



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 2020/057

Région de Terre-Neuve-et-Labrador

**Estimations actualisées des taux de reproduction des phoques du Groenland
dans l'Atlantique Nord-Ouest et influence de l'état corporel**

G.B. Stenson, A.D. Buren et G.L. Sheppard.

Pêches et Océans Canada
Direction générale des sciences
C.P. 5667
St. John's (Terre-Neuve) A1C 5X1

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, 2020
ISSN 2292-4272

La présente publication doit être citée comme suit :

Stenson, G. B., Buren, A.D. et Sheppard, G.L. 2020. Estimations actualisées des taux de reproduction des phoques du Groenland dans l'Atlantique Nord-Ouest et influence de l'état corporel. Secr. can.de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2020/057. iv + 22 p.

Also available in English:

Stenson, G.B., Buren, A.D., and Sheppard, G.L. 2020. Updated Estimates of Reproductive Rates in Northwest Atlantic Harp Seals and the Influence of Body Condition. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2020/057. iv + 22 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	IV
INTRODUCTION	1
MÉTHODES	2
TAUX DE REPRODUCTION	2
ÉTAT	3
RÉSULTATS	4
TAUX DE REPRODUCTION	4
Taux de gestation selon l'âge	4
Taux de fécondité et taux d'avortement	5
État	5
Taux de fécondité et état	5
Taux d'avortement et état	6
DISCUSSION	6
REMERCIEMENTS	8
RÉFÉRENCES CITÉES	8
TABLEAUX	11
FIGURES	16

RÉSUMÉ

Il est essentiel d'obtenir des estimations exactes des taux de reproduction pour décrire la dynamique des populations d'une espèce. Depuis les années 1950, les taux de fécondité des phoques du Groenland de l'Atlantique Nord-Ouest ont diminué, et la variabilité interannuelle a augmenté. Cette forte variabilité des taux de reproduction s'est maintenue, mais les taux de fécondité très faibles observés en 2010 et 2011 ne se soient pas reproduits. Des taux de fécondité élevés ont été observés en 2014 et en 2015, associés à une période de glace étendue et à une abondance relativement élevée du capelan. Une étude antérieure a révélé que, bien que le déclin général de la fécondité soit le reflet de processus densité-dépendants associés à l'augmentation de la taille de la population, la grande variabilité interannuelle est causée par des taux variables d'avortements tardifs qui sont liés à des changements dans l'abondance du capelan (une espèce fourragère focale du système) et de la couverture de glace au milieu de l'hiver (qui reflète les conditions environnementales qui influencent diverses espèces). Nous formulons l'hypothèse que l'évolution de la disponibilité des proies influe sur les taux de reproduction en induisant des changements de l'état corporel. Nous avons constaté que l'état relatif moyen des femelles gestantes était élevé pendant quatre décennies, tandis que celui des femelles non gestantes et immatures variait considérablement et affichait un déclin général depuis 2000. Bien que l'état corporel ne semble pas influencer directement sur les taux de fécondité, il a une incidence sur le taux d'avortements tardifs. Des réductions relativement faibles de l'état moyen ont entraîné des taux d'avortement beaucoup plus élevés. Cela donne à penser qu'à mesure que l'état général de la population se dégrade, les femelles qui ont une énergie suffisante maintiennent leur gestation alors que celles qui n'en ont pas voient leur gestation se terminer prématurément. Les influences relatives de la couverture de glace au milieu de l'hiver, de l'abondance du capelan et de l'état corporel n'ont pu être résolues, car il s'agit de mesures différentes de la quantité d'énergie disponible pour la mise bas. La biomasse du capelan est influencée par le moment du recul des glaces du plateau de Terre-Neuve-et-Labrador. À court terme (c.-à-d. dans les deux prochaines années), la biomasse de capelan devrait diminuer, ce qui se répercutera probablement sur les taux de reproduction. À long terme, une grande incertitude entoure l'effet que les changements prévus dans le moment de la formation et du recul des glaces auront sur le capelan et, par conséquent, sur les taux de reproduction des phoques du Groenland.

Mots clés : phoque du Groenland, *Pagophilus groenlandicus*, taux de reproduction, fécondité, avortements

INTRODUCTION

Il est essentiel de comprendre la fécondité et les facteurs qui influent sur la proportion de femelles qui mènent à terme une gestation avec succès pour comprendre la dynamique d'une population. Les taux de reproduction sont influencés par une combinaison de facteurs dépendants de la densité et indépendants de la densité, qui réagissent avec l'abondance de la population et l'environnement (p. ex., Eberhardt, 1977; Gaillard *et al.*, 2000; de Little *et al.*, 2007; Stenson *et al.*, 2016). Le phoque du Groenland est l'espèce de mammifères marins la plus abondante dans l'Atlantique Nord et fait l'objet de nombreuses études en raison de l'importance de son rôle écologique et du fait qu'il est chassé à des fins commerciales. D'après les prélèvements d'animaux du sud du Labrador et du nord-est de Terre-Neuve, les taux de reproduction des phoques du Groenland de l'Atlantique Nord-Ouest ont été étudiés depuis les années 1950 (Fisher, 1954) et un programme plus systématique a été lancé dans les années 1980 et se poursuit aujourd'hui (Sjare et Stenson, 2010; Stenson *et al.*, 2016). Au cours de cette période, la population a diminué à moins de 2 millions, avant d'augmenter à plus de 7 millions (Hammill *et al.*, 2015). L'écosystème de l'Atlantique Nord-Ouest a également subi des changements importants en raison d'un changement de régime survenu au début des années 1990 et des changements climatiques continus (p. ex., McLaren *et al.*, 2001; Drinkwater, 2004; Buren *et al.*, 2014).

Bowen et ses collaborateurs (1981) ont observé qu'à mesure que la population diminuait dans les années 1950 et 1960, le taux de gestation chez les femelles adultes passait de 85 à 95 %. Ils considéraient qu'il s'agissait probablement d'une réaction densité-dépendante à la réduction de la population. Au fur et à mesure que la population augmentait, les taux de reproduction ont généralement diminué, mais avec une variabilité interannuelle considérable (Stenson *et al.*, 2016). Depuis la fin des années 1980, il y a eu des indications selon lesquelles certaines femelles ont mis bas prématurément pendant la période d'alimentation hivernale précédant celle de mise bas en mars. Stenson et ses collaborateurs (2016) ont analysé l'évolution des taux de fécondité et d'avortement pour déterminer les facteurs qui influent sur les taux de reproduction chez les phoques du Groenland. Ils ont constaté que, bien que le déclin général de la fécondité soit associé à l'augmentation de la taille de la population, la variabilité interannuelle des taux de fécondité pouvait s'expliquer par l'inclusion du taux d'avortements tardifs comme facteur explicatif dans le modèle. Les changements des taux d'avortement ont été décrits par un modèle qui incorporait la biomasse du capelan et la couverture de glace au milieu de l'hiver (probablement un indicateur de substitution pour les changements écosystémiques touchant l'abondance globale des proies). Il semble que les phoques du Groenland réagissent à des variations relativement faibles des conditions environnementales lorsque les niveaux de population sont élevés.

Le phoque du Groenland étant un reproducteur sur capital, il doit accumuler des réserves d'énergie qu'il pourra utiliser pendant les périodes de reproduction et de mue. Chabot et Stenson (2002) ont constaté que les phoques du Groenland mâles revenaient de leurs aires d'alimentation en haute latitude plus lourds, en meilleur état et avec une couche de petit lard plus épaisse que lorsqu'ils avaient quitté la zone au printemps précédent, mais qu'ils continuaient de prendre du poids et d'accumuler du petit lard jusqu'à la fin de février. Une tendance semblable a été observée chez les femelles; une proportion importante de l'énergie utilisée pendant la reproduction avait été stockée pendant l'hiver, lorsqu'elles se trouvaient au large de Terre-Neuve (Chabot et Stenson, données non publiées). Par conséquent, la variabilité de la disponibilité des proies dans la partie sud de leur aire de répartition annuelle est susceptible d'avoir un impact majeur sur l'état des femelles et leur capacité de mener à bien une gestation.

L'objectif de cette étude est de mettre à jour les taux de reproduction présentés dans Stenson *et al.* (2016) et de présenter une analyse préliminaire des données sur l'état des femelles au cours de la période précédant la mise bas.

MÉTHODES

TAUX DE REPRODUCTION

Les données de 2012 ont été tirées de Stenson *et al.* (2016), bien qu'il y ait eu de petites mises à jour de certaines données. Les données et les méthodes de collecte sont résumées dans Sjare et Stenson (2010) et Stenson *et al.* (2016). Des organes reproducteurs et des mâchoires ont été prélevés sur des phoques du Groenland femelles échantillonnées autour de Terre-Neuve et du sud du Labrador depuis 1979. L'échantillonnage s'est concentré sur une zone principale le long de la côte nord-est de Terre-Neuve, qui est adjacente à un habitat d'alimentation hivernal et printanier essentiel. Les échantillons ont été prélevés par des chasseurs de phoques expérimentés et des employés du ministère des Pêches et des Océans (MPO) en vertu de permis délivrés par le MPO. Afin de réduire au minimum les biais d'échantillonnage possibles d'une année à l'autre, un noyau de chasseurs de différentes régions de la province a recueilli un échantillon de phoques sur toute la période. Les organes reproducteurs étaient soit conservés dans du formol (10 %) ou congelés sur le terrain; en laboratoire, les ovaires étaient coupés en sections sériées de 2,0 mm d'épaisseur aux fins d'examen.

L'âge était déterminé à l'année la plus proche en sectionnant une canine inférieure et en comptant les anneaux annuels (annuli) de la dentine (Fisher, 1954; Bowen et Sergeant, 1983; Frie *et al.*, 2011). Les femelles étaient considérées comme immatures si les ovaires étaient petits et ne contenaient que des follicules inactifs sans corps jaune ou corps blanc (Fisher, 1954; Bowen *et al.*, 1981). S'il y avait des signes de corps jaune et/ou de corps blanc dans l'un des ovaires, le phoque était considéré comme étant mature. Les femelles matures étaient considérées comme gestantes si l'un des ovaires contenait un corps jaune entièrement lutéiné et, depuis 1985, si la présence d'un fœtus était détectée. Les femelles matures non gestantes n'avaient pas de corps jaune actif, mais montraient des signes d'ovulation antérieure (c.-à-d. présence d'un corps blanc). Comme dans les études précédentes, tous les phoques de moins de trois ans étaient considérés comme immatures (Sjare et Stenson, 2010).

