



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS)

Document de recherche 2023/052

Région du Québec

Modélisation bayésienne de la distribution des naissances de phoques gris et évaluation du moment de la récolte

Arnaud Mosnier¹, C.E. den Heyer², Garry B. Stenson³ et Mike O. Hammill¹

¹ Pêches et Océans Canada
Institut Maurice-Lamontagne
C.P. 1000
Mont-Joli (Québec) G5H 3Z4

² Pêches et Océans Canada
Institut océanographique de Bedford
C.P. 1006
Dartmouth (Nouvelle-Écosse) B2Y 4A2

³ Pêches et Océans Canada
Centre des pêches de l'Atlantique nord-ouest
C.P. 5667
St. John's (Terre-Neuve-et-Labrador) 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 des avis scientifiques
200, rue Kent
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

<http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/>
csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca



© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre du
ministère des Pêches et des Océans, 2023

ISSN 2292-4272

ISBN 978-0-660-49988-8 N° cat. Fs70-5/2023-052F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Mosnier, A., den Heyer, C.E., Stenson, G.B., et Hammill, M.O. 2023. Modélisation bayésienne de la distribution des naissances de phoques gris et évaluation du moment de la récolte. *Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2023/052. iv + 39 p.*

Also available in English :

Mosnier, A., den Heyer, C.E., Stenson, G.B., and Hammill, M.O. 2023. A Bayesian birth distribution model for grey seals and an evaluation of the timing of harvest. Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2023/052. iv + 34 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	iv
INTRODUCTION	1
MÉTHODES.....	2
DONNÉES	2
MODÈLE.....	3
TEST ET COMPARAISON DES MODÈLES À L'AIDE DE L'ENSEMBLE DE DONNÉES DE STADES DE DÉVELOPPEMENT RECUEILLIES À L'HIVER 2020-2021 SUR L'ÎLE DE SABLE	5
APPLICATION AUX AUTRES COLONIES DE PHOQUES GRIS	6
RÉSULTATS.....	7
TEST ET COMPARAISON DES MODÈLES – ENSEMBLE DE DONNÉES DE L'ÎLE DE SABLE	7
INCIDENCE DU CALENDRIER DES RELEVÉS ET DE LEUR NOMBRE SUR LES ESTIMATIONS DU MODÈLE	8
DISTRIBUTION TEMPORELLE DES NAISSANCES	10
DISTRIBUTION TEMPORELLE DU SEVRAGE	10
ÉVOLUTION DE LA SAISON DE REPRODUCTION AU FIL DES ANS	11
DISCUSSION.....	11
REMERCIEMENTS	14
RÉFÉRENCES CITÉES	14
TABLEAUX	17
FIGURES	24
ANNEXES.....	32

RÉSUMÉ

Des relevés aériens ont été effectués pour estimer la production de chiots chez le phoque gris (*Halichoerus grypus*) de l'Atlantique Nord-Ouest dans l'est du Canada entre décembre 2020 et février 2021. Ces relevés sous-estiment la production si certains chiots quittent le site de reproduction avant les relevés ou d'autres naissent après. Des évaluations antérieures ont permis de modéliser la distribution des naissances pour corriger ce biais par un ajustement de la proportion de chiots, à différents stades morphométriques définis d'une durée fixe, à une distribution Gamma ou de Weibull (modèle de distribution des naissances de Myers [DNM]). Une nouvelle approche de modélisation bayésienne a été élaborée et comparée au modèle DNM afin d'examiner l'incidence de cette approche sur notre compréhension de la période des naissances. En assumant que les chiots sont sevrés à l'âge de 20 jours, ce modèle a également été appliqué pour déterminer la proportion d'entre eux qui sont sevrés et qui peuvent donc être chassés dans les différentes colonies.

Le modèle DNM et le modèle bayésien ont donné des estimations similaires lorsqu'ils ont été appliqués à l'ensemble de données riche en informations acquis sur l'île de Sable. Pour d'autres sites de reproduction, le modèle bayésien a eu tendance à estimer une période des naissances légèrement plus courte que le modèle DNM, ce qui s'est traduit par une estimation plus élevée de la proportion d'animaux nés à la date du relevé aérien et, par conséquent, par un ajustement plus faible des dénombrements. La date de sevrage estimée par le modèle bayésien a montré une tendance générale commençant au large de la côte de la Nouvelle-Écosse et se déplaçant ensuite dans le golfe du Saint-Laurent. Le modèle bayésien a estimé que 50 % des chiots de phoques gris étaient sevrés le 6 janvier 2021 dans les îles du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse et le 24 janvier dans le sud du golfe. L'application du modèle bayésien aux données sur les stades de développement acquises dans plusieurs colonies au cours des années précédentes a montré que la date à laquelle 50 % des chiots sont sevrés a avancé d'environ un jour chaque année depuis le début des années 2000 dans le golfe du Saint-Laurent. Cette tendance est moins nette en dehors du golfe, mais la période des naissances en 2021 a également été estimée plus précoce que les années précédentes.

Le modèle bayésien permet de tenir compte de plusieurs sources d'incertitude qui n'étaient pas considérées auparavant. Cela inclut l'incertitude liée à la date de la première naissance, de la durée de chaque stade de développement et de la variabilité dans la classification des stades par différents observateurs. En mettant à jour les « priors », le modèle peut utiliser la nouvelle information au fur et à mesure qu'elle est obtenue. L'utilisation du modèle bayésien devrait permettre d'améliorer les estimations de la taille de la population.

Mots clés : naissances de phoques gris, mise bas, saison de mise bas, modèle bayésien, distribution des naissances.

INTRODUCTION

Les relevés aériens sont souvent utilisés pour estimer l'abondance de la faune, et il existe un grand nombre de publications consacrées à la conception des plans d'échantillonnage et à l'élaboration de méthodes utilisant des transects en bandes et linéaires (p. ex., Bowen *et al.* 1987; Buckland *et al.* 2001; Nielson *et al.* 2013; Crum *et al.* 2021). Une hypothèse importante est que tous les animaux sont disponibles pour être comptés et que tous les animaux disponibles sont détectés. Bien que de nombreux grands vertébrés soient largement dispersés pendant une grande partie de l'année, certaines espèces se rassemblent en forte concentration à certains stades de leur cycle de vie annuel (p. ex., saison de mise bas ou de reproduction), sur une période de quelques jours ou semaines; c'est donc l'occasion de les dénombrer plus facilement. Pour les pinnipèdes, les relevés aériens sont utilisés avec succès pour compter les chiots sur la glace ou dans les colonies de reproduction terrestres (p. ex., Sergeant 1991; Stenson *et al.* 1993, 2002, 2003; Bowen *et al.* 2003; Russell *et al.* 2019).

Le phoque gris (*Halichoerus grypus*), est un phoque au grand dimorphisme sexuel que l'on trouve dans tout l'Atlantique Nord (Mansfield et Beck 1977; Lesage et Hammill 2001). La population de l'Atlantique Nord-Ouest se trouve le long de la côte est du Canada et des États-Unis (Mansfield et Beck 1977; Boskovik *et al.* 1996; Cammen *et al.* 2018; den Heyer *et al.* 2020). Le phoque gris était autrefois abondant au Canada atlantique, mais il a connu un déclin significatif au cours du 19^e siècle et il a été considéré comme rare pendant la première moitié du 20^e siècle (Lavigne et Hammill 1993; Lesage et Hammill 2001). À partir de la seconde moitié du 20^e siècle, la production de chiots de phoque gris a augmenté et la population s'est remarquablement reconstituée depuis une cinquantaine d'années (Hammill *et al.* 2017; den Heyer *et al.* 2020). Au Canada, les premiers chiots naissent au début du mois de décembre sur l'île de Sable et dans le sud-ouest de la Nouvelle-Écosse; la mise bas se poursuit jusqu'à la mi-février dans le golfe du Saint-Laurent (ci-après appelé « golfe »; den Heyer *et al.* 2020). L'allaitement dure 16 à 22 jours (Baker *et al.* 1995; Lesage et Hammill 2001; Noren *et al.* 2008; Lang *et al.* 2009). Sur l'île de Sable, les animaux restent pendant 9 à 31 jours supplémentaires (moyenne = 21 jours \pm 1,1) après le sevrage (Noren *et al.* 2008).

La production de phoque gris peut être estimée à partir du nombre de chiots vivants photographiés lors des relevés aériens. Cependant, outre la correction pour tenir compte des chiots manqués lors de l'examen des images, il faut corriger les dénombrements fondés sur des relevés aériens pour tenir compte des animaux qui sont morts, qui ont quitté le site de reproduction avant les relevés et qui sont nés après les relevés. Dans les études précédentes, la distribution temporelle des naissances était estimée à partir de modèles de transition ajustés à l'évolution dans le temps de la proportion de chiots à différents stades de développement. Les évaluations précédentes de la production de chiots de phoque gris dans les colonies du golfe et du plateau néo-écossais ont utilisé un modèle de transition basé sur une approche fréquentiste, en faisant certaines hypothèses sur la date de début de la mise bas et la distribution des naissances et en considérant des estimations fixes pour la durée des différents stades de développement estimée en fonction des observations quotidiennes de chiots d'âge connu (Bowen *et al.* 1987; Myers et Bowen 1989). La méthode précédente suppose également qu'aucun chiot ne meurt ou ne quitte la colonie avant les relevés. Cette dernière hypothèse peut être justifiée lorsque les relevés sont effectués bien avant le sevrage, mais la possibilité que des chiots émigrent ou se déplacent vers des zones où ils ne sont pas disponibles pour être comptés peut conduire à des résultats biaisés lorsque les relevés sont effectués plus tard ou que des zones adjacentes ne sont pas ciblées. Ce modèle, que nous appelons « modèle de distribution des naissances de Myers » ou « modèle DNM », a été appliqué dans les évaluations canadiennes visant à estimer la production de chiots des phoques du Groenland, à

capuchon et gris (Bowen *et al.* 1987; Myers et Bowen 1989; den Heyer *et al.* 2020). Cependant, les types de données collectées au cours de l'évaluation se prêtent également à une approche bayésienne, dans laquelle on peut estimer les paramètres comme la date de début de la mise bas, la distribution des naissances, la durée des stades de développement et l'émigration des animaux du site de reproduction, sur la base d'information *a priori*, en mettant à jour les estimations lorsque de nouvelles données sont intégrées au modèle.

Nous proposons ici un nouveau modèle de transition utilisant une approche bayésienne qui incorpore explicitement des données provenant d'études antérieures grâce à l'utilisation de distributions de probabilité *a priori* et qui fait des déductions tenant compte des incertitudes associées aux données intégrées au modèle. Nous avons d'abord mis à l'essai ce modèle en utilisant le cas des phoques gris de l'île de Sable, riche en données, et nous avons comparé les résultats du modèle bayésien avec ceux du modèle DNM. Ensuite, nous avons réalisé une étude de simulation pour examiner l'incidence des changements dans la fréquence et le moment des relevés de stades de développement sur les prédictions du modèle bayésien.

Nous avons ensuite appliqué les résultats du nouveau modèle pour ajuster les estimations de la production de chiots obtenues à partir des relevés aériens menés au cours de l'hiver 2020-2021 (voir den Heyer *et al.* 2023). De plus, nous avons répondu à une demande d'avis sur la période des naissances et la distribution temporelle du sevrage pour certaines colonies spécifiques le long de la côte de la Nouvelle-Écosse et dans le golfe. Ces renseignements aideront les gestionnaires à fixer les dates d'ouverture de la chasse commerciale au phoque dans ces régions.

MÉTHODES

DONNÉES

La distribution temporelle des naissances est modélisée à partir d'un modèle de transition des chiots d'âge connu et de l'évolution temporelle de la proportion d'animaux dans chacun des stades de développement. Les chiots de phoque gris sont classés selon cinq stades de développement en fonction de la couleur de leur pelage et de la forme de leur corps (Radford *et al.* 1978; Kovacs et Lavigne 1986; Bowen *et al.* 2003; annexe 1).

Sur l'île de Sable, on marque des chiots afin de les suivre quotidiennement de la naissance au stade 5 afin d'obtenir des renseignements sur la durée de chacun des quatre premiers stades de développement (annexe 2). En 2021, 47 chiots ont été observés quotidiennement depuis leur naissance, dont 42 ont atteint le stade 5 avant d'être perdus ou que les observations cessent (annexe 1). Un seul observateur expérimenté a recueilli les données sur la durée des stades. Les années précédentes, les observations quotidiennes des chiots étaient effectuées par différents observateurs expérimentés.

Afin d'estimer l'évolution temporelle de la proportion de chiots dans chaque stade de développement, les stades des chiots ont été enregistrés chaque semaine le long des transects (entre le 17 décembre et le 27 janvier) dans l'ensemble de la colonie. Au cours de l'hiver 2020-2021, un total de 98 transects (14 transects uniques répétés pendant sept semaines) ont été réalisés par le même observateur que celui qui a effectué les observations quotidiennes des chiots d'âge connu (den Heyer *et al.* 2023).

Il n'est pas possible de marquer et de suivre des individus des colonies du golfe et des colonies côtières du plateau néo-écossais. Les estimations de la durée des stades 1 à 4 ont été basées sur de multiples évaluations réalisées sur l'île de Sable (annexe 2; relevés réalisés en 1997,

2007 et 2010), qui ont été combinées pour fournir une durée moyenne globale pour chacun des quatre stades.

Dans ces colonies, les données concernant la proportion de chiots aux différents stades de développement sont collectées à partir d'un hélicoptère volant à basse altitude (≤ 60 m). La collecte des données varie d'un site à l'autre en fonction des conditions environnementales et de l'habitat. Pour les colonies côtières du plateau néo-écossais, on survole des transects parallèles au-dessus d'îles dénudées à une vitesse d'environ 30 à 50 nœuds et on collecte des données sur le stade des chiots observés le long de chaque transect. Pour les colonies du golfe, où la zone de mise bas est limitée aux plages, l'hélicoptère survole les plages à une vitesse de 30 à 50 nœuds et on enregistre le stade des chiots qui sont en dessous ou à côté de l'appareil.

MODÈLE

Le modèle bayésien considérait sept stades, dont le stade 0 correspondant à la naissance, cinq stades de développement jusqu'à la mue complète (stades 1 à 5) et un dernier stade d'absorption non observé (stade 6) représentant les animaux qui ne sont pas disponibles pour être comptés parce qu'ils ont quitté le site et sont entrés dans l'eau ou qu'ils ont quitté la plage de mise bas et se sont déplacés vers une zone où ils ne sont normalement pas détectés depuis les airs (p. ex., une forêt). Des distributions Gamma ont été utilisées pour représenter respectivement la distribution temporelle des naissances (*Naissance*, $s = 0$; éq. 1a) et la durée (D_s) de chaque stade de développement ($s = 1$ à 5; éq. 1b). Pour la distribution des naissances, les paramètres de forme et d'échelle ont été choisis pour permettre au modèle de tester une large plage de valeurs. Avec la paramétrisation actuelle (éq. 1a), la distribution Gamma correspondante (Γ) a une médiane de 4,4 jours avec un intervalle de confiance (IC) à 95 % de 0,3 à 87 jours.

Pour $s = 0$,

$$Naissance \sim \Gamma(\alpha_0, \beta_0) \quad (1a)$$

$$\text{avec } \alpha_0 \sim U(1, 30)$$

$$\text{et } \beta_0 \sim U(0,001, 7)$$

Pour réduire le nombre de paramètres à prendre en compte dans le modèle, toutes les distributions Gamma représentant la durée des stades de développement partagent le même paramètre de forme (α), mais chaque stade a un paramètre d'échelle spécifique (β_s).

Pour $s = 1$ à 5,

$$D_s \sim \Gamma(\alpha, \beta_s) \quad (1b)$$

$$\text{avec } \alpha \sim \Gamma\left(\frac{(\alpha_{moyenne})^2}{\alpha_{var}}, \frac{\alpha_{moyenne}}{\alpha_{var}}\right)$$

$$\text{et } \beta_s \sim \Gamma\left(\frac{(\beta_{smoyenne})^2}{\beta_{svar}}, \frac{\beta_{smoyenne}}{\beta_{svar}}\right)$$

Les valeurs *a priori* pour α et β_s correspondant aux stades 1 à 4 ont été basés sur les données de den Heyer et ses collaborateurs (2017) [annexe 2] et considérés comme des distributions Gamma avec une variance égale à deux. Il convient de noter que le relevé de 2021 sur les stades de développement a donné des valeurs très différentes de celles des années précédentes. Compte tenu du fait qu'une seule personne a mené ce relevé, alors que les valeurs précédentes ont été collectées sur plusieurs années et par plusieurs observateurs, ces dernières valeurs ont été jugées plus représentatives de la variabilité réelle. Dans le modèle, la durée du stade 5 correspond au temps (jours) qui s'écoule avant que les chiots au stade 5 ne quittent la colonie ou ne soient plus disponibles pour être comptés. Aucune donnée récente n'était disponible à propos de cette durée, mais Noren et ses collaborateurs (2008) ont déterminé que l'âge moyen au moment du départ était de 40 jours (de 26 à 49 jours ou plus) pour les phoques gris nés sur l'île de Sable. En tenant compte de cela, nous avons choisi une distribution pour le paramètre d'échelle (β_s) de sorte que la durée *a priori* du stade 5 ait une moyenne de 15,7 jours (IC à 95 % de 9,4 à 23,7), ce qui, combiné aux autres distributions *a priori*, donne un âge moyen au moment du départ de 40 jours (IC à 95 % de 31 à 50). Les animaux quittant le stade 5 sont alors considérés comme des individus au stade 6.

