



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 2021/043

Région du Pacifique

Évaluation du potentiel de rétablissement de neuf unités désignables du saumon rouge (*Oncorhynchus nerka*) du fleuve Fraser – Probabilité d’atteindre les cibles de rétablissement fixées (éléments 12, 13, 15, et 19 à 22)

Ann-Marie Huang¹, Gottfried Pestal² et Ian Guthrie³

¹Pêches et Océans Canada
100, Annacis Parkway, bureau 3
Delta (Colombie-Britannique) V3M 6A2

²Solv Consulting

³Consultant

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



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2021
ISSN 2292-4272
ISBN 978-0-660-38746-8 N° cat. Fs70-5/2021-043F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Huang, A-M., Pestal, G., Guthrie, I. 2021. Évaluation du potentiel de rétablissement de neuf unités désignables du saumon rouge (*Oncorhynchus nerka*) du fleuve Fraser – Probabilité d'atteindre les cibles de rétablissement fixées (éléments 12, 13, 15, et 19 à 22). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2021/043. xi + 108 p.

Also available in English:

Huang, A-M., Pestal, G., Guthrie, I. 2021. Recovery Potential Assessment for Fraser River Sockeye Salmon (*Oncorhynchus nerka*) – Nine Designatable Units: Probability of Achieving Recovery Targets - Elements 12, 13, 15, 19-22. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2021/043. x + 96 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	xi
1. INTRODUCTION	1
2. DESCRIPTION DES UNITÉS DÉSIGNABLES	2
3. CONTEXTE ET APERÇU.....	4
4. MÉTHODES.....	6
4.1. SOURCES DE DONNÉES.....	6
4.2. APERÇU DES MÉTHODES	7
5. CIBLES DE RÉTABLISSEMENT	7
5.1. CONTEXTE : DOMMAGES ADMISSIBLES ET CIBLES DE RÉTABLISSEMENT	7
5.1.1. Dommages admissibles.....	7
5.1.2. Cibles de rétablissement.....	8
5.2. ÉLÉMENT 12 : PROPOSER DES CIBLES DE RÉTABLISSEMENT CONCERNANT L'ABONDANCE ET L'AIRE DE RÉPARTITION.....	8
5.2.1. Cibles de rétablissement conceptuelles.....	9
5.2.2. Points de référence liés aux cibles de rétablissement propres à un stock.....	10
5.2.3. Cibles de rétablissement imbriquées – Méthodologie.....	12
5.3. ÉLÉMENT 13 (PARTIE 1) : PROJETER LES TRAJECTOIRES DE POPULATIONS PRÉVUES SUR UNE PÉRIODE RAISONNABLE SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE (MINIMUM DE DIX ANS) ET DES TRAJECTOIRES AU FIL DU TEMPS JUSQU'À L'ATTEINTE DES CIBLES DE RÉTABLISSEMENT POSSIBLES, EN FONCTION DES PARAMÈTRES ACTUELS DE LA DYNAMIQUE DES POPULATIONS D'UNE ESPÈCE SAUVAGE – MODÈLES STOCK-RECRUTEMENT PROPRES À CHAQUE STOCK.....	13
5.3.1. Méthodes : Sélection de modèles stock-recrutement	14
5.3.2. Méthodes : Types de modèles de base	15
5.3.3. Méthodes : Critères pour la sélection de modèles stock-recrutement	17
5.3.4. Résultats : Sélection de modèles propres à chaque stock	19
5.4. ÉLÉMENT 13 (PARTIE 2) : PROJETER LES TRAJECTOIRES DE POPULATIONS PRÉVUES SUR UNE PÉRIODE RAISONNABLE SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE (MINIMUM DE DIX ANS) ET DES TRAJECTOIRES AU FIL DU TEMPS JUSQU'À L'ATTEINTE DES CIBLES DE RÉTABLISSEMENT POSSIBLES, EN FONCTION DES PARAMÈTRES ACTUELS DE LA DYNAMIQUE DES POPULATIONS D'UNE ESPÈCE SAUVAGE – SIMULATION PROSPECTIVE RÉALISÉE AU MOYEN DE MODÈLES DE POPULATION ..	19
5.4.1. Aperçu.....	19
5.4.2. Méthodes : Modèle de simulation de l'EPR	20
5.5. ÉLÉMENT 15 : ÉVALUER LA PROBABILITÉ QUE LES CIBLES DE RÉTABLISSEMENT POSSIBLES PUISSENT ÊTRE ATTEINTES SELON LES TAUX ACTUELS DE PARAMÈTRES DE LA DYNAMIQUE DES POPULATIONS ET DÉTERMINER COMMENT CETTE PROBABILITÉ POURRAIT VARIER SELON DIFFÉRENTS PARAMÈTRES DE MORTALITÉ (SURTOUT DES VALEURS PLUS FAIBLES) ET DE PRODUCTIVITÉ (SURTOUT DES VALEURS PLUS ÉLEVÉES).....	21
5.5.1. Résultats : Stocks modélisés	21

5.5.2. Stocks sans série chronologique stock-recrutement.....	26
6. SCÉNARIOS D'ATTÉNUATION DES MENACES ET ACTIVITÉS DE RECHANGE	27
6.1. ÉLÉMENT 19 : ESTIMER LA DIMINUTION DU TAUX DE MORTALITÉ ATTENDUE POUR CHAQUE MESURE D'ATTÉNUATION OU SOLUTION DE RECHANGE ÉNUMÉRÉE À L'ÉLÉMENT 16, ET L'AUGMENTATION DE LA PRODUCTIVITÉ OU DE LA SURVIE ASSOCIÉE À CHAQUE MESURE LIÉE À L'ÉLÉMENT 17.....	27
6.1.1. Aperçu.....	27
6.1.2. Méthodes : Scénarios de productivités futures de rechange pour les modèles stock- recrutement.....	27
6.1.3. Méthodes : Scénario d'atténuation – Exemple du glissement de terrain de Big Bar 28	
6.2. ÉLÉMENT 20 : PROJETER LES TRAJECTOIRES DE POPULATIONS PRÉVUES (ET LES INCERTITUDES CONNEXES) SUR UNE PÉRIODE RAISONNABLE SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET JUSQU'À L'ATTEINTE DES CIBLES DE RÉTABLISSEMENT, COMPTE TENU DES TAUX DE MORTALITÉ ET DES VALEURS DE PRODUCTIVITÉ ASSOCIÉES AUX MESURES QUI ONT ÉTÉ CERNÉES AUX FINS D'EXAMEN DANS L'ÉLÉMENT 19. INCLURE LES TRAJECTOIRES ASSOCIÉES AUX PROBABILITÉS DE SURVIE ET DE RÉTABLISSEMENT LES PLUS ÉLEVÉES OBTENUES À PARTIR DE PARAMÈTRES BIOLOGIQUES AFFICHANT DES VALEURS RÉALISTES.	29
6.2.1. Résultats : Scénarios de productivités futures de rechange	29
6.2.2. Résultats : Scénarios associés au glissement de terrain de Big Bar	31
6.3. ÉLÉMENT 21 : RECOMMANDER DES VALEURS DE PARAMÈTRES POUR LA PRODUCTIVITÉ DE POPULATIONS ET LES TAUX DE MORTALITÉ INITIAUX ET, AU BESOIN, DES CARACTÉRISTIQUES PARTICULIÈRES RELATIVES AUX MODÈLES DE POPULATIONS, QUI SERAIENT REQUISES POUR PERMETTRE L'ÉTUDE DE SCÉNARIOS SUPPLÉMENTAIRES DANS LE CADRE DE L'ÉVALUATION DES RÉPERCUSSIONS ÉCONOMIQUES, SOCIALES ET CULTURELLES VISANT À APPUYER LE PROCESSUS D'INSCRIPTION.....	33
7. PRINCIPALES INCERTITUDES ET LACUNES EN MATIÈRE DE CONNAISSANCES	35
7.1. PRINCIPALES INCERTITUDES	35
7.1.1. Données.....	36
7.1.2. Modèles stock-recrutement.....	36
7.1.3. Cibles de rétablissement.....	36
7.1.4. Atténuation et mortalité	37
7.1.5. Productivités futures et incidence d'un environnement en évolution	37
7.2. LACUNES EN MATIÈRE DE CONNAISSANCES	38
8. ÉVALUATION DES DOMMAGES ADMISSIBLES : PREMIÈRE PARTIE – RÉSULTATS MODÉLISÉS	39
8.1. ÉLÉMENT 22 : ÉVALUER LA VALEUR MAXIMALE DES TAUX DE MORTALITÉ ET DE DESTRUCTION DE L'HABITAT ANTHROPIQUES QU'UNE ESPÈCE PEUT SUBIR SANS RISQUE POUR SA SURVIE OU SON RÉTABLISSEMENT.	39
8.1.1. UD Quesnel et Stellako* (UD 16 et 7).....	40
8.1.2. UD Weaver, Portage, Remonte tardive de la Stuart, Upper Barriere, Raft* et Birkenhead* (UD 10, 11, 12, 17, 21 et 14).....	42
8.1.3. UD Remonte hâtive de la Stuart et Bowron (UD 20 et 2).....	43
8.1.4. UD Taseko et Widgeon (UD 22 et 24).	43

9. REMERCIEMENTS	44
10. RÉFÉRENCES CITÉES	44
11. ANNEXE 1 : MODÈLES STOCK-RECRUTEMENT (ÉLÉMENT 13 – PARTIE 1)	46
11.1. MODÈLES STOCK-RECRUTEMENT DE RECHANGE	46
11.1.1. Modèle de Ricker	46
11.1.2. Ricker – Moitié de la productivité	47
11.1.3. Ricker – Productivité récente – Modèle récursif.....	47
11.1.4. Ricker (années pendant lesquelles on a utilisé des méthodes d’analyse de l’ADN) 47	
11.1.5. Ricker (cinq générations)	47
11.1.6. Modèle de Larkin.....	48
11.1.7. Larkin – Moitié de la productivité.....	48
11.1.8. Larkin – Productivité récente – Modèle récursif.....	48
11.2. PRODUCTIVITÉ RÉCENTE	49
11.3. TENDANCES RELATIVES AUX RANGS DES MODÈLES STOCK-RECRUTEMENT.....	53
11.4. RANGS DES MODÈLES STOCK-RECRUTEMENT LES PLUS RÉCENTS.....	56
12. ANNEXE 2 : MODÈLE DE L’EPR (ÉLÉMENT 13 – PARTIE 2).....	59
12.1. STRUCTURE GÉNÉRALE	59
12.2. CALCULS PRÉCIS	60
13. ANNEXE 3 : RÉSULTATS DE SIMULATION	61
13.1. UD EN VOIE DE DISPARITION OU MENACÉES – NON TOUCHÉES PAR LE GLISSEMENT DE TERRAIN DE BIG BAR.....	62
13.1.1. Upper Barriere (Fennell) (North Barriere-DE, UD 14).....	62
13.1.2. Portage (Seton-T, UD 17)	65
13.1.3. Weaver (Harrison (amont)-T, UD 10).....	68
13.1.4. Widgeon (Widgeon – Rivière, UD 24).....	70
13.2. UD EN VOIE DE DISPARITION OU MENACÉES – TOUCHÉES PAR LE GLISSEMENT DE TERRAIN DE BIG BAR.....	71
13.2.1. Remonte hâtive de la Stuart (Takla-Trembleur-montaison hâtive dans la Stuart, UD 20) 71	
13.2.2. Bowron (Bowron-DE, UD 2).....	76
13.2.3. Quesnel (Quesnel-E, UD 16)	81
13.2.4. Remonte tardive de la Stuart (Takla-Trembleur-Stuart-E, UD 21).....	86
13.2.5. Taseko (Taseko-DE, UD 22).....	91
13.3. UD PRÉOCCUPANTES.....	92
13.3.1. Raft* (Kamloops-DE, UD 11)	92
13.3.2. Birkenhead* (Lillooet-Harrison-T, UD 12)	95
13.3.3. Stellako* (Francois-Fraser-E, UD 7)	98
14. ANNEXE 4 : CODE.....	103
14.1. ESTIMATION DE PARAMÈTRES : MODÈLE DE RICKER (RA)	103

14.2. ESTIMATION DE PARAMÈTRES : MODÈLE BAYÉSIEN DE RICKER RÉCURSIF (RRB)	103
14.3. MESURES DE RENDEMENT ET CODE DU CLASSEMENT À L'ÉCHELLE	104
14.4. CODE DE SIMULATION PROSPECTIVE	105
14.5. CODE DU CALCUL DU RECRUTEMENT	108

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Description de chaque UD, soit sa désignation du COSEPAC, son nom commun, l'unité de gestion des stocks à laquelle elle appartenait en 2019, son nom complet (le même que celui de l'unité de conservation [UC]) et son numéro, l'existence ou non de données stock-recrutement la concernant et sa catégorie de dominance cyclique.	2
Tableau 2. Désignation du COSEPAC pour les stocks qui composent chaque unité de gestion.	5
Tableau 3. Résumé des critères utilisés par le COSEPAC pour déterminer la désignation d'une UD et mesures de rendement correspondantes qui doivent être satisfaites pour éviter que le critère du COSEPAC soit rempli.	10
Tableau 4. Valeurs des points de référence inférieur (G_{gen}) et supérieur en matière d'abondance de la PSS, qui ont été adaptés à partir du document de Grant et ses collaborateurs (2020). On a utilisé ces valeurs à titre de critères pour évaluer l'atteinte des cibles de rétablissement (voir le Tableau 5).	11
Tableau 5. Critères utilisés pour déterminer si les projections d'une UD donnée ont atteint la cible de rétablissement n° 1 ou 2. Chaque cible de rétablissement peut être atteinte en suivant deux combinaisons de critères différentes (voie A ou B). Il est important de noter que les voies sont les mêmes pour les deux cibles; cependant, la cible de rétablissement n° 2 comprend un critère supplémentaire. Les critères ont été conçus pour ressembler aux approches du COSEPAC et de la PSS qui permettent de déterminer la situation d'une espèce selon l'avis d'experts, mais ils ne correspondent pas exactement à ces approches.	13
Tableau 6. Modèles choisis pour chaque UD.	19
Tableau 7. Échelle de probabilité du GIEC (d'après le document de Mastrandrea et al., 2010) [traduction]	21
Tableau 8. Résumé des résultats de simulation au niveau de productivité actuel. Pour les quatre dernières colonnes : A = taux d'exploitation (TE) maximal associé à l'atteinte « Probable » de la cible de rétablissement n° 1 (c.-à-d. taux d'exploitation maximal pour que 66 % des projections ou plus atteignent cette cible); B = pourcentage des projections qui atteignent la cible de rétablissement n° 1 à un taux d'exploitation nul (au niveau de productivité actuel); C = taux d'exploitation maximal associé à l'atteinte « Probable » de la cible de rétablissement n° 2; D = pourcentage des projections qui atteignent la cible de rétablissement n° 2 à un taux d'exploitation nul.	23
Tableau 9. Changement de productivité par rapport à la dernière génération (moyenne pour les années d'éclosion 2010 à 2013).	34
Tableau 10. Comparaison du nombre moyen de géniteurs au cours de la dernière génération (années de montaison 2015 à 2018) et de la valeur de G_{gen} tirée du document de Grant et ses collaborateurs (2020).	35

LISTE DES FIGURES

Figure A. Schéma des étapes relatives au processus employé pour la sélection de modèles de simulation relatifs à l'EPR qui sont propres à chaque stock.	18
Figure 1. Tendances en matière de productivité – UD en voie de disparition ou menacées non touchées par le glissement de terrain de Big Bar (élément 13, partie 1).	49
Figure 2. Tendances en matière de productivité – UD en voie de disparition ou menacées touchées par le glissement de terrain de Big Bar (élément 13, partie 1).	50
Figure 3. Tendances en matière de productivité – UD préoccupantes (élément 13, partie 1)....	51
Figure 4. Tendances en matière de productivité – UD non en péril (élément 13, partie 1).....	52
Figure 5. Tendances rétrospectives liées aux rangs des modèles stock-recrutement – UD en voie de disparition ou menacées non touchées par le glissement de terrain de Big Bar (élément 13, partie 1).....	53
Figure 6. Tendances rétrospectives liées aux rangs des modèles stock-recrutement – UD en voie de disparition ou menacées touchées par le glissement de terrain de Big Bar (élément 13, partie 1).....	54
Figure 7. Tendances rétrospectives liées aux rangs des modèles stock-recrutement – UD préoccupantes (élément 13, partie 1).	55
Figure 8. Rangs des modèles stock-recrutement les plus récents – UD en voie de disparition ou menacées non touchées par le glissement de terrain de Big Bar (élément 13, partie 1).....	56
Figure 9. Rangs des modèles stock-recrutement les plus récents – UD en voie de disparition ou menacées touchées par le glissement de terrain de Big Bar (élément 13, partie 1).....	57
Figure 10. Rangs des modèles stock-recrutement les plus récents – UD préoccupantes (élément 13, partie 1).	58
Figure 11. Distributions a posteriori associées aux paramètres de modèles stock-recrutement de rechange – Upper Barriere (UD 14) (élément 13, partie 1).....	62
Figure 12. Trajectoire simulée relative au taux d'exploitation maximal qui permettrait probablement à l'UD Upper Barriere (UD 14) de ne plus être désignée en voie de disparition ou menacée selon les hypothèses du scénario de référence (élément 15).....	63
Figure 13. Effet de divers taux d'exploitation selon les scénarios de productivité de rechange pour l'UD Upper Barriere (UD 14) (élément 15).....	64
Figure 14. Distributions a posteriori associées aux paramètres de modèles stock-recrutement de rechange – Portage (UD 17) (élément 13, partie 1).....	65
Figure 15. Trajectoire simulée relative au taux d'exploitation maximal qui permettrait probablement à l'UD Portage (UD 17) de ne plus être désignée en voie de disparition ou menacée selon les hypothèses du scénario de référence (élément 15).....	66
Figure 16. Effet de divers taux d'exploitation selon les scénarios de productivité de rechange pour l'UD Portage (UD 17) (élément 15).....	67
Figure 17. Distributions a posteriori associées aux paramètres de modèles stock-recrutement de rechange – Weaver (UD 10) (élément 13, partie 1).....	68
Figure 18. Trajectoire simulée relative au taux d'exploitation maximal qui permettrait probablement à l'UD Weaver (UD 10) de ne plus être désignée en voie de disparition ou menacée selon les hypothèses du scénario de référence (élément 15).....	69

Figure 19. Effet de divers taux d'exploitation selon les scénarios de productivité de rechange pour l'UD Weaver (UD 10) (élément 15).....	70
Figure 20. Série chronologique du nombre réel de génitrices (ligne grise = valeurs annuelles et ligne pleine bleue = moyenne pour une génération) et taux d'exploitation (ligne rouge) pour l'UD Widgeon (UD 24) (élément 2).....	70
Figure 21. Distributions a posteriori associées aux paramètres de modèles stock-recrutement de rechange – Remonte hâtive de la Stuart (UD 20) (élément 13, partie 1).....	71
Figure 22. Trajectoire simulée relative au taux d'exploitation maximal qui permettrait probablement à l'UD Remonte hâtive de la Stuart (UD 20) de ne plus être désignée en voie de disparition ou menacée selon les hypothèses du scénario de référence (élément 15).	72
Figure 23. Effet de divers taux d'exploitation selon les scénarios de productivité de rechange pour l'UD Remonte hâtive de la Stuart (UD 20) (élément 15).....	73
Figure 24. Effet de divers taux d'exploitation selon des scénarios de rechange représentant les effets du glissement de terrain de Big Bar pour l'UD Remonte hâtive de la Stuart (UD 20) (élément 20).....	74
Figure 25. Effet de divers taux d'exploitation et de différents scénarios de rechange relatifs au glissement de terrain de Big Bar selon les scénarios de productivité de rechange pour l'UD Remonte hâtive de la Stuart (UD 20, Takla-Trembleur-montaison hâtive dans la Stuart).....	75
Figure 26. Distributions a posteriori associées aux paramètres de modèles stock-recrutement de rechange – Bowron (UD 2) (élément 13, partie 1).....	76
Figure 27. Trajectoire simulée relative au taux d'exploitation maximal qui permettrait probablement à l'UD Bowron (UD 2) de ne plus être désignée en voie de disparition ou menacée selon les hypothèses du scénario de référence (élément 15).....	77
Figure 28. Effet de divers taux d'exploitation selon les scénarios de productivité de rechange pour l'UD Bowron (UD 2) (élément 15).	78
Figure 29. Effet de divers taux d'exploitation selon des scénarios de rechange représentant les effets du glissement de terrain de Big Bar pour l'UD Bowron (UD 2) (élément 20).	79
Figure 30. Effet de divers taux d'exploitation et de différents scénarios de rechange relatifs au glissement de terrain de Big Bar selon les scénarios de productivité de rechange pour l'UD Bowron (UD 2) (élément 20).....	80
Figure 31. Distributions a posteriori associées aux paramètres de modèles stock-recrutement de rechange – Quesnel (UD 16) (élément 13, partie 1).....	81
Figure 32. Trajectoire simulée relative au taux d'exploitation maximal qui permettrait probablement à l'UD Quesnel (UD 16) de ne plus être désignée en voie de disparition ou menacée selon les hypothèses du scénario de référence (élément 15).....	82
Figure 33. Effet de divers taux d'exploitation selon les scénarios de productivité de rechange pour l'UD Quesnel (UD 16) (élément 15).....	83
Figure 34. Effet de divers taux d'exploitation selon des scénarios de rechange représentant les effets du glissement de terrain de Big Bar pour l'UD Quesnel (UD 16) (élément 20).	84
Figure 35. Effet de divers taux d'exploitation et de différents scénarios de rechange relatifs au glissement de terrain de Big Bar selon les scénarios de productivité de rechange pour l'UD Quesnel (UD 16) (élément 20).....	85

Figure 36. Distributions a posteriori associées aux paramètres de modèles stock-recrutement de rechange – Remonte tardive de la Stuart (UD 21) (élément 13, partie 1).	86
Figure 37. Trajectoire simulée relative au taux d'exploitation maximal qui permettrait probablement à l'UD Remonte tardive de la Stuart (UD 21) de ne plus être désignée en voie de disparition ou menacée selon les hypothèses du scénario de référence (élément 15).	87
Figure 38. Effet de divers taux d'exploitation selon les scénarios de productivité de rechange pour l'UD Remonte tardive de la Stuart (UD 21) (élément 15).	88
Figure 39. Effet de divers taux d'exploitation selon des scénarios de rechange représentant les effets du glissement de terrain de Big Bar pour l'UD Remonte tardive de la Stuart (UD 21) (élément 20).	89
Figure 40. Effet de divers taux d'exploitation et de différents scénarios de rechange relatifs au glissement de terrain de Big Bar selon les scénarios de productivité de rechange pour l'UD Remonte tardive de la Stuart (UD 21) (élément 20).	90
Figure 41. Série chronologique du nombre réel de génitrices (ligne grise = valeurs annuelles et ligne pleine bleue = moyenne pour une génération) et taux d'exploitation (ligne rouge) pour l'UD Taseko (UD 22) (élément 2).	91
Figure 42. Distributions a posteriori associées aux paramètres de modèles stock-recrutement de rechange – Raft* (UD 11) (élément 13, partie 1).	92
Figure 43. Trajectoire simulée relative au taux d'exploitation maximal qui permettrait probablement à l'UD Raft* (UD 11) de ne plus être désignée en voie de disparition ou menacée selon les hypothèses du scénario de référence (élément 15).	93
Figure 44. Effet de divers taux d'exploitation selon les scénarios de productivité de rechange pour l'UD Raft*(UD 11) (élément 15).	94
Figure 45. Distributions a posteriori associées aux paramètres de modèles stock-recrutement de rechange – Birkenhead* (UD 12) (élément 13, partie 1).	95
Figure 46. Trajectoire simulée relative au taux d'exploitation maximal qui permettrait probablement à l'UD Birkenhead* (UD 12) de ne plus être désignée en voie de disparition ou menacée selon les hypothèses du scénario de référence (élément 15).	96
Figure 47. Effet de divers taux d'exploitation selon les scénarios de productivité de rechange pour l'UD Birkenhead*(UD 12) (élément 15).	97
Figure 48. Distributions a posteriori associées aux paramètres de modèles stock-recrutement de rechange – Stellako (UD 7) (élément 13, partie 1).	98
Figure 49. Trajectoire simulée relative au taux d'exploitation maximal qui permettrait probablement à l'UD Stellako* (UD 7) de ne plus être désignée en voie de disparition ou menacée selon les hypothèses du scénario de référence (élément 15).	99
Figure 50. Effet de divers taux d'exploitation selon les scénarios de productivité de rechange pour l'UD Stellako*(UD 7) (élément 15).	100
Figure 51. Effet de divers taux d'exploitation selon des scénarios de rechange représentant les effets du glissement de terrain de Big Bar pour l'UD Stellako*(UD 7) (élément 20).	101
Figure 52. Effet de divers taux d'exploitation et de différents scénarios de rechange relatifs au glissement de terrain de Big Bar selon les scénarios de productivité de rechange pour l'UD Stellako* (UD 7) (élément 20).	102

RÉSUMÉ

Dix unités désignables (UD) formées de saumons rouges frayant dans le bassin hydrographique du Fraser, en Colombie-Britannique, ont été désignées en voie de disparition ou menacées par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC 2017). Voici les huit UD en voie de disparition (leur nom commun et leur numéro sont indiqués entre parenthèses) : Bowron-DE (Bowron, UD 2), Cultus-T (Cultus, UD 6), Takla-Trembleur-montaison hâtive dans la Stuart (Remonte hâtive de la Stuart, UD 20), Harrison (amont)-T (Weaver, UD 10), Seton-T (Portage, UD 17), Quesnel-E (Quesnel, UD 16), Takla-Trembleur-Stuart-E (Remonte tardive de la Stuart, UD 21) et Taseko-DE (Taseko, UD 22). Voici les deux UD menacées : Widgeon – Rivière (Widgeon, UD 24) et North Barriere-DE (Upper Barriere, auparavant Fennell, UD 14). Cinq autres UD ont été désignées préoccupantes : Kamloops-DE (Raft, UD 11), Lillooet-Harrison-T (Birkenhead, UD 12), Francois-Fraser-E (Stellako, UD 7), Harrison (aval)-T (Divers noms – Remontes tardives, UD 9) et Nahatlatch-DE (Nahatlatch, UD 13). L'évaluation du potentiel de rétablissement (EPR) de l'UD Cultus, qui est en voie de disparition, fait l'objet d'un document séparé (MPO 2020). Les UD préoccupantes n'ont pas été incluses dans le cadre de référence relatif au document. Toutefois, certains résultats modélisés pour ces UD étaient semblables à ceux des UD en voie de disparition ou menacées ayant été évaluées. On a donc inclus ces UD dans le document de recherche, où elles sont marquées d'un astérisque (*). Le présent document de recherche porte sur les éléments 12, 13, 15 et 19 à 21 (c.-à-d. analyse quantitative des cibles de rétablissement, probabilité d'atteindre ces cibles et effets de mesures d'atténuation) et résume comment ces éléments pourraient avoir une incidence sur l'élément 22 (c.-à-d. dommages admissibles) pour les neuf autres UD en voie de disparition ou menacées et les trois UD préoccupantes (c.-à-d. Raft, Birkenhead et Stellako, soit les UD 11, 12 et 7) pour lesquelles il existe une série chronologique d'estimations de la relation stock-recrutement (MPO 2014). **L'évaluation des dommages admissibles présentée dans ce document ne comprend pas les éléments relatifs à l'habitat, aux menaces et aux facteurs limitatifs, et ne devrait pas être considérée comme l'avis final concernant les dommages admissibles pour ces UD.**

Pour les UD évaluées, on a proposé les deux cibles de rétablissement imbriquées suivantes : 1) se rapprocher des critères établis pour ne plus être une UD désignée en voie de disparition ou menacée par le COSEPAC ou ne plus faire partie de la zone d'état biologique rouge décrite dans la Politique concernant le saumon sauvage (PSS); 2) se rapprocher des critères établis pour être une UD désignée non en péril par le COSEPAC ou se trouvant dans la zone d'état biologique verte décrite dans la PSS. Pour évaluer la probabilité que les UD atteignent les deux cibles de rétablissement au cours des trois prochaines générations (12 ans), on a réalisé des simulations au moyen des modèles stock-recrutement qui sont propres à chaque stock et qui tiennent compte de la productivité récente, pour une grande plage de taux de mortalité. En outre, on a étudié une méthode visant à évaluer les répercussions du glissement de terrain de Big Bar sur les six UD touchées par celui-ci et on a modélisé les répercussions de divers changements de productivité futurs pour toutes les UD.

1. INTRODUCTION

Après que le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC) a désigné une espèce aquatique menacée, en voie de disparition, préoccupante ou disparue du pays, Pêches et Océans Canada (MPO), en tant que ministère compétent pour les espèces aquatiques en vertu de la *Loi sur les espèces en péril* (LEP), prend plusieurs mesures afin d'appuyer l'application de la LEP. La mise en place de bon nombre de ces mesures nécessite la collecte de renseignements de nature scientifique sur la situation actuelle de l'espèce, son potentiel de rétablissement et les menaces qui pèsent sur sa survie et son rétablissement. L'avis scientifique est alors habituellement formulé dans le cadre d'une évaluation du potentiel de rétablissement (EPR) effectuée peu de temps après l'évaluation du COSEPAC. Cette façon de procéder permet de tenir compte des évaluations scientifiques examinées par les pairs dans le cadre des processus de la LEP, comme la décision d'inscrire ou non une espèce à l'annexe 1 de la LEP, et pendant la phase d'élaboration du programme de rétablissement qui suit l'inscription de l'espèce, le cas échéant. Voici un résumé des critères selon lesquels le COSEPAC désigne les unités désignables (UD) en voie de disparition ou menacées.

- Taux de déclin supérieur à 30 % (espèce menacée) ou à 50 % (espèce en voie de disparition) :
 - UD Bowron, Weaver, Quesnel, Portage, Remonte hâtive de la Stuart, Remonte tardive de la Stuart et Taseko (UD 2, 10, 16, 17, 20, 21 et 22).
- Déclin continu au sein d'une petite population (moins de 2 500 individus) :
 - UD Bowron, Upper Barriere, Portage et Taseko (UD 2, 14, 17 et 22).
- Taille de la population inférieure à 1 000 individus :
 - UD Portage, Taseko et Widgeon (UD 17, 22 et 24).

Le présent document porte sur sept des 22 éléments (12, 13, 15 et 19 à 22) décrits dans le cadre de référence de l'EPR visant 12 UD du saumon rouge du fleuve Fraser. Un document d'accompagnement portera sur les 15 éléments restants pour ces UD et fournira l'avis final relatif aux dommages admissibles. Parmi les 12 UD étudiées dans le présent document (Tableau 1), sept ont été désignées en voie de disparition, deux ont été désignées menacées et trois ont été désignées préoccupantes¹. L'UD Cultus (UD 6), qui est également en voie de disparition, fait l'objet d'un document séparé (MPO 2020).

Les données et l'analyse qui font partie du document représentent les renseignements scientifiques les plus récents disponibles. Les changements relatifs à l'environnement, y compris les changements climatiques, la dégradation de l'habitat et les perturbations anthropiques, évoluent constamment. Il est donc impossible de prédire de quelle façon ces facteurs continueront de changer. Par conséquent, comme on ne peut pas prédire directement leur incidence sur le saumon rouge du Fraser, on a plutôt fourni une plage de résultats plausibles.

¹ Les UD préoccupantes n'ont pas été incluses dans le cadre de référence relatif au présent document. Toutefois, certains résultats modélisés pour ces UD étaient semblables à ceux des UD en voie de disparition ou menacées ayant été évaluées. On a donc inclus ces UD dans le document de recherche, dans lequel elles sont marquées d'un astérisque (*).