Pour les ovaires prélevés après 1984, la taille de tous les corps blancs et corps jaunes a été mesurée dans deux directions et la moyenne a été consignée. Pour les ovaires prélevés avant 1985, le diamètre maximal était consigné. Il a été considéré que les phoques qui n'avaient pas de fœtus en croissance, mais qui avaient un corps jaune de 13 mm ou moins ou un corps blanc de 12 mm ou moins, un utérus à la surface inégale et une grande différence de largeur de corne utérine (~15,0 mm), avaient récemment mis bas (c.-à-d. moins d'un mois, Stenson *et al.*, 2014). Dans le cas des échantillons de phoques prélevés avant le 20 février, on a supposé que ces blanchons n'avaient pas survécu et que cela représentait une naissance prématurée (c.-à-d. un avortement tardif). Pour les échantillons de phoques recueillis après le 20 février, on a supposé qu'il y avait une forte probabilité que ces blanchons aient contribué à la population cette année-là. On a également supposé que si une femelle avait un corps jaune actif et un fœtus le jour du prélèvement, elle aurait mené à terme la gestation avec succès.

Les taux de fécondité, définis comme la proportion de femelles matures gestantes, et les taux de gestation selon l'âge ont été calculés selon la méthode de Stenson *et al.* (2016). Les taux de gestation tardive, de fécondité et d'avortement ont été estimés à partir des échantillons de

phoques recueillis entre octobre et février, bien que la grande majorité des échantillons aient été prélevés après novembre.

ÉTAT

Des mesures morphométriques standard (longueur, poids total, poids de la peau et de la graisse, profondeur du petit lard) sont disponibles pour un sous-échantillon de femelles prélevées entre décembre et février. À l'aide de ces données, nous avons calculé un indice d'état relatif pour chaque femelle au moyen de l'équation $IE = P/P^*$, où P est le poids corporel observé et P^* est le poids corporel prédit à partir d'une relation longueur-poids (Le Cren, 1951). Nous avons soustrait le poids du fœtus des femelles gestantes avant d'établir la relation longueur-poids. Étant donné que le poids augmente à mesure que les phoques accumulent du petit lard pendant l'hiver afin d'emmagasiner de l'énergie pour la mise bas et la mue, nous avons estimé les poids prédits séparément pour décembre, janvier et février.

Pour déterminer si l'état a une influence sur le taux de fécondité (défini comme la proportion de femelles matures considérées comme gestantes), les données présentées dans Stenson *et al.* (2016) ont été analysées de nouveau, en incluant l'état comme variable explicative potentielle. Comme dans Stenson *et al.* (2016) et étant donné que les taux supposent des valeurs dans l'intervalle d'unité standard (0; 1), nous avons modélisé les taux d'avortement au moyen de modèles régression bêta et de dispersion fixe (Ferrari et Cribari-Neto, 2004; Cribari-Neto et Zeileis, 2010) en utilisant le progiciel Betareg (Cribari-Neto et Zeileis, 2010) dans le langage statistique R (R Development Core Team, 2012). Le modèle avait la forme suivante :

taux de fécondité ~ taille de la population + taux d'avortement + état relatif moyen

Compte tenu de la relation fonctionnelle non linéaire entre le taux d'avortement et l'état relatif (voir ci-dessous), le taux d'avortement a été modélisé comme un modèle additif généralisé (GAM; Wood, 2006) de la forme :

taux d'avortement ~ s(état relatif moyen)

Les GAM étaient ajustés à l'aide du progiciel « mgcv » (Wood, 2011) dans le langage statistique R.

En utilisant le modèle de régression bêta, Stenson et ses collaborateurs (2016) ont constaté que le modèle le plus parcimonieux pour décrire les taux d'avortement comprenait la couverture de glace au milieu de l'hiver (29 janvier) et la biomasse de capelan (d'après les relevés d'automne au chalut de fond). Nous avons analysé de nouveau ces données pour déterminer si l'ajustement du modèle s'améliorait avec l'ajout de l'état ou en utilisant l'état seul (modèle GAM) dans lequel :

« Meancond » signifie état moyen

« Capt1 » représente la biomasse de capelan, décalé par un an, et

« Ice.1y.jan » représente la couverture de la glace le 29 janvier.

Enfin, l'état a été modélisé comme un modèle additif généralisé (Wood, 2006) de la forme :

taux d'avortement ~ s(couverture de glace au milieu de l'hiver) – R^2 ajusté = 0,42

ou

taux d'avortement ~ s(couverture de glace au milieu de l'hiver) + s(capelan) – R^2 ajusté = 0,44

Nous avons élaboré tous les modèles candidats possibles (sans inclure les interactions) et nous avons classé et sélectionné le meilleur modèle en fonction du critère d'information Akaike corrigé pour les échantillons de petite taille (Burnham et Anderson, 2002) et du ratio de preuve de la mesure dérivée (Emin,i) (Anderson, 2008).

RÉSULTATS

TAUX DE REPRODUCTION

Taux de gestation selon l'âge

L'effort d'échantillonnage a varié tout au long de la période d'échantillonnage, un grand nombre d'animaux ayant été recueillis au cours de certaines années, tandis que leur nombre était bien moindre au cours d'autres années (tableau 1). Après une période où le nombre d'échantillons était relativement faible, celui des échantillons des phoques de huit ans et plus (8+) a généralement été de l'ordre de 50 à 150 à partir du début des années 2000, bien qu'il ait pu être inférieur à cela certaines années. Les échantillons des jeunes phoques étaient assez peu nombreux la plupart des années tout au long de la série chronologique. Ils ont été particulièrement rares dans les échantillonnages à partir du milieu des années 1990, mais il semblerait que le nombre d'échantillons de jeunes phoques est en augmentation depuis 2016.

Dans l'ensemble, l'âge de la majorité des phoques échantillonnés a évolué (tableau 2, figure 2). Avant 1990, environ 80 % des échantillons étaient des phoques de moins de huit ans, tandis que seulement 10 % avaient plus de 13 ans. Cette situation a changé avec le déclin de la proportion de jeunes phoques, et la proportion d'échantillons provenant du groupe le plus âgé a augmenté. Au cours de la période la plus récente (2015-2018), moins de 60 % des phoques étaient âgés de moins de 8 ans (la majorité étant âgée de 1 ou 2 ans), tandis que plus de 30 % des échantillons provenaient de phoques âgés de 14 ans et plus. Plus de 10 % des échantillons provenaient de phoques âgés de 20 ans et plus.

En raison de la petite taille des échantillons, il n'y a pas de nouvelles données sur les taux de gestation des phoques de moins de 8 ans. Les taux de gestation chez les phoques de 3 ans étaient très faibles, tandis que ceux de 4 et 5 ans semblaient présenter des taux de reproduction légèrement plus élevés à la fin des années 1970 et au début des années 1980 qu'avant ou après. Les taux de gestation chez les phoques de 6 ans sont faibles (< 67 %) depuis le milieu des années 1990, comparativement aux années précédentes, où les taux se situaient en moyenne autour de 80 %. Toutefois, pratiquement aucun phoque de 6 ans n'a été échantillonné depuis le milieu des années 2000. Très peu de phoques de 7 ans ont été échantillonnés au cours de la dernière décennie, et les taux de gestation varient considérablement, comme on peut s'y attendre avec de petits échantillons.

Chez les animaux de 8 ans ou plus, les taux de gestation étaient élevés (de 80 à 90 %) jusqu'au milieu des années 1980 (tableau 1, figure 3). Les taux de gestation ont diminué à la fin des années 1980, mais la faible taille des échantillons au milieu des années 1980 fait en sorte qu'il est difficile de déterminer le moment exact du changement. Depuis 2000, les taux de gestation se sont établis en moyenne à environ 62 %, mais ont varié considérablement, passant d'environ 20 % en 2011 à plus de 85 % en 2014 (tableau 1). Depuis la dernière évaluation en 2013, les taux de gestation ont généralement été élevés, s'établissant en moyenne à 78 %.

Compte tenu de l'âge plus avancé des phoques échantillonnés, nous avons vérifié la sénescence chez les femelles. Sur les quelque 2 260 femelles matures examinées, douze (12) semblent être sénescentes, sans indication d'une activité de reproduction récente. Ces femelles ont été recueillies entre 1987 et 2017 et avaient entre 24 et 42 ans. La majorité était dans la fin

de la vingtaine ou au début de la trentaine. Nous avons également comparé les taux de reproduction pour divers groupes d'âge afin de déterminer si l'évolution de la structure par âge avait une incidence sur les taux de gestation estimés, mais aucune différence n'a été observée entre les femelles de différents groupes d'âge en ce qui concerne leurs taux de gestation annuels.

Taux de fécondité et taux d'avortement

Les taux estimés de fécondité et d'avortement des phoques prélevés dans les eaux de Terre-Neuve sont présentés au tableau 3. Les taux de fécondité estimés sont très semblables aux taux de gestation des femelles de huit ans et plus, la seule différence étant l'ajout de quelques phoques plus jeunes matures. De la même façon que dans l'étude de Stenson et ses collaborateurs (2016), les critères de détermination des avortements tardifs étaient fondés sur les diamètres observés de corps jaunes et de corps blancs chez les phoques femelles identifiées comme étant gestantes en l'absence d'un fœtus implanté.

Jusqu'à la fin des années 1970, plus de 85 % des femelles adultes étaient gestantes chaque année. Depuis, les taux de fécondité ont été très variables, mais avec une tendance à la baisse (tableau 3, figure 3). Le taux le plus faible de la série chronologique a été observé en 2011 (19,6 %), tandis que le taux de 2014 (85,5 %) était le plus élevé des dernières années et semblables aux taux observés avant les années 1980.

Bien que d'autres études (Stenson *et al.*, 2016) aient indiqué qu'aucun avortement tardif n'avait été détecté chez les femelles prélevées avant 1987, une nouvelle analyse de certains des échantillons antérieurs démontre que quelques femelles présentaient des signes de parturition prématurée en 1979 et 1981 (tableau 3, figure 4). Depuis 1987, des avortements semblent avoir eu lieu presque chaque année, bien que le taux varie considérablement. En général, le taux d'avortement semble être plus élevé les années où la fécondité globale est plus faible (figure 4). Par exemple, les taux d'avortement les plus élevés (0,196 et 0,233) ont été observés en 2004 et 2010, années où les taux de fécondité étaient parmi les plus faibles.