En plus des distributions *a priori* pour les durées de stade, une distribution *a priori* correspondant à la somme des durées des stades 1 à 3 a également été incluse pour contraindre le modèle. Nous avons considéré cette somme, dont la valeur moyenne était de 18,7 (IC à 95 % de 13,4 à 24,9), comme une approximation de la période de lactation (Noren *et al.* 2008; Lowe *et al.* 2017).

Les transitions entre les différents stades de développement ont été décrites comme la somme des distributions Gamma représentant successivement la distribution temporelle des naissances et la durée de chaque stade. Le résultat de la somme de distribution Gamma suit également une distribution Gamma, et les paramètres de cette distribution ont été estimés en utilisant l'approximation de Welch-Satterthwaite (Satterthwaite 1946; Welch 1947; éq. 2).

Pour $s = 1$ à 5,

$$T_{s \text{ to } s+1} \sim \sum_{i=0}^s \Gamma(\alpha, \beta_s) \approx \Gamma(\alpha_t, \beta_t) \quad (2)$$

$$\text{avec } \alpha_t = \frac{\left(\sum_{i=0}^s \frac{1}{\beta_i} \times \alpha\right)^2}{\left(\sum_{i=0}^s \left(\frac{1}{\beta_i}\right)^2 \times \alpha\right)}$$

$$\text{et } \beta_t = \frac{\left(\sum_{i=0}^s \frac{1}{\beta_i} \times \alpha\right)}{\alpha_t}$$

Sur la base de ces transitions, le modèle est en mesure de générer la proportion de chiots à chaque stade de développement au fil du temps. Une distribution Dirichlet-multinomiale (éq. 3) est utilisée pour ajuster les séries chronologiques produites par le modèle aux observations obtenues lors des relevés (c'est-à-dire les dénombrements d'animaux à chacun des stades de développement à plusieurs dates de relevé). La distribution Dirichlet-multinomiale est bien adaptée lorsqu'elle est utilisée avec des données de dénombrement de composition présentant potentiellement une surdispersion (Stedinger *et al.* 1965; De Valpine et Harmon-Threatt 2013). Dans notre cas, cela prendrait en compte la variabilité dans la classification des stades associée aux observateurs.

Nous dénotons :

$n_s(d_x)$: Nombre de chiots aux stades $s = 1$ à 5 dans l'échantillon x le jour d .

$N(d_x)$: Nombre total de chiots dans l'échantillon x au jour d .

$p_s^u(d)$: Proportion non observée/attendue de chiots ayant atteint le stade s au jour d .

w_{d_x} : Paramètre de pondération affectant échantillons la variance de la distribution de Dirichlet (c'est-à-dire la modélisation du bruit dans les données; des valeurs plus élevées induisent moins de variation; voir l'annexe 3).

$$p(d_x) \sim \text{Dirichlet}(p^u(d_x)) \quad (3)$$

avec $p_s^{nu}(d_x) = p_s^u(d) * w_{d_x}$

et $w_{d_x} \sim \text{Truncated Gamma}(1, 0,001) \quad L = 0,001$

$$n_s(d_x) \sim \text{Multi}(N(d_x), p(d_x))$$

La date de la première naissance sert à ancrer la date de début du modèle de transition. Cependant, la date réelle de la première naissance n'est pas observée dans les populations étudiées et on utilise à la place une date approximative estimée sur la base du stade de développement des chiots les plus âgés. Afin de tenir compte de l'incertitude entourant cette date, un paramètre de décalage de la date permet au modèle d'estimer la date la plus probable. Ce paramètre était échantillonné à partir d'une distribution normale centrée sur zéro avec un écart-type de 2,5, ce qui permettait au modèle de tester une fourchette de dates de moins cinq à plus cinq jours centrée sur la date approximative fournie..

Ce sont les animaux sevrés qui sont ciblés lors de la chasse. La durée de l'allaitement est variable et peut durer de 16 à 22 jours (Baker *et al.* 1995; Lesage et Hammill 2001; Noren *et al.* 2008; Lang *et al.* 2009). Pour définir la proportion d'animaux sevrés, nous avons utilisé dans cette étude une durée d'allaitement de 20 jours.

Le modèle a été exécuté à l'aide du logiciel statistique R (R Core Team 2021). Nous avons obtenu des estimations *a posteriori* de tous les paramètres à l'aide d'un algorithme d'échantillonnage de Gibbs mis en œuvre dans JAGS (Plummer 2003). Les résultats ont été examinés à l'aide des progiciels R2jags (Su et Yajima 2021) et coda (Plummer *et al.* 2006) dans R. Chaque exécution du modèle comprenait cinq chaînes de 20 000 itérations parmi lesquelles nous avons conservé un échantillon toutes les 10 itérations après une période de rodage de 10 000 itérations. Nous avons ainsi obtenu un ensemble final de 5 000 échantillons (1 000 échantillons par chaîne). Nous avons évalué la convergence du modèle par un examen des tracés et en nous assurant que le diagnostic de convergence de Gelman et Rubin (R-hat) était inférieur à 1,1 pour tous les paramètres du modèle ajusté.

TEST ET COMPARAISON DES MODÈLES À L'AIDE DE L'ENSEMBLE DE DONNÉES DE STADES DE DÉVELOPPEMENT RECUEILLIES À L'HIVER 2020-2021 SUR L'ÎLE DE SABLE

Le modèle bayésien et le modèle DNM ont été ajustés aux données de stades de développement recueillies sur l'île de Sable en 2021 (annexe 4). Les courbes de naissance estimées ont été comparées en considérant la date de la première naissance, les dates auxquelles on s'attendait à ce que 1 %, 50 % et 95 % des individus soient nés et la proportion

estimée des naissances à la date à laquelle le relevé photographique aérien a été effectué, de manière à déterminer la production totale de chiots.

Le modèle bayésien a d'abord été ajusté directement à cet ensemble de données, en considérant chaque transect comme une mesure indépendante de la proportion d'animaux à chaque stade de développement. Il a ensuite été ajusté aux données agrégées par jour, ce qui correspond à l'approche utilisée lors de l'application du modèle DNM, et finalement au type de données obtenues lors des relevés sur les autres colonies (c'est-à-dire un seul ensemble de proportions par stade et par jour d'observation).

En utilisant le même ensemble de données, une analyse de sensibilité a été réalisée pour évaluer l'incidence des distributions *a priori* des durées de chaque stade de développement sur les résultats du modèle bayésien en doublant la variance autour des paramètres α et β_s des distributions Gamma représentant ces durées de stade (éq. 1), ce qui se traduit par des distributions *a priori* beaucoup moins informatives. En outre, alors que le modèle bayésien original utilisait un paramètre α commun pour toutes les distributions Gamma, nous avons également testé une version du modèle dans laquelle chaque distribution Gamma représentant les durées de stade était paramétrée avec un paramètre α indépendant.

Le comportement du modèle bayésien original a ensuite été examiné à l'aide d'une approche de simulation dans laquelle certains relevés de l'île de Sable ont été exclus de l'analyse et le modèle a été réexécuté en utilisant cet ensemble de données réduit. Étant donné que les colonies autres que celles de l'île de Sable font souvent l'objet d'un moins grand nombre de relevés, l'objectif était d'évaluer les changements dans la proportion de chiots nés estimée par le modèle en fonction du nombre et de la distribution temporelle des relevés d'échantillonnage. Nous avons étudié cinq scénarios :

1. En divisant l'ensemble de données en deux parties, l'une avant et l'autre après le pic du stade 3;
2. En utilisant trois dates d'observation séparées d'une semaine avant, pendant et après le pic du stade 3;
3. En utilisant deux dates d'observation séparées d'une semaine selon un calendrier différent couvrant l'ensemble de la période de relevé;
4. En utilisant les observations recueillies toutes les deux semaines pendant toute la période de développement;
5. En utilisant deux dates d'observations séparées de deux semaines avant, pendant et après le pic du stade 3.

APPLICATION AUX AUTRES COLONIES DE PHOQUES GRIS

Le modèle bayésien a ensuite été ajusté aux données du relevé de stades de développement de 2021 dans six autres colonies de phoques gris situées dans le golfe et sur le plateau néo-écossais (tableau 2; annexes 5 et 6) afin d'estimer la distribution temporelle des naissances à ces sites de reproduction. Comme pour les essais précédents, la date de la première naissance et les dates auxquelles 1 %, 50 % et 95 % des animaux étaient nés ont été extraites des résultats du modèle et comparées entre les colonies.

À des fins de comparaison, les dates auxquelles 1 %, 50 % et 95 % des animaux étaient nés ont également été estimées à partir du modèle DNM (tableaux 2a et 2b).

La variabilité de la distribution des naissances au cours des deux dernières décennies a été estimée en ajustant le modèle bayésien aux données de stades de développement acquises

sur l'île Pictou (2007-2021; neuf relevés), l'île Henry (2004-2021; cinq relevés), l'île Saddle (2010-2021; sept relevés), l'île Hay (2000-2021; six relevés), ainsi que les îles Mud, Noddy, Flat et Round (2016-2021; deux relevés). Les données de stades de développement n'ont été prises en compte que lorsqu'au moins trois dates étaient disponibles pour une année précise, à l'exception des données de 2016 pour les îles du sud de la Nouvelle-Écosse (îles Mud, Noddy, Flat et Round) qui représentent la seule année pour laquelle des données autres que celles de 2021 étaient disponibles. La date estimée à laquelle 50 % des chiots étaient nés (et 50 % des chiots étaient sevrés en considérant 20 jours entre la naissance et le sevrage) a été suivie au cours des années pour lesquelles des données étaient disponibles afin de montrer l'évolution temporelle de la période des naissances.

RÉSULTATS

TEST ET COMPARAISON DES MODÈLES – ENSEMBLE DE DONNÉES DE L'ÎLE DE SABLE

Dans un premier essai, le modèle bayésien a été ajusté à l'ensemble de données de l'île de Sable en considérant chaque transect ($n = 14$) comme une mesure indépendante de la proportion de chiots à chaque stade de développement. Les résultats suggéraient un bon ajustement aux données (figure 1a) et le modèle a estimé que 1 %, 50 % et 95 % des chiots étaient nés le 13 décembre, le 24 décembre et le 4 janvier, respectivement (figure 1b; tableau 1). Il a également estimé que 99,2 % des chiots étaient nés au moment du relevé (11 janvier 2021). De plus, alors que la date approximative fournie pour la première naissance était le 3 décembre, le modèle était mieux ajusté aux données si la date de début de la mise bas était le 5 décembre (tableau 1). Toutefois, la date approximative se situait toujours dans l'intervalle de crédibilité à 95 % estimé par le modèle (30 novembre au 7 décembre). Les résultats du modèle montraient également une forte mise à jour des distributions *a priori* pour les durées de stade, suggérant une durée plus courte pour les stades 1, 3 et 4 (moyenne *a priori* par rapport à moyenne *a posteriori* de 1,53 contre 3,22, de 9,15 contre 11,80 et de 3,20 contre 5,64 jours, respectivement) et une durée beaucoup plus longue pour le stade 2 (moyenne de 7,30 contre 3,67 jours).

Dans un deuxième essai, les données de l'île de Sable ont été agrégées par jour et tous les dénombrements sur tous les transects ont été additionnés. Les prédictions du modèle bayésien sur l'évolution de la proportion de chiots à chaque stade étaient très similaires à celles du premier essai (voir figure 2a par rapport à figure 1a; tableau 1; annexe 2). Cependant, la courbe des naissances estimée était légèrement différente de celle de l'essai précédent, prédisant que 1 % des chiots seraient nés le 11 décembre (trois jours plus tôt), 50 % seraient nés le 21 décembre et 95 % seraient nés le 3 janvier. La proportion de chiots nés au moment du relevé était similaire au résultat de l'essai précédent (99,3 % contre 99,2 %). Les distributions *a priori* des durées de stade ont été mis à jour de la même manière que précédemment, avec une durée plus courte pour les stades 1, 3 et 4 et une durée plus longue pour le stade 2. Toutefois, les distributions *a posteriori* étaient différents, avec des durées moyennes de 2,37, 8,52, 9,12 et 3,5 jours pour les stades 1 à 4, respectivement.

L'analyse de sensibilité utilisant des distributions *a priori* moins informatives pour les durées des différents stades et la version alternative du modèle permettant des paramètres α indépendants pour chaque distribution Gamma représentant les distributions *a priori* des durées de stade, ont tous deux aboutis à des prédictions très similaires à celles obtenues avec les paramètres originaux (figures non montrées), avec au plus un changement d'un jour dans les dates estimées pour la première naissance et l'atteinte de 1 %, 50 % et 95 % des naissances, ce qui démontre la robustesse des résultats du modèle bayésien.

Afin de comparer le modèle bayésien au modèle DNM, ce dernier a également été paramétré en utilisant les durées de stade déterminées précédemment (1997-2010; annexe 2). Cependant, lorsqu'il a été ajusté à l'ensemble de données de 2021 concernant l'île de Sable, il n'a pas convergé. Pour éviter ce problème, les deux modèles ont été paramétrés avec les durées de stade obtenues en 2021 (annexe 2). Le modèle bayésien a estimé des valeurs très similaires à celles obtenues avec les distributions *a priori* de 1997-2010 (voir le deuxième essai ci-dessus; tableau 1). La courbe des naissances estimées prévoyait que 1 %, 50 % et 95 % des chiots étaient nés le 10 décembre, le 20 décembre et le 3 janvier, respectivement. Le modèle a estimé que 99,3 % des chiots étaient nés au moment du relevé aérien, mais il a également suggéré qu'à cette date, une moyenne de 5,8 % (médiane de 5,5; IC à 95 % de 0,8 à 12,8) des chiots avait quitté l'île. Bien que les distributions *a priori* pour les durées de stade utilisés dans cet essai (basés sur les estimations des durées de stade en 2021) différaient de manière significative des distributions *a priori* de 2007-2010 utilisés ailleurs (les moyennes de 2021 se chiffraient à 2,96, 4,45, 9,79 et 11,53 tandis que celles de 2007-2010 se chiffraient à 3,22, 3,67, 11,79 et 5,64 pour les stades 1 à 4, respectivement), une forte mise à jour a donné lieu à des distributions *a posteriori* similaires (moyennes de 2,53, 7,67, 8,9 et 4,24 pour les stades 1 à 4). Le modèle DNM a prédit que 1 % des chiots étaient nés le 7 décembre (IC à 95 % du 3 au 10 décembre), 50 % le 21 décembre (IC à 95 % du 16 au 27 décembre) et 95 % le 7 janvier (IC à 95 % du 30 décembre au 17 janvier). Le modèle a estimé que 97,1 % (IC à 95 % de 96,3 à 97,9) des chiots étaient nés au moment du relevé (tableau 1).

INCIDENCE DU CALENDRIER DES RELEVÉS ET DE LEUR NOMBRE SUR LES ESTIMATIONS DU MODÈLE

Lorsqu'il a été ajusté à la première moitié de l'ensemble de données (c'est-à-dire avant le pic de la proportion d'individus au stade 3), les prédictions du modèle étaient très proches des estimations obtenues avec l'ensemble de données complet (tableau 1). Les dates estimées pour la première naissance et l'atteinte de 1 % et 95 % des naissances ont été avancées d'un jour, mais celle pour l'atteinte de 50 % des naissances est restée la même (20 décembre). De même, la proportion de chiots nés au moment du relevé aérien était semblable (99,5 *contre* 99,3 %), mais l'intervalle de crédibilité à 95 % était légèrement plus large (97,9 à 99,9), englobant la prédiction et l'intervalle de crédibilité obtenu avec l'ensemble de données complet (98,2 à 99,8). L'essai pendant lequel le modèle a été ajusté à la deuxième partie de l'ensemble de données (c'est-à-dire après le pic de la proportion d'individus au stade 3) a montré un effet plus important sur les résultats. Dans cet essai, la mise à jour des distributions *a priori* pour les durées de stade a été moins importante (non montré). Alors que l'estimation de la date de la première naissance était identique à celle obtenue lors de l'ajustement à l'ensemble de données complet, la courbe des naissances estimée présentait une pente plus faible, prédisant que 1 % des chiots étaient nés deux jours plus tôt, 50 % un jour plus tard (21 décembre) et 95 % quatre jours plus tard. Par conséquent, la proportion estimée de chiots nés au moment du relevé aérien était également plus faible (97,2 %). L'intervalle de crédibilité à 95 % correspondant (94,9 à 98,7) incluait la valeur prédite avec l'ensemble de données complet, mais pas la totalité de son intervalle de crédibilité à 95 %.