2. DESCRIPTION DES UNITÉS DÉSIGNABLES

Le Tableau 1 classe les UD du saumon rouge du Fraser selon les désignations du COSEPAC et fournit les renseignements suivants : nom commun souvent utilisé; unité de gestion des stocks; nom complet (le même que celui de l'unité de conservation [UC]); numéro utilisé par le COSEPAC; existence ou non d'une série chronologique stock-recrutement; degré de dominance cyclique. Dans le présent document, les stocks sont nommés comme suit : « nom commun (numéro de l'UD) ». Les renseignements sur le degré de dominance cyclique proviennent de deux sources :

1. la réévaluation de la PSS (Grant *et al*; 2020), dans laquelle on établit, au moyen de méthodes statistiques, que les stocks pour lesquels les séries chronologiques affichent des tendances persistantes sur quatre ans sont cycliques;
2. le document de Cass et Wood (1994), dans lequel on classe les stocks dans trois catégories, soit systématiquement cyclique, non systématiquement cyclique et non cyclique, d'après des méthodes fondées sur l'observation.

Tableau 1. Description de chaque UD, soit sa désignation du COSEPAC, son nom commun, l'unité de gestion des stocks à laquelle elle appartenait en 2019, son nom complet (le même que celui de l'unité de conservation [UC]) et son numéro, l'existence ou non de données stock-recrutement la concernant et sa catégorie de dominance cyclique.

Désignation du COSEPAC	Nom commun	N° de l'UD	Unité de gestion des stocks	Nom complet de l'UD ou de l'UC*	Données stock-recrutement disponibles? **	Dominance cyclique	
						PSS	Cass et Wood
En voie de disparition	Bowron	2	Début de l'été	Bowron-DE	Oui	Non cyclique	Non systématiquement cyclique
En voie de disparition	Cultus	6	Tardive	Cultus-T	Oui	Non cyclique	Non systématiquement cyclique
En voie de disparition	Remonte hâtive de la Stuart	20	Montaison hâtive dans la Stuart	Takla-Trembleur-montaison hâtive dans la Stuart	Oui	Cyclique	Systématiquement cyclique
En voie de disparition	Weaver	10	Tardive	Harrison (amont**)-T	Oui	Non cyclique	Non cyclique
En voie de disparition	Portage	17	Tardive	Seton-T	Oui	Non cyclique	Systématiquement cyclique
En voie de disparition	Quesnel	16	Été	Quesnel-E	Oui	Cyclique	Systématiquement cyclique
En voie de disparition	Remonte tardive de la Stuart	21	Été	Takla-Trembleur-Stuart-E	Oui	Cyclique	Systématiquement cyclique

Désignation du COSEPAC	Nom commun	N° de l'UD	Unité de gestion des stocks	Nom complet de l'UD ou de l'UC*	Données stock-recrutement disponibles? **	Dominance cyclique	
						PSS	Cass et Wood
En voie de disparition	Taseko	22	Début de l'été	Taseko-DE	Non	Non cyclique	-
Menacée	Upper Barriere (Fennell)	14	Début de l'été	North Barriere-DE	Partiellement*	Non cyclique	-
Menacée	Widgeon	24	Été	Widgeon (Rivière)	Non	Non cyclique	-
Préoccupante	Nahatlatch	13	Début de l'été	Nahatlatch-DE	Non	Non cyclique	-
Préoccupante	Raft	11	Été	Kamloops-DE	Partiellement*	Non cyclique	Non systématiquement cyclique
Préoccupante	Birkenhead	12	Tardive	Lillooet-Harrison-T	Oui	Non cyclique	Non cyclique
Préoccupante	Stellako	7	Été	Francois-Fraser-E	Oui	Non cyclique	Non systématiquement cyclique
Préoccupante	Divers noms – Remontes tardives	9	Tardive	Harrison (aval)-T	Non	Non cyclique	-
Non en péril	Scotch et Seymour	19	Début de l'été	Shuswap-DE	Partiellement	Cyclique	Systématiquement cyclique (Seymour)
Non en péril	Nadina	8	Début de l'été	Nadina-Francois-DE	Oui	Non cyclique	Non systématiquement cyclique
Non en péril	Chilliwack	5	Début de l'été	Chilliwack-DE	Non	Non cyclique	-
Non en péril	Gates	1	Début de l'été	Anderson-Seton-DE	Oui	Non cyclique	Systématiquement cyclique
Non en péril	Shuswap – Remonte tardive	18	Tardive	Complexe Shuswap-T	Oui	Cyclique	Systématiquement cyclique
Non en péril	Pitt	15	Début de l'été	Pitt-DE	Oui	Non cyclique	Non cyclique
Non en péril	Harrison	23	Été	Harrison – Rivière	Oui	Non cyclique	-

Désignation du COSEPAC	Nom commun	N° de l'UD	Unité de gestion des stocks	Nom complet de l'UD ou de l'UC*	Données stock-recrutement disponibles?***	Dominance cyclique	
						PSS	Cass et Wood
Non en péril	Chilko	4	Été	Chilko-E	Oui	Non cyclique	Non systématiquement cyclique
Non évaluée	Chilko	3	Été	Chilko-DE***	Non	Non cyclique	-

* Les conventions relatives aux noms des UC et des UD comprennent les abréviations suivantes :

- DE – Unité de gestion des stocks Début de l'été
- E – Unité de gestion des stocks Été
- T – Unité de gestion des stocks Tardive

** Les UD pour lesquelles la mention « Partiellement » figure dans la colonne sur les données stock-recrutement comprennent des composantes pour lesquelles il n'existe pas de série chronologique stock-recrutement complète. On a seulement modélisé la composante de l'UD pour laquelle il existe de telles séries chronologiques.

*** L'UD Chilko-DE n'a pas été évaluée séparément de l'UD Chilko-E; elle est généralement incluse dans le stock Chilko et dans l'unité de gestion des stocks Été.

3. CONTEXTE ET APERÇU

Aux fins de gestion des pêches, on a regroupé les saumons rouges du Fraser dans quatre unités de gestion des stocks fondées sur le moment de la montaison : Montaison hâtive dans la Stuart, Début de l'été, (DE), Été (E) et Tardive (T) (Tableau 2). Les règles de contrôle des prises sont appliquées à l'échelle de ces unités de gestion. Les migrations des individus de ces unités de gestion des stocks ne sont pas distinctes, donc il existe des chevauchements importants, sauf pour les portions hâtive et tardive de la migration générale du saumon rouge. Ainsi, la prise de mesures de gestion visant une unité précise influencera souvent les unités connexes. De même, les montaisons des UD appartenant à une même unité de gestion affichent différentes tendances spatio-temporelles, mais celles-ci se chevauchent partiellement ou chevauchent partiellement les tendances d'UD appartenant à d'autres unités de gestion.

Le régime de planification en matière d'échappée actuel ou un régime semblable est en place depuis 2006. Entre autres aspects de ce régime, on compte les règles de contrôle des prises fondées sur l'abondance nommées les règles sur le total admissible de mortalité (TAM), qui sont appliquées annuellement à l'échelle des unités de gestion des stocks. Ces règles TAM sont des règles de contrôle des prises cycliques et propres à une unité de gestion des stocks qui définissent l'objectif d'échappée.

Pour que les objectifs d'échappée puissent être atteints, il faut tenir compte de la différence entre les estimations du nombre de saumons rouges qui remontent au-delà de Mission (Colombie-Britannique) dans le cours inférieur du fleuve Fraser et les estimations du nombre de saumons rouges qui arrivent dans les frayères (en excluant les prises). Pour effectuer des projections de cette différence (ci-après nommée « DEE »), on utilise des modèles en cours de saison. La température et le débit du Fraser sont les principaux facteurs déterminant les projections de la DEE pour la montaison des unités de gestion Montaison hâtive dans la Stuart, Début de l'été et Été, tandis que le moment de la montaison est le facteur qui détermine les projections de la DEE pour la montaison de l'unité de gestion Tardive. La soustraction de la

mortalité admissible issue de la règle TAM par la DEE projetée correspond au taux d'exploitation établi pour l'unité de gestion des stocks évaluée. On applique un taux d'exploitation minimal de 10 à 20 % lorsque le taux d'exploitation calculé est inférieur aux valeurs minimales afin de permettre la pêche d'espèces ou de stocks qui migrent avec le stock évalué et qui sont plus abondants.

Il est possible d'ajuster les règles TAM chaque année, avant la saison de pêche, afin de tenir compte de stocks préoccupants qui migrent ensemble et d'autres circonstances propres à l'année en question. Les règles de contrôle des prises annuelles font l'objet d'un processus de consultation d'avant-saison, qui est mené auprès de représentants des Premières Nations et d'autres intervenants, comme le précise le Plan de gestion intégrée des pêches (PGIP) du saumon pour le sud de la Colombie-Britannique, publié par le MPO chaque année. En cours de saison, les taux d'exploitation admissibles changent selon l'abondance du stock évalué et les estimations des projections de la DEE.

Avant la saison, les taux d'exploitation établis dans le PGIP pour chaque unité de gestion des stocks sont fondés sur l'abondance et ont tendance à être dictés par les UD les plus abondantes. En outre, la plupart des mesures visant à protéger une UD donnée toucheraient aussi d'autres UD en raison du chevauchement du moment de la migration et des tendances connexes. Les UD non en péril, comme l'UD Chilko dans l'unité de gestion des stocks Été, sont les plus abondantes; elles ont donc souvent la plus grande influence sur les taux d'exploitation admissibles pour une unité de gestion des stocks. Le Tableau 2 présente les UD, qui sont regroupées selon leur désignation du COSEPAC, au sein de chaque unité de gestion des stocks.

Tableau 2. Désignation du COSEPAC pour les stocks qui composent chaque unité de gestion.

Désignation	Montaison hâtive dans la Stuart	Début de l'été	Été	Tardive
En voie de disparition	Remonte hâtive de la Stuart (UD 20)	Bowron (UD 2) Taseko (UD 22)	Remonte tardive de la Stuart (UD 21) Quesnel (UD 16)	Cultus (UD 6) Weaver (UD 10) Portage (UD 17)
Menacée	-	Upper Barriere (UD 14)	Widgeon (UD 24)	-
Préoccupante	-	Nahatlatch* (UD 13)	Stellako* (UD 7) Raft* (UD 11)	Birkenhead* (UD 12) Divers noms – Remontes tardives* (UD 9)
Non en péril	-	Scotch et Seymour (UD 19) Nadina (UD 8) Gates (UD 1) Pitt (UD 15) Chilliwack (UD 5)	Chilko (UD 4) Harrison (UD 23)	Shuswap – Remonte tardive (UD 18)
Non évaluée	-	Chilko-DE (UD 3)	-	-

Les évaluations d'avant-saison concernant l'incidence des règles de contrôle des prises sur les petits stocks et les stocks préoccupants sont réalisées de deux façons. Premièrement, des calculs arithmétiques sont effectués dans le cadre du PGIP, d'après diverses prévisions de l'abondance d'avant-saison et de DEE médianes. Deuxièmement, un modèle de planification des pêches détaillé est utilisé par le Conseil du fleuve Fraser, qui est bilatéral (Canada et États-Unis).

On n'a pas expressément inclus la mortalité avant la fraye dans les évaluations parce que pour les objectifs d'échappée, on utilise le nombre total plutôt que le nombre réel de géniteurs comme unité de mesure. Toutefois, la mortalité avant la fraye a été implicitement incluse dans les modèles stock-recrutement servant à évaluer le rendement de règles de contrôle des prises, par l'entremise des valeurs de paramètres utilisées.

En cours de saison, les pêches ciblant le saumon rouge du Fraser sont activement gérées grâce à un processus auquel participent les représentants du Conseil du fleuve Fraser, du comité technique connexe et de la Commission du saumon du Pacifique. Les activités de pêche expérimentale quotidiennes, qui fournissent des renseignements sur l'abondance et la voie migratoire des individus évalués ainsi que des échantillons physiques (ADN et écailles) aux fins d'identification des stocks, sont réalisées par des représentants canadiens et américains de la Commission du saumon du Pacifique. Ces activités sont menées dans des zones marines (p. ex., détroit de Johnstone, détroit Juan de Fuca, détroit de Georgia, secteur des îles San Juan) et dans le Fraser (p. ex., Cottonwood, Whonnock et Qualark). Les prises de la pêche commerciale sont échantillonnées de façon semblable. Les données sont augmentées au moyen de programmes hydroacoustiques menés près de Mission et plus loin en amont, près de Qualark. Ces programmes fournissent des estimations quotidiennes de l'abondance des individus en migration. Un observateur situé à Hells Gate, un endroit où le passage des saumons est difficile, fournit une confirmation visuelle du passage d'individus et de la condition de ceux-ci. Les données recueillies dans le cadre de ces programmes sont analysées par des représentants de la Commission du saumon du Pacifique pour que, au moins deux fois par semaine, le Conseil du fleuve Fraser puisse avoir accès à des données mises à jour sur la taille de la remonte, la voie migratoire utilisée, la DEE, la cible en matière d'échappée de géniteurs et les prises effectuées jusqu'à maintenant pour les unités de gestion des stocks et d'autres regroupements de stocks de plus petite taille. Le Conseil du fleuve Fraser examine ces données et s'en sert pour modifier les plans de pêche afin que les objectifs relatifs à l'échappée de géniteurs et aux prises puissent être atteints.

Finalement, les évaluations d'après-saison des données et des programmes sont saisies dans le système utilisé, ce qui améliore la qualité des données figurant dans les bases de données historiques utilisées dans divers modèles, y compris ceux qui servent à faire des prévisions et des évaluations en cours de saison.

4. MÉTHODES

4.1. SOURCES DE DONNÉES

Les sources des données relatives à la présente évaluation comprennent des estimations des géniteurs, des recrues et des DEE. Les séries chronologiques stock-recrutement comprennent des données sur les géniteurs et les recrues. Certaines séries commencent dès l'année d'éclosion 1948 (l'année initiale va jusqu'à 1981 pour certaines séries) et se terminent, pour la plupart, à l'année d'éclosion 2013. Les années initiales des différentes séries chronologiques stock-recrutement correspondent à celles utilisées dans les évaluations de l'état de stocks relatives à la PSS (Grant *et al*, 2020). La plupart des saumons rouges du Fraser frayent à

l'âge 4 ou 5, donc la montaison des individus de l'année d'éclosion 2013 s'est produite en 2017 et 2018, respectivement. La plupart des individus de l'UD Harrison frayent lorsqu'ils atteignent l'âge 3 ou 4, donc les données sur le recrutement de cette UD sont complètes pour les individus des années d'éclosion 2014 ou antérieures. Les données historiques sur les géniteurs proviennent de l'évaluation des stocks du cours inférieur du Fraser réalisée par le MPO, tandis que les données sur les montaisons d'individus adultes ont été fournies par les membres de la Commission du saumon du Pacifique.

La DEE représente la différence entre les estimations du nombre de saumons rouges adultes qui remontent au-delà de Mission, en Colombie-Britannique, (mesurées par la Commission du saumon du Pacifique au moyen d'un programme d'activités de pêche expérimentale et hydroacoustiques) et les estimations du nombre de saumons rouges dans les frayères, après avoir tenu compte des prises réalisées entre Mission et les frayères. Les DEE relatives à la période de 2002 à 2016 ont été fournies par la Commission du saumon du Pacifique. Les données étaient limitées à cette période parce que la résolution liée aux stocks qui est nécessaire pour la présente analyse était seulement disponible pour les années pendant lesquelles on a utilisé des méthodes fondées sur l'ADN pour l'identification de stocks.

Les taux d'exploitation des UD Taseko (UD 22, Figure 41) et Widgeon (UD 24, Figure 20) ont servi d'indicateurs. Les taux d'exploitation pour les années jusqu'à 2011 proviennent des évaluations du COSEPAC (COSEPAC 2017) ciblant des stocks à montaison semblable, soit le stock Bowron (UD 2) pour l'UD Taseko, et le stock Harrison (UD 23) pour l'UD Widgeon. Pour la période de 2012 à 2018, les taux d'exploitation des UD évaluées proviennent des taux d'exploitation d'unité de gestion des stocks (Début de l'été pour l'UD Taseko et Été pour l'UD Widgeon) figurant dans les rapports d'après-saison et les présentations effectuées par la Commission du saumon du Pacifique.

4.2. APERÇU DES MÉTHODES

Les méthodes utilisées dans le présent document sont décrites dans les sections suivantes :

sélection du modèle stock-recrutement (sections 5.3.1 à 5.3.3);

simulations prospectives – Productivité actuelle (section 5.4.2);

simulations prospectives – Productivités de recharge (section 6.1.2);

simulations prospectives – Montaison relative au glissement de terrain de Big Bar (section 6.1.3).

La partie restante du présent document est axée sur les UD désignées en voie de disparition, menacées ou préoccupantes.

5. CIBLES DE RÉTABLISSEMENT

5.1. CONTEXTE : DOMMAGES ADMISSIBLES ET CIBLES DE RÉTABLISSEMENT

5.1.1. Dommages admissibles

Dans le cadre de la présente analyse, on a représenté la mortalité anthropique par un taux d'exploitation, mais il est important de noter deux choses : 1) le taux d'exploitation a été modélisé parce qu'il s'agit du levier de gestion le plus facile à changer rapidement; 2) les taux d'exploitation modélisés ne devraient pas être interprétés expressément comme les taux d'exploitation admissibles pour les pêches de saumons adultes. Voici d'autres facteurs qui étaient implicitement associés au taux d'exploitation, mais qui n'étaient pas expressément

modélisés par celui-ci : mortalité en rivière supérieure aux taux modélisés; mortalité associée à des activités de pêche visant le saumon rouge ou d'autres espèces, découlant entre autres de troubles physiques ou physiologiques causés directement ou indirectement (p. ex., dus à des lâchers, à la déprédation et à l'évitement d'engins de pêche); prédation naturelle; répercussions relatives à l'habitant qui touchent des adultes en migration. Par conséquent, le taux d'exploitation dans les scénarios devrait être interprété comme une combinaison de la mortalité directe découlant de sources anthropiques (p. ex., pêche), de la mortalité indirecte découlant de sources anthropiques (p. ex., mortalité en cours de montaison exacerbée par les changements climatiques) et de la mortalité naturelle supérieure aux niveaux historiques modélisés (p. ex., prédation). Par conséquent, en plus du taux d'exploitation et de la productivité, on devrait considérer tous les facteurs qui contribuent à la mortalité lors de l'évaluation des dommages admissibles et du potentiel de rétablissement global. Il est à noter que les niveaux historiques de mortalité en rivière étaient inclus dans les modèles utilisés pour toutes les UD; les scénarios relatifs au glissement de terrain de Big Bar étaient aussi inclus pour les UD frayant en amont du lieu de celui-ci.

Pour chaque UD, le modèle utilisé tient compte de l'incertitude relative à notre compréhension de la dynamique stock-recrutement et d'une grande plage de variabilité naturelle dans les projections relatives à la population. Par contre, il ne tient pas compte de l'incertitude en matière de résultat (c.-à-d. erreur de mise en œuvre) relative au taux d'exploitation.

5.1.2. Cibles de rétablissement

Pour que l'état d'un stock puisse être déterminé par des représentants du COSEPAC ou de la PSS, il faut que des avis d'experts soient recueillis et résumés pendant plusieurs jours. Les critères et les méthodes de modélisation utilisés dans le cadre de la présente analyse sont une combinaison simplifiée de ces processus et ne représentent pas les nuances relatives à ces approches.

En outre, on a appliqué l'algorithme utilisé dans le cadre de cette analyse aux projections du modèle utilisé pour représenter les résultats liés à l'état d'un stock dans le futur, plutôt que d'évaluer l'état actuel du stock, ce qui était l'objectif des analyses du COSEPAC et de la PSS.

5.2. ÉLÉMENT 12 : PROPOSER DES CIBLES DE RÉTABLISSMENT CONCERNANT L'ABONDANCE ET L'AIRE DE RÉPARTITION

Les cibles de rétablissement sont fondées sur des renseignements biologiques concernant le stock évalué, mais excluent les facteurs à considérer sur les plans social, économique, culturel et écosystémique. Pour faciliter le suivi de la progression d'un stock en matière de rétablissement, on a établi les deux cibles de rétablissement ci-dessous.

- Cible de rétablissement n° 1 : se rapprocher des critères établis pour qu'une UD ne soit plus désignée en voie de disparition ou menacée par le COSEPAC ou ne fasse plus partie de la zone d'état biologique rouge décrite dans la Politique concernant le saumon sauvage (PSS).
- Cible de rétablissement n° 2 : se rapprocher des critères établis pour qu'une UD soit désignée non en péril par le COSEPAC ou se trouve dans la zone d'état biologique verte décrite dans la PSS.

Même s'il était peu probable qu'une UD désignée en voie de disparition ou menacée puisse atteindre la cible de rétablissement n° 2 en trois générations, on a proposé cette dernière comme une cible ambitieuse à long terme qui correspond mieux à la définition prévue d'une UD « rétablie ». On a proposé la cible de rétablissement n° 1 comme une cible intermédiaire par rapport à laquelle il est plus facile de mesurer les progrès réalisés à court terme. Pour calculer

la probabilité que chaque UD atteigne les deux cibles de rétablissement, les critères décrits dans la présente section ont été appliqués aux projections du modèle (sections 5.3 et 5.4).

5.2.1. Cibles de rétablissement conceptuelles

La cible de rétablissement n° 1 représente les exigences minimales devant être satisfaites par une UD pour que celle-ci ne soit pas désignée en voie de disparition ou menacée. Les critères du COSEPAC sont fondés sur des mesures de rendement et des points de référence qui sont indépendants des UD évaluées. Pour cette raison, on a ajouté un point de référence inférieur en matière d'abondance de la PSS (G_{gen}) pour éviter les cas où un grave événement négatif rare, comme le glissement de terrain de Big Bar qui a bloqué une partie de la migration de 2019, réduise la première génération de géniteurs de façon tellement importante que les générations simulées suivantes afficheraient une amélioration due seulement à la faible abondance de la première génération utilisée à titre de comparaison. Le paramètre G_{gen} correspond au nombre de géniteurs permettant à l'UD de se rétablir et d'atteindre l'abondance de G_{RMD} (« RMD » correspond au rendement maximal durable) en une génération, en l'absence d'activités de pêche se déroulant lorsque l'abondance est inférieure aux conditions d'équilibre (Holt *et al.* 2009). Les valeurs de G_{gen} ont été adaptées d'après les valeurs fournies dans le document de Grant et ses collaborateurs (2020), comme décrit dans la section 5.2.2 et présenté dans le Tableau 4. Pour concevoir l'algorithme visant à définir la cible de rétablissement n° 1, on a combiné les critères utilisés par le COSEPAC pour déterminer la désignation d'un stock (Tableau 3) aux points de référence propres à un stock utilisés dans le cadre des évaluations de l'état du stock de la PSS (Tableau 4), afin de créer une liste de vérification (Tableau 5).

La cible de rétablissement n° 2 représente la désignation non en péril du COSEPAC ou la zone d'état biologique verte de la PSS. Les critères nécessaires pour obtenir la désignation non en péril sont variés et plusieurs critères qualitatifs sont utilisés pour distinguer les désignations préoccupante et non en péril (COSEPAC 2018). Ainsi, la cible de rétablissement n° 2 est fondée sur des méthodes relatives à la PSS (Holt *et al.* 2009) et des points de référence propres à un stock donné (Tableau 4).

Tableau 3. Résumé des critères utilisés par le COSEPAC pour déterminer la désignation d'une UD et mesures de rendement correspondantes qui doivent être satisfaites pour éviter que le critère du COSEPAC soit rempli.

Stock	Critères du COSEPAC*	Mesures de rendement
Bowron (UD 2)	A2b et C2a(ii)	> 10 000 individus matures et taux de déclin \leq 30 % OU < 10 000 individus matures et taux de changement positif
Weaver (UD 10)	A2b	Taux de déclin \leq 30 %
Upper Barriere (UD 14)	C2a(ii)	< 10 000 individus matures et taux de changement positif
Quesnel (UD 16)	A2b	Taux de déclin \leq 30 %
Portage (UD 17)	A2b, C2a(ii) et D1	> 1 000 individus matures (pour ne pas remplir D1) ET > 10 000 individus matures et taux de déclin \leq 30 % OU < 10 000 individus matures et taux de changement positif
Remonte hâtive de la Stuart (UD 20)	A2b et A4b	Taux de déclin \leq 30 %
Remonte tardive de la Stuart (UD 21)	A2b et A4b	Taux de déclin \leq 30 %
Taseko (UD 22)	A2b, C2a(ii) et D1	Stock non modélisé
Widgeon (UD 24)	D1	Stock non modélisé

* Les critères A2b et A4b réfèrent à un taux de déclin supérieur à 30 % (espèce menacée) ou à 50 % (espèce en voie de disparition).

Le critère C2a(ii) représente un déclin au sein de petites populations (< 1 000 individus).

D1 : Population comptant moins de 1 000 individus.

5.2.2. Points de référence liés aux cibles de rétablissement propres à un stock

Les points de référence en matière d'abondance liés aux cibles de rétablissement propres à un stock ont été adaptés à partir du document de Grant et ses collaborateurs (2020), qui ont utilisé des méthodes tirées du document de Holt et ses collaborateurs (2009). Pour les UD qui présentent de multiples valeurs pour le même point de référence, on a calculé la moyenne de toutes les valeurs médianes possibles figurant dans le document de Grant et ses collaborateurs (2020), et on a arrondi le résultat obtenu à la centaine d'individus la plus proche. Les valeurs adaptées des points de référence inférieur (G_{gen}) et supérieur de la PSS sont présentées dans le Tableau 4. Les valeurs à jour de ces points de référence n'ont pas été calculées dans le cadre de la présente analyse.

Il est à noter que Grant et ses collaborateurs (2020) ont calculé les points de référence en utilisant le nombre réel de géniteurs adultes, tandis que dans la présente analyse, on a utilisé le nombre total de géniteurs adultes, qui comprend les géniteurs ayant réussi à frayer et ceux qui

sont morts avant la fraye. Par conséquent, l'utilisation des points de référence en matière d'abondance de la PSS a généré un étalement quelque peu optimiste en faveur de l'atteinte de la zone d'état verte de la PSS, étant donné que le nombre total de géniteurs adultes ayant atteint les frayères a été comparé à un point de référence pour lequel les unités correspondent au nombre de géniteurs adultes ayant atteint les frayères et ayant réussi à frayer. Aucun des stocks en voie de disparition ou menacés n'a atteint la cible de rétablissement n° 2 au cours de la période de trois générations modélisée. Ce facteur n'a donc pas influencé les conclusions préliminaires en matière de dommages admissibles de la section 8.

Tableau 4. Valeurs des points de référence inférieur (G_{gen}) et supérieur en matière d'abondance de la PSS, qui ont été adaptés à partir du document de Grant et ses collaborateurs (2020). On a utilisé ces valeurs à titre de critères pour évaluer l'atteinte des cibles de rétablissement (voir le Tableau 5).

Nom commun (nom de l'UD)	Point de référence biologique inférieur de la PSS (G_{gen})	Point de référence biologique supérieur de la PSS
Remonte hâtive de la Stuart, UD 20 (Takla-Trembleur-montaison hâtive dans la Stuart)	107 900	350 100
Bowron, UD 2 (Bowron-DE)	5 100	19 000
Upper Barriere, UD 14 (North Barriere-DE)	600	5 100
Quesnel, UD 16 (Quesnel-E)	192 300	1 302 800
Remonte tardive de la Stuart, UD 21 (Takla-Trembleur-Stuart-E)	126 400	590 400
Raft*, UD 11 (Kamloops-DE)	5 000	17 800
Stellako*, UD 7 (Francois-Fraser-E)	24 300	122 600
Portage, UD 17 (Seton-T)	2 200	13 500
Weaver, UD 10 (Harrison (amont)-T)	10 700	84 600
Birkenhead*, UD 12 (Lillooet-Harrison-T)	14 900	79 000

5.2.3. Cibles de rétablissement imbriquées – Méthodologie

D'après les mesures de rendement décrites dans les sections 5.2.1 et 5.2.2, on a conçu une série d'essais en vue de déterminer si une UD a atteint ou non les cibles de rétablissement. Le Tableau 5 présente deux voies différentes, ou combinaisons de critères, qui pourraient être suivies pour permettre à une UD d'atteindre chaque cible de rétablissement. On a déterminé la voie à utiliser selon l'abondance d'une UD. Pour la voie A, les projections relatives aux UD dont l'abondance était de 1 000 à 10 000 individus matures au cours de la dernière génération devaient afficher une augmentation d'abondance (pente croissante) au cours des trois prochaines générations pour que la cible de rétablissement n° 1 soit atteinte. Pour la voie B, les projections relatives aux UD dont l'abondance était supérieure à 10 000 individus matures ne pouvaient pas afficher une baisse d'abondance supérieure à 30 % (pente décroissante) au cours des trois prochaines générations. Les UD dont l'abondance était inférieure à 1 000 individus matures ou au point de référence G_{gen} propre au stock de la PSS (

Tableau 4) au cours de la dernière génération n'ont atteint aucune cible de rétablissement. Étant donné que les cibles de rétablissement sont imbriquées, si une UD a atteint la deuxième cible, elle a aussi atteint la première. Pour atteindre la cible de rétablissement n° 2 au moyen de la voie A ou de la voie B, l'UD évaluée devait compter un nombre moyen d'individus matures plus grand que le point de référence supérieur de la PSS en matière d'abondance (Tableau 4) au cours de la dernière génération.

Tableau 5. Critères utilisés pour déterminer si les projections d'une UD donnée ont atteint la cible de rétablissement n° 1 ou 2. Chaque cible de rétablissement peut être atteinte en suivant deux combinaisons de critères différentes (voie A ou B). Il est important de noter que les voies sont les mêmes pour les deux cibles; cependant, la cible de rétablissement n° 2 comprend un critère supplémentaire. Les critères ont été conçus pour ressembler aux approches du COSEPAC et de la PSS qui permettent de déterminer la situation d'une espèce selon l'avis d'experts, mais ils ne correspondent pas exactement à ces approches.

Question relative au critère	Cible de rétablissement n° 1		Cible de rétablissement n° 2	
	Voie A	Voie B	Voie A	Voie B
Le nombre moyen d'individus matures au cours de la dernière génération était-il supérieur à la valeur de G_{gen} (Tableau 4)?	Oui	Oui	Oui	Oui
Le nombre moyen d'individus matures au cours de la dernière génération était-il supérieur à 1 000?	Oui	-	Oui	-
La pente représentant les projections au cours des trois prochaines générations est-elle croissante?	Oui	-	Oui	-
Le nombre moyen d'individus matures au cours de la dernière génération était-il supérieur à 10 000?	-	Oui	-	Oui
La pente représentant les projections au cours des trois prochaines générations indique-t-elle une baisse inférieure à 30 %?	-	Oui	-	Oui
Le nombre moyen d'individus matures au cours de la dernière génération était-il supérieur au point de référence supérieur en matière d'abondance de la PSS (Tableau 4)?	-	-	Oui	Oui

5.3. ÉLÉMENT 13 (PARTIE 1) : PROJETER LES TRAJECTOIRES DE POPULATIONS PRÉVUES SUR UNE PÉRIODE RAISONNABLE SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE (MINIMUM DE DIX ANS) ET DES TRAJECTOIRES AU FIL DU TEMPS JUSQU'À L'ATTEINTE DES CIBLES DE RÉTABLISSMENT POSSIBLES, EN FONCTION DES PARAMÈTRES ACTUELS DE LA DYNAMIQUE DES POPULATIONS D'UNE ESPÈCE SAUVAGE – MODÈLES STOCK-RECRUTEMENT PROPRES À CHAQUE STOCK

Dans le cadre des EPR de saumons du Pacifique, on a utilisé une grande variété de périodes pour évaluer le potentiel de rétablissement, allant de trois générations (saumon coho du Fraser intérieur) à 40 ans et plus (saumon chinook de l'Okanagan, truite arc-en-ciel de la rivière Thompson et de la rivière Chilcotin). La présente EPR du saumon rouge du Fraser est axée sur des trajectoires à court terme (trois générations, soit 12 ans) pour les raisons décrites dans la section 7.1.2. En l'occurrence, une longue période serait inutile pour cette analyse parce que les résultats à long terme (12 générations) représentaient davantage une fonction du modèle stock-recrutement choisi que des conditions initiales (Huang 2014).