État

Les régressions mensuelles de l'état prévu pour une longueur donnée sont présentées à la figure 5 et l'état relatif annuel des femelles gestantes, non gestantes et immatures est indiqué à la figure 6. À quelques exceptions près, l'état moyen des femelles gestantes est demeuré égal ou supérieur à 1. L'état en 2018 semble inférieur, mais ces données sont encore au stade préliminaire. En revanche, l'état relatif moyen des femelles non gestantes semble avoir diminué et est généralement inférieur à 1 depuis 2000. L'état moyen des femelles non gestantes était inférieur à celui des femelles gestantes presque toutes les années. L'état relatif moyen des femelles immatures a suivi une tendance semblable à celui des femelles non gestantes, l'état étant inférieur à la moyenne depuis 2000.

Taux de fécondité et état

Stenson et ses collaborateurs (2016) ont constaté que le modèle le plus parcimonieux pour décrire le taux de fécondité comprenait la taille de la population et le taux d'avortement comme variables explicatives. Ce modèle présentait une fiabilité considérable (pseudo $R^2 = 0,824$) par rapport au deuxième meilleur modèle, qui ne comprenait que la taille de la population comme variable explicative (pseudo $R^2 = 0,49$; $EI_{\min,i} = 17,676$). L'ajout de l'état corporel en tant que l'une des variables explicatives du modèle qui offrait auparavant le meilleur ajustement n'a pas beaucoup amélioré l'ajustement du modèle (pseudo $R^2 = 0,841$). L'ajustement des deux modèles est presque identique (figure 7).

Taux d'avortement et état

Il existe une relation non linéaire entre le taux annuel d'avortement et l'état (figure 8). Une légère diminution de l'état peut entraîner une augmentation considérable du taux de naissances prématurées.

Dans les analyses précédentes, les taux d'avortement étaient mieux décrits par le modèle qui comprenait seulement la couverture de glace à la fin de janvier et la biomasse du capelan comme variables explicatives (Stenson *et al.*, 2016). L'ajout de l'état corporel comme variable explicative dans le modèle de régression bêta n'a pas amélioré l'ajustement du modèle de façon significative. Même si le modèle le plus parcimonieux était celui qui comprenait les trois variables (couverture de glace au milieu de l'hiver, biomasse du capelan et état corporel moyen), ce modèle ne pouvait être distingué du modèle original (glace et capelan) ou de celui qui comprenait le capelan et l'état (tableau 4). Les relations entre le taux d'avortement et la glace, le capelan et l'état moyen étaient toutes négatives.

Toutefois, lorsque l'on utilisait le GAM, le modèle qui comprenait seulement l'état corporel moyen était le plus parcimonieux (tableau 4, figure 9). Il était environ quatre fois plus fiable que les modèles qui comprenaient soit la glace et l'état, soit le capelan et l'état.

La relation étroite entre les modèles qui comprennent une combinaison de la couverture de glace au milieu de l'hiver (29 janvier), de la biomasse du capelan à l'automne précédent et de l'état n'est pas surprenante, car la glace, ou la glace et le capelan, constituent des variables explicatives pour décrire l'état (figure 10).

DISCUSSION

Stenson et ses collaborateurs (2016) ont conclu que le déclin global des taux de reproduction depuis les années 1980 était lié à des facteurs dépendant de la densité, alors que la population augmentait en abondance. Toutefois, la variabilité interannuelle était liée à des facteurs environnementaux comme la biomasse de capelan et la couverture de glace au milieu de l'hiver. Les chercheurs étaient d'avis que la glace était un indicateur des conditions environnementales globales et qu'elle constituait une variable représentative de la disponibilité des proies. Dans l'Atlantique Nord-Ouest, les phoques du Groenland accumulent leurs réserves d'énergie pendant l'hiver, juste avant de mettre bas et de muer (Chabot *et al.*, 1996). Si leurs réserves sont insuffisantes, la gestation est interrompue pour améliorer leurs chances de survie (Stenson *et al.*, 2016). Nous avons constaté que l'état relatif moyen des femelles gestantes ne semble pas varier, tandis que celui des femelles non gestantes et immatures varie considérablement et affiche un déclin général depuis 2000. Cette constatation laisse croire qu'à mesure que l'état général de la population se dégrade, les femelles qui ont une énergie suffisante maintiennent leur gestation alors que celles qui n'en ont pas avortent.

Bien que l'état corporel ne semble pas influencer directement sur les taux de fécondité, il a une incidence sur le taux d'avortements tardifs. Des réductions relativement faibles de l'état moyen ont entraîné des taux d'avortement beaucoup plus élevés. Il est difficile de distinguer l'influence de la couverture de glace au milieu de l'hiver, de la biomasse du capelan et de l'état sur les avortements, puisqu'il s'agit essentiellement de mesures différentes de la quantité d'énergie disponible pour la mise bas. Le capelan est une proie importante des phoques du Groenland (Lawson et Stenson, 1995; Lawson *et al.*, 1997) alors que l'état des glaces reflète les conditions environnementales qui influent sur diverses espèces (Koen-Alonso, comm. pers.). L'état est simplement l'intégration de la disponibilité des proies et de la dépense énergétique. Hammill et Sauvé (2017) ont signalé une dégradation semblable de l'état des phoques du Groenland qui

était liée négativement aux taux de reproduction de l'année précédente et à la débâcle dans le golfe du Saint-Laurent.

Les taux de reproduction très variables signalés par Sjare et Stenson (2010) et Stenson et ses collaborateurs (2016) se sont maintenus, mais les taux de fécondité très faibles observés en 2010 et 2011 ne se sont pas reproduits. En fait, des taux de fécondité extrêmement élevés ont été observés en 2014 et en 2015. Ces périodes correspondent à une période chaude avec peu de glace en 2010 et 2011 (Stenson et Hammill, 2014) et à une période plus froide avec plus de glace en 2014 et 2015 (Service canadien des glaces). Les changements environnementaux survenus au cours de la dernière décennie ont eu une incidence sur l'abondance des proies des phoques du Groenland. Bien que le stock de capelan au large de Terre-Neuve se soit effondré au début des années 1990 (Buren *et al.*, 2019), les estimations de la biomasse du capelan dans le relevé acoustique du printemps ont atteint leur plus bas niveau en 2010 (23 000 tonnes). En revanche, la biomasse de 2014 a atteint 982 000 tonnes dans un environnement plus frais. Ce lien étroit entre les taux de reproduction des phoques du Groenland et la disponibilité des proies observé par Stenson et ses collaborateurs (2016) semble se poursuivre. Les taux de fécondité plus élevés que la normale observés au cours des dernières années sont associés à une abondance relativement élevée de capelan, comme l'indique le relevé acoustique du printemps (figure 11).

Dans l'analyse précédente, il n'y avait aucun signe d'avortements chez les phoques prélevés avant 1987. Toutefois, d'après le nouvel examen des échantillons antérieurs, il semble que certaines femelles recueillies plus tôt aient pu mettre fin à leur gestation avant la période habituelle de mise bas. Bon nombre de ces femelles proviennent de l'échantillon de 1981, une année extrêmement mauvaise pour la glace. La mortalité des blanchons a été considérable en 1981 et les conditions étaient très semblables à celles observées en 2010 et en 2011, lorsque les taux de fécondité étaient faibles et les taux d'avortement parmi les plus élevés.

Il y a eu un changement considérable dans la structure par âge des femelles que nous avons échantillonnées. Bien que cela puisse représenter un changement dans la répartition des phoques du Groenland, rien n'indique un tel changement. La répartition et le moment des migrations des phoques du Groenland adultes munis d'émetteurs satellites en 2004 étaient très semblables à ceux des phoques munis d'émetteurs satellites au milieu des années 1990, et les rapports sur la répartition des phoques le long de la côte de Terre-Neuve sont semblables pour toute la période. Par conséquent, nous estimons que les changements dans la structure par âge des échantillons reflètent probablement les changements dans la structure par âge de la population. Dans les années 1980, la grande majorité des échantillons (~80 %) provenaient de phoques de moins de huit ans. Cependant, avec la reprise de la chasse commerciale à grande échelle au milieu des années 1990 (Stenson et Upward, 2019) et l'augmentation du nombre d'années avec mortalité liée aux glaces (p. ex., Hammill *et al.*, 2015), plusieurs cohortes entre 1995 et 2012 ont été réduites. L'examen de la fréquence selon l'âge des phoques échantillonnés donne à penser que ces cohortes étaient absentes de la population, tandis que les femelles nées avant 1995 dominaient les échantillons. Ce n'est qu'au cours des dernières années que les femelles plus jeunes (de 2 à 6 ans) réapparaissent dans l'échantillonnage. Cela correspond à la perception selon laquelle ces cohortes pourraient être plus résistantes.

Le nombre accru de phoques plus âgés que nous sommes en mesure d'examiner nous permet de commencer à mieux comprendre la sénescence chez les phoques du Groenland. Bien que nous n'ayons pas encore déterminé la proportion exacte de femelles qui semblent avoir terminé leur vie reproductrice, ces cas semblent rares. Un certain nombre de femelles dans la trentaine mènent encore à terme des gestations avec succès.

Les données que nous avons présentées ici indiquent qu'en général, les taux de reproduction des phoques du Groenland de l'Atlantique Nord-Ouest continuent d'être très variables en fonction de l'évolution de leur environnement et de la disponibilité de leurs proies. Si les femelles accumulent l'énergie nécessaire pour mettre bas et allaiter leur nouveau-né, elles peuvent atteindre un niveau d'état corporel adéquat et mener à bien leur gestation. Sinon, la gestation prendra fin plus tôt. Depuis 2012, les taux de gestation sont relativement élevés, probablement en raison de l'abondance accrue du capelan. Toutefois, la biomasse du capelan est influencée par le moment du recul des glaces (Buren *et al.*, 2014; Lewis *et al.*, 2019) et, selon le recul des glaces en 2019 et la production larvaire en 2017-2018, la biomasse du capelan devrait diminuer au cours des deux prochaines années (MPO, 2019). Cette diminution pourrait entraîner une baisse des taux de reproduction au cours des prochaines années. En s'appuyant sur un modèle régional de changements climatiques, Han et ses collaborateurs (2019) ont prédit qu'il y aurait d'importants changements dans le calendrier de formation et de recul des glaces d'ici 2040, et que le sud du Labrador pourrait être pratiquement exempt de glace d'ici 2100. Nous ne savons pas quelles en seront les répercussions sur le capelan et sur les phoques du Groenland.

