



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS)

Document de recherche 2019/061

Région du Pacifique

**Détermination des points de référence possibles et des options de taux de récolte
pour la pêche commerciale de l'oursin rouge (*Mesocentrotus franciscanus*) en
Colombie-Britannique**

Janet Lohead, Zane Zhang et Dan Leus

Station biologique du Pacifique
Pêches et Océans Canada
3190, chemin Hammond Bay
Nanaimo (C.-B.) V9T 6N7

Avant-propos

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

Publié par :

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

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



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

La présente publication doit être citée comme suit :

Lochead, J., Zhang, Z., et Leus, D. 2019. Détermination des points de référence possibles et des options de taux de récolte pour la pêche commerciale de l'oursin rouge (*Mesocentrotus franciscanus*) en Colombie-Britannique. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech. 2019/061. viii + 72 p.

Also available in English :

Lochead, J., Zhang, Z., and Leus, D. 2019. Identification of Provisional Reference Points and Harvest Rate Options for the Commercial Red Sea Urchin (*Mesocentrotus franciscanus*) Fishery in British Columbia. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2019/061. viii + 66 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	ix
1 INTRODUCTION.....	1
2 BIOLOGIE.....	3
3 MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	3
3.1 DONNÉES DES RELEVÉS INDÉPENDANTS DE LA PÊCHE.....	3
3.1.1 Haida Gwaii	4
3.1.2 Côte nord continentale.....	4
3.1.3 Eaux intérieures de la côte sud.....	4
3.2 POINTS DE RÉFÉRENCE.....	5
3.3 MODÈLES STATISTIQUES.....	9
3.3.1 Modèles de croissance	9
3.3.2 Mortalité naturelle	10
3.3.3 Incidence de la densité d'oursin rouge de grande taille sur la densité de recrutement.....	11
3.3.4 Fourchette des diamètres du test de recrutement.....	11
3.3.5 Variations des densités de recrutement	14
3.3.6 Constat de la population actuelle	14
3.3.7 Évaluation des effets des taux de récolte.....	16
3.4 ÉVALUATION DE L'ÉTAT DU STOCK.....	18
4 RÉSULTATS.....	19
4.1 SIMULATIONS DE PROJECTION ET POINTS DE RÉFÉRENCE.....	19
4.2 ÉTAT DU STOCK.....	20
4.3 INCERTITUDES	21
4.3.1 État d'équilibre	21
4.3.2 Variation du recrutement.....	22
4.3.3 Populations observées par rapport aux populations simulées.....	22
4.3.4 Changements climatiques.....	22
4.3.5 Dynamique de la métapopulation.....	23
4.3.6 Effets d'Allee.....	23
4.3.7 Loutres de mer.....	24
5 DISCUSSION.....	24
6 RECOMMANDATIONS	28
7 REMERCIEMENTS.....	29
8 RÉFÉRENCES CITÉES.....	29
9 TABLEAUX	35
10 FIGURES.....	57

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1. Résumé du dénombrement des quadrats et des oursins rouges (n) par région, par secteur ou sous-secteur de gestion des pêches du Pacifique et par année, d'après les relevés en plongée indépendants de la pêche de l'oursin rouge effectués dans les zones de la Colombie-Britannique exploitées commercialement de 1994 à 2016.35
- Tableau 2. Valeurs des paramètres et écarts-types associés pour le modèle de croissance de Tanaka (Tanaka) et le modèle de croissance logistique (logistique), taux de mortalité naturelle pour l'oursin rouge de taille inférieure à la taille légale (DT [DT] < 90 mm) et de taille légale (DT [DT] ≥ 90 mm) sur la côte nord continentale (CN), à Haida Gwaii (HG) et sur les eaux intérieures de la côte sud (CS), valeurs des paramètres et écarts-types associés pour le modèle évaluant les répercussions du recrutement des gros oursins rouges et fourchettes des diamètres du test pour le recrutement calculées selon les modèles de Tanaka et logistique.....39
- Tableau 3. Paramétrage des valeurs des paramètres de recherche par carte quadrillée dans la région de les eaux intérieures de la côte sud pour le modèle utilisé afin de déterminer une fourchette des tailles du recrutement (DT). Les valeurs du taux de mortalité naturelle (M) sont celles des oursins rouges de taille légale, 15 valeurs de M ont été testées. Dix valeurs ont été testées pour chacun des autres paramètres à l'exception du paramètre a, pour lequel seulement cinq valeurs ont été testées. Total de 500 combinaisons de paramètres pour le modèle de croissance de Tanaka et de 1 000 combinaisons de paramètres pour le modèle de croissance logistique.....40
- Tableau 4. Moyennes et écarts-types sur l'échelle logarithmique des distributions des probabilités log-normales pour la modélisation des variations de la densité de recrutement sur la côte nord continentale, à Haida Gwaii et sur les eaux intérieures de la côte sud, avec probabilité (P_0) d'occurrence d'une très faible densité de recrutement (< 0,01 m²) pour les eaux intérieures de la côte sud. Les variations de la densité de recrutement résultant de l'utilisation du modèle de croissance de Tanaka diffèrent de celles découlant de l'utilisation du modèle de croissance logistique pour la même région (voir la figure 4).....40
- Tableau 5. Résumé des densités moyennes estimées de l'oursin rouge (oursin rouge/m²) ± estimation de l'erreur (erreur-type; écart-type), année, emplacement, taille de l'échantillon (TR = transect; Q = quadrat), nombre d'années d'occupation par la loutre de mer, et référence d'après les relevés en plongée effectués à des profondeurs accessibles aux plongeurs (de 0 à 18 m environ) dans des secteurs occupés par la loutre de mer depuis au moins 5 ans.41
- Tableau 6. Densités médianes (nombre par m²) de l'oursin rouge mature (DT ≥ 50 mm) avec les intervalles de confiance à 95 % au cours de chaque 5^e année de simulation pour d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) à Haida Gwaii, selon le modèle de croissance de Tanaka.....44
- Tableau 7. Densités médianes (nombre par m²) de l'oursin rouge mature (DT ≥ 50 mm) avec les intervalles de confiance à 95 % au cours de chaque 5^e année de simulation pour d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) à Haida Gwaii, selon le modèle de croissance logistique.....45
- Tableau 8. Densités médianes (nombre par m²) de l'oursin rouge mature (DT ≥ 50 mm) avec les intervalles de confiance à 95 % au cours de chaque 5^e année de simulation pour d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) sur la côte nord continentale, selon le modèle de croissance de Tanaka.....46
- Tableau 9. Densités médianes (nombre par m²) de l'oursin rouge mature (DT ≥ 50 mm) avec les intervalles de confiance à 95 % au cours de chaque 5^e année de simulation pour d'autres taux

de récolte (de 2 % à 24 %) sur la côte nord continentale, selon le modèle de croissance logistique.....	47
Tableau 10. Densités médianes (nombre par m ²) de l'oursin rouge mature (DT ≥ 50 mm) avec les intervalles de confiance à 95 % au cours de chaque 5 ^e année de simulation pour d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) dans les eaux intérieures de la côte sud, selon le modèle de croissance de Tanaka.....	48
Tableau 11. Densités médianes (nombre par m ²) de l'oursin rouge mature (DT ≥ 50 mm) avec les intervalles de confiance à 95 % au cours de chaque 5 ^e année de simulation pour d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) dans les eaux intérieures de la côte sud, selon le modèle de croissance logistique.....	49
Tableau 12. Probabilités que les densités d'oursin rouge mature (DT ≥ 50 mm) soient inférieures au point de référence limite au cours de chaque 5 ^e année de simulation à d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) pour Haida Gwaii, selon le modèle de croissance de Tanaka.	50
Tableau 13. Probabilités que les densités d'oursin rouge mature (DT ≥ 50 mm) soient inférieures au point de référence limite au cours de chaque 5 ^e année de simulation à d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) pour Haida Gwaii, selon le modèle de croissance logistique....	50
Tableau 14. Probabilités que les densités d'oursin rouge mature (DT ≥ 50 mm) soient inférieures au point de référence limite au cours de chaque 5 ^e année de simulation à d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) pour la côte nord continentale, selon le modèle de croissance de Tanaka.....	51
Tableau 15. Probabilités que les densités d'oursin rouge mature (DT ≥ 50 mm) soient inférieures au point de référence limite au cours de chaque 5 ^e année de simulation à d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) pour côte nord continentale, selon le modèle de croissance logistique.....	51
Tableau 16. Probabilités que les densités d'oursin rouge mature (DT ≥ 50 mm) soient inférieures au point de référence limite au cours de chaque 5 ^e année de simulation à d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) pour les eaux intérieures de la côte sud, selon le modèle de croissance de Tanaka.....	52
Tableau 17. Probabilités que les densités d'oursin rouge mature (DT ≥ 50 mm) soient inférieures au point de référence limite au cours de chaque 5 ^e année de simulation à d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) pour les eaux intérieures de la côte sud, selon le modèle de croissance logistique.....	52
Tableau 18. Probabilités que les densités d'oursin rouge mature (DT ≥ 50 mm) soient inférieures au point de référence supérieur du stock au cours de chaque 5 ^e année de simulation à d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) pour Haida Gwaii, selon le modèle de croissance de Tanaka.....	53
Tableau 19. Probabilités que les densités d'oursin rouge mature (DT ≥ 50 mm) soient inférieures au point de référence supérieur du stock au cours de chaque 5 ^e année de simulation à d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) pour Haida Gwaii, selon le modèle de croissance logistique.....	53
Tableau 20. Probabilités que les densités d'oursin rouge mature (DT ≥ 50 mm) soient inférieures au point de référence supérieur du stock au cours de chaque 5 ^e année de simulation à d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) pour la côte nord continentale, selon le modèle de croissance de Tanaka.....	54

Tableau 21. Probabilités que les densités d'oursin rouge mature ($DT \geq 50$ mm) soient inférieures au point de référence supérieur du stock au cours de chaque 5 ^e année de simulation à d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) pour la côte nord continentale, selon le modèle de croissance logistique.....	54
Tableau 22. Probabilités que les densités d'oursin rouge mature ($DT \geq 50$ mm) soient inférieures au point de référence supérieur du stock au cours de chaque 5 ^e année de simulation à d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) pour les eaux intérieures de la côte sud, selon le modèle de croissance de Tanaka.....	55
Tableau 23. Probabilités que les densités d'oursin rouge mature ($DT \geq 50$ mm) soient inférieures au point de référence supérieur du stock au cours de chaque 5 ^e année de simulation à d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) pour les eaux intérieures de la côte sud, selon le modèle de croissance logistique.	55
Tableau 24. Tableau récapitulatif des probabilités que les densités d'oursin rouge mature ($DT \geq 50$ mm) dépassent le point de référence supérieur du stock (PRS) et le point de référence limite (PRL) après la 100 ^e année de simulation à d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) pour Haida Gwaii, la côte nord continentale et les eaux intérieures de la côte sud, selon les modèles de croissance de Tanaka et logistique.	56

LISTE DES FIGURES

- Figure 1. Carte de la Colombie-Britannique, l'ombrage vert indiquant l'emplacement des sous-secteurs de gestion des pêches du Pacifique où des relevés en plongée indépendants de la pêche de l'oursin rouge ont été effectués de 1994 à 2016. La région de Haida Gwaii est indiquée en bleu, la région de la côte nord continentale en orange et les eaux intérieures de la côte sud en rose.57
- Figure 2. Modèles de croissance de Tanaka et logistique pour la baie Alert, qui permettent de prédire l'augmentation annuelle du DT ou le DT d'un oursin rouge d'après son diamètre de test de l'année précédente.....58
- Figure 3. Comparaison du nombre généré par un modèle (points rouges) et du nombre observé (cercles noirs) d'oursins rouges à divers intervalles du diamètre de test pour côte nord continentale, Haida Gwaii et les eaux intérieures de la côte sud. Le modèle utilisé est soit le modèle de croissance de Tanaka (Tanaka), soit le modèle de croissance logistique (logistique), avec un taux de récolte fixe de 0,02 pour les oursins rouges dont le DT est compris entre 90 et 140 mm. Les valeurs des paramètres de croissance sont ajustées pour les eaux intérieures de la côte sud (voir le texte pour obtenir une explication détaillée).....59
- Figure 4. Ajustement des distributions des probabilités log-normales (lignes rouges) aux densités de recrutement sur la côte nord continentale, à Haida Gwaii et sur les eaux intérieures de la côte sud. Les densités de recrutement désignent les densités d'oursin rouge dont le DT se situe dans les fourchettes des diamètres du test de recrutement déterminées à l'aide du modèle de croissance de Tanaka (Tanaka) ou du modèle de croissance logistique (logistique). La distribution des probabilités log-normales n'est ajustée qu'aux densités de recrutement supérieures à 0,01 m⁻² pour les eaux intérieures de la côte sud, lorsque la fourchette des diamètres du test de recrutement a été déterminée selon le modèle de croissance de Tanaka.60
- Figure 5. Densités spatiales médianes de l'oursin rouge mature (oursin rouge/m² : lignes noires) avec les intervalles de confiance à 95 % (lignes bleues) pour d'autres taux de récolte (E) au cours des années de simulation pour Haida Gwaii, selon le modèle de croissance de Tanaka. Les lignes rouges pointillées et pleines indiquent respectivement le point de référence supérieur du stock et le point de référence limite (suite à la page suivante).....61
- Figure 6. Densités spatiales médianes de l'oursin rouge mature (oursin rouge/m² : lignes noires) avec les intervalles de confiance à 95 % (lignes bleues) pour d'autres taux de récolte (E) au cours des années de simulation pour Haida Gwaii, selon le modèle de croissance logistique. Les lignes rouges pointillées et pleines indiquent respectivement le point de référence supérieur du stock et le point de référence limite (suite à la page suivante).....63
- Figure 7. Densités spatiales médianes de l'oursin rouge mature (oursin rouge/m² : lignes noires) avec les intervalles de confiance à 95 % (lignes bleues) pour d'autres taux de récolte (E) au cours des années de simulation pour côte nord continentale, selon le modèle de croissance de Tanaka. Les lignes rouges pointillées et pleines indiquent respectivement le point de référence supérieur du stock et le point de référence limite (suite à la page suivante).65
- Figure 8. Densités spatiales médianes de l'oursin rouge mature (oursin rouge/m² : lignes noires) avec les intervalles de confiance à 95 % (lignes bleues) pour d'autres taux de récolte (E) au cours des années de simulation pour côte nord continentale, selon le modèle de croissance logistique. Les lignes rouges pointillées et pleines indiquent respectivement le point de référence supérieur du stock et le point de référence limite (suite à la page suivante).67

Figure 9. Densités spatiales médianes de l'oursin rouge mature (oursin rouge/m² : lignes noires) avec les intervalles de confiance à 95 % (lignes bleues) pour d'autres taux de récolte (E) au cours des années de simulation pour les eaux intérieures de la côte sud, selon le modèle de croissance de Tanaka. Les lignes rouges pointillées et pleines indiquent respectivement le point de référence supérieur du stock et le point de référence limite (suite à la page suivante).69

Figure 10. Densités spatiales médianes de l'oursin rouge mature (oursin rouge/m² : lignes noires) avec les intervalles de confiance à 95 % (lignes bleues) pour d'autres taux de récolte (E) au cours des années de simulation pour les eaux intérieures de la côte sud, selon le modèle de croissance logistique. Les lignes rouges pointillées et pleines indiquent respectivement le point de référence supérieur du stock et le point de référence limite (suite à la page suivante).71

RÉSUMÉ

Des modèles de population fondés sur la longueur et des simulations de projection ont été utilisés pour étudier les effets de divers autres taux de récolte sur les populations d'oursins rouges (*Mesocentrotus franciscanus*) de la Colombie-Britannique (C.-B.). Ces modèles étaient fondés sur une importante accumulation de données d'études indépendantes de la pêche et sur des estimations publiées de la croissance, de la mortalité naturelle et de la protection des juvéniles par le couvert formé par les épines des oursins rouges adultes (Zhang *et al.* 2008, 2011). Les données ont été analysées et les résultats ont été présentés pour les régions suivantes de la côte : Haida Gwaii (secteurs de gestion des pêches du Pacifique [SGPP] 1, 2, 101 et 102), la côte nord continentale (SGPP 3 à 10 et 103 à 110) et les eaux intérieures de la côte sud entre l'île de Vancouver et le continent (SGPP 11 à 20, 28, 29 et 111).

Afin d'évaluer l'incidence des différents taux de récolte, le concept de dommage sérieux a été pris en compte pour déterminer un point de référence limite (PRL) provisoire et un point de référence supérieur (PRS) du stock. Il n'existait pas encore de points de référence pour la pêche commerciale de l'oursin rouge en Colombie-Britannique, et ces travaux mettent cette pêche en conformité avec le Cadre pour la pêche durable et le [Cadre décisionnel pour les pêches intégrant l'approche de précaution](#) du MPO (Approche de précaution du MPO) [MPO 2009].

On suggère d'adopter une approche empirique pour déterminer des points de référence fondés sur les estimations de la densité historique à partir des zones où la loutre de mer (*Enhydra lutris*) est établie depuis au moins cinq ans. Notre compilation des densités historiques a révélé des densités moyennes d'oursins rouges qui variaient de 0 à 4,01 oursins rouges/m², avec une moyenne de 0,48 ± 0,20 (erreur-type) et une médiane de 0,06 (tableau 5) [Burt *et al.* 2018; Watson et Estes 2011; Kvitek *et al.* 1989; Pearse et Hines 1987; Lowry et Pearse 1973; Faro 1970; Ebert 1968]. À partir de cette fourchette, nous affirmons que l'estimation de 0,3 oursin rouge/m² de Watson et Estes (2011) est un PRL raisonnable. Cette valeur a été déterminée comme étant le PRL parce qu'elle provenait de la Colombie-Britannique, dans une région où la loutre de mer était établie depuis au moins 30 ans, que c'était la plus longue série chronologique de données sur la densité de l'oursin rouge dans les secteurs occupés par la loutre de mer (19 ans) et qu'il s'agissait de la valeur la plus haute des données de Watson et Estes (2011). Reconnaissant que les événements de recrutement peuvent faire considérablement varier le nombre de petits oursins rouges observés pendant les relevés, nous proposons que le seuil de densité de 0,3 oursin rouge/m² ne s'applique qu'aux oursins rouges matures (diamètre du test [DT] ≥ 50 mm), et non aux oursins rouges de toutes tailles. Par conséquent, nous suggérons que le PRL est dépassé lorsque la médiane de la distribution d'échantillonnage d'autoamorçage de la densité spatiale moyenne, dans l'habitat de l'oursin, est inférieure à 0,3 oursin rouge mature (diamètre du test ≥ 50 mm)/m² et que le point de référence supérieur (PRS) est dépassé lorsque la médiane de la distribution d'échantillonnage d'autoamorçage de la densité spatiale moyenne, dans l'habitat de l'oursin, est inférieure à 0,6 oursin rouge mature/m².

Des tableaux de décision indiquant la probabilité estimée de dépassement du PRL et du PRS pour divers taux de récolte sont fournis (tableaux 12 à 23). L'état des stocks a été évalué comme étant supérieur au PRS, tant à l'échelle régionale qu'à l'échelle de la côte. Les médianes de la distribution d'échantillonnage d'autoamorçage de la densité moyenne d'oursin rouge mature, dans tous les quadrats déterminés comme un habitat de l'oursin rouge, étaient les suivantes : 2,51 oursins rouges/m² (IC à 95 % : 2,11-3,25) pour Haida Gwaii, 1,70 oursin rouge/m² (IC à 95 % : 1,57-1,95) pour la côte nord continentale, 0,89 oursin rouge/m² (IC 95 % : 0,81-1,06) pour les eaux intérieures de la côte sud et 1,44 oursin rouge/m² (IC à 95 % : 1,37-1,61) pour les trois régions combinées.

1 INTRODUCTION

La pêche commerciale en plongée de l'oursin rouge (*Mesocentrotus franciscanus*¹) en Colombie-Britannique (C.-B.) a débuté sur la côte sud en 1971 et s'est étendue à la côte nord en 1984. Au cours de la saison de pêche de 2016-2017, la pêche a débarqué 3 256 t d'une valeur totale au débarquement de 7,2 millions de dollars canadiens. La gestion de la pêche comprend un total annuel autorisé des captures, des quotas par secteur, une limitation des permis (110 permis) et des quotas individuels. Les exigences des permis de la pêche commerciale en Colombie-Britannique comprennent un diamètre du test (DT) exploitable minimal de 90 mm et, malgré l'absence de limite de taille supérieure, la pression du marché a conduit à une taille visée par la pêche commerciale correspondant à un diamètre du test variant de 90 à 140 mm (Campbell *et al.* 2001). Nous parlons ici de « biomasse exploitable », c'est-à-dire de la biomasse de l'oursin rouge dont le diamètre du test est compris entre 90 et 140 mm.

Un taux de récolte annuel de 2 %, appliqué à la biomasse exploitable actuelle estimée, est utilisé pour la majeure partie de la côte de la Colombie-Britannique depuis l'adoption du système de quotas individuels en 1994 (Leus *et al.* 2014, Campbell *et al.* 2001, 1999a, 1999b). Le taux de récolte de 2 % a été calculé à l'aide d'un modèle de production excédentaire modifié de Gulland (Gulland 1971), qui est un modèle destiné à être utilisé aux premiers stades de la récolte d'un stock. Le modèle de Gulland (1971) estime un rendement maximal soutenu (RMS), en supposant qu'il y a un RMS lorsque le taux de mortalité maximal par pêche durable correspond à M :

$$\text{RMS} = X * M * B_0$$

Où :

X = facteur de correction arbitraire = 0,5

M = taux de mortalité naturelle instantanée

B₀ = biomasse vierge

Le modèle a été modifié de la façon suivante pour la pêche de l'oursin rouge en Colombie-Britannique. Le modèle de Gulland (1971) applique un facteur de correction de 0,5. Cependant, en ce qui concerne la pêche de l'oursin rouge en Colombie-Britannique, le facteur de correction a été abaissé à 0,2 par mesure de prudence (Campbell *et al.* 1999a, Garcia *et al.* 1989) et B_c a été utilisée comme variable de remplacement pour B₀ (Leus *et al.* 2014, Campbell *et al.* 2001, 1999a, 1999b).

$$\text{RMS} = X * M * B_c$$

Où :

X = facteur de correction arbitraire = 0,2

M = taux de mortalité naturelle instantanée = 0,10

B_c = biomasse exploitable actuelle

¹Anciennement connu sous le nom de *Strongylocentrotus franciscanus* (Tatarenko et Poltarau 1993)

La biomasse exploitable actuelle de l'oursin rouge (B_c) par secteur et sous-secteur de gestion des pêches du Pacifique est estimée comme étant le produit des estimations de 1) la densité linéaire en kilogrammes d'oursin rouge (diamètre du test compris entre 90 et 140 mm) par mètre de rivage d'après les relevés indépendants de la pêche; et de 2) la longueur du rivage de l'habitat de l'oursin rouge mesurée à l'aide des cartes du Service hydrographique du Canada (SHC) de la laisse des hautes eaux (Leus *et al.* 2014).

L'accumulation d'une grande quantité de données biologiques sur l'oursin rouge en Colombie-Britannique justifie la réévaluation de l'incidence du taux de récolte actuel de 2 % tiré du modèle modifié de Gulland. Le modèle modifié de Gulland suppose que la pêche de l'oursin rouge en est aux premiers stades de la récolte. Ce n'est toutefois plus le cas. La pêche commerciale est pratiquée depuis 48 ans et des relevés en plongée indépendants de la pêche sont effectués depuis 1994 afin d'estimer la densité de l'oursin rouge et la fréquence des tailles. Certains paramètres biologiques, comme les taux de croissance et de mortalité naturelle, ont été estimés à l'aide de données indépendantes de la pêche en Colombie-Britannique (Zhang *et al.* 2008). Le couvert formé par les épines de l'oursin rouge adulte peut offrir une protection aux juvéniles et contribuer à l'augmentation des taux de survie de ces derniers grâce à la protection contre les courants forts et les prédateurs (Nishizaki et Ackerman 2007). Les probabilités des associations d'oursins rouges juvéniles-adultes par rapport à la taille (diamètre de test) et à la densité de l'oursin rouge ont également été estimées à l'aide de données indépendantes de la pêche en Colombie-Britannique (Zhang *et al.* 2011). Tous ces renseignements peuvent être utiles pour élaborer un nouveau modèle plus sophistiqué.

La Direction de la gestion des pêches et de l'aquaculture de Pêches et Océans Canada (MPO) a demandé conseil à la Direction des sciences du MPO sur les sujets suivants :

1. Élaborer un nouveau modèle qui simulera la réaction des populations d'oursins rouges de la Colombie-Britannique à divers taux de récolte pour les régions suivantes de la côte : Haida Gwaii (secteurs de gestion des pêches du Pacifique [SGPP] 1, 2, 101 et 102), la côte nord continentale (SGPP 3 à 10 et 103 à 110) et les eaux intérieures de la côte sud entre l'île de Vancouver et le continent (SGPP 11 à 20, 28, 29 et 111);
2. Recommander un point de référence limite (PRL) provisoire et un point de référence supérieur du stock (PRS) selon l'approche de précaution du MPO pour la pêche de l'oursin rouge;
3. Fournir des tableaux de décision indiquant la probabilité estimée de dépassement des PRL et des PRS pour divers taux de récolte, pour les régions suivantes de la côte : Haida Gwaii (SGPP 1, 2, 101 et 102), la côte nord continentale (SGPP 3 à 10 et 103 à 110) et les eaux intérieures de la côte sud entre l'île de Vancouver et le continent (SGPP 11 à 20, 28, 29 et 111);
4. Dans la mesure du possible, évaluer l'état actuel des populations d'oursins rouges par rapport aux points de référence provisoires pour les régions suivantes de la côte : Haida Gwaii (SGPP 1 et 2, 101 et 102), la côte nord continentale (SGPP 3 à 10 et 103 à 110) et les eaux intérieures de la côte sud entre l'île de Vancouver et le continent (SGPP 11 à 20, 28, 29 et 111);
5. Relever et examiner les incertitudes dans les données et les méthodes.

Le présent document utilise des paramètres de l'oursin rouge publiés précédemment (Zhang *et al.* 2011, 2008), des données indépendantes de la pêche sur l'oursin rouge de la Colombie-Britannique, ainsi qu'une nouvelle approche de modélisation par simulation basée sur la longueur pour fournir des conseils sur l'application de divers taux de récolte possibles pour la pêche commerciale de l'oursin rouge dans les régions demandées. En outre, pour évaluer

l'incidence des divers taux de récolte, le concept de dommage sérieux est pris en compte afin de déterminer un PRL provisoire et un PRS. Il n'existait pas encore de points de référence pour la pêche commerciale de l'oursin rouge en Colombie-Britannique, et ces travaux mettent cette pêche en conformité avec le Cadre pour la pêche durable et le [Cadre décisionnel pour les pêches intégrant l'approche de précaution](#) du MPO (Approche de précaution du MPO) [MPO 2009]. Enfin, dans la mesure du possible, l'état de l'oursin rouge a été évalué par rapport aux points de référence provisoires.

2 BIOLOGIE

Les oursins rouges sont des échinides épineux et sphériques à coque dure qui vivent principalement sur le benthos marin à substrat dur à une profondeur de 0 à 284 m (Aaron Galloway, professeur adjoint, Université d'Oregon, Oregon Institute of Marine Biology 2018, comm. pers.). Les oursins rouges sont présents la côte ouest de l'Amérique du Nord et plus au sud, jusqu'à la pointe de la Basse-Californie (y compris le golfe de Californie), vers le nord jusqu'aux îles Aléoutiennes, en Alaska, et le long de la côte asiatique, plus au sud, jusqu'à la pointe sud de l'île d'Hokkaido, au Japon (MPO 2018a, Campbell et Harbo 1992). Les oursins rouges ont des sexes distincts et commencent à se reproduire à un DT de 50 mm environ (Bernard et Miller 1973), soit vers l'âge de 3 à 5 ans. La fécondation par expulsion des gamètes dans la colonne d'eau a généralement lieu en mai et en juin (Kramer et Nordin 1975), et les larves planctoniques se fixent au bout de six à huit semaines. En l'absence de la loutre de mer (*Enhydra lutris*), espèce clé et principal prédateur de l'oursin, la mortalité naturelle (M) de l'oursin rouge en Colombie-Britannique est relativement faible, allant généralement de 0,08 y⁻¹ à 0,12 y⁻¹ (Zhang *et al.* 2008). Alors que l'on pensait au départ que la durée de vie de l'oursin rouge, déterminée à 7 à 10 ans, était relativement courte (Sloan 1986), Ebert et Southon (2003) ont montré que les plus grands oursins rouges, présentant un DT de 180 mm ou plus, pouvaient dépasser l'âge de 100 ans.

3 MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1 DONNÉES DES RELEVÉS INDÉPENDANTS DE LA PÊCHE

Ces analyses ont utilisé des données tirées des relevés en plongée indépendants de la pêche effectués dans des zones de la Colombie-Britannique exploitées commercialement de 1994 à 2016 (tableau 1, figure 1). Bien que des relevés indépendants de la pêche de l'oursin rouge soient effectués en Colombie-Britannique depuis les années 1970 (Jamieson *et al.* 1998a-d, Jamieson et Schwarz 1998, Breen *et al.* 1978, 1976), les données recueillies avant 1994 n'ont pas été incluses dans ces analyses, car elles n'utilisaient pas le protocole normalisé (Bureau *et al.* 2000a, 2000b, 2000c, 2000d) employé depuis 1994 et, par conséquent, elles n'étaient pas comparables. Les relevés indépendants de la pêche de l'oursin rouge ont été conçus de manière à fournir des données qui permettent d'estimer la densité et la biomasse selon le sous-secteur de gestion des pêches du Pacifique, en vue de créer des options de quotas pour les gestionnaires des pêches. Chaque année, des relevés ont été effectués dans différents sous-secteurs de gestion des pêches du Pacifique et ils offrent un aperçu annuel de l'abondance et de la taille des oursins rouges dans une petite zone de la côte. Les données dans les quadrats ont été utilisées et les diamètres du test de divers sous-secteurs de gestion des pêches du Pacifique ayant fait l'objet de relevés au cours de différentes années ont été regroupés par région. Pour obtenir une description des régions et des SGPP, et pour connaître les années concernées et le nombre de quadrats utilisés, veuillez vous reporter aux prochaines sections (sections 3.1.1, 3.1.2 et 3.1.3).

Le protocole standard de relevé en plongée de l'oursin rouge mis en œuvre en 1994 a été suivi pour tous les relevés. Le protocole fait appel à un plan de relevé aléatoire systématique qui place systématiquement des transects à chaque kilomètre le long du littoral dans un sous-secteur de gestion des pêches du Pacifique, avec un point de départ aléatoire, ou qui place chaque transect à un point aléatoire le long du littoral pour chaque un à deux kilomètres de littoral. Les transects ont été placés perpendiculairement au rivage depuis les eaux peu profondes jusqu'à une profondeur de 15 m (50 pieds) environ (profondeur par rapport au zéro des cartes plus hauteur des marées) avec une ligne de sonde. La longueur du transect dépendait donc de la pente à marée haute. Deux plongeurs sont descendus jusqu'au début du transect à une profondeur de 15 m dans un quadrat de 1 m², avec un pied à coulisse et une planchette à pince comprenant des fiches techniques plastifiées aux fins de consignation. En raison des limites de temps associées à la plongée sous-marine, un quadrat sur deux a généralement été échantillonné. Le DT (diamètre, ou largeur, du test, à l'exclusion des épines) en millimètre de tous les oursins rouges et la longueur de la coquille (longueur de l'axe le plus long) en millimètre de tous les ormeaux nordiques (*Haliotis kamtschatkana*) présents dans les quadrats échantillonnés ont été consignés. Dans certains quadrats échantillonnés où l'abondance de l'oursin rouge était élevée, les contraintes de temps associées à la plongée sous-marine faisaient en sorte que les oursins étaient dénombrés, et non mesurés. Les probabilités de fréquence des tailles des oursins rouges dénombrés ont été interpolées à partir des quadrats adjacents (Lochead *et al.* 2015).

Les caractéristiques générales de l'habitat ont également été consignées, notamment la profondeur, le type de substrat, l'exposition, et le type et le pourcentage du couvert d'algues. La profondeur mesurée a été corrigée par rapport au niveau de référence des cartes pour chaque quadrat en soustrayant la hauteur de la marée. Le premier, le deuxième et le troisième type de substrat le plus abondant dans chaque quadrat ont été consignés comme appartenant à l'un des 12 codes : 0 = bois; 1 = substrat rocheux lisse; 2 = substrat rocheux avec crevasses; 3 = grosses pierres (plus grosses qu'un ballon de basketball); 4 = galets (entre 7,5 cm et la taille d'un ballon de basketball); 5 = gravier (entre 2 cm et 7,5 cm); 6 = gravier fin (entre 0,25 cm et 2 cm); 7 = sable; 8 = coquilles; 9 = boue; 10 = coquilles écrasées et 11 = coquilles entières. Les détails de l'habitat sont importants pour définir l'habitat de l'oursin rouge et déterminer les caractéristiques associées à l'absence d'oursins, par exemple le substrat de sable ou de boue ou une exposition très abritée.

3.1.1 Haida Gwaii

La région de Haida Gwaii est définie comme les SGPP 1, 2, 101 et 102. Des relevés ont été effectués en 1994, 1995, 2010, 2014 et 2015 dans 23 sous-secteurs de gestion des pêches du Pacifique de Haida Gwaii. Au total, 17 349 quadrats ont été échantillonnés et 18 174 mesures du DT ont été prises sur les 44 778 oursins rouges consignés. (Tableau 1, figure 1).

3.1.2 Côte nord continentale

La région de la côte nord continentale est définie comme les SGPP 3 à 10 et 103 à 110. Des relevés ont été effectués sur 13 ans, de 1994 à 2016, dans 34 sous-secteurs de gestion des pêches du Pacifique de la côte nord continentale, mais aucun relevé n'a été effectué dans le SGPP 10. Au total, 38 284 quadrats ont été échantillonnés et 39 411 mesures du DT ont été prises sur les 80 364 oursins rouges consignés. (Tableau 1, figure 1).

3.1.3 Eaux intérieures de la côte sud

La région des eaux intérieures de la côte sud, entre l'île de Vancouver et le continent, est définie comme les SGPP 11 à 20, 28, 29 et 111. Des relevés ont été effectués en 17 ans,

de 1994 à 2016, dans 65 sous-secteurs de gestion des pêches du Pacifique des eaux intérieures de la côte sud et aucun relevé n'a été exécuté dans les SGPP 15, 16 ou 28. Au total, 56 614 quadrats ont été échantillonnés et 38 799 mesures du DT ont été prises sur les 51 149 oursins rouges consignés. (Tableau 1, figure 1).

3.2 POINTS DE RÉFÉRENCE

Les éléments minimaux de la stratégie de pêche de l'approche de précaution (AP) du MPO comprennent l'établissement de trois zones de stock délimitées par un PRL et un PRS (MPO 2009). Il n'est pas si facile d'estimer les points de référence fondés sur les modèles traditionnels grâce à la B_{RMS} (biomasse qui produit un rendement maximal soutenu) ou sur la F_{RMS} (mortalité par pêche qui produit un rendement maximal soutenu) pour les invertébrés benthiques qui se reproduisent en expulsant leurs gamètes dans la colonne d'eau. La structure spatiale de la population d'oursin rouge est complexe et il n'existe pas de relation stock-recrutement connue. Le succès reproducteur pourrait dépendre de nombreux facteurs tels que la fécondité des femelles, la synchronisation du frai, les patrons spatiaux de distribution selon l'âge ou la taille, la relation entre la densité de géniteurs et l'efficacité de fertilisation, et la relation entre le succès de l'établissement benthique et la qualité de l'habitat (Smith *et al.* 2012). La longue période qui s'écoule entre le frai et l'observation des recrues permet que l'abondance d'une classe d'âge soit considérablement réduite par l'effet cumulatif de facteurs environnementaux affectant sa survie (Smith *et al.* 2012). De plus, en raison de la longue phase larvaire pélagique de l'oursin rouge, les larves peuvent être transportées sur de longues distances, de sorte que le succès du frai dans un autre secteur peut avoir une incidence sur le succès du recrutement dans un autre secteur. Faute de modèles appropriés pour tenir compte de toute cette complexité, on a souvent eu recours à l'utilisation de méthodes empiriques pour déterminer les types des points de référence définis par la politique du MPO sur l'approche de précaution (Smith *et al.* 2012).

L'approche de précaution du MPO propose diverses façons d'utiliser les estimations de la biomasse, les estimations de relevés ou d'autres indicateurs lorsque les estimations fondées sur un modèle ne sont pas disponibles. La plupart des pêches canadiennes d'invertébrés qui ont défini ou proposé des points de référence utilisent un indicateur de la biomasse (Smith *et al.* 2012). Nous suggérons ici une approche empirique pour établir les points de référence, fondée sur des estimations de la densité historique. La justification est fournie ci-après.

Dans le Cadre décisionnel pour les pêches du MPO intégrant l'approche de précaution (MPO 2009), le PRL est défini comme étant l'état du stock en deçà duquel des dommages graves sont causés au stock. Le PRL repose donc sur des données biologiques. D'après ce qui est mentionné dans le cadre, lorsque le niveau du stock est inférieur au PRL, il peut également y avoir des répercussions sur l'écosystème et sur les espèces associées, ainsi qu'une diminution à long terme des possibilités de pêche. Il est difficile de définir un PRL pour le stock d'oursins rouges en Colombie-Britannique, parce que l'on pense que l'abondance actuelle des oursins rouges est gonflée de façon non naturelle. Par le passé, les populations d'oursin rouge étaient limitées par la prédation de la loutre de mer (*Enhydra lutris*). L'abondance de la loutre de mer a diminué en raison du commerce de la fourrure, de sorte qu'elle était rare et probablement disparue sur le plan écologique des eaux de la Colombie-Britannique vers 1850; la dernière observation confirmée remonte à 1929 en Colombie-Britannique (Cowan et Guiguet 1960). À la suite de la disparition de la loutre de mer de la Colombie-Britannique, l'abondance de l'oursin rouge aurait augmenté considérablement (Riedman et Estes 1990), ce qui aurait mené au développement d'une pêche commerciale à l'échelle de la côte. Les populations actuelles d'oursin rouge sont considérées comme étant à des niveaux historiquement élevés aux endroits où les loutres de mer sont absentes.