Entre autres préoccupations relatives à l'EPR, la combinaison de modèles paramétrés au moyen de la productivité historique à long terme (p. ex., modèles stock-recrutement bayésiens de Ricker et de Larkin) à des valeurs récentes de l'abondance de géniteurs relativement faibles par rapport aux moyennes à long terme a produit d'importants effets de surcompensation. Ces effets ont entraîné des abondances modélisées qui auraient pu être interprétées comme si la population évaluée s'était « rétablie » en deux ou trois générations. Ces modélisations n'ont pas été appuyées par des observations en situation réelle. Par exemple, l'abondance de l'UD Remonte hâtive de la Stuart, en déclin depuis le milieu des années 1990, n'a pas affiché d'augmentation de la productivité ni des remontes générales malgré une réduction importante des taux d'exploitation (de 60 à 15 %) au cours de la même période.

À cause de ce décalage entre les moyennes à long terme et les observations réalisées au cours des années récentes, deux ateliers d'une journée réunissant un petit groupe de spécialistes des modèles stock-recrutement ont été tenus afin que les participants puissent déterminer comment choisir des modèles stock-recrutement propres à un stock pour la présente analyse (voir les sections 5.3.1 et 11).

La présente section décrit les types de modèles stock-recrutement utilisés dans cette analyse et fournit un aperçu des méthodes de sélection de modèles. Davantage de renseignements sur ces méthodes figurent dans l'annexe 1 (sections 11.2 à 11.4).

5.3.1. Méthodes : Sélection de modèles stock-recrutement

Le choix d'un modèle parmi divers modèles de recharge est habituellement fondé sur une comparaison entre les valeurs prédites et les valeurs observées (c.-à-d. résidus), qui est résumée au moyen de mesures de rendement (p. ex., erreur absolue moyenne [EAM]).

Il existe deux approches fondamentales pour la production de mesures de rendement fondées sur les résidus.

- Lors d'un essai typique pour l'évaluation d'un modèle statistique, on utilise toutes les données pour ajuster le modèle et calculer les valeurs prévues, qui sont ensuite comparées aux valeurs observées.
- On utilise fréquemment des essais *rétrospectifs* afin de tester le rendement de modèles de prévision de recharge (p. ex., Grant *et al.* 2020, Vélez-Espino *et al.* 2019). Dans le cadre de ces essais, on utilise des données allant jusqu'à une année y pour ajuster le modèle et générer une prévision pour l'année $y+1$. On compare ensuite cette prévision à la valeur observée pour l'année $y+1$. Puis, on se sert des données allant jusqu'à une année $y+1$ pour ajuster le modèle et générer une prévision pour l'année $y+2$, et ainsi de suite.

Dans la présente analyse, on a utilisé un processus modifié combinant des aspects de chaque approche pour mettre à l'essai les modèles stock-recrutement proposés (section 5.3.2 de l'annexe 1).

- On a estimé les paramètres stock-recrutement à une reprise en utilisant toutes les années de données, puis on a appliqué ces paramètres à toutes les années d'éclosion, plutôt que les réestimer chaque année.
- On a calculé les mesures de rendement individuelles et les rangs regroupés pour des périodes de deux générations (c.-à-d. huit ans), plutôt que pour l'ensemble de la série de données disponible. On a tenu compte des tendances en matière de rangs au fil du temps et des rangs pour les années d'éclosion les plus récentes (2011 à 2013, c.-à-d. incluant les recrues de 5 ans et moins en 2018).

L'objectif de l'approche utilisée était de répondre à la question suivante : *À quel point les estimations relatives aux recrues qui ont été générées par le modèle stock-recrutement évalué sont-elles précises par rapport aux observations sur le recrutement pour différentes périodes?*

On a déterminé les mesures de rendement conformes aux méthodes de prévision utilisées pour le saumon rouge du Fraser (Grant *et al.* 2020) et le saumon chinook de la Colombie-Britannique (Vélez-Espino *et al.* 2019), et on a appliqué l'approche de classement à l'échelle décrite dans le document de Folkes et ses collaborateurs (2018). Voici les mesures de rendement utilisées : erreur brute moyenne (EBM), erreur absolue moyenne (EAM), erreur moyenne en pourcentage (EMP), erreur absolue moyenne en pourcentage (EAMP) et erreur quadratique moyenne (EQM). Chaque mesure de rendement représente un aspect différent du rendement du modèle évalué (p. ex., exactitude par opposition au biais).

Le classement à l'échelle vise à représenter la séquence de valeurs, mais aussi à quel point les valeurs sont proches les unes des autres. Par exemple, les valeurs [5, 5,2, 18, 26] sont associées aux rangs [1, 2, 3, 4]; les deux premières valeurs sont très proches, tandis que les deux autres sont plus éloignées. Le classement à l'échelle tient compte de l'écart entre les valeurs minimale et maximale, et le rang des valeurs intermédiaires est ajusté en conséquence. Dans l'exemple, les valeurs seraient donc associées aux rangs [1, 1,03, 2,85, 4].

Pour classer les modèles stock-recrutement de chaque stock, on a calculé les rangs à l'échelle pour chaque modèle et pour chaque mesure de rendement, de façon séparée. Ensuite, on a calculé la moyenne des rangs de chaque mesure de rendement en appliquant une pondération égale.

L'annexe 4 (section 14.3) fait état des fonctions R utilisées pour faire la mise en œuvre du système de classement.

5.3.2. Méthodes : Types de modèles de base

On a évalué de nombreux modèles stock-recrutement de rechange (section 11.1 de l'annexe 1), mais dans la présente section, on décrit seulement les modèles proposés ayant été sélectionnés pour l'EPR.

Ricker – Productivité à long terme – Modèle bayésien de Ricker (RA)

Le modèle de Ricker est souvent utilisé pour représenter la dynamique de la relation stock-recrutement des saumons du Pacifique. Les modèles stock-recrutement de Ricker et de Larkin de base représentent le fondement des variantes de modèles qui ont été utilisées pour les simulations prospectives. L'équation correspondante est la suivante :

$$\ln (R_t/G_{t-4}) = \alpha - \beta_0 G_{t-4} + \varepsilon_t$$

Dans l'équation susmentionnée, R représente le recrutement pendant l'année t , G correspond aux géniteurs de l'année d'éclosion t , α représente le paramètre de productivité, α/β_0 décrit la capacité du système pour l'équation de Ricker et ε représente l'erreur de processus liée au recrutement.

Larkin – Productivité à long terme – Modèle bayésien de Larkin (LA)

Le modèle de Larkin permet d'ajouter au modèle de Ricker la dépendance à la densité retardée, sous forme de termes « Retard – Bêta », et d'approximer la tendance cyclique observée au sein de certains stocks de saumons rouges du Fraser. L'équation correspondante est la suivante :

$$\ln (R_t/G_{t-4}) = \alpha - \beta_0 G_{t-4} - \beta_1 G_{t-5} - \beta_2 G_{t-6} - \beta_3 G_{t-7} + \varepsilon_t$$

Ricker – Productivité récente – Modèle bayésien de Ricker récursif (RRB)

La formule bayésienne du modèle utilisant le filtre de Kalman qui figure dans le document de Peterman et ses collaborateurs (2003) a été fournie par Catherine Michielsens (Commission du saumon du Pacifique). Le modèle RRB comprend un paramètre alpha variable dans le temps qui agit comme un indicateur des tendances historiques en matière de productivité. Voici les estimations de paramètres générées à partir du modèle RRB : une estimation de α pour chaque année d'éclosion; une estimation de β et de ε pour le stock étudié.

On a combiné l'erreur d'observation et l'erreur de processus relatives au code bayésien d'origine en un seul terme pour simplifier le modèle et parce qu'on avait prévu changer ce terme davantage afin qu'il puisse être utilisé avec le modèle bayésien de Larkin récursif relatif à la fonction stock-recrutement (LRB).

Une distribution *a priori* informative pour le paramètre alpha a été générée à partir de valeurs de α propres à chaque stock (médiane et écart-type), estimées au moyen du modèle bayésien de Ricker non récursif (RA). On a obtenu la distribution *a priori* bêta au moyen de la méthode décrite dans le document de Pestal et ses collaborateurs (2012), soit l'utilisation d'une distribution log-normale avec une moyenne de l'abondance maximale observée et une limite supérieure correspondant à trois fois la valeur maximale observée.

Pour représenter la productivité actuelle de chaque stock, on a échantillonné les ensembles de 10 000 échantillons MCMC qui contiennent chacun les paramètres alpha et bêta, ainsi qu'un terme représentant la variance, à partir de la distribution *a posteriori* des quatre dernières années estimée au moyen du modèle RRB. Pour les simulations prospectives de référence (section 5.4.2), on a sous-échantillonné ces ensembles de 40 000 échantillons (1 250 échantillons issus de chacune des quatre dernières années, pour un total de 5 000 échantillons) afin de représenter la productivité moyenne au cours des années récentes. Pour chaque simulation prospective, on a utilisé l'un des 5 000 échantillons MCMC issus des estimations de paramètres des quatre dernières années. Les ensembles de 40 000 échantillons seront abordés de nouveau dans la section 6.1.2 dans le cadre des discussions sur les productivités futures de rechange.

Larkin – Productivité récente – Modèle bayésien de Ricker récursif (LRB)

Pour ces modèles, on a employé la même méthode que pour le modèle RRB, sauf qu'on a utilisé le modèle stock-recrutement de Larkin. Les trois termes « Retard – Bêta » avaient des distributions *a priori* uniformes limitées entre 0 et 100, comme celles utilisées dans le document de Pestal et ses collaborateurs (2012). La distribution *a priori* alpha est issue du modèle de Larkin non récursif. Le traitement des échantillons MCMC a été réalisé selon la méthode décrite pour le modèle RRB.

Ricker – Productivité récente – Modèle bayésien ajusté pour cinq générations (R5Gen)

On a réalisé les exécutions relatives à ce modèle selon la même méthode que pour le modèle RA, mais la série chronologique des valeurs stock-recrutement utilisées pour estimer les paramètres était limitée aux 20 dernières années d'éclosion, ce qui correspond à cinq générations de saumons rouges d'âge 4. On a utilisé 5 000 échantillons MCMC dans les modèles de simulation prospective de référence (section 5.4.2) et on a conservé 10 000 échantillons MCMC qui seront utilisés dans les scénarios de productivités futures de rechange (section 6.1.2).

5.3.3. Méthodes : Critères pour la sélection de modèles stock-recrutement

La présente section concerne le schéma des étapes de la Figure A. En utilisant les résultats (c.-à-d. résidus simulés) décrits dans la section 5.3.1, on a suivi les étapes suivantes pour sélectionner des modèles stock-recrutement propres à chaque stock. L'objectif était de sélectionner les modèles reflétant la productivité inférieure à la moyenne récente affichée par les stocks en voie de disparition ou menacés (voir la section 11.2 de l'annexe 1). Les modèles ayant représenté le plus fidèlement la faible productivité récente étaient les trois modèles de productivité récents, soit le modèle bayésien de Ricker récursif (RRB), le modèle bayésien de Larkin récursif (LRB) et le modèle bayésien de Ricker ajusté pour cinq générations (R5Gen) (étape 1, Figure A).

On a déterminé que les modèles privilégiés étaient de type récursif (LRB et RRB) étant donné qu'on a utilisé les données stock-recrutement de toutes les années disponibles. Dans la série préliminaire d'essais évaluant huit types de modèles stock-recrutement proposés (section 11.1 de l'annexe 1), les modèles LRB et RRB se sont constamment bien classés. Parmi les modèles récursifs, on a privilégié le type LRB étant donné qu'il pouvait reproduire le comportement non cyclique du modèle de Ricker en plus de fournir des renseignements sur les tendances cycliques et la dépendance à la densité retardée (étape 2, Figure A).

On a considéré d'autres modèles que le LRB pour les raisons suivantes (étape 3, Figure A) :

1. un mauvais ajustement du modèle récursif (ce n'était le cas pour aucun des stocks étudiés);
2. l'un des autres modèles proposés se classait constamment mieux que le LRB;
3. une alternance répétée entre le modèle LRB et un autre modèle pour le premier rang.

Pour la partie restante de l'analyse, on a seulement utilisé le modèle LRB s'il s'agissait du seul modèle s'étant bien classé pour une UD donnée (étape 3, Figure A). Si d'autres modèles se sont aussi bien classés, on a réalisé une évaluation secondaire.

Cette évaluation (étapes 4 à 6, Figure A) consistait à générer des projections au moyen des modèles stock-recrutement proposés restants et à vérifier la proportion des simulations qui atteignaient les critères associés à la cible de rétablissement n° 1 décrits dans la section 5.2. Si les résultats étaient semblables à ceux obtenus au moyen du modèle LRB, on a seulement utilisé ce dernier. Sinon, on a fait une moyenne des modèles au moyen d'une technique selon laquelle la moitié des échantillons MCMC utilisés pour les simulations prospectives provenait de chacun des modèles stock-recrutement. Des grilles semblables à celles de l'annexe 3 ont été utilisées pour comparer les modèles. Pour les modèles considérés pour une UD, on a comparé les valeurs de taux d'exploitation ayant produit un changement de catégorie sur l'échelle établie par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Tableau 7) pour la cible de rétablissement n° 1, à des valeurs de productivité de -50 % à +30 % (augmentations par tranche de 10 %). Si l'écart entre les valeurs de taux d'exploitation produites par les deux modèles proposés était supérieur à 5 %, on a considéré que les modèles étaient assez différents pour justifier l'utilisation des deux.

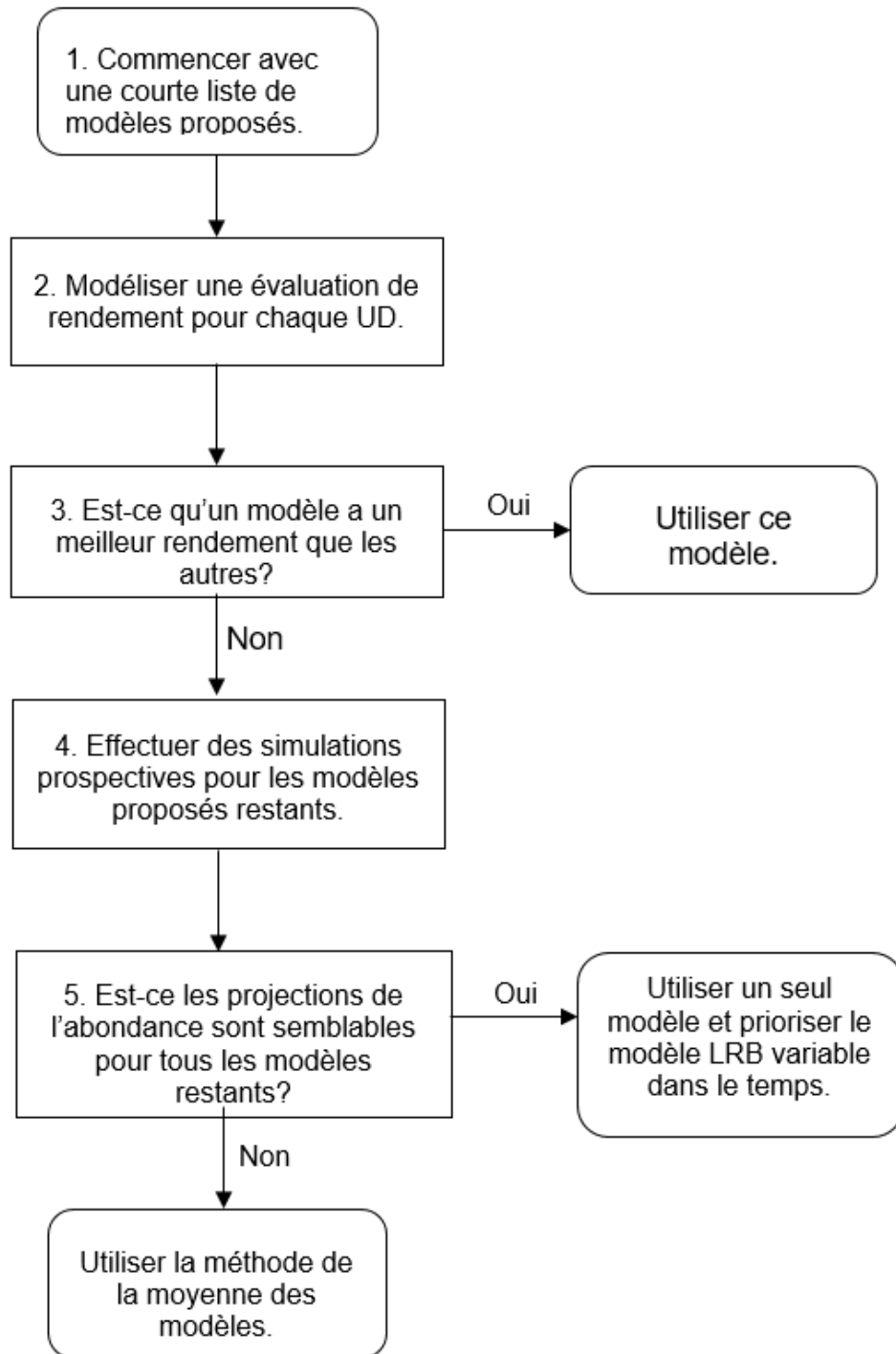


Figure A. Schéma des étapes relatives au processus employé pour la sélection de modèles de simulation relatifs à l'EPR qui sont propres à chaque stock.

5.3.4. Résultats : Sélection de modèles propres à chaque stock

Le Tableau 6 montre les modèles choisis pour les simulations relatives à chaque UD. Le modèle LRB a été utilisé pour toutes les UD, mais le modèle RRB ou le modèle R5Gen a aussi été utilisé pour certaines UD.

Tableau 6. Modèles choisis pour chaque UD.

Modèles	UD modélisées
Modèle bayésien de Larkin récursif	Remonte hâtive de la Stuart, Bowron, Portage, Weaver et Raft* (UD 20, 2, 17, 10 et 11)
Modèle bayésien de Larkin récursif et modèle bayésien de Ricker récursif	Quesnel, Upper Barriere, Stellako* et Birkenhead* (UD 16, 14, 7 et 12)
Modèle bayésien de Larkin récursif et modèle bayésien de Ricker non récursif ajusté aux estimations du stock-recrutement de cinq générations d'individus	Remonte tardive de la Stuart (UD 21)

Il est à noter que les modèles susmentionnés étaient différents de ceux utilisés dans le document sur la réévaluation de l'état de stocks selon la PSS de Grant et ses collaborateurs (2020). Dans ce document, ils ont utilisé des modèles de Larkin pour les stocks cycliques et des modèles de Ricker pour les autres stocks. Le but de leurs travaux était de déterminer les points de référence en matière d'abondance qui devraient être utilisés pour établir l'état actuel d'un stock selon la PSS. L'objectif était que les modèles stock-recrutement représentent le comportement de l'UD évaluée et projettent son abondance dans un proche avenir. Les modèles étaient aussi différents de l'approche adoptée par Pestal et ses collaborateurs (2012), qui ont utilisé le modèle de Larkin pour toutes les UD. Leurs travaux visaient à représenter les stocks à long terme (12 générations).

5.4. ÉLÉMENT 13 (PARTIE 2) : PROJETER LES TRAJECTOIRES DE POPULATIONS PRÉVUES SUR UNE PÉRIODE RAISONNABLE SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE (MINIMUM DE DIX ANS) ET DES TRAJECTOIRES AU FIL DU TEMPS JUSQU'À L'ATTEINTE DES CIBLES DE RÉTABLISSEMENT POSSIBLES, EN FONCTION DES PARAMÈTRES ACTUELS DE LA DYNAMIQUE DES POPULATIONS D'UNE ESPÈCE SAUVAGE – SIMULATION PROSPECTIVE RÉALISÉE AU MOYEN DE MODÈLES DE POPULATION

5.4.1. Aperçu

Pour la composante principale de la simulation prospective, on a utilisé des taux d'exploitation fixes en tant que levier primaire pour l'évaluation des répercussions sur le potentiel de rétablissement des UD. Les analyses de sensibilité connexes étaient axées sur la productivité. Il est utile de rappeler les deux avertissements suivants. D'abord, dans la section 5.1, on indique

que les pêches ne sont pas la seule cause de la mortalité d'individus adultes et que les simulations doivent être interprétées en conséquence. Ensuite, comme mentionné dans la section 3, dans le cadre des pêches ciblant le saumon rouge du Fraser, on capture habituellement des individus provenant de diverses UD. La gestion de ces pêches est fondée sur des règles de contrôle des prises qui sont appliquées à l'échelle des unités de gestion des stocks, formées de diverses UD. L'unité de gestion des stocks Montaison hâtive dans la Stuart fait exception parce qu'elle comprend seulement l'UD Remonte hâtive de la Stuart (UD 20).

Même si la présente analyse était axée sur les UD individuelles, il est peu probable qu'on commence à gérer les stocks de façon individuelle. Pour déterminer les effets de mesures de gestion plus réalistes, on recommande de combiner les travaux réalisés dans le cadre de cette analyse à des observations qui pourraient provenir d'un modèle qui intègre de façon plus exhaustive les pratiques et les enjeux actuels en matière de gestion. Le MPO utilise de tels modèles de gestion pour évaluer les effets de règles de contrôle des prises combinées sur des UD individuelles (Pestal *et al.* 2012). Le modèle de gestion du document de Pestal et ses collaborateurs (2012) n'a pas été utilisé dans le cadre de la présente évaluation parce qu'il comprend des facteurs additionnels qui brouilleraient la question fondamentale posée dans le cadre de référence de l'EPR. Ces facteurs additionnels sont notamment l'attribution des prises, les pêches faisant l'objet de contraintes en matière de gestion et les règles de contrôle des prises à l'échelle des unités de gestion des stocks, qui changent selon l'année du cycle et qui nécessitent des estimations annuelles de l'abondance et de la mortalité en cours de montaison pour qu'on puisse déterminer les taux d'exploitation admissibles chaque année.

5.4.2. Méthodes : Modèle de simulation de l'EPR

Pour évaluer le potentiel de rétablissement de chaque stock, on a simulé les trajectoires de l'abondance de géniteurs au moyen des modèles stock-recrutement figurant dans le Tableau 6. Pour chaque modèle, on a suivi les étapes suivantes.

1. Pour chaque stock, commencer par l'abondance de géniteurs observée. L'estimation préliminaire pour 2018 représente la dernière année pour laquelle des données sont disponibles.
2. Calculer le nombre total de recrues généré pour chaque année d'éclosion en appliquant l'erreur log-normale multiplicative lors de la procédure d'estimation.
3. Calculer la taille de la remonte pour chaque année de montaison. On a présumé une proportion selon l'âge fixe, d'après la proportion d'individus d'âge 4 ayant effectué une montaison de 1980 à aujourd'hui, comme on l'a fait pour les prévisions de la taille de la remonte annuelle (Grant et MacDonald 2012).
4. Calculer l'abondance de géniteurs pour chaque année de montaison en appliquant un taux d'exploitation fixe et un taux de mortalité en cours de montaison stochastique qui a été rééchantillonné à partir des valeurs observées.
5. Répéter les étapes 2 à 4 pour trois générations (c.-à-d. 12 ans).

L'annexe 4 (sections 14.4 à 14.5) présente le code des modèles.

5.5. ÉLÉMENT 15 : ÉVALUER LA PROBABILITÉ QUE LES CIBLES DE RÉTABLISSEMENT POSSIBLES PUISSENT ÊTRE ATTEINTES SELON LES TAUX ACTUELS DE PARAMÈTRES DE LA DYNAMIQUE DES POPULATIONS ET DÉTERMINER COMMENT CETTE PROBABILITÉ POURRAIT VARIER SELON DIFFÉRENTS PARAMÈTRES DE MORTALITÉ (SURTOUT DES VALEURS PLUS FAIBLES) ET DE PRODUCTIVITÉ (SURTOUT DES VALEURS PLUS ÉLEVÉES)

5.5.1. Résultats : Stocks modélisés

Les graphiques connexes sont présentés dans l'annexe 3 (section 13).

Pour les UD qui frayent en amont du lieu du glissement de terrain de Big Bar, on a appliqué une mortalité en cours de montaison de 99,5 % pour 2019, selon les données disponibles au début du mois d'août (c.-à-d. 0,5 % de la remonte totale excluant les prises a atteint les frayères). Ce pourcentage était beaucoup plus élevé que certaines estimations du nombre d'individus ayant franchi le lieu de glissement de terrain de Big Bar plus tard pendant la saison (début de septembre). Dans la présente section, on présente le meilleur scénario pour les années postérieures à 2019, en présumant que la mortalité en cours de montaison reviendra à la « normale » à partir de 2020. Ce scénario était fondé sur la possibilité que le blocage puisse être délogé pendant l'hiver 2019, sans blocage persistant ni effet intergénérationnel.

Les résultats de simulation sont présentés comme un pourcentage des 5 000 simulations prospectives qui ont atteint les cibles de rétablissement n^{os} 1 et 2. Pour faciliter la présentation des résultats et la discussion sur ceux-ci, on a utilisé les catégories et les descriptions établies par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (Mastrandrea *et al.*, 2010) figurant dans le Tableau 7.

Tableau 7. Échelle de probabilité du GIEC (d'après le document de Mastrandrea *et al.*, 2010) [traduction]

Catégorie	Probabilité
Pratiquement certain	99 à 100 %
Très probable	90 à 100 %
Probable	66 à 100 %
Presque aussi probable qu'improbable	33 à 66 %
Improbable	0 à 33 %
Très improbable	0 à 10 %
Extrêmement improbable	0 à 1 %

Le Tableau 8 résume les résultats concernant l'élément 15. Les stocks présentés dans ce tableau et dans l'annexe 3 sont regroupés comme suit :

1. stocks en voie de disparition ou menacés frayant en aval du lieu du glissement de terrain de Big Bar (graphiques de la section 13.1 de l'annexe 3);
2. stocks en voie de disparition ou menacés frayant en amont du lieu du glissement de terrain de Big Bar (graphiques de la section 13.2 de l'annexe 3);
3. stocks préoccupants (graphiques de la section 0 de l'annexe 3).

Les nombres figurant dans les colonnes A et C du Tableau 8 représentent le taux d'exploitation maximal associé à l'atteinte « Probable » de la cible de rétablissement n° 1 (colonne A) ou de la cible de rétablissement n° 2 (colonne C); la catégorie « Probable » fait référence à l'échelle de probabilité du GEIC décrite dans le Tableau 7 (c.-à-d. 66 à 100 %). Ainsi, lorsqu'on a observé les grilles de l'annexe 3 qui résument les résultats de simulation, on a examiné la colonne de valeurs correspondant au niveau de productivité actuel (c.-à-d. changement de productivité de 0) pour cerner les valeurs supérieures ou égales à 66 (c.-à-d. 66 %). Lorsqu'une telle valeur a été cernée, on a suivi la rangée correspondante jusqu'au côté gauche de la grille pour déterminer le taux d'exploitation connexe. Si aucune valeur supérieure ou égale à 66 ne figurait dans la colonne examinée, on a écrit « S.O. » pour « sans objet » dans les colonnes A et C du tableau 8.

Aucun taux d'exploitation n'était associé à l'atteinte « Probable » de la cible de rétablissement n° 2 après trois générations, au niveau de productivité actuel, et ce, pour tous les stocks désignés en voie de disparition, menacés ou préoccupants, à l'exception de l'UD Stellako* (UD 7) (Tableau 8). Toutefois, les stocks Quesnel (UD 16) et Stellako* (UD 7) étaient associés à l'atteinte « Probable » de la cible de rétablissement n° 1 pour des taux d'exploitation supérieurs à zéro et au niveau de productivité actuel (25 % pour le stock Quesnel et 55 % pour le stock Stellako*, UD 16 et 7).

Tableau 8. Résumé des résultats de simulation au niveau de productivité actuel. Pour les quatre dernières colonnes : A = taux d'exploitation (TE) maximal associé à l'atteinte « Probable » de la cible de rétablissement n° 1 (c.-à-d. taux d'exploitation maximal pour que 66 % des projections ou plus atteignent cette cible); B = pourcentage des projections qui atteignent la cible de rétablissement n° 1 à un taux d'exploitation nul (au niveau de productivité actuel); C = taux d'exploitation maximal associé à l'atteinte « Probable » de la cible de rétablissement n° 2; D = pourcentage des projections qui atteignent la cible de rétablissement n° 2 à un taux d'exploitation nul.

Nom commun	Nom et numéro de l'UD	Désignation du COSEPAC	Fraye en amont de Big Bar	A) TE max. pour atteindre la cible n° 1	B) % des projections qui atteignent la cible n° 1 quand TE = 0 %	C) TE max. pour atteindre la cible n° 2	D) % des projections qui atteignent la cible n° 2 quand TE = 0 %
<i>Montaison hâtive dans la Stuart</i>	<i>Takla-Trembleur-montaison hâtive dans la Stuart, UD 20</i>	<i>En voie de disparition</i>	<i>Oui</i>	S.O.	3	S.O.	0
<i>Bowron</i>	<i>Bowron-DE, UD 2</i>	<i>En voie de disparition</i>	<i>Oui</i>	S.O.	20	S.O.	1
<i>Taseko</i>	<i>Taseko-DE, UD 22</i>	<i>En voie de disparition</i>	<i>Oui</i>	<i>Non modélisée</i>			
<i>Upper Barriere</i>	<i>North Barriere-DE, UD 14</i>	<i>Menacée</i>	<i>Non</i>	S.O.	50	S.O.	22
<i>Quesnel</i>	<i>Quesnel-E, UD 16</i>	<i>En voie de disparition</i>	<i>Oui</i>	25	85	S.O.	16
<i>Remonte tardive de la Stuart</i>	<i>Takla-Trembleur-Stuart-E, UD 21</i>	<i>En voie de disparition</i>	<i>Oui</i>	0	66	S.O.	18
<i>Widgeon</i>	<i>Widgeon – Rivière, UD 24</i>	<i>Menacée</i>	<i>Non</i>	<i>Non modélisée</i>			
<i>Raft*</i>	<i>Kamloops-DE, UD 11</i>	<i>Préoccupante</i>	<i>Non</i>	S.O.	50	S.O.	18

Nom commun	Nom et numéro de l'UD	Désignation du COSEPAC	Fraye en amont de Big Bar	A) TE max. pour atteindre la cible n° 1	B) % des projections qui atteignent la cible n° 1 quand TE = 0 %	C) TE max. pour atteindre la cible n° 2	D) % des projections qui atteignent la cible n° 2 quand TE = 0 %
<i>Stellako*</i>	<i>Francois-Fraser-E, UD 7</i>	<i>Préoccupante</i>	<i>Oui</i>	<i>55/35</i>	<i>99</i>	<i>5</i>	<i>72</i>
<i>Portage</i>	<i>Seton-T, UD 17</i>	<i>En voie de disparition</i>	<i>Non</i>	<i>S.O.</i>	<i>40</i>	<i>S.O.</i>	<i>14</i>
<i>Weaver</i>	<i>Harrison (amont)-T, UD 10</i>	<i>En voie de disparition</i>	<i>Non</i>	<i>S.O.</i>	<i>56</i>	<i>S.O.</i>	<i>26</i>
<i>Birkenhead*</i>	<i>Lillooet-Harrison-T, UD 12</i>	<i>Préoccupante</i>	<i>Non</i>	<i>0</i>	<i>67</i>	<i>S.O.</i>	<i>24</i>

UD en voie de disparition ou menacées – Non touchées par le glissement de terrain de Big Bar

Il s'agit des UD Upper Barriere/Fennell (North Barriere-DE, UD 14), Portage (Seton-T, UD 17) et Weaver (Harrison (amont)-T, UD 10) – Graphiques dans l'annexe 3 (section 13.1).

Selon les hypothèses actuelles en matière de productivité et un taux d'exploitation de 0 %, les UD Upper Barriere, Portage et Weaver étaient toutes associées à l'atteinte « Presque aussi probable qu'improbable » de la cible de rétablissement n° 1 et à l'atteinte « Improbable » de la cible de rétablissement n° 2 pour les trois prochaines générations.

UD en voie de disparition ou menacées – Touchées par le glissement de terrain de Big Bar

Il s'agit des UD Remonte hâtive de la Stuart (Takla-Trembleur-montaison hâtive dans la Stuart, UD 20), Bowron (Bowron-DE, UD 2), Quesnel (Quesnel-E, UD 16) et Remonte tardive de la Stuart (Takla-Trembleur-Stuart-E, UD 21) – Graphiques dans l'annexe 3 (section 13.2).