REMERCIEMENTS

Nous remercions le regretté B. Sjare pour les données historiques, D. Wakeham, qui a examiné les ovaires pendant de nombreuses années, W. Penny et B. Stockwood pour les données sur le vieillissement, P. Upward et P. Goulet pour avoir fourni certaines figures, et W. Penney, D. McKinnon, J. Foley, G. Furey et B. Stockwood pour avoir recueilli des échantillons. Nous tenons également à remercier les nombreuses personnes qui ont recueilli et nous ont fourni des échantillons et qui nous ont aidés à mener à bien notre travail. Ces travaux ont bénéficié du soutien du Centre d'excellence sur les mammifères marins de Pêches et Océans Canada.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Anderson, D.R. 2008. Model based inference in the life sciences: a primer on evidence. Springer, New York, USA.
- Bowen, W.D., and D.E. Sergeant. 1983. Mark-recapture estimates of harp seal pup (*Phoca groenlandica*) production in the northwest Atlantic. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 40: 728-742.
- Bowen, W.D., Capstick, C.K., and D.E. Sergeant. 1981. Temporal changes in the reproductive potential of female harp seal, *Pagophilus groenlandicus*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 38: 495–503.
- Buren, A.D., Koen-Alonso, M., Pepin, P., Mowbray, F., Nakashima, B., Stenson, G., Ollerhead, N., and W.A. Montevecchi. 2014. Bottom-up regulation of capelin, a keystone forage species. PLoS One 9(2):e87589. Doi:10.1371/journal.pone.0087589.
- Buren, A.D., Murphy, H.M., Adamack, A.T., Davoren, G.K., Koen-Alonso, M., Montevecchi, W.A., Mowbray, F.K., Pepin, P., Regular, P.M., Robert, D., Rose, G.A., Stenson, G.B., and D. Varkey. 2019. The collapse and continued low productivity of a keystone forage fish species. Mar. Ecol. Prog. Ser. 616:155-170.
- Burnham, K.P. and D.R. Anderson. 2002. Model selection and multimodel inference. A practical Information-theoretic approach. Springer, New York, USA.
- Chabot, D., and G.B. Stenson. 2002. Growth and seasonal fluctuations in size and condition of male Northwest Atlantic harp seals (*Phoca groenlandica*): An analysis using sequential growth curves. Mar. Ecol. Prog. Ser. 227:25-42.

-
- Chabot, D., Stenson, G.B., and N.B. Cadigan. 1996. Short-and long-term fluctuations in the size and condition of harp seal (*Phoca groenlandica*) in the northwest Atlantic. NAFO Sci. Coun. Stud. 26:15-32
- Cribari-Neto, F., and A. Zeileis. 2010. Beta regression in R. Journal of statistical software 34: 1-24.
- de Little, S.C., Bradshaw, C.J.A., McMahon, C.R., and M.A. Hindell. 2007. Complex interplay between intrinsic and extrinsic drivers of long-term survival trends in southern elephant seals. BMC Ecology 2007, 7:3 doi:10.1186/1472-6785-7-3
- DFO. 2019. Assessment of 2J3KL Capelin in 2018. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep. 2019/048.
- Drinkwater, K.F. 2004. Atmospheric and sea-ice conditions in the Northwest Atlantic during the decade, 1991–2000. J. Northw. Atl. Fish. Sci. 34: 1-11.
- Eberhardt, L.L. 1977. Optimal policies for conservation of large mammals, with special reference to marine ecosystems. Environ. Conserv. 4: 205–212.
- Ferrari, S.L.P., and F. Cribari-Neto. 2004. Beta regression for modelling rates and proportions. J. Appl. Stat., 31: 799-815.
- Fisher, H.D. 1954. Studies on reproduction in the harp seal *Phoca groenlandica* Erxleben in the Northwest Atlantic. Fish. Res. Board Can. MS Report 588. 109 pp.
- Frie, A.K., Fagerheim, K.-A., Hammill, M.O., Kapel, F.O., Lockyer, C., Stenson, G.B., Rosing-Asvid, A., and V. Svetochhev. 2011. Error patterns in age estimation of harp seals (*Pagophilus groenlandicus*): results from a transatlantic, image-based blind-reading experiment using known-age teeth. ICES J. Mar. Sci. 68:1942-1953.
- Gaillard, J.M., Festa-bianchet, M., Yoccoz, N.G., Loison, A., and C. Toigo. 2000. Temporal variation in fitness components and population dynamics of large herbivores. Annu Rev Ecol Syst 31: 367–393.
- Hammill, M.O., and C. Sauvé. 2017. Growth and condition in harp seals-evidence of density dependent and density independent influences. ICES J. Mar. Sci. 74:1395-1407
- Hammill, M.O., Stenson, G.B., Doniol-Valcroze, T., and A. Mosnier. 2015. Conservation of Northwest Atlantic harp seals: past success, future uncertainty? Biol. Conserv. 192:181-191.
- Han, G., Ma, Z., Long, Z., Perrie, W., and J. Chasse. 2019. Ocean and Sea-Ice Model Under an A1B Forcing Scenario 2011–2069, Atmosphere-Ocean, 57: 3-17.
- Lawson, J.W., and G.B. Stenson. 1997. Diet of northwest Atlantic harp seals (*Phoca groenlandica*) in offshore areas. Can J. Zool. 75:2095-2106.
- Lawson, J.W., Stenson, G.B., and D. McKinnon. 1995. Nearshore diet of harp seals (*Phoca groenlandica*) in the northwest Atlantic during 1990-1993. Can. J. Zool. 75:1805-1818.
- Le Cren, E.D.L. 1951. The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). J Anim Ecol 20: 201-219
- Lewis, K.P., Buren, A.D., Regular, P.M., Mowbray, F.K., and H.M. Murphy. 2019. Forecasting capelin *Mallotus villosus* biomass on the Newfoundland shelf. Mar. Ecol. Prog. Ser. 616:171-183.
- McLaren, I.A., Brault, S., Harwood, J., and D. Vardy. 2001. Report of the eminent panel on seal management. 146p.

-
- R Development Core Team 2012. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing.
- Sjare, B., and G.B. Stenson. 2010. Changes in the reproductive parameters of female harp seals (*Pagophilus groenlandicus*) in the Northwest Atlantic. ICES J. Mar. Sci. 67: 304-315.
- Stenson, G.B., and M.O. Hammill. 2014. Can ice breeding seals adapt to habitat loss in a time of climate change? ICES J. Mar. Sci. 71:1977-1986.
- Stenson, G.B., Buren, A.D., and M. Koen-Alonso. 2016. The impact of changing climate and abundance on reproduction in an ice-dependent species, the Northwest Atlantic harp seal, *Pagophilus groenlandicus*. ICES J. Mar. Sci. 73:250-262.
- Wood, S. 2006. Generalized additive models: an introduction with R. Chapman and Hall/CRC Press, Boca Raton.
- Wood, S.N. 2011. Fast stable restricted maximum likelihood and marginal likelihood estimation of semiparametric generalized linear models. J. Royal Statistical Soc. (B) 73(1):3-36.

TABLEAUX

Tableau 1. Taux de gestation selon l'âge des phoques du Groenland femelles échantillonnées dans les eaux de Terre-Neuve-et-Labrador de 1954 à 2018. Les taux sont fondés sur la proportion de femelles gestantes dans un groupe d'âge donné, quel que soit leur degré de maturité.

Âge	-	3	-	-	4	-	-	5	-
Année	n	Aucune gest.	Taux de gest.	n	Aucune gest.	Taux de gest.	n	Aucune gest.	Taux de gest.
1954	4	0	0	3	1	0,333	3	2	0,667
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1964	11	0	0	9	1	0,111	2	1	0,500
1965	30	1	0,033	44	5	0,114	37	20	0,541
1966	7	0	0	9	1	0,111	17	6	0,353
1967	10	0	0	19	4	0,211	33	20	0,606
1968	27	0	0	19	6	0,316	20	14	0,700
1969	25	1	0,040	25	4	0,160	16	7	0,438
1970	13	0	0	13	3	0,231	12	6	0,500
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1978	40	1	0,025	38	23	0,605	20	18	0,900
1979	21	5	0,238	15	8	0,533	5	5	1,000
1980	2	0	0	2	1	0,500	1	1	1,000
1981	5	1	0,200	4	3	0,750	2	1	0,500
1982	4	0	0	5	2	0,400	1	1	1,000
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1985	4	-	0	3	1	0,333	5	2	0,400
1986	1	1	1,000	0	-	-	2	1	0,500
1987	12	2	0,167	8	3	0,375	9	7	0,778
1988	17	2	0,118	6	1	0,167	3	3	1,000
1989	8	0	0	9	0	0	6	2	0,333
1990	8	0	0	7	1	0,143	3	1	0,333
1991	10	0	0	11	2	0,182	7	4	0,571
1992	10	2	0,200	11	3	0,273	9	4	0,444
1993	11	1	0,091	17	2	0,118	7	0	0
1994	23	1	0,043	16	2	0,125	14	6	0,429
1995	10	0	0	13	6	0,462	4	2	0,500
1996	8	0	0	6	0	0	4	1	0,250
1997	6	0	0	4	0	0	10	3	0,300
1998	6	0	0	10	3	0,300	9	2	0,222
1999	6	0	0	7	0	0	18	4	0,222
2000	1	0	0	9	3	0,333	6	4	0,667
2001	2	0	0	0	0	-	2	2	1,000
2002	2	0	0	4	1	0,250	5	3	0,600
2003	1	0	0	3	2	0,667	2	1	0,500
2004	2	0	0	5	0	0	5	1	0,200
2005	9	1	0,111	9	0	0	13	2	0,154
2006	2	0	0	0	0	-	0	-	-
2007	1	0	0	5	0	0	3	1	0,333
2008	6	0	0	3	0	0	2	0	0
2009	2	0	0	1	0	0	1	0	0
2010	3	0	0	0	-	-	0	-	-
2011	5	0	0	3	0	0	2	0	0
2012	0	-	-	2	0	0	1	0	0
2013	6	0	0	1	0	0	0	-	-
2014	4	0	0	2	0	0	0	-	-

Âge	-	3	-	-	4	-	-	5	-
Année	n	Aucune gest.	Taux de gest.	n	Aucune gest.	Taux de gest.	n	Aucune gest.	Taux de gest.
2015	4	0	0	0	-	-	1	0	0
2016	16	0	0	7	0	0	4	1	0,250
2017	8	0	0	7	0	0	8	0	0
2018	5	0	0	10	0	0	6	0	0

Tableau 1 (suite).