Les résultats du modèle basés sur l'ajustement à trois observations séparées d'une semaine au début, au milieu ou à la fin de la période de développement étaient relativement proches des prédictions obtenues avec l'ensemble de données complet. Les dates estimées de la première naissance et de l'atteinte de 1 % et 50 % des naissances étaient légèrement plus précoces (-1 à -2 jours). Les courbes des naissances estimées prévoyaient une date plus précoce (-2 jours) pour l'atteinte de 95 % des naissances lorsqu'elles étaient ajustées aux données collectées avant le pic de la proportion d'individus au stade 3. En revanche, cette proportion était atteinte deux ou trois jours plus tard lorsque les données étaient collectées pendant ou après le pic.

Plus les échantillons avaient été collectés tardivement, plus la proportion estimée de chiots nés avant la date du relevé aérien était faible. Tous les intervalles de crédibilité à 95 % autour de chacune des estimations incluaient la valeur obtenue lors de l'ajustement à l'ensemble de données complet, et la plupart d'entre elles étaient proches ou incluaient leurs intervalles de crédibilité à 95 % (tableau 1).

Avec seulement deux observations séparées d'une semaine, nous avons pu observer un gradient d'effets sur les résultats du modèle. À l'extrême, lorsque les deux observations se situaient au début ou à la fin de la saison de mise bas, le modèle ne recevait que très peu d'information sur les transitions entre les stades (deux ou trois stades avaient des proportions proches de zéro). En conséquence, les résultats du modèle affichaient de grands intervalles de crédibilité à 95 %, en particulier avec deux observations au début de la saison de mise bas (tableau 1). Alors que l'estimation de la date de la première naissance est restée relativement proche de celle obtenue avec l'ensemble de données complet (seulement deux jours plus tôt, soit le 2 décembre), les dates auxquelles 50 % et 95 % des chiots étaient nés différaient (31 décembre contre 21 décembre, et 22 janvier contre 3 janvier, respectivement). La proportion estimée de chiots nés au moment du relevé aérien était également plus faible (81,7 %), mais avec un intervalle de crédibilité à 95 % très large couvrant toutes les proportions de 0,4 à 100 %. L'effet sur les estimations était moins important lors de l'essai qui tenait compte de deux observations effectuées à la fin de la saison de mise bas, avec la date de l'atteinte de 50 % des naissances estimée deux jours plus tôt et une proportion de chiots nés au moment du relevé aérien de 97,5 % (IC à 95 % de 92,2 à 99,5) contre 99,3 % (IC à 95 % de 98,4 à 99,7) pour l'ensemble de données complet. Pour les cas intermédiaires où les échantillons étaient prélevés du début à la fin de la période de développement, le modèle a estimé une courbe des naissances avec une pente plus faible, la date à laquelle 50 % des chiots étaient nés passant du 21 décembre (pour les échantillons du début de la période) au 27 décembre (pour les échantillons de la fin de la période) et la proportion de chiots nés au moment du relevé aérien diminuant de 100 à 98,1 %. Cependant, les IC à 95 % pour la date de la première naissance, les dates auxquelles 1 %, 50 % et 95 % étaient nés et la proportion de chiots nés au moment du relevé aérien incluaient généralement les dates prédites avec l'ensemble de données complet. Seuls les résultats obtenus lors de l'ajustement à deux observations effectuées avant le pic dans la proportion d'individus au stade 3 ont montré des intervalles excluant la date estimée pour l'atteinte de 95 % des naissances et la proportion de chiots nés au moment du relevé aérien obtenue à partir de l'ajustement à l'ensemble de données complet.

L'ajustement aux observations séparées par deux semaines sur l'ensemble de la période de mise bas (N = 4) permettait encore au modèle de converger vers des estimations proches de celles obtenues lors de l'ajustement à l'ensemble de données complet. Les valeurs prédites étaient toutes à moins d'un jour des valeurs originales. De plus, les proportions estimées d'individus nés lors du relevé aérien étaient presque identiques (99 % *contre* 99,3 %, avec un intervalle de crédibilité à 95 % encore plus petit que dans les résultats obtenus avec l'ensemble de données complet; tableau 1).

L'utilisation de seulement deux observations séparées de deux semaines a donné lieu à une tendance similaire à celle observée lors de l'ajustement à seulement deux observations séparées d'une semaine. Lorsque les données considérées avaient été collectées plus tard dans la période de développement, le modèle estimait une durée plus longue pour la période de naissance. Ainsi, alors que la date estimée de l'atteinte de 1 % des naissances est restée la même (10 ou 11 décembre; tableau 1), la date estimée de l'atteinte de 95 % des naissances est passée du 1^{er} janvier, lorsque les données prises en compte provenaient du début de la période, au 8 janvier lorsque les données utilisées provenaient de la fin de la période. De même, la proportion de chiots nés au moment du relevé aérien passait de 99,7 % à 96,9 %. La

date estimée de l'atteinte de 50 % des naissances a également changé, mais n'a pas suivi une tendance similaire (20 décembre avec les données du début de la période, 25 décembre avec les données au milieu de la période et 24 décembre avec les données de la fin de la période). Dans tous les cas, l'IC à 95 % de chaque estimation (première naissance, 1 %, 50 %, 95 %, et proportion de chiots nés au moment du relevé aérien) englobait la valeur médiane prédite avec l'ensemble de données complet.

DISTRIBUTION TEMPORELLE DES NAISSANCES

En se basant sur la modélisation bayésienne, l'incertitude associée à la date de la première naissance et à la distribution des naissances résultaient en un chevauchement entre les colonies (tableaux 1 et 2a). Sur le plateau néo-écossais, la mise bas a commencé dans la partie sud de l'aire de répartition des colonies, sur l'île de Sable le 5 décembre, suivie par les îles Mud, Round, Noddy et Flat du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse (8 décembre), qui, n'étant qu'à 28 milles nautiques au sud de l'île de Sable, se trouvent essentiellement à la même latitude. La mise bas a commencé environ une semaine plus tard sur l'île Hay (14 décembre), qui se trouve à environ 61 milles nautiques au nord de l'île de Sable, au large de la côte nord-est de l'île du Cap-Breton. Dans le golfe, le modèle a estimé que la mise bas avait commencé plus tard que sur le plateau néo-écossais, mais les dates variaient selon les colonies, commençant dans le détroit de Northumberland sur l'île Pictou (16 décembre), puis successivement sur l'île Brion (19 décembre), l'île Henry (20 décembre) et enfin l'île Saddle (21 décembre). Le modèle a estimé que l'atteinte de 50 % des naissances avait eu lieu le 17 décembre sur les îles Mud, Round, Noddy et Flat, le 20 décembre sur l'île de Sable et le 27 décembre sur l'île Hay. Dans le golfe, l'île Brion a atteint cette proportion le 29 décembre, l'île Henry le 1^{er} janvier et les îles Pictou et Saddle le 4 janvier. Enfin, la proportion de 95 % a été atteinte le 3 janvier sur l'île de Sable, le 4 janvier sur les îles Mud, Round, Noddy et Flat, et le 10 janvier sur l'île Hay. Dans le golfe, la mise bas s'est terminée un peu plus tard sur l'île Brion (13 janvier) et cinq et six jours plus tard sur les îles Henry et Saddle, respectivement. Selon le modèle, l'île Pictou, devait être la première zone de mise bas dans le golfe en 2021, mais également la dernière à atteindre 95 % des naissances. Il convient de noter que dans la plupart des cas, les intervalles de crédibilité à 95 % de chacune de ces estimations (tableaux 1 et 2) englobaient les valeurs médianes prévues dans les autres colonies, la seule exception étant les colonies des îles Mud, Round, Noddy et Flat qui montraient clairement une distribution des naissances plus précoce que les colonies de l'île Hay et du golfe.

Sur la base des courbes de distribution estimées par le modèle bayésien, 95 % des naissances avaient généralement eu lieu en 17 jours sur la plupart des îles (Sable, Hay, Henry, Saddle). Toutefois, cette période a été estimée plus courte sur les îles Mud, Round, Noddy, Flat et l'île Brion (15 et 16 jours, respectivement), et plus longue sur l'île Pictou (19 jours).

Le modèle DNM appliqué à ces colonies a toujours estimé une courbe de distribution des naissances plus large (tableaux 2a et 2b), avec une proportion plus faible d'animaux nés au moment du relevé et donc un ajustement plus important des dénombrements entraînant une estimation plus élevée de la production de chiots (tableau 3).

DISTRIBUTION TEMPORELLE DU SEVRAGE

La chasse au phoque gris est dirigée vers les animaux sevrés, et on a considéré que le sevrage se produisait 20 jours après la mise bas. Les chiots des colonies situées le long de la côte de la Nouvelle-Écosse ont été les premiers à être sevrés avec une tendance du sud vers le nord commençant par les îles Mud, Round, Noddy et Flat (30 décembre), puis l'île de Sable (30 décembre) et l'île Hay (9 janvier) [tableau 4a]. Dans le golfe, le sevrage a commencé sur l'île Brion (9 janvier) et l'île Pictou (9 décembre), puis sur l'île Henry (11 janvier) et enfin l'île

Saddle (13 janvier) [tableau 4b]. Le modèle a estimé que 50 % des chiots étaient sevrés le 6 janvier sur les îles Mud, Round, Noddy et Flat, le 10 janvier sur l'île de Sable, le 18 janvier sur l'île Hay, le 18 janvier sur l'île Brion, le 21 janvier sur l'île Henry et le 24 janvier sur les îles Saddle et Pictou. Le modèle a estimé que la plupart des chiots (95 %) étaient sevrés à la fin de janvier ou au début de février sur la côte de la Nouvelle-Écosse (île de Sable le 23 janvier, îles Mud, Round, Noddy et Flat le 24 janvier, île Hay le 2 février) et durant la première moitié de février dans le golfe (île Brion le 2 février, île Henry le 7 février, île Saddle le 8 février et île Pictou le 13 février) [tableaux 4a et 4b].

ÉVOLUTION DE LA SAISON DE REPRODUCTION AU FIL DES ANS

Un ensemble de données portant sur neuf, sept et cinq années de relevés a été utilisé pour étudier l'évolution temporelle de la distribution des naissances sur les îles Pictou, Saddle et Henry, respectivement (figure 3a). Les séries chronologiques ont débuté en 2003 pour l'île Henry, en 2007 pour l'île Pictou et en 2010 pour l'île Saddle. Même avec les incertitudes entourant les estimations fournies par le modèle bayésien, les résultats décrivaient une tendance montrant une avancée de la saison de reproduction d'un jour par an au cours des 10 à 15 dernières années.

Sur l'île Hay, ce déplacement de la saison de reproduction n'était pas visible pour la période 2000-2018 (figure 3b), bien que le modèle ait estimé une date plus précoce pour 2021. Pour les îles du sud de la Nouvelle-Écosse, les données de stades de développement n'étaient disponibles que pour 2016 et 2021. Alors que le modèle bayésien suggérait une grande incertitude autour de l'estimation pour 2016, la date de l'atteinte de 50 % des naissances en 2021 a été estimée comme étant beaucoup plus précoce qu'en 2016 (date médiane : 17 décembre contre 29 décembre respectivement).

DISCUSSION

L'évaluation de la population de phoque gris de l'Atlantique Nord-Ouest dans l'est du Canada est basée sur le dénombrement de chiots pendant la période de mise bas, obtenu à partir d'un relevé photographique. Ce nombre doit être ajusté en fonction de plusieurs facteurs, notamment les chiots photographiés, mais manqués par le lecteur (biais de détectabilité) ainsi que ceux ne pouvant pas être photographiés (biais de disponibilité), et ce, pour trois raisons principales : les individus peuvent être morts avant le relevé, avoir déjà quitté la colonie ou n'étaient pas encore nés au moment du relevé.

Compte tenu de la qualité élevée des images obtenues, le biais de détectabilité est faible. Les taux de mortalité sur les sites de reproduction sont également considérés comme faibles (~5 %; den Heyer *et al.* 2017). Idéalement, le relevé aérien est effectué après le pic des naissances, mais avant que les chiots ne commencent à quitter la colonie. Pour tenir compte des naissances survenues après le relevé photographique, il faut estimer la distribution temporelle globale des naissances. Cela se fait au moyen d'un modèle de transition qui s'ajuste aux proportions de chiots à chacun des stades de développement qui sont déterminées à partir d'une série de relevés effectués tout au long de la saison de reproduction. Il est difficile de corriger les dénombrements pour tenir compte des chiots ayant quitté les colonies; des travaux supplémentaires à ce sujet sont donc nécessaires.

Dans les évaluations précédentes, le modèle DNM a été utilisé pour estimer la distribution des naissances de phoques gris pour plusieurs des plus grandes colonies. Ce modèle suppose que la date de la première naissance est connue, la durée de chaque stade est représenté comme une distribution Gamma avec un paramètre de forme séparé ou commun considéré comme fixe, et la distribution des naissances est ajustée sous la forme d'une autre distribution Gamma

ou une distribution de Weibull. Étant donné que la mise bas commence souvent avant que les observateurs ne soient sur le terrain, la date de la première naissance est normalement basée sur l'expérience des observateurs et sur l'âge approximatif des animaux observés le premier jour du relevé. De plus, la durée des stades de développement dans le modèle DNM est présumée connue sans erreur, ce qui peut être problématique lorsqu'on l'applique à d'autres colonies, car la détermination des stades peut varier d'un observateur et d'une plateforme à l'autre (voir Stenson et Myers 1988 pour une telle variabilité dans les relevés sur les stades de développement du phoque à capuchon). La durée de chaque stade de développement du phoque gris a été estimée par différents observateurs qui ont observé des chiots dont l'âge était connu depuis leur naissance jusqu'au stade 5 sur l'île de Sable (den Heyer *et al.* 2023). Nous présentons ici un modèle alternatif basé sur un cadre bayésien qui incorpore des données sur notre compréhension préalable de la date de la première naissance et de la durée des stades, mais qui permet à ces estimations d'être mises à jour par les renseignements obtenus lors des relevés sur les stades de développement. L'approche bayésienne utilisée pour ajuster ce modèle permet de combiner les renseignements et les incertitudes associées aux distributions *a priori* et aux données et de les propager dans les résultats sans procédure supplémentaire. Cela diffère du modèle DNM, qui applique un test *a posteriori*, selon la méthode du jackknife, aux données du relevé sur les stades pour estimer l'incertitude.

Le modèle DNM offrait la possibilité d'utiliser différentes familles de distribution statistiques (Weibull ou Gamma) pour décrire la distribution des naissances. Bien que les différentes paramétrisations de la distribution Gamma offraient déjà un large éventail de formes pour représenter à la fois la durée des stades et la distribution des naissances, la distribution de Weibull était encore plus flexible. Cette distribution n'a toutefois pas été utilisée dans le modèle bayésien, car le calcul de la somme de plusieurs distributions de Weibull est beaucoup plus complexe à mettre en œuvre que la somme de distributions Gamma (Nadarajah 2008; Garcia *et al.* 2021). De plus, la somme des distributions Gamma est également distribuée sous la forme d'une distribution Gamma et il existe une méthode d'approximation efficace des paramètres de cette distribution (approximation de Welch-Satterthwaite; Satterthwaite 1946; Welch 1947). Enfin, alors que le modèle DNM était basé sur une distribution multinomiale (c'est-à-dire une généralisation de la distribution binomiale) pour lier les prédictions du modèle au nombre d'animaux observés à chaque stade, le modèle bayésien utilisait une distribution Dirichlet-multinomiale correspondant à une distribution bêta multidimensionnelle. Cette dernière peut être considérée comme une distribution multinomiale surdispersée, permettant dans notre cas de tenir compte d'une partie de la variabilité dans la classification des chiots entre les différents stades qui peut se produire au cours d'observations successives par le même observateur ou entre des observations par des observateurs différents.

La comparaison entre le modèle DNM et le modèle bayésien lorsque les deux ont été ajustés au cas de l'île de Sable, riche en données, a montré des estimations similaires pour la date de la première naissance, et les dates auxquelles 1 %, 50 % et 95 % des chiots étaient nés. Le modèle bayésien a eu tendance à estimer une courbe des naissances prévoyant une période de mise bas légèrement plus courte, ce qui a conduit à une proportion estimée plus élevée de chiots nés au moment du relevé aérien par rapport aux estimations du modèle DNM et a donc produit un ajustement plus faible du dénombrement. Le modèle bayésien a également mis à jour les estimations de la durée pour tous les stades, avec un stade 2 beaucoup plus long que celui estimé par l'observation des chiots d'âge connu. Cela suggère que ces distributions *a priori* pourraient devoir être révisées ou qu'un biais lié à la classification des stades pourrait faire en sorte qu'elle ne serait pas totalement comparable avec la classification des stades utilisée lors des suivis sur la durée des stades. Il faudra mener d'autres travaux pour expliquer ces différences. L'application des deux modèles aux autres colonies a montré les mêmes tendances.