Selon les hypothèses actuelles en matière de productivité et un taux d'exploitation de 0 %, l'UD Bowron était associée à l'atteinte « Improbable » de la cible de rétablissement n° 1 et l'UD Remonte hâtive de la Stuart, à l'atteinte « Très improbable » de cette cible de rétablissement. Les UD Bowron et Remonte hâtive de la Stuart étaient associées à l'atteinte « Extrêmement improbable » de la cible de rétablissement n° 2.

Les UD Quesnel et Remonte tardive de la Stuart étaient, quant à elles, associées à l'atteinte « Probable » de la cible de rétablissement n° 1 selon les conditions de productivité actuelles, mais elles étaient associées à l'atteinte « Improbable » de la cible de rétablissement n° 2.

Il est à noter que le point de référence supérieur de la PSS pour l'UD Quesnel figurant dans le Tableau 4, soit 1,3 million de géniteurs, est largement supérieur à la moyenne pour la période de 1948 à 2018, soit 350 000 géniteurs. Par contre, ce point de référence est inférieur à la plus importante moyenne sur quatre ans, soit 1,7 million de géniteurs. Pour l'UD Remonte tardive de la Stuart, le point de référence de la PSS de 590 000 géniteurs est largement supérieur à la moyenne pour la période de 1949 à 2018, soit 130 000 géniteurs. Il est aussi supérieur à la plus importante moyenne sur quatre ans, soit 520 000 géniteurs.

UD préoccupantes

Il s'agit des UD Raft (Kamloops-DE, UD 11), Birkenhead* (Lillooet-Harrison-T, UD 12) et Stellako* (Francois-Fraser-E, UD 7) – Graphiques dans l'annexe 3 (section 13.3).*

Selon les hypothèses actuelles en matière de productivité et un taux d'exploitation de 0 %, l'UD Raft* était associée à l'atteinte « Presque aussi probable qu'improbable » de la cible de rétablissement n° 1 et à l'atteinte « Improbable » de la cible de rétablissement n° 2 pour les trois prochaines générations. L'UD Birkenhead* était associée à l'atteinte « Probable » de la cible de rétablissement n° 1 selon les conditions susmentionnées, mais si le taux d'exploitation augmentait de 5 %, elle serait associée à l'atteinte « Presque aussi probable qu'improbable » de cette cible de rétablissement. Ainsi, c'est comme si on jouait à pile ou face pour déterminer si la désignation des UD Raft* et Birkenhead* demeurera préoccupante ou si elle sera déclassée aux désignations en voie de disparition ou menacée au cours des trois prochaines générations, même à des taux d'exploitation faibles.

Selon les hypothèses actuelles en matière de productivité et un taux d'exploitation de 0 %, l'UD Stellako* était associée à l'atteinte « Probable » de la cible de rétablissement n° 2 et à l'atteinte « Pratiquement certaine » de la cible de rétablissement n° 1 pour les trois prochaines générations. Il est à noter que cette UD fraye en amont du lieu du glissement de terrain de Big Bar.

Remarques générales en matière de résultats – Stocks modélisés

Le facteur limitatif pour les UD associées à l'atteinte « Improbable » de la cible de rétablissement n° 1 est associé à deux catégories parce que les UD frayant en amont du lieu du glissement de terrain de Big Bar étaient limitées par le critère G_{gen} et celles frayant en aval de ce lieu étaient limitées par le critère relatif à la pente. Il y avait donc deux critères relatifs à la pente, selon si l'UD comptait ou non plus de 10 000 individus matures au cours de la dernière génération (Tableau 5 de la section 5.2.3).

5.5.2. Stocks sans série chronologique stock-recrutement

Stock Taseko (Taseko-DE, UD 22)

La rivière Taseko se jette dans la rivière Chilko, un affluent de la rivière Chilcotin qui se jette à son tour dans le Fraser, en aval du lac Williams. Les individus de l'UD Taseko ont été catégorisés comme faisant partie de l'unité de gestion des stocks Début de l'été. Ils effectuent leur montaison plus tôt que les individus de l'UD Chilko. Il est difficile de distinguer les individus de l'UD Taseko de ceux des UD qui remontent en même temps, comme les UD Bowron (UD 2) et Quesnel (UD 16), au moyen d'analyses de l'ADN. Par conséquent, il est difficile de déterminer leur abondance dans les aires de migration. Comme la boue glaciaire empêche la réalisation de relevés visuels de l'abondance de géniteurs, on utilise des méthodes d'expansion fondées sur les carcasses dénombrées depuis de nombreuses années. La prédation par les ours peut influencer la capacité des équipes d'évaluation du stock à obtenir des carcasses. Depuis 2013, les estimations se sont améliorées grâce à l'utilisation de la technologie hydroacoustique DIDSON.

L'UD Taseko fraye en amont du lieu du glissement de terrain de Big Bar. Pour les années où la technologie hydroacoustique n'était pas utilisée aux fins d'évaluation, le nombre de géniteurs devrait être interprété comme les estimations minimales en raison des difficultés associées à l'évaluation visuelle de cette UD (K. Benner, Évaluation des stocks du MPO, Kamloops, Colombie-Britannique, comm. pers.). La moyenne du *nombre réel de génitrices* était de 1 400 individus (1952 à 2018). Ce nombre a affiché une baisse au début des années 1990, qui s'est poursuivie jusqu'à maintenant. Cette baisse ne semble pas dépendre des taux d'exploitation, qui ont été variables, mais qui ont affiché une baisse depuis les années 1980 (Figure 41 de l'annexe 3).

Widgeon (Widgeon – Rivière, UD 24)

Le ruisseau et le marécage Widgeon forment un petit bassin hydrographique qui se jette dans la rivière Pitt, en aval de la décharge du lac Pitt. De tous les stocks de saumons rouges du Fraser, les individus de l'UD Widgeon sont les plus distincts sur le plan génétique, comme déterminé par des analyses de l'ADN. Jusqu'en 2012, on pensait que cette UD faisait partie de l'unité de gestion des stocks Tardive. Depuis, l'UD fait partie de l'unité de gestion Été, comme l'UD Harrison (plus abondante), avec laquelle elle partage des caractéristiques relatives au moment de la montaison et à l'âge des individus lors de celle-ci (plus d'individus de moins d'un an qui remontent que dans les autres stocks du Fraser). Étant donné qu'ils sont peu abondants dans les aires de migration, les individus de l'UD Harrison sont utilisés à titre d'indicateurs afin de prédire le moment de la migration. Les estimations de l'abondance de géniteurs étaient de faible qualité parce que les carcasses tendent à être éliminées du bassin hydrographique où elles se trouvent en raison de la fluctuation des marées. Il est probable que les estimations de l'abondance de géniteurs aient été sous-estimées. Toutefois, contrairement à celles du stock Taseko (UD 22), ces estimations pourraient probablement être utilisées comme un indice de l'abondance véritable (K. Benner, comm. pers.). La taille de la population de l'UD Widgeon était

presque certainement inférieure au seuil du critère D du COSEPAC, mais elle est restée stable au fil du temps et pour une grande plage de taux d'exploitation.

Ses frayères se situent bien en aval du lieu du glissement de terrain de Big Bar. À long terme, la moyenne du nombre réel de génitrices était de 331 individus (1952 à 2018). Ce nombre a connu une baisse importante, passant de 436 génitrices avant 1990 à 178 génitrices après cette année. Cette baisse ne semble pas être attribuable à la mortalité par pêche étant donné que le taux d'exploitation correspondant à cette période a aussi baissé, passant de 75 % à 33 % (Figure 20 de l'annexe 3)

Il est à noter que le manque de liens de causalité évidents entre le nombre réel de génitrices et les taux d'exploitation ne signifie pas que les déclinés affichés par les UD Taseko et Widgeon n'étaient pas attribuables à une mortalité anthropique. Cela signifie seulement que les déclinés ne semblent pas être seulement attribuables aux pêches ciblant les saumons rouges qui remontent en même temps.

6. SCÉNARIOS D'ATTÉNUATION DES MENACES ET ACTIVITÉS DE RECHANGE

6.1. ÉLÉMENT 19 : ESTIMER LA DIMINUTION DU TAUX DE MORTALITÉ ATTENDUE POUR CHAQUE MESURE D'ATTÉNUATION OU SOLUTION DE RECHANGE ÉNUMÉRÉE À L'ÉLÉMENT 16, ET L'AUGMENTATION DE LA PRODUCTIVITÉ OU DE LA SURVIE ASSOCIÉE À CHAQUE MESURE LIÉE À L'ÉLÉMENT 17

6.1.1. Aperçu

Certaines mesures d'atténuation se prêtent mieux à une évaluation quantitative que les autres. Par exemple, il serait plus facile de quantifier les effets liés à l'ajout d'une frayère artificielle que ceux attribuables à l'amélioration de données ou de modèles. En raison du grand nombre de projets d'atténuation de différents types qui pourraient être entrepris, on a simplifié la présente analyse en évaluant les effets d'une augmentation de la productivité sans nommer les mesures ayant entraîné ces améliorations, à une exception près.

Cette exception réfère au glissement de terrain de Big Bar qui a bloqué la migration de saumons rouges du Fraser adultes (et celle d'autres espèces) en 2019. Ses effets sur les montaisons futures sont actuellement inconnus. Ce scénario est un exemple de la façon dont les mesures d'atténuation mises en place au lieu du glissement de terrain pourraient être appliquées dans le modèle afin qu'on puisse évaluer les effets de cet événement sur les populations frayant en amont de ce lieu.

6.1.2. Méthodes : Scénarios de productivités futures de rechange pour les modèles stock-recrutement

Pour simuler les scénarios de productivités futures, on a déterminé la médiane du paramètre alpha (α_{med}) correspondant aux 10 000 échantillons MCMC décrits dans la section 5.3.2. Pour chaque changement correspondant à un pour cent de la valeur d'intérêt de la productivité (ρ), on a calculé une nouvelle médiane du paramètre alpha au moyen de l'équation suivante :

$$\alpha_{nouv.} = \alpha_{med} + (\alpha_{med} * \rho)$$

Les 5 000 échantillons MCMC utilisés dans les simulations prospectives ont été mis à l'échelle pour que la moitié soit tirée d'échantillons où les valeurs du paramètre alpha sont supérieures à $\alpha_{nouv.}$ et que l'autre moitié soit tirée d'échantillons où les valeurs sont inférieures à $\alpha_{nouv.}$

On a modélisé une plage des changements de la productivité future allant de -50 % à +30 % à partir des données actuelles. On a choisi une baisse de 50 % à titre de limite inférieure de la plage parce que des déclin de 50 % de la productivité estimée ont fait partie de la plage de déclin observés pour certains stocks pendant trois générations. D'après les tendances observées dans les graphiques concernant le paramètre alpha de la section 11.3 (annexe 1), on croit qu'il est improbable que la productivité des stocks évalués augmente dans un proche avenir. Cependant, on a inclus une légère augmentation de la productivité afin de montrer l'ampleur possible des effets entraînant une augmentation de la productivité ou des effets qui pourraient être produits par des mesures d'atténuation.

6.1.3. Méthodes : Scénario d'atténuation – Exemple du glissement de terrain de Big Bar

Le « scénario de référence » utilisé était fondé sur l'hypothèse que les effets du glissement de terrain sur les UD touchés n'auraient pas été atténués pendant la première année (2019), mais que les faibles niveaux d'eau normaux lors du premier hiver auraient permis le dégagement complet du blocage. Selon cette hypothèse, les débris auraient pu être retirés du passage grâce à l'utilisation d'explosifs combinée à la force de l'eau en mouvement lors de la crue printanière de 2020. Ainsi, dans le modèle, la première année a été associée à la pleine incidence du glissement de terrain de Big Bar (taux de mortalité de 99,5 %) et les années suivantes ont été associées à une mortalité en cours de montaison normale pour l'élément 15 (section 5.5).

Le taux de mortalité de 99,5 % était supérieur aux taux de mortalité déclarés en cours de saison au passage de Big Bar (les estimations au début de la saison étaient supérieures à 95 %, mais ont diminué à environ 55 % au début de septembre en raison des efforts d'atténuation et de la baisse du débit d'eau). On a choisi d'utiliser un taux de mortalité de 99,5 % pour 5 000 valeurs simulées correspondant à la taille de la remonte évaluée, qui étaient plus représentatives des prévisions d'avant-saison. Ce choix diffère des estimations en cours de saison, qui sont associées aux caractéristiques suivantes.

1. Il s'agit des estimations de la mortalité des individus passant par le site du glissement de terrain de Big Bar seulement, pas des estimations de la mortalité des individus se trouvant en aval du site ni en amont de celui-ci jusqu'aux frayères.
2. Ces estimations ont été appliquées aux remontes en cours de saison, qui étaient bien inférieures au 10^e centile de la plage des tailles de remontes prévues.
3. Il s'agit des estimations qui ont eu lieu pendant une année où on a présumé que la mortalité en cours de montaison vers les frayères était supérieure à la moyenne étant donné que la température quotidienne de l'eau dans les rivières était constamment supérieure à la moyenne.

On a aussi présenté un exemple hypothétique plus nuancé pour montrer comment les scénarios d'atténuation de recharge pouvaient être modélisés. L'exemple de la passe migratoire correspond à une situation où il n'aurait pas été possible d'utiliser des explosifs pendant l'hiver suivant le glissement de terrain; on aurait donc installé une passe migratoire pendant les trois hivers suivant l'événement. Lors du premier hiver (2020), on déplacerait de grosses roches pour faciliter le passage de poissons, ce qui réduirait le taux de mortalité de 99,5 % en 2019 à 80 % en 2020. Lors du deuxième hiver, on déplacerait d'autres roches, ce qui ferait diminuer le taux de mortalité à 75 %. Après le troisième hiver, la passe migratoire serait entièrement fonctionnelle, donc le taux de mortalité associé à la passe migratoire diminuerait à 20 %. Il est à noter que la mortalité associée au passage au-delà du lieu du glissement de terrain de Big Bar a été modélisée en plus de la mortalité en cours de migration historique.

Les taux de mortalité associés au déplacement de roches et à la passe migratoire étaient strictement hypothétiques et auraient facilement pu être associés à un scénario où il y aurait eu des déplacements de roches de petite envergure pendant deux hivers et des déplacements plus importants lors du troisième hiver.

On a aussi présenté une série d'analyses de sensibilité fondées sur un scénario où 99,5 % de la mortalité associée au glissement de terrain de Big Bar persisterait pendant plus d'un an. Cette série a contribué à faire la lumière sur l'importance des années dominantes d'un cycle pour les UD cycliques et sur l'effet cumulatif d'une mortalité catastrophique pendant de nombreuses années consécutives.

6.2. ÉLÉMENT 20 : PROJETER LES TRAJECTOIRES DE POPULATIONS PRÉVUES (ET LES INCERTITUDES CONNEXES) SUR UNE PÉRIODE RAISONNABLE SUR LE PLAN SCIENTIFIQUE ET JUSQU'À L'ATTEINTE DES CIBLES DE RÉTABLISSEMENT, COMPTE TENU DES TAUX DE MORTALITÉ ET DES VALEURS DE PRODUCTIVITÉ ASSOCIÉES AUX MESURES QUI ONT ÉTÉ CERNÉES AUX FINS D'EXAMEN DANS L'ÉLÉMENT 19. INCLURE LES TRAJECTOIRES ASSOCIÉES AUX PROBABILITÉS DE SURVIE ET DE RÉTABLISSEMENT LES PLUS ÉLEVÉES OBTENUES À PARTIR DE PARAMÈTRES BIOLOGIQUES AFFICHANT DES VALEURS RÉALISTES.

6.2.1. Résultats : Scénarios de productivités futures de rechange

Voir l'annexe 3 (sections 13.1 à 13.3).

UD en voie de disparition ou menacées – Non touchées par le glissement de terrain de Big Bar

Il s'agit des UD Upper Barriere/Fennell (North Barriere-DE, UD 14), Portage (Seton-T, UD 17) et Weaver (Harrison (amont)-T, UD 10) – Graphiques dans l'annexe 3 (section 13.1).

L'UD Upper Barriere était associée à l'atteinte « Presque aussi probable qu'improbable » de la cible de rétablissement n° 1 pour l'ensemble de la plage de productivité de -50 % à +30 %, à des taux d'exploitation de 0 à 5 %. À la productivité actuelle, cette UD était associée à l'atteinte « Improbable » de la cible de rétablissement n° 2, à des taux d'exploitation de 25 % ou plus. La probabilité d'atteindre la cible de rétablissement n° 2 pour l'UD allait d'« Improbable » à « Très improbable » pour l'ensemble des valeurs de productivité et des taux d'exploitation modélisés.

L'UD Portage était associée à l'atteinte « Improbable » de la cible de rétablissement n° 1 pour la plupart des combinaisons de productivités et de taux d'exploitation modélisés. À la productivité actuelle, cette UD était associée à l'atteinte « Improbable » de la cible de rétablissement n° 1, à des taux d'exploitation de 20 % ou plus. Elle était associée à l'atteinte « Très improbable » de la cible de rétablissement n° 2 pour la plupart des combinaisons de productivités et de taux d'exploitation modélisés.

L'UD Weaver était associée à l'atteinte « Presque aussi probable qu'improbable » de la cible de rétablissement n° 1 pour une grande plage de productivités et de taux d'exploitation modélisés. À la productivité actuelle, cette UD était associée à l'atteinte « Improbable » de la cible de rétablissement n° 1, à des taux d'exploitation de 50 % ou plus. L'atteinte de la cible de rétablissement n° 2 pour l'UD allait d'« Improbable » à « Très improbable » pour l'ensemble des productivités et des taux d'exploitation modélisés.

UD en voie de disparition ou menacées – Touchées par le glissement de terrain de Big Bar

Il s'agit des UD Remonte hâtive de la Stuart (Takla-Trembleur-montaison hâtive dans la Stuart, UD 20), Bowron (Bowron-DE, UD 2), Quesnel (Quesnel-E, UD 16) et Remonte tardive de la Stuart (Takla-Trembleur-Stuart-E, UD 21) – Graphiques dans l'annexe 3 (section 13.2).

L'UD Remonte hâtive de la Stuart était associée à l'atteinte « Très improbable » de la cible de rétablissement n° 1 pour toute la plage de productivités modélisées. À des taux d'exploitation beaucoup plus importants que 10 à 15 %, cette UD était associée à l'atteinte « Extrêmement improbable » de cette cible de rétablissement. Pour toutes les productivités et tous les taux d'exploitation modélisés, l'UD était associée à l'atteinte « Extrêmement improbable » de la cible de rétablissement n° 2.

Pour toutes les productivités modélisées et à un taux d'exploitation de 0 %, l'UD Bowron était associée à l'atteinte « Improbable » de la cible de rétablissement n° 1. Lorsqu'on a augmenté les taux d'exploitation en maintenant la productivité actuelle, cette UD était associée à l'atteinte « Très improbable » (à un taux d'exploitation de 20 %) et à l'atteinte « Extrêmement improbable » (à un taux d'exploitation de 50 %) de la cible de rétablissement n° 1. L'UD était associée à l'atteinte « Extrêmement improbable » de la cible de rétablissement n° 2 pour la plupart des productivités et des taux d'exploitation modélisés.

À un taux d'exploitation de 0 % et pour toute la plage de productivités, l'UD Quesnel était associée à l'atteinte « Probable » de la cible de rétablissement n° 1. À la productivité actuelle, la catégorie associée à l'UD a changé à mesure que le taux d'exploitation a augmenté; elle est passée de « Presque aussi probable qu'improbable » (taux d'exploitation de 30 %), à « Improbable » (taux d'exploitation de 55 %), puis à « Très improbable » (taux d'exploitation de 70 %) et finalement à « Extrêmement improbable » (taux d'exploitation de 85 %). Pour l'UD Quesnel, la probabilité d'atteindre la cible de rétablissement n° 2 allait d'« Improbable » à « Extrêmement improbable » pour l'ensemble des productivités et des taux d'exploitation modélisés.

L'UD Remonte tardive de la Stuart était associée à l'atteinte « Probable » de la cible de rétablissement n° 1 pour un ensemble restreint de conditions, généralement des taux d'exploitation faibles et des productivités élevées. À la productivité actuelle, la catégorie associée à cette UD pour l'atteinte de la cible de rétablissement n° 1 a changé à mesure que le taux d'exploitation a augmenté. Elle est passée de « Probable » (taux d'exploitation de 0 %), à « Presque aussi probable qu'improbable » (taux d'exploitation de 5 %), à « Improbable » (taux d'exploitation de 40 %), puis à « Très improbable » (taux d'exploitation de 65 %) et finalement à « Extrêmement improbable » (taux d'exploitation de 85 %). Pour l'UD, la probabilité d'atteindre la cible de rétablissement n° 2 allait d'« Improbable » à « Extrêmement improbable » pour l'ensemble des productivités et des taux d'exploitation modélisés.

UD préoccupantes

Il s'agit des UD Raft (Kamloops-DE, UD 11), Birkenhead* (Lillooet-Harrison-T, UD 12) et Stellako* (Francois-Fraser-E, UD 7) – Graphiques dans l'annexe 3 (section 13.3).*

L'UD Raft* était associée à l'atteinte « Improbable » de la cible de rétablissement n° 1 pour une grande plage de productivités et de taux d'exploitation modélisés. À la productivité actuelle, la catégorie associée à cette UD pour l'atteinte de la cible de rétablissement n° 1 a changé à mesure que le taux d'exploitation a augmenté. Elle est passée de « Presque aussi probable qu'improbable » à « Improbable » (taux d'exploitation de 20 %), puis à « Très improbable » (taux d'exploitation de 45 %) et finalement à « Extrêmement improbable » (taux d'exploitation de 65 %). Pour l'UD, la probabilité d'atteindre la cible de rétablissement n° 2 allait

d'« Improbable » à « Extrêmement improbable » pour l'ensemble des productivités et des taux d'exploitation modélisés.

L'UD Birkenhead* état associée à l'atteinte « Probable » de la cible de rétablissement n° 1 pour un ensemble restreint de conditions, généralement des taux d'exploitation faibles et des productivités élevées. À la productivité actuelle, la catégorie associée à cette UD pour l'atteinte de la cible de rétablissement n° 1 a changé à mesure que le taux d'exploitation a augmenté. Elle est passée de « Probable » à « Presque aussi probable qu'improbable » (taux d'exploitation de 5 %), à « Improbable » (taux d'exploitation de 40 %), puis à « Très improbable » (taux d'exploitation de 65 %) et finalement à « Extrêmement improbable » (taux d'exploitation de 80 %). Pour l'UD, la probabilité d'atteindre la cible de rétablissement n° 2 allait d'« Improbable » à « Extrêmement improbable » pour l'ensemble des productivités et des taux d'exploitation modélisés.

Les résultats associés à l'UD Stellako* couvrent toute la plage de probabilités. À la productivité actuelle, la catégorie associée à cette UD pour l'atteinte de la cible de rétablissement n° 1 a changé à mesure que le taux d'exploitation a augmenté. Elle est passée de « Pratiquement certain » (taux d'exploitation de 0 %) à « Très probable » (taux d'exploitation de 5 %), à « Presque aussi probable qu'improbable » (taux d'exploitation de 60 %), à « Improbable » (taux d'exploitation de 75 %), à puis à « Très improbable » (taux d'exploitation de 85 %) et finalement à « Extrêmement improbable » (taux d'exploitation de 90 %). L'UD état associée à l'atteinte « Probable » de la cible de rétablissement n° 2 pour un ensemble restreint de conditions, généralement des taux d'exploitation faibles et des productivités élevées. À la productivité actuelle, la catégorie associée à l'UD pour l'atteinte de la cible de rétablissement n° 2 a changé à mesure que le taux d'exploitation a augmenté. Elle est passée de « Probable » (taux d'exploitation de 0 à 5 %), à « Presque aussi probable qu'improbable » (taux d'exploitation de 10 %), à « Improbable » (taux d'exploitation de 40 %), puis à « Très improbable » (taux d'exploitation de 55 %) et finalement à « Extrêmement improbable » (taux d'exploitation de 75 %).

6.2.2. Résultats : Scénarios associés au glissement de terrain de Big Bar

Les quatre figures comportant des grilles dans l'annexe 3 (sections 13.2 et 0) qui sont associées à tous les stocks touchés par le glissement de terrain de Big Bar montrent la probabilité qu'un stock ne soit plus en voie de disparition ou menacé selon les scénarios suivants :

- passage bloqué pendant deux ans – Taux de mortalité de 99,5 % en 2019 et en 2020, et taux de mortalité en cours de montaison « normal » pour les années suivantes;
- passage bloqué pendant trois ans – Taux de mortalité de 99,5 % de 2019 à 2021;
- passage bloqué pendant quatre ans – Taux de mortalité de 99,5 % de 2019 à 2022;
- passe migratoire – Selon l'exemple décrit dans la section 6.1.3, soit un taux de mortalité passant de 99,5 % en 2019, à 80 % en 2020, puis à 75 % en 2021 et finalement à 20 % en 2022 et pendant les années suivantes.

Dans le reste de la section, la description fournie sera axée sur le scénario de la passe migratoire parce que les autres scénarios ont surtout été fournis à titre d'analyses de sensibilité.

UD en voie de disparition ou menacées – Touchées par le glissement de terrain de Big Bar

Il s'agit des UD Remonte hâtive de la Stuart (Takla-Trembleur-montaison hâtive dans la Stuart, UD 20), Bowron (Bowron-DE, UD 2), Quesnel (Quesnel-E, UD 16) et Remonte tardive de la Stuart (Takla-Trembleur-Stuart-E, UD 21) – Graphiques dans l'annexe 3 (section 13.2).

Pour l'ensemble de la plage de productivités et de taux d'exploitation, l'UD Remonte hâtive de la Stuart était associée à l'atteinte « Extrêmement improbable » de la cible de rétablissement n° 1 pour le scénario de la passe migratoire.

À l'exception des conditions où le taux d'exploitation était de 0 % et la productivité augmentait de 30 %, la probabilité que l'UD Bowron atteigne la cible de rétablissement n° 1 pour le scénario de passe migratoire variait de « Très improbable » à « Extrêmement improbable ».

Dans le cadre du scénario de passe migratoire, l'UD Quesnel était associée à l'atteinte « Probable » de la cible de rétablissement n° 1 pour un ensemble restreint de conditions, généralement des taux d'exploitation faibles et des productivités élevées. À la productivité actuelle, la catégorie associée à cette UD pour l'atteinte de la cible de rétablissement n° 1 a changé à mesure que le taux d'exploitation a augmenté. Elle est passée de « Probable » (taux d'exploitation de 0 %), à « Presque aussi probable qu'improbable » (taux d'exploitation de 5 %), à « Improbable » (taux d'exploitation de 40 %), puis à « Très improbable » (taux d'exploitation de 60 %) et finalement à « Extrêmement improbable » (taux d'exploitation de 80 %).

Aucune condition n'a permis à l'UD Remonte tardive de la Stuart d'être associée à l'atteinte « Probable » de la cible de rétablissement n° 1 pour le scénario de passe migratoire. Toutefois, à des taux d'exploitation faibles et à des productivités se rapprochant du niveau actuel, cette UD était associée à l'atteinte « Presque aussi probable qu'improbable » de la cible de rétablissement n° 1. À la productivité actuelle, l'UD était associée à l'atteinte « Improbable » de la cible de rétablissement n° 1, à des taux d'exploitation de 10 % ou plus.

UD préoccupantes

Il s'agit de l'UD Stellako (Francois-Fraser-E, UD 7) – Graphiques dans l'annexe 3 (section 13.3.3).*

À des taux d'exploitation de 15 % ou moins, pour l'ensemble des productivités modélisées, la probabilité que cette UD atteigne la cible de rétablissement n° 1 selon ce scénario variait de « Probable » à « Très probable ». À la productivité actuelle, la catégorie associée à l'UD pour l'atteinte de la cible de rétablissement n° 1 a changé à mesure que le taux d'exploitation a augmenté. Elle est passée de « Très probable » (taux d'exploitation de 0 à 5 %), à « Probable » (taux d'exploitation de 10 %), à « Presque aussi probable qu'improbable » (taux d'exploitation de 40 %), à « Improbable » (taux d'exploitation de 65 %), puis à « Très improbable » (taux d'exploitation de 75 %) et finalement à « Extrêmement improbable » (taux d'exploitation de 85 %).

6.3. ÉLÉMENT 21 : RECOMMANDER DES VALEURS DE PARAMÈTRES POUR LA PRODUCTIVITÉ DE POPULATIONS ET LES TAUX DE MORTALITÉ INITIAUX ET, AU BESOIN, DES CARACTÉRISTIQUES PARTICULIÈRES RELATIVES AUX MODÈLES DE POPULATIONS, QUI SERAIENT REQUISES POUR PERMETTRE L'ÉTUDE DE SCÉNARIOS SUPPLÉMENTAIRES DANS LE CADRE DE L'ÉVALUATION DES RÉPERCUSSIONS ÉCONOMIQUES, SOCIALES ET CULTURELLES VISANT À APPUYER LE PROCESSUS D'INSCRIPTION

On vous recommande fortement de communiquer avec l'auteur principal du présent document avant de faire toute analyse exploratoire des répercussions économiques, sociales et culturelles, si cette analyse est fondée sur les résultats de ce document. L'objectif et la conception de la présente analyse sont propres à chaque UD étudiée et aux résultats à court terme. Il est donc possible que les résultats obtenus dans le cadre de celle-ci ne puissent pas facilement contribuer aux analyses qui intègrent les résultats de pêches ciblant des stocks mélangés pendant de longues périodes. Comme il est mentionné dans la section 3, les pêches ciblant le saumon rouge du Fraser sont gérées à l'échelle des unités de gestion des stocks, qui comprennent plusieurs UD, tandis que la présente analyse était axée sur les UD à l'échelle individuelle. En outre, il existe une incertitude considérable associée aux répercussions immédiates et à long terme du glissement de terrain de Big Bar. Il existe aussi plusieurs incertitudes clés (section 7) dont on devra tenir compte dans le cadre d'analyses supplémentaires.

Le Tableau 9 compare la productivité moyenne au cours de la dernière génération (années d'éclosion 2010 à 2013) à la productivité de générations antérieures et à la productivité moyenne au cours de l'ensemble de la période pour laquelle il existe des estimations relatives à chaque UD. Ces résultats montrent le degré de changement de la productivité.

Tableau 9. Changement de productivité par rapport à la dernière génération (moyenne pour les années d'éclosion 2010 à 2013).

% de changement par rapport aux années d'éclosion 2010 à 2013	1998 à 2001	2002 à 2005	2006 à 2009	Toutes les années
Upper Barriere (UD 14)	-62 %	-52 %	-40 %	-64 %
Portage (UD 17)	-31 %	-17 %	-13 %	-39 %
Weaver (UD 10)	-43 %	-35 %	-28 %	-43 %
Remonte hâtive de la Stuart (UD 20)	-23 %	-24 %	-47 %	-63 %
Bowron (UD 2)	-39 %	-31 %	-27 %	-60 %
Quesnel (UD 16)	-34 %	-17 %	-6 %	-45 %
Remonte tardive de la Stuart (UD 21)	-48 %	-32 %	-23 %	-60 %
Raft* (UD 11)	-31 %	-18 %	-7 %	-24 %
Birkenhead* (UD 12)	-59 %	-51 %	-47 %	-67 %
Stellako* (UD 7)	-21 %	-10 %	-8 %	-28 %

Le Tableau 10 compare le nombre moyen de géniteurs au cours de la dernière génération (années de montaison 2015 à 2018) à la valeur de G_{gen} tirée du document de Grant et ses collaborateurs (2020). Le paramètre G_{gen} correspond au nombre de géniteurs permettant à l'UD de se rétablir et d'atteindre l'abondance de G_{RMD} (« RMD » correspond au rendement maximal durable) en une génération, en l'absence d'activités de pêche se déroulant lorsque l'abondance est inférieure aux conditions d'équilibre (Holt *et al.* 2009). Le fait d'être en deçà de G_{gen} ou non correspond à l'une des mesures de la PSS associée à l'état biologique rouge; on considère donc qu'il est généralement souhaitable que le nombre de géniteurs dépasse cette valeur. Comme c'était le cas pour les points de référence supérieurs de la PSS décrits dans la section 5.2.2, certaines des valeurs présentées correspondent à la moyenne de valeurs fournies dans le document de Grant et ses collaborateurs (2020). Il est à noter qu'il existe une incompatibilité entre les unités utilisées. En effet, on a utilisé le nombre total de géniteurs pour calculer les valeurs du nombre de géniteurs moyen présentées ci-dessous et dans le modèle, tandis qu'on a utilisé le nombre réel de géniteurs pour calculer G_{gen} .