-	6	-	-	7	-	-	8+	-
n	Aucune gest.	Taux de gest.	n	Aucune gest.	Taux de gest.	n	Aucune gest.	Taux de gest.
16	12	0,750	4	3	0,750	29	26	0,897
-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	3	0,750	5	5	1,000	20	17	0,850
38	27	0,711	33	28	0,848	76	68	0,895
11	8	0,727	8	7	0,875	41	36	0,878
29	28	0,966	3	20	0,870	100	89	0,890
12	11	0,917	11	9	0,818	44	39	0,886
28	23	0,821	9	27	0,931	136	119	0,875
10	9	0,900	19	18	0,947	88	74	0,841
-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	6	0,667	10	7	0,700	31	28	0,903
9	8	0,889	4	4	1,000	7	16	0,941
0	-	-	2	2	1,000	10	7	0,700
7	6	0,857	0	-	-	17	14	0,824
4	3	0,750	0	-	-	3	1	0,333
-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	3	1,000	0	-	-	1	1	1,000
1	-	0	1	1	1,000	6	6	1,000
4	4	1,000	1	1	1,000	23	14	0,609
0	-	-	3	2	0,667	16	12	0,750
3	2	0,667	2	2	1,000	20	20	1,000
1	0	0	0	-	-	10	6	0,600
3	1	0,333	3	1	0,333	26	17	0,654
8	6	0,750	2	2	1,000	30	19	0,633
5	4	0,800	3	2	0,667	32	15	0,469
7	3	0,429	5	5	1,000	36	29	0,806
5	2	0,400	0	-	-	24	14	0,583
1	1	1,000	0	-	-	35	24	0,686
2	2	1,000	2	1	0,500	34	26	0,765
4	2	0,500	9	6	0,667	27	16	0,593
15	6	0,400	9	7	0,778	50	30	0,600
5	2	0,400	6	3	0,500	37	26	0,703
3	0	0	3	3	1,000	36	23	0,639
17	10	0,588	7	4	0,571	65	36	0,554
3	2	0,667	4	2	0,500	87	57	0,655
1	0	0	8	5	0,625	68	26	0,382
7	0	0	6	1	0,167	80	54	0,675
0	-	-	5	3	0,600	114	64	0,561
2	2	1,000	2	1	0,500	82	63	0,768
0	0	-	4	1	0,250	57	44	0,772
1	0	0	1	1	1,000	105	59	0,562
0	-	-	1	0	0	114	35	0,307

-	6	-	-	7	-	-	8+	-
n	Aucune gest.	Taux de gest.	n	Aucune gest.	Taux de gest.	n	Aucune gest.	Taux de gest.
0	-	-	0	-	-	153	30	0,196
0	-	-	0	-	-	28	17	0,607
0	-	-	1	0	0	11	6	0,630
1	0	0	1	0	0	76	65	0,855
0	-	-	3	0	0	15	15	1,000
6	2	0,333	4	3	0,750	93	69	0,742
0	-	-	2	0	0	50	29	0,580
3	1	0,333-	2	1	0,500	69	51	0,739

Tableau 2. Proportion d'échantillons d'organes reproducteurs de divers groupes d'âge pour des blocs d'échantillonnage de cinq ans.

Âge	1980-1984	1985-1989	1990-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2010-2014	2013-2018
1-7	0,80	0,82	0,77	0,78	0,71	0,57	0,38	0,53
8-13	0,09	0,06	0,09	0,10	0,13	0,11	0,02	0,05
14-19	0,06	0,05	0,05	0,06	0,10	0,20	0,15	0,03
20+	0,04	0,07	0,08	0,06	0,05	0,11	0,45	0,40

Tableau 3. Taux annuels de fécondité tardive (nbre gestantes/nbre matures) et d'avortement (nbre avortements/nbre matures) chez les phoques du Groenland femelles, d'octobre à février, de 1954 à 2019.

Année	Nombre de femelles matures	Taux de fécondité	Taux d'avortement
1954	51	0,863	0
-	-	-	-
1964	32	0,844	0
1965	161	0,925	0
1966	59	0,983	0
1967	163	0,988	0
1968	85	0,929	0
1969	187	0,968	0
1970	116	0,948	0
-	-	-	-
1978	88	0,943	0
1979	51	0,941	0
1980	14	0,786	0
1981	32	0,781	0,094
1982	9	0,778	0
-	-	-	-
1985	11	0,727	0
1986	10	0,900	0
1987	46	0,696	0,022
1988	26	0,769	0,038

Année	Nombre de femelles matures	Taux de fécondité	Taux d'avortement
1989	32	0,781	0,125
1990	15	0,533	0,067
1991	38	0,684	0,026
1992	56	0,643	0,071
1993	47	0,469	0,085
1994	60	0,767	0,033
1995	37	0,676	0,081
1996	39	0,667	0
1997	42	0,762	0,119
1998	44	0,636	0,023
1999	81	0,568	0,025
2000	54	0,704	0,019
2001	42	0,667	0,048
2002	93	0,581	0,032
2003	96	0,656	0,052
2004	80	0,300	0,238
2005	95	0,611	0,011
2006	119	0,521	0,109
2007	90	0,744	0,022
2008	62	0,726	0,000
2009	105	0,571	0,124
2010	114	0,307	0,228
2011	153	0,196	0,124
2012	28	0,627	0,036
2013	12	0,500	0,167
2014	76	0,855	0,013
2015	17	0,882	0,000
2016	100	0,750	0,040
2017	50	0,580	0,100
2018	72	0,736	0,042
2019	110	0,727	0,064

Tableau 4. Statistiques de sélection de modèles pour les analyses des taux d'avortement. Le critère d'information Akaike corrigé delta pour les échantillons de petite taille ($\Delta AICc$) et le ratio de preuve de la mesure dérivée ($E_{min,i}$) pour chaque modèle sont inclus.

TABLEAU DE SÉLECTION DU MODÈLE DE RÉGRESSION BÊTA

modèle	N	K	pseudo R ²	LH	deltaAICc	$E_{min,i}$
glace.1a.jan + Capelan1 + état_moyen	16	4	0,79	40,04	0,00	1,00
Capelan1 + état_moyen	16	3	0,67	37,62	0,48	1,27
glace.1a.jan + Capelan1	16	3	0,69	37,41	0,90	1,57
glace.1a.jan	16	2	0,52	32,49	7,10	34,85
état_moyen	16	2	0,47	32,35	7,37	39,92
glace.1a.jan + état_moyen	16	3	0,59	33,70	8,31	63,85
Capelan1	16	2	0,17	27,78	16,52	3862,25

TABLEAU DE SÉLECTION DU MODÈLE GAM

modèle	N	K	R ² ajusté	LH	deltaAICc	$E_{min,i}$
s(état_moyen)	16	2	0,68	18,02	0,00	1,00
Capelan1 + s(état_moyen)	16	3	0,67	18,41	2,76	3,97
glace.1a.jan + s(état_moyen)	16	3	0,68	18,76	3,00	4,48
glace.1a.jan + Capelan1 + s(état_moyen)	16	4	0,67	19,09	6,16	21,73
glace.1a.jan	16	2	0,40	12,37	6,66	27,91
glace.1a.jan + Capelan1	16	3	0,45	13,58	7,87	51,21
Capelan1	16	2	0,01	8,33	14,73	1580,29

FIGURES

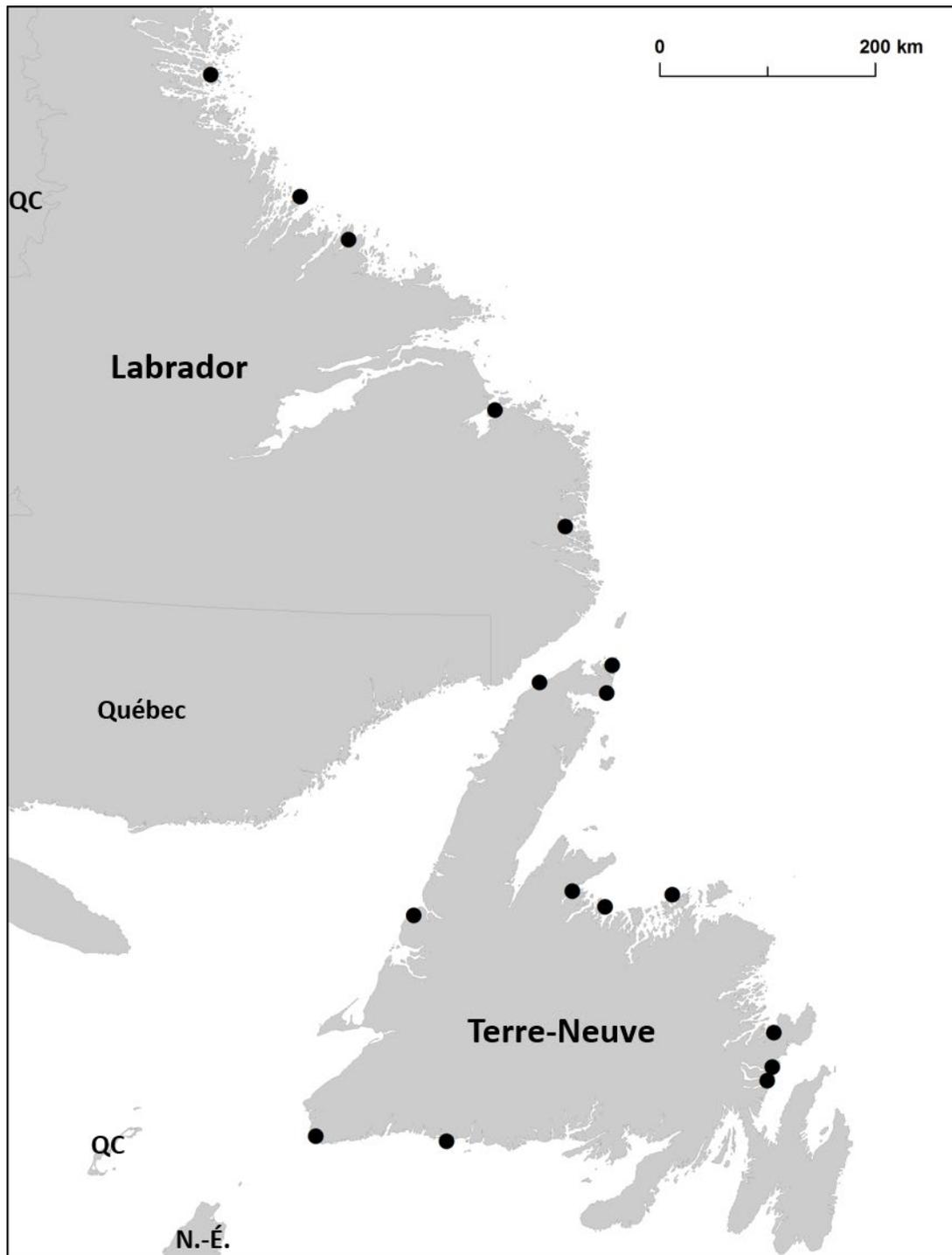


Figure 1. Emplacement des prélèvements d'échantillons d'organes reproducteurs du programme de collecte de la région de Terre-Neuve.