Nous avons examiné l'effet de la date des relevés de stades de développement et de leur nombre sur les estimations du modèle bayésien en subdivisant l'ensemble de données de l'île de Sable. Hormis les cas extrêmes impliquant un faible nombre de relevés menés au tout début ou à la fin de la période de développement des chiots, les résultats du modèle étaient relativement stables et, en général, les intervalles de crédibilité incluaient les estimations obtenues lors de l'ajustement à l'ensemble de données complet. Au moins trois relevés de stades de développement séparés d'une ou deux semaines ont permis d'obtenir des résultats proches de ceux obtenus avec l'ensemble de données complet. Cependant, les essais ont montré que la proportion estimée de chiots nés au moment du relevé aérien diminuait si les relevés sur les stades n'étaient réalisés que vers la fin de la saison de mise bas. Cette tendance était encore plus prononcée lorsque le nombre de relevés était faible (moins de trois). De plus, le modèle ajusté aux données provenant de relevés tardifs n'a pas autant mis à jour les distributions *a priori* des durées de stade de développement (en particulier pour les stades 1 et 2) que le modèle ajusté à des données provenant de relevés menés au début de la saison de mise bas, ce qui suggère qu'il est important de répartir l'effort de relevé tout au long de la saison de mise bas.

L'estimation par modèle bayésien de la distribution des naissances dans les plus grandes colonies de phoques gris de l'est du Canada a montré une tendance générale commençant au large de la côte de la Nouvelle-Écosse et se déplaçant ensuite dans le golfe du Saint-Laurent. Toutefois, à l'exception des îles Mud, Round, Noddy et Flat et de l'île de Sable qui présentaient une distribution plus précoce des naissances, la période des naissances dans les autres colonies n'était pas significativement différente (c'est-à-dire que les intervalles de crédibilité à 95 % autour des dates prédites se chevauchaient). Chez certaines espèces de pinnipèdes (phoque commun et otarie de Californie; Temte 1993; Temte *et al.* 1991), une relation entre la période des naissances et la latitude a été observée et attribuée à un lien avec la photopériode. Cependant, dans l'Atlantique Nord, les dates de reproduction du phoque gris présentent une distribution géographique irrégulière et ne confirment pas l'existence d'une telle relation (Coulson 1981). Coulson (1981) a suggéré que la température de la mer pourrait être le principal facteur environnemental en cause, agissant sur la fin du développement suspendu de l'embryon et retardant ainsi le jour de la naissance dans les zones où la température de la mer est plus basse. La tendance de la température de la surface de la mer dans la zone des relevés correspondait à la séquence des naissances décrite ci-dessus (des colonies du sud de la Nouvelle-Écosse à l'île Brion dans le golfe), mais les îles situées dans le sud du golfe, qui ont des périodes de naissance plus tardives que l'île Brion, présentaient généralement des températures de la mer plus élevées. Bowen et ses collaborateurs (2020) ont montré un haut degré de répétabilité individuelle dans les dates de mise bas et une variabilité interannuelle limitée à un à trois jours entre les saisons de reproduction. Cependant, ils ont également estimé que la période de mise bas sur l'île de Sable avait avancé de 15 jours au cours des 30 dernières années. L'ajustement du modèle bayésien aux données de stades de développement acquises au cours des 15 dernières années sur plusieurs îles du sud du golfe a suggéré une avancée similaire de la saison de reproduction d'environ 10 à 15 jours par rapport à il y a 15 ans. Ces divergences entre les colonies et entre les années démontrent que, pour fournir des avis sur le moment de la récolte, il sera nécessaire de surveiller la distribution des naissances dans les colonies où les récoltes ont lieu.

Le modèle bayésien a été développé pour estimer la distribution temporelle des naissances, fournissant ainsi les renseignements nécessaires pour ajuster les estimations dérivées des relevés aériens en fonction de la proportion de chiots qui n'étaient pas encore nés au moment des relevés. Cependant, ce nouveau modèle permet également d'inclure de nouvelles informations à mesure qu'elles sont collectées, en mettant à jour les distributions *a priori*, et peut donc être utilisé comme outil pour évaluer les facteurs susceptibles d'avoir une incidence sur la

distribution temporelle des naissances entre les colonies et les années. En outre, le modèle bayésien permet de quantifier les états non observés, de sorte que la date de la première naissance et la proportion de chiots pouvant avoir quitté le site au moment du relevé peuvent être estimées (annexe 7). Bien que des travaux de validation supplémentaires soient nécessaires, ces renseignements permettront de mieux comprendre la distribution temporelle des naissances, de mieux ajuster le dénombrement et d'améliorer les estimations de la taille de la population.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Damian Lidgard d'avoir réalisé les relevés estimant les stades de développement et leur durée sur l'île de Sable, ainsi que Susan Heaslip, Warren Joyce et Megan Wilson pour les relevés de stades de développement dans le sud-ouest de la Nouvelle-Écosse. Nous remercions aussi Priyanka Varkey et Pierre Rivard d'avoir agi en tant que lecteurs du grand nombre de photos aériennes prises au cours des relevés de l'hiver 2020-2021, de même que Harrison MacRae, Colin Lavalee, Malte Dehler et Per Klattenhoff de la Garde côtière canadienne, pour leur aide au cours des relevés.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Baker, S.R., Barrette, C. et Hammill, M.O. 1995. Mass transfer during lactation of an ice-breeding pinniped, the grey seal (*Halichoerus grypus*), in Nova Scotia, Canada. *J. Zool.* 236:531–542.
- Boskovic, R., Kovacs, K.M. et Hammill, M.O. 1996. Geographic distribution of mitochondrial DNA haplotypes in grey seals *Halichoerus grypus*. *Can. J. Zool.* 74:1787–1796.
- Bowen, W.D., Myers, R.A. et Hay., K. 1987. Abundance estimation of a dispersed, dynamic population: hooded seals (*Cystophora cristata*) in the Northwest Atlantic. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44:282–295.
- Bowen, W.D., McMillan, J. et Mohn, R. 2003. Sustained exponential population growth of grey seals at Sable Island, Nova Scotia. *ICES J. Mar. Sci.* 60:1265e1274.
- Bowen, W.D., den Heyer, C., Lang, S.L.C., Lidgard, D. et Iverson, S.J. 2020. Exploring causal components of plasticity in grey seal birthdates: Effects of intrinsic traits, demography, and climate. *Ecol. Evol.* 10(20):11507–11522.
- Buckland, S.T., Anderson, D.R., Burnham, K.P., Laake, J.L., Borchers, D.L. et Thomas, L. 2001. Introduction to distance sampling: Estimating abundance of biological populations. Oxford University Press.
- Cammen, K.M., Schultz, T.F., Bowen, W.D., Hammill, M.O., Puryear, W.B., Runstadler, J., Wenzel, F.W., Wood, S.A. et Kinnison, M. 2018. Genomic signatures of population bottleneck and recovery in Northwest Atlantic pinnipeds. *Ecol. Evol.* 8:6599–6614. doi:10.1002/ece3.4143
- Coulson, J.C. 1981. A study of the factors influencing the timing of birth in the grey seal *Halichoerus grypus*. *J. Zool.* 194:553–571.
- Crum N.J., Neyman L.C. et Gowan T.A. 2021. Abundance estimation for line transect sampling: A comparison of distance sampling and spatial capture-recapture models. *PLoS ONE* 16(5):e0252231. doi:10.1371/journal.pone.0252231

-
- den Heyer, C.E., Lang, S.L.C., Bowen, W.D. et Hammill, M.O. 2017. [Pup Production at Scotian Shelf Grey Seal \(*Halichoerus grypus*\) Colonies in 2016](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/056. v + 34 p.
- den Heyer, C.E., Bowen, W.D., Dale, J., Gosselin, J.-F., Hammill, M.O., Johnston, D.W., Lang, S.L.C., Murray, K., Stenson, G.B. et Wood, S.A. 2020. Contrasting trends in gray seal (*Halichoerus grypus*) pup production throughout the increasing northwest Atlantic metapopulation. *Mar. Mamm. Sci.* 37(2):611–630. doi:10.1111/mms.12773
- den Heyer, C.E., Mosnier, A., Stenson, G.B., Lidgard, D.C., Bowen, W.D., et Hammill, M.O. 2023 (sous presse). La production de jeunes phoques gris au Canada. *Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech.* 2023/078.
- De Valpine, P. et Harmon-Threatt, A.N. 2013. General models for resource use or other compositional count data using the Dirichlet2687. doi:10.1890/12-0416.1-multinomial distribution. *Ecology* 94(12):2678–2687. doi:10.1890/12-0416.1
- García, F.D.A., Parente, F.R.A., Fraidenraich, G. et Filho, J.C.S.S. 2021. Light Exact Expressions for the Sum of Weibull Random Variables. *IEEE Wirel. Commun. Lett.*10(11):2445–2449. doi:10.1109/LWC.2021.3102877
- Hammill, M.O., den Heyer, C.E., Bowen, W.D. et Lang, S.L.C. 2017. [Grey Seal Population Trends in Canadian Waters, 1960-2016 and Harvest Advice](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/052. vi + 30 p.
- Kovacs, K.M. et Lavigne, D.M. 1986. Maternal investment and neonatal growth of phocid seals. *J. Anim. Ecol.* 55:1035–1051. doi:10.2307/4432
- Lang, S.L.C., Iverson, S.J. et Bowen, W. D. 2009. Repeatability in lactation performance and the consequences for maternal reproductive success in gray seals. *Ecology*. 90(9):2513–2523. doi: 10.1890/08-1386.1
- Lavigne, L. et Hammill, M.O. 1993. Distribution and seasonal movements of grey seals, *Halichoerus grypus*, the Gulf of St. Lawrence and eastern Nova Scotia shore. *Can. Field-Nat.* 107:329–340.
- Lesage, V. et Hammill, M.O. 2001. The Status of the grey seal (*Halichoerus grypus*) in Atlantic Canada. *Can. Field-Nat.* 115:653–662.
- Lowe, A.D., Bawazeer, S., Watson, D.G., McGill, S., Burchmore, R.J.S., Pomeroy, P.P. et Kennedy, M.W. 2017. Rapid changes in Atlantic grey seal milk from birth to weaning - immune factors and indicators of metabolic strain. *Sci. Rep.* 7:16093.
- Mansfield, A.W. et Beck., B. 1977. The grey seal in Eastern Canada. Dept. Environ., Fish. Mar. Serv. Tech. Rep. 704. 81 p.
- Myers, R.A. et Bowen, W.D. 1989. Estimating bias in aerial surveys for harp seal pup production. *J. Wildl. Manag.* 53:361–372.
- Nadarajah, S. 2008. A review of results on sum of random variables. *Acta Appl. Math.* 103:131–140.
- Nielson, R.M., Evans, T.J. et Stahl, M.B. 2013. Investigating the potential use of aerial line transect surveys for estimating polar bear abundance in sea ice habitats: A case study for the Chukchi Sea. *Mar. Mamm. Sci.* 29:389–406.
- Noren, S.R., Boness, D.J., Iverson, S.J., McMillan, J.M. et Bowen, W.D. 2008. Body Condition at Weaning Affects the Duration of the Postweaning Fast in Gray Seal Pups (*Halichoerus grypus*). *Phys. Biochem. Zool.* 81(3):269–277.

-
- Plummer, M. 2003. JAGS: A Program for Analysis of Bayesian Graphical Models Using Gibbs Sampling. Proceedings of the 3rd International Workshop on Distributed Statistical Computing (DSC 2003), March 20–22, Vienna. p. 1–10.
- Plummer, M., Best, N., Cowles, K. et Vines, K. 2006. CODA: Convergence Diagnosis and Output Analysis for MCMC. R News 6:7–11.
- R Core Team. 2021. [R: A language and environment for statistical computing](#). R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Radford, P.J., Summers, C.F. et Young, K.M. 1978. A statistical procedure for estimating grey seal pup production from a single census. Mamm. Rev. 8:35–42.
- Russell, D.J.F., Morris, C.D., Duck, C.D., Thompson, D. et Hiby, L. 2019. Monitoring long term changes in UK grey seal pup production. Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst. 29:24–39. doi:10.1002/aqc.3100
- Satterthwaite, F.E. 1946. An Approximate Distribution of Estimates of Variance Components. Biometrics. 2(6):110–114. doi:10.2307/3002019
- Sergeant, D.E. 1991. Harp Seals, man and ice. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 114. 153 p.
- Stedinger, J.R., Shoemaker, C.A. et Tenga, R.F. 1965. A Stochastic Model of Insect Phenology for a Population with Spatially Variable Development Rates. Biometrics 41(3):691–701.
- Stenson, G.B. et Myers, R.A. 1988. Accuracy of pup classifications and its effect on population estimates in the hooded seal, *Cystophora cristata*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45:715–719.
- Stenson, G.B., Myers, R.A., Hammill, M.O., Ni, I.-H., Warren, W.G. et Kingsley, M.C.S. 1993. Pup production of Harp Seals, *Phoca groenlandica*, in the northwest Atlantic. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 50:2429–2439. doi:10.1139/f93-267
- Stenson, G.B., Hammill, M.O., Kingsley, M.C.S., Sjare, B., Warren, W.G. et Myers, R.A. 2002. Is there evidence of increased pup production in Northwest Atlantic Harp Seals, *Pagophilus groenlandicus*? ICES J. Mar. Sci. 59:81–92. doi:10.1006/jmsc.2001.1129
- Stenson, G.B., Rivest, L.-P., Hammill, M.O., Gosselin, J.-F. et Sjare, B. 2003. Estimating pup production of Harp Seals, *Phoca groenlandica*, in the Northwest Atlantic. Mar. Mamm. Sci. 19:141–160. doi:10.1111/j.1748-7692.2003.tb01098.x
- Su, Y. et Yajima, M. 2021. [R2jags: Using R to Run 'JAGS'](#). R package version 0.7-1.
- Temte, J.L. 1993. Latitudinal variation in the birth timing of captive California sea lions and other captive North Pacific pinnipeds. Fish. Bull. 91:710–712.
- Temte, J.L., Bigg, M.A. et Wiig, O. 1991. Clines revisited: the timing of pupping in the harbour seal (*Phoca vitulina*). J. Zool. 224:617–632.
- Welch, B.L. 1947. The generalization of 'student's' problem when several different population variances are involved, Biometrika 34(1):28–35.

TABLEAUX

Tableau 1. Dates estimée auxquelles des proportions spécifiques des naissances ont été atteintes sur l'île de Sable en 2021, à l'aide du modèle bayésien de distribution des naissances ajusté aux données de tous les transects de relevé de 2021 de stades de développement, traitées indépendamment, ou agrégées par jour. De nombreux sous-ensembles de données de transect ont été considérés afin d'explorer les performances du modèle dans des situations où les données sont plus limitées. Le modèle a également été ajusté en considérant de distributions a priori pour les durées de stade basées sur les observations de 2021. À des fins de comparaison, les résultats du modèle DNM sont indiqués dans la dernière partie du tableau. Les résultats sont présentés sous forme d'une date médiane et d'un intervalle de crédibilité (IC) à 95 %. La dernière colonne indique la proportion de chiots nés au moment du relevé photographique (11 janvier 2021) ainsi que l'IC à 95 %.