Tableau 10. Comparaison du nombre moyen de géniteurs au cours de la dernière génération (années de montaison 2015 à 2018) et de la valeur de G_{gen} tirée du document de Grant et ses collaborateurs (2020).

Nom commun (numéro de l'UD)	G_{gen}	Nombre moyen de géniteurs de 2015 à 2018	Nombre moyen de géniteurs de 2015 à 2018 comme un % de G_{gen}
Upper Barriere (UD 14)	640	23 686	3 701 %
Portage (UD 17)	2 193	26 283	1 198 %
Weaver (UD 10)	10 731	1 417	13 %
Remonte hâtive de la Stuart (UD 20)	107 896	24 177	22 %
Bowron (UD 2)	5 148	3 158	61 %
Quesnel (UD 16)	192 267	244 348	127 %
Remonte tardive de la Stuart (UD 21)	126 384	69 924	55 %
Raft* (UD 11)	4 958	8 065	163 %
Birkenhead* (UD 12)	14 932	28 765	193 %
Stellako* (UD 7)	24 256	99 888	412 %

7. PRINCIPALES INCERTITUDES ET LACUNES EN MATIÈRE DE CONNAISSANCES

7.1. PRINCIPALES INCERTITUDES

L'une des principales incertitudes liées à l'utilisation de modèles stock-recrutement est qu'on se sert du passé pour prédire le futur. Cette méthode peut être efficace dans certaines situations, mais pour la majorité des stocks en voie de disparition, menacés ou préoccupants ciblés dans la présente analyse, les estimations antérieures de la productivité qui étaient variables dans le temps ne reflétaient pas les estimations de la productivité actuelle (section 11.2). On a seulement étudié les productivités futures de rechange à une échelle très grossière dans le cadre de cette analyse.

Les principales incertitudes relatives aux processus biologiques influençant l'analyse sont notamment la productivité, les taux de mortalité en rivière et les taux de mortalité avant la fraye. On a inclus une plage de productivités futures de rechange dans le processus de modélisation, mais on n'y a pas inclus les changements expressément modélisés relatifs aux taux de mortalité en rivière autres que ceux concernant le scénario du glissement de terrain de Big Bar. On a présumé que les changements des taux de mortalité en cours de montaison dans les rivières (par rapport à la période de référence de 2002 à 2018 utilisée pour la modélisation) seraient intégrés aux valeurs des dommages admissibles, d'après les données annuelles

d'avant-saison et en cours de saison (voir la section 5.1). Si les taux de mortalité avant la fraye sont demeurés dans la plage historique, on a intégré la mortalité avant la fraye à l'incertitude liée aux estimations des paramètres stock-recrutement utilisées dans l'analyse.

Les principales incertitudes liées aux processus de gestion de l'erreur d'évaluation (estimations de la taille de la remonte, des prises et de l'échappée de géniteurs) et l'incertitude liée aux résultats (c.-à-d. l'erreur de mise en œuvre) n'ont pas été incluses dans l'analyse.

En outre, il existe des incertitudes associées à la collecte de données biologiques (taille de la remonte, recrues, échappée, mortalité avant la fraye, proportions selon l'âge des individus, etc.) qui tendent à augmenter lorsque les abondances sont faibles (section 7.1.1). Certaines de ces incertitudes ont été intégrées grâce aux méthodes bayésiennes utilisées.

7.1.1. Données

Même si les modèles représentent la variabilité et l'incertitude inhérentes aux données, les ensembles de données sont eux aussi associés à des incertitudes, comme l'erreur liée à l'estimation de la taille de la remonte, des prises, des taux d'exploitation et de l'abondance de géniteurs, qui n'ont pas été intégrées aux modèles stock-recrutement. Par conséquent, il est possible que les incertitudes utilisées dans les mesures de rendement soient sous-estimées. La présente analyse faisait aussi l'objet d'un biais connu concernant la surestimation de la productivité (erreurs liées aux biais des variables), qui est exacerbé lorsque les remontes sont de petite taille parce que les méthodes qu'on utilise pour estimer la taille d'une remonte et l'échappée de géniteurs deviennent moins précises. Ce biais fait en sorte que cette analyse tend à être trop optimiste en ce qui concerne l'importance et la rapidité du rétablissement.

7.1.2. Modèles stock-recrutement

Même si certaines tendances cycliques sont bien documentées pour certains stocks de saumons rouges du Fraser, il n'existe aucun consensus sur les causes de ces tendances. Dans la présente analyse, on a mis l'accent sur la modélisation des tendances cycliques, mais on n'a pas tenté de modéliser les mécanismes sous-jacents. Il est approprié d'utiliser le modèle stock-recrutement de Larkin pour modéliser les tendances cycliques relatives à l'abondance des saumons rouges (MPO 2006) pendant plusieurs générations. Il s'agit du modèle stock-recrutement par défaut pour modéliser des simulations prospectives à long terme (48 ans) (Pestal *et al.* 2011). Toutefois, lorsqu'on utilise les mêmes conditions initiales, les modèles de Ricker et de Larkin génèrent habituellement des abondances semblables si la période modélisée correspond à deux ou à trois générations du saumon rouge dans le futur. Les deux types de modèles produisent des résultats différents seulement dans le cadre d'analyses à plus long terme (Huang 2014).

7.1.3. Cibles de rétablissement

La méthodologie relative aux cibles de rétablissement qui a été proposée pour l'EPR est fondée sur les critères du COSEPAC et la méthodologie de la PSS. Les cibles de rétablissement sont liées aux processus du COSEPAC et de la PSS, mais les méthodes de calcul utilisées dans le présent document ne tiennent pas compte des nuances relatives à ces processus dirigés par des experts. Dans le cadre des processus du COSEPAC et de la PSS, la situation d'une espèce a été déterminée par des experts en la matière lors de réunions s'échelonnant sur plusieurs jours. Les critères utilisés sont décrits dans les documents du COSEPAC (2018) et de Holt et ses collaborateurs (2009), mais ne peuvent pas se traduire en un algorithme reproductible simple.

7.1.4. Atténuation et mortalité

La capacité d'évaluer les projets d'atténuation possibles de façon quantitative était limitée en raison du grand nombre de mesures possibles pour les UD évaluées. Cette capacité était aussi limitée parce qu'il est peu probable qu'on ait été très convaincus des résultats calculés pour une mesure en particulier, sauf la diminution de la mortalité par pêche et peut-être certaines activités de mise en valeur d'écloseries. Dans le cadre de la présente analyse, on a plutôt adopté une approche plus générale, en augmentant et en diminuant la productivité selon différentes valeurs par rapport à l'estimation de la productivité actuelle. Ainsi, les exécutions de modèles produisant les productivités les plus élevées représentaient les situations dans lesquelles des efforts d'atténuation ou des changements environnementaux ont augmenté la productivité, tandis que les exécutions produisant les productivités les plus faibles représentaient les situations où des facteurs de stress de tout genre ont eu l'effet inverse. Étant donné que des mesures d'atténuation précises seront élaborées dans le futur, on devrait établir une plage de changements de productivité propres à des UD et à des projets donnés. On pourrait ensuite la comparer à la plage des résultats projetés.

La mortalité du saumon rouge a été intégrée dans les modèles, mais comme pour la productivité, la mortalité modélisée est associée à une variété de sources non spécifiées possibles, comme les prises, la mortalité en cours de montaison, l'assèchement de nids de frai et les changements liés aux taux de prédation (voir la section 5.1.1). On a mis l'accent sur la productivité parce que le critère B du COSEPAC, qui porte sur la faible répartition d'une population et le déclin ou la fluctuation connexe, n'a pas été utilisé par le COSEPAC afin de justifier les désignations en voie de disparition, menacée et préoccupante pour aucune des UD de saumons rouges du Fraser (COSEPAC 2017).

À la fin de juin 2019, on a découvert qu'un glissement de terrain d'envergure s'était produit dans le Fraser, à un endroit situé près de Big Bar, en Colombie-Britannique. Les enquêtes préliminaires ont indiqué que le glissement de terrain aurait eu lieu à l'automne 2018. Celui-ci a complètement bloqué le passage naturel de saumons pendant de nombreuses semaines au cours de l'été 2019. Lors de la rédaction du présent document, on ne connaissait pas la pleine incidence de ce glissement de terrain sur la migration et la reproduction des stocks de saumons rouges du Fraser. Cependant, on a inclus aux exécutions de modèles associées aux simulations de référence une valeur provisoire correspondant au taux de mortalité en rivière le plus élevé de 2019 pour les stocks frayant en amont du lieu du glissement de terrain de Big Bar. Les effets de mesures d'atténuation possibles n'ont pas pu être évalués avant la baisse du niveau de l'eau, qui a eu lieu pendant l'hiver. Par conséquent, tous les effets modélisés du glissement de terrain ou de mesures d'atténuation visant à compenser ceux-ci qui sont présentés dans l'analyse sont hypothétiques.

7.1.5. Productivités futures et incidence d'un environnement en évolution

Les changements climatiques, la dégradation de l'habitat, les perturbations anthropiques, les feux de forêt et d'autres aspects environnementaux touchant le saumon rouge du Fraser évoluent rapidement. Certaines répercussions peuvent être prévues sur le plan qualitatif, mais la prévision quantitative des répercussions de toute une série d'influences interagissant sur l'ensemble des UD dépassait la portée de la présente analyse. Ainsi, dans le présent document, le terme « rétablissement » n'est pas utilisé pour représenter le retour à une situation où 80 % des taux d'exploitation étaient durables. Ce terme représente plutôt l'état d'une UD qui serait probablement désignée non en péril par le COSEPAC.

Pour les exécutions du modèle de référence, on a présumé que la productivité n'était pas demeurée constante au fil du temps. On a donc utilisé des estimations de niveaux de

productivité récents pour les projections de populations. Des scénarios supplémentaires étudiant des productivités plus élevées et plus faibles ont été inclus dans l'analyse. La plage de productivité modélisée n'était pas fondée sur des prédictions quantitatives de réponses à des changements environnementaux; les valeurs de cette plage ont été utilisées comme des scénarios de simulation. Même si les agents qui influencent la productivité agissent probablement sur une plus longue période que celle correspondant à trois générations qui est évaluée dans l'analyse, les changements ont déjà commencé et l'analyse doit tenir compte de leur incidence sur le rétablissement.

En se penchant sur les répercussions possibles que l'environnement a déjà eues sur la productivité et le comportement du saumon rouge du Fraser, voici ce qu'on a observé depuis 2001 : montaisons les plus hâtives jamais enregistrées; remontes les plus importantes; remontes les moins importantes; taux de déviation le plus élevé par le détroit de Johnstone; nombre de recrues par géniteur le plus faible; perturbation des tendances de migration retardées que le saumon rouge de la rivière Adams présentait de façon fiable depuis le début des registres écrits. En 2019 seulement, l'estimation préliminaire de l'abondance de la remonte du saumon rouge du Fraser était la plus faible depuis le début des registres (1893); elle correspondait presque à la moitié de l'estimation de 2016, soit la deuxième remonte la moins abondante enregistrée. En outre, la montaison d'un certain nombre d'UD de saumons rouges du Fraser vers les frayères a été bloquée par un glissement de terrain touchant le fleuve Fraser.

7.2. LACUNES EN MATIÈRE DE CONNAISSANCES

Même si, à l'heure actuelle, il ne s'agit pas d'une lacune pour les UD étudiées, on met l'accent sur l'importance de mener régulièrement des programmes d'évaluation de stocks visant à recueillir des données sur l'échappée, qui sont essentielles pour réaliser des analyses comme celle décrite dans le présent document. On est préoccupé par l'érosion récente des ressources disponibles pour ces programmes essentiels.

La conception des programmes d'évaluation ciblant les géniteurs et la taille des remontes fait en sorte que la précision et les efforts menés diminuent lorsque les abondances sont faibles. Ces programmes produisent donc une incertitude élevée relative à la relation stock-recrutement lorsque les abondances sont faibles, et une courbe stock-recrutement qui est plus influencée par les remontes abondantes que par les remontes peu abondantes. Pour les fins d'une EPR, ce qui se produit lorsque les remontes sont peu abondantes est ce qui est le plus préoccupant et le plus important.

Les données permettant de concevoir des modèles sur le cycle vital qui pourraient inclure la mortalité à différentes étapes de celui-ci ne sont pas disponibles. Ces données comprennent des renseignements de base, comme les taux de survie en eaux douces par rapport à ceux en eaux marines, pour la plupart des stocks de saumons rouges du Fraser.

Les répercussions cumulatives d'effets sublétaux, comme les blessures associées à la capture dans des engins de pêche (individus remis à l'eau ou s'échappant de ces engins), les maladies, les réponses aux changements de température à différentes étapes du cycle vital et la compétition dans l'océan, n'ont pas été évaluées.

En plus de ces lacunes générales en matière de connaissances, il existe une lacune propre aux données disponibles pour les UD Taseko et Widgeon. Étant donné que l'abondance de ces UD est faible et que le ruisseau Widgeon est situé en aval du site de programmes hydroacoustiques de Mission, il est impossible d'estimer l'abondance des remontes des UD. Pour l'UD Taseko, les estimations de l'échappée de géniteurs se sont améliorées au cours des dernières années grâce à l'utilisation de la technologie hydroacoustique. Avant, ces estimations étaient réalisées par dénombrement de carcasses, ce qui était difficile à faire en raison de la nature glaciaire du

bassin hydrographique. Aucun financement n'a été fourni pour la réalisation d'une évaluation fondée sur la technologie hydroacoustique dans le cadre de la série régulière de programmes d'évaluation du MPO.

8. ÉVALUATION DES DOMMAGES ADMISSIBLES : PREMIÈRE PARTIE – RÉSULTATS MODÉLISÉS

8.1. ÉLÉMENT 22 : ÉVALUER LA VALEUR MAXIMALE DES TAUX DE MORTALITÉ ET DE DESTRUCTION DE L'HABITAT ANTHROPIQUES QU'UNE ESPÈCE PEUT SUBIR SANS RISQUE POUR SA SURVIE OU SON RÉTABLISSEMENT

Les définitions ci-dessous sont tirées du document Lignes directrices sur l'évaluation des menaces, des risques écologiques et des répercussions écologiques pour les espèces en péril du MPO (2014).

Dommmages admissibles – *Dommmages à l'espèce sauvage qui ne menaceront pas son rétablissement ou sa survie.*

Dommmages – *Résultats préjudiciables d'une activité au cours de laquelle un ou plusieurs événements réduisent la valeur adaptative (survie, reproduction, croissance, mouvement) des individus.*

Mettre en péril – *Mettre une espèce sauvage ou une population dans une situation où sa survie ou son rétablissement est compromis.*

Rétablissement – *Retour à un état dans lequel les caractéristiques de la population et de l'aire de répartition de même que le risque de disparition de la planète sont tous dans la fourchette normale de variabilité de l'espèce sauvage.*

Survie – *Atteinte d'un état stable (ou qui s'améliore) par une espèce sauvage en milieu naturel au Canada et l'espèce n'étant pas menacée de disparition imminente du pays ou de la planète en raison d'activités anthropiques.*

Même si la définition semble claire, la quantification des dommages admissibles est loin de l'être. Les cibles de rétablissement n^{os} 1 et 2, qui sont imbriquées, ont été définies grâce à une série de mesures de rendement quantitatives. Cependant, l'expression « Ne pas mettre en péril » comprend le concept de la détermination d'un niveau de risque acceptable, qui n'a pas été quantifié dans le document sur les lignes directrices. Dans cette optique, on a fourni le pourcentage de simulations ayant atteint chaque cible de rétablissement selon une grande plage de taux d'exploitation et de niveaux de productivité future. En outre, on a appliqué l'échelle de probabilité du GEIC aux résultats modélisés à titre de méthode qualitative visant à décrire la probabilité d'atteindre chaque cible de rétablissement.

Les répercussions du glissement de terrain de Big Bar sur la montaison de 2019 étaient encore inconnues lorsque les résultats ont été générés par les modèles, en août 2019. Par conséquent, les évaluations des dommages admissibles pour les UD frayant en amont du blocage ne peuvent pas être réalisées au moyen des résultats modélisés figurant dans le présent document. Toutefois, les *méthodes* décrites dans ce document qui concernent les moyens d'évaluer les scénarios du glissement de terrain de Big Bar ne changent pas et les hypothèses de simulation peuvent facilement être mises à jour selon les données d'entrée révisées. Au moment de la remise du document final, on avait accès aux estimations presque finales du nombre de géniteurs ayant atteint les frayères pour chaque UD et aux estimations préliminaires de la mortalité en cours de migration pour les regroupements d'individus à une échelle dépassant celle des UD. De façon générale, un taux de mortalité en cours de migration de

99,5 % pour les UD Remonte hâtive de la Stuart (UD 20) et Bowron (UD 2) était assez représentatif des résultats observés, mais ce taux de mortalité était trop pessimiste pour les UD migrant plus tard (M. Hawkshaw, Évaluation des stocks du MPO, Delta, Colombie-Britannique, comme. pers.).

La discussion présentée ci-dessous met l'accent sur l'atteinte de la cible de rétablissement n° 1 étant donné que pour toutes les UD modélisées à l'exception de l'UD Stellako* (UD 7), la probabilité que les simulations atteignent la cible de rétablissement n° 2 allait d'« Improbable » (< 33 % des simulations) à « Extrêmement improbable » (< 1 % des simulations), même avec une mortalité supplémentaire de 0 % à la fin de la période de simulation de 12 ans (trois générations), comme le montrent le Tableau 8 et l'annexe 3. On ne doit pas interpréter cette convention comme signifiant que l'atteinte « Probable » de la cible de rétablissement n° 1 au cours des 12 prochaines années correspond à une UD « rétablie ». Il est important de se rappeler que les algorithmes utilisés dans les simulations étaient des représentations très simplifiées des processus du COSEPAC et de la PSS, qui sont menés par des experts.

Le présent document porte sur les éléments 12, 13, 15 et 19 à 21 (c.-à-d. analyse quantitative des cibles de rétablissement, probabilité d'atteindre ces cibles et effets de mesures d'atténuation) et résume comment ces éléments pourraient avoir une incidence sur l'élément 22 (c.-à-d. dommages admissibles). Un document d'accompagnement qui sera publié plus tard portera sur les éléments restants et fournira l'avis final relatif aux dommages admissibles.

L'évaluation des dommages admissibles figurant dans le présent document ne comprend pas les éléments relatifs à l'habitat, aux menaces et aux facteurs limitatifs, et ne devrait pas être considérée comme l'avis final concernant les dommages admissibles pour ces UD.

8.1.1. UD Quesnel et Stellako* (UD 16 et 7)

Même si quatre UD (Quesnel, Remonte tardive de la Stuart, Stellako* et Birkenhead* [UD 16, 21, 7 et 12]) étaient associées à l'atteinte « Probable » de la cible de rétablissement n° 1 dans certains cas, seules les UD Quesnel et Stellako* pourraient atteindre cette cible selon des combinaisons plus réalistes d'un taux d'exploitation supérieur ou égal à 10 % et d'une productivité à la baisse. Les UD Quesnel et Stellako frayent en amont du lieu du glissement de terrain de Big Bar.

Dans le document de recherche, on présente les résultats préliminaires pour les UD Quesnel et Stellako* (UD 16 et 7); toutefois, il n'est pas possible de produire un énoncé sur les dommages admissibles à l'heure actuelle.

Toutefois, comme l'UD Quesnel est la seule UD en voie de disparition ou menacée qui présente une possibilité raisonnable d'atteindre la cible de rétablissement n° 1, voici un exemple de la façon dont certains renseignements pourraient contribuer à une évaluation des dommages admissibles, lorsque les éléments restants de l'EPR auront été évalués et que d'autres données sur les répercussions du glissement de terrain de Big Bar et les mesures d'atténuation connexes seront disponibles.

- Raisons justifiant la désignation du COSEPAC – « La population est confrontée à plusieurs menaces responsables de la baisse de la qualité de l'habitat, et ce, tant en milieu d'eau douce qu'en milieu marin. Une nouvelle menace possible pour la population découle de la rupture d'un bassin de résidus miniers, dont le contenu s'est écoulé dans le lac Quesnel en 2014. La population connaît un déclin constant depuis 2000. » [traduction] (COSEPAC 2017).

- Cible de rétablissement n° 1 – Atteinte « Probable » de cette cible à un taux d'exploitation de 10 % pour une grande plage de productivités (-30 % à +30 %) selon le scénario de référence. Cependant, selon le scénario de passe migratoire, avec un taux de mortalité en cours de migration minimal de 20 % appliqué chaque année, l'UD était associée à l'atteinte « Probable » de la cible de rétablissement n° 1 seulement pour des combinaisons moins réalistes d'un taux d'exploitation près de 0 % et d'une productivité à la hausse.
- Cible de rétablissement n° 2 – Atteinte « Improbable » à « Extrêmement improbable » de cette cible pour l'ensemble des productivités et des taux d'exploitation modélisés. Il serait irréaliste de s'attendre à ce qu'un stock qui a été désigné en voie de disparition puisse atteindre l'état « rétabli » en trois générations. En outre, le point de référence supérieur de la PSS associé à la cible de rétablissement n° 2 (1,3 million) est élevé par rapport à la série chronologique des données historiques sur les géniteurs (nombre moyen de géniteurs depuis 1948 : 350 000 individus). Ce point de référence est aussi élevé sachant qu'il a été dépassé par le nombre moyen de géniteurs par génération seulement pour trois années (2002 à 2004) sur 68.
- Productivité – Il y a eu un déclin de la productivité moyenne de 34 % entre les moyennes par génération associées aux années d'éclosion 1998 à 2001 et aux années d'éclosion 2010 à 2014. Par contre, ce déclin semble avoir ralenti au cours des dernières générations. La productivité actuelle (moyenne de 2010 à 2014) est 45 % plus faible que la moyenne calculée pour toutes les années (Tableau 9). La productivité connaît une baisse constante depuis le milieu des années 1980 (Figure 2).
- de l'annexe 1), et on pense qu'il est raisonnable de croire que cette baisse se poursuivra ou, dans le meilleur des cas, qu'elle restera constante dans un proche avenir.
- Trajectoires des géniteurs – La Figure 32 de l'annexe 3 montre les trajectoires simulées pour deux générations de plus que la période de trois générations ayant servi à l'évaluation des cibles de rétablissement. Il existe une tendance à la baisse concernant l'abondance de géniteurs médiane à la productivité actuelle et à un taux d'exploitation de 25 %, soit le taux d'exploitation maximal permettant d'atteindre la cible de rétablissement n° 1. Cependant, les trajectoires de populations ont été calculées au moyen de moyennes géométriques, ce qui attribue une pondération plus importante aux abondances à la hausse lors des années non dominantes d'un cycle. À ce taux d'exploitation, 69 % des trajectoires atteignent la cible de rétablissement n° 1 à la fin de la période de 12 ans. Compte tenu des attentes de déclin continu de la productivité et de l'objectif à long terme visant l'atteinte de la cible de rétablissement n° 2 pour le stock évalué, un taux d'exploitation de 25 % serait exclu de la plage de dommages admissibles.
- G_{gen} – La comparaison du nombre réel de géniteurs à G_{gen} (Tableau 10) montre que la dernière génération de géniteurs dans le bassin hydrographique de la rivière Quesnel est très proche de la valeur de G_{gen} (127 % de G_{gen}), ce qui est préoccupant. G_{gen} est la valeur qui sépare les états biologiques rouge et ambre de la mesure d'abondance de la PSS. Combinée à l'évaluation de la productivité, cette observation indique qu'on devrait adopter une approche de précaution lors de la détermination des dommages admissibles, surtout sachant que les valeurs de G_{gen} ont été mesurées à partir du nombre réel de géniteurs total.
- Menaces et facteurs limitatifs – À évaluer dans le document d'accompagnement de l'EPR. Entre autres répercussions importantes récentes, on compte la rupture d'une digue de la mine Mount Polley en 2014 et le glissement de terrain de Big Bar à l'automne 2018.

De façon générale, les raisons justifiant la désignation du COSEPAC pour l'UD Quesnel sont encore valables. Toutefois, il y a eu certaines améliorations concernant la mesure du déclin

d'une population. Dans les rapports du COSEPAC, on utilisait le nombre réel de génitrices jusqu'en 2013 et à ce moment, la moyenne de ce nombre par génération était d'environ 60 000 pour la moitié d'une génération. Après 2013, la moyenne du nombre réel de génitrices par génération est demeurée proche de 100 000 individus (la migration de 2018 était incluse, mais pas celle de 2019). Parmi la liste susmentionnée, les facteurs à considérer concernant la productivité et G_{gen} ressortent comme les plus préoccupants, et les répercussions du glissement de terrain de Big Bar constituent une incertitude importante.

Lorsqu'on se sera penché sur les incertitudes et les facteurs inconnus immédiats concernant ce glissement de terrain (p. ex., intégration de la mortalité en cours de migration de 2019 et d'un plan d'atténuation pour le lieu du glissement de terrain), on pourra réaliser une évaluation des dommages admissibles pour l'UD Quesnel. Étant donné que les conséquences à long terme du glissement de terrain sont inconnues, que le déclin de la productivité se poursuit et que le nombre de géniteurs actuel moyen s'approche de G_{gen} , si une valeur est établie pour les dommages admissibles de cette UD, on recommande que celle-ci soit examinée annuellement. De tels examens annuels devraient être réalisés jusqu'à ce que l'état de l'UD s'améliore ou jusqu'à ce qu'on réduise considérablement la variabilité et l'incertitude liées aux données d'évaluation et aux répercussions du glissement de terrain de Big Bar.

8.1.2. UD Weaver, Portage, Remonte tardive de la Stuart, Upper Barriere, Raft* et Birkenhead* (UD 10, 11, 12, 17, 21 et 14)

Les UD Weaver, Portage, Remonte tardive de la Stuart, Upper Barriere, Raft* et Birkenhead* étaient toutes associées à l'atteinte « Presque aussi probable qu'improbable » de la cible de rétablissement n° 1, au niveau de productivité actuel et à des faibles taux de mortalité. Parmi ce groupe, seule l'UD Remonte tardive de la Stuart fraye en amont du lieu de glissement de terrain de Big Bar.

Pour les UD Raft* et Birkenhead*, qui ont été désignées préoccupantes par le COSEPAC en 2017, le fait d'être associées à l'atteinte « Presque aussi probable qu'improbable » de la cible de rétablissement n° 1 pourrait être considéré comme un déclassement. L'avenir de l'UD Birkenhead* est particulièrement préoccupant étant donné que la productivité de cette UD affiche un déclin depuis la fin des années 1980, à l'un des taux les plus marqués des UD du Fraser.

Au sein de ce groupe, les UD Upper Barriere, Portage et Raft* semblent plus sensibles à l'augmentation des taux de mortalité; elles sont associées à l'atteinte « Improbable » de la cible de rétablissement n° 1, à des taux d'exploitation de 20 à 25 % et au niveau de productivité actuel. Les UD Remonte tardive de la Stuart et Birkenhead* atteignent cette catégorie à un taux d'exploitation de 40 % et l'UD Weaver, à un taux d'exploitation de 50 %.

Le pourcentage de changement de la productivité pour l'UD Upper Barriere entre la moyenne des années d'éclosion 1998 à 2001 et la moyenne la plus récente (années d'éclosion 2010 à 2013) représente le déclin le plus important (-62 %) de toutes les UD examinées dans le cadre du présent document. Il est suivi de près par le pourcentage de changement de l'UD Birkenhead* (-59 %) (Tableau 9). Ces deux UD faisaient aussi partie des trois UD affichant les déclinés les plus importants lorsqu'on a tenu compte des deux générations les plus récentes (comparaison des années d'éclosion 2006 à 2009 aux années d'éclosion 2010 à 2013). Même à un taux d'exploitation de 0 %, 75 % des trajectoires des géniteurs pour l'UD Upper Barriere étaient inférieures au 25^e centile historique des abondances de géniteurs (Figure 12 de l'annexe 3).

Compte tenu du fait que les activités à l'appui de la survie et du rétablissement d'une UD (p. ex., évaluation du stock et activités de recherche, de conservation et d'atténuation

connexes) pourraient entraîner des cas de mortalité, on devrait réduire le plus possible toutes les sources de dommages pour les UD Weaver, Raft*, Birkenhead*, Portage, Remonte tardive de la Stuart et Upper Barriere (UD 10, 11, 12, 17, 21 et 14), afin que celles-ci puissent avoir la meilleure chance d'atteindre la cible de rétablissement n° 1.

8.1.3. UD Remonte hâtive de la Stuart et Bowron (UD 20 et 2)

La probabilité que les UD Remonte hâtive de la Stuart et Bowron ne soient plus en voie de disparition ou menacées à des taux d'exploitation faibles ou nuls pour toute la plage de productivités modélisées variait d'« Improbable » à « Extrêmement improbable ». Ces deux UD frayent en amont du lieu du glissement de terrain de Big Bar. Le déclin de la productivité de l'UD Remonte hâtive de la Stuart (23 %) n'est pas élevé si on le compare au déclin d'autres stocks de saumons rouge du Fraser, mais la productivité moyenne actuelle pour les années d'éclosion 2010 à 2013 était 63 % plus faible que la productivité moyenne annuelle (Tableau 9). Il s'agit du troisième déclin en importance parmi les stocks de saumons rouges du Fraser.

À un taux d'exploitation de 10 % et au niveau de productivité actuel ou à une productivité à la hausse, l'UD Remonte hâtive de la Stuart était associée à l'atteinte « Très improbable » de la cible de rétablissement n° 1 (Figure 23 de l'annexe 3). Pour une productivité à la baisse ou un taux d'exploitation à la hausse, l'UD Remonte hâtive de la Stuart devient associée à l'atteinte « Extrêmement improbable » de la cible de rétablissement n° 1 au cours des 12 prochaines années. Il est à noter que plus de 75 % des valeurs de l'abondance de géniteurs pour presque toutes les années simulées pour cette UD étaient inférieures au 25^e centile historique de la moyenne des abondances de géniteurs sur une période de quatre ans.

La productivité de l'UD Bowron affiche un déclin constant depuis la fin des années 1960, avec un déclin récent de 39 % et un déclin global de 60 %, d'après la moyenne à long terme (Tableau 9). Cette UD était associée à l'atteinte « Improbable » de la cible de rétablissement n° 1, même pour des taux d'exploitation inférieurs à 10 % et une productivité à la hausse (Figure 28 dans l'annexe 3).

Compte tenu du fait que les activités à l'appui de la survie et du rétablissement d'une UD (p. ex., évaluation du stock et activités de recherche, de conservation et d'atténuation connexes) pourraient entraîner des cas de mortalité, on devrait réduire le plus possible toutes les sources de dommages pour les UD Remonte hâtive de la Stuart et Bowron (UD 20 et 2), afin que celles-ci puissent avoir les meilleures chances de survie.

8.1.4. UD Taseko et Widgeon (UD 22 et 24)

Contrairement aux autres UD de saumons rouges du Fraser étudiées dans le présent document, seules des estimations du nombre de géniteurs étaient disponibles pour les UD Widgeon et Taseko. Les estimations de l'échappée relatives à l'UD Taseko, en particulier, étaient très incertaines puisque les individus de cette UD frayent dans un bassin hydrographique glaciaire. Les deux UD sont de petite taille et affichent une grande variabilité. En raison de contraintes liées à sa taille et à l'emplacement de ses frayères, l'UD Widgeon ne sera jamais un stock de grande taille. Les taux d'exploitation de stocks utilisés à titre d'indicateurs et d'unités de gestion des stocks (Figure 20 – UD Widgeon et Figure 41 – UD Taseko) ne semblent pas être corrélés avec les estimations de l'échappée de géniteurs.

En raison de l'incertitude importante associée à ces UD, on ne peut pas recommander un niveau de dommages admissibles d'après les méthodes décrites dans le présent document. Toutefois, en utilisant les autres stocks de petite taille évalués à titre d'indicateurs, on comprend qu'on devrait réduire le plus possible toutes les sources de dommages pour les UD Taseko et Widgeon (UD 22 et 24).