De 1969 à 1972, 89 loutres de mer ont été transplantées de l'Alaska à la côte ouest de l'île de Vancouver, et les premiers relevés aériens ont confirmé leur établissement dans la région en 1977 (Bigg et MacAskie 1978). Depuis, les loutres de mer ont recolonisé la côte de la Colombie-Britannique (Nichol *et al.* 2015). En 2013, la population de la Colombie-Britannique était de près de 7 000 loutres de mer, avec des populations établies le long de la majeure partie de la côte ouest de l'île de Vancouver et de certaines parties de la côte centrale (Nichol *et al.* 2015). Un changement très prévisible de l'état de phase de l'abondance de l'oursin rouge à l'abondance de la loutre de mer est en train de se produire en Colombie-Britannique (Watson et Estes 2011). C'est pourquoi il n'est pas réaliste de gérer la pêche de l'oursin rouge de la Colombie-Britannique par rapport aux niveaux d'abondance actuels, qui sont gonflés.

Des études ont montré que dans les régions où la loutre de mer est établie depuis longtemps, l'oursin rouge a tendance à être plus petit, à être présent à des densités faibles et à être caché sous les roches et dans les crevasses (Burt *et al.* 2018, Lee *et al.* 2016, Watson et Estes 2011, Kvitek *et al.* 1989, Estes et Duggins 1995, Pearse et Hines 1987, Breen *et al.* 1982, Estes et Palmisano 1974). Les densités moyennes estimées de l'oursin rouge dans les régions de la Californie, de l'État de Washington et de la Colombie-Britannique où la loutre de mer est établie depuis au moins cinq ans varient de 0 à 4,01 oursins rouges par mètre carré [tableau 5].

Des études à long terme dans des zones où la loutre de mer a été continuellement présente ont montré que les densités de l'oursin rouge peuvent persister à de faibles niveaux. Watson et Estes (2011) ont mené une étude à long terme dans la baie Checleset, sur la côte ouest de l'île de Vancouver, où la loutre de mer a été réintroduite en 1969 (Bigg et MacAskie 1978). Les densités de l'oursin rouge dans la baie Checleset étaient de 0,2 oursin rouge/m² (0,1 erreur-type [ET]) en 1988, de 0,1 oursin rouge/m² (0,0 ET) en 1994, de 0,3 oursin rouge/m² (0,1 ET) en 2007 (Watson et Estes 2011) et de 0,01 oursin rouge/m² en 2013 (Jane Watson, professeure émérite, Université de l'île de Vancouver, Nanaimo, Colombie-Britannique, 2019, comm. pers.). Dans une autre étude à long terme menée au Hopkins Marine Life Refuge, en Californie, où les loutres de mer étaient présentes depuis 1962, les densités de l'oursin rouge sont demeurées autour de 0,1 oursin rouge/m² (moyenne des densités moyennes annuelles) et n'ont pas changé de façon significative entre 1972 et 1981 (Pearse et Hines 1987).

Dans les années 1970, les populations de loutre de mer, alors disparues, s'étaient rétablies en atteignant presque leur capacité de charge dans l'ouest de l'Alaska (Rotterman et Simon-Jackson 1988). Cependant, dans les années 1990, les populations de loutre de mer ont diminué brusquement, probablement en raison de l'augmentation de la prédation des loutres de mer par les épaulards (*Orcinus orca*) [Estes *et al.* 1998]. Des changements rapides touchant la taille et la densité des oursins (*Strongylocentrotus plyacanthus* et *S. droebachiensis*) ont accompagné le déclin de la population de loutre de mer et, de 1987 à 1997, la biomasse d'oursin a été multipliée par huit, passant de 160 g/m² à 1 280 g/m² environ (Estes *et al.* 1998).

Dans les zones où la loutre de mer est présente, sa prédation limite habituellement les densités d'oursin rouge de grande taille à des niveaux bien inférieurs à ceux qui pourraient soutenir une pêche commerciale. Dans ces conditions écologiques et dans les conditions actuelles du marché, avant même que la conservation des stocks ne devienne préoccupante, la récolte est devenue économiquement non viable. Par exemple, en Colombie-Britannique, certains secteurs soumis à des quotas de la côte ouest de l'île de Vancouver, de la côte centrale du continent et de parties du SGPP 12 ont connu une réduction de quota ou ont été fermés parce que la quantité d'oursins rouges exploitable sur le plan commercial n'était plus suffisante dans les zones occupées par les loutres de mer (MPO 2018a). Cela s'est également produit en Californie en 2004, où la prédation par les loutres de mer a fait passer le nombre d'oursins rouges de taille légale sous les niveaux requis pour avoir une pêche viable (Deweese 2003).

Nous suggérons ici l'utilisation d'une approche empirique pour établir les points de référence, fondée sur des estimations de la densité historique des oursins rouges dans les zones où les populations de loutres de mer sont bien établies. Les zones où la loutre de mer est présente depuis plusieurs années peuvent indiquer la pression de récolte la plus élevée à laquelle des populations d'oursin rouge biologiquement viables peuvent être maintenues. Cela suppose que ces populations à faible densité soient encore capables de parvenir à une fertilisation efficace et au succès du recrutement après la dispersion (voir la section 4.3.6. sur les effets d'Allee). En l'absence d'information fondée sur des exercices de modélisation des déplacements des larves d'oursin rouge en Colombie-Britannique, il n'est pas possible de déterminer quelles populations servent de source de recrutement pour les autres. Toutefois, dans les zones habitées par la loutre de mer, les populations d'oursin rouge à plus faible abondance ont tendance à être cachées dans les fissures et les crevasses et se trouvent également dans des zones où la loutre de mer ne se nourrit généralement pas (Burt *et al.* 2018, Lee *et al.* 2016, Watson et Estes 2011, Kvitek *et al.* 1998, Estes et Duggins 1995, Pearse et Hines 1987, Breen *et al.* 1982, Estes et Palmisano 1974). Ces groupes de populations à plus forte densité peuvent contribuer à l'efficacité de la fertilisation et au succès du recrutement après la dispersion.

Notre compilation des densités d'oursin rouge dans les zones où la loutre de mer est établie depuis au moins cinq ans a révélé des densités moyennes variant de 0 à 4,01 oursins rouges/m², avec une moyenne de $0,48 \pm 0,20$ (ET) et une médiane de 0,06 (tableau 5) pour toutes les tailles combinées (Burt *et al.* 2018, Watson et Estes 2011, Kvitek *et al.* 1989, Pearse et Hines 1987, Lowry et Pearse 1973, Faro 1970, Ebert 1968). Les études de recherche présentées au tableau 5 couvraient une période de 51 ans, soit de 1967 à 2018. Les études sont comparables en ce sens qu'elles ciblaient l'habitat de l'oursin rouge sur des substrats durs et caractérisaient les communautés benthiques dans les zones occupées par la loutre de mer (et qu'elles étaient souvent comparées aux zones où la présence de la loutre de mer était faible ou nulle). Les estimations de la densité d'oursin rouge ont été obtenues à partir de quadrats aléatoires à l'intérieur des sites ou le long de transects par des plongeurs en scaphandre, à des profondeurs accessibles aux plongeurs en scaphandre (environ 0 à 18 m). Le tableau 5 présente un résumé des densités moyennes estimées d'oursin rouge (oursin rouge/m²) \pm estimation de l'erreur, ainsi que l'année, l'emplacement, la taille de l'échantillon, le nombre d'années d'occupation par la loutre de mer et la référence pour chacune des études.

L'étude de Burt *et al.* (2018) sur la partie centrale de la côte continentale de la Colombie-Britannique a signalé des densités de 1,13 oursin rouge/m² en 2013 et de 0,82 oursin rouge/m² en 2014 (tableau 5). Dans cette étude, les densités moyennes estimées d'oursin rouge mature (DT \geq 50 mm) aux sites « actuels » de la loutre de mer étaient de 0,58 oursin rouge/m² (\pm 1,70 écart-type) en 2013 et de 0,46 oursin rouge/m² (\pm 1,62 écart-type) en 2014 (Jenn Burt, candidate au doctorat, School of Resource and Environmental Management, Simon Fraser University/Hakai Institute, 2018, comm. pers.).

Les densités d'oursin rouge tirées de Lee *et al.* (2016) faisaient partie d'une vaste étude sur les effets directs et indirects de la loutre de mer, de l'oursin rouge et du solaster géant (*Pycnopodia helianthoides*) sur l'ormeau nordique (*Haliotis kamtschatkana*) à Haida Gwaii, sur la côte centrale et sur la côte ouest de l'île de Vancouver (COIV) [tableau 5]. Dans cette étude, les densités moyennes d'oursin rouge mature (diamètre du test \geq 50 mm) dans les zones occupées par la loutre de mer depuis 12 à 38 ans étaient de 0,077 oursin rouge mature/m² (\pm 0,40 ET) sur la côte centrale et de 0,0069 (\pm 0,058 ET) sur la COIV (Lynn Lee, écologiste marine, Parcs Canada Gwaii Haanas, Haida Gwaii, Colombie-Britannique, 2019, comm. pers.).

D'après les estimations de la densité moyenne présentées au tableau 5, nous avançons que la valeur de 0,3 oursin rouge/m² de Watson et Estes (2011) est un PRL raisonnable pour les raisons suivantes : l'estimation de la densité moyenne de 0,3 oursin rouge/m² provient de la

Colombie-Britannique, dans une région où la loutre de mer est établie depuis au moins 30 ans, elle est tirée de la plus longue série chronologique de données obtenue sur la densité de l'oursin rouge dans les secteurs occupés par la loutre de mer (25 ans), et il s'agit de la valeur la plus élevée de la série chronologique de Watson et Estes (2011), ce qui en fait, selon nous, le choix le plus prudent. Reconnaisant que les événements de recrutement peuvent faire considérablement varier le nombre de petits oursins rouges observés pendant les relevés, nous proposons que le seuil de densité de 0,3 oursin rouge/m² ne s'applique qu'aux oursins rouges matures (DT ≥ 50 mm), et non aux oursins rouges toutes tailles confondues, ce qui augmente le degré de prudence. Nous estimons qu'il est plus approprié d'utiliser le nombre d'oursins rouges matures/m² plutôt que celui d'oursins rouges de taille exploitable (DT de 90 à 140 mm)/m², ou celui d'oursins rouges de taille légale (DT ≥ 90 mm)/m² pour les raisons suivantes : la fourchette de taille de l'oursin rouge de taille exploitable et de taille légale pourrait changer selon les mesures de gestion des pêches, et elle dépend également de facteurs liés au marché. En outre, la densité des oursins rouges matures est importante d'un point de vue biologique, car elle constitue le stock reproducteur.

Nous proposons que le PRL soit dépassé lorsque la médiane de la distribution d'échantillonnage selon la méthode bootstrap de la densité spatiale moyenne de l'oursin rouge, dans l'habitat de l'oursin, est inférieure à 0,3 oursin rouge mature (DT ≥ 50 mm)/m². Nous précisons ici la densité spatiale, qui est exprimée en unités d'oursin rouge/m², pour la différencier clairement de la densité linéaire, qui est exprimée en unités d'oursin rouge/m de rivage. La densité linéaire sert à calculer les options de quotas telles que décrites dans le cadre d'évaluation actuel (Leus *et al.* 2014). Nous avons choisi la densité spatiale, plutôt que la densité linéaire, pour l'unité des points de référence provisoires parce que les estimations des densités présentées au tableau 5 sont des densités spatiales. Il n'est pas rare que le PRS soit établi à deux fois la valeur du PRL (MPO 2018b, 2018c, 2009). Par exemple, le Cadre pour la pêche durable (MPO 2009) fournit une orientation fondée sur les normes internationales et propose d'établir le PRL à 0,4 B_{rms} et le PRS à 0,8 B_{rms}. Dans l'évaluation récente du stock de goberge de l'Alaska (*Theragra chalcogramma*) [MPO 2018b] en Colombie-Britannique, le PRL a été établi à la B_{MIN} (biomasse minimale du stock reproducteur) et le PRS a été fixé à 2 B_{MIN} (MPO 2018b). De plus, dans la récente mise à jour sur l'état du stock d'oursins verts (*Strongylocentrotus droebachiensis*) en Colombie-Britannique, le PRS a été établi à la D_{MIN} (la plus faible densité des séries chronologiques à partir de laquelle il s'est par la suite rétabli sans l'intervention des gestionnaires des pêches) et à 0,5 D_{MIN} (MPO 2018c). Pour l'oursin vert en Colombie-Britannique, le PRS est de 0,9 oursin vert/m² et le PRL est de 0,45 oursin vert/m² (MPO 2018c). Un exemple de rétablissement à partir d'une faible densité existe également chez l'oursin rouge. La plus faible densité d'oursin rouge dans 10 sites de la série chronologique de 2004 à 2013 de la zone de recherche sur l'oursin rouge de Haida Gwaii (île Louise) était de 0,56 oursin rouge/m² en 2007. Cette densité a ensuite augmenté pour atteindre 2,18 oursins rouges/m² en 2013 (données inédites du MPO). L'exemple de l'oursin rouge n'est pas directement comparable à celui de l'oursin vert, car le rétablissement de la densité de l'oursin rouge a eu lieu en l'absence de récolte, alors que le rétablissement de la densité de l'oursin vert a eu lieu avec une récolte continue. Néanmoins, les exemples de rétablissement de l'oursin vert et de l'oursin rouge, et le fait que le PRS est souvent deux fois plus élevé que le PRL, ont contribué à éclairer notre décision de fixer le PRS de l'oursin rouge au double du PRL. Nous proposons donc que le PRS soit dépassé lorsque la médiane de la distribution d'échantillonnage par la méthode bootstrap de la densité spatiale moyenne de l'oursin rouge, dans l'habitat de celui-ci, est inférieure à 0,6 oursin rouge mature (DT ≥ 50 mm)/m². La médiane a été choisie par les gestionnaires des pêches comme le niveau de distribution à utiliser dans l'évaluation de l'état des stocks; toutefois, dans notre évaluation des divers taux de récolte,

nous tenons compte de la distribution d'échantillonnage complète de la densité spatiale moyenne des oursin rouge matures.

De nouveaux modèles de population et de simulation fondés sur la longueur ont été élaborés afin d'évaluer quantitativement les effets d'autres taux de récolte sur la réduction des densités d'oursin rouge mature et les probabilités de dépassement des points de référence. Les valeurs des paramètres des modèles ont été formulées à partir de données biologiques tirées de publications et de données de relevés indépendants de la pêche. La croissance, les taux de mortalité naturelle et l'association d'oursins rouges juvéniles-adultes en Colombie-Britannique sont décrits dans les sous-sections 3.3.1 et 3.3.2, et les processus de simulation sont présentés dans les autres sous-sections.

3.3 MODÈLES STATISTIQUES

3.3.1 Modèles de croissance

L'oursin rouge croît d'une façon différente de celle de nombreuses espèces aquatiques. L'oursin rouge présente une croissance sigmoïde qui peut ne pas être modélisée adéquatement par la fonction fréquemment utilisée de von Bertalanffy et qui pourrait plutôt être mieux modélisée à l'aide des fonctions de Tanaka et de logistique dose-réponse (ci-après appelées fonctions logistiques) [Zhang *et al.* 2008, Rogers-Bennett *et al.* 2003, Ebert et Russell 1993]. Les modèles de croissance de Tanaka et logistique utilisés pour décrire la croissance de l'oursin rouge ont été présentés dans Zhang *et al.* (2008). Les paramètres du modèle de croissance estimés par Zhang *et al.* (2008) ont été utilisés dans la présente étude.

Les modèles de croissance de Tanaka et logistique ne décrivent pas une relation entre la taille et l'âge, mais prédisent des accroissements annuels à partir des tailles initiales (figure 2). Ces deux modèles de croissance n'imposent pas une taille asymptotique et permettent aux animaux de continuer à croître aussi longtemps qu'ils vivent, bien que le taux de croissance soit asymptotiquement proche de zéro. La principale différence entre les deux modèles réside dans la période de croissance initiale. Le modèle de croissance de Tanaka (Tanaka 1988, 1982) prévoit une augmentation du taux de croissance pendant la période initiale, alors que le modèle de croissance logistique (Rogers-Bennett *et al.* 2003) indique un taux de croissance à peu près égal au début de la période (figure 2, graphique du haut).

Le modèle de croissance de Tanaka comprend trois paramètres :

$$\hat{D}_{y+1} = \frac{1}{\sqrt{f}} \log \left| 2f \left(\frac{E}{4f} - \frac{a}{E} + 1 \right) + 2\sqrt{f^2 \left(\frac{E}{4f} - \frac{a}{E} + 1 \right)^2 + f \times a} \right| + d \quad (1)$$

où \hat{D}_{y+1} est le diamètre du test prévu pour l'année $y+1$, a , d et f sont des paramètres du modèle et $E = \exp(\sqrt{f}(D_y - d))$ où D_y est le DT d'un oursin rouge pour l'année y .

Le modèle de croissance logistique comprend lui aussi trois paramètres :

$$\hat{D}_{y+1} = \frac{b}{1 + (D_y/c)^g} + D_y \quad (2)$$

où b , c et g sont les paramètres du modèle.

Le DT réel s'écarte du DT prévu calculé dans les équations 1 ou 2 :

$$D = \hat{D} + \varepsilon \quad (3)$$

où on suppose que ε est normalement distribuée avec un écart-type σ_T pour le modèle de croissance de Tanaka et σ_L pour le modèle de croissance logistique : $\varepsilon \sim N(0, \sigma_T^2)$ et $\varepsilon \sim N(0, \sigma_L^2)$. Une contrainte est imposée pour éviter une éventuelle croissance négative dans les simulations. Lorsqu'une valeur générée aléatoirement pour ε est inférieure à 5 % de \hat{D} , cette valeur est fixée à 5 % de \hat{D} .

Les paramètres des modèles de croissance de Tanaka et logistique ont été estimés pour l'île de Price (côte nord continentale), l'île Louise (Haida Gwaii) et la baie Alert (eaux intérieures de la côte sud) à l'aide de données provenant d'expériences de marquage et de recapture d'oursins rouges réalisées dans ces régions dans les années 1990 (Zhang *et al.* 2008). Les modèles de croissance élaborés pour l'île Price, l'île Louise et la baie Alert ont été au départ utilisés pour modéliser la croissance de l'oursin rouge sur la côte nord continentale, à Haida Gwaii et dans les eaux intérieures de la côte sud, respectivement. Cependant, l'utilisation des modèles de croissance pour les îles Price et Louise a conduit à une adaptation considérablement plus médiocre des modèles par rapport aux données sur la fréquence des longueurs (section 3.3). Les données de marquage-recapture ont été recueillies à partir d'un petit emplacement expérimental de la côte nord continentale ou de Haida Gwaii, tandis que les données sur la fréquence des longueurs ont été obtenues dans plusieurs emplacements de chacune de ces régions. Le profil de croissance dans ces petites zones pourrait ne pas représenter la croissance dans l'ensemble de la région. Le modèle de croissance pour les eaux intérieures de la côte sud correspond le mieux aux données sur la fréquence des longueurs dans les trois régions; c'est pourquoi il a été choisi comme modèle de croissance dans le présent document. Par conséquent, seuls les modèles de croissance pour la baie Alert ont été utilisés pour les trois régions. Les moyennes et les écarts-types des paramètres de croissance pour les sites de marquage-recapture de la baie Alert, ainsi que les valeurs pour σ_T et σ_L , sont indiqués dans le tableau 2.

Dans les simulations, les valeurs des paramètres de croissance et les écarts-types (ε) ont été générés de façon aléatoire à partir des distributions normales respectives.

3.3.2 Mortalité naturelle

Les taux estimatifs de mortalité naturelle instantanée (M), obtenus à l'aide des données de marquage-recapture de l'oursin rouge recueillies dans les années 1990, variait entre 0,081 et 0,213 y^{-1} pour l'oursin rouge sur l'île Price (côte nord continentale), l'île Louise (Haida Gwaii) et dans la baie Alert (eaux intérieures de la côte sud) [Zhang *et al.* 2008]. La moyenne et la médiane des taux M estimés étaient de 0,123 y^{-1} et 0,118 y^{-1} , respectivement. Le taux M de 0,12 y^{-1} a été utilisé pour les oursins rouges de taille inférieure à la taille légale (DT < 90 mm)

[tableau 2]. Cependant, cette estimation semble être trop élevée pour les oursins rouges de taille légale (voir la section 3.3.4 ci-dessous). Le taux M pour l'oursin rouge de taille légale a été jugé nettement inférieur et le coefficient de variation a été fixé à 20 % (tableau 2).

Dans les simulations, les taux de mortalité naturelle ont été générés de façon aléatoire à partir de distributions normales tronquées, les limites inférieure et supérieure étant de 0,03 et 12 y⁻¹ pour les oursins rouges de taille inférieure à la taille légale, et de 0,005 et 0,08 y⁻¹ pour les oursins rouges de taille légale. Les moyennes et les écarts-types de ces distributions normales tronquées sont indiqués au tableau 2.

Nous avons appliqué une change sur le fil du rasoir du taux M entre les oursins rouges de taille inférieure à la taille légale et ceux de taille légale, en raison d'un manque de données pour étayer la forme de la courbe M entre les deux catégories de taille.

3.3.3 Incidence de la densité d'oursin rouge de grande taille sur la densité de recrutement

Les petits oursins rouges sont souvent protégés par les épines d'individus de plus grande taille (Carter et VanBlaricom 2002, Sloan *et al.* 1987, Tegner et Dayton 1977). La protection fournie par des individus de grande taille pourrait contribuer à augmenter les taux de survie des juvéniles, car ceux-ci sont probablement protégés contre la prédation et les dommages causés par l'exposition à des courants forts (Zhang *et al.* 2011, Nishizaki et Ackerman 2007).

Supposons que le nombre d'oursins rouges atteignant le stade du recrutement soit R, si la densité des oursins rouges de grande taille ($DT \geq 70$ mm) n'est pas inférieure à celle de l'état actuel. Si la densité d'oursin rouge de grande taille est plus faible, seule une proportion de R atteindrait le stade du recrutement en raison d'un degré de protection plus faible. Nous avons modélisé quantitativement cette proportion (r_y), en utilisant la fonction produite par Zhang *et al.* (2011) :

$$\begin{cases} r_y = \exp\left(\alpha(DL_y - DL_0) + \beta(DL_y^2 - DL_0^2)\right) & (DL_y < DL_0) \\ r_y = 1 & (\text{autrement}) \end{cases} \quad (4)$$

où DL_y est la densité d'oursin rouge de grande taille pour l'année y lorsque la population a été pêchée à un taux de récolte > 2 %, DL_0 est la densité d'oursin rouge de grande taille à l'état actuel et α et β sont des paramètres du modèle (voir le tableau 1). La densité de recrutement ajustée pour l'année y (DRA_y) est :

$$DRA_y = DR_y \times r_y \quad (5)$$

où DR_y est la densité de recrutement générée aléatoirement pour l'année y .

3.3.4 Fourchette des diamètres du test de recrutement

Nous avons défini le recrutement comme correspondant à une certaine fourchette des diamètres du test de l'oursin rouge qui fait son entrée dans la population chaque année. Toutes les fourchettes possibles des DT avec des valeurs minimales et maximales comprises entre 10 et 50 mm ont été testées. Les oursins rouges dont le DT mesure jusqu'à 10 mm ont été considérés comme étant totalement vulnérables à la détection dans les relevés. Au total, il y a

820 fourchettes, à savoir de 10 à 11 mm, de 10 à 12 mm, [...], de 10 à 50 mm, de 11 à 12 mm, [...], de 11 à 50 mm, [...], de 49 à 50 mm. Un grand nombre (> 18 000) d'oursins rouges ont été mesurés dans le cadre des relevés en plongée portant sur l'oursin rouge dans chacune des trois régions. Pour chaque région, les données sur le DT tirées de tous les relevés ont été regroupées. Nous avons supposé que la distribution des DT issue des données regroupées représente la distribution à l'état d'équilibre qui correspond à un taux de récolte supposé de 2 % de l'abondance existante pour la région. Nous avons déterminé la fourchette des DT des recrues à l'aide d'une approche d'équilibre. Compte tenu d'une fourchette des tailles de recrutement, nous avons d'abord créé une population en équilibre, en utilisant de façon déterministe $M = 0,12 \text{ y}^{-1}$ pour les oursins rouges de taille inférieure à la taille légale (Zhang *et al.* 2008), $M = 0,03 \text{ y}^{-1}$ pour les oursins rouges de taille légale (dans les régions la côte nord continentale et de Haida Gwaii, voir ci-dessous pour les eaux intérieures de la côte sud), un taux de récolte fixe de 2 % des oursins rouges exploitables dont le DT est compris entre 90 et 140 mm, et un ensemble des valeurs des paramètres pour le modèle de Tanaka ou le modèle logistique tirés du tableau 2. Nous avons ensuite comparé la distribution des DT de cette population en équilibre avec la distribution des DT observée dans les relevés pour calculer un écart. La fourchette des DT de recrutement est celle qui a produit l'écart le plus faible. L'état d'équilibre a été atteint en suivant une cohorte tout au long de sa durée de vie (définie comme étant de 150 ans). Une fois le modèle de croissance et les taux de mortalité naturelle précisés, l'algorithme de modélisation pour chaque région est le suivant :

1. Établir une fourchette unique de DT (diamètres compris entre 10 et 50 mm) pour le recrutement;
2. Sélectionner tous les individus à partir des données regroupées sur le DT dans la fourchette de DT de recrutement établie à l'étape 1. Ces individus représentent la cohorte qui fera l'objet d'un suivi tout au long de sa durée de vie;
3. Définir une année de début ($y=1$);
4. Calculer le nombre d'oursins rouges de taille inférieure à la taille légale (NS) dans la cohorte ayant survécu à l'année y : $NS_{y+1} = NS_y \times \exp(-\hat{MS})$ où \hat{MS} est le taux de mortalité naturelle des oursins rouges de taille inférieure à la taille légale;
5. Calculer le nombre d'oursins rouges exploitables (NH ; DT compris entre 90 et 140 mm) dans la cohorte ayant survécu à l'année y :

$NH_{y+1} = 0,98 \times NH_y \times \exp(-\hat{ML})$ où \hat{ML} est le taux de mortalité naturelle de l'oursin rouge de taille légale;

6. Calculer le nombre d'oursins rouges âgés (NO ; DT > 140 mm) dans la cohorte ayant survécu l'année y : $NO_{y+1} = NO_y \times \exp(-\hat{ML})$;
7. Sélectionner aléatoirement les individus survivants : parmi les oursins rouges de taille inférieure à la taille légale NS_y , les individus NS_{y+1} sont sélectionnés; parmi les oursins rouges exploitables NH_y , les individus NH_{y+1} sont sélectionnés; parmi les oursins rouges âgés NO_y , les individus NO_{y+1} sont sélectionnés;

-
8. Calculer le DT prévu de chaque oursin rouge pour l'année $y+1$, à l'aide de l'équation 1 si le modèle de croissance de Tanaka est précisé, ou en utilisant l'équation 2 si le modèle de croissance logistique est précisé. Les valeurs moyennes des paramètres du modèle de croissance sont utilisées;
 9. Augmenter par palier d'une année et répéter les étapes 4 à 8 jusqu'à ce que l'année 150 soit atteinte;
 10. Combiner les individus survivants de la cohorte de la première à la 150^e année pour obtenir une population simulée à l'état d'équilibre;
 11. Calculer l'écart concernant le nombre d'oursins rouges dans chaque catégorie de DT entre les populations d'oursin rouge simulées et observées :

$$0.5 \sum_i (NS_{s,i} - NS_{o,i})^2 + \sum_j (NL_{s,j} - NL_{o,j})^2$$
 où NS et NL représentent respectivement le nombre d'oursins rouges de taille inférieure à la taille légale et de taille légale, les indices s et o représentent respectivement les populations simulées et observées, et les indices i et j indiquent les catégories de DT (20 catégories de DT comprises entre 40 et 140 mm avec un intervalle de 5 mm);
 12. Revenir aux étapes 1 à 11 jusqu'à ce que toutes les fourchettes de DT possibles (DT compris entre 10 et 50 mm) aient été utilisées;
 13. Utiliser la fourchette des DT de la population simulée produisant l'écart minimal comme la fourchette des DT pour le recrutement.

L'ajustement aux catégories de DT d'oursins rouges de taille inférieure à la taille légale a été pondéré à la baisse afin de mieux correspondre aux catégories de DT d'oursins rouges exploitables. Au départ, le taux de mortalité naturelle de $0,12 \text{ y}^{-1}$ a également été appliqué pour les oursins rouges de taille inférieure à la taille légale. Cependant, dans ce contexte, le modèle produirait des proportions bien moindres d'oursins rouges de taille légale par rapport aux échantillons d'oursins rouges observés. Lorsqu'un taux M de $0,03 \text{ y}^{-1}$ a été utilisé pour l'oursin rouge de taille légale, l'ajustement du modèle semblait bon pour la côte nord continentale et Haida Gwaii (figure 3), mais pas pour les eaux intérieures de la côte sud.

Afin d'améliorer l'ajustement du modèle pour les eaux intérieures de la côte sud, une recherche par carte quadrillée a été effectuée parmi les valeurs plausibles de M pour les oursins rouges de taille légale, les valeurs plausibles des paramètres de croissance dans leurs intervalles crédibles à 95 % respectifs, et les fourchettes des DT de recrutement (tableau 3). Les fourchettes des DT de recrutement pourraient être n'importe quelle fourchette avec des valeurs minimales et maximales comprises entre 10 et 50 mm. La recherche par carte quadrillée a utilisé 15 valeurs pour M ; 5, 10 et 10 valeurs pour les paramètres a , d et f du modèle de croissance de Tanaka respectivement (500 combinaisons); et 10 valeurs pour chacun des paramètres du modèle de croissance logistique (b , c et g , 1 000 combinaisons). L'ajustement du modèle a été évalué de la même manière que ce qui a été décrit précédemment. En d'autres termes, la distribution de DT de la population en équilibre a été comparée à la distribution des DT observée à partir de relevés, et l'écart a été calculé. La fourchette des DT de recrutement a été celle qui a produit l'écart le plus faible. L'ajustement du modèle a été amélioré lorsque le taux M relatif aux oursins rouges de taille légale a été réduit à $0,018 \text{ y}^{-1}$, dans le cadre de l'utilisation du modèle de croissance de Tanaka, ou lorsqu'il a été réduit à $0,012 \text{ y}^{-1}$, dans le cadre de l'utilisation du modèle de croissance logistique (figure 3). Des modifications ont également été apportées aux valeurs des paramètres de croissance (tableau 2). Les fourchettes des DT déterminées pour le recrutement dans les trois régions ont également été énumérées au tableau 2.

La fourchette des DT de recrutement varie en fonction du modèle de croissance. Compte tenu d'un taux de mortalité naturelle fixe et d'un taux de récolte fixe, la distribution de fréquence des longueurs d'une population en équilibre varierait selon les différentes fourchettes des tailles de recrutement ou selon les différents taux de croissance. La fourchette des tailles de recrutement est déterminée dans l'étude et la distribution de fréquence des longueurs est obtenue selon le modèle de croissance utilisé pour un meilleur ajustement des données (distribution de fréquence des longueurs observée). Par conséquent, la fourchette des tailles de recrutement change en fonction du modèle de croissance appliqué dans la simulation.

3.3.5 Variations des densités de recrutement

Les simulations nécessitent des densités de recrutement annuelles aléatoires. On a supposé que l'échantillon des densités de recrutement provenant de relevés pouvait être utilisé pour estimer la distribution d'une année à l'autre dans l'ensemble de la région. Nous avons calculé les densités d'oursin rouge dont le DT se situe dans la fourchette des DT de recrutement dans chaque sous-secteur de gestion des pêches du Pacifique et pour chaque année de relevé, à l'aide des données des relevés menés de 1994 à 2016. On compte 80 à 100 densités de ce type pour chaque région. Nous avons supposé que la variation de ces densités représente la variation des densités de recrutement pour la région et nous avons ajusté une distribution des probabilités log-normales à ces densités de recrutement à l'aide de l'approche du maximum de vraisemblance.

Les ajustements du modèle semblaient convenir pour la côte nord continentale et Haida Gwaii (figure 4). Cependant, l'ajustement du modèle n'était pas bon pour les eaux intérieures de la côte sud lorsque la fourchette des DT de recrutement était déterminée à l'aide du modèle de croissance de Tanaka. Dans ce cas (les eaux intérieures de la côte sud avec le modèle de croissance de Tanaka), il y avait une proportion particulièrement élevée de faibles densités de recrutement ($< 0,01 \text{ m}^{-2}$). Par conséquent, nous avons choisi d'utiliser une distribution log-normale pour ajuster les densités de recrutement supérieures à $0,01 \text{ m}^{-2}$ uniquement (figure 4), et nous avons supposé que la probabilité (P_0) de produire une faible densité de recrutement ($< 0,01 \text{ m}^{-2}$) était la même que la proportion de ces faibles densités dans les données de relevés (tableau 4).

Dans les simulations, les densités de recrutement ont été générées aléatoirement à partir d'une distribution des probabilités log-normales tronquée, les limites inférieure et supérieure étant établies à $0,01 \text{ m}^{-2}$ et correspondant à deux fois la densité maximale observée. Cependant, avant d'utiliser la distribution des probabilités log-normales tronquée telle qu'elle a été élaborée pour les eaux intérieures de la côte sud à l'aide du modèle de croissance de Tanaka, on a d'abord utilisé une distribution de Bernoulli avec une probabilité de P_0 pour déterminer si une faible densité de recrutement existe. Si de faibles densités de recrutement étaient constatées, la densité était fixée à $0,01 \text{ m}^{-2}$; sinon, la distribution des probabilités log-normales tronquée était utilisée pour générer une densité de recrutement.

3.3.6 Constat de la population actuelle

Pour étudier les effets d'autres taux de récolte sur les variations des densités d'oursin rouge mature, nous devrions idéalement connaître le DT de chaque individu dans la population actuelle d'oursin rouge afin de démarrer le processus de simulation. Le nombre d'oursins rouges dans chaque région est excessivement élevé. De plus, l'intérêt premier réside dans les variations des densités plutôt que dans l'abondance. Nous avons donc choisi de créer une pseudopopulation d'oursin rouge dans une zone de $20\,000 \text{ m}^2$ (quadrats) pour représenter la

population actuelle dans chaque région. L'utilisation d'une plus grande zone ne modifierait pratiquement pas les résultats de simulation.

Les données de relevés fournissent de l'information sur les distributions des DT et les densités. Cette information est utilisée pour produire une population initiale. Nous avons d'abord calculé la densité totale d'oursin rouge (OD) pour chaque région en divisant le nombre total d'oursins rouges observés par le nombre total de quadrats ayant fait l'objet d'un relevé pour l'ensemble des relevés dans la région. La densité d'oursin rouge à chaque augmentation de 1 mm du DT est la suivante :

$$OD_d = P_d \times OD \quad (6)$$

où P_d est la proportion d'oursins rouges dont le DT est de d mm par rapport au nombre total d'oursins rouges observés pour l'ensemble des relevés. Le nombre d'oursins rouges dont le DT mesure d mm dans la pseudopopulation est le suivant :

$$ON_d = [OD_d \times NQ] \quad (7)$$

où NQ est le nombre de quadrats (20 000) et le symbole $[]$ signifie « arrondir le véritable nombre au nombre entier le plus proche ».

À partir de la population initiale, nous avons effectué des simulations sur 100 ans avec un taux de récolte annuel fixe de 2 % afin de produire 200 réalisations possibles de la pseudopopulation pour chaque région. L'algorithme de simulation est le suivant :

1. Créer la population initiale en établissant le nombre d'oursins rouges pour chaque diamètre du test en fonction de l'équation 7;
2. Définir une année de début ($y = 1$);
3. Générer aléatoirement une densité de recrutement (voir la section 3.3.5);
4. Calculer le nombre de recrues, soit le produit de la densité de recrutement et de NQ , et arrondir le nombre au nombre entier le plus proche;
5. Générer aléatoirement un diamètre du test pour chaque recrue à partir d'une distribution de probabilité uniforme située dans les limites inférieure et supérieure de la fourchette des diamètres du test de recrutement (comme il a été déterminé à la section 3.4), et ajouter ces recrues à la population;
6. Calculer le nombre (NS) d'oursins rouges de taille inférieure à la taille légale dans la population ayant survécu à l'année y : $NS_{y+1} = NS_y \exp(-MS_y)$, où MS_y est un taux de mortalité naturelle généré aléatoirement pour l'oursin rouge de taille inférieure à la taille légale durant l'année y (voir la section 3.3.2);
7. Calculer le nombre (NH) d'oursins rouges exploitables ayant survécu à l'année y :

$$NH_{y+1} = NH_y (1 - E) \exp(-ML_y), \text{ où } ML_y \text{ est le taux de mortalité naturelle de l'oursin rouge de taille légale généré aléatoirement durant l'année } y \text{ (voir la section 3.3.2);}$$

-
8. Calculer le nombre (NO) d'oursins rouges âgés (diamètre du test > 140 mm) ayant survécu à l'année y :

$$NO_{y+1} = NO_y \times \exp(-ML_y)$$

9. Sélectionner aléatoirement des individus survivants : parmi les oursins rouges de taille inférieure à la taille légale NS_y , exploitables NH_y et âgés $\left[NO_{y+1} \right]$, les individus $\left[NS_{y+1} \right]$, $\left[NH_{y+1} \right]$ et $\left[NO_{y+1} \right]$ sont sélectionnés aléatoirement, respectivement, et le symbole $\left[\right]$ indique l'arrondissement du nombre réel au nombre entier le plus proche;
10. Laisser les oursins rouges survivants croître conformément au modèle de croissance, avec les valeurs des paramètres de croissance et les écarts générés aléatoirement pour chaque individu (voir la section 3.3.1);
11. Augmenter par palier (y) d'une année et répéter les étapes 3 à 10 jusqu'à ce que l'année 100 soit atteinte, ce qui produit une réalisation de la pseudopopulation;
12. Répéter les étapes 1 à 11 jusqu'à ce que 200 réalisations aient été produites.