Données de transect considérées comme mesures indépendantes (distributions a priori de 2007-2010)

Ensemble de données pris en compte	Première naissance (IC à 95 %)	1 % des naissances (IC à 95 %)	50 % des naissances (IC à 95 %)	95 % des naissances (IC à 95 %)	Proportion de chiots nés le 11 janvier
Ensemble de données complet	5 déc. (30 nov. au 7 déc.)	13 déc. (11 au 15 déc.)	24 déc. (22 au 26 déc.)	4 janv. (3 au 6 janv.)	99,2 (98,6 à 99,6)
Première moitié	4 déc. (1 ^{er} au 9 déc.)	11 déc. (7 au 14 déc.)	23 déc. (19 au 26 déc.)	7 janv. (4 au 11 janv.)	97,9 (94,9 à 99,1)
Seconde moitié	3 déc. (29 nov. au 10 déc.)	10 déc. (6 au 13 déc.)	22 déc. (17 au 26 déc.)	6 janv. (3 au 9 janv.)	98,2 (96,5 à 99,2)

Données de transect agrégées par jour (distributions a priori de 2007-2010)

Ensemble de données pris en compte	Première naissance (IC à 95 %)	1 % des naissances (IC à 95 %)	50 % des naissances (IC à 95 %)	95 % des naissances (IC à 95 %)	Proportion de chiots nés le 11 janvier
Ensemble de données complet	4 déc. (30 nov. au 8 déc.)	10 déc. (7 au 12 déc.)	21 déc. (17 au 23 déc.)	3 déc. (31 déc. au 6 janv.)	99,3 (98,4 à 99,7)
Première moitié	3 déc. (27 nov. au 8 déc.)	9 déc. (6 au 12 déc.)	20 déc. (17 au 24 déc.)	2 déc. (29 déc. au 7 janv.)	99,5 (97,9 à 99,9)
Seconde moitié	4 déc. (29 nov. au 8 déc.)	8 déc. (5 au 12 déc.)	21 déc. (17 au 25 déc.)	7 janv. (4 au 11 janv.)	97,2 (94,9 à 98,7)
1 observ./sem. 1 observ./sem. – échant. de 3 observ. – première moitié	4 déc. (29 nov. au 8 déc.)	10 déc. (7 au 13 déc.)	21 déc. (17 au 24 déc.)	3 janv. (30 déc. au 6 janv.)	99,3 (98,1 à 99,8)
1 observ./sem. – échant. de 3 observ. – milieu 1 observ./sem. – échant. de 3 observ. – deuxième moitié	2 déc. (27 nov. au 7 déc.)	11 déc. (7 au 14 déc.)	21 déc. (18 au 24 déc.)	1 ^{er} janv. (28 déc. au 5 janv.)	99,7 (98,7 à 100)
1 observ./sem. – échant. de 2 observ. – 1/6	2 déc. (28 nov. au 7 déc.)	11 déc. (7 au 15 déc.)	23 déc. (19 au 27 déc.)	6 janv. (1 au 10 janv.)	98,6 (95,9 à 99,8)
1 observ./sem. – échant. de 2 observ. – 2/6	3 déc. (29 nov. au 8 déc.)	12 déc. (6 au 16 déc.)	23 déc. (18 au 27 déc.)	5 janv. (1 au 10 janv.)	98,0 (94,9 à 99,5)
1 observ./sem. – échant. de 2 observ. – 3/6	2 déc. (27 nov. au 7 déc.)	13 déc. (8 déc. au 16 janv.)	21 déc. (17 déc. au 21 févr.)	22 janv. (26 déc. au 21 févr.)	81,7 (0,4 à 100)
1 observ./sem. – échant. de 2 observ. – 4/6	3 déc. (29 nov. au 8 déc.)	12 déc. (10 au 15 déc.)	21 déc. (18 au 23 déc.)	29 déc. (25 déc. au 1 ^{er} janv.)	100,0 (99,9 à 100)
1 observ./sem. – échant. de 2 observ. – 5/6	2 déc. (28 nov. au 7 déc.)	12 déc. (7 au 16 déc.)	23 déc. (18 au 26 déc.)	3 janv. (28 déc. au 9 janv.)	99,6 (96,9 à 100)
1 observ./sem. – échant. de 2 observ. – 6/6	2 déc. (27 nov. au 7 déc.)	12 déc. (7 au 18 déc.)	24 déc. (20 au 29 déc.)	7 janv. (3 au 11 janv.)	98,3 (95,4 à 99,7)
1 observ./2 sem. – échant. de 4 observ. 1 observ./2 sem. – échant. de 2 observ. – première moitié	3 déc. (28 nov. au 8 déc.)	15 déc. (10 au 20 déc.)	27 déc. (22 au 30 déc.)	7 janv. (4 au 11 janv.)	98,1 (94,7 à 99,5)
1 observ./2 sem. – échant. de 2 observ. – milieu 1 observ./2 sem. – échant. de 2 observ. – deuxième moitié	2 déc. (27 nov. au 7 déc.)	6 déc. (30 nov. au 15 déc.)	19 déc. (10 au 28 déc.)	6 janv. (31 déc. au 15 janv.)	97,5 (92,2 à 99,5)
	5 déc. (29 nov. au 9 déc.)	9 déc. (6 au 12 déc.)	20 déc. (15 au 24 déc.)	3 janv. (30 déc. au 7 janv.)	99,0 (97,4 à 99,7)
	2 déc. (28 nov. au 7 déc.)	10 déc. (6 au 12 déc.)	20 déc. (15 au 24 déc.)	1 ^{er} janv. (23 déc. au 6 janv.)	99,7 (98,1 à 100)
	2 déc. (27 nov. au 7 déc.)	13 déc. (7 au 17 déc.)	25 déc. (20 au 28 déc.)	6 janv. (2 au 11 janv.)	98,4 (95,2 à 99,6)
	3 déc. (28 nov. au 8 déc.)	11 déc. (6 au 16 déc.)	24 déc. (19 au 29 déc.)	8 janv. (4 au 13 janv.)	96,9 (92,4 à 99,1)

Distributions a priori de 2021

Ensemble de données pris en compte	Première naissance (IC à 95 %)	1 % des naissances (IC à 95 %)	50 % des naissances (IC à 95 %)	95 % des naissances (IC à 95 %)	Proportion de chiots nés le 11 janvier
Données de transect agrégées par jour	4 déc. (29 nov. au 9 déc.)	10 déc. (7 au 12 déc.)	20 déc. (18 au 23 déc.)	3 janv. (31 déc. au 6 janv.)	99,3 (98,2 à 99,8)
Modèle DNM	2 déc. (valeur fixe)	7 déc. (3 au 10 déc.)	21 déc. (16 au 27 déc.)	7 janv. (30 déc. au 17 janv.)	97,1 (96,3 à 97,9)

Tableau 2a. Dates estimées auxquelles des proportions spécifiques de naissances ont été atteintes au cours de l'hiver 2020-2021 dans les plus grandes colonies de phoques gris situées le long de la côte de la Nouvelle-Écosse et dans le golfe du Saint-Laurent, à l'aide du modèle bayésien de distribution des naissances ajusté aux données des relevés de stades de développement menés dans chacune de ces colonies. Les résultats sont présentés sous forme d'une date médiane et d'un intervalle de crédibilité à 95 % pour des proportions spécifiques de naissances.

Côte de la Nouvelle-Écosse

Emplacement	Première naissance (IC à 95 %)	1 % des naissances (IC à 95 %)	50 % des naissances (IC à 95 %)	95 % des naissances (IC à 95 %)
Île Hay	14 déc. (10 au 19 déc.)	17 déc. (14 au 21 déc.)	27 déc. (23 au 31 janv.)	10 janv. (6 au 15 janv.)
Îles Mud, Round, Noddy et Flat	8 déc. (4 au 12 déc.)	9 déc. (6 au 12 déc.)	17 déc. (13 au 21 déc.)	4 janv. (30 déc. au 10 janv.)

Golfe du Saint-Laurent

Emplacement	Première naissance (IC à 95 %)	1 % des naissances (IC à 95 %)	50 % des naissances (IC à 95 %)	95 % des naissances (IC à 95 %)
Île Brion	19 déc. (15 au 23 déc.)	20 déc. (17 au 23 déc.)	29 déc. (25 déc. au 1 ^{er} janv.)	13 janv. (10 au 17 janv.)
Île Henry	20 déc. (16 au 24 déc.)	22 déc. (18 au 26 déc.)	1 ^{er} janv. (27 déc. au 6 janv.)	18 janv. (13 au 23 janv.)
Île Pictou	16 déc. (11 au 20 déc.)	20 déc. (16 au 23 déc.)	4 janv. (29 déc. au 8 janv.)	24 janv. (19 au 30 janv.)
Île Saddle	21 déc. (16 au 26 déc.)	24 déc. (21 au 28 déc.)	4 janv. (31 déc. au 8 janv.)	19 janv. (15 au 24 janv.)

Tableau 2b. Dates estimées de la première naissance et de l'atteinte de proportions spécifiques de naissances au cours de l'hiver 2020-2021 dans les plus grandes colonies de phoques gris situées le long de la côte de la Nouvelle-Écosse et dans le golfe du Saint-Laurent, à l'aide du modèle DNM ajusté aux données des relevés de stades de développement menés dans chacune de ces colonies.

Île de Sable

Emplacement	Modèle	Première naissance	1 % des naissances (IC à 95 %)	50 % des naissances (IC à 95 %)	95 % des naissances (IC à 95 %)
Île de Sable	Weibull	3 déc.	6 déc. (6 et 7 déc.)	22 déc. (21 au 22 déc.)	5 janv. (5 et 6 janv.)

Côte de la Nouvelle-Écosse

Emplacement	Modèle	Première naissance	1 % des naissances (IC à 95 %)	50 % des naissances (IC à 95 %)	95 % des naissances (IC à 95 %)
Île Hay	Gamma	14 déc.	17 déc. (15 au 22 déc.)	31 déc. (21 déc. au 20 janv.)	23 janv. (4 janv. au 1 ^{er} mars)
Îles Mud, Round, Noddy et Flat	Gamma	10 déc.	11 déc. (10 au 14 déc.)	20 déc. (12 déc. au 14 janv.)	11 janv. (22 déc. au 10 mars)

Golfe du Saint-Laurent

Emplacement	Modèle	Première naissance	1 % des naissances (IC à 95 %)	50 % des naissances (IC à 95 %)	95 % des naissances (IC à 95 %)
Île Brion	Gamma	20 déc.	21 déc. (20 au 22 déc.)	1 ^{er} janv. (27 déc. au 9 janv.)	23 janv. (12 janv. au 11 févr.)
Île Henry	Gamma	21 déc.	24 déc. (22 au 31 déc.)	6 janv. (27 déc. au 29 janv.)	26 janv. (8 janv. au 9 mars)
Île Pictou	Weibull	16 déc.	24 déc. (22 au 27 déc.)	14 janv. (10 au 19 janv.)	30 janv. (26 janv. au 4 févr.)
Île Saddle	Gamma	21 déc.	26 déc. (23 déc. au 3 janv.)	10 janv. (31 déc. au 31 janv.)	29 janv. (12 janv. au 6 mars)

Tableau 3. Dénombrement des chiots vivants à partir des relevés aériens et estimation de la proportion de chiots nés à l'aide du modèle de distribution des naissances de Myers (DNM) et du modèle bayésien (den Heyer et al. 2021). Les estimations issues du nombre maximal sont en gras.

Lieu et date du relevé	Nombre	Estimation du modèle DNM	Var. modèle DNM	Estimation du modèle bayésien	Var. modèle bayésien
Île de Sable 2021-01-11	72 209	0,987	0,001	0,993	0,000
Île Brion 2021-01-13	4 987	0,849	0,004	0,939	0,000
Île Brion 2021-01-15	5 151	0,877	0,003	0,956	0,000
Île Brion 2021-01-20	4 350	0,928	0,002	0,982	0,000
Île Henry 2021-01-05	395	0,460	0,004	0,648	0,010
Île Henry 2021-01-13	1 218	0,756	0,005	0,880	0,002
Île Henry 2021-01-20	1 397	0,895	0,004	0,958	0,000
Île Henry 2021-01-22	1 447	0,918	0,003	0,969	0,000
Île Pictou 2021-01-16	2 792	0,560	0,061	0,858	0,002
Île Pictou 2021-01-21	3 452	0,743	0,064	0,921	0,001
Île Pictou 2021-01-23	3 604	0,804	0,055	0,938	0,001
Île Saddle 2021-01-13	1 750	0,636	0,018	0,823	0,003
Île Saddle 2021-01-16	2 530	0,736	0,019	0,889	0,002
Île Saddle 2021-01-19	2 873	0,814	0,016	0,933	0,001
Île Saddle 2021-01-23	3 155	0,889	0,011	0,966	0,000
Île Hay 2021-01-11	1 619	0,821	0,023	0,949	0,001
Île Hay 2021-01-11	1 614	0,821	0,023	0,949	0,001
Île Hay 2021-01-13	1 705	0,855	0,019	0,966	0,000
Île Hay 2021-01-16	1 702	0,895	0,013	0,982	0,000
Île Hay 2021-01-22	1 637	0,946	0,006	0,995	0,000
Îles Mud, Noddy, Round et Flat 2021-01-16	1 456	0,972	0,006	0,991	0,000
Îles Mud, Noddy, Round et Flat 2021-01-16	184	0,972	0,006	0,991	0,000
Îles Mud, Noddy, Round et Flat 2021-01-16	560	0,972	0,006	0,991	0,000
Îles Mud, Noddy, Round et Flat 2021-01-16	46	0,972	0,006	0,991	0,000
Île Scatarie 2021-01-13	70	0,855	0,019	0,966	0,000
Île Scatarie 2021-01-16	107	0,895	0,013	0,982	0,000
Île Scatarie 2021-01-22	121	0,946	0,006	0,995	0,000

Tableau 4a. Dates estimées pendant la saison de reproduction 2021 auxquelles 1 % à 95 % des chiots étaient sevrés dans les colonies situées le long de la côte de la Nouvelle-Écosse et sur le plateau néo-écossais. Les chiots étaient considérés comme sevrés 20 jours après leur naissance. Les intervalles de confiance à 95 % sont également présentés.

Plateau néo-écossais

Proportion sevrée (%)	Date pour l'île de Sable (IC à 95 %)
1	30 déc. (27 déc. au 1 ^{er} janv.)
15	4 janv. (31 déc. au 7 janv.)
25	6 janv. (2 au 8 janv.)
35	7 janv. (4 au 10 janv.)
45	9 janv. (5 au 12 janv.)
50	10 janv. (6 au 12 janv.)
55	10 janv. (7 au 13 janv.)
65	12 janv. (9 au 15 janv.)
75	14 janv. (11 au 17 janv.)
85	17 janv. (14 au 20 janv.)
95	23 janv. (20 au 26 janv.)

Côte de la Nouvelle-Écosse

Proportion sevrée (%)	Date pour les îles Mud, Round, Noddy et Flat (IC à 95 %)	Date pour l'île Hay (IC à 95 %)
1	29 déc. (26 déc. au 1 ^{er} janv.)	6 janv. (3 au 10 janv.)
15	1 ^{er} janv. (28 déc. au 4 janv.)	11 janv. (6 au 14 janv.)
25	2 janv. (30 déc. au 6 janv.)	12 janv. (8 au 16 janv.)
35	4 janv. (31 déc. au 7 janv.)	14 janv. (9 au 18 janv.)
45	5 janv. (1 au 9 janv.)	15 janv. (11 au 19 janv.)
50	6 janv. (2 au 10 janv.)	16 janv. (12 au 20 janv.)
55	7 janv. (3 au 11 janv.)	17 janv. (13 au 21 janv.)
65	9 janv. (5 au 13 janv.)	19 janv. (15 au 22 janv.)
75	12 janv. (8 au 16 janv.)	21 janv. (17 au 25 janv.)
85	16 janv. (11 au 21 janv.)	24 janv. (20 au 28 janv.)
95	24 janv. (19 au 30 janv.)	30 janv. (26 janv. au 4 févr.)

Tableau 4b. Dates estimées pendant la saison de reproduction 2021 auxquelles 1 % à 95 % des chiots étaient sevrés dans les colonies situées dans le golfe du Saint-Laurent. Les chiots étaient considérés comme sevrés 20 jours après leur naissance. Les intervalles de confiance à 95 % sont également présentés.

Proportion sevrée (%)	Date pour l'île Brion (IC à 95 %)	Date pour l'île Henry (IC à 95 %)	Date pour l'île Pictou (IC à 95 %)	Date pour l'île Saddle (IC à 95 %)
1	9 janv. (6 au 12 janv.)	11 janv. (7 au 15 janv.)	9 janv. (5 au 12 janv.)	13 janv. (10 au 17 janv.)
15	12 janv. (9 au 16 janv.)	15 janv. (10 au 19 janv.)	15 janv. (10 au 19 janv.)	18 janv. (14 au 21 janv.)
25	14 janv. (11 au 17 janv.)	16 janv. (12 au 21 janv.)	18 janv. (13 au 22 janv.)	20 janv. (16 au 24 janv.)
35	15 janv. (12 au 19 janv.)	18 janv. (13 au 23 janv.)	20 janv. (15 au 24 janv.)	22 janv. (18 au 25 janv.)
45	17 janv. (13 au 20 janv.)	20 janv. (15 au 25 janv.)	22 janv. (17 au 27 janv.)	23 janv. (19 au 27 janv.)
50	18 janv. (14 au 21 janv.)	21 janv. (16 au 26 janv.)	24 janv. (18 au 28 janv.)	24 janv. (20 au 28 janv.)
55	18 janv. (15 au 22 janv.)	22 janv. (17 au 27 janv.)	25 janv. (19 au 29 janv.)	25 janv. (21 au 29 janv.)
65	20 janv. (17 au 24 janv.)	24 janv. (19 au 29 janv.)	28 janv. (22 janv. au 1 ^{er} févr.)	27 janv. (23 au 31 janv.)
75	23 janv. (19 au 26 janv.)	27 janv. (22 janv. au 1 ^{er} févr.)	31 janv. (26 janv. au 5 févr.)	30 janv. (26 janv. au 2 févr.)
85	26 janv. (23 au 29 janv.)	30 janv. (26 janv. au 5 févr.)	5 févr. (30 janv. au 9 févr.)	2 févr. (29 janv. au 6 févr.)
95	2 févr. (30 janv. au 6 févr.)	7 févr. (2 au 12 févr.)	13 févr. (8 au 19 févr.)	8 févr. (4 au 13 févr.)