9. REMERCIEMENTS

Les auteurs souhaitent exprimer leur reconnaissance et remercier les personnes suivantes :

- les autres membres du groupe de travail technique de l'EPR, soit Mike Staley et Aidan Fisher;
- les participants à l'atelier sur la sélection de modèles stock-recrutement, soit Mike Bradford, Aidan Fisher, Mike Hawkshaw, Carrie Holt, Catherine Michielsens, Dave Patterson, Mike Staley et Yi Xu;
- les fournisseurs de données, soit Steve Latham, Tracy Cone, Mike Hawkshaw, Doug Lofthouse et Tanya Vivian;
- les experts en la matière, soit Keri Benner, Pete Nicklin, Catarina Wor, Paul Grant et Michael Arbeider;
- les fournisseurs du code R, soit Catherine Michielsens et Brendan Connor;
- tous les participants aux appels de suivi qui ont eu lieu un lundi sur deux au cours des sept derniers mois.

10. RÉFÉRENCES CITÉES

- Arbeider, M., Ritchie, L., Braun, D., Jenewein, B., Rickards, K., Dionne, K., Holt, C., Labelle, M., Nicklin, P., Mozin, P., Grant, P., Parken, C., et Bailey, R. 2020. [Évaluation du potentiel de rétablissement du saumon coho du Fraser intérieur](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2020/025. xii + 231 p.
- Cass, A.J. and C.C. Wood. 1994. Evaluation of the depensatory fishing hypothesis as an explanation for population cycles in Fraser River Sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 51: 1839-1854.
- COSEPAC. 2017. Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le saumon rouge (*Oncorhynchus nerka*), 24 unités désignables dans le bassin versant du fleuve Fraser, au Canada. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa. li + 201 p.
- COSEWIC. 2018. [COSEWIC assessment process, categories and guidelines](#).
- DFO. 2006. [Workshop to assess population dynamics of cyclic Fraser River Sockeye and implications for management](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Proceed. Ser. 2006/004.
- Folkes, M.J.P., Thomson, R.E., and Hourston, R.A.S. 2018. [Evaluating Models to Forecast Return Timing and Diversion Rate of Fraser Sockeye Salmon](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/021. vi + 220 p.
- Grant, S.C.H., Holt, C.A., Pestal, G., Davis, B.M. & MacDonald, B.L. 2020. [Réévaluation de 2017 de l'état biologique intégré du saumon rouge du fleuve Fraser \(*Oncorhynchus nerka*\) selon la Politique concernant le saumon sauvage, au moyen de paramètres normalisés et d'avis d'experts](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech. 2020/038. ix + 232 p.
- Grant, S.C.H., and B.L. MacDonald. 2012. [Pre-season run size forecasts for Fraser River Sockeye \(*Oncorhynchus nerka*\) and Pink \(*O. gorbuscha*\) Salmon in 2011](#). DFO. Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2011/134. iv + 42 p.
- Holt, C., Cass, A., Holtby, B., and Riddell, B. 2009. [Indicators of status and benchmarks for conservation units in Canada's Wild Salmon Policy](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2009/058. viii + 74 p.

-
- Huang, A.M. 2014. [Stock-recruit models for Fraser River Sockeye Salmon \(*Oncorhynchus nerka*\) escapement planning](#). Master's research project, Simon Fraser University, Burnaby, Canada.
- Mastrandrea, M.D., C.B. Field, T.F. Stocker, O. Edenhofer, K.L. Ebi, D.J. Frame, H. Held, E. Kriegler, K.J. Mach, P.R. Matschoss, G.-K. Plattner, G.W. Yohe, and F.W. Zwiers, 2010: [Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties](#). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- MPO. 2014. Directive sur la réalisation des évaluations du potentiel de rétablissement (EPR) des espèces aquatiques en péril. 29 p.
- MPO. 2020. [Évaluation du potentiel de rétablissement – saumon rouge \(*Oncorhynchus nerka*\) du lac Cultus \(2019\)](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2020/011.
- Pestal, G., Huang, A-M., Cass, A. and the FRSSI Working Group. 2012. [Updated Methods for Assessing Harvest Rules for Fraser River Sockeye Salmon \(*Oncorhynchus nerka*\)](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2011/133. viii + 175 p.
- Peterman, R.M., Pyper, B.J., and MacGregor, B.W. 2003. Use of the Kalman filter to reconstruct historical trends in productivity of Bristol Bay Sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 60: 809-824.
- Vélez-Espino, L.A., Parken, C.K., Clemons, E.R., Peterson, R., Ryding, K., Folkes, M., and Pestal, G. 2019. ForecastR: tools to automate forecasting procedures for salmonid terminal run and escapement. Final Report submitted to the Southern Boundary Restoration and Enhancement Fund, Pacific Salmon Commission, Vancouver BC.

11. ANNEXE 1 : MODÈLES STOCK-RECRUTEMENT (ÉLÉMENT 13 – PARTIE 1)

Les dernières simulations prospectives pluriannuelles ciblant le saumon rouge du Fraser étaient axées sur des conditions de quasi-équilibre; elles ont été estimées sur 48 ans (Pestal *et al.* 2011). Pour réaliser ces estimations, on a utilisé un modèle stock-recrutement de Larkin régulier qui a été ajusté à toutes les années de données, d'après les avis formulés lors d'un atelier d'experts (MPO 2006).

Les simulations préliminaires pour ce projet ont montré que les trajectoires projetées sur 12 ans fondées sur ces estimations de paramètres étaient invraisemblablement optimistes pour les stocks préoccupants, sachant que les valeurs d'abondance récentes étaient bien inférieures à la plage historique. Ces trajectoires trop optimistes sont attribuables à la combinaison des trois facteurs suivants : 1) la structure du modèle de Larkin, qui comprend des termes « Retard – Bêta » dépendants de la densité (bêta 1, 2 et 3); 2) une productivité intrinsèque élevée (alpha), qui a un effet marqué lorsque le nombre de géniteurs est faible; 3) le faible nombre de géniteurs actuel des stocks en péril.

En vue de déterminer les modèles stock-recrutement les plus appropriés pour les analyses de l'EPR, on a d'abord convoqué un groupe d'experts, qui ont choisi huit types de modèles proposés. On a ensuite utilisé une évaluation préliminaire de l'ajustement des modèles afin de cerner une courte liste de cinq modèles proposés et on a mis en œuvre le système officiel de classement de modèles. Finalement, on a choisi un ou deux modèles stock-recrutement pour chaque stock, qui seront utilisés pour les simulations de l'EPR. Les sections 5.3.1, 5.3.3 et 5.3.4 décrivent l'approche suivie pour la sélection de modèles. Dans la présente annexe, on fait état des résultats du classement des modèles et on justifie le choix de modèles final pour chaque stock.

11.1. MODÈLES STOCK-RECRUTEMENT DE RECHANGE

Dans la présente évaluation, on a utilisé à la fois les modèles stock-recrutement de Ricker et de Larkin (Pestal *et al.* 2011). On a utilisé huit variations de ces deux types de modèles, comme décrit ci-dessous.

Les estimations de paramètres ont été réalisées au moyen du logiciel JAGS. On a exécuté quatre chaînes; pour chacune de celles-ci, la valeur de rodage était de 15 000 échantillons, le paramètre d'épaisseur (*thin*) était de 7 et le nombre d'itérations total était de 32 500. On a tiré 10 000 échantillons MCMC (méthode Monte-Carlo par chaîne de Markov) de la distribution *a posteriori*. Les simulations prospectives étaient fondées sur 5 000 séries de paramètres sélectionnés aléatoirement (c.-à.-d. chaque série regroupe les paramètres α , β et ϵ pour les variations fondées sur le modèle de Ricker).

11.1.1. Modèle de Ricker

Le modèle de Ricker est souvent utilisé pour représenter la dynamique de la relation stock-recrutement des saumons du Pacifique.

$$\ln(R_t/G_{t-4}) = \alpha - \beta_0 G_{t-4} + \epsilon_t$$

Dans la formule susmentionnée, R représente le recrutement pendant l'année t, G correspond au nombre réel de génitrices de l'année d'éclosion t, α représente le paramètre de productivité, α/β_0 décrit la capacité du système pour l'équation de Ricker et ϵ représente l'erreur de processus annuelle liée au recrutement.

11.1.2. Ricker – Moitié de la productivité

On a utilisé les mêmes 10 000 échantillons MCMC provenant du premier modèle stock-recrutement et on a divisé la médiane du paramètre α par deux pour déterminer la valeur de la moitié de la productivité. Les simulations prospectives étaient donc fondées sur 2 500 séries de paramètres sélectionnés aléatoirement (d'après les 10 000 échantillons initiaux) pour lesquelles les valeurs de α étaient inférieures à la médiane de la moitié de la productivité, et sur 2 500 séries pour lesquelles les valeurs de α étaient supérieures à cette médiane.

11.1.3. Ricker – Productivité récente – Modèle récursif

Catherine Michielsens (Commission du saumon du Pacifique) a fourni une formule bayésienne relative au modèle utilisant le filtre de Kalman, qui provient du document de Peterman et ses collaborateurs (2003). Le modèle de Ricker récursif comprend un paramètre alpha variable dans le temps, qui agit comme un indicateur des tendances historiques en matière de productivité.

On a combiné en un seul terme l'erreur d'observation et l'erreur de processus relatives au code bayésien d'origine pour simplifier le modèle et parce qu'on avait prévu changer ce terme davantage afin qu'il puisse être utilisé avec le modèle stock-recrutement de Larkin.

Une distribution *a priori* informative pour le paramètre alpha a été générée à partir de valeurs de α propres à un stock (médiane et écart-type), estimées au moyen du modèle bayésien de Ricker non récursif. La distribution *a priori* bêta correspondait à la description figurant dans le document de Pestal et ses collaborateurs (2012), soit une distribution log-normale avec une moyenne de l'abondance observée maximale et une limite supérieure correspondant à trois fois cette abondance maximale.

Pour représenter la productivité actuelle de chaque stock, pour chacune des quatre dernières années estimées par le modèle récursif, on a échantillonné 10 000 séries d'échantillons MCMC, chacune formée des paramètres alpha et bêta et d'un terme lié à la variance, à partir de la distribution *a posteriori*. On a ensuite sous-échantillonné ces séries de 40 000 échantillons, puis on les a combinées afin de modéliser la moyenne des résultats, qui sera utilisée dans les modèles de simulation prospective.

11.1.4. Ricker (années pendant lesquelles on a utilisé des méthodes d'analyse de l'ADN)

Pour ces exécutions de modèles, on a utilisé la même méthode que pour le premier modèle stock-recrutement (Ricker), mais on a ajusté les paramètres aux données des années pendant lesquelles l'identification des stocks était fondée sur des méthodes d'analyse de l'ADN (c.-à-d. début de l'année d'éclosion 2002).

11.1.5. Ricker (cinq générations)

Pour ces exécutions de modèles, on a utilisé la même méthode que pour le premier modèle stock-recrutement (Ricker), mais l'ensemble de données stock-recrutement était limité aux données des 20 dernières années d'éclosion, ce qui correspond à cinq générations de saumons rouges d'âge 4. Il s'agit du même nombre de générations que celui utilisé dans le cadre de l'EPR du saumon Coho du Fraser intérieur (Arbeider *et al.*, 2020).

11.1.6. Modèle de Larkin

Le modèle de Larkin sert à fournir une approximation des tendances cycliques observées chez certains stocks de saumons rouges du Fraser.

$$\ln(R_t/G_{t-4}) = \alpha - \beta_0 G_{t-4} - \beta_1 G_{t-5} - \beta_2 G_{t-6} - \beta_3 G_{t-7} + \varepsilon_t$$

Dans la formule susmentionnée, R représente le recrutement pendant l'année t, G correspond au nombre réel de génitrices de l'année d'éclosion t, α représente le paramètre de productivité, α/β_0 décrit la capacité du système pour l'équation de Ricker, β_1 , β_2 et β_3 représentent les paramètres décrivant l'interaction relative à la densité retardée entre les cycles et ε représente l'erreur de processus annuelle liée au recrutement.

Mis à part l'utilisation du modèle de Larkin plutôt que du modèle de Ricker, on a suivi le processus décrit pour le premier modèle stock-recrutement (Ricker).

11.1.7. Larkin – Moitié de la productivité

Le processus de modélisation était semblable à celui utilisé pour le deuxième modèle stock-recrutement (Ricker – Moitié de la productivité), sauf que les échantillons MCMC ont été tirés du modèle de Larkin.

11.1.8. Larkin – Productivité récente – Modèle récursif

Pour ces exécutions de modèles, on a employé la même méthode que pour le troisième modèle stock-recrutement (Ricker – Productivité récente – Modèle récursif), sauf qu'on a utilisé le modèle stock-recrutement de Larkin.

Vérifications et essais concernant l'ajustement du modèle récursif : combinaison de l'erreur d'observation et de l'erreur de processus par rapport au terme de l'erreur combinée (version de Ricker seulement); vérification de la distribution des variances (s'assurer qu'elles ne sont pas distribuées de façon asymétrique); comparaison entre les paramètres alpha informatif et non informatif (version de Ricker seulement); vérification des tendances des paramètres alpha (s'assurer qu'ils ne sont pas beaucoup influencés par l'ajout d'un paramètre alpha informatif); comparaison entre les tendances du paramètre alpha récursif obtenues au moyen du modèle stock recrutement de Ricker par rapport à celles obtenues au moyen du modèle de Larkin; vérification des tendances des paramètres alpha (s'assurer qu'elles ne sont pas complètement différentes selon le type de modèle choisi).

11.2. PRODUCTIVITÉ RÉCENTE

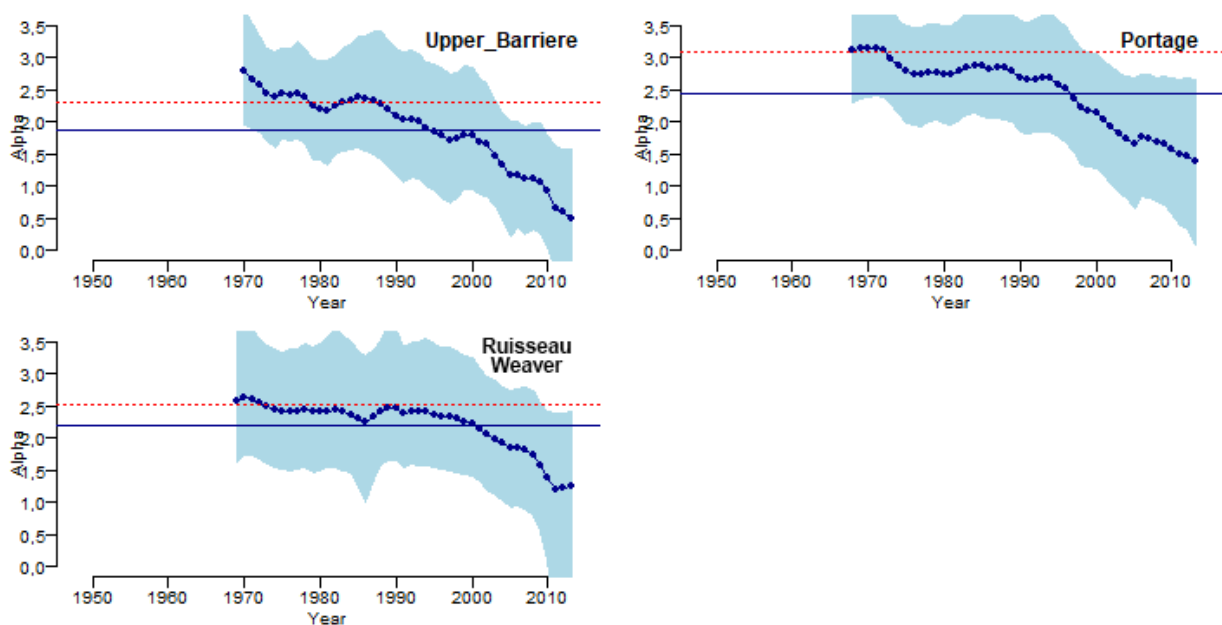


Figure 1. Tendances en matière de productivité – UD en voie de disparition ou menacées non touchées par le glissement de terrain de Big Bar (élément 13, partie 1). Les points bleus représentent les estimations annuelles médianes du paramètre alpha issu du modèle de Larkin variant dans le temps (LRB). La ligne pleine bleue représente la moyenne de toutes les valeurs médianes du paramètre alpha variant dans le temps. La ligne pointillée rouge représente l'estimation médiane du paramètre alpha issue du modèle de Larkin régulier (LA). La zone ombragée bleue représente les intervalles de probabilité à 95 %.

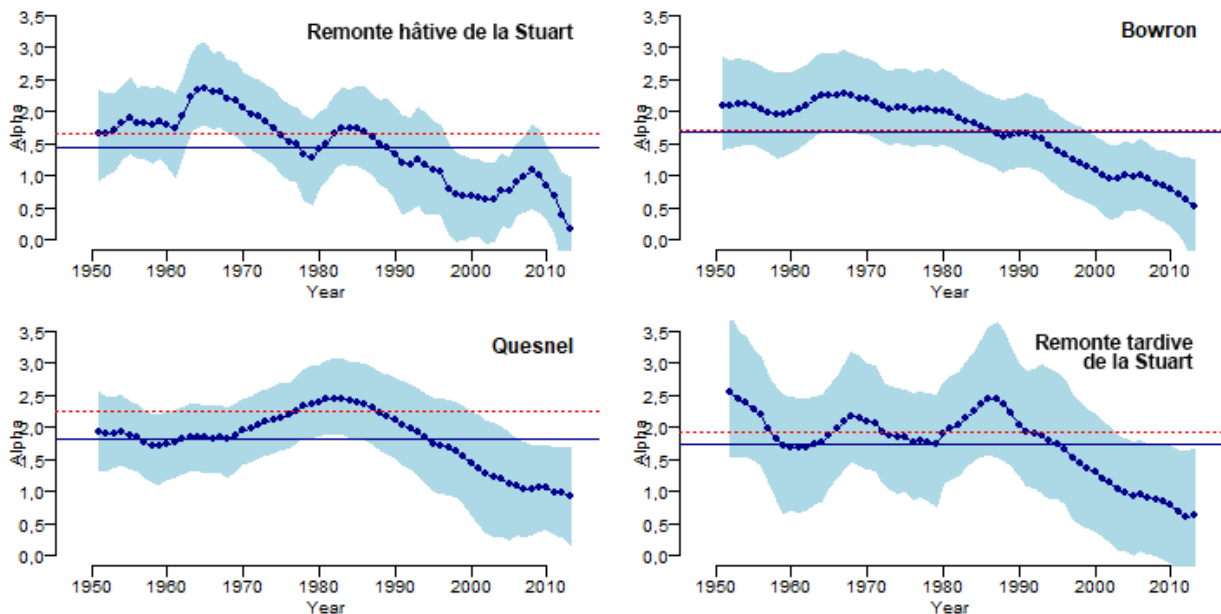


Figure 2. Tendances en matière de productivité – UD en voie de disparition ou menacées touchées par le glissement de terrain de Big Bar (élément 13, partie 1). Les points bleus représentent les estimations annuelles médianes du paramètre alpha issu du modèle de Larkin variant dans le temps (LRB). La ligne pleine bleue représente la moyenne de toutes les valeurs médianes du paramètre alpha variant dans le temps. La ligne pointillée rouge représente l'estimation médiane du paramètre alpha issue du modèle de Larkin régulier (LA). La zone ombragée bleue représente les intervalles de probabilité à 95 % (Early_Stuart= Remonte hâtive de la Stuart; Late_Stuart= Remonte tardive de la Stuart).

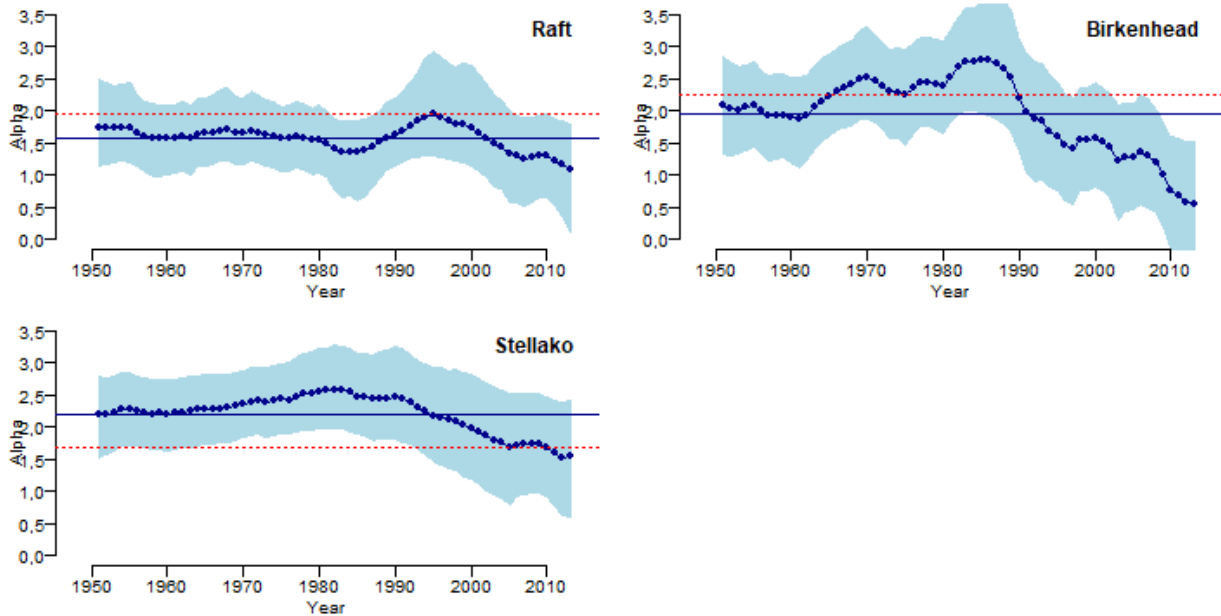


Figure 3. Tendances en matière de productivité – UD préoccupantes (élément 13, partie 1). Les points bleus représentent les estimations annuelles médianes du paramètre alpha issu du modèle de Larkin variant dans le temps (LRB). La ligne pleine bleue représente la moyenne de toutes les valeurs médianes du paramètre alpha variant dans le temps. La ligne pointillée rouge représente l'estimation médiane du paramètre alpha issue du modèle de Larkin régulier (LA). La zone ombragée bleue représente les intervalles de probabilité à 95 %. L'UD Stellako* (UD 7) est touchée par le glissement de terrain de Big Bar.

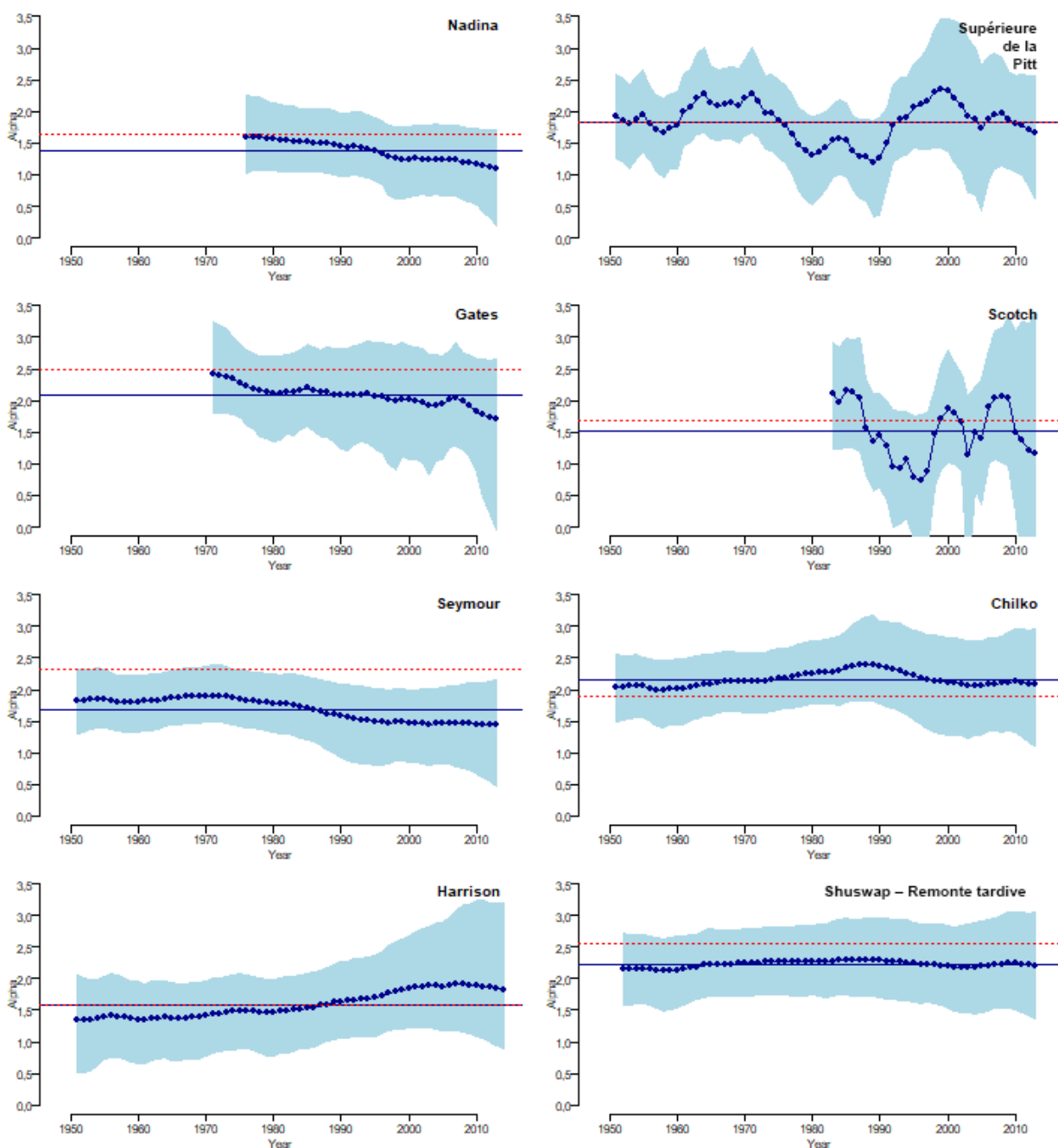


Figure 4. Tendances en matière de productivité – UD non en péril (élément 13, partie 1). Les points bleus représentent les estimations annuelles médianes du paramètre alpha issu du modèle de Larkin variant dans le temps (LRB). La ligne pleine bleue représente la moyenne de toutes les valeurs médianes du paramètre alpha variant dans le temps. La ligne pointillée rouge représente l'estimation médiane du paramètre alpha issue du modèle de Larkin régulier (LA). La zone ombragée bleue représente les intervalles de probabilité à 95 %. Les UD Nadina et Chilko sont touchées par le glissement de terrain de Big Bar.

11.3. TENDANCES RELATIVES AUX RANGS DES MODÈLES STOCK-RECRUTEMENT

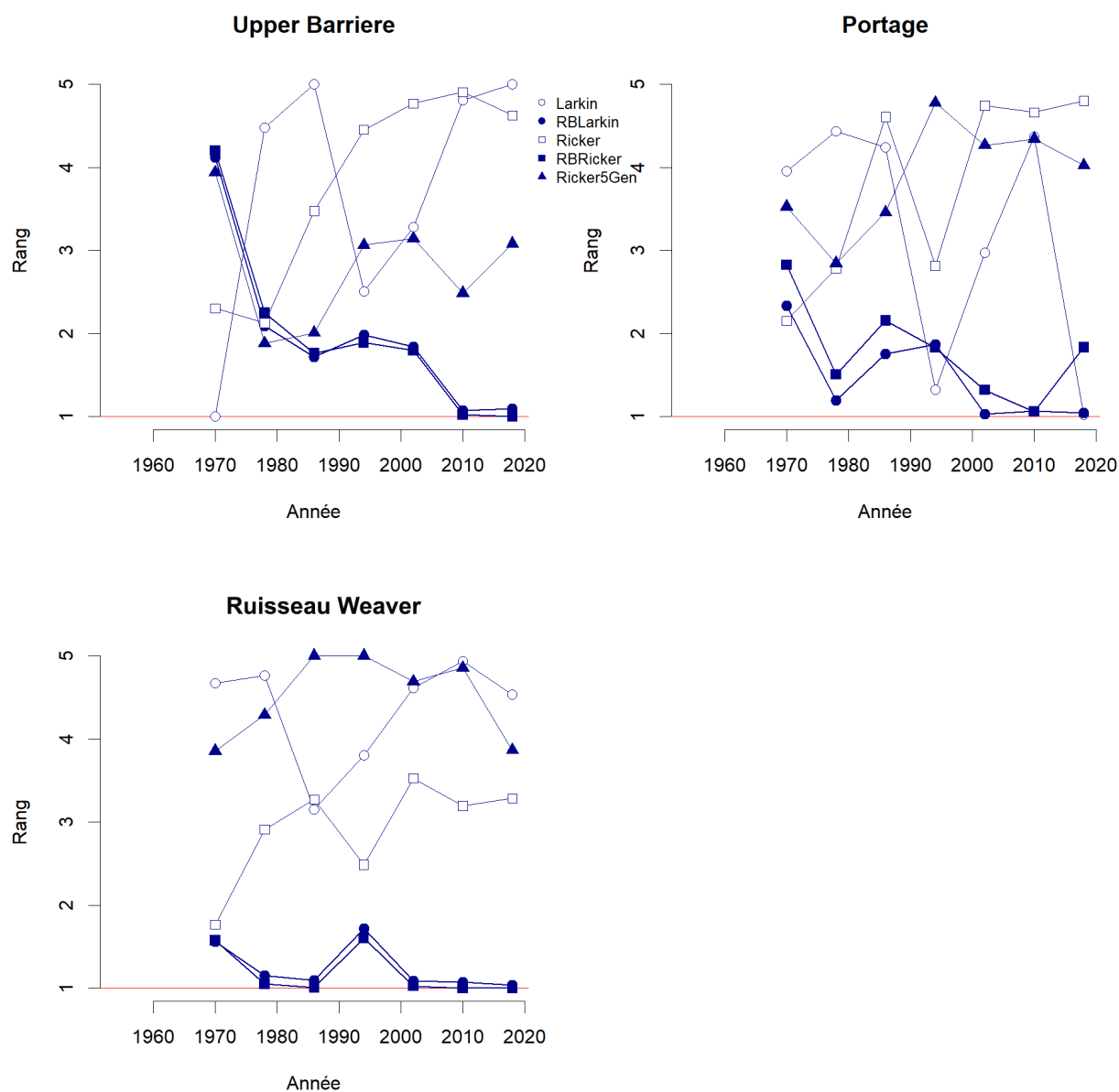


Figure 5. Tendances rétrospectives liées aux rangs des modèles stock-recrutement – UD en voie de disparition ou menacées non touchées par le glissement de terrain de Big Bar (élément 13, partie 1). Chaque ligne montre la tendance des rangs moyens à l'échelle (section 5.3.1) au fil du temps pour un modèle stock-recrutement donné et chaque point indique la dernière année d'une période correspondant à deux générations (huit ans). Le point final couvre les années 2011 à 2018, mais les données sur les recrues observées sont seulement disponibles pour les années d'éclosion 2011 à 2013 (c.-à-d. jusqu'à la montaison de 2018) à l'heure actuelle. Les modèles stock-recrutement fondés sur la productivité récente sont représentés par des symboles pleins et les modèles fondés sur la productivité moyenne annuelle sont représentés par des symboles vides.