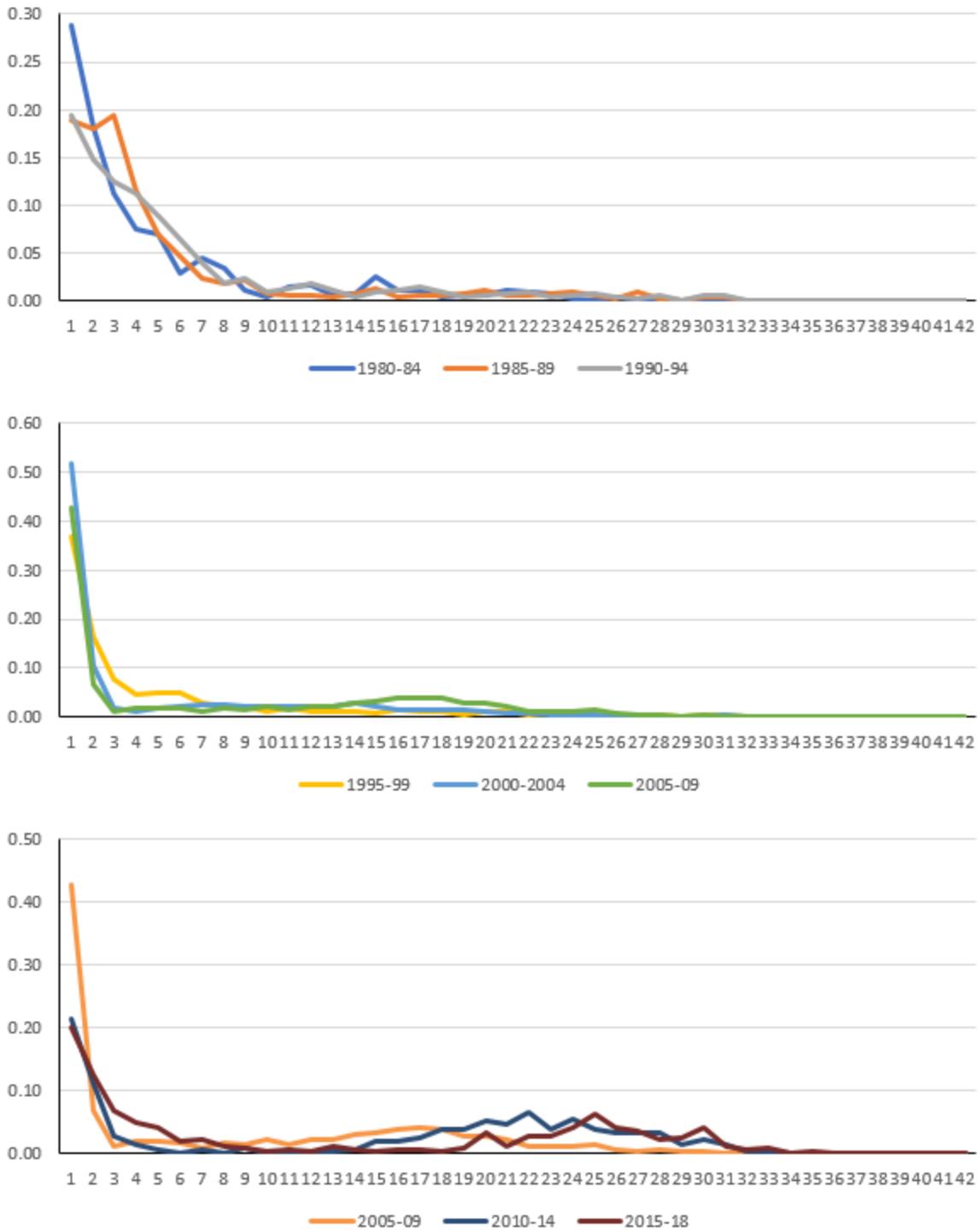


Figure 2. Âge des femelles prélevées au cours de périodes de cinq ans d'échantillonnage des organes reproducteurs. Seulement quatre années de données sont disponibles pour la dernière période.

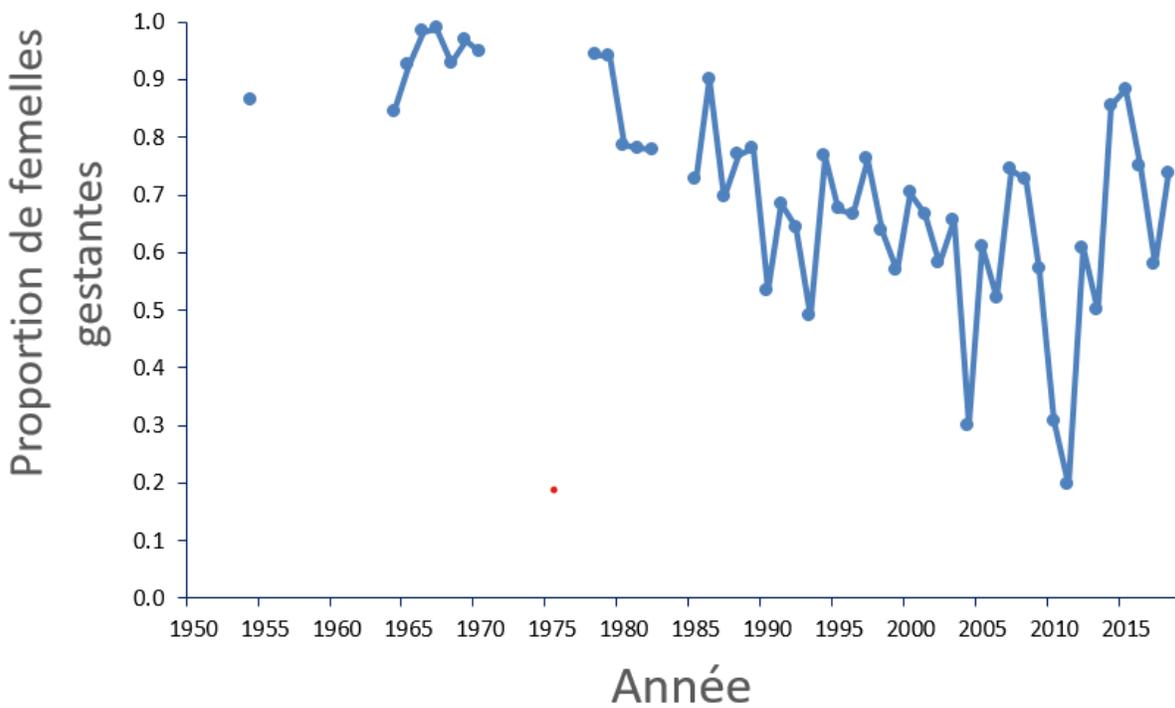


Figure 3. Proportion de phoques femelles âgées de huit ans et plus qui étaient considérées comme en gestation chaque année d'échantillonnage.

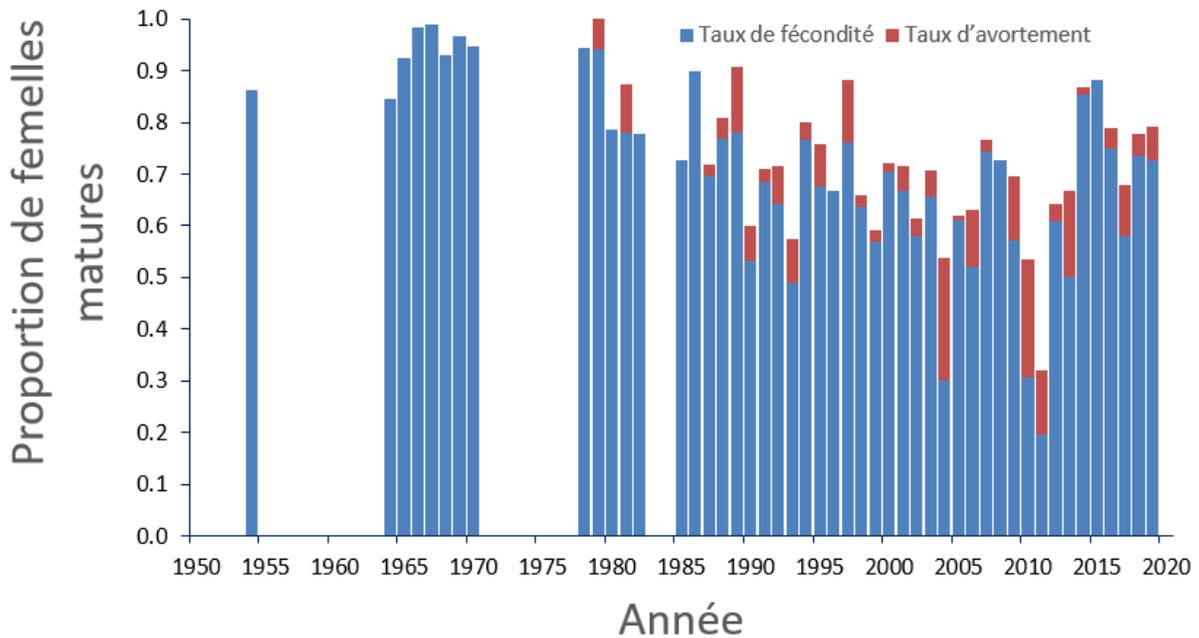


Figure 4. Proportion de femelles matures prélevées de décembre à la mi-février qui étaient gestantes ou qui présentaient des signes d'avortement de leur fœtus au cours du dernier mois.