FIGURES

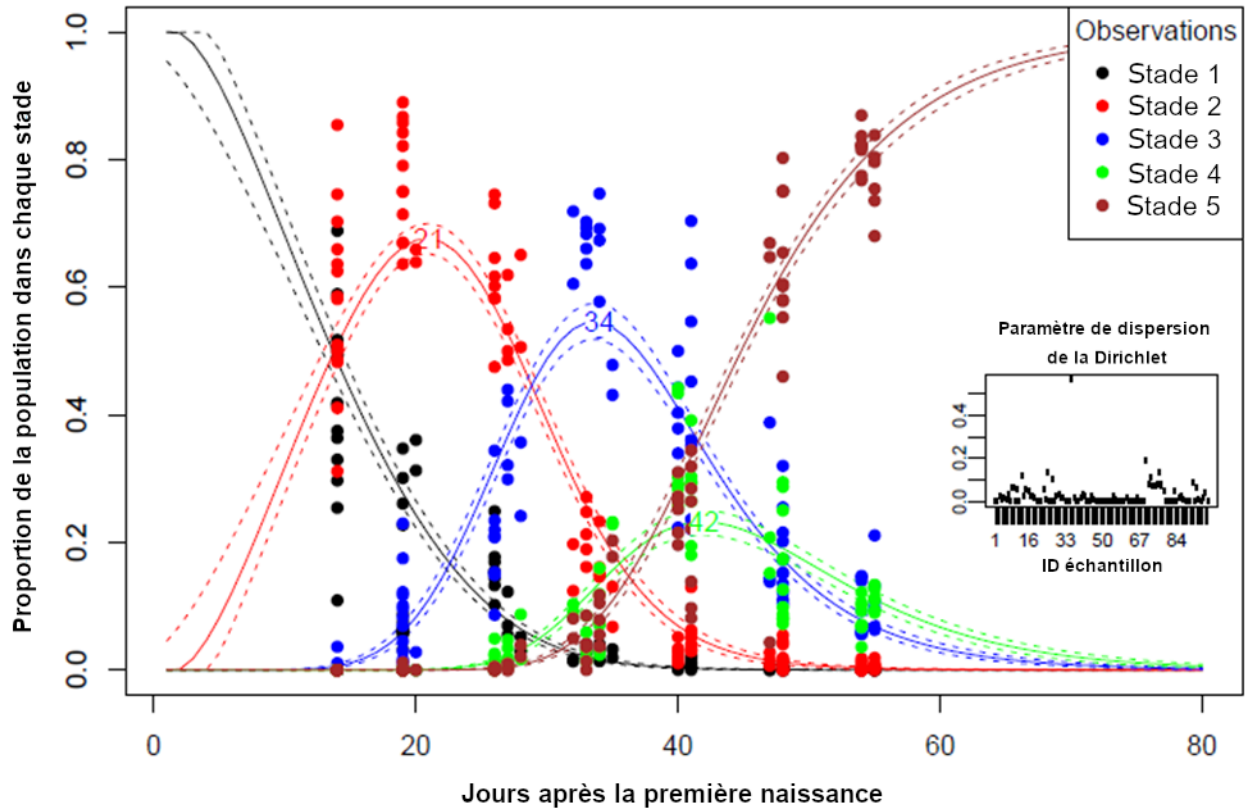


Figure 1a. Résultats du modèle bayésien de distribution des naissances montrant la proportion estimée de chiots de phoques gris dans les cinq stades de développement au cours du temps (noir, rouge, bleu, vert et brun représentant les stades 1 à 5, respectivement) après ajustement aux données de relevé de stades de développement sur l'île de Sable en 2021. Les lignes pleines et pointillées représentent respectivement les valeurs médianes et les IC à 95 %. Les points de couleur indiquent les proportions observées pour les stades correspondants au fil du temps. Le graphique en médaillon montre l'inverse de la valeur du paramètre de pondération contrôlant la variation entre les écarts obtenus à partir de la distribution de Dirichlet pour chaque échantillon ($1/w_{d_x}$; plus les valeurs sont élevées, plus il y a du bruit dans les données; voir éq. 3).

Île de Sable 2021 - Courbe de naissance
 Date de départ estimée par le modèle 2020-12-05 (95% ICs = 2020-11-30 - 2020-12-07)

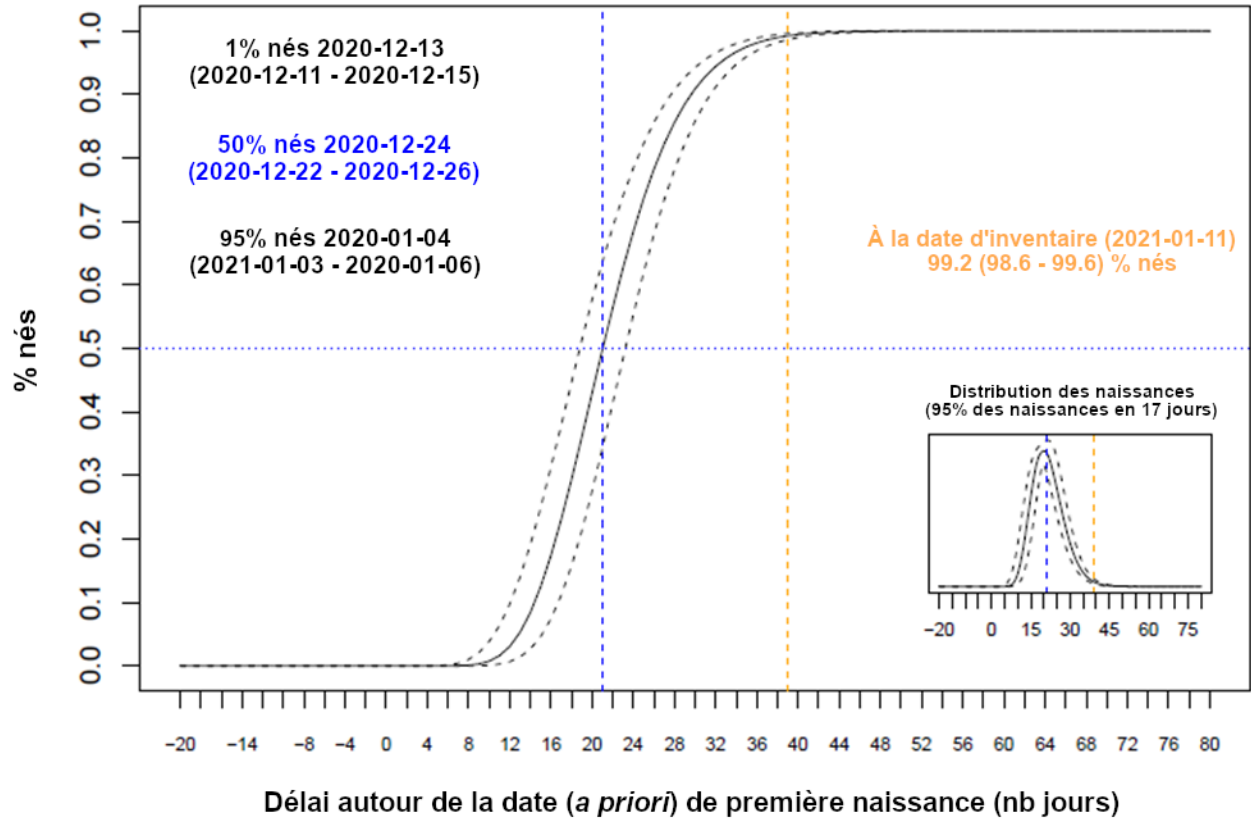


Figure 1b. Courbe prédite des naissances de chiots de phoques gris sur l'île de Sable en 2021, à partir du modèle bayésien de distribution des naissances ajusté aux données du relevé de stades de développement. Les lignes pleines et pointillées noires correspondent respectivement à la médiane et à l'intervalle de crédibilité à 95 % de la proportion prédite de chiots nés en fonction du délai (en jours) autour de la date a priori de la première naissance. Il convient de noter que la valeur 0 correspond à la date fournie au modèle (c'est-à-dire la date approximative), mais que le modèle peut la modifier si nécessaire (voir la description du modèle dans la section sur les méthodes). Ici, la date a priori était le 3 décembre, mais le modèle a suggéré (comme indiqué dans le titre du graphique) que le 5 décembre permettait un meilleur ajustement aux données. Les dates prédites de l'atteinte de 1 %, 50 % et 95 % des naissances sont indiquées (avec les IC à 95 %). La proportion de chiots nés (et les IC à 95 %) au moment du relevé est également indiquée. Le graphique en médaillon montre la courbe des naissances sous la forme d'une fonction de densité pour la période indiquée, qui englobe 95 % des naissances. Les lignes verticales bleues et jaunes indiquent respectivement la date prédite de l'atteinte de 50 % des naissances et la date du relevé.

Île de Sable 2021
Courbes de naissance et de transitions

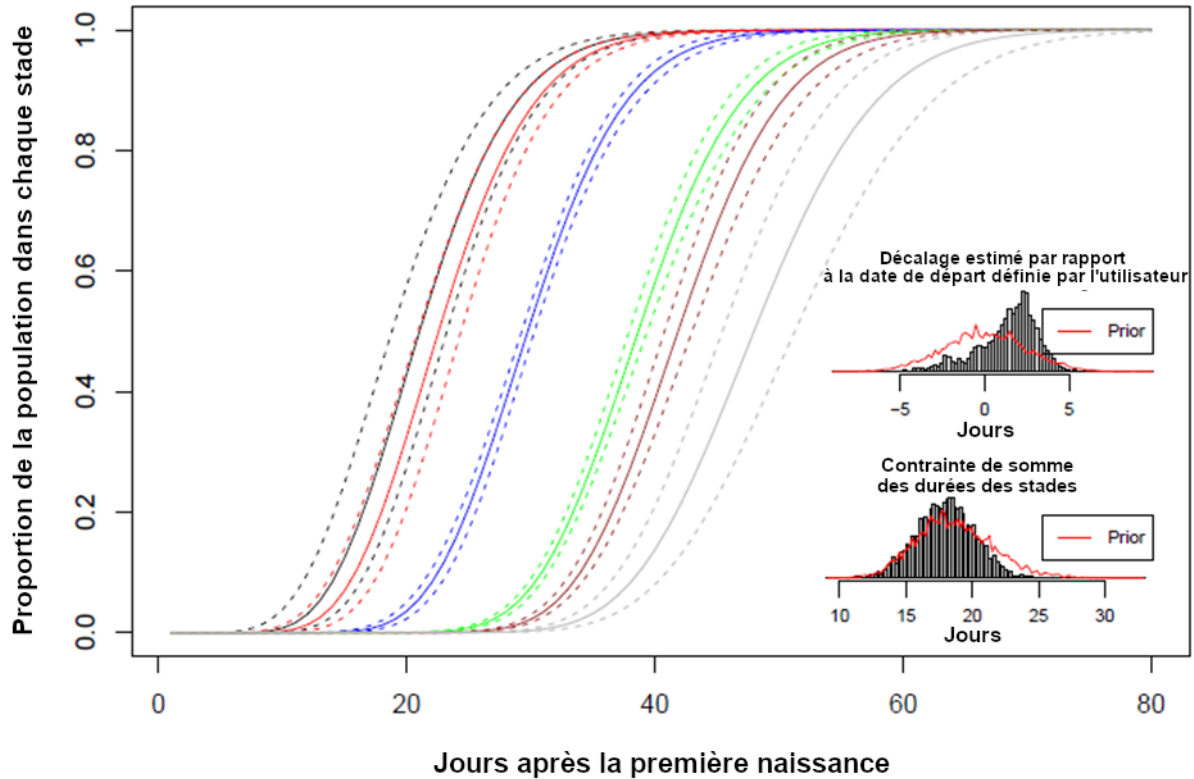


Figure 1c. Résultats du modèle bayésien de stades de développement montrant les courbes estimées pour les naissances et les transitions entre les cinq stades de développement au cours du temps (noir, rouge, bleu, vert et brun représentant les stades 1 à 5, respectivement) après ajustement aux données du relevé de stades de développement sur l'île de Sable de 2021. Une 6^e courbe (en gris) représente la proportion estimée d'animaux ayant quitté la colonie. Les lignes pleines et pointillées représentent respectivement les valeurs médianes et les IC à 95 %. Deux graphiques en médaillon montrent les distributions a priori (ligne rouge) et a posteriori (diagramme à barres) pour (1) graphique supérieur : le décalage potentiel de la date autour de la date a priori fournie au modèle (c'est-à-dire la date approximative) et (2) graphique inférieur : la somme de la durée des stades 1 à 3. Le terme « Prior » désigne la distribution a priori de la variable considérée.

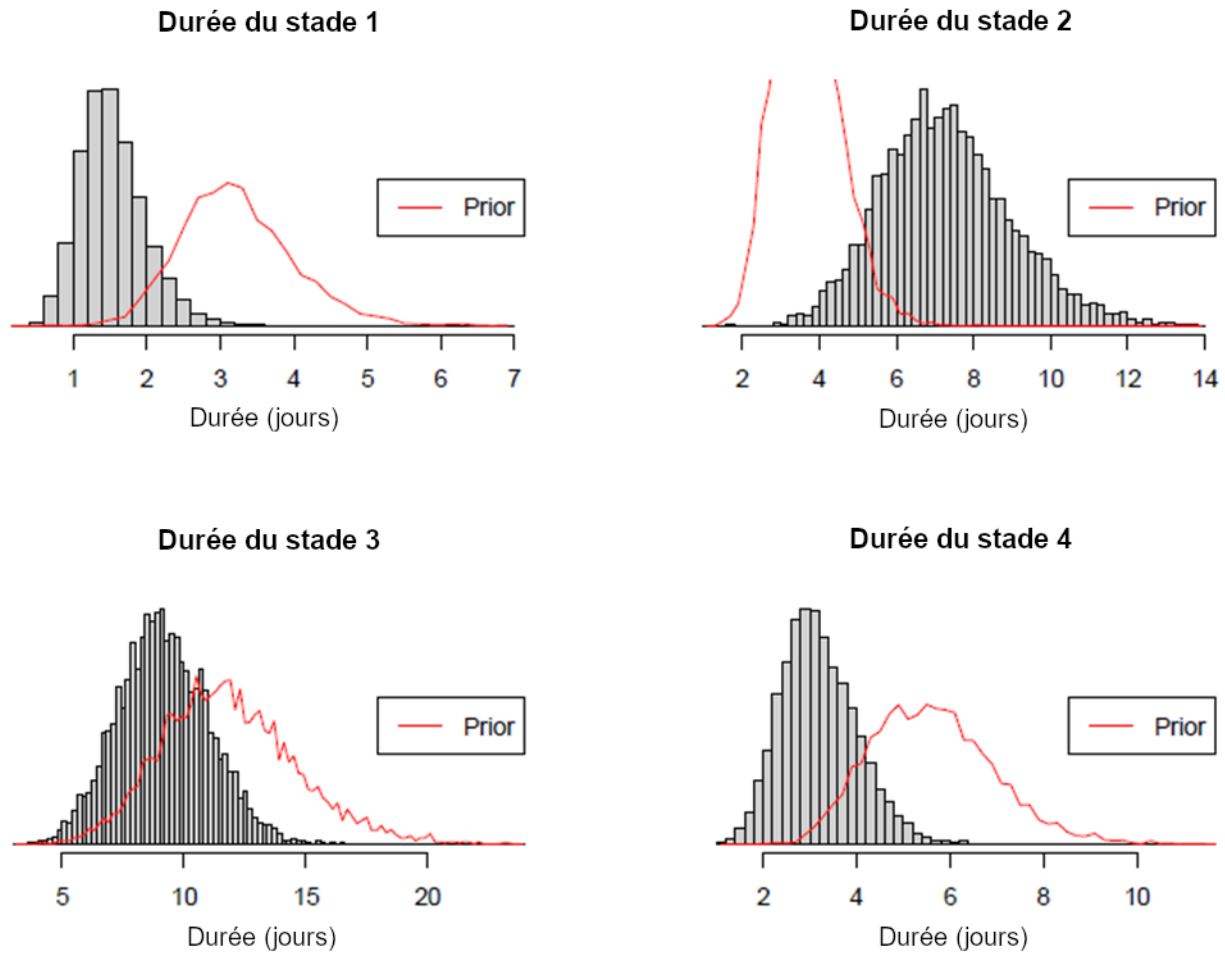


Figure 1d. Résultats du modèle bayésien de stades de développement montrant les distributions a priori (« Prior »; lignes rouges) et a posteriori (diagrammes à barres) représentant la durée des stades 1 à 4 après ajustement aux données de stades de développement sur l'île de Sable en 2021.