3.3.7 Évaluation des effets des taux de récolte

Les effets d'autres taux de récolte sur les variations des densités d'oursin rouge mature ont été évalués sur 100 ans de simulation, en commençant par la pseudopopulation. Ces années sont appelées des années de simulation. Le processus de simulation a été répété 200 fois, soit une fois lors de chaque réalisation de la pseudopopulation, pour produire 200 répétitions.

L'algorithme de simulation est similaire à celui décrit ci-dessus. La principale différence est que l'effet des fortes densités d'oursin rouge ($DT \geq 70$ mm) sur le recrutement, grâce à la protection des juvéniles par le couvert formé par les épines des adultes, a été intégré et qu'une densité de recrutement ajustée (DRA) a été utilisée dans le processus de simulation. De plus,

le taux de récolte (E) variait entre 0,02 et 0,24. La probabilité de dépassement des points de référence (voir la section 3.2 sur les points de référence) une année donnée a été calculée comme la proportion des répétitions pour lesquelles les densités d'oursin rouge mature étaient inférieures aux points de référence cette année-là.

L'algorithme de simulation est le suivant :

1. Générer aléatoirement trois matrices (200 × 100) pour représenter les densités de MS, ML (voir la section 3.2.2) et de recrutement (voir la section 3.3.5) pour 200 répétitions de 100 ans;
2. Établir E à 2 %;
3. Sélectionner la première réalisation de la pseudopopulation;
4. Définir une année de début ($y = 1$);
5. Calculer les densités d'oursin rouge mature ($DT \geq 50$ mm) et de gros oursin rouge ($DT \geq 70$ mm) dans la population durant l'année y ;
6. Utiliser les taux de mortalité naturelle (MS_y, ML_y) chez les oursins rouges de taille inférieure à la taille légale ou de taille légale pour l'année y et pour la réalisation correspondante de la pseudopopulation à partir des matrices générées aléatoirement à l'étape 1;
7. Utiliser la densité de recrutement pour l'année y et pour la réalisation correspondante de la pseudopopulation à partir de la matrice générée aléatoirement à l'étape 1;
8. Ajuster la densité de recrutement à l'aide des équations 4 et 5;
9. Calculer le nombre de recrues, soit le produit de la densité de recrutement ajustée et de NQ , et arrondir le nombre au nombre entier le plus proche;
10. Générer aléatoirement des DT pour chaque recrue à partir d'une distribution de probabilité uniforme située dans les limites inférieure et supérieure de la fourchette des DT de recrutement, et ajouter ces recrues à la population;
11. Calculer le nombre d'oursins rouges de taille inférieure à la taille légale dans la population ayant survécu à l'année y :

$$NS_{y+1} = NS_y \exp(-MS_y)$$

12. Calculer le nombre d'oursins rouges exploitables ayant survécu à l'année y :

$$NL_{y+1} = NH_y (1 - E) \exp(-ML_y)$$

13. Calculer le nombre d'oursins rouges âgés ayant survécu à l'année y :

$$NO_{y+1} = NO_y \exp(-ML_y)$$

14. Sélectionner aléatoirement les individus survivants : parmi les oursins rouges de taille inférieure à la taille légale NS_y , exploitables NH_y et âgés NO_y , les individus

$[NS_{y+1}]$, $[NH_{y+1}]$ et $[NO_{y+1}]$ sont sélectionnés aléatoirement, respectivement;

-
15. Laisser les oursins rouges survivants croître conformément au modèle de croissance, avec les valeurs des paramètres de croissance et les écarts générés aléatoirement pour chaque individu (voir la section 3.3.1);
 16. Augmenter par palier d'une année (γ) et répéter les étapes 5 à 15 jusqu'à ce que l'année 100 soit atteinte;
 17. Sélectionner la réalisation suivante de la pseudopopulation et répéter les étapes 4 à 16 jusqu'à ce que la 200^e réalisation de la pseudopopulation ait été utilisée;
 18. Augmenter E de 0,02 et répéter les étapes 3 à 17, jusqu'à ce que la valeur de E corresponde à 0,24.

D'ailleurs, les mêmes valeurs de MS , ML (étape 6) et de densité de recrutement (étape 7) ont été utilisées pour une année de simulation donnée pour chacune des 12 valeurs de E . Par conséquent, nous pourrions attribuer différentes variations des densités d'oursin rouge mature à divers taux de récolte, ce qui atténuerait les effets secondaires des incidences causées par des taux de mortalité naturelle et des densités de recrutement différents.

3.4 ÉVALUATION DE L'ÉTAT DU STOCK

Nous avons évalué l'état du stock à l'aide de données tirées des relevés en plongée indépendants de la pêche de l'oursin rouge effectués dans des zones de la Colombie-Britannique exploitées commercialement de 1996 à 2016 (Leus *et al.* 2014; Campbell *et al.* 1999a). En raison de problèmes liés aux données, les relevés de 1994 et de 1995 n'ont pu être incluses. Le protocole de relevé de l'oursin rouge utilise un plan aléatoire systématique pour l'emplacement des transects (voir la section 3.1), ce qui signifie que les transects ne sont pas toujours situés dans un habitat propice de l'oursin rouge. Il se peut aussi que les transects se trouvent seulement en partie dans l'habitat de l'oursin rouge, de sorte que certains quadrats sur un transect peuvent ne pas être situés dans l'habitat de l'oursin rouge. Afin de rendre nos estimations de la densité spatiale d'oursin rouge mature comparables à celles des études présentées au tableau 5, où l'habitat de l'oursin rouge était ciblé, nous avons élaboré un ensemble de règles pour définir l'habitat de l'oursin rouge, puis nous avons retiré des calculs de la densité spatiale les quadrats de l'habitat n'appartenant pas à l'oursin rouge situés dans les transects ayant fait l'objet d'un relevé. Nous avons défini l'habitat de l'oursin rouge comme un substrat de gravier ou de cailloux plus gros où la boue n'est pas le substrat dominant. Ce sont des substrats auxquels l'oursin rouge peut s'accrocher à l'aide de ses pieds ambulacraires. Plus précisément, cela comprenait toute présence de substrat rocheux, de substrat rocheux avec crevasses, de grosses pierres, de galets, de gravier, de coquilles, de coquilles écrasées ou de coquilles entières dans les catégories de substrat primaire ou secondaire. Tous les quadrats où le substrat primaire était de la boue, peu importe les autres catégories de substrat, ont été supprimés.

Les densités moyennes d'oursin rouge mature et leurs intervalles de confiance ont été estimés à partir des données des relevés au moyen du programme d'analyse de l'oursin rouge qui est décrit en détail dans Lohead *et al.* 2015). Le programme d'analyse de l'oursin rouge applique l'estimateur de ratio (Cochran 1977) pour estimer la densité moyenne. Le plus souvent, les oursins rouges sont échantillonnés dans un quadrat sur deux le long d'un transect, mais les restrictions de plongée ou d'autres restrictions logistiques ont parfois entraîné des incohérences dans l'espacement des quadrats. Lorsque les oursins rouges ne sont pas échantillonnés dans un quadrat, l'interpolation linéaire est utilisée pour estimer le diamètre du test et la densité. L'interpolation linéaire tient compte des variations de la distribution des tailles et de la densité avec la profondeur lorsque l'espacement des quadrats le long d'un transect n'est pas le même pour l'ensemble du transect. Les transects sont pondérés en fonction de leur longueur. L'autoamorçage (Efron et Tibshirani 1993) est appliqué aux calculs afin de rendre compte de l'incertitude de la densité estimée.

4 RÉSULTATS

4.1 SIMULATIONS DE PROJECTION ET POINTS DE RÉFÉRENCE

Les densités spatiales médianes (nombre par m²) de l'oursin rouge mature ainsi que les intervalles de confiance à 95 % au cours de chaque cinquième année de simulation pour d'autres taux de récolte, selon le modèle de Tanaka, puis selon le modèle de croissance logistique, sont présentés pour Haida Gwaii (tableaux 6 et 7; figures 5 et 6), la côte nord continentale (tableaux 8 et 9; figures 7 et 8) et les eaux intérieures de la côte sud (tableaux 10 et 11; figures 9 et 10). Les probabilités que les densités d'oursin rouge mature soient inférieures au point de référence limite pour chaque cinquième année de simulation, à d'autres taux de récolte, à l'aide du modèle de croissance de Tanaka, puis du modèle de croissance logistique, sont présentées pour Haida Gwaii (tableaux 12 et 13), pour la côte nord continentale (tableaux 14 et 15) et pour les eaux intérieures de la côte sud (tableaux 16 et 17). De plus, les probabilités que les densités d'oursin rouge mature soient inférieures au point de référence supérieur au cours de chaque cinquième année de simulation, à d'autres taux de récolte, selon le modèle de croissance de Tanaka, puis le modèle de croissance logistique, sont présentées pour Haida Gwaii (tableaux 18 et 19), pour la côte nord continentale (tableaux 20 et 21) et pour les eaux intérieures de la côte sud (tableaux 22 et 23).

Dans le texte ci-dessous, nous décrivons les résultats des simulations de projection sur une période de 100 ans et les probabilités de dépassement des points de référence à la 100^e année de simulation. Le tableau 25 résume les probabilités de dépassement des points de référence à la 100^e année de simulation avec d'autres taux de récolte pour chacune des trois régions, à l'aide des modèles de croissance de Tanaka et logistique. Les résultats de la 100^e année de simulation ne sont que des exemples de la fourchette allant de l'année zéro à la 100^e année de simulation, et les gestionnaires des pêches peuvent choisir de mettre en œuvre des mesures de gestion dans la fourchette des résultats simulés dans les tableaux de décision 12 à 23, selon les objectifs de gestion et en tenant compte des incertitudes décrites à la section 4.3 ainsi que des facteurs socio-économiques.

Dans toutes les régions, à un taux de récolte donné, les densités projetées d'oursin rouge mature suivent des trajectoires similaires, qu'elles reposent sur les modèles de croissance de Tanaka ou logistique (tableaux 6 à 11; figures 5 à 10). Avec un taux de récolte de 2 %, les densités simulées demeurent stables au cours de la période de 100 ans. Lorsque le taux de récolte dépasse 2 %, les densités simulées commencent à diminuer à des taux plus élevés. En général, au-dessus du taux de récolte de 2 %, les densités simulées d'oursin rouge mature diminuent le plus rapidement au cours des 20 à 40 premières années, puis elles se stabilisent.

Parmi les trois régions, les estimations des densités dérivées des relevés étaient les plus élevées à Haida Gwaii (tableaux 6 et 7; figures 5 et 6). La densité médiane initiale d'oursin rouge mature au cours de l'année zéro était de 2,7 oursins rouges/m² selon le modèle de croissance de Tanaka et de 2,4 oursins rouges/m² selon le modèle de croissance logistique. En doublant le taux de récolte de 2 % à 4 %, on obtient une probabilité de 0,5 % et de 0 % que la densité d'oursin rouge mature tombe en deçà du PRS et du PRL, respectivement, dans 100 ans avec les modèles de croissance de Tanaka et logistique (tableaux 12, 13, 18 et 19; figures 5 et 6). L'augmentation du taux de récolte à 8 % entraîne une probabilité de 7,5 % et de 0 % que la densité d'oursin rouge mature tombe en deçà du PRS et du PRL, respectivement, dans 100 ans, avec les deux modèles de croissance. En portant le taux de récolte à 24 %, on obtient une probabilité de 27 % et de 3 à 3,5 % que la densité d'oursin rouge mature tombe en deçà du PRS et du PRL, respectivement, dans 100 ans, avec les deux modèles de croissance.

Sur la côte nord, l'estimation initiale de la densité médiane d'oursin rouge mature au cours de l'année zéro était d'environ 1,9 oursin rouge/m² avec les deux modèles de croissance (tableaux 8 et 9; figures 7 et 8). En doublant le taux de récolte pour passer de 2 % à 4 %, on obtient une probabilité de 0 % que la densité d'oursin rouge mature tombe en deçà du PRS et du PRL dans 100 ans avec le modèle de croissance de Tanaka, et une probabilité de 1,5 % et de 0 % avec le modèle de croissance logistique (tableaux 14, 15, 20 et 21; figures 7 et 8). La simulation d'un taux de récolte de 24 % produit une probabilité de 35 % et de 2 à 2,5 % que la densité médiane tombe en deçà du PRS et du PRL, respectivement, dans 100 ans, avec les deux modèles de croissance.

Les estimations initiales de la densité médiane d'oursin rouge mature au cours de l'année zéro étaient les plus faibles dans les eaux intérieures de la côte sud, soit 0,7 oursin rouge/m² et 0,9 oursin rouge/m² avec les modèles de croissance de Tanaka et logistique, respectivement (tableaux 10 et 11; figures 9 et 10). Dans cette région, pour un taux de récolte donné, le modèle de Tanaka produit des déclin plus rapides et des densités plus faibles. Comme pour les autres régions, en doublant le taux de récolte pour passer de 2 % à 4 %, on obtient une probabilité de 0 % que la densité d'oursin rouge mature dépasse le PRL dans 100 ans (tableaux 16, 17, 22 et 23; figures 9 et 10). Cependant, le taux de récolte de 4 % produit une probabilité de 62,5 % et de 35 % que la densité d'oursin rouge mature tombe en deçà du PRS dans 100 ans avec les modèles de croissance de Tanaka et logistique, respectivement. Avec un taux de récolte de 24 %, les modèles de croissance de Tanaka et logistique produisent une probabilité de 97 % et de 55 % que la densité d'oursin rouge mature tombe en deçà du PRS et du PRL, respectivement, dans 100 ans. Pour atteindre une probabilité estimée de dépassement du PRS dans 100 ans inférieure ou égale à 1 %, les divers taux de récolte appropriés seraient les suivants : ≤ 4 % à Haida Gwaii avec les deux modèles de croissance, ≤ 4 % selon le modèle de croissance de Tanaka et ≤ 2 % selon le modèle de croissance logistique pour la côte nord, < 2 % selon le modèle de croissance de Tanaka et ≤ 2 % selon le modèle de croissance logistique pour les eaux intérieures de la côte sud (tableaux 18 à 23; figures 5 à 10).

4.2 ÉTAT DU STOCK

L'exclusion des quadrats qui ne sont pas l'habitat de l'oursin rouge, selon notre définition de l'habitat de l'oursin rouge fondée sur les données sur le substrat décrites à la section 3.4 (substrat de gravier ou de cailloux plus gros, et absence de boue), a donné lieu à l'exclusion de 26 % du nombre total de quadrats et de 1 % du nombre total d'oursins rouges.

	Quadrat (n)	% de quadrats	Oursins rouges (n)	% d'oursins rouges
Tous les quadrats	70 367	100 %	85 852	100 %
Quadrats de l'habitat de l'oursin rouge	52 014	74 %	84 999	99 %
Quadrats de l'habitat n'appartenant pas à l'oursin rouge	18 353	26 %	853	1 %

Les populations d'oursins rouges sont supérieures au PRS, et situent donc dans la zone saine, lorsqu'on les évalue à l'échelle spatiale régionale et lorsqu'on les combine. Les médianes de la distribution d'échantillonnage selon la méthode d'autoamorçage de la densité moyenne d'oursin rouge mature, dans tous les quadrats déterminés comme un habitat de l'oursin rouge, étaient les suivantes :

- 2,51 oursins rouges/m² (IC à 95 % : 2,11-3,25) pour Haida Gwaii
- 1,70 oursin rouge/m² (IC à 95 % : 1,57-1,95) pour la côte nord continentale
- 0,89 oursin rouge/m² (IC à 95 % : 0,81-1,06) pour les eaux intérieures de la côte sud
- 1,44 oursin rouge/m² (IC à 95 % : 1,37-1,61) pour les trois régions combinées

4.3 INCERTITUDES

Les sources d'incertitude qui n'ont pas été quantitativement incorporées dans cette détermination des points de référence provisoires et des options pour la pêche de l'oursin rouge en C.-B. sont notamment les suivantes.

4.3.1 État d'équilibre

On a supposé que la distribution des DT des données regroupées était en équilibre au taux de récolte de 2 %. Il s'agit là d'une hypothèse courante des modèles d'exploitation des pêches et elle était nécessaire pour les modèles élaborés dans le présent document. Nous ne nous attendons pas à ce que la faible intensité d'exploitation ait causé d'importantes variations de la dynamique des populations. L'hypothèse d'équilibre devrait donc être acceptable. D'autres facteurs environnementaux changeants comme la température de l'eau de mer, l'acidification des océans (voir la section 4.3.4 sur les changements climatiques) et la diminution récente de la prédation causée par la maladie du dépérissement des étoiles de mer (Harvell *et al.* 2019, Burt *et al.* 2018, Schultz *et al.* 2016, Hewson *et al.* 2014) pourraient avoir influencé à des degrés divers différentes catégories de tailles d'oursin rouge, mais nous n'avons pas pu évaluer leurs effets sur l'état d'équilibre.

Nous avons également supposé un taux de récolte constant de 2 %, mais cela n'a peut-être pas été le cas. De 1994 à 1997, les taux de récolte ont été légèrement supérieurs à 2 % en raison de totaux autorisés des captures (TAC) et de débarquements plus élevés dans l'ensemble, et à l'inverse, de 2006 à 2013, les débarquements ont diminué en raison de la faible demande du marché (MPO 2018a). Dans l'ensemble, la variation autour du niveau de capture de 2 % était faible.

4.3.2 Variation du recrutement

Nous avons supposé que la distribution des densités de recrutement (les densités d'oursin rouge dont le DT se situe dans la fourchette des DT de recrutement établie qui ont été observées lors des relevés) dans les sous-secteurs de gestion des pêches du Pacifique faisant l'objet de relevés reflète la distribution annuelle des densités de recrutement pour la région entière. Dans le cadre du processus de simulation, les densités annuelles de recrutement ont été générées aléatoirement d'après des distributions de probabilités log-normales élaborées en fonction des densités d'oursin rouge observées lors des relevés. Cependant, il existe des preuves de fortes vagues de recrutement suivies ou précédées d'un recrutement presque nul dans certaines populations d'oursin rouge (Henry Carson, Washington Dept. Fish and Wildlife, Olympia, WA, 2019, comm. pers.). Si l'hypothèse des événements de recrutement générés aléatoirement ne se confirmait pas, les résultats des modèles seraient touchés. La gravité des effets dépendrait de l'écart entre ces deux distributions.

4.3.3 Populations observées par rapport aux populations simulées

La comparaison des distributions des tailles de la population observée pendant les relevés et de la population simulée a montré que les modèles pouvaient prédire assez bien la proportion d'oursins rouges dont le DT mesure moins de 135 à 140 mm, mais qu'ils sous-estimaient la proportion d'oursins rouges dont le DT est supérieur à 140 mm (figure 3). Bien que l'on ignore les conséquences de la sous-estimation de la proportion d'oursins rouges dont le DT est supérieur à 140 mm, nous avons des raisons de croire que les répercussions seraient relativement insignifiantes. Les résultats des modèles sont exprimés en densités plutôt qu'en biomasse. La sous-estimation de la proportion d'oursins rouges plus gros (DT > 140 mm) entraînerait une sous-estimation de la biomasse d'oursin rouge mature, car les individus plus gros auraient un poids plus élevé en moyenne. Cependant, cette sous-estimation devrait avoir peu d'incidence sur l'estimation des densités d'oursin rouge mature.

4.3.4 Changements climatiques

Les changements climatiques auront sans doute des effets très variés sur les océans et les organismes marins. Par exemple, l'augmentation des concentrations de CO₂ (pCO₂) dans l'océan qui découle de l'augmentation du CO₂ atmosphérique causée par des sources anthropiques diminue le pH de l'océan; cet effet est appelé acidification des océans (AO). Bien que d'autres recherches soient nécessaires pour mieux comprendre les effets de l'acidification des océans, les données existantes indiquent des effets négatifs directs et indirects potentiels sur les échinodermes (Haigh *et al.* 2015). Par exemple, dans une expérience en laboratoire réalisée avec l'oursin *Paracentrotus lividus*, l'augmentation des pCO₂ a eu pour effet de réduire l'épaisseur de la coquille (Asnaghi *et al.* 2013). Une coquille moins épaisse pourrait entraîner une mortalité plus élevée en raison de la prédation et des tempêtes. L'acidification des océans pourrait également influencer sur la reproduction et le développement précoce. Dans des conditions d'acidification des océans, il a été démontré que la concentration de spermatozoïdes chez l'oursin rouge doit être plus élevée pour que la fertilisation réussisse (Reuter *et al.* 2011). Les descendants d'oursins violets femelles (*Strongylocentrotus purpuratus*) conditionnés expérimentalement à des niveaux de pH faibles semblables à ceux observés en cas d'acidification des océans étaient plus gros (Wong *et al.* 2018). Dans d'autres études, des marqueurs génétiques ont été utilisés pour déduire les effets physiologiques possibles de l'acidification des océans. O'Donnell *et al.* (2009) ont mesuré le changement d'expression d'une protéine moléculaire chez l'oursin rouge et ont établi un lien entre ce changement et une capacité réduite de gestion du stress thermique dans des conditions d'acidification des océans.

Les algues sont la principale source de nourriture des oursins, et ces derniers présentent des taux de croissance plus élevés lorsqu'ils se nourrissent d'algues calcifiantes (Asnaghi *et al.* 2013). L'acidification des océans ayant une incidence négative sur les macroalgues calcifiantes en réduisant leur croissance et la dissolution de leurs squelettes de carbonate, les taux de croissance des oursins peuvent également être diminués (Asnaghi *et al.* 2013). De plus, les changements climatiques provoquent un réchauffement des températures de l'eau, ce qui pourrait entraîner une diminution des taux de croissance et de récupération du varech (Krumhansl *et al.* 2017). La hausse de la température de la mer pourrait entraîner une intensification de la fréquence des éclosions de maladies en raison de la diminution de l'immunité de l'hôte, de la virulence accrue des agents pathogènes ou de l'expansion de l'aire de répartition des agents pathogènes (Burge *et al.* 2014).

4.3.5 Dynamique de la métapopulation

Les populations d'oursin rouge forment une métapopulation. Il n'est pas possible de définir une relation stock-recrutement au sens traditionnel du terme, parce que la durée du stade de larve planctonique est longue, et qu'il est peu probable que le recrutement à un endroit soit lié à la capacité de reproduction au même endroit. En l'absence d'information fondée sur des exercices de modélisation des déplacements des larves d'oursin rouge en Colombie-Britannique, il n'est pas possible de déterminer quelles populations servent de sources de recrutement pour les autres. Bien que les études présentées dans le présent document pour éclairer la détermination des points de référence (tableau 5) révèlent une persistance à de faibles densités de population, ni elles ni le présent document ne tentent de tenir compte de la dynamique des populations source/puits. De plus, la dynamique des larves pourrait être touchée par les différences écologiques dans les zones avec et sans loutres de mer. Par exemple, l'abondance accrue d'algues dans les zones de loutres de mer pourrait avoir une incidence sur le transport et la rétention des larves.

4.3.6 Effets d'Allee

Les espèces qui expulsent leurs produits sexuels dans la colonne d'eau, telles que l'oursin rouge, peuvent être sujettes aux effets d'Allee avant et après la dispersion (Quinn *et al.* 1993, Allee 1931). De faibles densités d'oursins rouges adultes peuvent causer l'effet prédispersion d'une fertilisation moins efficace, car les gamètes ne se rencontrent pas (notre modèle ne tient pas compte de ce facteur). Le succès du recrutement après la dispersion peut également diminuer lorsque les densités d'oursins rouges adultes sont faibles, car les couverts formés par les épines des adultes peuvent protéger les juvéniles des prédateurs (notre modèle intègre ce facteur).

Les effets d'Allee varient selon l'endroit et sont influencés par la fréquence des tailles rattachées à des régions particulières, la croissance annuelle et la survie en fonction de l'emplacement (Ebert *et al.* 1998). Ebert *et al.* (1998) ont modélisé la croissance de la population d'oursin rouge de l'Oregon et de l'État de Washington et de la Californie, et ont constaté que les effets d'Allee semblaient plus importants pour le taux de croissance de la population en Californie que dans l'Oregon et l'État de Washington. Une réduction de 99 % du taux de fertilisation n'a modifié le taux de croissance de la population que de 3 % en Oregon et dans l'État de Washington, comparativement à près de 10 % en Californie. Ils concluent que la protection des gros individus serait très importante pour le maintien à long terme des populations de l'Oregon et de l'État de Washington, alors que les gros animaux sont moins importants pour le maintien des populations de la Californie. On ignore dans quelle mesure les variations des taux de fertilisation auraient une incidence sur les taux de croissance de la population en Colombie-Britannique.

4.3.7 Loutres de mer

Les modèles présentés dans le présent document ne tiennent pas compte des répercussions de la prédation par la loutre de mer sur les populations d'oursin rouge. L'abondance et l'aire de répartition de la loutre de mer augmentent dans le centre de la côte nord (Nichol *et al.* 2015) et, à Haida Gwaii, la fréquence des observations de loutres de mer individuelles a augmenté au cours de la dernière décennie et plus d'une loutre de mer a été observée à deux endroits pendant cette période (Lynn Lee, écologiste marine, Parcs Canada Gwaii Haanas, Haida Gwaii, Colombie-Britannique, 2019, comm. pers.). La prédation exercée par la loutre de mer sur l'oursin rouge dans les zones que les loutres recolonisent devrait entraîner une diminution importante de l'abondance de l'oursin (Lee *et al.* 2018). On s'attend à ce que les trajectoires des populations d'oursin rouge dans les zones que les loutres de mer recolonisent diffèrent des projections de population d'oursin rouge présentées dans le présent document.

5 DISCUSSION

Les données de 22 années de relevés indépendants de la pêche et de nouveaux modèles ont été utilisées pour mettre à jour les options de taux de récolte pour la pêche de l'oursin rouge en Colombie-Britannique. Cette étude a également exploré le concept de dommage sérieux pour déterminer un PRL et un PRS, en alignant cette pêche sur le Cadre pour la pêche durable et le [Cadre décisionnel pour les pêches intégrant l'approche de précaution](#) (Approche de précaution du MPO) (MPO 2009). L'état actuel des stocks a été évalué avec les échelles géographiques régionales ainsi qu'avec ces zones combinées.

Les oursins rouges sont des animaux qui vivent longtemps et, en l'absence de prédation par les loutres de mer, la mortalité naturelle est faible. La plupart des modèles supposent un taux de mortalité naturelle constant pour toutes les tailles et tous les âges. Il s'agit d'une simplification nécessaire et acceptée, mais elle n'est probablement pas vraie, surtout dans le cas des animaux à grande longévité (Hoenig 1983).

Dans cette étude, lorsque le taux de mortalité naturelle instantanée (M) de $0,12 \text{ y}^{-1}$ a été appliqué aux oursins rouges de taille inférieure à la taille légale et de taille légale, le modèle a produit des proportions beaucoup plus faibles d'oursin rouge plus gros et de taille légale par rapport aux observations sur le terrain. L'ajustement du modèle a été amélioré lorsque le taux M relatif à l'oursin rouge de taille légale a été réduit à $0,03 \text{ y}^{-1}$ pour la côte nord continentale et Haida Gwaii, et à $0,012 \text{ y}^{-1}$ (selon le modèle de croissance logistique) et $0,018 \text{ y}^{-1}$ (selon le modèle de croissance de Tanaka) pour les eaux intérieures de la côte sud.

Cette diminution de la mortalité naturelle chez les gros oursins rouges est plausible, car il a été démontré qu'en l'absence de loutres de mer, les taux de prédation des gros oursins rouges étaient réduits (Burt *et al.* 2018, Tegner et Dayton 1981). La loutre de mer et le solaster géant (*Pycnopodia helianthoides*) sont les principaux prédateurs de l'oursin rouge. Burt *et al.* (2018) ont examiné l'incidence de la loutre de mer et du solaster géant sur l'abondance et la taille des oursins rouges sur la côte centrale de la Colombie-Britannique. Leur étude a révélé que les loutres de mer consommaient rapidement de « gros » oursins rouges ($DT > 80 \text{ mm}$), alors que les solasters géants consommaient des oursins rouges de petite taille et de taille moyenne (DT allant de 10 à 70 mm). Nos données ont été recueillies à des endroits où la loutre de mer n'était pas encore établie, où les oursins rouges plus gros atteignaient une taille refuge qui les protégeait de la prédation exercée par l'étoile de mer, ce qui a donné lieu à un taux de mortalité naturelle plus faible. Il convient de noter qu'au cours des dernières années, la mortalité des oursins rouges de petite taille et de taille moyenne a également diminué lorsque la maladie du dépérissement des étoiles de mer a entraîné la mortalité massive du solaster géant et d'autres étoiles de mer, à partir de 2013 sur la côte sud, se propageant ensuite sur l'ensemble de la côte

de la Colombie-Britannique en 2015 (Harvell *et al.* 2019, Burt *et al.* 2018, Schultz *et al.* 2016, Hewson *et al.* 2014).

La diminution de la mortalité des gros oursins rouges a également été documentée dans le sud de la Californie où, en l'absence de loutres de mer, les oursins rouges dont le DT était supérieur à 90 mm ont atteint une taille refuge partielle qui les protégeait contre leurs prédateurs, à savoir la langouste (*Panulirus interruptus*) et le labre californien (*Semicossyphus pulcher*) [Tegner et Dayton 1981].

Les taux de mortalité naturelle instantanée pour l'oursin rouge de taille légale qui ont montré une bonne adéquation du modèle de croissance avec l'échantillon d'oursins rouges observé pour la côte nord continentale et Haida Gwaii n'ont pas montré une bonne adéquation pour les eaux intérieures de la côte sud. Afin d'améliorer l'ajustement des modèles pour les eaux intérieures de la côte sud, la mortalité naturelle instantanée de l'oursin rouge de taille légale a été modifiée à environ la moitié de la valeur qui a produit une bonne adéquation pour la côte nord continentale et Haida Gwaii. La mortalité naturelle a été réduite à $0,012 \text{ y}^{-1}$ (pour le modèle de croissance logistique) et à $0,018 \text{ y}^{-1}$ (pour le modèle de croissance de Tanaka) pour les eaux intérieures de la côte sud, comparativement à $0,03 \text{ y}^{-1}$ pour la côte nord continentale et Haida Gwaii.

Les points de référence sont utilisés dans les stratégies de pêche comme repères quantitatifs de conservation sur lesquels reposent les mesures de gestion prises. Pour déterminer les points de référence relatifs à l'oursin rouge en Colombie-Britannique, cette étude explore le concept de dommage sérieux défini par l'approche de précaution du MPO comme étant le point auquel « la probabilité est élevée que la productivité soit suffisamment altérée pour entraîner de graves dommages » (MPO 2009). L'objectif de l'approche de précaution est d'éviter tout dommage sérieux et de maintenir les stocks dans la zone saine, c'est-à-dire à un niveau supérieur au PRS (MPO 2009). L'incidence des divers taux de récolte est déterminée comme étant la probabilité de dépassement des points de référence supérieurs du stock et des points de référence limites. Le Secteur des sciences du MPO fournit des avis sur divers taux de récolte à la Gestion des pêches du MPO, qui établit ensuite les taux en fonction des probabilités de dépassement des points de référence et en tenant compte des objectifs de gestion, des incertitudes décrites à la section 4.3 et des facteurs socio-économiques.

La pêche de l'oursin rouge de la Colombie-Britannique comporte de nombreux aspects qui favorisent la conservation. Par exemple, seule une partie du stock est vulnérable à la récolte. Dans la plupart des zones, les niveaux de la population dépassent ce que la nourriture disponible (varech) peut soutenir; par conséquent, de nombreux oursins présentent un développement de leur rogue (gonades) faible ou nul. Puisque la pêche de l'oursin rouge est une récolte de rogue, seuls les individus dont les œufs sont de la plus haute qualité sont ciblés; il reste donc une réserve naturelle d'oursins rouges après la récolte commerciale. Ces individus développent des gonades lorsqu'ils accèdent aux ressources alimentaires. Il existe également une réserve naturelle d'oursins rouges composée d'oursins dont la taille est inférieure à la limite de taille minimale et d'oursins dont le DT est supérieur à 140 mm, soit la taille maximale visée pour la récolte selon le marché (Campbell *et al.* 2001). Il existe une autre réserve naturelle supplémentaire d'oursins rouges, dont les oursins sont inaccessibles aux pêcheurs parce qu'ils se trouvent dans les fissures et les crevasses et à des profondeurs supérieures à 18 m environ, la profondeur maximale possible pour la pêche commerciale en plongée sous-marine.

Pour comprendre l'état d'un stock, il est essentiel d'examiner les variations de l'abondance sur de longues périodes (Lee *et al.* 2018). Les données empiriques ne sont peut-être disponibles que depuis quelques années ou décennies, mais il faut tenir compte de l'abondance sur une plus longue période pour bien comprendre les tendances des populations (Lee *et al.* 2018). Une vision à court terme, sans tenir compte du passé, peut conduire à tirer des conclusions erronées sur la situation et les tendances d'une espèce (Lee *et al.* 2018, Pauly 1995).

Les loutres de mer sont d'importants prédateurs clés qui suppriment les densités d'oursin (Burt *et al.* 2018, Lee *et al.* 2016, Watson et Estes 2011, Kvitek *et al.* 1989, Pearse et Hines 1987, Estes et Palmisano 1974, Lowry et Pearse 1973). Les preuves archéologiques et les connaissances écologiques traditionnelles indiquent qu'avant le commerce de la fourrure et l'arrivée des Européens, l'abondance de la loutre de mer était relativement élevée sur de plus grandes zones côtières de la Colombie-Britannique (Lee *et al.* 2018). Il est donc raisonnable de conclure que l'abondance de l'oursin rouge était relativement faible avant la disparition de la loutre de mer en Colombie-Britannique. Cependant, il est important de reconnaître que la chasse de la loutre de mer par les Premières Nations a probablement entraîné la formation de zones localisées où l'abondance de l'oursin est plus élevée et plus faible (Corbett *et al.* 2008).

Pour obtenir une estimation des densités d'oursin rouge en Colombie-Britannique avant la disparition de la loutre de mer, nous avons examiné les densités d'oursin rouge aux endroits où la loutre de mer existait depuis au moins cinq ans. Il s'agit d'un délai raisonnable, puisque dans les zones recolonisées par les loutres de mer, les densités d'oursins diminuent sur une période d'un à cinq ans, puis persistent à de faibles densités (Lee *et al.* 2016, Watson et Estes 2011, données inédites du MPO). Notre compilation des densités d'oursin rouge dans les zones où la loutre de mer était établie depuis au moins cinq ans a révélé des densités moyennes allant de 0 à 4,01 oursins rouges/m², avec une moyenne de 0,48 ± 0,20 (ET) et une médiane de 0,06 (tableau 5). Nous avons choisi la valeur de 0,3 oursin rouge/m² de Watson et Estes (2011) comme PRL raisonnable, parce qu'elle provenait de la plus longue série chronologique (25 ans), qu'il s'agissait de la valeur la plus haute de la série chronologique, et que l'étude provenait de la Colombie-Britannique. Les événements de recrutement pouvant faire considérablement varier le nombre de petits oursins rouges, nous proposons que le PRL soit fixé à 0,3 oursin rouge mature (DT ≥ 50 mm)/m². Il est plus conservateur d'appliquer le seuil de densité uniquement aux oursins rouges matures.

Les résultats du modèle pour la côte sud ont révélé des probabilités plus élevées de dépassement des points de référence pour une année donnée, pour un taux de récolte donné, par rapport aux deux autres régions. La région de la côte sud se distingue des autres régions en ce sens que les densités y sont généralement plus faibles et que son historique des récoltes est plus long. Elle est aussi plus protégée du vent et des vagues, et possède des zones où les courants de marée sont élevés.

En général, les résultats plus conservateurs (c.-à-d. que les densités prévues d'oursin rouge mature seraient plus faibles et la probabilité de dépassement des points de référence serait plus élevée pour une année précise et un taux de récolte donné) étaient obtenus avec le modèle logistique utilisé pour la côte nord continentale et Haida Gwaii et avec le modèle de Tanaka utilisé pour les eaux intérieures de la côte sud. Les deux modèles de croissance se comportent à peu près de la même façon pour l'oursin rouge dont le DT est supérieur à 30 mm, mais très différemment pour les petits oursins rouges. Le modèle de croissance de Tanaka révèle que le taux de croissance augmente lorsque le DT des petits oursins rouges augmente, tandis que le modèle de croissance logistique indique à peu près le même taux de croissance pour les petits oursins rouges. Les deux fourchettes des diamètres du test de recrutement estimées à l'aide de ces deux modèles de croissance différents sont assez uniformes pour la côte nord continentale et Haida Gwaii. Cependant, les deux fourchettes des diamètres du test de recrutement pour les

eaux intérieures de la côte sud sont assez différentes. Il y a une forte proportion de quadrats avec de faibles densités de petits oursins rouges ($DT < 30$ mm) sur les eaux intérieures de la côte sud. Les taux de croissance différents des petits oursins rouges prévus par les deux modèles de croissance ont probablement causé cette grande différence dans les fourchettes des diamètres du test de recrutement pour les eaux intérieures des eaux intérieures de la côte sud. Par conséquent, l'utilisation des deux différentes fourchettes des diamètres du test de recrutement a donné lieu à des différences considérables dans les résultats des modèles en ce qui a trait aux variations des densités d'oursin rouge et aux probabilités de dépassement des points de référence biologiques pour un taux de récolte donné.

