richard, P., Orr, J., Schmidt, H.C. 2003. The migratory behaviour of narwhals (*Monodon monoceros*). *Can. J. Zool.* 81: 1298–1305.
- Heide-Jørgensen, M.P., Richard, P.R., Dietz, R., and Laidre, K.L. 2013a. A metapopulation model for Canadian and West Greenland narwhals. *Anim. Conserv.* 16: 331–343.
- Heide-Jørgensen, M.P., Guldborg Hansen, R., Westdal, K., Reeves, R.R., and Mosbech, A. 2013b. Narwhals and seismic exploration: is seismic noise increasing the risk of ice entrapments? *Biol. Conserv.* 158: 50–54.
- Hilborn, R., and Mangel, M. 1997. *The Ecological Detective: confronting models with data*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. 315 p.
- Laidre, K.L., and Heide-Jørgensen, M.P. 2011. Life in the lead: extreme densities of narwhals *Monodon monoceros* in the offshore pack ice. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 423: 269–278.
- Laidre, K., Heide-Jørgensen, M.P., Stern, J., and Richard, P. 2012. Unusual narwhal sea ice entrapments and delayed autumn freeze-up trends. *Polar Biol.* 35: 149–154.
- CBC News. 2015. [Seismic testing off Clyde River cancelled for 2015](#). CBC News North. (accessed August 2016).
- MPO. 2012a. [Abondance et total autorisé des captures débarquées pour le stock de narvals de l'Inlet de l'Amirauté en 2010](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2012/048.
- MPO. 2012b. [Effet de l'emprisonnement des narvals par les glaces dans le détroit d'éclipse en 2008 sur le total autorisé des captures débarquées](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Rép. des Sci. 2012/020.
- MPO. 2015. [Estimations de l'abondance des stocks de narvals dans l'Extrême-Arctique canadien en 2013](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2015/046.
- 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.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, 2002–04. *Arctic* 63: 85–99.
- Richard, P.R., and Young, R. 2015. [Evaluation of the sustainability of a flexible system of total allowable annual catches of narwhals \(*Monodon monoceros*\)](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2015/006. v + 13 p.
- Speers-Roesch, A. 2014. [Cold rush: the race is on between exploitation and conservation in the Arctic](#). *Alternatives Journal*. (accessed August 2016).
-

-
- Wade, P.R. 1998. Calculating limits to the allowable human-caused mortality of cetaceans and pinnipeds. *Mar. Mammal Sci.* 14: 1–37.
- Wade, P.R., and Angliss, R. 1997. Guidelines for assessing marine mammal stocks: report of the GAMMS workshop April 3-5, 1996, Seattle, Washington. US Department of Commerce, NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-12. 93 p.
- Watt, C.A., and Ferguson, S.H. 2011. [Stable isotope and fatty acid analyses of samples from entrapped narwhals \(*Monodon monoceros*\)](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2010/134. iv + 12 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.
- White, A. 2012. [A synthesis of narwhal \(*Monodon monoceros*\) scientific advice and Inuit knowledge collected during Nunavut community consultations \(May 25-31, 2011\)](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2012/001. iv + 11 p.