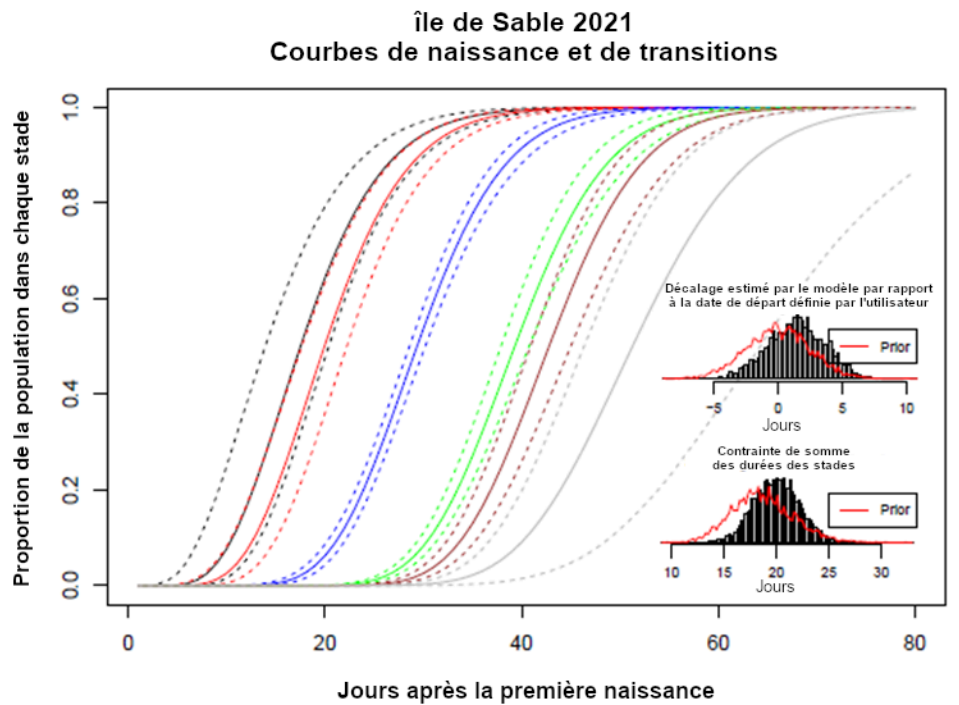
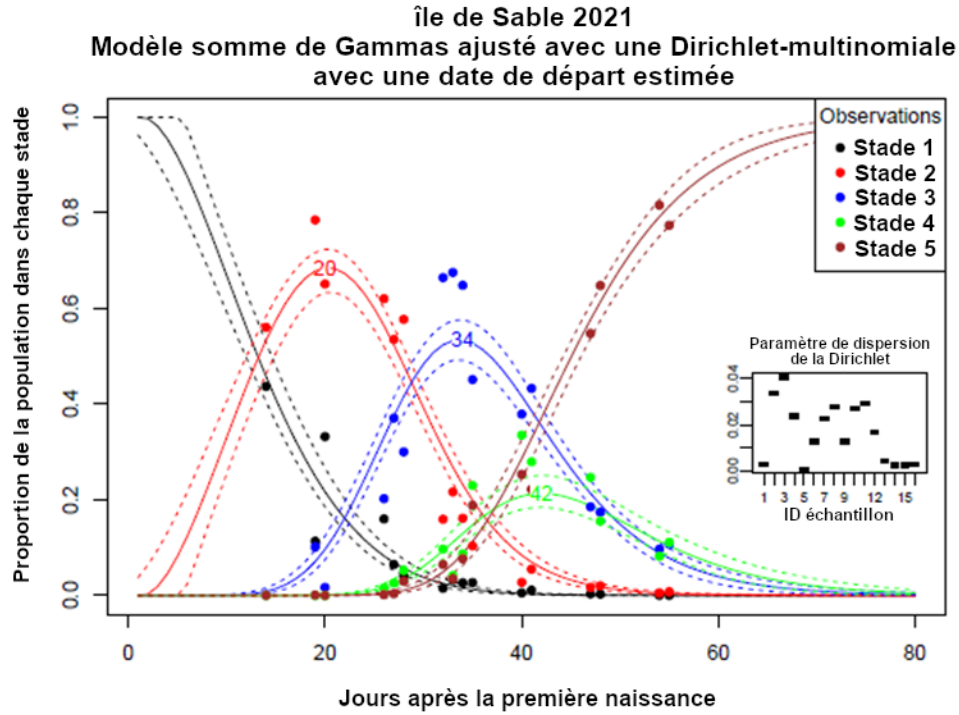


Figure 2a. Résultats du modèle bayésien de stades de développement d'après les données, agrégées par jour, de stades de développement recueillies sur l'île de Sable au cours de l'hiver 2020-2021. Partie 1 sur 2. Le terme « Prior » désigne la distribution a priori de la variable considérée.

Île de Sable 2021 - Courbe de naissance
 Date de départ estimée par le modèle 2020-12-04 (95%ICs 2020-11-30 - 2020-12-08)

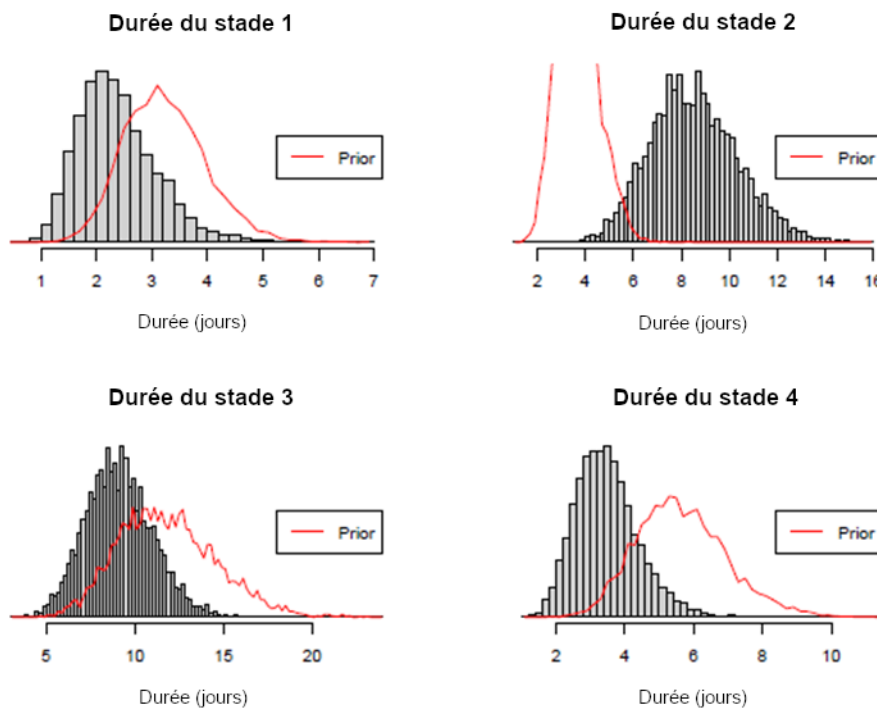
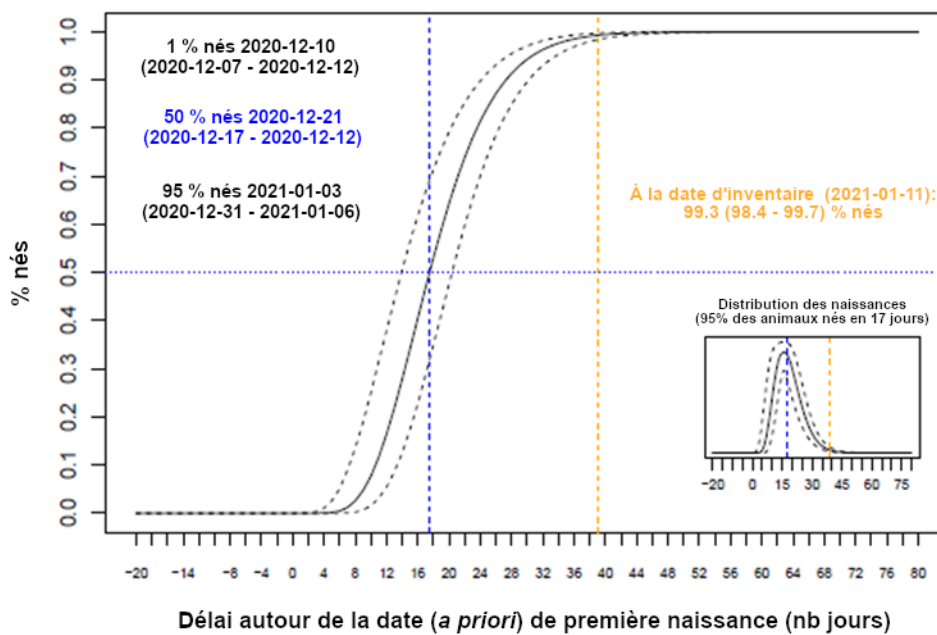


Figure 2b. Résultats du modèle bayésien de stades de développement d'après les données, agrégées par jour, de stades de développement recueillies sur l'île de Sable au cours de l'hiver 2020-2021. Partie 2 sur 2. Le terme « Prior » désigne la distribution a priori de la variable considérée.

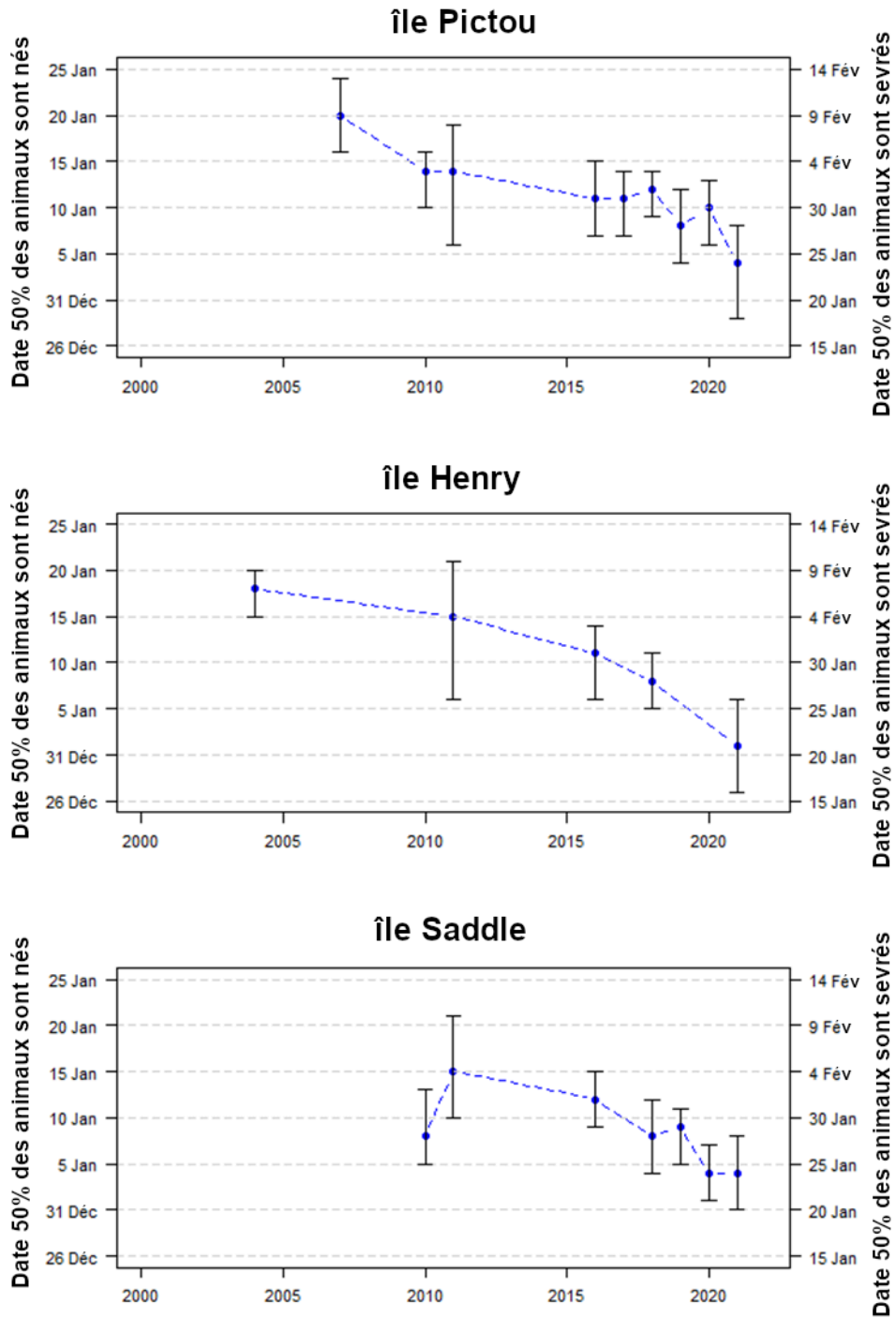


Figure 3a. Dates estimées auxquelles 50 % des chiots étaient nés (axe gauche) et 50 % des chiots étaient sevrés (axe droit) pour trois colonies du golfe du Saint-Laurent (île Pictou, île Saddle et île Henry). Les chiots étaient considérés comme sevrés 20 jours après leur naissance. Les intervalles de crédibilité à 95 % sont également indiqués.

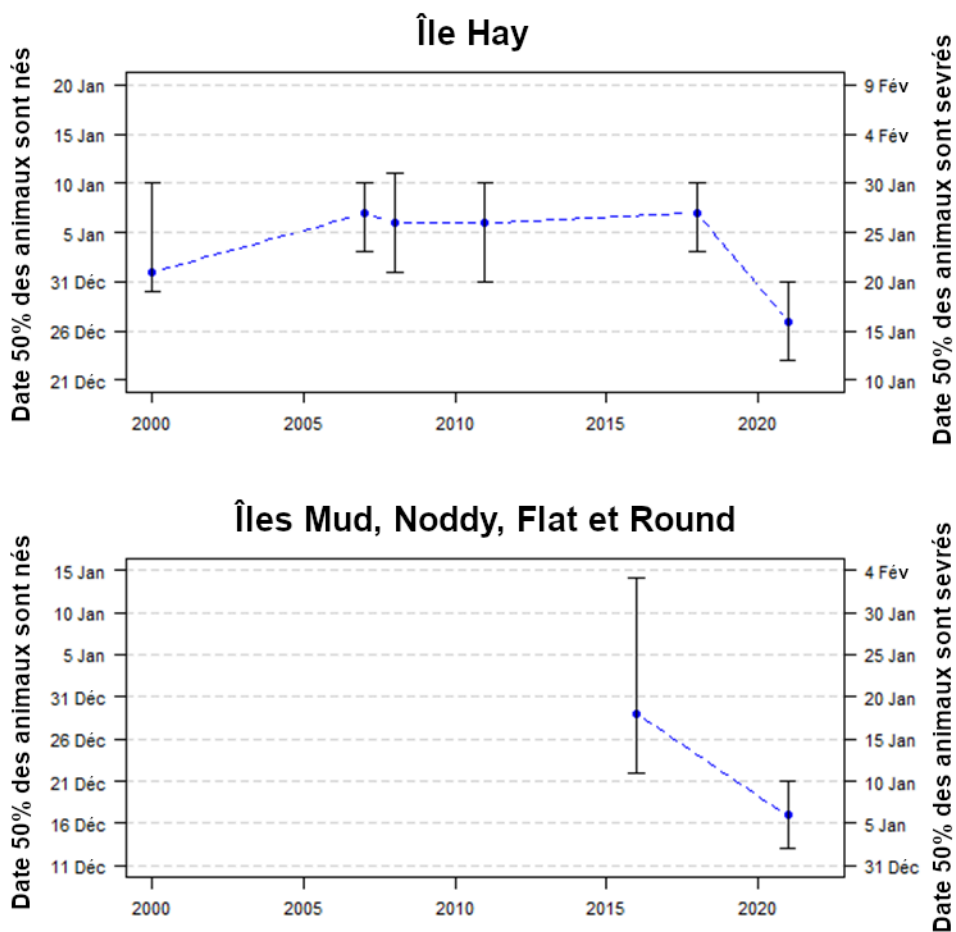


Figure 3b. Dates estimées auxquelles 50 % des chiots étaient nés (axe gauche) et 50 % des chiots étaient sevrés (axe droit) pour les îles du sud de la Nouvelle-Écosse (Mud, Noddy, Flat et Round) et l'île Hay (nord-est de l'île du Cap-Breton). Les chiots étaient considérés comme sevrés 20 jours après leur naissance. Les intervalles de crédibilité à 95 % sont également indiqués.

ANNEXES

Annexe 1. Description des cinq stades de développement du chiot de phoque gris.

Stade 1 : L'animal est très maigre, ses mouvements sont désordonnés et son lanugo (fourrure) a une teinte jaunâtre due aux fluides placentaires.