L'échelle spatiale à laquelle évaluer l'état des stocks est influencée par la structure de la population. Les connaissances sur la structure des populations d'oursin rouge en Colombie-Britannique sont limitées, mais une longue période larvaire pélagique de six à huit semaines semble indiquer qu'une dispersion étendue est possible et que les populations sources et de naissains peuvent être éloignées. Miller *et al.* (2006) n'ont trouvé aucune preuve de sous-structuration génétique dans les populations d'oursin rouge en Colombie-Britannique. Eu égard à l'existence d'une population d'oursin rouge génétiquement homogène, nous suggérons un ensemble de points de référence pour les populations d'oursin rouge en Colombie-Britannique. Nous avons évalué l'état des stocks d'oursins rouges en Colombie-Britannique sur une échelle spatiale en fonction des régions, car celles-ci sont grandes, géographiquement distinctes et parce que les densités d'oursins rouges variaient beaucoup entre ces régions. Nous avons également évalué l'état du stock de toutes ces régions réunies.

L'état du stock d'oursins rouges est supérieur au PRS et au PRL dans les régions combinées, ainsi que dans chacune des trois régions étudiées dans le présent document (Haida Gwaii, côte nord continentale et eaux intérieures de la côte sud), et se trouve donc dans la zone saine. Les densités dans la région des eaux intérieures de la côte sud sont généralement plus faibles que celles dans les régions de la côte nord continentale et de Haida Gwaii, mais toutes sont supérieures au PRS. L'estimation de la densité moyenne d'oursin rouge mature est plus de huit fois supérieure au PRL, soit 2,51 oursins rouges/m² pour Haida Gwaii; presque six fois supérieure au PRL, soit 1,70 oursin rouge/m² pour la côte nord continentale; et presque trois fois supérieure au PRL, soit 0,89 oursin rouge/m² pour les eaux intérieures de la côte sud. Ces estimations sont les meilleures disponibles à l'heure actuelle, mais il faut interpréter ces valeurs avec prudence. Tout d'abord, les données de tous les lieux utilisés pour les relevés et de toutes les années (de 1996 à 2016) d'une région ont été regroupées, ce qui signifie que les populations d'oursin rouge étaient censées être en équilibre dans ces régions, à un taux de récolte de 2 %. De plus, bien que les données présentées dans le présent document couvrent une vaste échelle spatiale et temporelle, les zones choisies pour effectuer des relevés pourraient ne pas représenter la région ou la côte dans son ensemble.

Le programme de relevés de l'oursin rouge visait à estimer la biomasse à l'échelle du secteur ou du sous-secteur de gestion des pêches afin de fournir des options de quotas, et non des données représentatives pour évaluer l'état des stocks. Il faudra élaborer un nouveau plan de relevé qui lie les composantes spatiales et temporelles de la taille et de la structure de la population afin d'accroître la confiance dans l'évaluation de l'état du stock. Des données chronologiques représentatives des régions seront nécessaires pour déceler les variations au fil du temps. Pêches et Océans Canada élabore actuellement un nouveau relevé plurispécifique sur les invertébrés benthiques marins conçu spécialement pour produire des données chronologiques à utiliser pour la surveillance et l'évaluation de l'état des stocks d'invertébrés marins. Cette nouvelle approche de surveillance sera examinée dans le cadre du processus d'examen régional par les pairs du Secrétariat canadien de consultation scientifique.

Les prochaines étapes du programme de relevés de l'oursin rouge sont liées à l'initiative de planification stratégique de l'évaluation des stocks actuellement entreprise au sein du Ministère à l'échelle du Secteur des sciences de Pêches et Océans Canada. Cette initiative vise à :

- Rendre les pêches de la région du Pacifique conformes à l'approche de précaution et au Cadre pour la pêche durable du MPO;
- Établir un équilibre entre les obligations légales de conservation et les besoins en matière de pêche durable, y compris les intérêts des Premières Nations, de l'industrie et des pêches récréatives;
- Passer d'une approche axée sur une seule espèce à une approche plurispécifique afin d'intégrer les interactions des écosystèmes et de tenir compte des répercussions des changements climatiques;
- Maximiser l'efficacité et éviter le dédoublement des efforts en matière de relevé au sein du Secteur des sciences.

L'initiative comprend également la désignation des intervenants et d'autres parties intéressées, dans le cadre du processus d'établissement des priorités des activités scientifiques et de leur adaptation en fonction des nouveaux enjeux, et la communication avec ceux-ci.

Un nouvel enjeu pour le Ministère a trait aux modifications apportées à la *Loi sur les pêches* en 2018 et à l'élaboration subséquente du projet de loi C-68. Le projet de loi C-68 rendra bientôt obligatoire la mise en œuvre de l'approche de précaution du MPO (MPO 2009). Le Secteur des sciences du MPO sera tenu de faire rapport sur l'état du stock d'oursins rouges par rapport aux points de référence.

Par conséquent, les prochaines étapes du programme de relevés de l'oursin rouge consistent à poursuivre l'élaboration d'un programme de surveillance de l'état des stocks, ce qui comprendra des études sur les échelles spatiales appropriées auxquelles évaluer l'état des stocks. Les recherches futures porteront également sur les répercussions des loutres de mer sur les populations d'oursin rouge, l'intégration des variables environnementales dans les évaluations des stocks et l'application d'une approche écosystémique à l'évaluation des stocks. La recherche sur l'oursin rouge dans l'État de Washington a fourni des données probantes établissant une vague de recrutement importante, avec de nombreuses années de recrutement presque nul au cours des périodes intermédiaires (Henry Carson, Washington Dept. Fish and Wildlife, Olympia, WA, 2019, comm. pers.). Les travaux futurs en Colombie-Britannique comprendront des recherches sur les tendances de recrutement de l'oursin rouge. De plus, le programme de relevés de l'oursin rouge explorera les évaluations à données limitées et d'autres outils d'évaluation qui pourraient permettre une évaluation des points de référence provisoires recommandés dans le présent document, ainsi que la possibilité de mettre à l'essai des règles de contrôle des prises en fonction de différents objectifs de gestion au moyen d'évaluations de la stratégie de gestion.

6 RECOMMANDATIONS

1. Établir le PRL à 0,3 oursin rouge mature ($DT \geq 50$ mm)/m² dans l'habitat de l'espèce.
2. Établir le PRS à 0,6 oursin rouge mature ($DT \geq 50$ mm)/m² dans l'habitat de l'espèce.
3. Tenir compte des probabilités de dépassement des points de référence indiqués dans les tableaux de décision 12 à 23 afin d'établir les taux de récolte régionaux d'oursin rouge.
4. Élaborer un plan de relevé et un programme de surveillance pour l'oursin rouge qui permettra de recueillir des données chronologiques sur l'abondance et la taille dans des

zones représentatives de la côte, aux fins de la surveillance des populations et de l'évaluation de l'état des stocks.

7 REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier Dominique Bureau, Andrew Edwards, Wayne Hajas, Shannon Obradovich, Pauline Ridings et Erin Wylie, qui formaient le groupe de travail technique qui a fourni des conseils et une orientation tout au long de l'élaboration du présent document. Nous reconnaissons la contribution supplémentaire de Wayne Hajas, qui a calculé les densités spatiales régionales d'oursin rouge mature pour le présent document. Nous remercions Jenn Burt, Henry Carson, Taylor Frierson, Lynn Lee et Jane Watson qui nous ont fourni des données et des estimations de la densité d'oursin rouge provenant de leurs projets de recherche. Nous remercions également les deux examinateurs officiels, M. Rénald Belley (MPO – région du Québec) et M. Henry Carson (WDFW), pour leurs précieux commentaires.

8 RÉFÉRENCES CITÉES

- Allee, W.C. 1931. Animal aggregations. A study in general sociology. University of Chicago Press, Chicago, Ill.
- Asnaghi V, Chiantore M, Mangialajo L, Gazeau F, and P. Francour P. 2013. Cascading effects of ocean acidification in a rocky subtidal community. PLoS ONE 8: e61978. doi: 10.1371/journal.pone. 0061978 PMID: 23613994
- Bernard, F.R. and D.C. Miller. 1973. Preliminary investigation of the red sea urchin (*Strongylocentrotus franciscanus*, Agassiz) resources of British Columbia. Fish. Res. Board Can. Tech. Rep. 400. 37 p.
- Bigg, M.A. and I.B. MacAskie. 1978. Sea Otters Re-established in British Columbia. J. Mammalogy 59:874–876.
- Breen, P.A., Adkins, B.E. and D.C. Miller. 1978. Recovery rate of three exploited sea urchin populations from 1972 to 1977. Can. Manuscr. Rep. Fish. Mar. Ser. 1446: 27 p.
- Breen, P., Carson, T., Foster, J. and E. Stewart. 1982. Changes in subtidal community structure associated with British Columbia Sea Otter transplants. Mar. Ecol. Prog. Ser. 7(1): 13-20.
- Breen, P.A., Miller, D.C. and B.E. Adkins. 1976. An examination of harvested sea urchin populations in the Tofino area. Fish. Res. Board Can. Manuscr. Rep. 1401: 23 p.
- Bureau, D., Campbell, A. and W.C. Hajas. 2000a. Survey of red sea urchin populations in the Kelsey Bay area, Johnstone Strait, British Columbia, 1999. Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2542: 19 p.
- Bureau, D., A. Campbell, and W. C. Hajas. 2000b. Survey of red sea urchin populations near Comox, Denman Island and Hornby Island, British Columbia, 1999. Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2546: 17 p.
- Bureau, D., A. Campbell, and W. C. Hajas. 2000c. Survey of red sea urchin populations in the Larsen Harbour and Kingkown Inlet areas, Banks Island, British Columbia, 1997. Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2551: 19 p.
- Bureau, D., Campbell, A., Hajas, W.C., and Ayers, C.A. 2000d. Survey of red sea urchin populations in the Gulf Islands, Strait of Georgia, British Columbia, 1998 and 1999. Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2552: 29 p.

-
- Burt, J.M, Tinker, M.T., Okamoto, D.K., Demes, K.W., Holmes, K. and A.K. Salomon. 2018. [Sudden collapse of a mesopredator reveals its complementary role in mediating rocky reef regime shifts](#). Proc. R. Soc. B. 285:20180553. (Consulté le 10 juillet 2019)
- Campbell, A. and R.M. Harbo. 1992. The sea urchin fisheries in British Columbia, Canada. p. 191-199. In: T. Yanagisawa, I. Yasumasu, C. Oguro, N. Suzuki and T. Motokawa [eds.]. Biology of Echinodermata. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Campbell, A., Boutillier, J.A. and J. Rogers. 1999a. Discussion on a Precautionary Approach for Management of the Red Sea Urchin Fishery in British Columbia. DFO Can. Stock Assess. Sec. Res. Doc 99/094. 49 p.
- Campbell, A., Hajas, W.C. and D. Bureau. 1999b. Quota Options for the Red Sea Urchin Fishery in British Columbia for Fishing Season 2000/2001. DFO Can. Stock Assess. Sec. Res. Doc 99/201. 35 p.
- Campbell, A., Tzozos, D., Hajas, W.C. and L.L. Barton. 2001. Quota Options for the Red Sea Urchin Fishery in British Columbia for Fishing Season 2002/2003. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2001/141. 47 p.
- Carter, S.K. and G.R. VanBlaricom. 2002. Effects of experimental harvest on red sea urchins (*Strongylocentrotus franciscanus*) in northern Washington. Fish.Bull. 100: 662–673.
- Corbett, D. G., Clausey, D., Clementz, M., Koch, P. L., Doroff, A., Lefevre, C. and D. West. 2008. Aleut hunters, sea otters, and sea cows: three thousand years of interactions in the western Aleutian Islands, Alaska. In T. C. Rick & J. M. Erlandson (Eds.), *Human impacts on ancient marine ecosystems: A global perspective* (pp. 43–75). Berkeley and Los Angeles, CA: University of California Press.
- Cowan, I.M. and C.J. Guiguet. 1960. The Mammals of British Columbia. Second edition. British Columbia Provincial Museum, Victoria, British Columbia, Canada.
- Deweese, C.M. 2003. Sea Urchin Fisheries: A California Perspective. In: J.M. Lawrence and O. Guzman (Editors). Sea Urchins: Fisheries and Ecology. Lancaster, PA: DEStech Pubs. pp 37-55.
- Ebert, E.E. 1968. California sea otter – census and habitat survey. Underwater Naturalist 5(3): 20-23.
- Ebert, T.A. and M.P Russell. 1993. Growth and mortality of subtidal Red Sea Urchins (*Strongylocentrotus franciscanus*) at San Nicolas Island, California, USA: problems with models. Marine Biology 117(1):79-89.
- Ebert, T.A. and J.R. Southon. 2003. Red sea urchins *Strongylocentrotus franciscanus* can live over 100 years: confirmation with A-bomb ¹⁴carbon. Fish. Bull. 101(4): 915-922.
- Ebert, T.A., Schroeter, S.C. and J.D. Dixon. 1998. An analysis of the importance of Allee effects in management of the red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus*. p. 425. In R. Mooi and M. Telford (eds). California and the World Ocean '97: Ocean Resources: An Agenda for the Future.
- Efron, B. and R.J. Tibshirani. 1993. An introduction to the bootstrap. Chapman & Hall, New York, New York.
- Estes, J., and D.O. Duggins. 1995. Sea Otters and Kelp Forests in Alaska: Generality and Variation in a Community Ecological Paradigm. Ecological Monographs, 65(1), 75-100.
- Estes, J.A. and J.F. Palmisano. 1974. Sea Otters: their role in structuring nearshore communities. Science 185: 1058-1060.

-
- Estes, J.A., Tinker, M.T., Williams, T.M. and D.F. Doak. 1998. Killer whale predation on sea otters linking oceanic and nearshore ecosystems. *Science* 282: 473-476.
- Faro, J.B. 1970. A survey of subtidal sea otter habitat off Point Piños, California. M.S. thesis. Humboldt State College. 278 pp.
- Garcia, S., Sparre, P. and J. Csirke. 1989. Estimating surplus production and maximum sustainable yield from biomass data when catch and effort time series are not available. *Fish. Res.* 8(1): 13-23.
- Gulland, J.A. 1971. The fish resources of the ocean. *Fishing News (Books)*, West Byfleet. 255 p.
- Haigh R, Ianson D, Holt C.A., Neate H.E. and A.M. Edwards. 2015. Effects of Ocean [Acidification on Temperate Coastal Marine Ecosystems and Fisheries in the Northeast Pacific](#). *PLoS ONE* 10(2): e011753. (Consulté le 10 juillet 2019).
- Harvell, C.D., Montecino-Latorre, D., Caldwell, J.M., Burt, J.M., Bosley, K., Keller, A., Heron, S.F., Salomon, A.K., Lee, L., Pontier, O., Pattengill-Semmens, C., and J.K. Gaydos. 2019. Disease epidemic and a marine heat wave are associated with the continental-scale collapse of a pivotal predator (*Pycnopodia helianthoides*). *Science Advances* 5: eaau7042.
- Hewson, I., Button J. B., Gudenkauf B. M., Miner B., Newton A. L., Gaydos J.K., Wynne J., Groves C.L., Hendler G., Murray, M., Fradkin, S., Breitbart, M., Fahsbender, E., Lafferty, K., Kilpatrick, A.M., Miner, C.M., Raimondi, P., Lahner, L., Friedman, C.S., Daniels, S., Haulena, M., Marliave, J., Burge, C.A., Eisenlord, M.E. and C.D. Harvell. 2014. Densovirus associated with sea-star wasting disease and mass mortality. *Proc. Natl. Acad. Sci. U S A* 111: 17278–17283.
- Hoenig, J.M. (1983). Empirical use of longevity data to estimate mortality rates. *Fishery Bulletin* 81: 898-903.
- Jamieson, G.S. and C.J. Schwarz. 1998. Survey protocol considerations for the 1995 sea urchin surveys. pp. 69-81. *In*: B.J. Waddell, G.E. Gillespie and L.C. Walther [eds.]. *Invertebrate Working Papers reviewed by the Pacific Stock Assessment Review Committee (PSARC) in 1995. Part 2. Echinoderms. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2215.
- Jamieson, G.S., Sandoval, W., Schwarz, C.J., Taylor C. and R. Routledge. 1998a. Analysis of the 1994 red sea urchin surveys conducted in Heiltsuk Traditional Territory, Pacific Fishery Management Area 7, subareas 18 and 25. pp. 19-31. *In*: B.J. Waddell, G.E. Gillespie and L.C. Walther [eds.]. *Invertebrate Working Papers reviewed by the Pacific Stock Assessment Review Committee (PSARC) in 1995. Part 2. Echinoderms. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2215.
- Jamieson, G.S., Scarf, G., Schwarz, C.J., Taylor, C. and R. Routledge. 1998b. Analysis of 1994 red sea urchin surveys conducted in Aweena K'ola Traditional Territory, subareas of Pacific Fishery Management Area 12. pp. 33-56. *In*: B.J. Waddell, G.E. Gillespie and L.C. Walther [eds.]. *Invertebrate Working Papers reviewed by the Pacific Stock Assessment Review Committee (PSARC) in 1995. Part 2. Echinoderms. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2215.
- Jamieson, G.S., Jones, R., Martel, G, Schwarz, C.J., Taylor, C. and R. Routledge. 1998c. Analysis of 1994 red sea urchin survey conducted in Haida Pacific Fishery Management Area 1. pp. 3-18. *In*: B.J. Waddell, G.E. Gillespie and L.C. Walther [eds.]. *Invertebrate Working Papers reviewed by the Pacific Stock Assessment Review Committee (PSARC) in 1995. Part 2. Echinoderms. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2215.
-

-
- Jamieson, G.S., Cripps, K., Gijssen, M., Greba, L., Jones, R., Martel, G., Sandoval, W., Schwarz, C.J., Taylor, C. and R. Routledge. 1998d. Reanalyses of 1993 red sea urchin surveys in Haida, Heiltsuk, Kitasoo and Tsimshian traditional territories. pp. 57-68. *In*: B. J. Waddell, G. E. Gillespie and L.C. Walther [eds.]. Invertebrate Working Papers reviewed by the Pacific Stock Assessment Review Committee (PSARC) in 1995. Part 2. Echinoderms. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2215.
- Kramer, D.E. and D.M.A. Nordin. 1975. Physical data from a study of size, weight and gonad quality for the red sea urchin (*Strongylocentrotus franciscanus* (Agassiz)) over a one-year period. Fish. Res. Board Can. MS Rep. 1372: 91pp.
- Krumhansl, K.A, Bergman, J.N. and A.K. Salomon. 2017. Assessing the ecosystem-level consequences of a small-scale artisanal kelp fishery within the context of climate-change. *Ecological Applications*. 27(3): 799-813.
- Kvitek, R.G, Shull, D., Canestro, D., Bowlby, E.C. and B. L. Troutman. 1989. Sea Otters and benthic prey communities in Washington State. *Marine Mammal Science* 5(3): 266-280.
- Lance, M. M., Richardson, S.A. and H.L. Allen. 2004. Washington state recovery plan for the Sea Otter. Washington Department of Fish and Wildlife, Olympia. 91 pp.
- Lee, L.C., Thorley, J., Watson, J., Reid, M. and A.K. Salomon. 2018. [Diverse knowledge systems reveal social-ecological dynamics that inform species conservation status. Conservation Letters](#). (Accessed July 10, 2019)
- Lee, L.C., Watson, J.C., Trebilco, R. and A.K. Salomon. 2016. Indirect effects and prey behavior mediate interactions between an endangered prey and recovering predator. *Ecosphere*, 7, e01604.
- Leus, D., Campbell, A., Merner, E., Hajas, W.C., and Barton, L.L. 2014. Framework for Estimating Quota Options for the Red Sea Urchin (*Strongylocentrotus franciscanus*) Fishery in British Columbia Using Shoreline Length and Linear Density Estimates. DFO. Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2013/094. vi + 68 p.
- Lochead, J., Hajas, W., and Leus, D. 2015. Calculation of mean abundance in the Red Urchin Analysis Program and Green Urchin Analysis Program. Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat.Sci. 3065: vi + 41 p
- Lowry, L.F. and J.S. Pearse. 1973. Abalones and Sea Urchins in an area inhabited by Sea Otters. *Mar. Biol.* 23(3): 213-219.
- Miller, K.M, Supernault, K.J., Li, S. and R.E. Withler. 2006. Population structure in two marine invertebrate species (*Panopea abrupta* and *strongylocentrotus franciscanus*) targeted for aquaculture and enhancement in British Columbia. *J. of Shellfish Research* 25(1): 33-42.
- MPO. 2009. [Un cadre décisionnel pour les pêches intégrant l'approche de précaution](#). (Consulté le 22 mars 2018).
- MPO. 2018a. [Oursin rouge en plongée, Région du Pacifique 2018 au 2019 Résumé du Plan de gestion intégrée des pêches](#). (Consulté le 5 janvier 2019).
- MPO. 2018. [Évaluation du stock de Goberge de l'alaska \(*Theragra Chalcogramma*\) pour la Colombie-Britannique en 2017](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2018/020. (Consulté le 10 juillet 2019)
- MPO 2018. [Mise à jour sur l'état du stock d'oursins verts \(*Strongylocentrotus droebachiensis*\) en Colombie-Britannique et options de prélèvement pour la pêche de 2018 à 2021](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Rép. des Sci. 2018/054. (Consulté le 10 juillet 2019)
-

-
- Nichol, L.M., Watson J.C., Abernethy, R., Rechsteiner, E. and J. Towers. 2015. Trends in the abundance and distribution of sea otters (*Enhydra lutris*) in British Columbia updated with 2013 survey results. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2015/039. vii + 31 p.
- Nishizaki, M.T. and J.D. Ackerman. 2007. Juvenile–adult associations in sea urchins (*Strongylocentrotus franciscanus* and *S. droebachiensis*): protection from predation and hydrodynamics in *S. franciscanus*. Mar. Biol. 151:135–145.
- O'Donnell, M.J., Hammond, L.M., and G.E. Hofmann. 2009. [Predicted impact of ocean acidification on a marine invertebrate: elevated CO2 alters response to thermal stress in sea urchin larvae](#). Mar Biol 156: 439–446. (Consulté le 10 juillet 2019)
- Pauly, D. (1995). Anecdotes and the shifting baseline syndrome of fisheries. Trends in ecology & evolution. 10(10): 430.
- Pearse. J.S. and A.H. Hines. 1987. Long-term population dynamics of sea urchins in a central California kelp forest: rare recruitment and rapid decline. Mar. Ecol. Prog. Ser. 39: 275-283.
- Quinn, J.F., Wing, S.R. and L.W. Botsford. 1993. Harvest refugia in marine invertebrate fisheries: models and applications to the Red Sea Urchin, *Strongylocentrotus franciscanus*. Amer. Zool. 33(6): 537-550.
- Reuter K.E., Lotterhos K.E., Crim R.N., Thompson C.A. and C.D.G. Harley. 2011. [Elevated pCO2 increases sperm limitation and risk of polyspermy in the red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus*](#). Glob Change Biol 17: 163–171. (Consulté le 10 juillet 2019)
- Riedman, M.L. and J.A. Estes. 1990. The sea otter (*Enhydra lutris*): behaviour, ecology and natural history. US Fish and Wildl. Serv. Biol. Rep. 90(14).126 p.
- Rogers-Bennett, L., Rogers, D.W., Bennett, W.A. and T.A. Ebert. 2003. Modeling Red Sea Urchin (*Strongylocentrotus franciscanus*) growth using six growth functions. Fishery Bulletin 101(3): 614-626.
- Rotterman, L.M. and T. Simon-Jackson. 1988. Sea Otter. In Selected marine mammals of Alaska: species accounts with research and management recommendations. Edited by J.W. Lentfer. Marine Mammal Commission. Washington, DC. 237-275 pp.
- Schultz, J.A., Cloutier, R.N. and I.M. Côté. 2016. [Evidence for a trophic cascade on rocky reefs following sea star mass mortality in British Columbia](#). PeerJ 4:e1980. (Consulté le 10 juillet 2019)
- Smith, S.J., H. Bourdages, J. Choi, E. Dawe, J.S. Dunham, L. Gendron, D. Hardie, M. Moriyasu, D. Orr, D. Roddick, D. Rutherford, B. Sainte-Marie, L. Savard, P. Shelton, D. Stansbury, M.J. Tremblay, and Z. Zhang. 2012. Technical Guidelines for the Provision of Scientific Advice on the Precautionary Approach for Canadian Fish Stocks: Section 7 – Invertebrate Species. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2012/117. iv + 30 p.
- Sloan, N.A. 1986. Underwater world: Red Sea Urchin. Ottawa: Fisheries and Oceans Canada. ISBN 0662142128; 9780662142126.
- Sloan, N.A., Lauridsen C.P. and R.M. Harbo. 1987. Recruitment characteristics of the commercially harvested red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus* in southern British Columbia, Canada. Fish. Res. 5: 55-69.
- Tanaka, M. 1988. Eco-physiological meaning of parameters of ALOG growth curve. Publs Amakusa Mar. Biol. Lab. 9: 103–106.
-

-
- Tanaka, M. 1982. A new growth curve which express infinite increase. *Publs Amakusa Mar. Biol. Lab.* 6(2): 167–177.
- Tegner, M.J. and P.K. Dayton. 1977. Sea urchin recruitment patterns and implications of commercial fishing. *Science* 196: 324-326.
- Watson, J. and J.A. Estes. 2011. Stability, resilience, and phase shifts in rocky subtidal communities along the west coast of Vancouver island, Canada. *Ecological Monographs* 81(2): 215-239.
- Wong, J.M, Johnson, K.M., Kelly M.W. and G.E. Hofmann. 2018. Transcriptomics reveal transgenerational effects in purple sea urchin embryos: adult acclimation to upwelling conditions alters the response of their progeny to differential pCO₂ levels. *Molecular Ecology* 27(5): 1120-1137.
- Zhang, Z., Campbell A. and D. Bureau. 2008. Growth and natural mortality rates of Red Sea Urchin (*Strongylocentrotus Franciscanus*) in British Columbia. *J. Shellfish Res.* 27(5): 1291-1299.
- Zhang, Z., Campbell, A., Leus, D. and D. Bureau. 2011. Recruitment patterns and juvenile–adult associations of red sea urchins in three areas of British Columbia. *Fisheries Res.* 109: 276–284.

9 TABLEAUX

Tableau 1. Résumé du dénombrement des quadrats et des oursins rouges (n) par région, par secteur ou sous-secteur de gestion des pêches du Pacifique et par année, d'après les relevés en plongée indépendants de la pêche de l'oursin rouge effectués dans les zones de la Colombie-Britannique exploitées commercialement de 1994 à 2016.

Haida Gwaii

Gestion des pêches du Pacifique		Année	Quadrats (n)	Oursins rouges (n)
Secteur	Sous-secteur			
1	1	1994	896	3 666
1	2	1994	1 553	8 366
1	3	1994	1 795	2 797
1	7	1994	2 859	2 251
2	17	2010	2 982	3 346
2	17	2014	2 690	4 485
2	18	1995	451	1 398
2	19	1995	142	407
2	31	1995	253	1 033
2	32	1995	20	4
2	33	1995	2	0
2	35	1995	123	207
2	36	1995	67	229
2	68	1995	121	893
2	68	2014-2015	879	3 035
2	69	1995	36	0
2	71	1995	63	498
2	73	1995	101	340
2	75	1995	199	1 037
2	78	1995	4	0
2	79	1995	195	1 038
2	79	2015	306	2 851
2	80	1995	85	350
2	80	2015	136	461
2	82	1995	96	126
2	82	2015	454	1 485
2	85	2015	223	603
2	87	2014-2015	618	3 872

Côte nord continentale

Gestion des pêches du Pacifique		Année	Quadrats (n)	Oursins rouges (n)
Secteur	Sous-secteur			
3	1	2003	304	832
3	2	2003	106	87
4	1	2003	1 145	1 405
4	2	1995	948	2 999
4	4	1995	108	91
4	5	2003	308	141
4	9	1995	562	1 067
4	13	2007	1 718	4 547
5	4	2002	3	0
5	10	2002	476	874
5	10	2008	92	12
5	11	1997	190	204
5	11	2009	1 408	333
5	11	2016	429	153
5	12	2002	298	400
5	13	1997	198	118
5	13	2008-2009	3 265	1 913
5	13	2016	190	153
5	20	1997	1 081	3 218
5	20	2009	1 122	1 296
5	20	2016	1 046	2 606
5	21	1997	1 334	3 479
6	5	2004	15	110
6	10	1994	3 769	11 567
6	10	2004	1 111	3 375
6	12	1994	114	198
6	14	2000	1 387	871
6	15	2000	689	1 281
6	16	1995	582	2 110
6	16	2000	228	408
6	17	1995	180	752
7	1	1995	28	118
7	1	1997	210	71
7	1	2001	38	219
7	2	1995	34	349
7	2	2001	160	1 446
7	3	2001	165	1 065
7	18	1994	1 719	6 648
7	18	1995	1 032	3 391
7	18	1996	5 043	10 520
7	18	1997	971	1 982
7	19	1997	25	227
7	25	1994	1 060	2 066
7	25	1995	346	1 278
7	25	1997	1 272	68
7	26	1995	19	0
7	26	1997	236	4
7	31	1995	338	2 300
7	31	2001	151	853
8	3	2001	49	131
8	4	2001	605	556
8	16	2001	367	471
9	12	2001	10	1

Eaux intérieures de la côte sud

Gestion des pêches du Pacifique		Année	Quadrats (n)	Oursins rouges (n)
Secteur	Sous-secteur			
11	2	1996	1 128	2 124
12	1	1999	199	281
12	1	2011	344	313
12	1	2016	317	182
12	2	1999	238	149
12	2	2016	8	9
12	3	1994	292	710
12	3	2001	1 032	877
12	3	2009	15	5
12	4	1994	86	90
12	4	2009	63	26
12	5	1994	706	572
12	5	2009	121	23
12	6	1994	1 165	369
12	6	1995	8	25
12	7	1994	203	158
12	7	1995	188	98
12	8	1994	485	356
12	8	2009	1 890	182
12	9	1994	66	233
12	9	2000	20	70
12	11	1994	460	1 932
12	11	2004	1 203	4 844
12	12	1994	69	447
12	13	1995	390	1 207
12	13	1996	332	850
12	13	2000	958	3046
12	14	1996	380	2266
12	15	1994	57	341
12	16	1994	1 250	844
12	16	2004	510	724
12	17	1994	443	0
12	17	2009	1 000	49
12	18	1994	765	1 207
12	18	2009	1 490	540
12	19	1994	464	258
12	19	2009	1 150	762
12	20	1994	59	209
12	21	1994	28	69
12	21	2001	157	87
12	24	1999	19	30
12	39	1994	494	45
12	39	1995	154	118
12	41	1995	106	148
13	1	2002	1 100	2 379
13	1	2008	1 194	1 765
13	2	2002	1 376	2 550
13	2	2007-2008	1 858	2 179
13	9	2006	489	197
13	10	2013	908	742
13	25	2006	544	292
13	28	2006	659	587
13	30	1999	34	44
13	30	2011	119	64
13	30	2016	125	19
13	31	1999	117	314
13	31	2011	144	571
13	31	2016	129	332

Gestion des pêches du Pacifique		Année	Quadrats (n)	Oursins rouges (n)
Secteur	Sous-secteur			
13	32	1999	371	804
13	32	2011	497	1 030
13	32	2016	541	631
13	33	1999	235	580
13	33	2011	348	872
13	33	2016	344	560
13	35	1999	119	120
13	35	2011	249	177
13	35	2016	220	117
14	5	1999	102	97
14	7	1999	427	504
14	8	1999	364	304
14	9	1999	1 091	1 171
14	10	1999	71	45
14	11	1999	191	176
14	12	1999	327	151
14	13	1999	67	60
14	13	2002	438	317
14	13	2007-2008	1 740	236
17	1	1998	103	0
17	1	2009	92	14
17	2	1998	62	9
17	2	2009	913	68
17	3	2009	296	355
17	10	2009	1 079	514
17	12	2009	337	122
17	16	2009	526	0
17	17	2009	444	82
18	1	1998	186	34
18	1	2010	35	0
18	2	1998	149	41
18	2	2010	642	166
18	3	1998	318	23
18	3	2009	20	36
18	4	1999	218	77
18	5	1999	135	47
18	5	2010	2 464	289
18	6	1999	1 084	571
18	6	2010	3 343	420
18	7	2011	94	231
18	9	1998	23	0
18	9	2010	146	0
18	11	1998	90	73
18	11	2010	425	325
19	3	2009	1 881	148
19	4	2009	1 881	383
19	5	2009	526	0
20	5	2001	935	210
29	4	2010	236	26
29	5	2009	881	23

Tableau 2. Valeurs des paramètres et écarts-types associés pour le modèle de croissance de Tanaka (Tanaka) et le modèle de croissance logistique (logistique), taux de mortalité naturelle pour l'oursin rouge de taille inférieure à la taille légale ($DT [DT] < 90$ mm) et de taille légale ($DT [DT] \geq 90$ mm) sur la côte nord continentale (CN), à Haida Gwaii (HG) et sur les eaux intérieures de la côte sud (CS), valeurs des paramètres et écarts-types associés pour le modèle évaluant les répercussions du recrutement des gros oursins rouges et fourchettes des diamètres du test pour le recrutement calculées selon les modèles de Tanaka et logistique.

Paramètre	Symbole	Moyenne ou fourchette	Écart-type
Modèle de croissance de Tanaka	a	0,0042	0,00009
	d	125,4	1,8
	f	0,00348	0,00014
	σ_T	0,87	-
Ajusté par la recherche par carte quadrillée pour la côte sud	\tilde{a}	0,00437	0,00009
	\tilde{d}	128,9	1,8
	\tilde{f}	0,00321	0,00014
Modèle de croissance logistique	b	14,38	0,1488
	c	64,42	0,6934
	g	6,707	0,2373
	σ_L	1,181	-
	\tilde{b}	14,606	0,1488
Ajusté par la recherche par carte quadrillée pour la côte sud	\tilde{c}	65,8	0,6934
	\tilde{g}	6,263	0,2373
Taux de mortalité naturelle :			
Oursin rouge de taille inférieure à la taille légale		-	-
Oursin rouge de taille légale (côte nord, Haida Gwaii)		0,12	0,04
Oursin rouge de taille légale (Tanaka : côte sud)		0,03	0,006
Oursin rouge de taille légale (logistique : côte sud)		0,018	0,0036
Modèle évaluant les répercussions du recrutement de gros oursins rouges	α	0,012	0,0024
	β	0,33	0,185
		-0,008	0,00625
Fourchette des diamètres du test de recrutement :			
Côte nord (Tanaka)	-	15-38	-
Haida Gwaii (Tanaka)	-	24-35	-
Côte sud (Tanaka)	-	14-30	-
Côte nord (logistique)	-	15-37	-
Haida Gwaii (logistique)	-	20-31	-
Côte sud (logistique)	-	28-40	-

Tableau 3. Paramétrage des valeurs des paramètres de recherche par carte quadrillée dans la région de les eaux intérieures de la côte sud pour le modèle utilisé afin de déterminer une fourchette des tailles du recrutement (DT). Les valeurs du taux de mortalité naturelle (M) sont celles des oursins rouges de taille légale, 15 valeurs de M ont été testées. Dix valeurs ont été testées pour chacun des autres paramètres à l'exception du paramètre a , pour lequel seulement cinq valeurs ont été testées. Total de 500 combinaisons de paramètres pour le modèle de croissance de Tanaka et de 1 000 combinaisons de paramètres pour le modèle de croissance logistique.

Modèle de croissance de Tanaka	Paramètre	Minimum	Maximum	Augmentation
	M	0,002	0,03	0,002
	a	0,00403	0,00437	0,000085
Modèle de croissance logistique	d	122,1	128,9	0,76
	f	0,00321	0,00376	0,000061
	b	14,09	14,67	0,064
Modèle de croissance	c	63,08	65,80	0,302
	g	6,26	7,19	0,103

Tableau 4. Moyennes et écarts-types sur l'échelle logarithmique des distributions des probabilités log-normales pour la modélisation des variations de la densité de recrutement sur la côte nord continentale, à Haida Gwaii et sur les eaux intérieures de la côte sud, avec probabilité (P_0) d'occurrence d'une très faible densité de recrutement ($< 0,01 \text{ m}^2$) pour les eaux intérieures de la côte sud. Les variations de la densité de recrutement résultant de l'utilisation du modèle de croissance de Tanaka diffèrent de celles découlant de l'utilisation du modèle de croissance logistique pour la même région (voir la figure 4).

Paramètre	Modèle de croissance de Tanaka	Modèle de croissance logistique
Côte nord continentale		
Moyenne	-2,355	-2,398
Écart-type	1,309	1,340
Haida Gwaii		
Moyenne	-2,081	-2,269
Écart-type	1,322	1,434
les eaux intérieures de la côte sud		
Moyenne	-2,978	-3,831
Écart-type	1,113	1,200
P_0	0,412	-

Tableau 5. Résumé des densités moyennes estimées de l'oursin rouge (oursin rouge/m²) ± estimation de l'erreur (erreur-type; écart-type), année, emplacement, taille de l'échantillon (TR = transect; Q = quadrat), nombre d'années d'occupation par la loutre de mer, et référence d'après les relevés en plongée effectués à des profondeurs accessibles aux plongeurs (de 0 à 18 m environ) dans des secteurs occupés par la loutre de mer depuis au moins 5 ans.