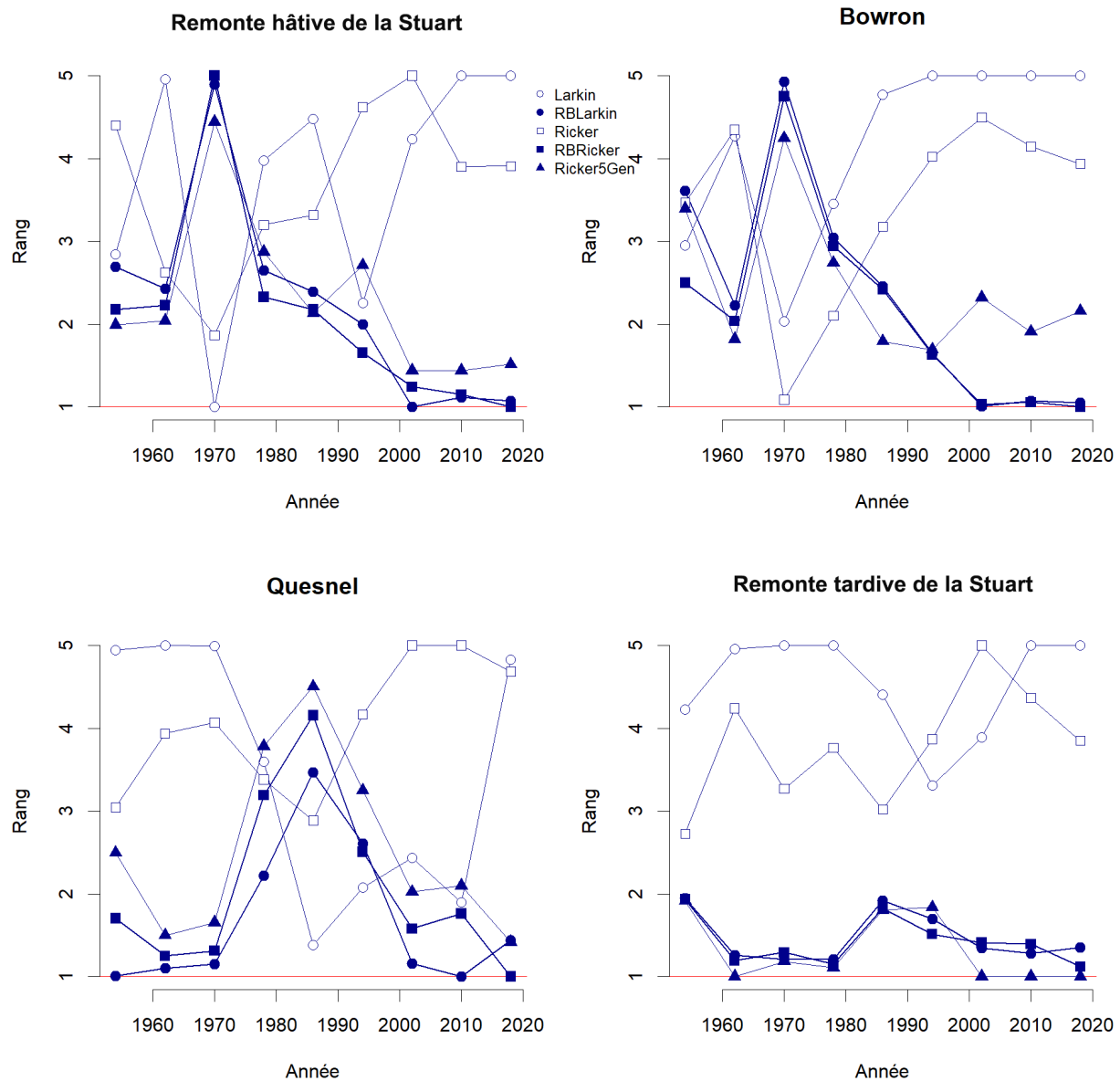


Figure 6. Tendances rétrospectives liées aux rangs des modèles stock-recrutement – UD en voie de disparition ou menacées touchées par le glissement de terrain de Big Bar (élément 13, partie 1). Chaque ligne montre la tendance des rangs moyens à l'échelle (section 5.3.1) au fil du temps pour un modèle stock-recrutement donné et chaque point indique la dernière année d'une période correspondant à deux générations (huit ans). Le point final couvre les années 2011 à 2018, mais les données sur les recrues observées sont seulement disponibles pour les années d'éclosion 2011 à 2013 (c.-à-d. jusqu'à la montaison de 2018) à l'heure actuelle. Les modèles stock-recrutement fondés sur la productivité récente sont représentés par des symboles pleins et les modèles fondés sur la productivité moyenne annuelle sont représentés par des symboles vides.

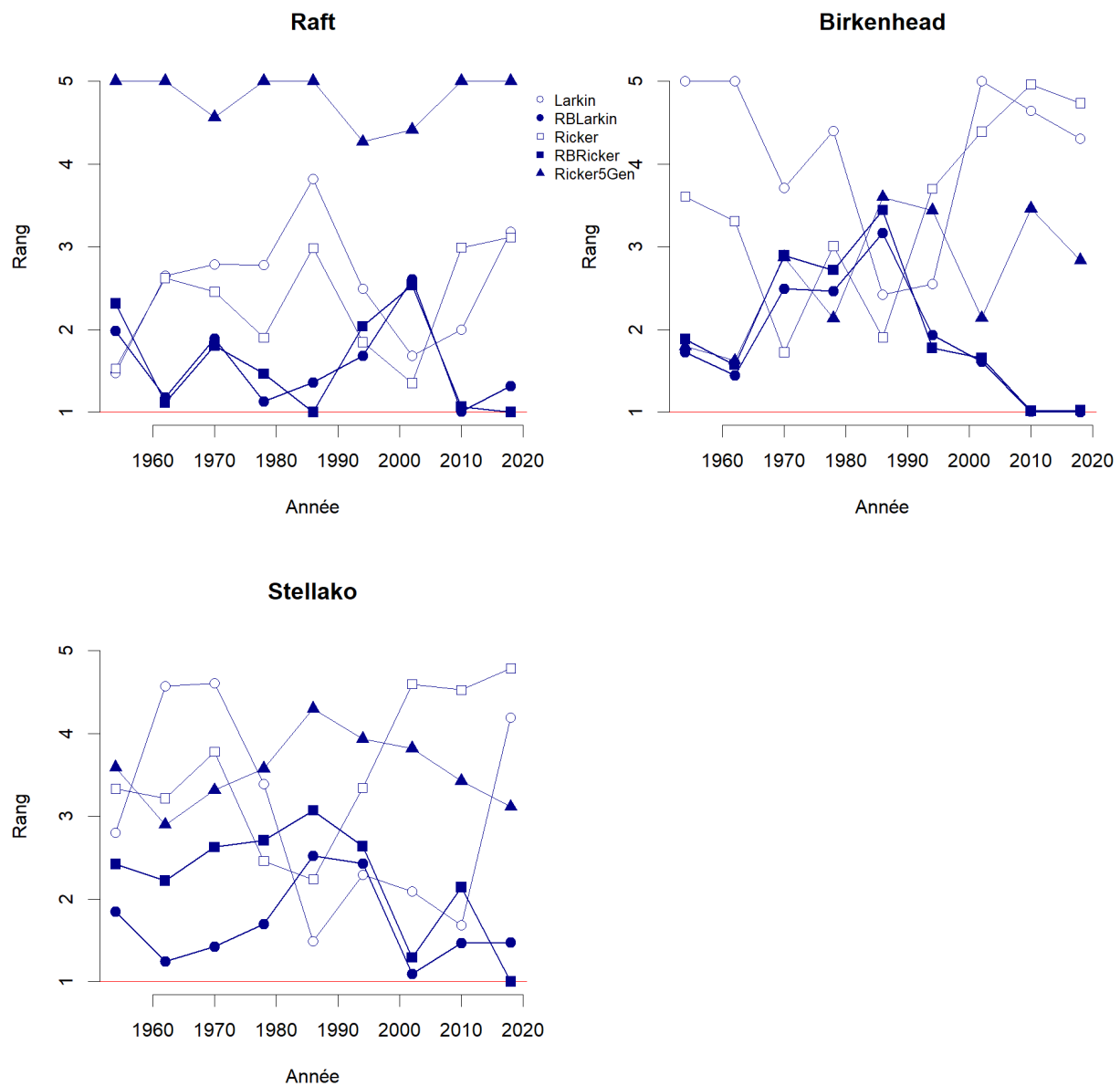


Figure 7. Tendances rétrospectives liées aux rangs des modèles stock-recrutement – UD préoccupantes (élément 13, partie 1). Chaque ligne montre la tendance des rangs moyens à l'échelle (section 5.3.1) au fil du temps pour un modèle stock-recrutement donné et chaque point indique la dernière année d'une période correspondant à deux générations (huit ans). Le point final couvre les années 2011 à 2018, mais les données sur les recrues observées sont seulement disponibles pour les années d'éclosion 2011 à 2013 (c.-à-d. jusqu'à la montaison de 2018) à l'heure actuelle. Les modèles stock-recrutement fondés sur la productivité récente sont représentés par des symboles pleins et les modèles fondés sur la productivité moyenne annuelle sont représentés par des symboles vides.

11.4. RANGS DES MODÈLES STOCK-RECRUTEMENT LES PLUS RÉCENTS

Upper Barriere

Modèle	EBM	EAM	EMP	EAMP	EQM	Moy
LA	5	5	5	5	5	5
LRB	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
R5Gen	2,6	2,6	2,6	2,6	4,9	3,1
RA	4,8	4,8	4,9	4,9	3,8	4,6
RRB	1	1	1	1	1	1

Portage

Modèle	EBM	EAM	EMP	EAMP	EQM	Moy
LA	1	1	1	1	1,1	1
LRB	1,1	1,1	1	1	1	1
R5Gen	3,6	3,7	3,9	3,9	5	4
RA	5	5	5	5	4	4,8
RRB	1,5	1,5	2,1	2,1	1,8	1,8

Ruisseau Weaver

Modèle	EBM	EAM	EMP	EAMP	EQM	Moy
LA	5	5	5	5	2,7	4,5
LRB	1,0	1,0	1	1	1,0	1
R5Gen	4,1	4,1	3,1	3,1	5	3,9
RA	3,8	3,7	3,4	3,4	2,1	3,3
RRB	1	1	1	1	1	1

Figure 8. Rangs des modèles stock-recrutement les plus récents – UD en voie de disparition ou menacées non touchées par le glissement de terrain de Big Bar (élément 13, partie 1). Les tableaux montrent les rangs moyens à l'échelle (section 5.3.1) pour les recrues issues des années d'éclosion 2011 à 2013, d'après la comparaison entre les recrues estimées à partir de 5 000 échantillons de paramètres MCMC et les recrues observées.

Remonte hâtive de la Stuart

Modèle	EBM	EAM	EMP	EAMP	EQM	Moy
LA	5	5	5	5	5	5
LRB	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
R5Gen	1,4	1,4	1,5	1,4	1,8	1,5
RA	3,9	3,9	3,9	3,9	4	3,9
RRB	1	1	1	1	1	1

Bowron

Modèle	EBM	EAM	EMP	EAMP	EQM	Moy
LA	5	5	5	5	5	5
LRB	1	1,1	1,1	1,1	1	1,0
R5Gen	1,9	2	2	2	2,9	2,2
RA	4,1	4,1	4,1	4	3,4	3,9
RRB	1	1	1	1	1	1

Quesnel

Modèle	EBM	EAM	EMP	EAMP	EQM	Moy
LA	5	5	5	5	4,2	4,8
LRB	1,5	1,5	1,5	1,4	1,3	1,4
R5Gen	1,2	1,3	1,2	1,3	2,1	1,4
RA	4,6	4,6	4,6	4,6	5	4,7
RRB	1	1	1	1	1	1

Remonte tardive de la Stuart

Modèle	EBM	EAM	EMP	EAMP	EQM	Moy
LA	5	5	5	5	5	5
LRB	1,3	1,3	1,2	1,3	1,7	1,4
R5Gen	1	1	1	1	1	1
RA	3,9	3,9	4	4	3,5	3,8
RRB	1,1	1,1	1,1	1,1	1,2	1,1

Figure 9. Rangs des modèles stock-recrutement les plus récents – UD en voie de disparition ou menacées touchées par le glissement de terrain de Big Bar (élément 13, partie 1). Les tableaux montrent les rangs moyens à l'échelle (section 5.3.1) pour les recrues issues des années d'éclosion 2011 à 2013, d'après la comparaison entre les recrues estimées à partir de 5 000 échantillons de paramètres MCMC et les recrues observées.

Raft						
Modèle	EBM	EAM	EMP	EAMP	EQM	Moy
LA	3,6	3,2	3,7	3,5	1,9	3,2
LRB	1,4	1,3	1,4	1,4	1,2	1,3
R5Gen	5	5	5	5	5	5
RA	3,5	3,2	3,5	3,4	1,9	3,1
RRB	1	1	1	1	1	1

Birkenhead						
Modèle	EBM	EAM	EMP	EAMP	EQM	Moy
LA	4,4	4,4	3,8	3,8	5	4,3
LRB	1	1	1	1	1	1
R5Gen	2,8	2,8	2,6	2,6	3,3	2,8
RA	5	5	5	5	3,7	4,7
RRB	1	1	1,0	1,0	1	1

Stellako						
Modèle	EBM	EAM	EMP	EAMP	EQM	Moy
LA	4	4	4,7	4,7	3,5	4,2
LRB	1,3	1,4	1,6	1,6	1,4	1,5
R5Gen	2,6	2,7	2,6	2,7	5	3,1
RA	5	5	5	5	3,9	4,8
RRB	1	1	1	1	1	1

Figure 10. Rangs des modèles stock-recrutement les plus récents – UD préoccupantes (élément 13, partie 1). Les tableaux montrent les rangs moyens à l'échelle (section 5.3.1) pour les recrues issues des années d'éclosion 2011 à 2013, d'après la comparaison entre les recrues estimées à partir de 5 000 échantillons de paramètres MCMC et les recrues observées.

12. ANNEXE 2 : MODÈLE DE L'EPR (ÉLÉMENT 13 – PARTIE 2)

12.1. STRUCTURE GÉNÉRALE

Le modèle de simulation conçu pour la présente évaluation (*le modèle de l'EPR*) a un objectif différent du modèle utilisé récemment qui vise à tester certaines règles de contrôle des prises de recharge (*modèle de l'initiative stratégique sur le saumon du fleuve Fraser*), comme décrit dans la section 5.3.

Le modèle de l'EPR a été conçu selon les objectifs suivants :

- effectuer la simulation prospective de nombreuses trajectoires;
- mettre l'accent sur les trois ou quatre prochaines générations;
- mettre l'accent sur les conditions initiales;
- mettre l'accent sur la réponse de chaque UD à différents taux d'exploitation.

À l'opposé, le modèle de l'initiative stratégique sur le saumon du fleuve Fraser (Pestal *et al.* 2011) a été conçu pour évaluer le rendement à long terme (12 générations) de diverses règles en matière de prises, y compris l'attribution des prises et les contraintes de gestion en cours de saison.

D'après ces objectifs, le modèle de l'EPR est structuré comme suit :

- simuler chaque stock de façon indépendante (mais les exécutions regroupent tous les stocks);
- calculer les recrues pour une année d'éclosion donnée, puis appliquer une proportion selon l'âge fixe afin de calculer la taille d'une remonte;
- appliquer un taux d'exploitation fixe et une mortalité en cours de montaison échantillonnée aléatoirement afin de calculer le nombre de géniteurs;
- répéter cette séquence pour une période de 20 ans;
- répéter cette simulation sur 20 ans à 5 000 reprises (effectuer chaque itération avec un échantillon différent de paramètres stock-recrutement).

12.2. CALCULS PRÉCIS

Voici les calculs effectués pour chaque stock :

$$\begin{aligned}Rec_a &= fn(Gén_a, Pars) \\Rec_{a-1} &= fn(Gén_{a-1}, Pars) \\Rem_{a+4} &= Rec_a * p_4 + Rec_{a-1} * (1 - p_4) \\Gén_{a+4} &= Rem_{a+4} * (1 - TE) * (1 - MEM)\end{aligned}$$

où

a = année

Gén = abondance de géniteurs totale

Rec = nombre de recrues total provenant de ces géniteurs

Rem = abondance totale de la remonte d'individus adultes (provenant de diverses années d'éclosion)

Pars = paramètres stock-recrutement selon la section 1.1

TE = taux d'exploitation

MEM = mortalité en cours de montaison

p_4 = proportion d'individus d'âge 4

La section 4.5 présente le code général utilisé pour la simulation prospective et les fonctions qui appliquent diverses versions des équations 1 et 2.

13. ANNEXE 3 : RÉSULTATS DE SIMULATION

Dans la présente section, les UD ont été organisées de la façon suivante.

UD en voie de disparition ou menacées – Non touchées par le glissement de terrain de Big Bar :

- Upper Barriere (Fennell) (North Barriere-DE, UD 14)
- Portage (Seton-T, UD 17)
- Weaver, (Harrison (amont)-T, UD 10)
- Widgeon (Widgeon – Rivière, UD 24)

UD en voie de disparition ou menacées – Touchées par le glissement de terrain de Big Bar :

- Remonte hâtive de la Stuart, (Takla-Trembleur-montaison hâtive dans la Stuart, UD 20)
- Bowron (Bowron-DE, UD 2)
- Quesnel (Quesnel-E, UD 16)
- Remonte tardive de la Stuart (Takla-Trembleur-Stuart-E, UD 21)
- Taseko (Taseko-DE, UD 22)

UD préoccupantes

- Raft* (Kamloops-DE, UD 11)
- Birkenhead* (Lillooet-Harrison-T, UD 12)
- Stellako* (Francois-Fraser-E, UD 7)

Remarque : Parmi les UD préoccupante, l'UD Stellako* est la seule qui est touchée par le glissement de terrain de Big Bar.

13.1. UD EN VOIE DE DISPARITION OU MENACÉES – NON TOUCHÉES PAR LE GLISSEMENT DE TERRAIN DE BIG BAR

13.1.1. Upper Barriere (Fennell) (North Barriere-DE, UD 14)

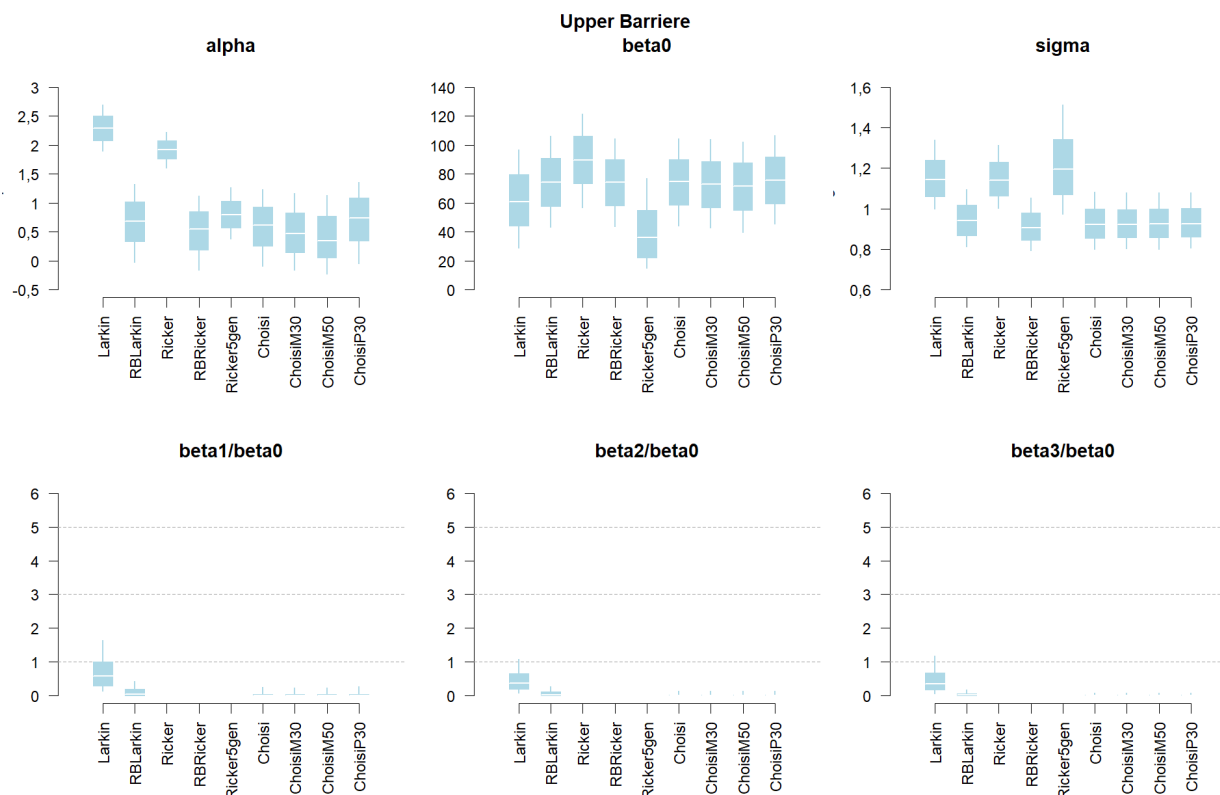


Figure 11. Distributions a posteriori associées aux paramètres de modèles stock-recrutement de rechange – Upper Barriere (UD 14) (élément 13, partie 1). Chaque graphique montre la distribution a posteriori associée à un paramètre pour les cinq modèles stock-recrutement de rechange décrits dans la section 5.3.2, les modèles propres au stock et trois exemples de modèles propres au stock avec une productivité remise à l'échelle. Dans les graphiques, LA = modèle de Larkin; LRB = modèle bayésien de Larkin récursif; RA = modèle de Ricker; RRB = modèle bayésien de Ricker récursif; R5Gen = modèle de Ricker ajusté aux estimations du stock-recrutement de cinq générations d'individus; Meilleur = modèles propres au stock choisis selon le Tableau 6 de la section 5.3.4; MeilleurM30 = meilleurs modèles avec un paramètre alpha médian moins 30 %; MeilleurM50 = meilleurs modèles avec un paramètre alpha médian moins 50 %; MeilleurP30 = meilleurs modèles avec un paramètre alpha médian plus 30 %. Les graphiques du bas montrent les distributions relatives aux termes « Retard – Bêta », remis à l'échelle par rapport à β_0 .

**Upper Barriere Trajectoires des géniteurs : Aucune année où le passage a été bloqué
TE 0**

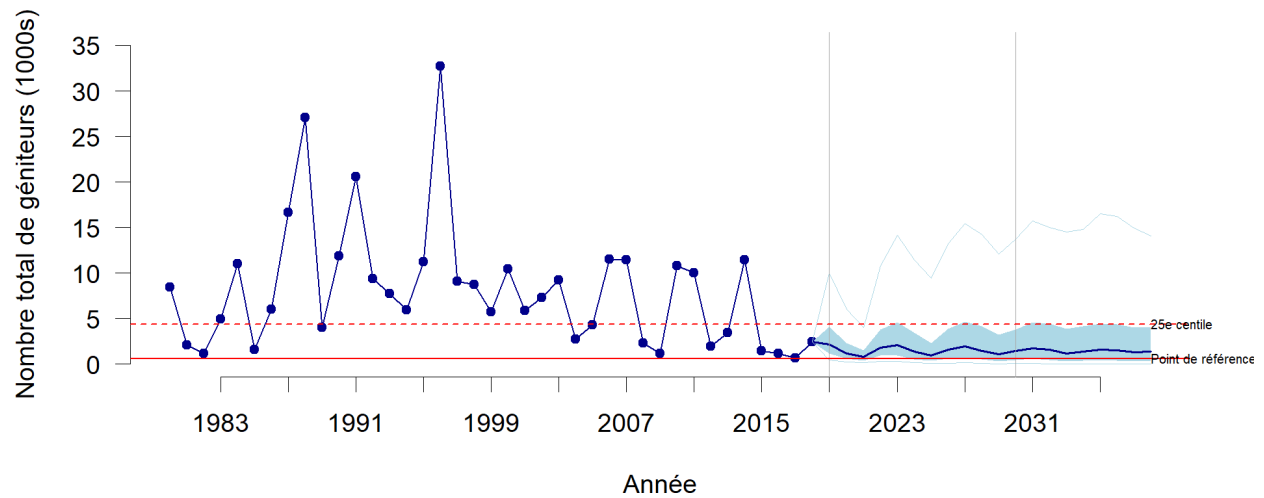


Figure 12. Trajectoire simulée relative au taux d'exploitation maximal qui permettrait probablement à l'UD Upper Barriere (UD 14) de ne plus être désignée en voie de disparition ou menacée selon les hypothèses du scénario de référence (élément 15). La ligne bleue comportant des cercles pleins montre le nombre de géniteurs observés de 1980 à 2018. La partie droite du graphique montre la distribution des abondances de géniteurs simulées (ligne pleine = médiane, aire ombragée bleue = 25 à 75 % et lignes tiretées bleu pâle = 10 à 90 %). La ligne horizontale rouge indique le 25^e centile de toutes les abondances de géniteurs observés. Les lignes verticales grises délimitent la période de trois générations utilisée pour calculer les mesures de rendement décrites dans le Tableau 5.

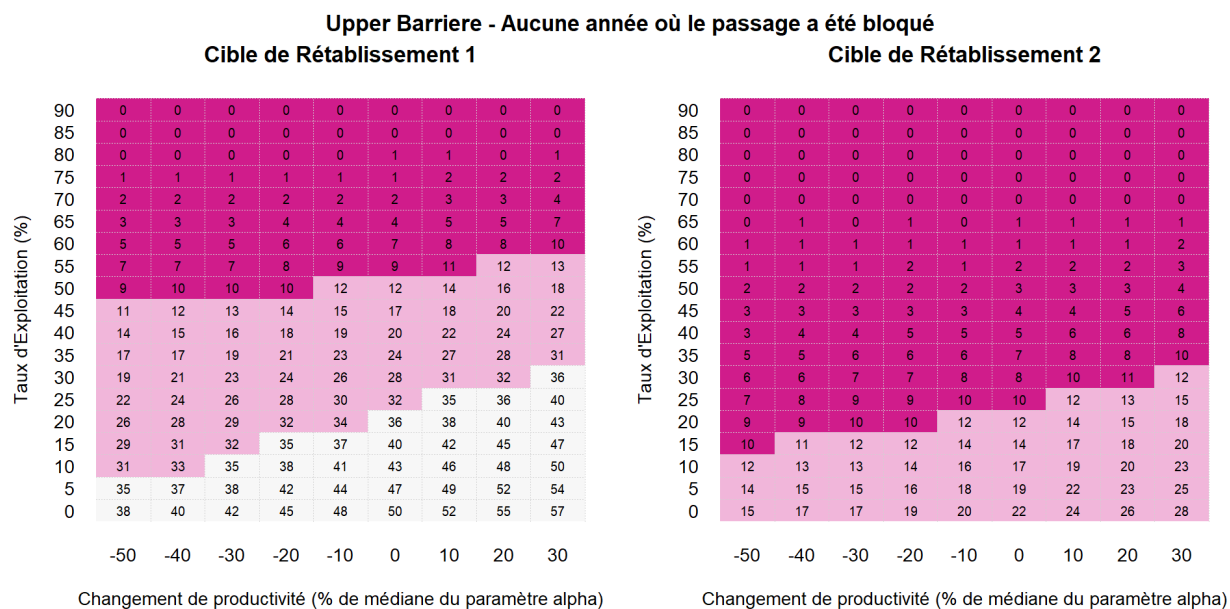


Figure 13. Effet de divers taux d'exploitation selon les scénarios de productivité de recharge pour l'UD Upper Barriere (UD 14) (élément 15). Les deux grilles montrent les résultats simulés concernant l'atteinte des cibles de rétablissement n^{os} 1 et 2 décrites dans la section 5.2. Chaque grille résume les résultats de simulation pour divers taux d'exploitation (axe des y) et changements de productivité (axe des x). Les niveaux de productivité actuels figurent dans la colonne où le changement de productivité est de 0. Les valeurs dans chaque cellule représentent le pourcentage des 5 000 trajectoires simulées qui atteignent la cible de rétablissement. Les couleurs correspondent aux catégories de l'échelle de probabilité du GIEC (Tableau 7), qui varient de « Très probable » en vert foncé à « Très improbable » en magenta foncé. Pour les UD qui frayent en amont du lieu du glissement de terrain de Big Bar, on a modélisé un taux de mortalité en cours de montaison dans les rivières de 99,5 % pour l'année de simulation 2019.

13.1.2. Portage (Seton-T, UD 17)

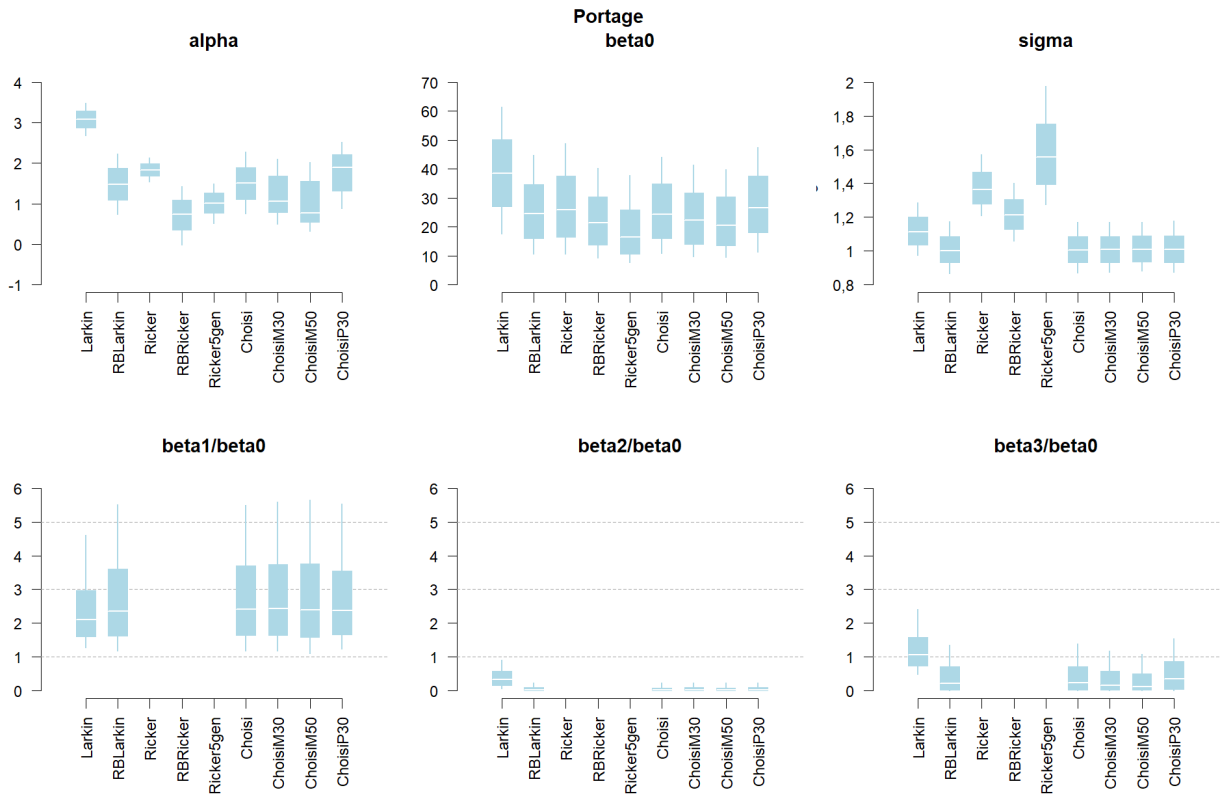


Figure 14. Distributions a posteriori associées aux paramètres de modèles stock-recrutement de rechange – Portage (UD 17) (élément 13, partie 1). Chaque graphique montre la distribution a posteriori associée à un paramètre pour les cinq modèles stock-recrutement de rechange décrits dans la section 5.3.2, le modèle propre au stock et trois exemples du modèle propre au stock avec une productivité remise à l'échelle. Dans les graphiques, LA = modèle de Larkin; LRB = modèle bayésien de Larkin récursif; RA = modèle de Ricker; RRB = modèle bayésien de Ricker récursif; R5Gen = modèle de Ricker ajusté aux estimations du stock-recrutement de cinq générations d'individus; Meilleur = modèle propre au stock choisi selon le Tableau 6 de la section 5.3.4; MeilleurM30 = meilleur modèle avec un paramètre alpha médian moins 30 %; MeilleurM50 = meilleur modèle avec un paramètre alpha médian moins 50 %; MeilleurP30 = meilleur modèle avec un paramètre alpha médian plus 30 %. Les graphiques du bas montrent les distributions relatives aux termes « Retard – Bêta », remis à l'échelle par rapport à β_0 .