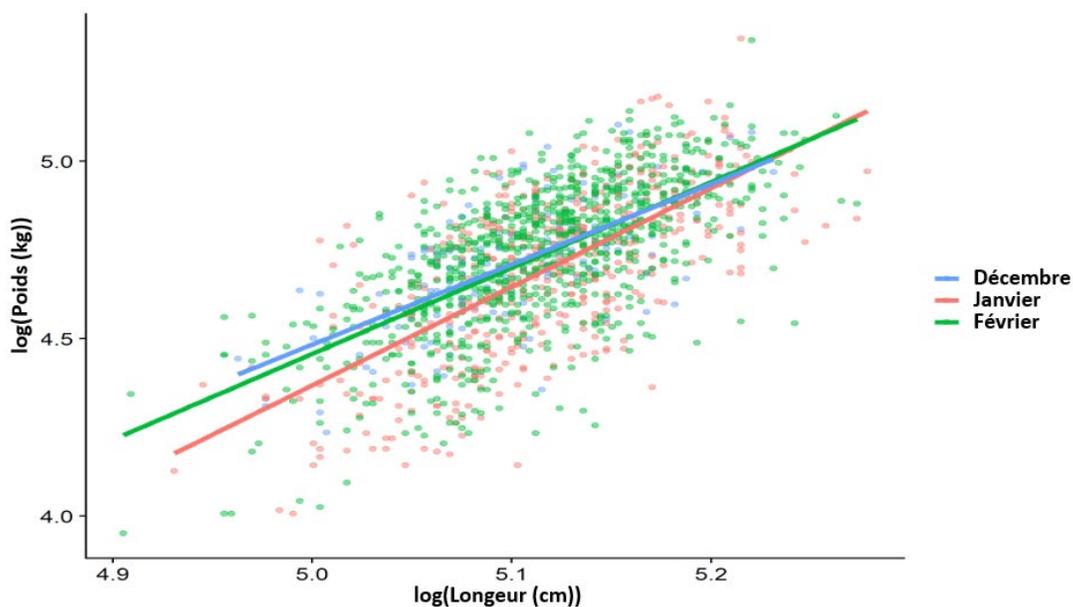


Figure 5. Relation entre la longueur et le poids logarithmiques des phoques du Groenland femelles prélevées en décembre, janvier et février dans les eaux de Terre-Neuve.

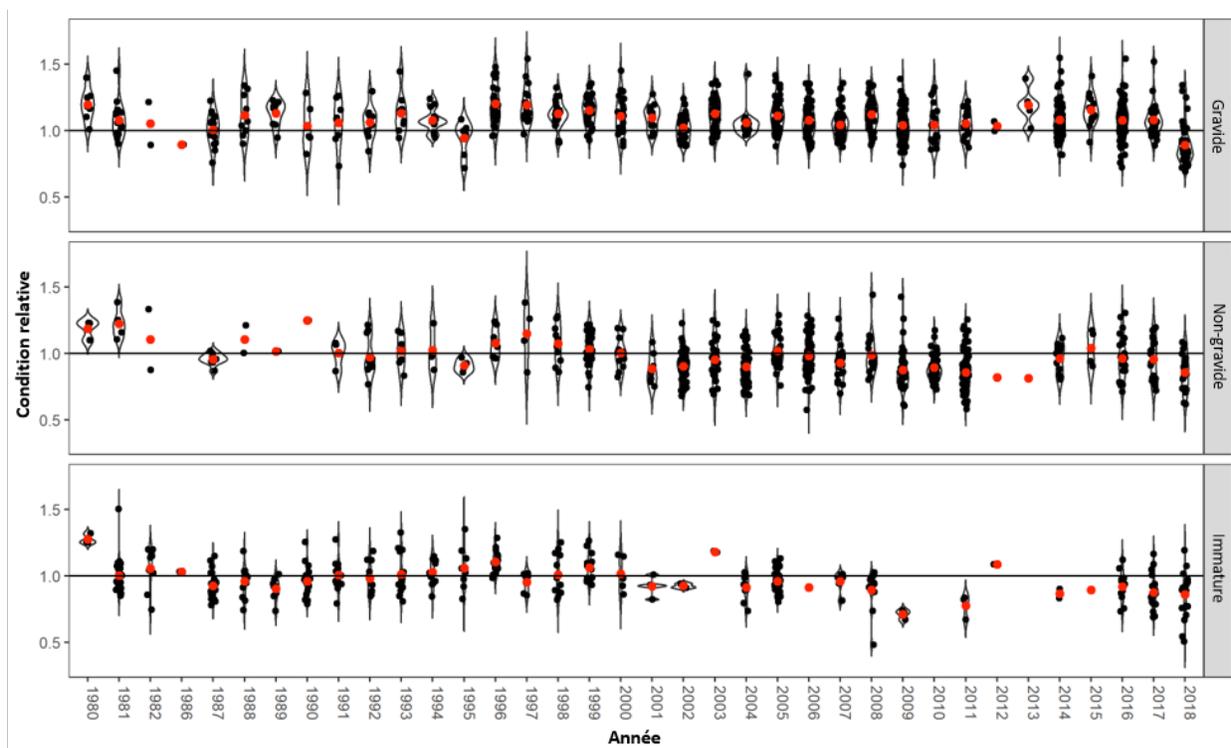


Figure 6. Distribution de l'état relatif annuel des phoques du Groenland femelles gestantes, matures, non gestantes (y compris les femelles qui avortent prématurément) et immatures prélevées entre décembre et février, de 1980 à 2018. Les points noirs représentent des points de données individuels, tandis que le point rouge indique la moyenne annuelle.

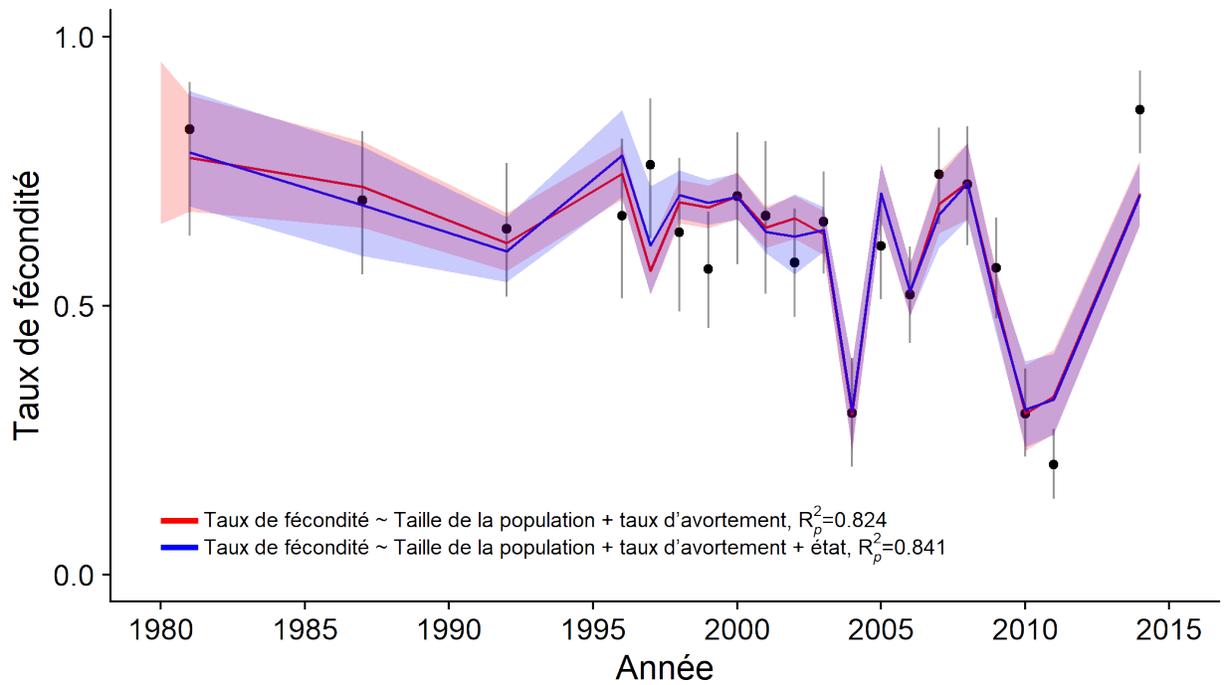


Figure 7. Ajustement d'un modèle pour décrire le taux de fécondité en utilisant l'état relatif comme variable explicative.

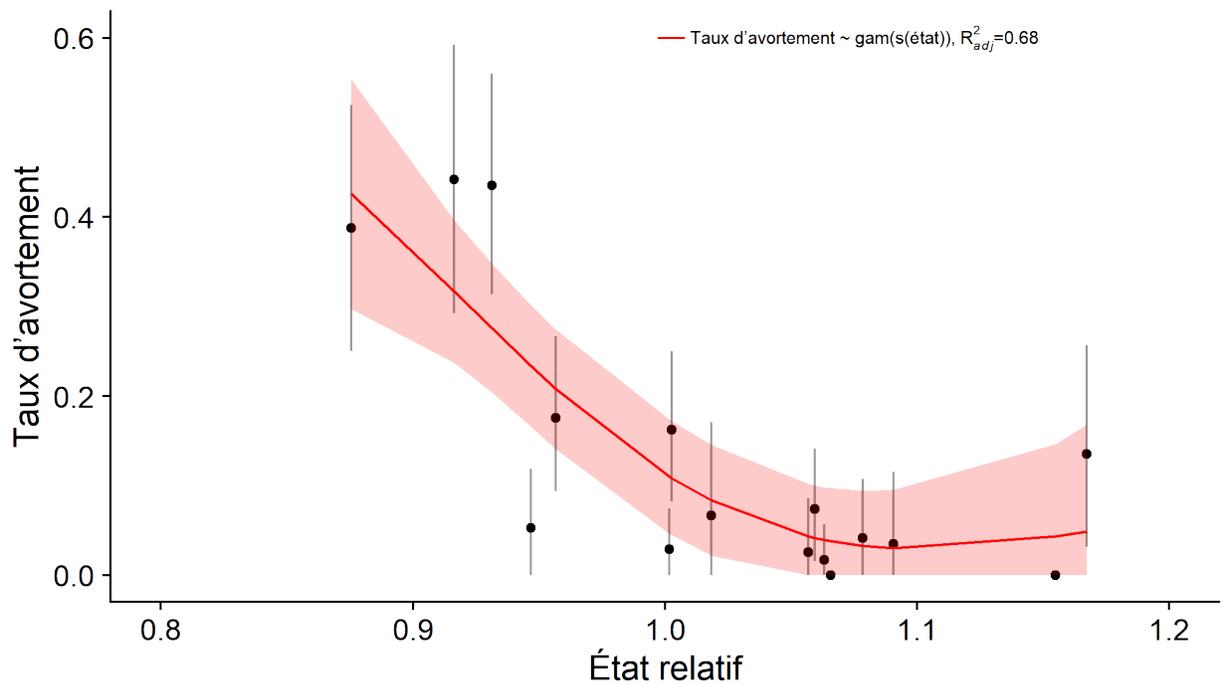


Figure 8. Relation entre l'indice d'état moyen annuel et le taux d'avortement des phoques du Groenland de l'Atlantique Nord-Ouest, de 1980 à 2013.