Année(s)	Densité moyenne OR/m ²	Erreur	Emplacement	Occupation par la loutre de mer (années)	Référence	Année(s)
1967	< 0,01	Non fournie	Point Piños, Californie	TR de 16 100 x 15 pieds	5	Ebert 1968 dans Lowry et Pearse 1973
1967	0,03	Non fournie	Point Piños, Californie	65 parcelles circulaires de 30,2 m ² + 52 TR par lignes ou par points	5	Faro 1970 dans Lowry et Pearse 1973
1972-1973	0,01	Non fournie	Pacific Grove, Californie	45 TR de 1 x 10 m	10-11	Lowry et Pearse 1973
1972-1981	0,1	± 0,08 (erreur-type)	Pacific Grove, Californie	10 à 20 parcelles circulaires de 10 m ²	10-11	Pearse et Hines 1987
1987	0,02	± 0,14 (écart-type)	Cape Alava, Olympic Peninsula, Washington	5 TR; 20 Q aléatoires/TR	18	Kvitek <i>et al.</i> 1989
1987	0,0	± 0,0 (écart-type)	Cape Johnson, Olympic Peninsula, Washington	Nombre non indiqué de TR de 25 ou 50 m	18	Kvitek <i>et al.</i> 1989
1993	4,01	0,83 (erreur-type)	District de gestion de l'oursin 5 (Neah Bay)	11 stations d'indice fixes (transects de 83,6 m ²)	7	H. Carson, comm. pers. ¹ ; occupation par la loutre de mer selon Lance <i>et al.</i> 2004
1994	2,54	0,71 (erreur-type)	District de gestion de l'oursin 5 (Neah Bay)	11 stations d'indice fixes (transects de 83,6 m ²)	8	H. Carson, comm. pers. ¹ ; occupation par la loutre de mer selon Lance <i>et al.</i> 2004
1995	0,77	0,28 (erreur-type)	District de gestion de l'oursin 5 (Neah Bay)	10 stations d'indice fixes (transects de 83,6 m ²)	9	H. Carson, comm. pers. ¹ ; occupation par la loutre de mer selon Lance <i>et al.</i> 2004
1997	0,03	0,012 (erreur-type)	District de gestion de l'oursin 5 (Neah Bay)	10 stations d'indice fixes (transects de 83,6 m ²)	11	H. Carson, comm. pers. ¹ ; occupation par la loutre de mer selon Lance <i>et al.</i> 2004

Année(s)	Densité moyenne OR/m ²	Erreur	Emplacement	Occupation par la loutre de mer (années)	Référence	Année(s)
2006	0,01	0,005 (erreur-type)	District de gestion de l'oursin 5 (Neah Bay)	11 stations d'indice fixes (transects de 83,6 m ²)	20	H. Carson, comm. pers. ¹ ; occupation par la loutre de mer selon Lance <i>et al.</i> 2004
2018	0,46	0,15 (erreur-type)	District de gestion de l'oursin 5 (Neah Bay)	8 sites stratifiés aléatoires (zone « transect » moyenne de 784,5 m ²)	32 environ	H. Carson, comm. pers. ¹
1997	0,05	± 0,03 (erreur-type)	Archipel Goose Group, côte centrale de la Colombie-Britannique.	38 TR	8	D. Bureau, comm. pers. ²
1988	0,2	± 0,1 (erreur-type)	Baie Checleset, COIV	20 sites; 20 à 30 Q de 0,5 m ² (0,7 x 0,7 m)/site	11	Watson et Estes 2011
1994	0,1	± 0,0 (erreur-type)	Baie Checleset, COIV	20 sites; 20 à 30 Q de 0,5 m ² (0,7 x 0,7 m)/site	17	Watson et Estes 2011
2007	0,3	± 0,1 (erreur-type)	Baie Checleset, COIV	20 sites; 20 à 30 Q de 0,5 m ² (0,7 x 0,7 m)/site	30	Watson et Estes 2011
2013	0,01	± 0,00 (erreur-type)	Baie Checleset, COIV	20 sites; 30 Q de 0,5m ² (0,7 x 0,7 m)/site	36	J. Watson, comm. pers. ³
2007	0,01	± 0,0 (erreur-type)	Baie Kyuquot, COIV	20 sites; 20 à 30 Q de 0,5 m ² (0,7 x 0,7 m)/site	17	Watson et Estes 2011
2013	0	± 0 (erreur-type)	Baie Kyuquot, COIV	20 sites; 30 Q de 0,5m ² (0,7 x 0,7 m)/site	23	J. Watson, comm. pers. ³
2010-2011	0,25	± 1,54 (erreur-type)	Côte centrale de la Colombie-Britannique	5 sites, 6 à 9 TR/site (41 TR au total)	12 - 30	Lee <i>et al.</i> 2016; comm. pers. ⁴
2010-2011	0,06	± 0,28 (erreur-type)	COIV	6 sites, 6 TR/site (36 TR au total)	22 - 38	Lee <i>et al.</i> 2016; comm. pers. ⁴
2012	0,04	± 0,03 (erreur-type)	Tofino, COIV	8 sites; 5 TR aléatoires/site	6	D. Leus, comm. pers. ⁵

Année(s)	Densité moyenne OR/m ²	Erreur	Emplacement	Occupation par la loutre de mer (années)	Référence	Année(s)
2013	1,13	± 0,31 (erreur-type)	Côte centrale de la Colombie-Britannique	5 sites; 18 Q aléatoires/site	~ 23	Burt <i>et al.</i> 2018
2014	0,82	± 0,62 (erreur-type)	Côte centrale de la Colombie-Britannique	5 sites; 18 Q aléatoires/site	~ 24	Burt <i>et al.</i> 2018

¹Dominique Bureau, biologiste en sciences aquatiques, MPO, Nanaimo, Colombie-Britannique, 2018, comm. pers.; ²Jane Watson, professeure émérite, Université de l'île de Vancouver, Nanaimo, Colombie-Britannique, janvier 2019, comm. pers.; ³Lynn Lee, écologiste marine, Parcs Canada Gwaii Haanas, Haida Gwaii, Colombie-Britannique, 2019, comm. pers.; ⁴Dan Leus, biologiste en sciences aquatiques, MPO, Nanaimo, Colombie-Britannique, 2017, comm. pers.

Tableau 6. Densités médianes (nombre par m²) de l'oursin rouge mature (DT ≥ 50 mm) avec les intervalles de confiance à 95 % au cours de chaque 5^e année de simulation pour d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) à Haida Gwaii, selon le modèle de croissance de Tanaka.

Année	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %	12 %	14 %	16 %	18 %	20 %	22 %	24 %
5	2,73 (1,83; 4,70)	2,61 (1,72; 4,56)	2,51 (1,62; 4,43)	2,4 (1,53; 4,31)	2,3 (1,45; 4,19)	2,21 (1,40; 4,08)	2,13 (1,34; 3,96)	2,04 (1,27; 3,84)	1,96 (1,21; 3,73)	1,9 (1,16; 3,63)	1,84 (1,10; 3,54)	1,79 (1,05; 3,48)
10	2,65 (1,81; 4,64)	2,41 (1,62; 4,04)	2,21 (1,47; 3,71)	2,01 (1,31; 3,53)	1,88 (1,18; 3,40)	1,74 (1,05; 3,22)	1,63 (0,95; 3,06)	1,53 (0,88; 2,96)	1,45 (0,83; 2,87)	1,37 (0,77; 2,79)	1,3 (0,72; 2,73)	1,24 (0,68; 2,67)
15	2,72 (1,74; 4,62)	2,31 (1,48; 4,18)	2,04 (1,28; 3,89)	1,82 (1,12; 3,57)	1,64 (0,98; 3,39)	1,5 (0,86; 3,25)	1,37 (0,77; 3,09)	1,26 (0,69; 2,91)	1,18 (0,64; 2,80)	1,1 (0,59; 2,70)	1,04 (0,55; 2,63)	1 (0,52; 2,57)
20	2,73 (1,67; 4,38)	2,2 (1,26; 3,64)	1,88 (1,01; 3,16)	1,65 (0,82; 2,90)	1,48 (0,69; 2,65)	1,34 (0,60; 2,47)	1,23 (0,52; 2,36)	1,15 (0,47; 2,26)	1,08 (0,44; 2,20)	1,03 (0,41; 2,14)	0,99 (0,38; 2,08)	0,96 (0,37; 2,03)
25	2,73 (1,63; 4,50)	2,14 (1,16; 3,78)	1,8 (0,93; 3,24)	1,57 (0,75; 2,98)	1,4 (0,63; 2,74)	1,26 (0,56; 2,58)	1,16 (0,51; 2,46)	1,08 (0,46; 2,36)	1,01 (0,42; 2,29)	0,98 (0,40; 2,23)	0,94 (0,37; 2,19)	0,92 (0,35; 2,15)
30	2,66 (1,69; 4,71)	2,02 (1,11; 3,82)	1,67 (0,85; 3,34)	1,44 (0,68; 2,94)	1,28 (0,56; 2,67)	1,16 (0,49; 2,52)	1,08 (0,45; 2,40)	1,01 (0,40; 2,33)	0,96 (0,36; 2,27)	0,92 (0,34; 2,23)	0,88 (0,33; 2,19)	0,86 (0,31; 2,16)
35	2,69 (1,76; 4,62)	1,96 (1,03; 3,90)	1,59 (0,77; 3,63)	1,36 (0,61; 3,41)	1,2 (0,52; 3,22)	1,1 (0,45; 3,05)	1,02 (0,41; 2,96)	0,96 (0,38; 2,85)	0,91 (0,36; 2,75)	0,88 (0,34; 2,68)	0,85 (0,32; 2,61)	0,83 (0,31; 2,56)
40	2,7 (1,66; 4,77)	1,93 (0,96; 3,98)	1,57 (0,75; 3,63)	1,35 (0,59; 3,42)	1,19 (0,53; 3,25)	1,11 (0,46; 3,03)	1,05 (0,44; 2,80)	0,99 (0,42; 2,66)	0,95 (0,39; 2,57)	0,91 (0,37; 2,47)	0,89 (0,36; 2,40)	0,87 (0,34; 2,34)
45	2,74 (1,76; 4,65)	1,86 (0,96; 3,59)	1,51 (0,73; 3,13)	1,32 (0,60; 2,77)	1,18 (0,54; 2,59)	1,06 (0,50; 2,44)	1 (0,45; 2,33)	0,95 (0,43; 2,25)	0,92 (0,42; 2,18)	0,89 (0,40; 2,13)	0,87 (0,39; 2,09)	0,86 (0,39; 2,07)
50	2,76 (1,73; 4,41)	1,88 (0,84; 3,56)	1,52 (0,67; 3,21)	1,34 (0,58; 2,94)	1,2 (0,52; 2,80)	1,11 (0,48; 2,71)	1,02 (0,43; 2,66)	0,97 (0,40; 2,57)	0,93 (0,38; 2,47)	0,9 (0,35; 2,40)	0,87 (0,34; 2,33)	0,84 (0,32; 2,28)
55	2,74 (1,61; 4,72)	1,88 (0,81; 3,70)	1,55 (0,61; 3,34)	1,32 (0,49; 3,04)	1,17 (0,43; 2,76)	1,07 (0,38; 2,52)	0,99 (0,35; 2,41)	0,93 (0,33; 2,35)	0,88 (0,31; 2,31)	0,85 (0,29; 2,27)	0,83 (0,28; 2,24)	0,81 (0,27; 2,21)
60	2,75 (1,77; 4,34)	1,81 (0,81; 3,39)	1,45 (0,61; 2,90)	1,25 (0,48; 2,63)	1,12 (0,43; 2,41)	1,03 (0,39; 2,24)	0,97 (0,37; 2,15)	0,93 (0,35; 2,07)	0,9 (0,34; 2,03)	0,87 (0,31; 2,00)	0,86 (0,29; 1,94)	0,84 (0,27; 1,88)
65	2,7 (1,71; 4,45)	1,74 (0,81; 3,53)	1,42 (0,64; 3,07)	1,24 (0,55; 2,77)	1,11 (0,51; 2,58)	1,03 (0,44; 2,44)	0,97 (0,41; 2,34)	0,93 (0,38; 2,27)	0,9 (0,35; 2,22)	0,87 (0,33; 2,18)	0,85 (0,31; 2,15)	0,84 (0,30; 2,12)
70	2,62 (1,78; 4,58)	1,7 (0,81; 3,59)	1,38 (0,64; 3,16)	1,2 (0,55; 2,88)	1,09 (0,48; 2,66)	1 (0,42; 2,54)	0,93 (0,38; 2,48)	0,89 (0,35; 2,44)	0,86 (0,33; 2,41)	0,83 (0,31; 2,33)	0,81 (0,30; 2,29)	0,79 (0,28; 2,27)
75	2,71 (1,77; 4,53)	1,7 (0,90; 3,66)	1,37 (0,72; 3,26)	1,21 (0,59; 2,99)	1,1 (0,51; 2,79)	1,04 (0,47; 2,62)	0,99 (0,43; 2,57)	0,95 (0,40; 2,49)	0,92 (0,38; 2,44)	0,89 (0,36; 2,39)	0,87 (0,35; 2,35)	0,86 (0,34; 2,31)
80	2,75 (1,71; 4,57)	1,72 (0,81; 3,45)	1,43 (0,65; 2,92)	1,25 (0,55; 2,61)	1,14 (0,48; 2,35)	1,06 (0,44; 2,23)	1 (0,41; 2,09)	0,95 (0,39; 2,05)	0,91 (0,37; 2,00)	0,88 (0,36; 1,96)	0,86 (0,34; 1,92)	0,83 (0,33; 1,89)
85	2,78 (1,71; 4,47)	1,83 (0,84; 3,35)	1,47 (0,64; 2,94)	1,27 (0,52; 2,75)	1,17 (0,48; 2,67)	1,08 (0,45; 2,61)	1,02 (0,43; 2,57)	0,97 (0,40; 2,53)	0,94 (0,38; 2,51)	0,91 (0,37; 2,47)	0,88 (0,35; 2,42)	0,85 (0,34; 2,37)
90	2,77 (1,76; 4,33)	1,77 (0,75; 3,38)	1,47 (0,61; 2,94)	1,27 (0,50; 2,71)	1,16 (0,44; 2,53)	1,09 (0,40; 2,37)	1,04 (0,37; 2,26)	1 (0,35; 2,18)	0,96 (0,33; 2,13)	0,93 (0,32; 2,10)	0,9 (0,31; 2,08)	0,89 (0,30; 2,06)
95	2,62 (1,83; 4,49)	1,73 (0,82; 3,44)	1,43 (0,66; 2,99)	1,26 (0,56; 2,72)	1,13 (0,49; 2,55)	1,06 (0,45; 2,43)	0,99 (0,42; 2,35)	0,93 (0,38; 2,29)	0,89 (0,34; 2,24)	0,86 (0,32; 2,20)	0,84 (0,31; 2,16)	0,81 (0,30; 2,13)
100	2,65 (1,74; 4,23)	1,72 (0,75; 3,39)	1,38 (0,57; 2,91)	1,2 (0,50; 2,63)	1,1 (0,44; 2,46)	1,03 (0,41; 2,33)	0,97 (0,37; 2,23)	0,92 (0,35; 2,16)	0,88 (0,33; 2,05)	0,85 (0,31; 1,97)	0,82 (0,30; 1,96)	0,8 (0,29; 1,93)

Tableau 7. Densités médianes (nombre par m²) de l'oursin rouge mature (DT ≥ 50 mm) avec les intervalles de confiance à 95 % au cours de chaque 5^e année de simulation pour d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) à Haida Gwaii, selon le modèle de croissance logistique.

Année	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %	12 %	14 %	16 %	18 %	20 %	22 %	24 %
5	2,35 (1,47; 4,09)	2,23 (1,39; 3,88)	2,13 (1,32; 3,72)	2,05 (1,26; 3,62)	1,97 (1,21; 3,54)	1,9 (1,16; 3,46)	1,84 (1,10; 3,38)	1,76 (1,04; 3,30)	1,7 (0,99; 3,23)	1,64 (0,94; 3,15)	1,59 (0,90; 3,08)	1,55 (0,85; 3,03)
10	2,37 (1,46; 4,37)	2,12 (1,33; 3,86)	1,95 (1,21; 3,51)	1,8 (1,11; 3,31)	1,68 (1,03; 3,15)	1,57 (0,96; 3,07)	1,48 (0,89; 3,01)	1,39 (0,81; 2,95)	1,32 (0,75; 2,89)	1,27 (0,70; 2,78)	1,23 (0,64; 2,69)	1,19 (0,60; 2,65)
15	2,4 (1,45; 4,17)	2,08 (1,23; 3,75)	1,86 (1,06; 3,40)	1,68 (0,93; 3,22)	1,53 (0,83; 2,99)	1,41 (0,75; 2,85)	1,31 (0,68; 2,73)	1,22 (0,61; 2,62)	1,15 (0,55; 2,53)	1,08 (0,52; 2,48)	1,03 (0,49; 2,43)	1 (0,47; 2,40)
20	2,35 (1,47; 4,24)	1,94 (1,15; 3,79)	1,69 (0,98; 3,46)	1,5 (0,82; 3,14)	1,36 (0,69; 2,90)	1,25 (0,61; 2,81)	1,15 (0,55; 2,64)	1,08 (0,50; 2,55)	1,03 (0,46; 2,47)	0,99 (0,43; 2,41)	0,95 (0,40; 2,35)	0,93 (0,39; 2,30)
25	2,36 (1,40; 4,32)	1,87 (1,04; 3,84)	1,59 (0,84; 3,50)	1,39 (0,71; 3,23)	1,25 (0,61; 2,99)	1,14 (0,53; 2,79)	1,06 (0,48; 2,63)	1 (0,43; 2,53)	0,96 (0,40; 2,47)	0,93 (0,38; 2,43)	0,9 (0,36; 2,39)	0,87 (0,35; 2,35)
30	2,35 (1,47; 4,25)	1,85 (1,04; 3,70)	1,57 (0,84; 3,45)	1,36 (0,68; 3,25)	1,23 (0,60; 3,10)	1,12 (0,54; 2,90)	1,06 (0,50; 2,74)	0,99 (0,46; 2,63)	0,95 (0,43; 2,54)	0,92 (0,41; 2,47)	0,9 (0,39; 2,41)	0,86 (0,38; 2,36)
35	2,37 (1,46; 4,07)	1,77 (0,99; 3,62)	1,46 (0,78; 3,24)	1,28 (0,65; 2,90)	1,15 (0,55; 2,71)	1,04 (0,50; 2,58)	0,97 (0,46; 2,49)	0,92 (0,44; 2,44)	0,9 (0,41; 2,41)	0,88 (0,40; 2,36)	0,85 (0,39; 2,34)	0,83 (0,38; 2,33)
40	2,32 (1,46; 4,06)	1,7 (0,93; 3,59)	1,44 (0,77; 3,24)	1,26 (0,66; 2,97)	1,15 (0,56; 2,81)	1,06 (0,48; 2,68)	0,99 (0,44; 2,62)	0,94 (0,41; 2,58)	0,91 (0,39; 2,54)	0,89 (0,37; 2,49)	0,86 (0,36; 2,44)	0,85 (0,34; 2,37)
45	2,39 (1,44; 4,01)	1,73 (0,83; 3,37)	1,45 (0,62; 3,00)	1,26 (0,50; 2,73)	1,15 (0,43; 2,55)	1,08 (0,40; 2,43)	1,02 (0,37; 2,32)	0,99 (0,35; 2,27)	0,95 (0,33; 2,23)	0,92 (0,32; 2,17)	0,9 (0,31; 2,11)	0,88 (0,30; 2,10)
50	2,39 (1,55; 3,91)	1,73 (0,90; 3,15)	1,45 (0,70; 2,80)	1,25 (0,57; 2,60)	1,13 (0,52; 2,47)	1,05 (0,48; 2,40)	1 (0,46; 2,34)	0,96 (0,44; 2,29)	0,93 (0,41; 2,25)	0,9 (0,38; 2,22)	0,88 (0,37; 2,20)	0,87 (0,36; 2,18)
55	2,39 (1,48; 4,23)	1,7 (0,83; 3,46)	1,45 (0,66; 3,14)	1,27 (0,57; 2,85)	1,14 (0,52; 2,67)	1,07 (0,48; 2,56)	1,02 (0,45; 2,46)	0,98 (0,42; 2,40)	0,95 (0,40; 2,35)	0,92 (0,38; 2,33)	0,91 (0,37; 2,29)	0,89 (0,36; 2,26)
60	2,43 (1,55; 4,03)	1,62 (0,92; 3,36)	1,39 (0,71; 2,99)	1,23 (0,57; 2,74)	1,13 (0,49; 2,58)	1,06 (0,44; 2,46)	1 (0,40; 2,39)	0,96 (0,38; 2,35)	0,92 (0,36; 2,30)	0,9 (0,35; 2,27)	0,88 (0,34; 2,23)	0,87 (0,33; 2,21)
65	2,45 (1,52; 3,91)	1,71 (0,81; 3,29)	1,41 (0,63; 2,98)	1,24 (0,54; 2,65)	1,14 (0,49; 2,46)	1,05 (0,44; 2,34)	1 (0,40; 2,30)	0,95 (0,37; 2,28)	0,91 (0,36; 2,26)	0,88 (0,36; 2,25)	0,86 (0,35; 2,24)	0,85 (0,35; 2,23)
70	2,41 (1,50; 4,22)	1,75 (0,86; 3,30)	1,47 (0,67; 2,92)	1,3 (0,56; 2,72)	1,2 (0,49; 2,62)	1,13 (0,46; 2,55)	1,07 (0,43; 2,51)	1,01 (0,41; 2,46)	0,97 (0,40; 2,42)	0,95 (0,39; 2,40)	0,93 (0,37; 2,38)	0,91 (0,36; 2,35)
75	2,35 (1,50; 4,36)	1,62 (0,86; 3,44)	1,36 (0,67; 3,09)	1,22 (0,59; 2,97)	1,12 (0,54; 2,88)	1,04 (0,50; 2,68)	0,98 (0,47; 2,53)	0,93 (0,45; 2,40)	0,91 (0,43; 2,30)	0,88 (0,42; 2,23)	0,86 (0,40; 2,16)	0,84 (0,39; 2,13)
80	2,34 (1,54; 4,44)	1,57 (0,80; 3,57)	1,31 (0,64; 3,21)	1,16 (0,54; 3,00)	1,06 (0,47; 2,83)	0,99 (0,43; 2,69)	0,94 (0,40; 2,58)	0,89 (0,38; 2,49)	0,87 (0,37; 2,42)	0,85 (0,36; 2,37)	0,83 (0,35; 2,33)	0,82 (0,33; 2,29)
85	2,32 (1,50; 4,15)	1,59 (0,79; 3,20)	1,32 (0,60; 2,91)	1,12 (0,51; 2,77)	1,02 (0,44; 2,67)	0,95 (0,41; 2,58)	0,9 (0,38; 2,51)	0,86 (0,36; 2,45)	0,84 (0,34; 2,40)	0,81 (0,32; 2,37)	0,8 (0,31; 2,35)	0,78 (0,29; 2,32)
90	2,33 (1,50; 4,00)	1,57 (0,71; 3,27)	1,31 (0,55; 3,03)	1,18 (0,47; 2,84)	1,07 (0,41; 2,74)	1,07 (0,37; 2,65)	1 (0,35; 2,54)	0,96 (0,32; 2,45)	0,92 (0,31; 2,39)	0,89 (0,30; 2,32)	0,86 (0,28; 2,28)	0,83 (0,28; 2,24)
95	2,36 (1,37; 3,84)	1,57 (0,73; 3,03)	1,27 (0,57; 2,74)	1,14 (0,49; 2,54)	1,03 (0,44; 2,39)	0,96 (0,40; 2,29)	0,91 (0,37; 2,19)	0,88 (0,36; 2,14)	0,86 (0,34; 2,09)	0,84 (0,33; 2,05)	0,82 (0,32; 2,02)	0,8 (0,30; 1,99)
100	2,33 (1,35; 3,85)	1,52 (0,67; 3,16)	1,29 (0,52; 2,85)	1,13 (0,45; 2,61)	1,02 (0,41; 2,42)	0,95 (0,37; 2,25)	0,91 (0,34; 2,18)	0,86 (0,31; 2,12)	0,83 (0,30; 2,08)	0,81 (0,29; 2,04)	0,79 (0,28; 2,01)	0,77 (0,27; 1,99)

Tableau 8. Densités médianes (nombre par m²) de l'oursin rouge mature (DT ≥ 50 mm) avec les intervalles de confiance à 95 % au cours de chaque 5^e année de simulation pour d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) sur la côte nord continentale, selon le modèle de croissance de Tanaka.

Année	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %	12 %	14 %	16 %	18 %	20 %	22 %	24 %
5	1,92 (1,20; 3,09)	1,84 (1,16; 2,98)	1,77 (1,12; 2,88)	1,7 (1,07; 2,78)	1,63 (1,02; 2,70)	1,57 (0,97; 2,61)	1,52 (0,92; 2,54)	1,47 (0,88; 2,46)	1,41 (0,85; 2,40)	1,36 (0,82; 2,34)	1,32 (0,79; 2,31)	1,27 (0,76; 2,28)
10	1,92 (1,22; 3,23)	1,73 (1,08; 3,02)	1,6 (0,99; 2,82)	1,49 (0,90; 2,63)	1,38 (0,82; 2,49)	1,29 (0,76; 2,42)	1,22 (0,70; 2,35)	1,14 (0,66; 2,29)	1,08 (0,61; 2,22)	1,04 (0,58; 2,15)	1 (0,54; 2,09)	0,96 (0,50; 2,04)
15	1,95 (1,27; 2,86)	1,69 (1,09; 2,59)	1,51 (0,93; 2,43)	1,36 (0,83; 2,31)	1,24 (0,72; 2,20)	1,16 (0,64; 2,12)	1,09 (0,58; 2,04)	1,03 (0,53; 1,96)	0,98 (0,50; 1,90)	0,94 (0,47; 1,83)	0,91 (0,44; 1,76)	0,88 (0,41; 1,70)
20	1,93 (1,27; 3,05)	1,61 (1,01; 2,63)	1,42 (0,85; 2,38)	1,25 (0,72; 2,19)	1,14 (0,62; 2,05)	1,06 (0,55; 1,94)	0,98 (0,50; 1,86)	0,91 (0,46; 1,78)	0,87 (0,42; 1,70)	0,84 (0,40; 1,65)	0,81 (0,37; 1,63)	0,79 (0,36; 1,61)
25	1,86 (1,34; 2,99)	1,53 (0,96; 2,65)	1,29 (0,78; 2,45)	1,14 (0,64; 2,20)	1,02 (0,56; 2,04)	0,93 (0,48; 1,92)	0,87 (0,43; 1,80)	0,82 (0,40; 1,68)	0,78 (0,36; 1,58)	0,74 (0,34; 1,53)	0,71 (0,33; 1,49)	0,69 (0,31; 1,46)
30	1,91 (1,27; 3,01)	1,49 (0,92; 2,61)	1,26 (0,74; 2,32)	1,11 (0,61; 2,09)	1 (0,52; 1,94)	0,92 (0,45; 1,82)	0,87 (0,40; 1,73)	0,82 (0,36; 1,67)	0,79 (0,34; 1,63)	0,77 (0,32; 1,57)	0,75 (0,31; 1,53)	0,73 (0,30; 1,49)
35	1,86 (1,23; 3,05)	1,42 (0,88; 2,61)	1,2 (0,69; 2,35)	1,06 (0,57; 2,18)	0,96 (0,48; 2,06)	0,9 (0,42; 1,96)	0,85 (0,38; 1,87)	0,8 (0,36; 1,83)	0,77 (0,34; 1,78)	0,74 (0,32; 1,74)	0,73 (0,31; 1,71)	0,71 (0,30; 1,69)
40	1,92 (1,16; 3,10)	1,5 (0,83; 2,60)	1,26 (0,64; 2,30)	1,1 (0,52; 2,10)	1 (0,44; 1,99)	0,93 (0,40; 1,90)	0,87 (0,37; 1,82)	0,83 (0,35; 1,76)	0,8 (0,33; 1,72)	0,78 (0,31; 1,69)	0,76 (0,30; 1,67)	0,74 (0,29; 1,65)
45	1,98 (1,26; 2,94)	1,53 (0,85; 2,51)	1,26 (0,66; 2,27)	1,1 (0,54; 2,10)	1,02 (0,47; 1,94)	0,95 (0,44; 1,79)	0,9 (0,41; 1,66)	0,86 (0,39; 1,56)	0,83 (0,37; 1,51)	0,8 (0,36; 1,48)	0,79 (0,35; 1,46)	0,78 (0,34; 1,44)
50	1,93 (1,25; 2,95)	1,43 (0,81; 2,48)	1,18 (0,65; 2,20)	1,04 (0,56; 1,98)	0,94 (0,51; 1,82)	0,88 (0,47; 1,75)	0,84 (0,43; 1,68)	0,8 (0,41; 1,59)	0,76 (0,39; 1,55)	0,75 (0,37; 1,52)	0,73 (0,36; 1,49)	0,72 (0,35; 1,47)
55	1,94 (1,25; 3,07)	1,42 (0,79; 2,55)	1,16 (0,64; 2,27)	1,03 (0,55; 2,12)	0,94 (0,49; 1,99)	0,87 (0,45; 1,89)	0,83 (0,42; 1,83)	0,79 (0,41; 1,79)	0,77 (0,39; 1,75)	0,75 (0,37; 1,73)	0,73 (0,36; 1,71)	0,72 (0,35; 1,69)
60	1,87 (1,26; 2,88)	1,36 (0,79; 2,48)	1,13 (0,63; 2,18)	0,98 (0,54; 2,05)	0,89 (0,48; 1,96)	0,82 (0,44; 1,89)	0,77 (0,41; 1,82)	0,74 (0,39; 1,77)	0,71 (0,37; 1,73)	0,69 (0,36; 1,69)	0,67 (0,36; 1,67)	0,67 (0,34; 1,64)
65	1,85 (1,23; 2,90)	1,35 (0,76; 2,24)	1,11 (0,59; 2,01)	0,97 (0,51; 1,85)	0,88 (0,45; 1,76)	0,81 (0,42; 1,69)	0,77 (0,39; 1,64)	0,74 (0,36; 1,58)	0,72 (0,34; 1,56)	0,69 (0,33; 1,53)	0,67 (0,32; 1,51)	0,65 (0,31; 1,49)
70	1,9 (1,22; 2,89)	1,34 (0,73; 2,31)	1,1 (0,59; 2,00)	0,98 (0,51; 1,84)	0,9 (0,45; 1,71)	0,84 (0,41; 1,63)	0,81 (0,38; 1,57)	0,78 (0,36; 1,52)	0,76 (0,34; 1,48)	0,74 (0,33; 1,44)	0,73 (0,32; 1,42)	0,71 (0,31; 1,40)
75	1,9 (1,26; 2,80)	1,36 (0,76; 2,24)	1,13 (0,61; 1,96)	0,99 (0,54; 1,79)	0,91 (0,49; 1,71)	0,85 (0,43; 1,66)	0,8 (0,40; 1,62)	0,77 (0,39; 1,56)	0,75 (0,37; 1,51)	0,73 (0,36; 1,46)	0,7 (0,34; 1,42)	0,69 (0,33; 1,38)
80	1,94 (1,22; 2,95)	1,4 (0,73; 2,36)	1,18 (0,57; 2,10)	1,05 (0,50; 1,95)	0,95 (0,44; 1,82)	0,89 (0,41; 1,71)	0,84 (0,39; 1,66)	0,81 (0,37; 1,62)	0,79 (0,36; 1,59)	0,76 (0,34; 1,57)	0,74 (0,33; 1,55)	0,72 (0,33; 1,53)
85	1,86 (1,15; 3,04)	1,3 (0,67; 2,45)	1,08 (0,55; 2,24)	0,96 (0,45; 2,11)	0,88 (0,40; 1,96)	0,82 (0,36; 1,85)	0,78 (0,33; 1,78)	0,75 (0,31; 1,72)	0,72 (0,29; 1,67)	0,7 (0,29; 1,64)	0,68 (0,27; 1,60)	0,66 (0,27; 1,58)
90	1,91 (1,28; 2,92)	1,33 (0,70; 2,46)	1,11 (0,57; 2,18)	0,98 (0,50; 1,96)	0,9 (0,44; 1,80)	0,84 (0,40; 1,74)	0,8 (0,37; 1,66)	0,76 (0,35; 1,59)	0,74 (0,34; 1,56)	0,72 (0,32; 1,55)	0,7 (0,31; 1,54)	0,7 (0,31; 1,53)
95	1,87 (1,24; 2,90)	1,29 (0,77; 2,25)	1,09 (0,61; 2,03)	0,96 (0,52; 1,89)	0,89 (0,46; 1,77)	0,84 (0,42; 1,71)	0,79 (0,39; 1,63)	0,76 (0,37; 1,57)	0,73 (0,35; 1,51)	0,71 (0,33; 1,47)	0,69 (0,32; 1,44)	0,68 (0,31; 1,43)
100	1,85 (1,33; 2,98)	1,34 (0,71; 2,40)	1,14 (0,59; 2,05)	1 (0,51; 1,87)	0,91 (0,48; 1,77)	0,84 (0,45; 1,73)	0,8 (0,41; 1,67)	0,77 (0,39; 1,62)	0,74 (0,37; 1,58)	0,73 (0,37; 1,56)	0,71 (0,35; 1,54)	0,7 (0,35; 1,52)

Tableau 9. Densités médianes (nombre par m²) de l'oursin rouge mature (DT ≥ 50 mm) avec les intervalles de confiance à 95 % au cours de chaque 5^e année de simulation pour d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) sur la côte nord continentale, selon le modèle de croissance logistique.

Année	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %	12 %	14 %	16 %	18 %	20 %	22 %	24 %
5	1,88 (1,24; 2,95)	1,8 (1,18; 2,87)	1,75 (1,13; 2,80)	1,68 (1,08; 2,73)	1,61 (1,03; 2,67)	1,56 (0,98; 2,61)	1,49 (0,94; 2,57)	1,44 (0,89; 2,53)	1,38 (0,86; 2,50)	1,33 (0,83; 2,45)	1,29 (0,80; 2,40)	1,24 (0,77; 2,35)
10	1,85 (1,19; 3,03)	1,69 (1,07; 2,78)	1,57 (0,98; 2,60)	1,46 (0,90; 2,45)	1,36 (0,82; 2,38)	1,28 (0,76; 2,31)	1,21 (0,70; 2,23)	1,14 (0,65; 2,15)	1,09 (0,61; 2,09)	1,05 (0,58; 2,03)	1,01 (0,56; 1,98)	0,97 (0,53; 1,94)
15	1,85 (1,20; 3,17)	1,6 (1,04; 2,88)	1,44 (0,90; 2,67)	1,3 (0,79; 2,56)	1,18 (0,72; 2,42)	1,1 (0,65; 2,30)	1,03 (0,59; 2,22)	0,98 (0,54; 2,16)	0,93 (0,50; 2,10)	0,9 (0,47; 2,06)	0,87 (0,45; 2,02)	0,83 (0,43; 1,99)
20	1,87 (1,17; 2,90)	1,54 (0,96; 2,60)	1,34 (0,83; 2,41)	1,21 (0,72; 2,30)	1,11 (0,63; 2,21)	1,03 (0,56; 2,12)	0,96 (0,50; 2,03)	0,91 (0,46; 1,95)	0,87 (0,43; 1,89)	0,85 (0,40; 1,84)	0,82 (0,38; 1,81)	0,8 (0,37; 1,78)
25	1,86 (1,25; 3,13)	1,54 (0,96; 2,80)	1,33 (0,77; 2,54)	1,19 (0,65; 2,34)	1,08 (0,57; 2,20)	1,01 (0,51; 2,10)	0,95 (0,46; 2,01)	0,9 (0,43; 1,94)	0,87 (0,41; 1,88)	0,84 (0,39; 1,84)	0,82 (0,38; 1,80)	0,8 (0,37; 1,77)
30	1,87 (1,20; 2,85)	1,5 (0,88; 2,42)	1,27 (0,72; 2,25)	1,12 (0,60; 2,07)	1,01 (0,52; 1,97)	0,95 (0,46; 1,89)	0,89 (0,42; 1,82)	0,84 (0,39; 1,78)	0,81 (0,37; 1,72)	0,79 (0,35; 1,68)	0,77 (0,34; 1,63)	0,75 (0,33; 1,60)
35	1,81 (1,26; 2,78)	1,42 (0,88; 2,41)	1,17 (0,70; 2,19)	1,04 (0,59; 2,01)	0,93 (0,50; 1,90)	0,87 (0,46; 1,81)	0,81 (0,43; 1,75)	0,77 (0,41; 1,71)	0,74 (0,39; 1,68)	0,72 (0,37; 1,64)	0,7 (0,35; 1,60)	0,7 (0,34; 1,57)
40	1,8 (1,20; 2,82)	1,36 (0,83; 2,40)	1,13 (0,69; 2,21)	0,99 (0,58; 2,09)	0,89 (0,52; 1,98)	0,84 (0,46; 1,88)	0,79 (0,44; 1,79)	0,75 (0,42; 1,72)	0,72 (0,40; 1,67)	0,71 (0,38; 1,63)	0,69 (0,37; 1,59)	0,67 (0,36; 1,56)
45	1,78 (1,17; 2,75)	1,35 (0,79; 2,23)	1,14 (0,65; 1,98)	1 (0,54; 1,81)	0,91 (0,49; 1,70)	0,84 (0,44; 1,61)	0,79 (0,41; 1,56)	0,76 (0,39; 1,53)	0,74 (0,37; 1,49)	0,72 (0,36; 1,46)	0,7 (0,34; 1,43)	0,69 (0,33; 1,41)
50	1,78 (1,20; 3,14)	1,3 (0,77; 2,63)	1,1 (0,60; 2,36)	0,97 (0,51; 2,17)	0,88 (0,44; 2,05)	0,83 (0,39; 1,98)	0,78 (0,36; 1,92)	0,75 (0,35; 1,88)	0,72 (0,33; 1,85)	0,71 (0,32; 1,82)	0,7 (0,31; 1,80)	0,68 (0,31; 1,78)
55	1,77 (1,18; 2,91)	1,26 (0,74; 2,33)	1,05 (0,56; 2,09)	0,92 (0,48; 1,98)	0,84 (0,41; 1,91)	0,78 (0,37; 1,85)	0,74 (0,34; 1,78)	0,72 (0,32; 1,72)	0,7 (0,31; 1,68)	0,68 (0,30; 1,63)	0,67 (0,29; 1,59)	0,65 (0,29; 1,56)
60	1,81 (1,13; 2,88)	1,27 (0,73; 2,33)	1,07 (0,57; 2,12)	0,95 (0,50; 1,93)	0,89 (0,45; 1,82)	0,83 (0,42; 1,73)	0,8 (0,39; 1,66)	0,76 (0,38; 1,61)	0,75 (0,36; 1,58)	0,73 (0,35; 1,56)	0,72 (0,33; 1,54)	0,71 (0,33; 1,52)
65	1,77 (1,22; 2,73)	1,26 (0,78; 2,31)	1,06 (0,63; 2,08)	0,94 (0,54; 1,93)	0,87 (0,48; 1,82)	0,82 (0,44; 1,75)	0,78 (0,40; 1,69)	0,75 (0,38; 1,64)	0,73 (0,36; 1,59)	0,71 (0,34; 1,56)	0,69 (0,33; 1,53)	0,68 (0,32; 1,51)
70	1,78 (1,22; 2,74)	1,25 (0,72; 2,36)	1,06 (0,58; 2,13)	0,95 (0,52; 1,98)	0,89 (0,46; 1,88)	0,84 (0,42; 1,79)	0,8 (0,38; 1,73)	0,76 (0,37; 1,69)	0,74 (0,35; 1,65)	0,72 (0,34; 1,62)	0,7 (0,33; 1,59)	0,69 (0,31; 1,56)
75	1,77 (1,28; 2,67)	1,29 (0,74; 2,26)	1,1 (0,60; 2,04)	0,98 (0,52; 1,85)	0,9 (0,46; 1,78)	0,85 (0,42; 1,71)	0,82 (0,39; 1,64)	0,79 (0,37; 1,60)	0,76 (0,35; 1,56)	0,74 (0,34; 1,52)	0,73 (0,33; 1,49)	0,72 (0,31; 1,47)
80	1,82 (1,26; 2,99)	1,31 (0,71; 2,39)	1,11 (0,57; 2,10)	1,01 (0,50; 1,89)	0,93 (0,47; 1,80)	0,88 (0,44; 1,75)	0,84 (0,41; 1,70)	0,82 (0,39; 1,66)	0,79 (0,37; 1,64)	0,77 (0,36; 1,62)	0,75 (0,35; 1,62)	0,74 (0,34; 1,61)
85	1,85 (1,17; 2,95)	1,33 (0,75; 2,30)	1,14 (0,59; 2,05)	1,02 (0,50; 1,91)	0,95 (0,43; 1,81)	0,89 (0,40; 1,75)	0,84 (0,38; 1,71)	0,81 (0,37; 1,67)	0,79 (0,35; 1,65)	0,77 (0,33; 1,63)	0,75 (0,33; 1,61)	0,74 (0,31; 1,59)
90	1,87 (1,17; 2,74)	1,36 (0,70; 2,18)	1,16 (0,59; 1,97)	1,03 (0,51; 1,85)	0,94 (0,45; 1,73)	0,89 (0,41; 1,67)	0,85 (0,39; 1,62)	0,83 (0,37; 1,58)	0,81 (0,35; 1,55)	0,78 (0,34; 1,53)	0,76 (0,33; 1,51)	0,74 (0,32; 1,49)
95	1,86 (1,17; 2,92)	1,35 (0,68; 2,32)	1,13 (0,54; 2,02)	1,01 (0,47; 1,90)	0,93 (0,42; 1,83)	0,88 (0,38; 1,78)	0,84 (0,37; 1,74)	0,81 (0,35; 1,71)	0,78 (0,35; 1,69)	0,76 (0,33; 1,67)	0,74 (0,32; 1,65)	0,72 (0,30; 1,63)
100	1,84 (1,16; 2,99)	1,32 (0,60; 2,54)	1,13 (0,50; 2,31)	0,99 (0,44; 2,15)	0,91 (0,42; 2,06)	0,85 (0,39; 2,00)	0,81 (0,37; 1,94)	0,78 (0,36; 1,90)	0,75 (0,34; 1,86)	0,73 (0,33; 1,84)	0,72 (0,32; 1,82)	0,7 (0,31; 1,79)

Tableau 10. Densités médianes (nombre par m²) de l'oursin rouge mature (DT ≥ 50 mm) avec les intervalles de confiance à 95 % au cours de chaque 5^e année de simulation pour d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) dans les eaux intérieures de la côte sud, selon le modèle de croissance de Tanaka.