Stade 2 : L'animal est maigre, son cou est encore défini même s'il commence à y avoir des signes d'engraissement, ses mouvements sont mieux coordonnés et son lanugo n'a plus de teinte jaunâtre.

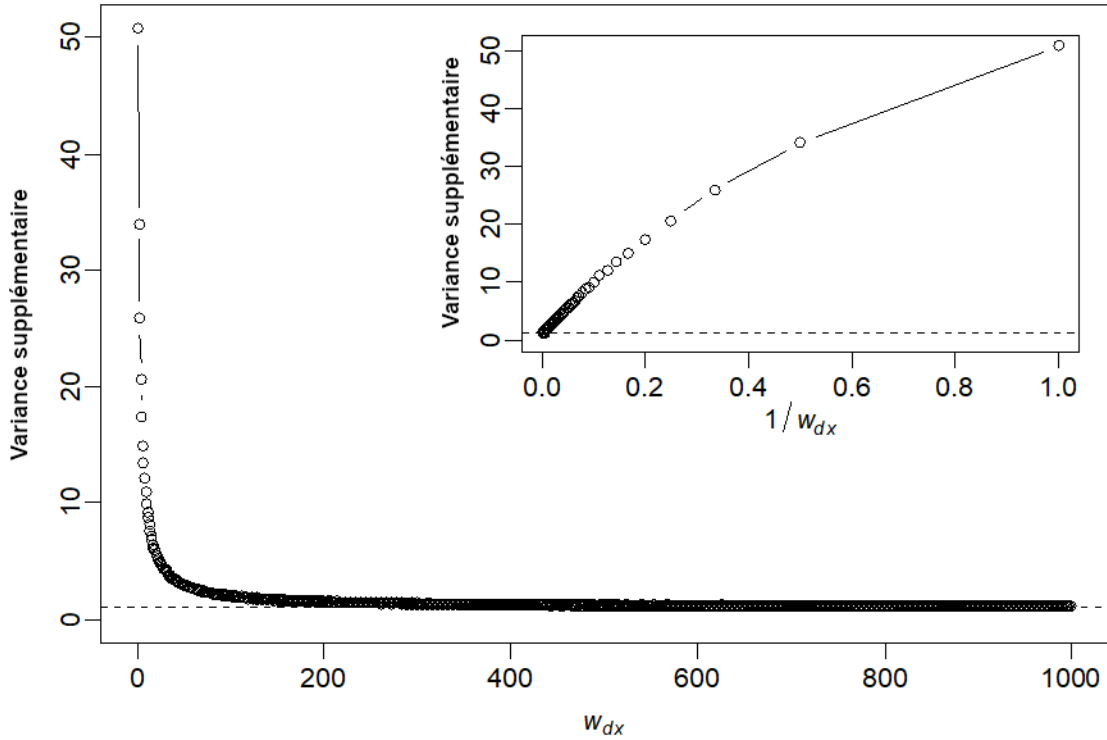
Stade 3 : L'animal a tellement engraisé que l'on ne distingue plus son cou, son lanugo est blanc et il n'y a aucun signe de mue.

Stade 4 : Le lanugo prend une teinte de gris et se détache, en commençant autour de la tête et des pattes. Lorsque la perte de lanugo dépasse approximativement l'équivalent d'une main sur le dos ou qu'elle s'étend au-delà de la tête, l'animal est considéré comme étant au stade 4.

Stade 5 : Stade final; le lanugo est complètement tombé. Les animaux commencent à quitter la colonie à ce stade.

Annexe 2. Estimés de la durée des stades, au moyen de distributions Gamma avec un paramètre de forme commun à tous les stades, à partir des données quotidiennes sur des chiots de l'île de Sable suivis de la naissance au stade 5 en 1997 (n = 47), 2007 (n = 52), 2010 (n = 54), et 2021 (n = 47) ajustées individuellement et combinées.

Année	Stade	Forme	Taux	Moyenne	Écart
2021	1	12,86291	4,341684	3,0	0,7
2021	2	12,86291	2,891907	4,4	1,5
2021	3	12,86291	1,313669	9,8	7,5
2021	4	12,86291	1,115495	11,5	10,3
2010	1	21,48996	7,683241	2,8	0,4
2010	2	21,48996	5,482523	3,9	0,7
2010	3	21,48996	1,64196	13,1	8,0
2010	4	21,48996	4,748541	4,5	1,0
2007	1	25,1543	8,494021	3,0	0,3
2007	2	25,1543	8,267426	3,0	0,4
2007	3	25,1543	2,111281	11,9	5,6
2007	4	25,1543	4,764856	5,3	1,1
1997	1	21,19984	5,4541	3,9	0,7
1997	2	21,19984	5,265707	4,0	0,8
1997	3	21,19984	2,016769	10,5	5,2
1997	4	21,19984	3,00928	7,0	2,3
1997_2010	1	18,77814	5,823208	3,2	0,6
1997_2010	2	18,77814	5,120926	3,7	0,7
1997_2010	3	18,77814	1,592576	11,8	7,4
1997_2010	4	18,77814	3,329191	5,6	1,7
Toutes	1	16,93842	5,35995	3,2	0,6
Toutes	2	16,93842	4,40333	3,8	0,9
Toutes	3	16,93842	1,495801	11,3	7,6
Toutes	4	16,93842	2,631148	6,4	2,4



Annexe 3. Effet de la valeur du paramètre de pondération (w_{dx}) sur la variance supplémentaire obtenue à partir de la distribution de Dirichlet. Les simulations supposent une population de 100 animaux répartis en cinq classes. La variance supplémentaire a été calculée comme le rapport entre la variance obtenue à partir de la distribution de Dirichlet et celle obtenue à partir de la distribution multinomiale. La variance obtenue à partir de la distribution de Dirichlet a été évaluée pour une gamme de valeurs w_{dx} comprises entre 1 et 1 000. Les résultats sont présentés sous forme de variance supplémentaire en fonction de w_{dx} , mais aussi, en médaillon, sous forme de variance supplémentaire par rapport à $1/w_{dx}$ car cette valeur est utilisée dans certains graphiques montrant les résultats du modèle de stades de développement (p. ex., figure 1a). La ligne pointillée représente un ratio de 1 (c'est-à-dire aucune variance supplémentaire).

Annexe 4. Données de stades de développement sur l'île de Sable provenant d'un relevé par transects au sol effectué pendant l'hiver 2021-2022.

Date	Transect	Stade 1	Stade 2	Stade 3	Stade 4	Stade 5	Total
2020-12-17	1	39	55	0	0	0	94
2020-12-17	2	54	56	0	0	0	110
2020-12-17	3	89	83	0	0	0	172
2020-12-17	4	89	62	0	0	0	151
2020-12-17	5	30	71	0	0	0	101
2020-12-17	6	31	62	1	0	0	94
2020-12-17	7	56	53	0	0	0	109
2020-12-17	8	48	80	0	0	0	128
2020-12-17	9	20	35	0	0	0	55
2020-12-17	10	15	44	0	0	0	59
2020-12-17	11	18	25	0	0	0	43
2020-12-17	12	42	19	0	0	0	61
2020-12-17	13	11	11	0	0	0	22
2020-12-17	14	6	47	2	0	0	55
2020-12-22	1	6	163	19	0	0	188
2020-12-22	2	10	145	14	0	0	169
2020-12-22	3	13	175	25	0	0	213
2020-12-22	4	11	140	45	0	0	196
2020-12-22	5	12	120	28	0	0	160
2020-12-22	6	9	123	14	0	0	146
2020-12-22	7	13	178	9	0	0	200
2020-12-22	8	15	136	21	0	0	172
2020-12-22	9	31	69	3	0	0	103
2020-12-22	10	30	77	8	0	0	115
2020-12-22	11	42	77	2	0	0	121
2020-12-22	12	20	66	1	0	1	88
2020-12-23	13	44	78	0	0	0	122
2020-12-23	14	56	118	5	0	0	179
2020-12-29	7	39	161	19	1	0	220
2020-12-29	8	34	105	76	5	1	221
2020-12-29	9	55	133	33	0	0	221
2020-12-29	10	38	154	58	13	1	264
2020-12-29	11	30	146	47	3	0	226
2020-12-29	12	42	153	52	1	0	248
2020-12-29	13	22	161	33	0	0	216
2020-12-29	14	42	159	64	7	1	273
2020-12-30	1	15	105	91	4	1	216
2020-12-30	2	12	135	70	1	0	218
2020-12-30	3	3	107	94	10	0	214
2020-12-30	6	25	109	61	7	2	204
2020-12-31	4	12	151	56	4	9	232
2020-12-31	5	7	122	86	21	5	241
2021-01-04	7	4	30	174	22	12	242
2021-01-04	8	3	44	135	23	18	223
2021-01-05	10	7	36	142	19	19	223
2021-01-05	11	8	54	149	4	3	218
2021-01-05	12	6	47	146	13	9	221
2021-01-05	13	5	61	156	3	0	225

Date	Transect	Stade 1	Stade 2	Stade 3	Stade 4	Stade 5	Total
2021-01-05	14	9	42	156	7	8	222
2021-01-06	1	6	25	123	34	25	213
2021-01-06	2	3	51	116	26	23	219
2021-01-06	5	8	37	175	19	14	253
2021-01-06	6	4	39	163	17	19	242
2021-01-06	9	10	37	183	6	9	245
2021-01-07	3	4	14	99	48	42	207
2021-01-07	4	9	36	119	63	49	276
2021-01-12	1	1	5	54	107	75	242
2021-01-12	2	0	3	90	115	57	265
2021-01-12	5	1	3	102	58	40	204
2021-01-12	6	2	8	124	72	74	280
2021-01-12	7	2	8	96	72	60	238
2021-01-12	8	2	14	103	79	74	272
2021-01-13	3	1	11	61	108	95	276
2021-01-13	4	3	33	60	77	81	254
2021-01-13	9	4	8	130	63	33	238
2021-01-13	10	0	7	104	68	51	230
2021-01-13	11	1	7	164	42	19	233
2021-01-13	12	2	15	84	70	68	239
2021-01-13	13	5	12	151	46	23	237
2021-01-13	14	5	12	75	61	55	208
2021-01-19	6	2	7	37	39	172	257
2021-01-19	7	0	2	38	57	178	275
2021-01-19	8	0	2	45	64	5	116
2021-01-20	1	0	1	38	16	166	221
2021-01-20	2	0	0	24	19	175	218
2021-01-20	3	1	3	33	24	183	244
2021-01-20	4	3	13	48	30	144	238
2021-01-20	5	0	3	28	66	133	230
2021-01-20	9	0	0	24	68	139	231
2021-01-20	10	0	4	36	59	137	236
2021-01-20	11	1	3	53	36	115	208
2021-01-20	12	0	5	40	21	199	265
2021-01-20	13	1	8	64	35	92	200
2021-01-20	14	1	11	53	20	161	246
2021-01-26	1	0	0	11	24	162	197
2021-01-26	2	0	3	13	24	187	227
2021-01-26	3	0	1	35	9	206	251
2021-01-26	4	0	4	33	15	172	224
2021-01-26	5	0	0	22	22	194	238
2021-01-26	6	0	0	14	16	200	230
2021-01-26	7	0	2	35	17	186	240
2021-01-26	8	0	0	14	23	190	227
2021-01-27	9	0	2	15	28	176	221
2021-01-27	10	0	1	25	31	175	232
2021-01-27	11	0	1	23	22	189	235
2021-01-27	12	0	2	14	20	187	223
2021-01-27	13	0	0	31	16	100	147
2021-01-27	14	0	4	28	24	156	212

Annexe 5. Données de stades de développement sur la côte de la Nouvelle-Écosse provenant de relevés aériens effectués pendant l'hiver 2020-2021

Sud-ouest de la Nouvelle-Écosse

Lieu et date du relevé	Stade 1	Stade 2	Stade 3	Stade 4	Stade 5	Total
Île Round 2020-12-20	11	51	7	0	0	69
Île Round 2021-01-09	2	18	123	15	41	199
Île Round 2021-01-13	0	6	31	25	93	155
Île Round 2021-01-27	0	0	2	6	90	98
Île Mud 2020-12-20	20	56	24	0	0	100
Île Mud 2021-01-09	13	27	356	11	29	436
Île Mud 2021-01-13	0	2	46	55	155	258
Île Mud 2021-01-27	0	2	19	16	275	312
Île Mud 2021-01-12	0	15	67	6	0	88
Île Mud 2021-01-19	0	4	41	28	10	83
Île Noddy 2021-01-09	4	27	15	4	13	63
Île Noddy 2021-01-13	0	13	21	15	13	62
Île Noddy 2021-01-27	0	1	1	1	59	62

Est de la Nouvelle-Écosse

Lieu et date du relevé	Stade 1	Stade 2	Stade 3	Stade 4	Stade 5	Total
Île Hay 2021-01-11	2	166	345	22	14	549
Île Hay 2021-01-16	3	138	409	150	112	812
Île Hay 2021-01-22	2	57	408	204	491	1 162
Île Hay 2021-02-09	0	0	35	27	263	325
Île Scatarie 2021-01-13	0	31	31	1	0	63
Île Scatarie 2021-01-16	1	24	35	3	1	64
Île Scatarie 2021-01-22	0	24	58	12	6	100
Île Scatarie 2021-02-09	0	2	11	6	26	45
Île Red 2021-01-13	0	17	18	1	0	36
Île Red 2021-01-16	0	11	40	2	1	54
Île Red 2021-01-22	2	5	45	7	4	63
Échouerie de l'île Bowen 2021-01-16	0	1	1	0	0	2
Île Basque 2021-01-13	0	8	0	0	0	8

Annexe 6. Données de stades de développement dans le golfe du Saint-Laurent provenant de relevés aériens effectués pendant l'hiver 2020-2021.

Centre du golfe

Lieu et date du relevé	Stade 1	Stade 2	Stade 3	Stade 4	Stade 5	Total
Île Brion 2021-01-11	62	415	1 010	83	21	1 591
Île Brion 2021-01-15	30	467	1 249	203	93	2 042
Île Brion 2021-01-18	19	285	1 726	439	473	2 942
Île Brion 2021-01-20	8	151	1 054	345	431	1 989
Île Brion 2021-02-01	7	68	212	245	880	1 412
Île Deadman 2021-01-15	1	17	2	2	1	23

Côte sud du golfe

Lieu et date du relevé	Stade 1	Stade 2	Stade 3	Stade 4	Stade 5	Total
Île Pictou 2021-01-05	43	450	13	1	0	507
Île Pictou 2021-01-12	29	650	232	1	0	912
Île Pictou 2021-01-19	58	681	643	46	14	1 442
Île Pictou 2021-01-21	39	1 314	1 338	141	61	2 893
Île Pictou 2021-01-23	52	393	923	224	68	1 660
Île Pictou 2021-02-01	22	530	821	242	377	1 992
Île Pictou 2021-02-09	1	66	468	184	523	1 242
Île Henry 2021-01-05	22	258	84	0	0	364
Île Henry 2021-01-13	17	379	232	6	1	635
Île Henry 2021-01-20	14	159	490	110	32	805
Île Henry 2021-01-22	1	191	665	148	123	1 128
Île Henry 2021-02-01	4	36	283	181	531	1 035
Île Henry 2021-02-09	0	6	85	34	303	428
Île Saddle 2021-01-05	54	202	2	0	0	258
Île Saddle 2021-01-12	36	453	360	4	0	853
Île Saddle 2021-01-19	42	535	899	54	23	1 553
Île Saddle 2021-01-23	31	318	508	95	58	1 010
Île Saddle 2021-01-29	0	154	818	216	326	1 514
Île Purdy 2021-01-19	4	58	54	3	0	119
Île Margaree 2021-01-13	0	10	2	0	0	12

Annexe 7. Proportion estimée de chiots au stade 6 au moment du relevé aérien sur les principales colonies de phoques gris. Le stade 6 représente les animaux qui ne sont pas disponibles pour être comptés parce qu'ils ont quitté le site et sont entrés dans l'eau ou qu'ils ont quitté la plage de mise bas et se sont déplacés vers une zone où ils ne sont normalement pas détectés depuis les airs (p. ex., une forêt).

Emplacement	Proportion de chiots nés au moment du relevé (%)	Proportion de chiots au stade 6 (%)
Île de Sable	99,3 (98,2 à 99,8)	5,5 (0,8 à 12,9)
Îles Mud, Round, Noddy et Flat	99,1 (97,4 à 100)	11,1 (0 à 63,0)
Île Hay	94,9 (88,4 à 98,0)	1,1 (0,2 à 3,0)
Île Brion	95,5 (92,6 à 97,8)	0,3 (0 à 3,4)
Île Henry	96,7 (93,2 à 99,0)	0,1 (0 à 2,5)
Île Pictou	93,4 (87,6 à 96,9)	0,1 (0 à 1,4)
Île Saddle	96,6 (92,6 à 98,5)	0,1 (0 à 1,9)