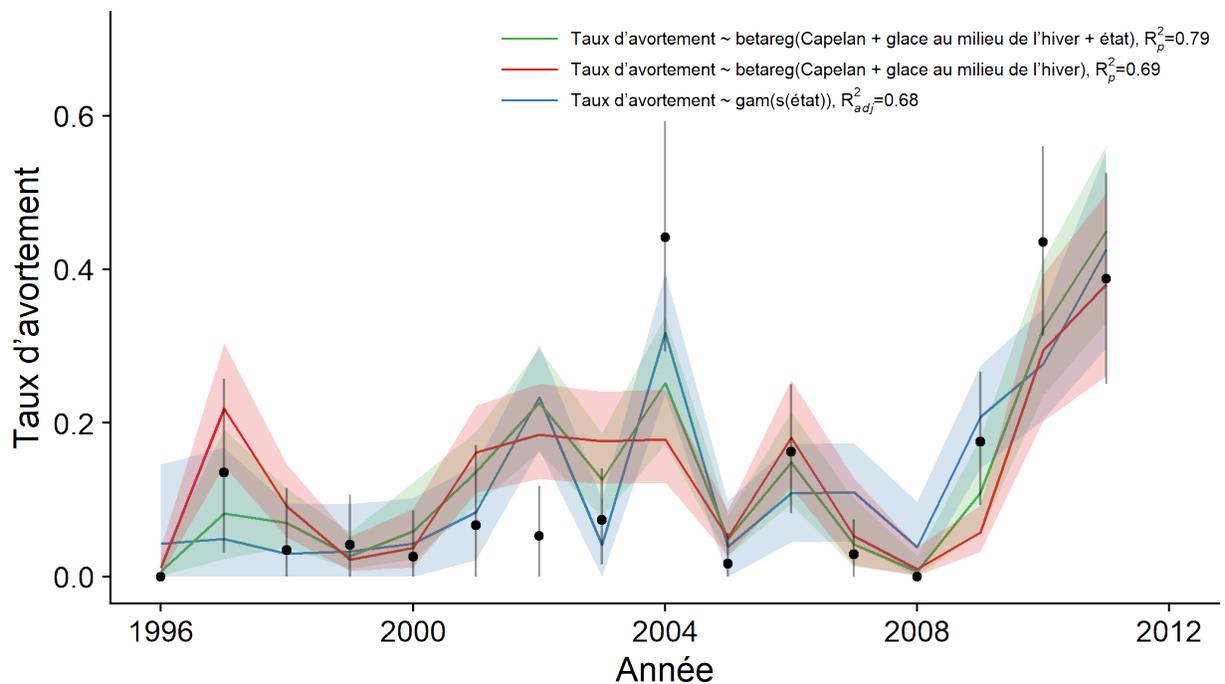


Figure 9. Ajustements des modèles les plus parcimonieux pour décrire le taux d'avortement chez les phoques du Groenland de l'Atlantique Nord-Ouest.

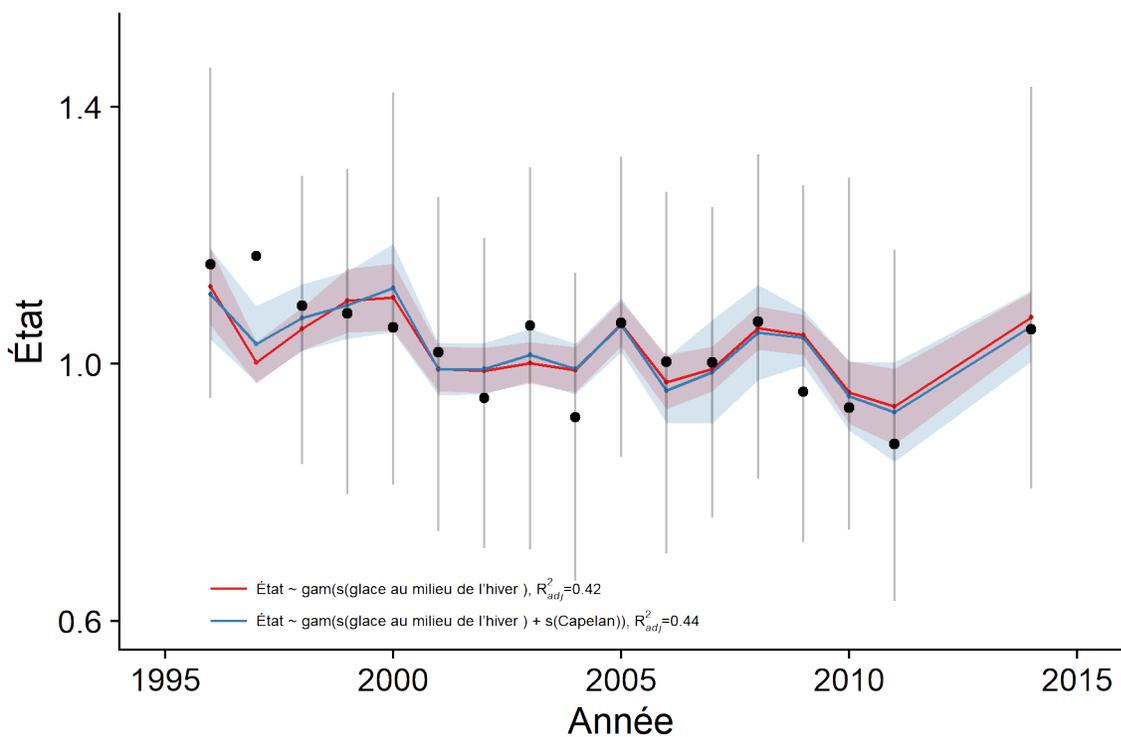


Figure 10. Ajustements des deux modèles les plus parcimonieux pour décrire l'état relatif des phoques du Groenland femelles.

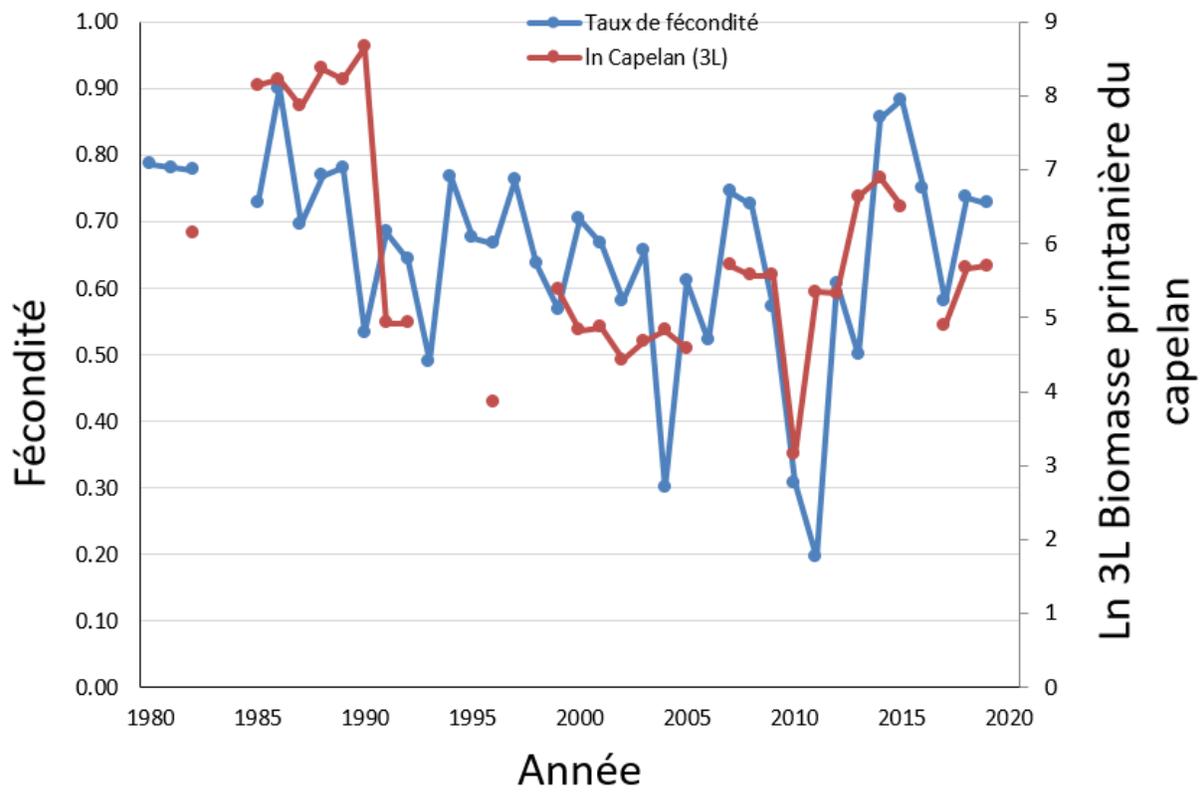


Figure 11. Taux de fécondité des poques du Groenland de l'Atlantique Nord-Ouest et abondance du capelan (ln) selon l'évaluation de la biomasse printanière du capelan effectuée par le MPO.