Année	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %	12 %	14 %	16 %	18 %	20 %	22 %	24 %
5	0,76 (0,52; 1,18)	0,72 (0,49; 1,15)	0,69 (0,46; 1,11)	0,67 (0,44; 1,09)	0,64 (0,42; 1,06)	0,61 (0,40; 1,03)	0,59 (0,38; 1,00)	0,57 (0,36; 0,97)	0,54 (0,34; 0,95)	0,52 (0,33; 0,93)	0,5 (0,31; 0,91)	0,49 (0,30; 0,89)
10	0,78 (0,51; 1,20)	0,71 (0,45; 1,11)	0,65 (0,41; 1,05)	0,6 (0,37; 1,00)	0,56 (0,34; 0,95)	0,52 (0,31; 0,92)	0,5 (0,29; 0,89)	0,47 (0,27; 0,87)	0,45 (0,26; 0,85)	0,43 (0,25; 0,82)	0,41 (0,23; 0,80)	0,4 (0,22; 0,79)
15	0,77 (0,51; 1,15)	0,66 (0,44; 1,06)	0,6 (0,38; 0,97)	0,54 (0,34; 0,92)	0,5 (0,30; 0,87)	0,46 (0,27; 0,83)	0,43 (0,24; 0,80)	0,41 (0,22; 0,77)	0,39 (0,21; 0,75)	0,38 (0,20; 0,74)	0,37 (0,19; 0,72)	0,36 (0,18; 0,71)
20	0,76 (0,50; 1,24)	0,64 (0,41; 1,10)	0,56 (0,35; 0,98)	0,5 (0,30; 0,89)	0,45 (0,26; 0,85)	0,42 (0,24; 0,82)	0,39 (0,22; 0,79)	0,37 (0,20; 0,77)	0,36 (0,19; 0,76)	0,34 (0,18; 0,75)	0,33 (0,17; 0,73)	0,33 (0,17; 0,73)
25	0,77 (0,54; 1,15)	0,63 (0,44; 0,98)	0,54 (0,37; 0,88)	0,47 (0,32; 0,82)	0,43 (0,28; 0,77)	0,4 (0,25; 0,73)	0,38 (0,23; 0,69)	0,36 (0,21; 0,67)	0,35 (0,20; 0,65)	0,34 (0,19; 0,64)	0,33 (0,18; 0,63)	0,32 (0,18; 0,62)
30	0,76 (0,52; 1,21)	0,61 (0,39; 1,03)	0,51 (0,31; 0,93)	0,45 (0,27; 0,85)	0,41 (0,24; 0,80)	0,38 (0,22; 0,77)	0,36 (0,20; 0,74)	0,34 (0,19; 0,72)	0,33 (0,18; 0,70)	0,32 (0,17; 0,68)	0,32 (0,17; 0,67)	0,31 (0,16; 0,66)
35	0,77 (0,49; 1,17)	0,61 (0,36; 0,98)	0,51 (0,29; 0,87)	0,44 (0,25; 0,77)	0,4 (0,22; 0,72)	0,37 (0,20; 0,69)	0,35 (0,19; 0,66)	0,34 (0,17; 0,64)	0,33 (0,17; 0,62)	0,32 (0,16; 0,61)	0,31 (0,16; 0,60)	0,3 (0,15; 0,59)
40	0,74 (0,51; 1,13)	0,57 (0,37; 0,95)	0,48 (0,29; 0,84)	0,42 (0,24; 0,77)	0,38 (0,21; 0,69)	0,36 (0,19; 0,64)	0,34 (0,18; 0,62)	0,33 (0,17; 0,60)	0,31 (0,16; 0,59)	0,3 (0,16; 0,57)	0,3 (0,15; 0,56)	0,29 (0,14; 0,56)
45	0,75 (0,51; 1,13)	0,58 (0,36; 0,94)	0,48 (0,28; 0,82)	0,42 (0,24; 0,74)	0,38 (0,22; 0,69)	0,35 (0,20; 0,66)	0,34 (0,18; 0,64)	0,32 (0,17; 0,62)	0,31 (0,16; 0,61)	0,3 (0,15; 0,60)	0,29 (0,15; 0,59)	0,28 (0,14; 0,58)
50	0,75 (0,50; 1,16)	0,56 (0,36; 0,91)	0,47 (0,28; 0,78)	0,42 (0,23; 0,71)	0,38 (0,20; 0,67)	0,35 (0,19; 0,64)	0,33 (0,18; 0,62)	0,32 (0,17; 0,61)	0,31 (0,16; 0,59)	0,3 (0,15; 0,58)	0,29 (0,14; 0,57)	0,28 (0,14; 0,57)
55	0,73 (0,52; 1,22)	0,54 (0,35; 1,02)	0,45 (0,27; 0,93)	0,39 (0,23; 0,88)	0,36 (0,20; 0,84)	0,34 (0,18; 0,82)	0,32 (0,17; 0,79)	0,31 (0,16; 0,78)	0,3 (0,15; 0,76)	0,29 (0,15; 0,75)	0,29 (0,14; 0,74)	0,28 (0,14; 0,74)
60	0,75 (0,52; 1,22)	0,55 (0,35; 1,03)	0,46 (0,28; 0,93)	0,4 (0,23; 0,86)	0,37 (0,21; 0,82)	0,34 (0,19; 0,78)	0,33 (0,17; 0,75)	0,31 (0,16; 0,73)	0,3 (0,16; 0,72)	0,29 (0,15; 0,70)	0,28 (0,15; 0,70)	0,28 (0,14; 0,69)
65	0,8 (0,49; 1,27)	0,59 (0,35; 1,09)	0,49 (0,27; 0,97)	0,42 (0,22; 0,89)	0,39 (0,20; 0,85)	0,36 (0,18; 0,81)	0,35 (0,17; 0,78)	0,33 (0,17; 0,77)	0,32 (0,16; 0,76)	0,31 (0,16; 0,75)	0,31 (0,15; 0,74)	0,3 (0,15; 0,73)
70	0,79 (0,53; 1,20)	0,59 (0,35; 0,94)	0,49 (0,27; 0,85)	0,43 (0,23; 0,78)	0,39 (0,20; 0,74)	0,37 (0,18; 0,70)	0,35 (0,17; 0,68)	0,34 (0,16; 0,65)	0,32 (0,16; 0,64)	0,31 (0,15; 0,63)	0,31 (0,14; 0,62)	0,3 (0,14; 0,62)
75	0,79 (0,53; 1,21)	0,58 (0,33; 0,99)	0,48 (0,26; 0,89)	0,42 (0,22; 0,84)	0,38 (0,19; 0,79)	0,36 (0,17; 0,76)	0,34 (0,16; 0,73)	0,33 (0,15; 0,72)	0,31 (0,15; 0,70)	0,3 (0,14; 0,69)	0,29 (0,14; 0,68)	0,29 (0,14; 0,66)
80	0,79 (0,51; 1,19)	0,58 (0,34; 0,96)	0,48 (0,26; 0,87)	0,42 (0,22; 0,81)	0,38 (0,20; 0,78)	0,36 (0,17; 0,75)	0,34 (0,16; 0,73)	0,33 (0,15; 0,72)	0,32 (0,14; 0,71)	0,31 (0,14; 0,70)	0,31 (0,13; 0,69)	0,3 (0,12; 0,69)
85	0,78 (0,52; 1,19)	0,57 (0,34; 0,94)	0,47 (0,27; 0,82)	0,41 (0,22; 0,75)	0,37 (0,19; 0,71)	0,34 (0,17; 0,69)	0,33 (0,16; 0,67)	0,31 (0,15; 0,66)	0,3 (0,14; 0,65)	0,29 (0,14; 0,64)	0,29 (0,13; 0,63)	0,28 (0,13; 0,62)
90	0,79 (0,53; 1,20)	0,57 (0,34; 0,95)	0,47 (0,27; 0,83)	0,42 (0,23; 0,76)	0,39 (0,20; 0,71)	0,37 (0,19; 0,68)	0,34 (0,18; 0,67)	0,33 (0,17; 0,66)	0,32 (0,16; 0,65)	0,31 (0,15; 0,64)	0,3 (0,15; 0,63)	0,3 (0,15; 0,62)
95	0,8 (0,52; 1,20)	0,58 (0,34; 0,96)	0,49 (0,27; 0,83)	0,43 (0,23; 0,77)	0,4 (0,20; 0,73)	0,37 (0,18; 0,70)	0,35 (0,17; 0,68)	0,33 (0,16; 0,67)	0,32 (0,15; 0,65)	0,31 (0,15; 0,64)	0,3 (0,14; 0,63)	0,3 (0,14; 0,63)
100	0,77 (0,55; 1,20)	0,56 (0,35; 0,95)	0,46 (0,28; 0,83)	0,4 (0,24; 0,77)	0,37 (0,20; 0,72)	0,35 (0,18; 0,69)	0,33 (0,16; 0,66)	0,32 (0,15; 0,65)	0,31 (0,15; 0,64)	0,3 (0,14; 0,63)	0,29 (0,14; 0,62)	0,29 (0,13; 0,62)

Tableau 11. Densités médianes (nombre par m²) de l'oursin rouge mature (DT ≥ 50 mm) avec les intervalles de confiance à 95 % au cours de chaque 5^e année de simulation pour d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) dans les eaux intérieures de la côte sud, selon le modèle de croissance logistique.

Année	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %	12 %	14 %	16 %	18 %	20 %	22 %	24 %
5	0,93 (0,72; 1,29)	0,88 (0,68; 1,25)	0,85 (0,66; 1,22)	0,81 (0,63; 1,19)	0,78 (0,61; 1,15)	0,75 (0,58; 1,12)	0,72 (0,56; 1,09)	0,7 (0,53; 1,07)	0,67 (0,51; 1,04)	0,64 (0,49; 1,02)	0,62 (0,48; 1,00)	0,6 (0,46; 0,98)
10	0,94 (0,71; 1,35)	0,85 (0,65; 1,26)	0,78 (0,60; 1,18)	0,72 (0,55; 1,11)	0,67 (0,52; 1,05)	0,62 (0,48; 1,00)	0,59 (0,45; 0,97)	0,56 (0,43; 0,92)	0,53 (0,40; 0,90)	0,51 (0,38; 0,88)	0,49 (0,36; 0,87)	0,47 (0,35; 0,85)
15	0,91 (0,69; 1,34)	0,79 (0,60; 1,18)	0,7 (0,53; 1,07)	0,64 (0,48; 1,00)	0,58 (0,44; 0,95)	0,54 (0,41; 0,90)	0,5 (0,38; 0,86)	0,48 (0,36; 0,82)	0,46 (0,34; 0,79)	0,44 (0,33; 0,77)	0,42 (0,31; 0,75)	0,41 (0,30; 0,73)
20	0,93 (0,73; 1,28)	0,78 (0,61; 1,11)	0,68 (0,52; 1,01)	0,6 (0,45; 0,93)	0,55 (0,41; 0,88)	0,51 (0,37; 0,83)	0,48 (0,34; 0,80)	0,46 (0,32; 0,78)	0,44 (0,31; 0,76)	0,42 (0,30; 0,74)	0,41 (0,29; 0,73)	0,4 (0,28; 0,72)
25	0,91 (0,72; 1,31)	0,75 (0,58; 1,13)	0,64 (0,49; 0,99)	0,57 (0,43; 0,90)	0,52 (0,38; 0,83)	0,49 (0,35; 0,79)	0,46 (0,32; 0,75)	0,44 (0,30; 0,72)	0,42 (0,29; 0,70)	0,41 (0,28; 0,69)	0,39 (0,27; 0,67)	0,39 (0,27; 0,66)
30	0,92 (0,71; 1,37)	0,74 (0,56; 1,17)	0,62 (0,46; 1,05)	0,55 (0,39; 0,97)	0,5 (0,34; 0,91)	0,46 (0,31; 0,87)	0,43 (0,29; 0,84)	0,41 (0,28; 0,81)	0,4 (0,26; 0,80)	0,39 (0,26; 0,78)	0,38 (0,25; 0,77)	0,37 (0,25; 0,77)
35	0,91 (0,70; 1,30)	0,71 (0,54; 1,09)	0,59 (0,45; 0,95)	0,52 (0,38; 0,86)	0,46 (0,34; 0,79)	0,43 (0,31; 0,74)	0,4 (0,29; 0,72)	0,39 (0,28; 0,70)	0,37 (0,27; 0,69)	0,36 (0,26; 0,68)	0,36 (0,25; 0,67)	0,35 (0,24; 0,66)
40	0,92 (0,72; 1,27)	0,7 (0,54; 1,04)	0,58 (0,43; 0,93)	0,5 (0,37; 0,83)	0,46 (0,34; 0,76)	0,43 (0,31; 0,72)	0,41 (0,29; 0,70)	0,39 (0,28; 0,68)	0,37 (0,27; 0,67)	0,36 (0,26; 0,66)	0,36 (0,25; 0,65)	0,35 (0,24; 0,64)
45	0,92 (0,72; 1,40)	0,69 (0,53; 1,06)	0,57 (0,42; 0,94)	0,5 (0,37; 0,87)	0,45 (0,32; 0,82)	0,42 (0,30; 0,79)	0,4 (0,28; 0,77)	0,38 (0,27; 0,75)	0,37 (0,26; 0,73)	0,36 (0,25; 0,72)	0,35 (0,24; 0,71)	0,34 (0,24; 0,71)
50	0,91 (0,71; 1,33)	0,67 (0,50; 1,07)	0,55 (0,40; 0,94)	0,48 (0,34; 0,87)	0,45 (0,31; 0,82)	0,42 (0,28; 0,78)	0,4 (0,26; 0,75)	0,38 (0,25; 0,74)	0,37 (0,24; 0,73)	0,36 (0,24; 0,72)	0,35 (0,23; 0,71)	0,34 (0,23; 0,70)
55	0,94 (0,73; 1,35)	0,71 (0,51; 1,12)	0,58 (0,40; 0,94)	0,5 (0,35; 0,87)	0,46 (0,31; 0,83)	0,43 (0,29; 0,80)	0,41 (0,28; 0,77)	0,39 (0,26; 0,76)	0,38 (0,26; 0,74)	0,37 (0,25; 0,73)	0,36 (0,24; 0,73)	0,35 (0,24; 0,72)
60	0,95 (0,70; 1,35)	0,7 (0,47; 1,04)	0,57 (0,38; 0,89)	0,5 (0,32; 0,82)	0,46 (0,30; 0,78)	0,42 (0,27; 0,75)	0,4 (0,26; 0,74)	0,39 (0,25; 0,71)	0,37 (0,24; 0,69)	0,36 (0,23; 0,66)	0,35 (0,22; 0,65)	0,34 (0,22; 0,65)
65	0,94 (0,70; 1,33)	0,68 (0,47; 1,06)	0,56 (0,36; 0,91)	0,48 (0,31; 0,82)	0,44 (0,28; 0,77)	0,41 (0,26; 0,73)	0,38 (0,24; 0,70)	0,37 (0,23; 0,68)	0,36 (0,23; 0,67)	0,35 (0,22; 0,66)	0,34 (0,21; 0,65)	0,33 (0,21; 0,65)
70	0,94 (0,72; 1,24)	0,68 (0,49; 0,97)	0,55 (0,39; 0,80)	0,48 (0,33; 0,72)	0,44 (0,29; 0,67)	0,41 (0,28; 0,63)	0,39 (0,26; 0,61)	0,37 (0,24; 0,59)	0,36 (0,23; 0,58)	0,35 (0,22; 0,57)	0,34 (0,21; 0,56)	0,33 (0,21; 0,56)
75	0,94 (0,70; 1,31)	0,67 (0,49; 0,99)	0,54 (0,38; 0,85)	0,47 (0,32; 0,78)	0,42 (0,28; 0,74)	0,39 (0,26; 0,72)	0,37 (0,25; 0,70)	0,35 (0,23; 0,69)	0,34 (0,23; 0,67)	0,33 (0,22; 0,67)	0,32 (0,21; 0,66)	0,31 (0,20; 0,65)
80	0,94 (0,73; 1,38)	0,66 (0,48; 1,07)	0,53 (0,37; 0,89)	0,47 (0,32; 0,80)	0,42 (0,29; 0,75)	0,39 (0,27; 0,71)	0,37 (0,25; 0,68)	0,36 (0,24; 0,66)	0,35 (0,23; 0,65)	0,33 (0,22; 0,63)	0,33 (0,22; 0,62)	0,32 (0,21; 0,62)
85	0,95 (0,72; 1,36)	0,66 (0,47; 1,07)	0,53 (0,37; 0,92)	0,46 (0,32; 0,85)	0,42 (0,28; 0,82)	0,39 (0,26; 0,78)	0,37 (0,24; 0,75)	0,35 (0,23; 0,73)	0,34 (0,22; 0,71)	0,33 (0,21; 0,70)	0,33 (0,20; 0,69)	0,32 (0,20; 0,68)
90	0,95 (0,73; 1,40)	0,65 (0,49; 1,14)	0,53 (0,37; 1,00)	0,46 (0,31; 0,89)	0,42 (0,28; 0,81)	0,39 (0,26; 0,77)	0,37 (0,24; 0,75)	0,36 (0,23; 0,73)	0,35 (0,22; 0,71)	0,34 (0,21; 0,70)	0,33 (0,21; 0,68)	0,32 (0,20; 0,67)
95	0,95 (0,72; 1,37)	0,66 (0,46; 1,02)	0,52 (0,37; 0,88)	0,45 (0,30; 0,81)	0,41 (0,27; 0,76)	0,38 (0,26; 0,73)	0,36 (0,24; 0,71)	0,35 (0,24; 0,70)	0,33 (0,23; 0,68)	0,32 (0,22; 0,67)	0,32 (0,21; 0,66)	0,31 (0,21; 0,65)
100	0,93 (0,74; 1,32)	0,64 (0,48; 1,04)	0,5 (0,36; 0,86)	0,43 (0,30; 0,78)	0,39 (0,27; 0,73)	0,36 (0,25; 0,68)	0,34 (0,23; 0,64)	0,33 (0,22; 0,61)	0,32 (0,21; 0,58)	0,31 (0,20; 0,57)	0,3 (0,20; 0,56)	0,29 (0,19; 0,55)

Tableau 12. Probabilités que les densités d'oursin rouge mature ($DT \geq 50$ mm) soient inférieures au point de référence limite au cours de chaque 5^e année de simulation à d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) pour Haida Gwaii, selon le modèle de croissance de Tanaka.

Année	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %	12 %	14 %	16 %	18 %	20 %	22 %	24 %
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01
30	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,005	0,01	0,015
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,015
40	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,01	0,015	0,02
45	0	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,005	0,005	0,01	0,01
50	0	0	0	0	0	0,005	0,01	0,01	0,015	0,02	0,02	0,02
55	0	0	0	0	0	0	0,01	0,015	0,02	0,03	0,03	0,03
60	0	0	0	0	0	0,005	0,015	0,025	0,025	0,025	0,03	0,035
65	0	0	0	0	0	0,005	0,01	0,015	0,015	0,02	0,025	0,035
70	0	0	0	0,005	0,005	0,005	0,01	0,01	0,02	0,025	0,03	0,04
75	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,01	0,015	0,015	0,015	0,02
80	0	0	0	0	0,005	0,005	0,005	0,005	0,01	0,015	0,015	0,015
85	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,01	0,01	0,01
90	0	0	0	0	0	0	0,005	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03
95	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,005	0,005	0,01	0,015	0,025
100	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,01	0,015	0,02	0,03	0,03

Tableau 13. Probabilités que les densités d'oursin rouge mature ($DT \geq 50$ mm) soient inférieures au point de référence limite au cours de chaque 5^e année de simulation à d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) pour Haida Gwaii, selon le modèle de croissance logistique.

Année	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %	12 %	14 %	16 %	18 %	20 %	22 %	24 %
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,005
25	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,005	0,005	0,01
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,005
35	0	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,005	0,005	0,01	0,01
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,01	0,015
45	0	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,02	0,02	0,025	0,03
50	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
55	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,005	0,005	0,015
60	0	0	0	0	0	0	0,005	0,01	0,015	0,025	0,025	0,025
65	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,005	0,015	0,015
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,01
75	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
80	0	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,005	0,005	0,01	0,02
85	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,01	0,01	0,015	0,03
90	0	0	0	0	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,035	0,04	0,045
95	0	0	0	0,015	0,015	0,015	0,015	0,02	0,025	0,025	0,025	0,025
100	0	0	0	0	0,015	0,015	0,015	0,015	0,03	0,03	0,035	0,035

Tableau 14. Probabilités que les densités d'oursin rouge mature ($DT \geq 50$ mm) soient inférieures au point de référence limite au cours de chaque 5^e année de simulation à d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) pour la côte nord continentale, selon le modèle de croissance de Tanaka.

Année	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %	12 %	14 %	16 %	18 %	20 %	22 %	24 %
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,005
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,005
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,015	0,02
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,025	0,025
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,015	0,025	0,025
40	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,005	0,02	0,02	0,02	0,04
45	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,005	0,005
55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,005
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,005	0,005
65	0	0	0	0	0	0	0,005	0,01	0,015	0,015	0,02	0,025
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,015	0,015	0,02
75	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
80	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,01	0,01	0,01	0,015	0,015
85	0	0	0	0	0	0,005	0,015	0,025	0,03	0,03	0,03	0,03
90	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,01	0,02	0,02	0,025	0,025
95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,015
100	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02

Tableau 15. Probabilités que les densités d'oursin rouge mature ($DT \geq 50$ mm) soient inférieures au point de référence limite au cours de chaque 5^e année de simulation à d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) pour côte nord continentale, selon le modèle de croissance logistique.

Année	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %	12 %	14 %	16 %	18 %	20 %	22 %	24 %
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,005	0,005
30	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,015
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,005
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01
50	0	0	0	0	0	0	0,005	0,01	0,01	0,02	0,02	0,025
55	0	0	0	0	0,005	0,005	0,01	0,01	0,015	0,025	0,03	0,03
60	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,01	0,01	0,015	0,015	0,015
65	0	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,01	0,01	0,01
70	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,005	0,005	0,015
75	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,015
80	0	0	0	0	0	0	0,005	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
85	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,01	0,015	0,02
90	0	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,015
95	0	0	0	0	0,005	0,005	0,005	0,01	0,015	0,02	0,025	0,025
100	0	0	0	0,005	0,005	0,005	0,01	0,015	0,025	0,025	0,025	0,025

Tableau 16. Probabilités que les densités d'oursin rouge mature ($DT \geq 50$ mm) soient inférieures au point de référence limite au cours de chaque 5^e année de simulation à d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) pour les eaux intérieures de la côte sud, selon le modèle de croissance de Tanaka.

Année	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %	12 %	14 %	16 %	18 %	20 %	22 %	24 %
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,015	0,025	0,035
10	0	0	0	0	0,005	0,02	0,035	0,05	0,085	0,145	0,16	0,2
15	0	0	0	0,005	0,025	0,085	0,125	0,18	0,235	0,255	0,295	0,33
20	0	0	0	0,03	0,075	0,145	0,21	0,25	0,31	0,36	0,405	0,42
25	0	0	0	0,02	0,08	0,165	0,22	0,27	0,315	0,36	0,4	0,43
30	0	0	0,005	0,07	0,13	0,235	0,32	0,36	0,39	0,41	0,43	0,46
35	0	0	0,035	0,1	0,175	0,24	0,315	0,36	0,425	0,455	0,475	0,48
40	0	0	0,035	0,11	0,205	0,3	0,345	0,38	0,445	0,48	0,515	0,54
45	0	0,005	0,04	0,115	0,19	0,275	0,33	0,39	0,45	0,485	0,535	0,555
50	0	0	0,065	0,145	0,27	0,325	0,385	0,43	0,485	0,505	0,54	0,555
55	0	0,01	0,06	0,16	0,26	0,335	0,365	0,425	0,495	0,52	0,545	0,555
60	0	0,01	0,055	0,155	0,295	0,34	0,41	0,45	0,5	0,525	0,56	0,57
65	0	0,005	0,08	0,19	0,27	0,33	0,37	0,405	0,44	0,46	0,48	0,505
70	0	0,005	0,05	0,175	0,245	0,3	0,335	0,39	0,42	0,455	0,47	0,495
75	0	0,01	0,06	0,145	0,25	0,325	0,39	0,43	0,485	0,5	0,53	0,55
80	0	0	0,065	0,145	0,25	0,33	0,385	0,435	0,46	0,475	0,49	0,5
85	0	0,005	0,065	0,185	0,265	0,32	0,395	0,46	0,485	0,51	0,525	0,54
90	0	0	0,055	0,165	0,24	0,32	0,355	0,38	0,43	0,465	0,48	0,525
95	0	0	0,06	0,14	0,245	0,295	0,345	0,38	0,42	0,46	0,495	0,515
100	0	0	0,045	0,145	0,25	0,29	0,355	0,44	0,465	0,505	0,515	0,545

Tableau 17. Probabilités que les densités d'oursin rouge mature ($DT \geq 50$ mm) soient inférieures au point de référence limite au cours de chaque 5^e année de simulation à d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) pour les eaux intérieures de la côte sud, selon le modèle de croissance logistique.

Année	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %	12 %	14 %	16 %	18 %	20 %	22 %	24 %
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,015	0,02
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0,015	0,045	0,065	0,085
25	0	0	0	0	0	0,005	0,015	0,02	0,065	0,085	0,11	0,13
30	0	0	0	0	0	0,015	0,04	0,055	0,09	0,12	0,14	0,155
35	0	0	0	0	0	0,015	0,04	0,075	0,1	0,165	0,185	0,205
40	0	0	0	0	0,015	0,02	0,045	0,065	0,135	0,19	0,21	0,23
45	0	0	0	0	0,01	0,03	0,085	0,125	0,165	0,19	0,23	0,265
50	0	0	0	0	0,025	0,06	0,115	0,15	0,195	0,235	0,265	0,305
55	0	0	0	0	0,015	0,05	0,09	0,13	0,17	0,205	0,245	0,255
60	0	0	0	0,005	0,035	0,075	0,115	0,17	0,205	0,24	0,27	0,315
65	0	0	0	0	0,045	0,085	0,14	0,18	0,22	0,265	0,315	0,38
70	0	0	0	0,005	0,035	0,11	0,145	0,23	0,29	0,315	0,375	0,4
75	0	0	0	0,015	0,045	0,09	0,14	0,17	0,235	0,29	0,325	0,355
80	0	0	0	0,02	0,05	0,115	0,2	0,26	0,315	0,355	0,385	0,41
85	0	0	0	0,01	0,085	0,13	0,165	0,23	0,265	0,33	0,365	0,39
90	0	0	0,005	0,015	0,05	0,125	0,205	0,255	0,315	0,34	0,385	0,4
95	0	0	0	0,025	0,055	0,14	0,24	0,285	0,35	0,405	0,44	0,465
100	0	0	0	0,02	0,095	0,18	0,275	0,35	0,395	0,43	0,495	0,55

Tableau 18. Probabilités que les densités d'oursin rouge mature ($DT \geq 50$ mm) soient inférieures au point de référence supérieur du stock au cours de chaque 5^e année de simulation à d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) pour Haida Gwaii, selon le modèle de croissance de Tanaka.

Année	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %	12 %	14 %	16 %	18 %	20 %	22 %	24 %
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,035	0,085	0,1
20	0	0	0	0	0	0,03	0,04	0,08	0,11	0,13	0,135	0,16
25	0	0	0	0	0,01	0,05	0,09	0,12	0,16	0,19	0,225	0,25
30	0	0	0	0,01	0,045	0,085	0,11	0,16	0,195	0,205	0,225	0,225
35	0	0	0,005	0,025	0,055	0,09	0,13	0,155	0,19	0,22	0,23	0,255
40	0	0	0	0,03	0,065	0,115	0,12	0,15	0,165	0,195	0,205	0,22
45	0	0	0,01	0,03	0,065	0,075	0,11	0,155	0,18	0,2	0,215	0,23
50	0	0	0,02	0,03	0,085	0,14	0,175	0,185	0,195	0,21	0,235	0,255
55	0	0	0,02	0,06	0,105	0,125	0,19	0,215	0,23	0,25	0,275	0,29
60	0	0	0,025	0,045	0,08	0,105	0,135	0,17	0,19	0,225	0,24	0,26
65	0	0	0,015	0,06	0,095	0,145	0,17	0,195	0,22	0,255	0,28	0,29
70	0	0,005	0,02	0,055	0,085	0,115	0,145	0,165	0,19	0,22	0,245	0,26
75	0	0	0,01	0,03	0,06	0,105	0,13	0,165	0,185	0,205	0,25	0,265
80	0	0,005	0,015	0,06	0,08	0,105	0,14	0,175	0,195	0,22	0,235	0,255
85	0	0	0,015	0,05	0,095	0,125	0,15	0,17	0,2	0,215	0,23	0,24
90	0	0	0,025	0,06	0,095	0,12	0,145	0,15	0,175	0,195	0,205	0,225
95	0	0,005	0,01	0,06	0,105	0,145	0,18	0,195	0,215	0,235	0,26	0,275
100	0	0,005	0,035	0,075	0,115	0,135	0,16	0,195	0,22	0,24	0,26	0,27

Tableau 19. Probabilités que les densités d'oursin rouge mature ($DT \geq 50$ mm) soient inférieures au point de référence supérieur du stock au cours de chaque 5^e année de simulation à d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) pour Haida Gwaii, selon le modèle de croissance logistique.

Année	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %	12 %	14 %	16 %	18 %	20 %	22 %	24 %
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,01	0,015	0,03
15	0	0	0	0	0	0	0,005	0,025	0,04	0,07	0,09	0,12
20	0	0	0	0	0	0,025	0,055	0,1	0,115	0,135	0,145	0,17
25	0	0	0	0,005	0,02	0,06	0,085	0,1	0,12	0,16	0,195	0,22
30	0	0	0	0,01	0,03	0,075	0,1	0,12	0,15	0,17	0,2	0,23
35	0	0	0,005	0,01	0,05	0,09	0,125	0,18	0,205	0,225	0,26	0,265
40	0	0	0,01	0,025	0,055	0,105	0,15	0,17	0,18	0,185	0,225	0,23
45	0	0	0,02	0,04	0,105	0,13	0,14	0,17	0,195	0,205	0,225	0,235
50	0	0	0,005	0,035	0,07	0,105	0,125	0,14	0,165	0,175	0,195	0,235
55	0	0	0,01	0,03	0,085	0,135	0,16	0,18	0,205	0,215	0,235	0,245
60	0	0	0,01	0,03	0,075	0,12	0,15	0,165	0,185	0,21	0,215	0,225
65	0	0	0,01	0,04	0,075	0,105	0,145	0,155	0,19	0,205	0,205	0,225
70	0	0	0,01	0,055	0,07	0,09	0,12	0,14	0,2	0,23	0,255	0,26
75	0	0,005	0,01	0,03	0,08	0,095	0,115	0,155	0,17	0,195	0,225	0,245
80	0	0	0,025	0,055	0,085	0,11	0,155	0,165	0,185	0,225	0,265	0,28
85	0	0	0,025	0,08	0,1	0,13	0,165	0,2	0,225	0,25	0,26	0,29
90	0	0,01	0,04	0,06	0,1	0,145	0,175	0,205	0,23	0,245	0,255	0,27
95	0	0,015	0,035	0,085	0,13	0,145	0,185	0,2	0,23	0,245	0,26	0,285
100	0	0,015	0,05	0,085	0,135	0,18	0,205	0,23	0,28	0,305	0,325	0,35

Tableau 20. Probabilités que les densités d'oursin rouge mature ($DT \geq 50$ mm) soient inférieures au point de référence supérieur du stock au cours de chaque 5^e année de simulation à d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) pour la côte nord continentale, selon le modèle de croissance de Tanaka.

Année	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %	12 %	14 %	16 %	18 %	20 %	22 %	24 %
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,02	0,065	0,075	0,105
15	0	0	0	0	0,005	0,02	0,04	0,06	0,08	0,11	0,145	0,18
20	0	0	0	0	0,02	0,035	0,07	0,1	0,125	0,165	0,2	0,255
25	0	0	0	0,01	0,05	0,095	0,145	0,2	0,235	0,27	0,305	0,33
30	0	0	0	0,02	0,085	0,135	0,205	0,255	0,3	0,325	0,35	0,37
35	0	0	0,005	0,05	0,1	0,165	0,215	0,27	0,305	0,335	0,365	0,395
40	0	0,005	0,025	0,07	0,115	0,17	0,205	0,225	0,26	0,27	0,28	0,29
45	0	0	0,015	0,065	0,105	0,15	0,2	0,22	0,235	0,275	0,285	0,305
50	0	0,005	0,01	0,055	0,095	0,15	0,19	0,22	0,235	0,265	0,305	0,305
55	0	0	0,02	0,065	0,11	0,145	0,2	0,23	0,28	0,31	0,32	0,345
60	0	0	0,02	0,065	0,11	0,185	0,225	0,25	0,31	0,35	0,38	0,395
65	0	0,005	0,03	0,115	0,16	0,205	0,255	0,295	0,33	0,37	0,385	0,395
70	0	0,005	0,04	0,095	0,155	0,21	0,24	0,28	0,305	0,34	0,37	0,395
75	0	0,005	0,025	0,08	0,14	0,21	0,23	0,28	0,295	0,31	0,33	0,35
80	0	0	0,035	0,075	0,135	0,17	0,24	0,28	0,31	0,35	0,355	0,365
85	0	0,01	0,06	0,09	0,155	0,205	0,24	0,28	0,32	0,35	0,375	0,39
90	0	0,005	0,04	0,07	0,115	0,17	0,205	0,225	0,275	0,31	0,335	0,355
95	0	0	0,02	0,09	0,14	0,185	0,22	0,265	0,295	0,32	0,385	0,405
100	0	0	0,03	0,04	0,08	0,175	0,215	0,24	0,255	0,305	0,32	0,35

Tableau 21. Probabilités que les densités d'oursin rouge mature ($DT \geq 50$ mm) soient inférieures au point de référence supérieur du stock au cours de chaque 5^e année de simulation à d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) pour la côte nord continentale, selon le modèle de croissance logistique.

Année	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %	12 %	14 %	16 %	18 %	20 %	22 %	24 %
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,01	0,015	0,03
15	0	0	0	0	0	0	0,005	0,025	0,04	0,07	0,09	0,12
20	0	0	0	0	0	0,025	0,055	0,1	0,115	0,135	0,145	0,17
25	0	0	0	0,005	0,02	0,06	0,085	0,1	0,12	0,16	0,195	0,22
30	0	0	0	0,01	0,03	0,075	0,1	0,12	0,15	0,17	0,2	0,23
35	0	0	0,005	0,01	0,05	0,09	0,125	0,18	0,205	0,225	0,26	0,265
40	0	0	0,01	0,025	0,055	0,105	0,15	0,17	0,18	0,185	0,225	0,23
45	0	0	0,02	0,04	0,105	0,13	0,14	0,17	0,195	0,205	0,225	0,235
50	0	0	0,005	0,035	0,07	0,105	0,125	0,14	0,165	0,175	0,195	0,235
55	0	0	0,01	0,03	0,085	0,135	0,16	0,18	0,205	0,215	0,235	0,245
60	0	0	0,01	0,03	0,075	0,12	0,15	0,165	0,185	0,21	0,215	0,225
65	0	0	0,01	0,04	0,075	0,105	0,145	0,155	0,19	0,205	0,205	0,225
70	0	0	0,01	0,055	0,07	0,09	0,12	0,14	0,2	0,23	0,255	0,26
75	0	0,005	0,01	0,03	0,08	0,095	0,115	0,155	0,17	0,195	0,225	0,245
80	0	0	0,025	0,055	0,085	0,11	0,155	0,165	0,185	0,225	0,265	0,28
85	0	0	0,025	0,08	0,1	0,13	0,165	0,2	0,225	0,25	0,26	0,29
90	0	0,01	0,04	0,06	0,1	0,145	0,175	0,205	0,23	0,245	0,255	0,27
95	0	0,015	0,035	0,085	0,13	0,145	0,185	0,2	0,23	0,245	0,26	0,285
100	0	0,015	0,05	0,085	0,135	0,18	0,205	0,23	0,28	0,305	0,325	0,35

Tableau 22. Probabilités que les densités d'oursin rouge mature ($DT \geq 50$ mm) soient inférieures au point de référence supérieur du stock au cours de chaque 5^e année de simulation à d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) pour les eaux intérieures de la côte sud, selon le modèle de croissance de Tanaka.

Année	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %	12 %	14 %	16 %	18 %	20 %	22 %	24 %
5	0,145	0,185	0,24	0,305	0,4	0,455	0,545	0,615	0,68	0,72	0,755	0,775
10	0,11	0,2	0,32	0,49	0,6	0,69	0,725	0,78	0,805	0,815	0,825	0,84
15	0,125	0,3	0,505	0,63	0,715	0,8	0,835	0,87	0,89	0,905	0,91	0,93
20	0,125	0,395	0,58	0,715	0,825	0,87	0,895	0,925	0,94	0,95	0,955	0,955
25	0,09	0,425	0,67	0,805	0,845	0,875	0,9	0,92	0,94	0,94	0,945	0,95
30	0,12	0,46	0,685	0,79	0,85	0,875	0,9	0,91	0,93	0,93	0,93	0,935
35	0,13	0,455	0,695	0,8	0,86	0,89	0,915	0,93	0,945	0,96	0,97	0,975
40	0,15	0,6	0,78	0,9	0,94	0,96	0,97	0,975	0,975	0,975	0,975	0,98
45	0,105	0,555	0,805	0,875	0,915	0,935	0,95	0,96	0,965	0,975	0,98	0,985
50	0,15	0,6	0,805	0,895	0,93	0,95	0,96	0,965	0,975	0,975	0,98	0,98
55	0,14	0,625	0,79	0,875	0,895	0,905	0,925	0,945	0,945	0,945	0,945	0,955
60	0,14	0,59	0,785	0,84	0,88	0,91	0,915	0,925	0,945	0,945	0,945	0,955
65	0,155	0,515	0,71	0,8	0,85	0,89	0,905	0,92	0,92	0,935	0,935	0,94
70	0,13	0,52	0,76	0,86	0,91	0,925	0,945	0,95	0,955	0,955	0,965	0,965
75	0,14	0,57	0,785	0,865	0,895	0,905	0,915	0,94	0,95	0,955	0,96	0,96
80	0,125	0,545	0,765	0,88	0,905	0,91	0,93	0,935	0,94	0,945	0,95	0,95
85	0,15	0,575	0,75	0,84	0,89	0,93	0,935	0,94	0,95	0,955	0,965	0,965
90	0,12	0,56	0,775	0,875	0,89	0,935	0,95	0,955	0,96	0,965	0,965	0,965
95	0,11	0,55	0,785	0,86	0,9	0,92	0,93	0,95	0,95	0,96	0,965	0,97
100	0,08	0,625	0,805	0,895	0,91	0,92	0,935	0,955	0,955	0,96	0,97	0,97

Tableau 23. Probabilités que les densités d'oursin rouge mature ($DT \geq 50$ mm) soient inférieures au point de référence supérieur du stock au cours de chaque 5^e année de simulation à d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) pour les eaux intérieures de la côte sud, selon le modèle de croissance logistique.

Année	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %	12 %	14 %	16 %	18 %	20 %	22 %	24 %
5	0	0	0,005	0,01	0,025	0,07	0,125	0,18	0,24	0,31	0,42	0,5
10	0	0,005	0,025	0,115	0,225	0,405	0,57	0,645	0,72	0,745	0,76	0,805
15	0	0,025	0,115	0,345	0,545	0,695	0,795	0,84	0,865	0,9	0,91	0,92
20	0	0,02	0,23	0,485	0,665	0,785	0,825	0,845	0,89	0,9	0,91	0,92
25	0	0,055	0,315	0,56	0,74	0,82	0,855	0,875	0,895	0,915	0,925	0,945
30	0	0,1	0,38	0,67	0,825	0,88	0,9	0,905	0,915	0,92	0,92	0,93
35	0	0,15	0,505	0,775	0,865	0,9	0,915	0,93	0,935	0,95	0,955	0,955
40	0	0,16	0,59	0,775	0,855	0,89	0,905	0,915	0,94	0,95	0,955	0,965
45	0	0,175	0,61	0,785	0,865	0,905	0,925	0,93	0,935	0,935	0,945	0,95
50	0	0,21	0,62	0,795	0,87	0,9	0,915	0,925	0,94	0,94	0,945	0,945
55	0	0,225	0,575	0,765	0,84	0,89	0,9	0,91	0,925	0,93	0,93	0,935
60	0	0,24	0,595	0,78	0,84	0,895	0,91	0,925	0,925	0,945	0,945	0,945
65	0	0,225	0,615	0,795	0,86	0,895	0,92	0,945	0,945	0,95	0,955	0,955
70	0	0,27	0,65	0,805	0,895	0,94	0,965	0,975	0,985	0,985	0,985	0,985
75	0	0,24	0,705	0,86	0,905	0,93	0,95	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
80	0	0,285	0,69	0,84	0,89	0,915	0,94	0,95	0,955	0,96	0,965	0,97
85	0	0,25	0,715	0,835	0,895	0,92	0,935	0,94	0,945	0,95	0,95	0,95
90	0	0,285	0,705	0,85	0,89	0,91	0,93	0,945	0,95	0,95	0,955	0,955
95	0	0,315	0,78	0,875	0,92	0,935	0,95	0,955	0,965	0,965	0,965	0,965
100	0	0,35	0,77	0,88	0,93	0,95	0,965	0,97	0,975	0,975	0,975	0,975

Tableau 24. Tableau récapitulatif des probabilités que les densités d'oursin rouge mature ($DT \geq 50$ mm) dépassent le point de référence supérieur du stock (PRS) et le point de référence limite (PRL) après la 100^e année de simulation à d'autres taux de récolte (de 2 % à 24 %) pour Haida Gwaii, la côte nord continentale et les eaux intérieures de la côte sud, selon les modèles de croissance de Tanaka et logistique.

Région	Modèle de croissance	Point de référence	Probabilité d'atteindre le point de référence après 100 ans, selon le taux de récolte											
			2 %	4 %	6 %	8 %	10 %	12 %	14 %	16 %	18 %	20 %	22 %	24 %
Haida Gwaii	Tanaka	PRS	0	0,005	0,035	0,075	0,115	0,135	0,16	0,195	0,22	0,24	0,26	0,27
		PRL	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,01	0,015	0,02	0,03	0,03
	Logistique	PRS	0	0,015	0,05	0,085	0,135	0,18	0,205	0,23	0,28	0,305	0,325	0,35
		PRL	0	0	0	0	0,015	0,015	0,015	0,015	0,03	0,03	0,035	0,035
Côte nord	Tanaka	PRS	0	0	0,03	0,04	0,08	0,175	0,215	0,24	0,255	0,305	0,32	0,35
		PRL	0	0	0	0	0	0,005	0,005	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
	Logistique	PRS	0	0,015	0,05	0,085	0,135	0,18	0,205	0,23	0,28	0,305	0,325	0,35
		PRL	0	0	0	0,005	0,005	0,005	0,01	0,015	0,025	0,025	0,025	0,025
Côte sud	Tanaka	PRS	0,08	0,625	0,805	0,895	0,91	0,92	0,935	0,955	0,955	0,96	0,97	0,97
		PRL	0	0	0,045	0,145	0,25	0,29	0,355	0,44	0,465	0,505	0,515	0,545
	Logistique	PRS	0	0,35	0,77	0,88	0,93	0,95	0,965	0,97	0,975	0,975	0,975	0,975
		PRL	0	0	0	0,02	0,095	0,18	0,275	0,35	0,395	0,43	0,495	0,55

10 FIGURES

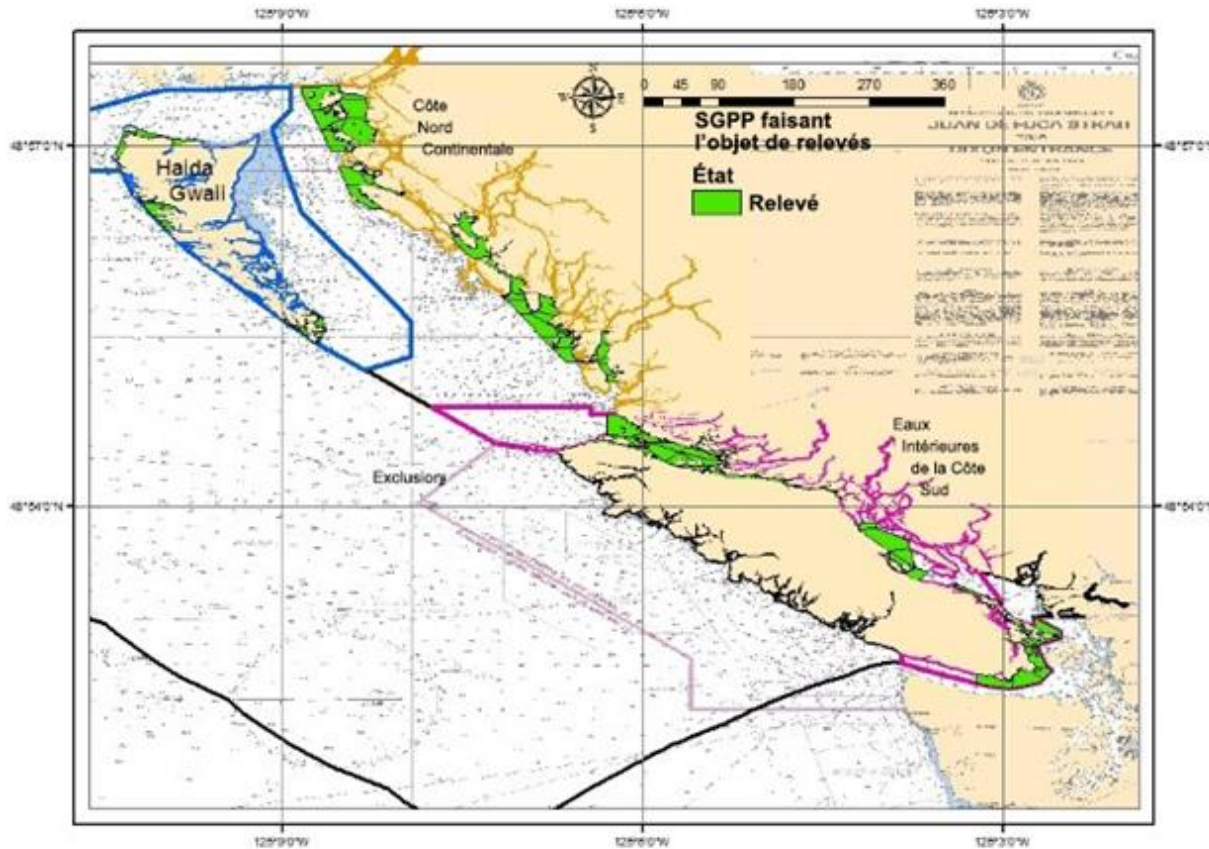


Figure 1. Carte de la Colombie-Britannique, l'ombrage vert indiquant l'emplacement des sous-secteurs de gestion des pêches du Pacifique où des relevés en plongée indépendants de la pêche de l'oursin rouge ont été effectués de 1994 à 2016. La région de Haida Gwaii est indiquée en bleu, la région de la côte nord continentale en orange et les eaux intérieures de la côte sud en rose.

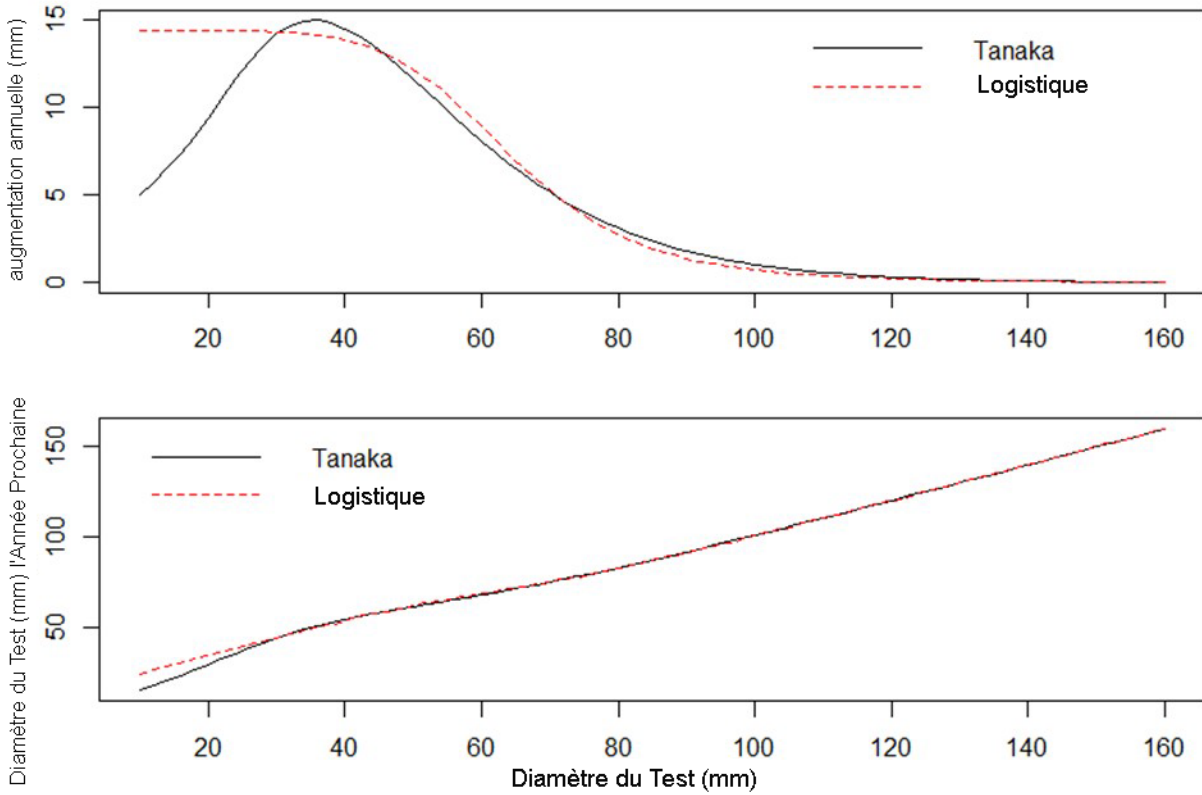


Figure 2. Modèles de croissance de Tanaka et logistique pour la baie Alert, qui permettent de prédire l'augmentation annuelle du DT ou le DT d'un oursin rouge d'après son diamètre de test de l'année précédente.

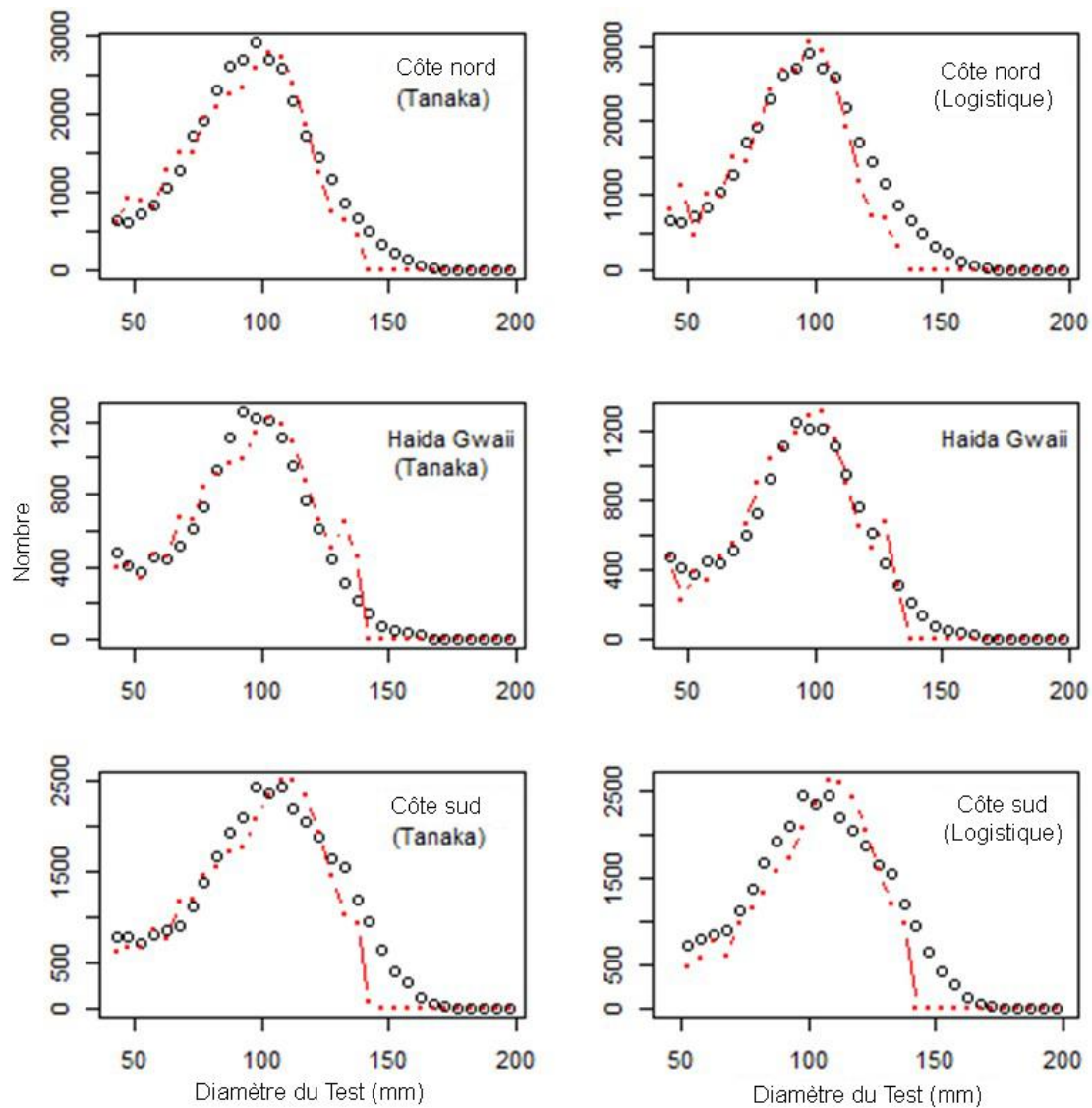


Figure 3. Comparaison du nombre généré par un modèle (points rouges) et du nombre observé (cercles noirs) d'oursins rouges à divers intervalles du diamètre de test pour côte nord continentale, Haida Gwaii et les eaux intérieures de la côte sud. Le modèle utilisé est soit le modèle de croissance de Tanaka (Tanaka), soit le modèle de croissance logistique (logistique), avec un taux de récolte fixe de 0,02 pour les oursins rouges dont le DT est compris entre 90 et 140 mm. Les valeurs des paramètres de croissance sont ajustées pour les eaux intérieures de la côte sud (voir le texte pour obtenir une explication détaillée).

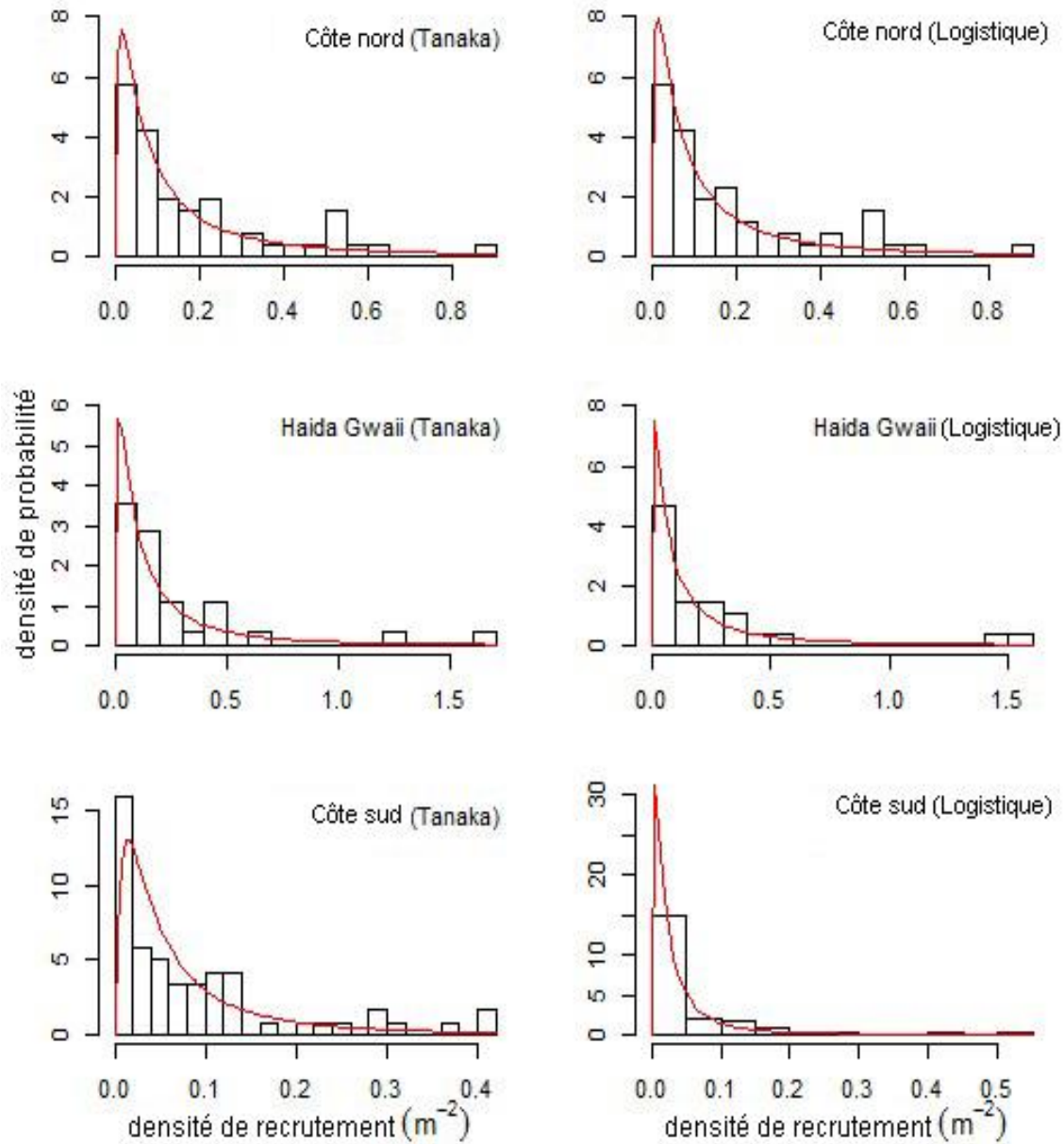


Figure 4. Ajustement des distributions des probabilités log-normales (lignes rouges) aux densités de recrutement sur la côte nord continentale, à Haida Gwaii et sur les eaux intérieures de la côte sud. Les densités de recrutement désignent les densités d'oursin rouge dont le DT se situe dans les fourchettes des diamètres du test de recrutement déterminées à l'aide du modèle de croissance de Tanaka (Tanaka) ou du modèle de croissance logistique (logistique). La distribution des probabilités log-normales n'est ajustée qu'aux densités de recrutement supérieures à $0,01 \text{ m}^{-2}$ pour les eaux intérieures de la côte sud, lorsque la fourchette des diamètres du test de recrutement a été déterminée selon le modèle de croissance de Tanaka.

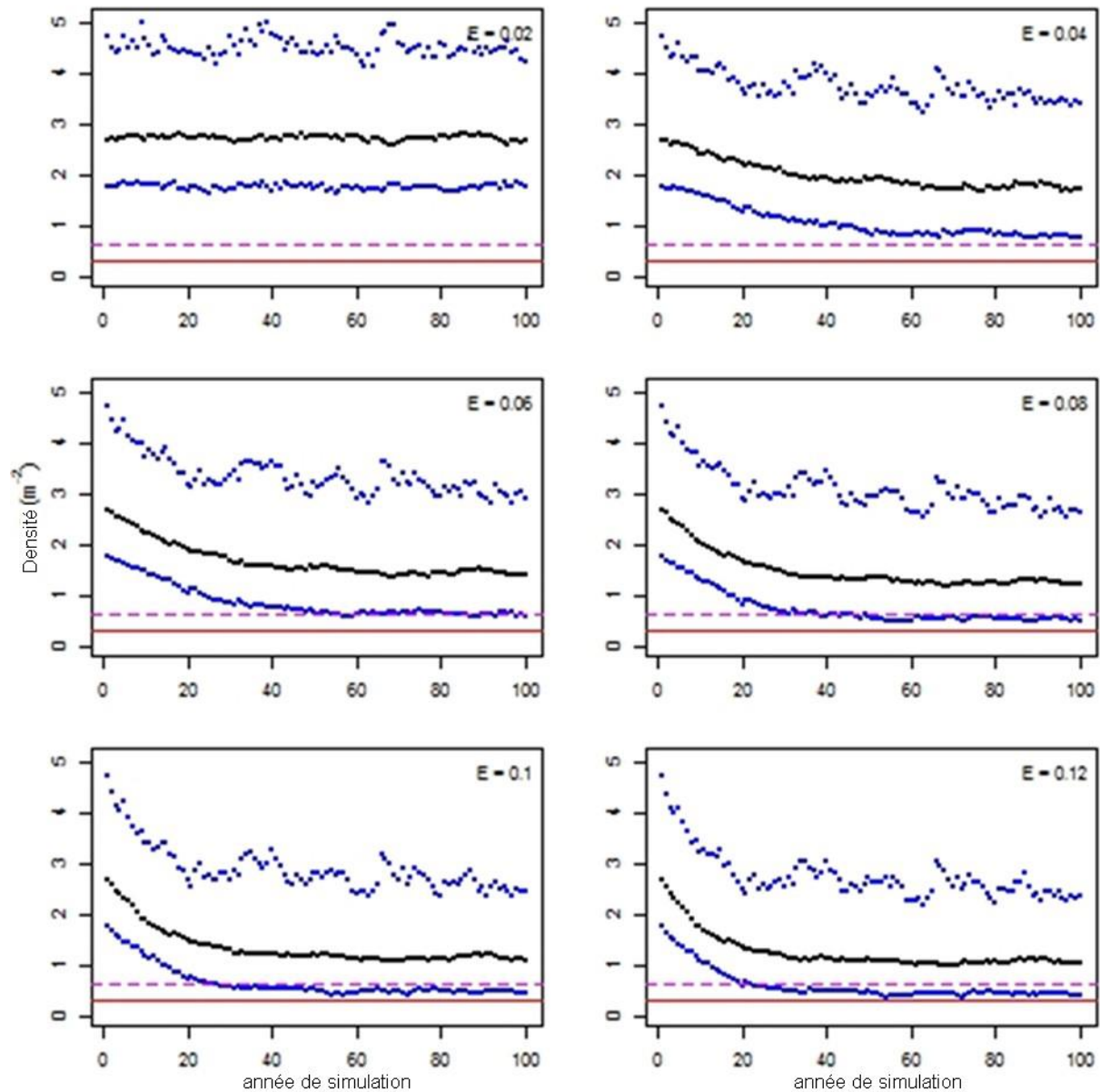


Figure 5. Densités spatiales médianes de l'oursin rouge mature (oursin rouge/m² : lignes noires) avec les intervalles de confiance à 95 % (lignes bleues) pour d'autres taux de récolte (E) au cours des années de simulation pour Haida Gwaii, selon le modèle de croissance de Tanaka. Les lignes rouges pointillées et pleines indiquent respectivement le point de référence supérieur du stock et le point de référence limite (suite à la page suivante).

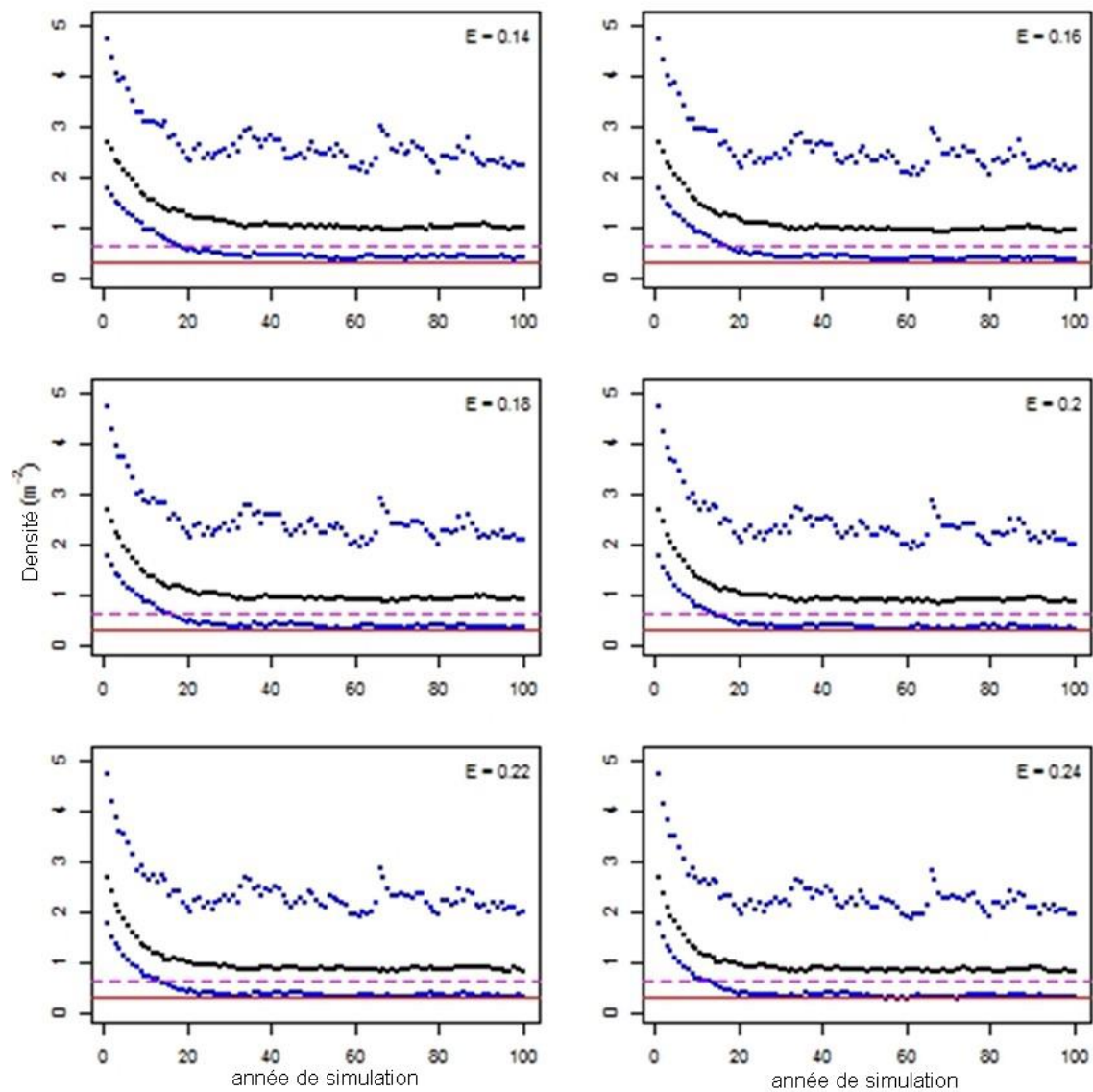


Figure 5 (suite). Densités spatiales médianes de l'oursin rouge mature (oursin rouge/m² : lignes noires) avec les intervalles de confiance à 95 % (lignes bleues) pour d'autres taux de récolte (E) au cours des années de simulation pour Haida Gwaii, selon le modèle de croissance de Tanaka. Les lignes rouges pointillées et pleines indiquent respectivement le point de référence supérieur du stock et le point de référence limite.

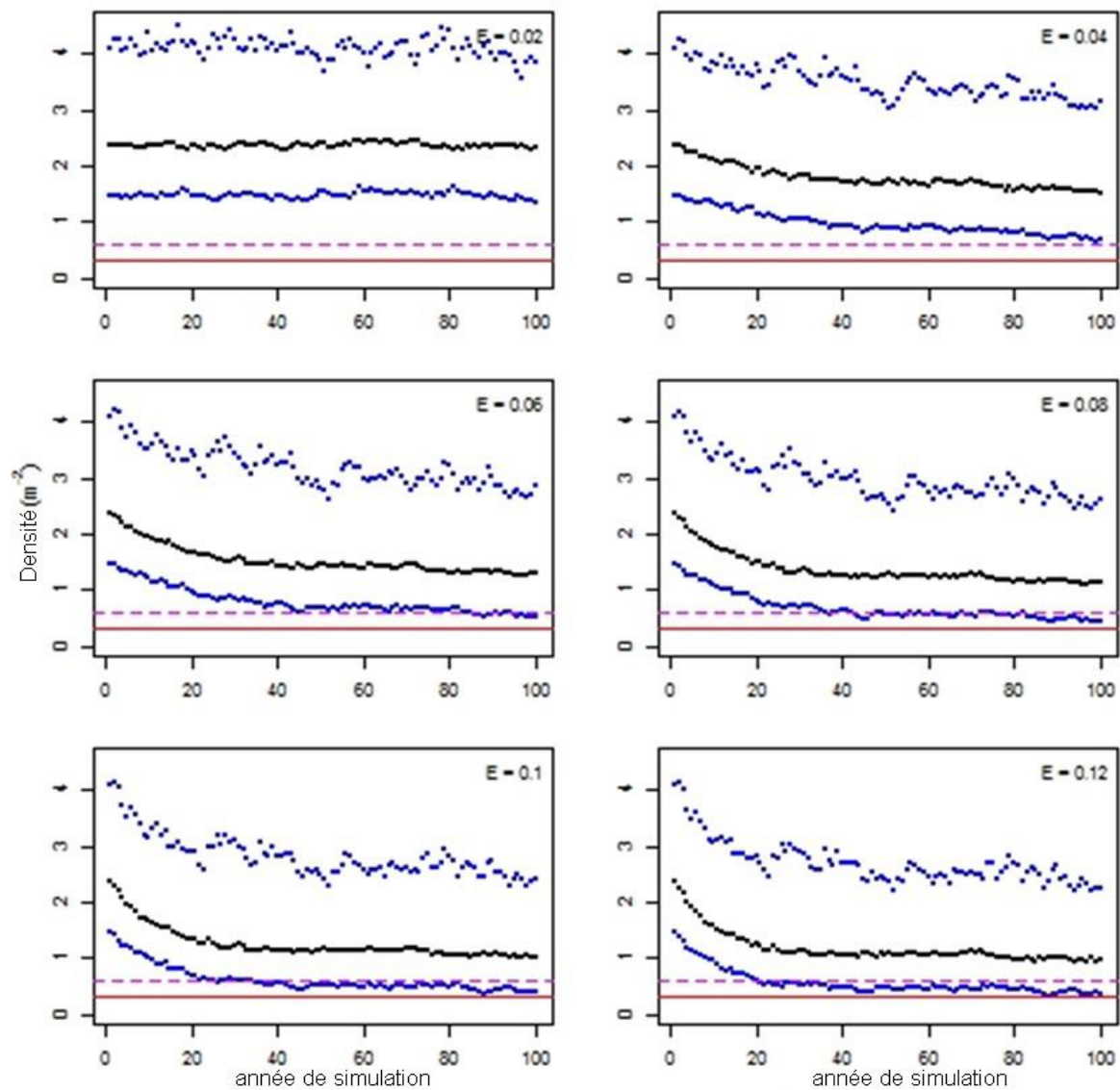


Figure 6. Densités spatiales médianes de l'oursin rouge mature (oursin rouge/m² : lignes noires) avec les intervalles de confiance à 95 % (lignes bleues) pour d'autres taux de récolte (E) au cours des années de simulation pour Haida Gwaii, selon le modèle de croissance logistique. Les lignes rouges pointillées et pleines indiquent respectivement le point de référence supérieur du stock et le point de référence limite (suite à la page suivante).

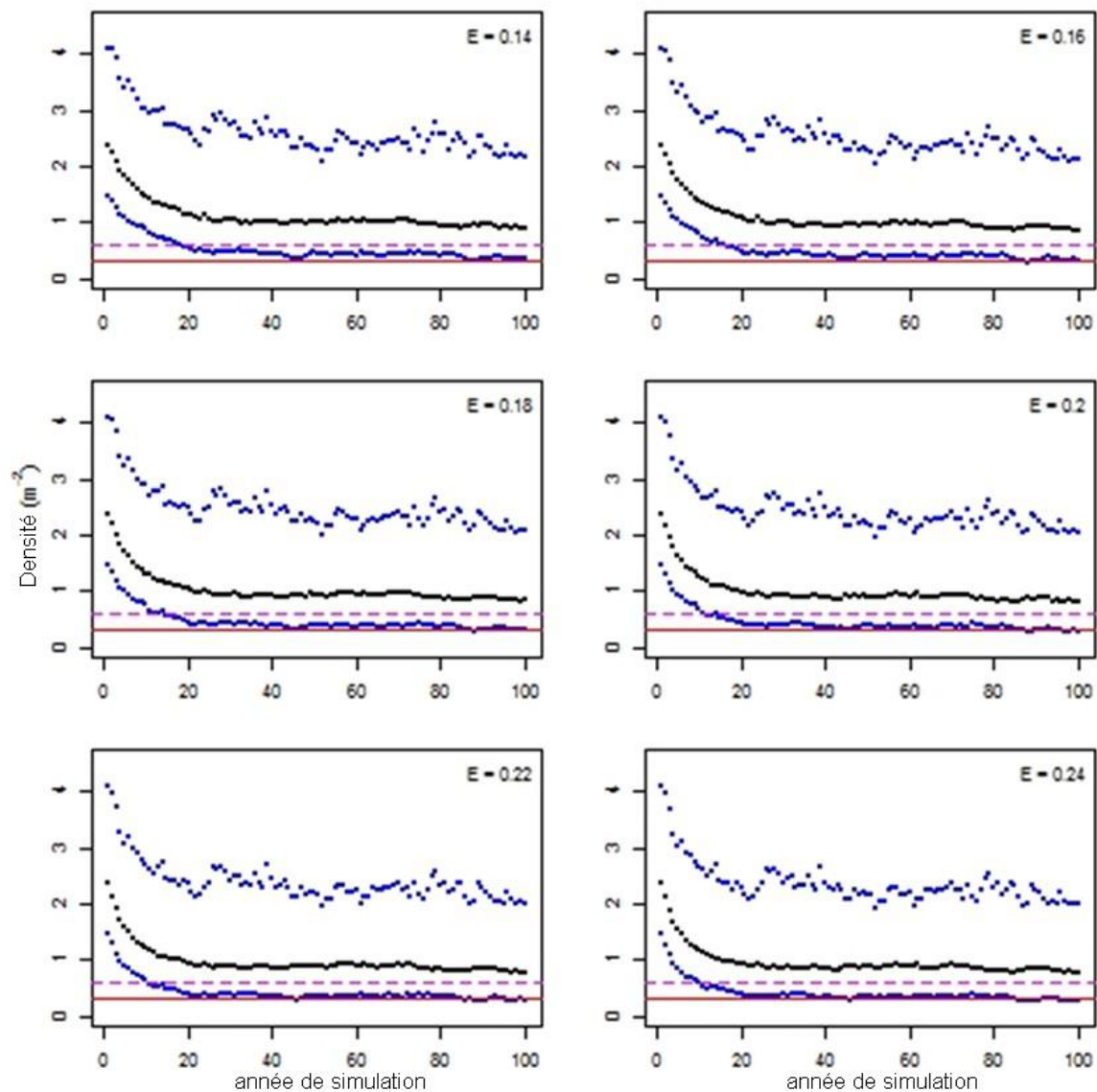


Figure 6 (suite). Densités spatiales médianes de l'oursin rouge mature (oursin rouge/m² : lignes noires) avec les intervalles de confiance à 95 % (lignes bleues) pour d'autres taux de récolte (E) au cours des années de simulation pour Haida Gwaii, selon le modèle de croissance logistique. Les lignes rouges pointillées et pleines indiquent respectivement le point de référence supérieur du stock et le point de référence limite.

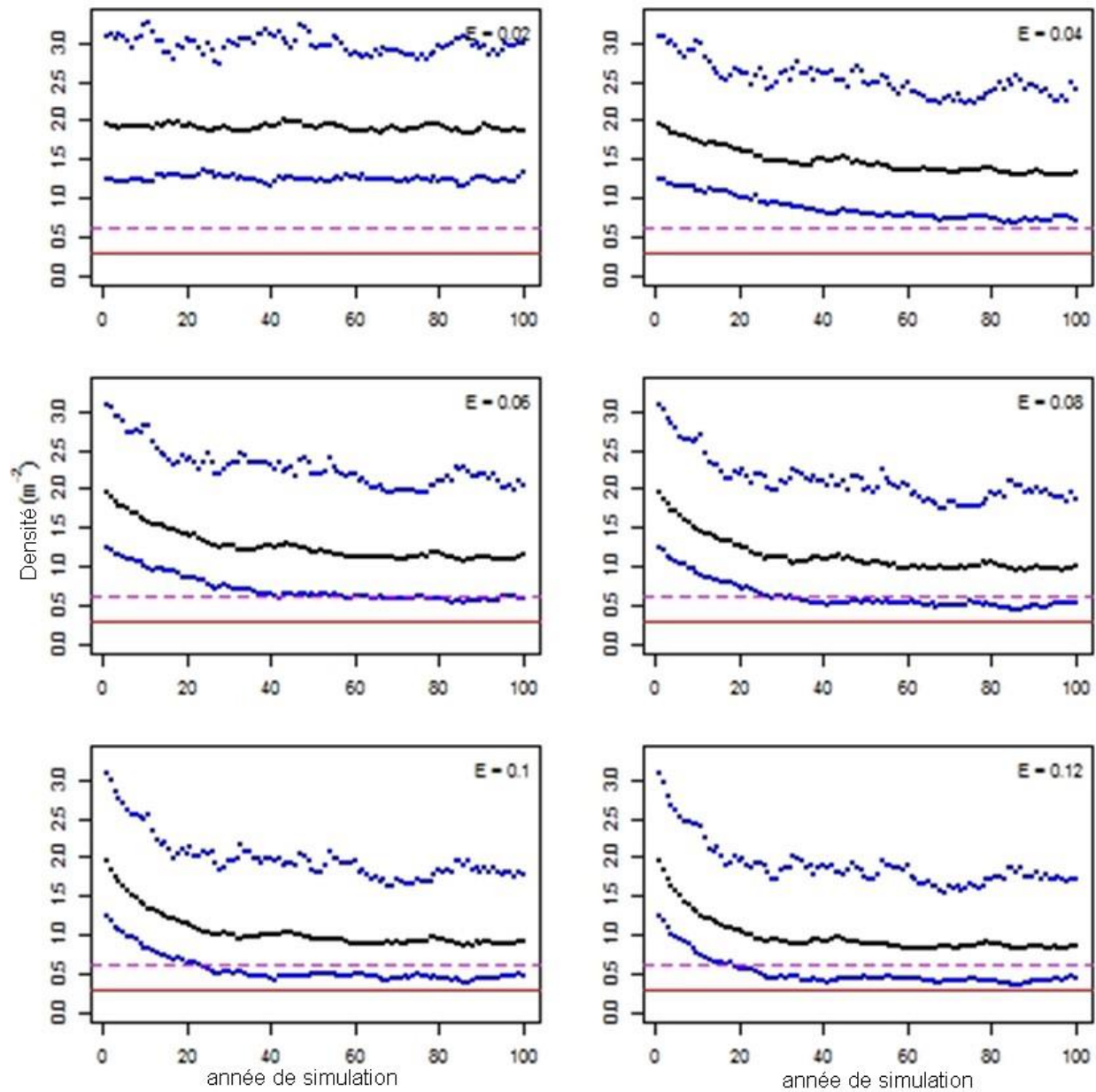


Figure 7. Densités spatiales médianes de l'oursin rouge mature (oursin rouge/m² : lignes noires) avec les intervalles de confiance à 95 % (lignes bleues) pour d'autres taux de récolte (E) au cours des années de simulation pour côte nord continentale, selon le modèle de croissance de Tanaka. Les lignes rouges pointillées et pleines indiquent respectivement le point de référence supérieur du stock et le point de référence limite (suite à la page suivante).

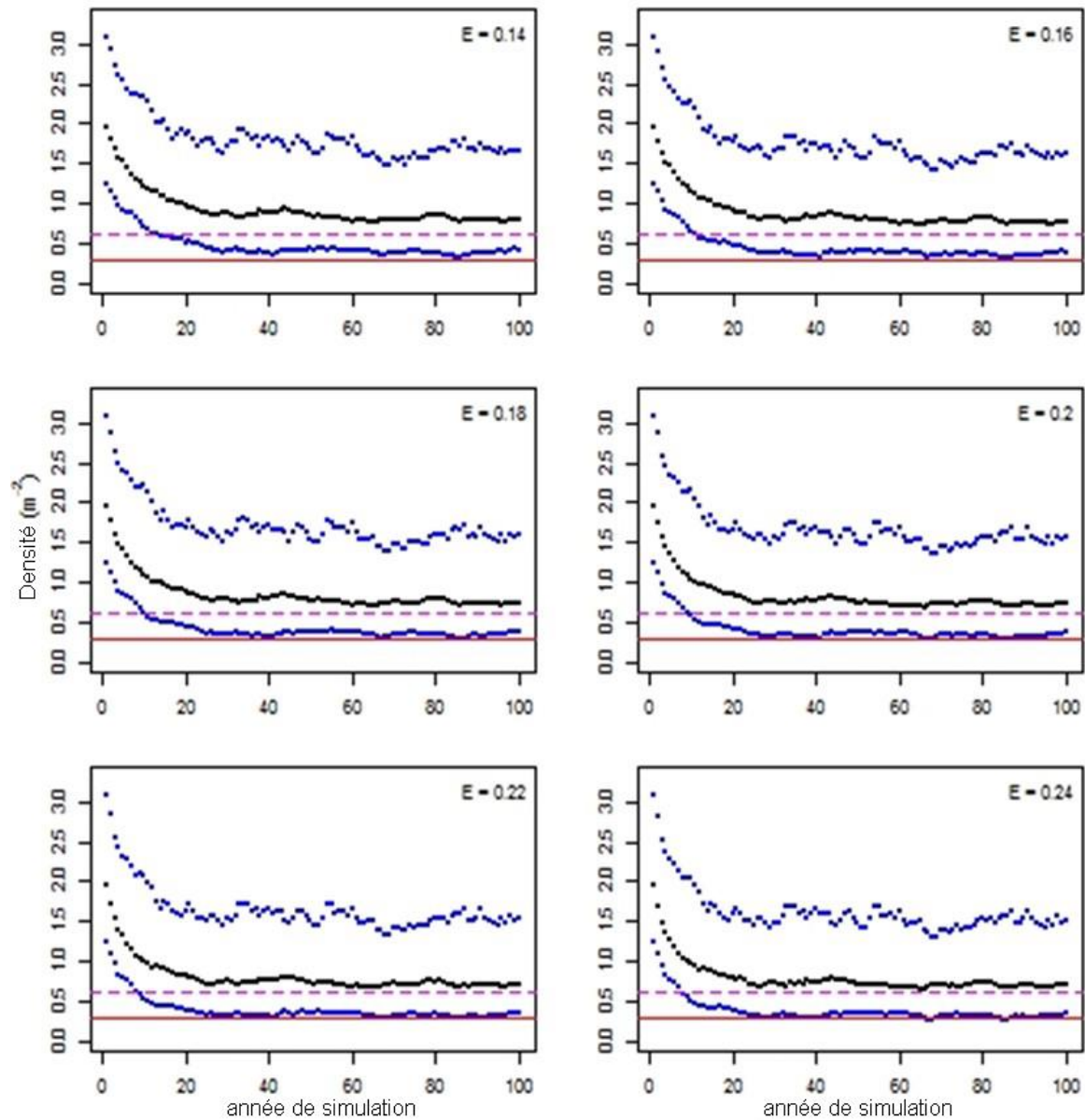


Figure 7 (suite). Densités spatiales médianes de l'oursin rouge mature (oursin rouge/m² : lignes noires) avec les intervalles de confiance à 95 % (lignes bleues) pour d'autres taux de récolte (E) au cours des années de simulation pour la côte nord, selon le modèle de croissance de Tanaka. Les lignes rouges pointillées et pleines indiquent respectivement le point de référence supérieur du stock et le point de référence limite.

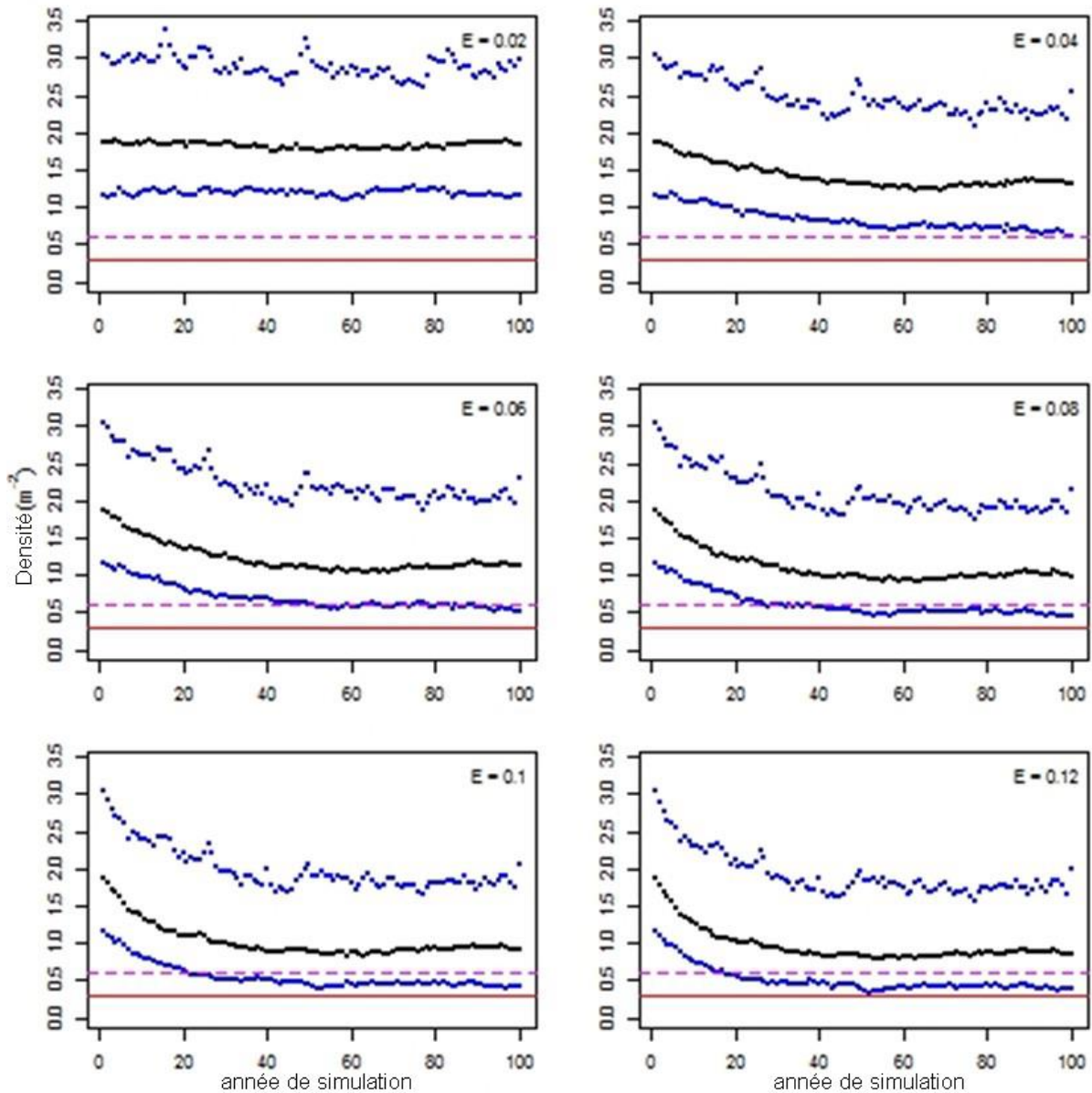


Figure 8. Densités spatiales médianes de l'oursin rouge mature (oursin rouge/m² : lignes noires) avec les intervalles de confiance à 95 % (lignes bleues) pour d'autres taux de récolte (E) au cours des années de simulation pour côte nord continentale, selon le modèle de croissance logistique. Les lignes rouges pointillées et pleines indiquent respectivement le point de référence supérieur du stock et le point de référence limite (suite à la page suivante).

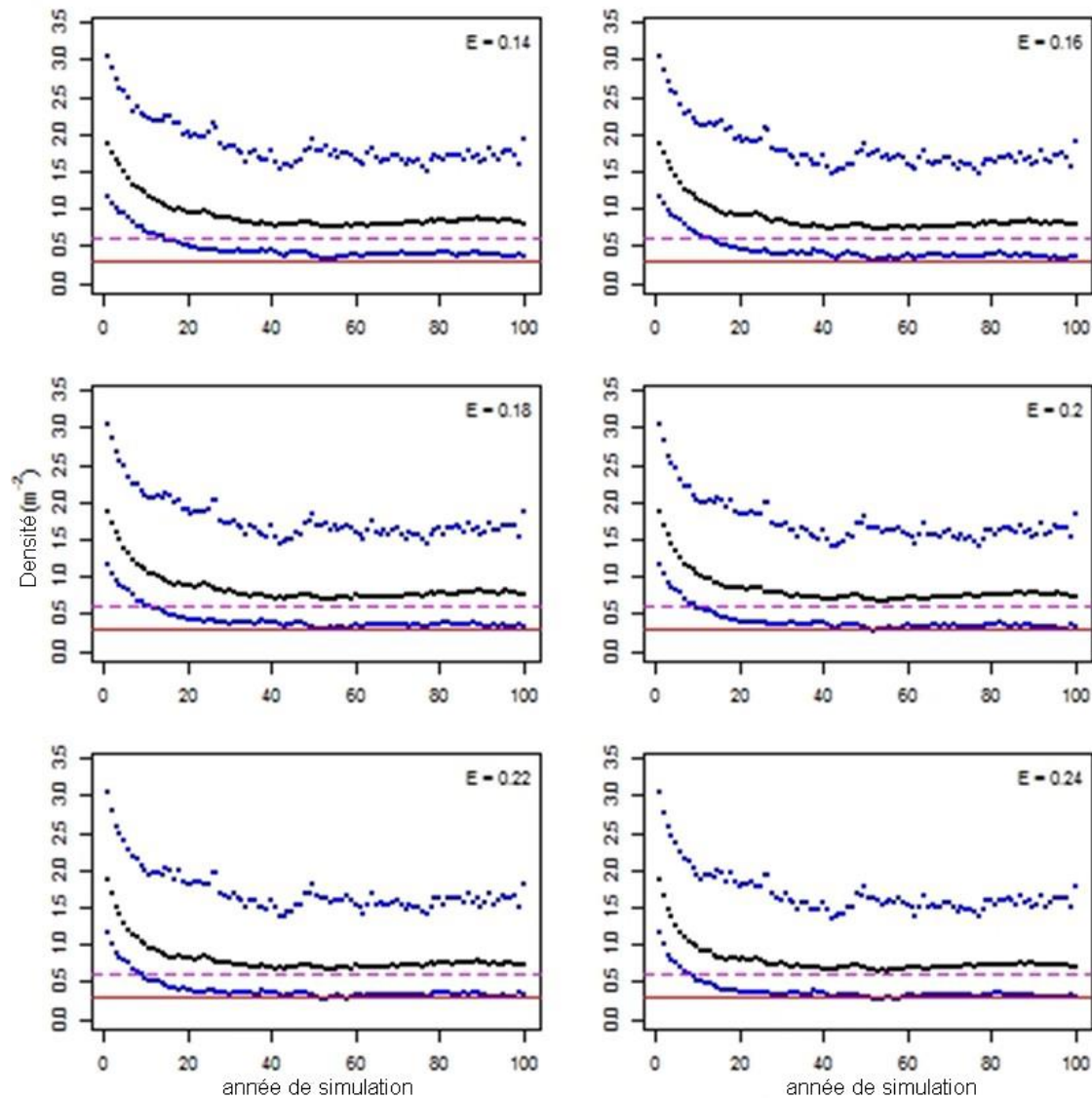


Figure 8 (suite). Densités spatiales médianes de l'oursin rouge mature (oursin rouge/m² : lignes noires) avec les intervalles de confiance à 95 % (lignes bleues) pour d'autres taux de récolte (E) au cours des années de simulation pour la côte nord continentale, selon le modèle de croissance logistique. Les lignes rouges pointillées et pleines indiquent respectivement le point de référence supérieur du stock et le point de référence limite.

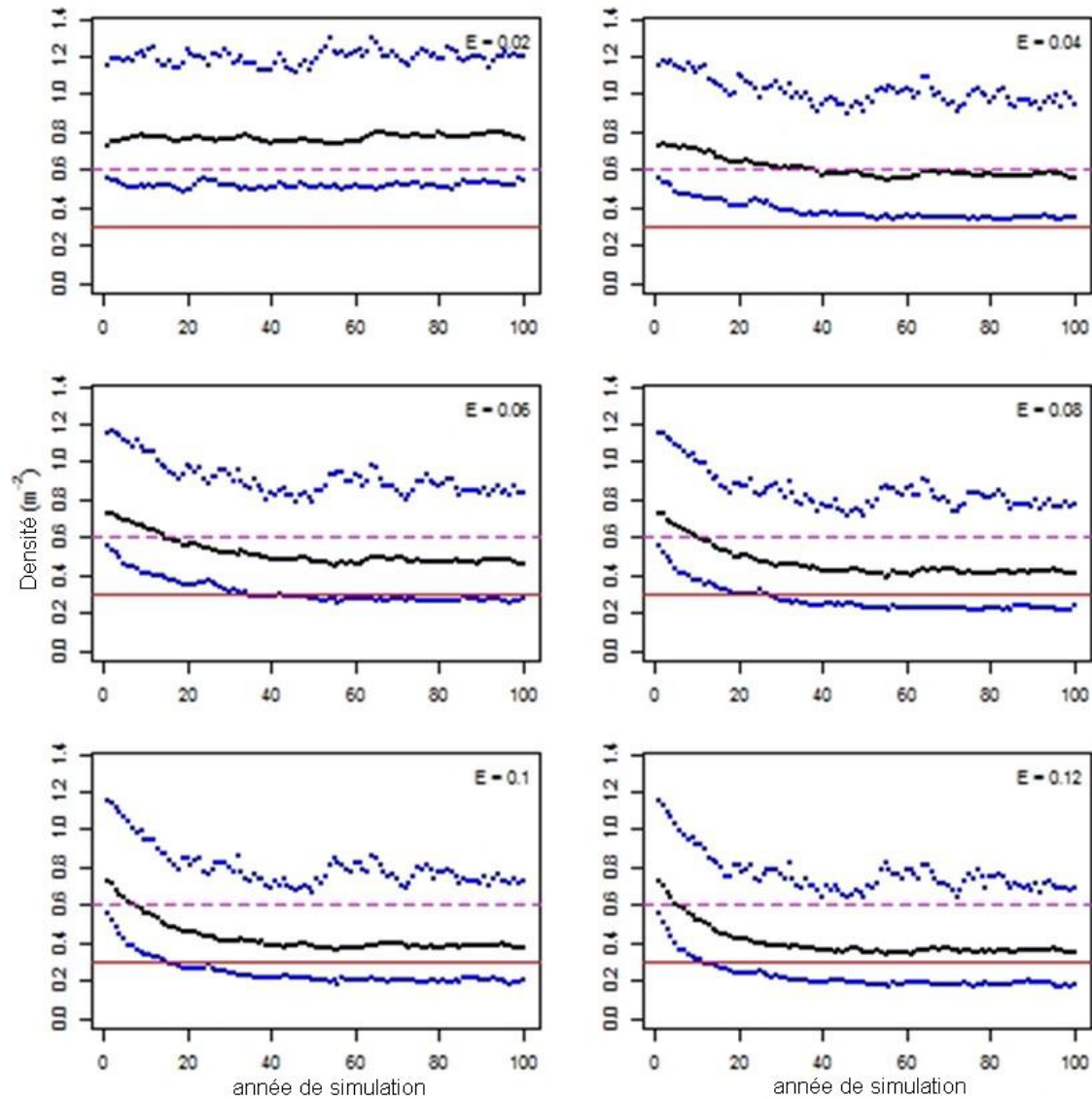


Figure 9. Densités spatiales médianes de l'oursin rouge mature (oursin rouge/m² : lignes noires) avec les intervalles de confiance à 95 % (lignes bleues) pour d'autres taux de récolte (E) au cours des années de simulation pour les eaux intérieures de la côte sud, selon le modèle de croissance de Tanaka. Les lignes rouges pointillées et pleines indiquent respectivement le point de référence supérieur du stock et le point de référence limite (suite à la page suivante).

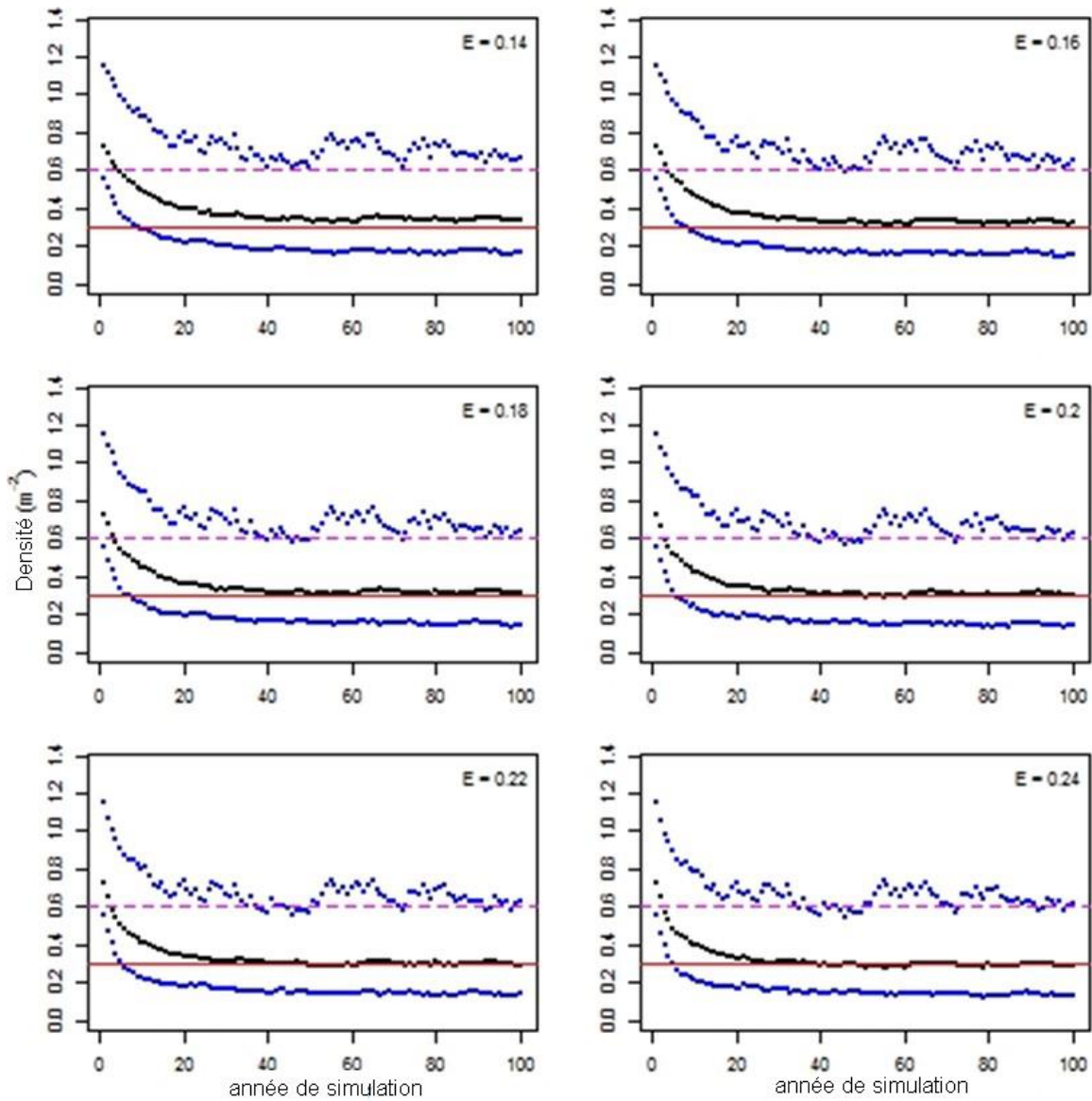


Figure 9 (suite). Densités spatiales médianes de l'oursin rouge mature (oursin rouge/m² : lignes noires) avec les intervalles de confiance à 95 % (lignes bleues) pour d'autres taux de récolte (E) au cours des années de simulation pour les eaux intérieures de la côte sud, selon le modèle de croissance de Tanaka. Les lignes rouges pointillées et pleines indiquent respectivement le point de référence supérieur du stock et le point de référence limite.

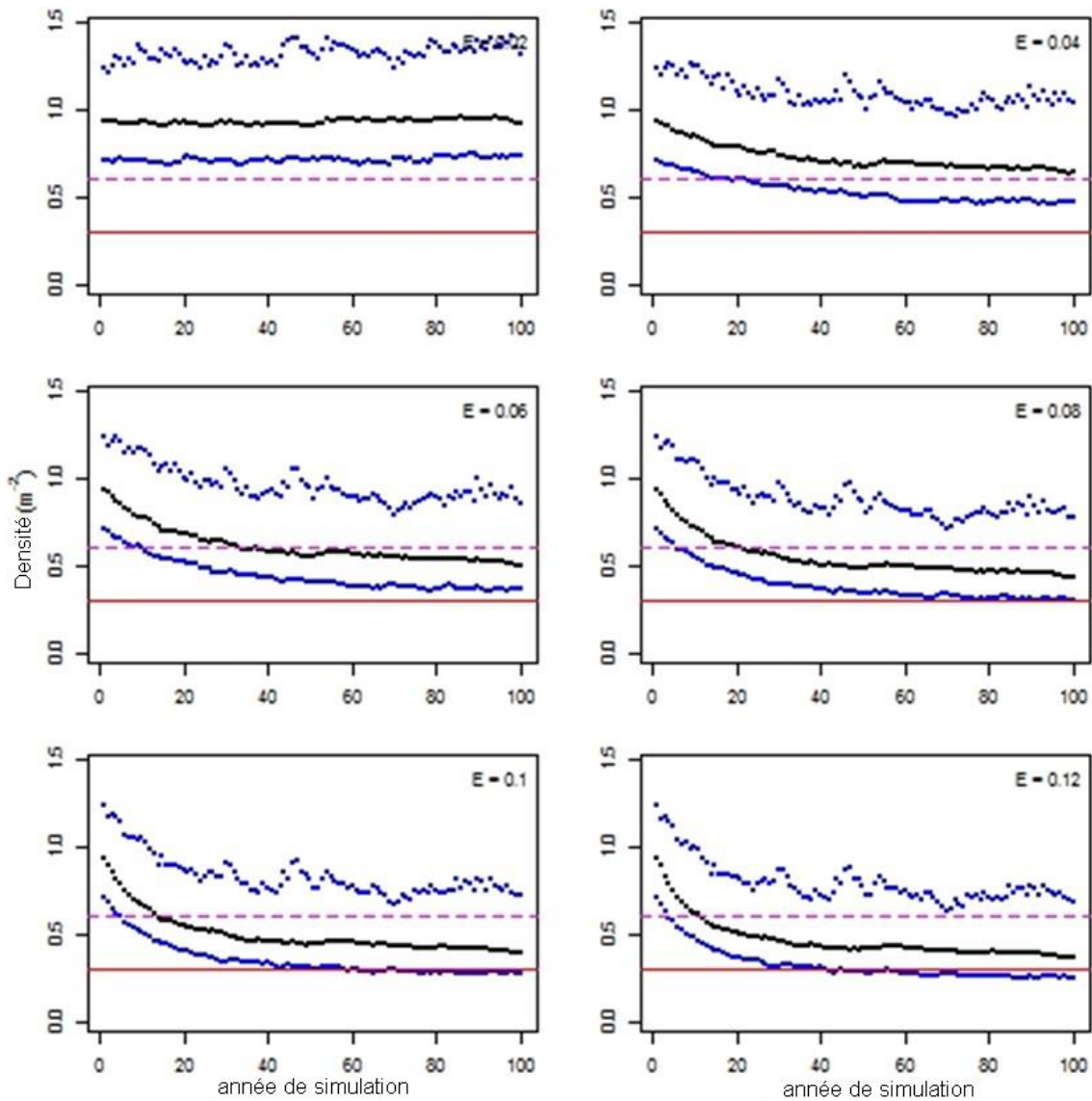


Figure 10. Densités spatiales médianes de l'oursin rouge mature (oursin rouge/m² : lignes noires) avec les intervalles de confiance à 95 % (lignes bleues) pour d'autres taux de récolte (E) au cours des années de simulation pour les eaux intérieures de la côte sud, selon le modèle de croissance logistique. Les lignes rouges pointillées et pleines indiquent respectivement le point de référence supérieur du stock et le point de référence limite (suite à la page suivante).

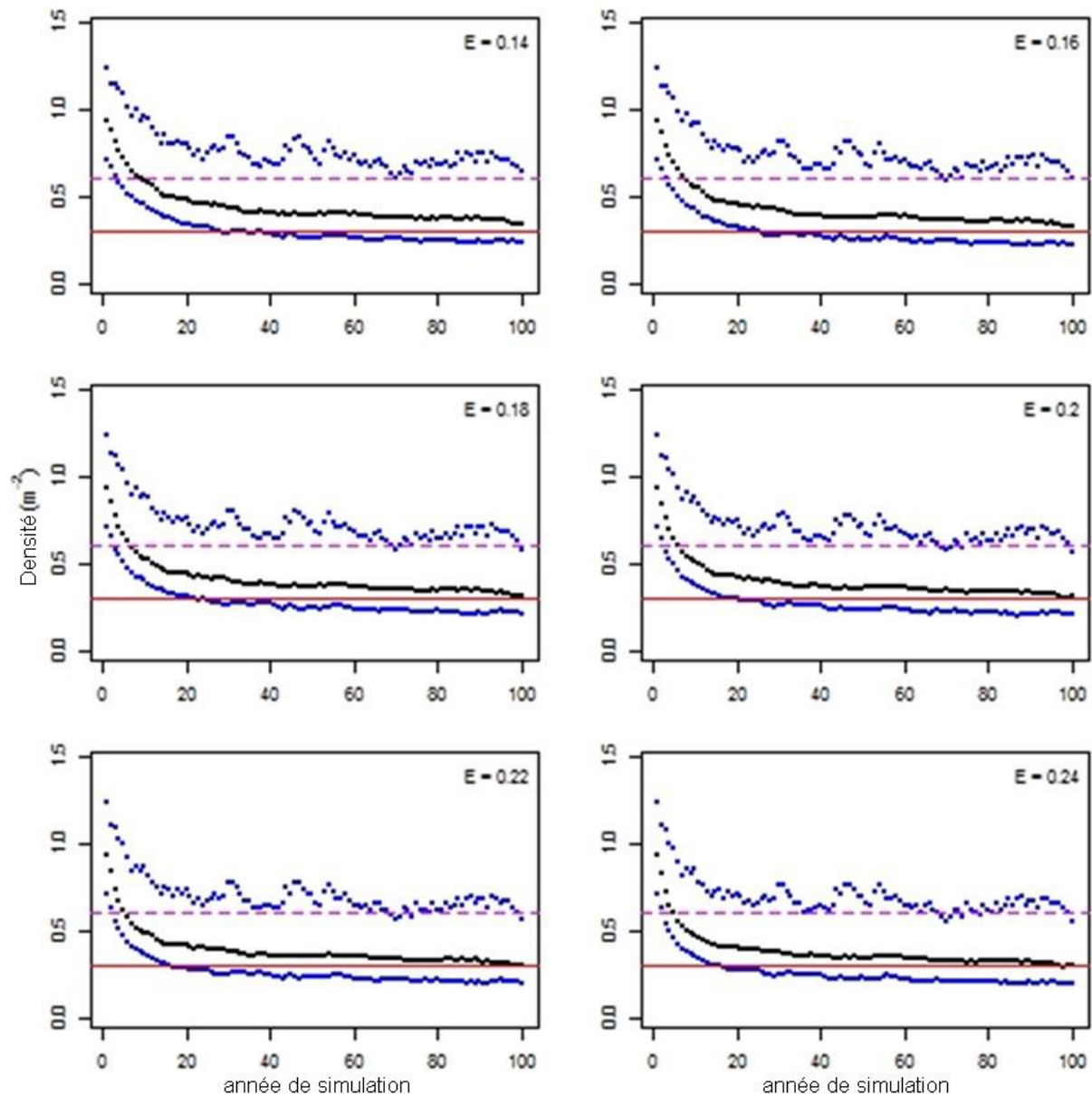


Figure 10 (suite). Densités spatiales médianes de l'oursin rouge mature (oursin rouge/m² : lignes noires) avec les intervalles de confiance à 95 % (lignes bleues) pour d'autres taux de récolte (E) au cours des années de simulation pour les eaux intérieures de la côte sud, selon le modèle de croissance logistique. Les lignes rouges pointillées et pleines indiquent respectivement le point de référence supérieur du stock et le point de référence limite.