**Portage Trajectoires des géniteurs : Aucune année où le passage a été bloqué
TE 0**

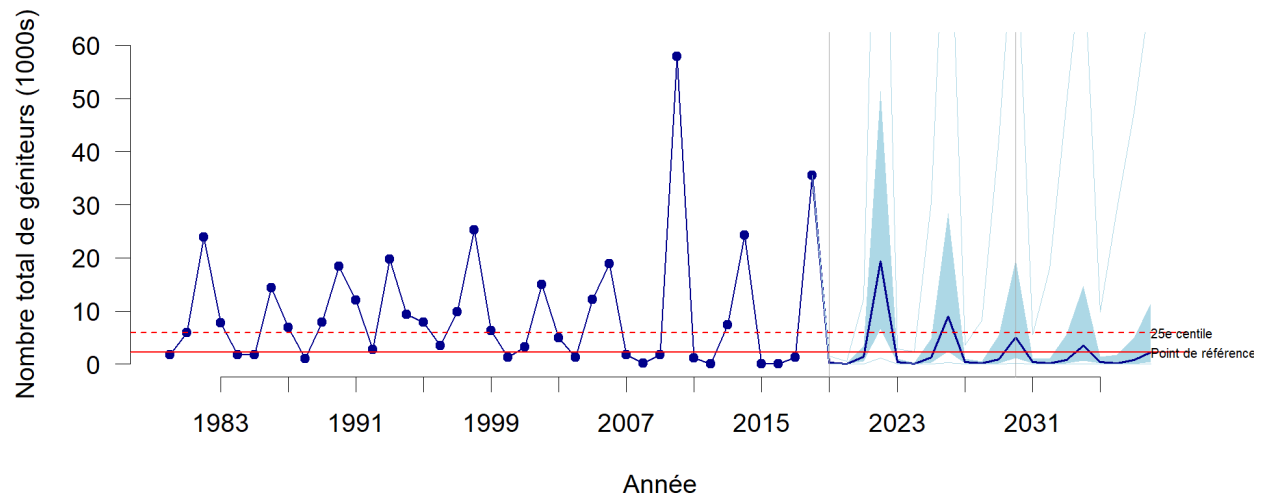


Figure 15. Trajectoire simulée relative au taux d'exploitation maximal qui permettrait probablement à l'UD Portage (UD 17) de ne plus être désignée en voie de disparition ou menacée selon les hypothèses du scénario de référence (élément 15). La ligne bleue comportant des cercles pleins montre le nombre de géniteurs observés de 1980 à 2018. La partie droite du graphique montre la distribution des abondances de géniteurs simulées (ligne pleine = médiane, aire ombragée bleue = 25 à 75 % et lignes tiretées bleu pâle = 10 à 90 %). La ligne horizontale rouge indique le 25^e centile de toutes les abondances de géniteurs observés. Les lignes verticales grises délimitent la période de trois générations utilisée pour calculer les mesures de rendement décrites dans le Tableau 5.

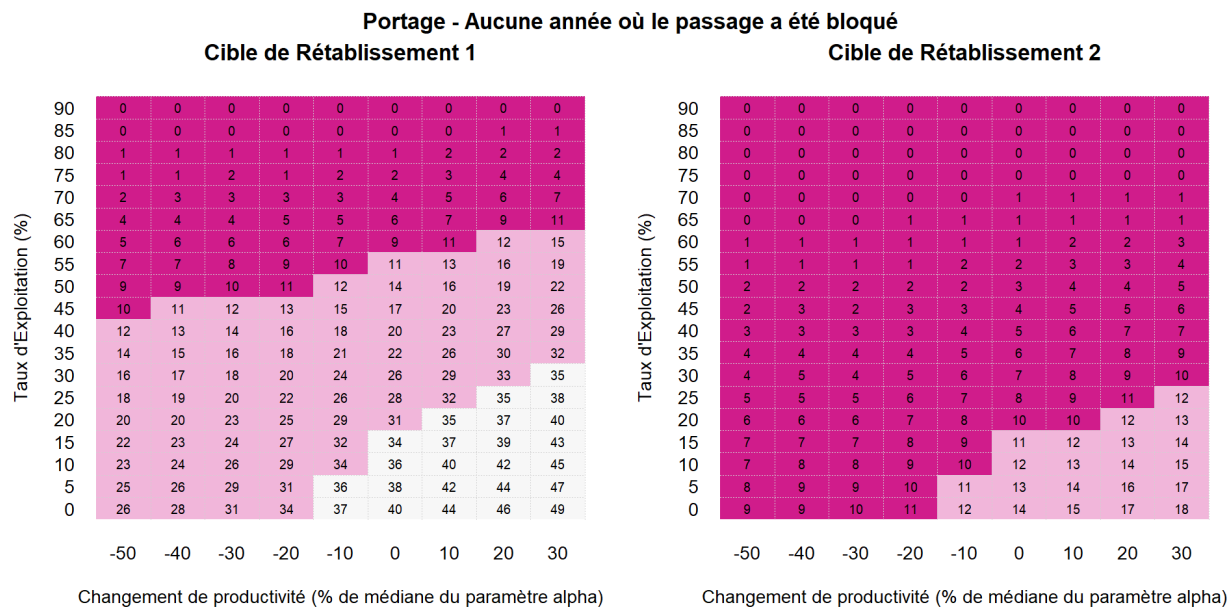


Figure 16. Effet de divers taux d'exploitation selon les scénarios de productivité de recharge pour l'UD Portage (UD 17) (élément 15). Les deux grilles montrent les résultats simulés concernant l'atteinte des cibles de rétablissement n^{os} 1 et 2 décrites dans la section 5.2. Chaque grille résume les résultats de simulation pour divers taux d'exploitation (axe des y) et changements de productivité (axe des x). Les niveaux de productivité actuels figurent dans la colonne où le changement de productivité est de 0. Les valeurs dans chaque cellule représentent le pourcentage des 5 000 trajectoires simulées qui atteignent la cible de rétablissement. Les couleurs correspondent aux catégories de l'échelle de probabilité du GIEC (Tableau 7), qui varient de « Très probable » en vert foncé à « Très improbable » en magenta foncé. Pour les UD qui frayent en amont du lieu du glissement de terrain de Big Bar, on a modélisé un taux de mortalité en cours de montaison dans les rivières de 99,5 % pour l'année de simulation 2019.

13.1.3. Weaver (Harrison (amont)-T, UD 10)

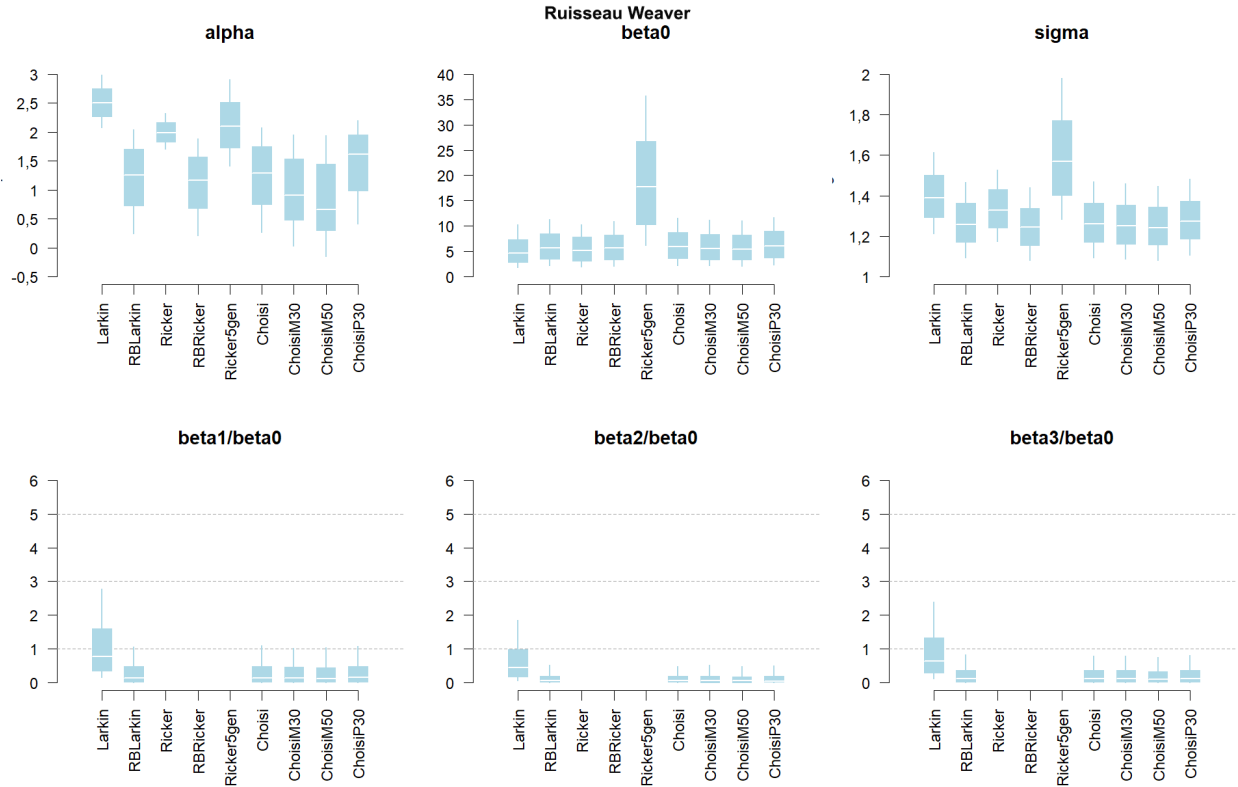


Figure 17. Distributions a posteriori associées aux paramètres de modèles stock-recrutement de rechange – Weaver (UD 10) (élément 13, partie 1). Chaque graphique montre la distribution a posteriori associée à un paramètre pour les cinq modèles stock-recrutement de rechange décrits dans la section 5.3.2, le modèle propre au stock et trois exemples du modèle propre au stock avec une productivité remise à l'échelle. Dans les graphiques, LA = modèle de Larkin; LRB = modèle bayésien de Larkin récursif; RA = modèle de Ricker; RRB = modèle bayésien de Ricker récursif; R5Gen = modèle de Ricker ajusté aux estimations du stock-recrutement de cinq générations d'individus; Meilleur = modèle propre au stock choisi selon le Tableau 6 de la section 5.3.4; MeilleurM30 = meilleur modèle avec un paramètre alpha médian moins 30 %; MeilleurM50 = meilleur modèle avec un paramètre alpha médian moins 50 %; MeilleurP30 = meilleur modèle avec un paramètre alpha médian plus 30 %. Les graphiques du bas montrent les distributions relatives aux termes « Retard – Bêta », remis à l'échelle par rapport à β_0 .

**Ruisseau Weaver Trajectoires des géniteurs : Aucune année où le passage a été bloqué
TE 0**

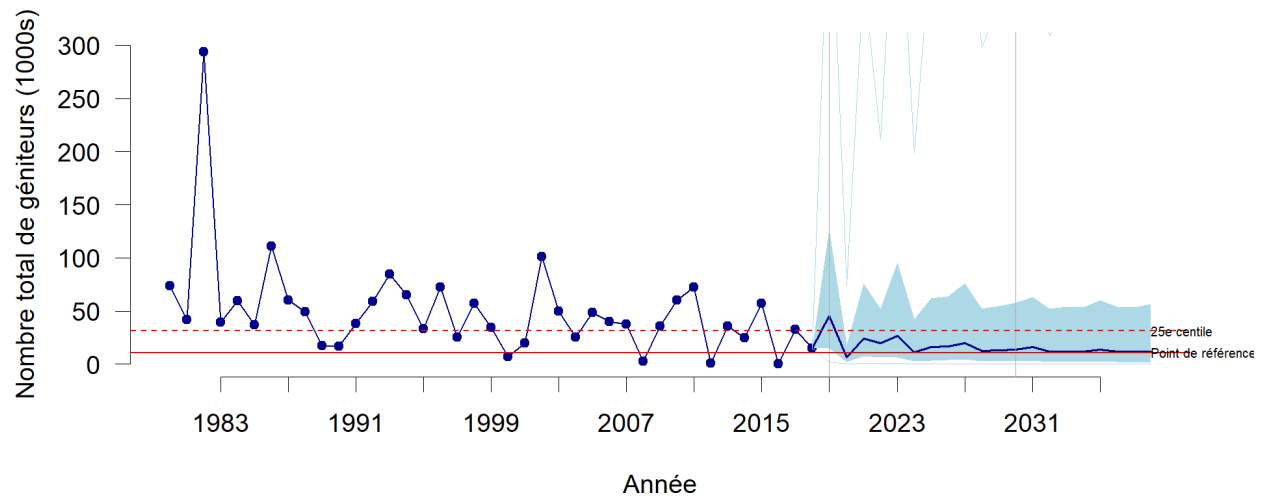


Figure 18. Trajectoire simulée relative au taux d'exploitation maximal qui permettrait probablement à l'UD Weaver (UD 10) de ne plus être désignée en voie de disparition ou menacée selon les hypothèses du scénario de référence (élément 15). La ligne bleue comportant des cercles pleins montre le nombre de géniteurs observés de 1980 à 2018. La partie droite du graphique montre la distribution des abondances de géniteurs simulées (ligne pleine = médiane, aire ombragée bleue = 25 à 75 % et lignes tiretées bleu pâle = 10 à 90 %). La ligne horizontale rouge indique le 25^e centile de toutes les abondances de géniteurs observés. Les lignes verticales grises délimitent la période de trois générations utilisée pour calculer les mesures de rendement décrites dans le Tableau 5.

Ruisseau Weaver - Aucune année où le passage a été bloqué
Cible de Rétablissement 1 **Cible de Rétablissement 2**

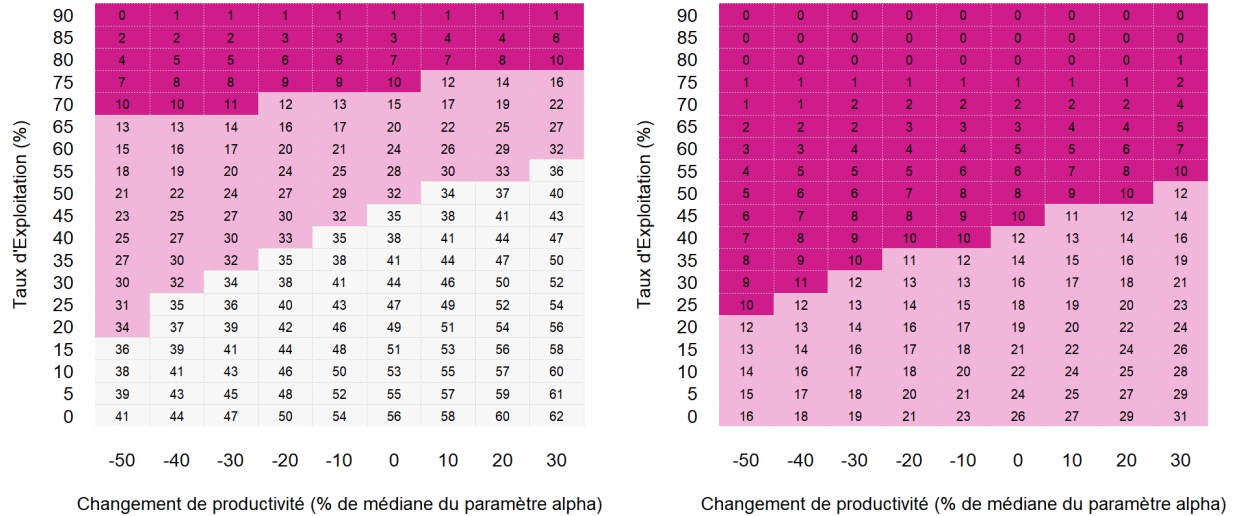


Figure 19. Effet de divers taux d'exploitation selon les scénarios de productivité de recharge pour l'UD Weaver (UD 10) (élément 15). Les deux grilles montrent les résultats simulés concernant l'atteinte des cibles de rétablissement nos 1 et 2 décrites dans la section 5.2. Chaque grille résume les résultats de simulation pour divers taux d'exploitation (axe des y) et changements de productivité (axe des x). Les niveaux de productivité actuels figurent dans la colonne où le changement de productivité est de 0. Les valeurs dans chaque cellule représentent le pourcentage des 5 000 trajectoires simulées qui atteignent la cible de rétablissement. Les couleurs correspondent aux catégories de l'échelle de probabilité du GIEC (Tableau 7), qui varient de « Très probable » en vert foncé à « Très improbable » en magenta foncé. Pour les UD qui frayent en amont du lieu du glissement de terrain de Big Bar, on a modélisé un taux de mortalité en cours de montaison dans les rivières de 99,5 % pour l'année de simulation 2019.

13.1.4. Widgeon (Widgeon – Rivière, UD 24)

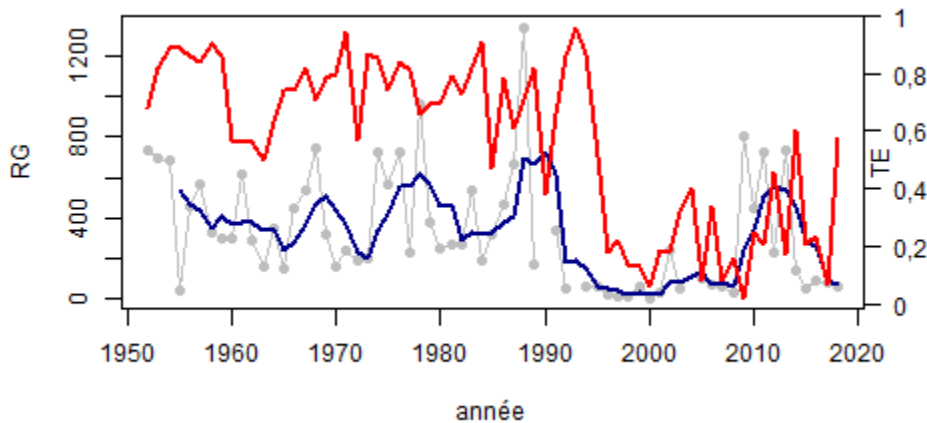


Figure 20. Série chronologique du nombre réel de génitrices (ligne grise = valeurs annuelles et ligne pleine bleue = moyenne pour une génération) et taux d'exploitation (ligne rouge) pour l'UD Widgeon (UD 24) (élément 2).

13.2. UD EN VOIE DE DISPARITION OU MENACÉES – TOUCHÉES PAR LE GLISSEMENT DE TERRAIN DE BIG BAR

13.2.1. Remonte hâtive de la Stuart (Takla-Trembleur-montaison hâtive dans la Stuart, UD 20)

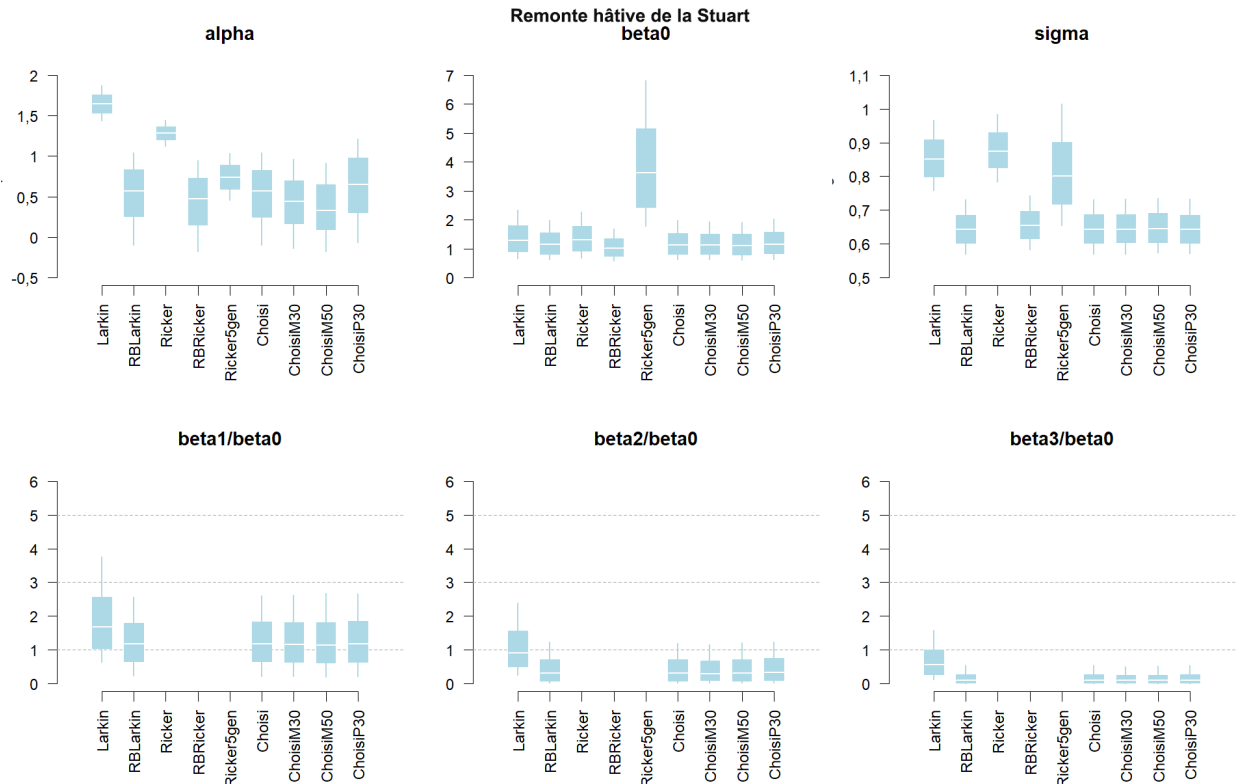


Figure 21. Distributions a posteriori associées aux paramètres de modèles stock-recrutement de rechange – Remonte hâtive de la Stuart (UD 20) (élément 13, partie 1). Chaque graphique montre la distribution a posteriori associée à un paramètre pour les cinq modèles stock-recrutement de rechange décrits dans la section 5.3.2, le modèle propre au stock et trois exemples du modèle propre au stock avec une productivité remise à l'échelle. Dans les graphiques, LA = modèle de Larkin; LRB = modèle bayésien de Larkin récursif; RA = modèle de Ricker; RRB = modèle bayésien de Ricker récursif; R5Gen = modèle de Ricker ajusté aux estimations du stock-recrutement de cinq générations d'individus; MeilleurM = modèle propre au stock choisi selon le Tableau 6 de la section 5.3.4; MeilleurM30 = meilleur modèle avec un paramètre alpha médian moins 30 %; MeilleurM50 = meilleur modèle avec un paramètre alpha médian moins 50 %; MeilleurP30 = meilleur modèle avec un paramètre alpha médian plus 30 %. Les graphiques du bas montrent les distributions relatives aux termes « Retard – Bêta », remis à l'échelle par rapport à β_0 .

Remonte hâtive de la Stuart Trajectoires des géniteurs : Passage bloqué pendant un an (2019)
TE 0

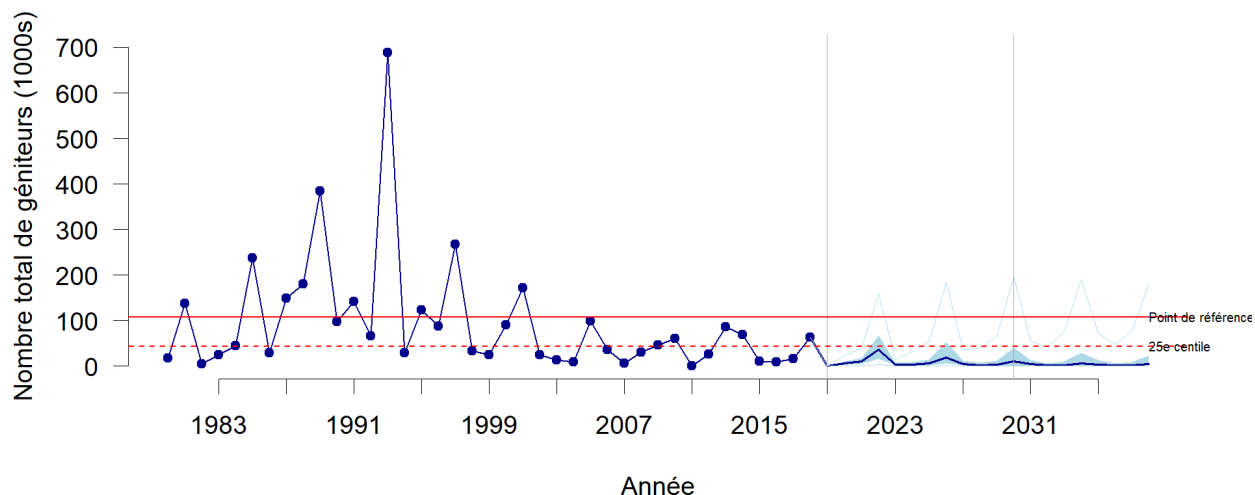


Figure 22. Trajectoire simulée relative au taux d'exploitation maximal qui permettrait probablement à l'UD Remonte hâtive de la Stuart (UD 20) de ne plus être désignée en voie de disparition ou menacée selon les hypothèses du scénario de référence (élément 15). La ligne bleue comportant des cercles pleins montre le nombre de géniteurs observés de 1980 à 2018. La partie droite du graphique montre la distribution des abondances de géniteurs simulées (ligne pleine = médiane, aire ombragée bleue = 25 à 75 % et lignes tiretées bleu pâle = 10 à 90 %). La ligne horizontale rouge indique le 25^e centile de toutes les abondances de géniteurs observés. Les lignes verticales grises délimitent la période de trois générations utilisée pour calculer les mesures de rendement décrites dans le Tableau 5.

Remonte hâtive de la Stuart - Passage bloqué pendant un an (2019)

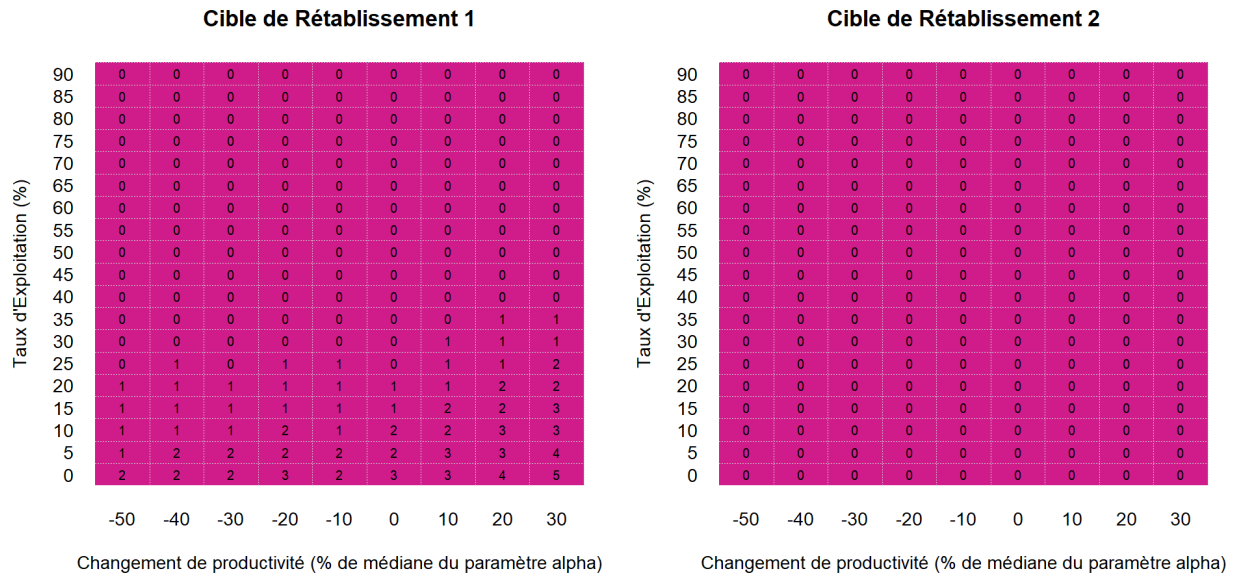


Figure 23. Effet de divers taux d'exploitation selon les scénarios de productivité de rechange pour l'UD Remonte hâtive de la Stuart (UD 20) (élément 15). Les deux grilles montrent les résultats simulés concernant l'atteinte des cibles de rétablissement n^{os} 1 et 2 décrites dans la section 5.2. Chaque grille résume les résultats de simulation pour divers taux d'exploitation (axe des y) et changements de productivité (axe des x). Les niveaux de productivité actuels figurent dans la colonne où le changement de productivité est de 0. Les valeurs dans chaque cellule représentent le pourcentage des 5 000 trajectoires simulées qui atteignent la cible de rétablissement. Les couleurs correspondent aux catégories de l'échelle de probabilité du GIEC (Tableau 7), qui varient de « Très probable » en vert foncé à « Très improbable » en magenta foncé. Pour les UD qui frayent en amont du lieu du glissement de terrain de Big Bar, on a modélisé un taux de mortalité en cours de montaison dans les rivières de 99,5 % pour l'année de simulation 2019.

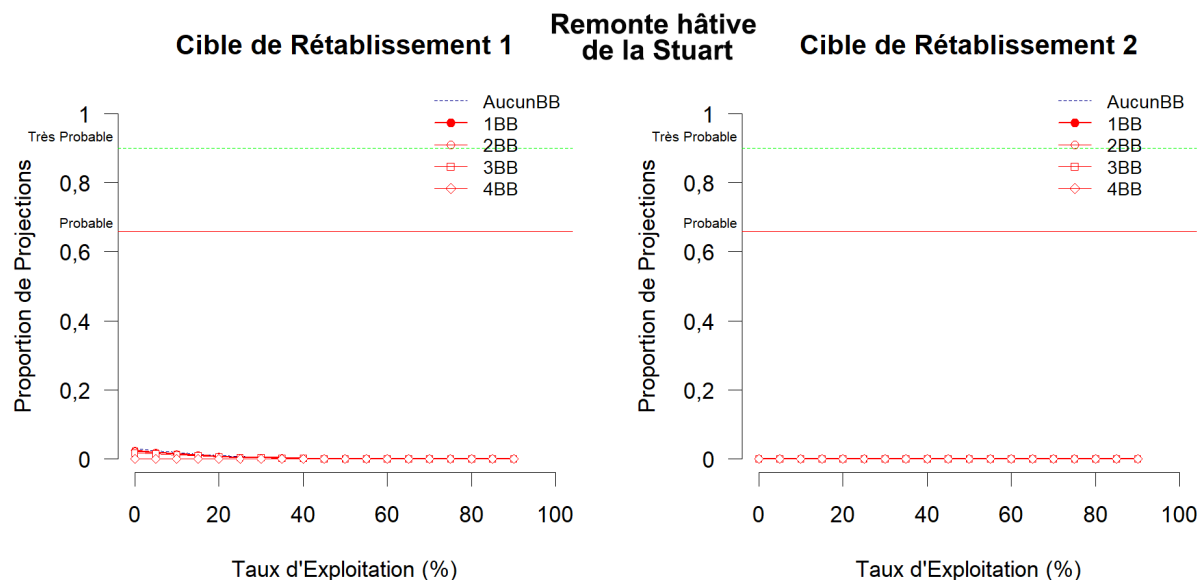


Figure 24. Effet de divers taux d'exploitation selon des scénarios de recharge représentant les effets du glissement de terrain de Big Bar pour l'UD Remonte hâtive de la Stuart (UD 20) (élément 20). Les deux graphiques montrent les résultats simulés concernant l'atteinte des cibles de rétablissement n^{os} 1 et 2 décrites dans la section 5.2. Chaque graphique résume les résultats des simulations selon divers taux d'exploitation pour les scénarios des effets du glissement de terrain de Big Bar décrits dans la section 6.1.3. Dans le graphique, ces scénarios sont représentés comme suit : 1 an – BB = taux de mortalité de 99,5 % appliqué à l'année de montaison 2019, 2 ans – BB = taux de mortalité de 99,5 % appliqué aux années de montaison 2019 et 2020, et ainsi de suite. La ligne rouge épaisse comportant des cercles pleins correspond à la colonne associée à un changement de productivité de 0 dans les grilles de la figure précédente. La ligne horizontale rouge indique la catégorie « Probable » de l'échelle de la GIEC et la ligne tiretée verte, la catégorie « Très probable » (Tableau 7).

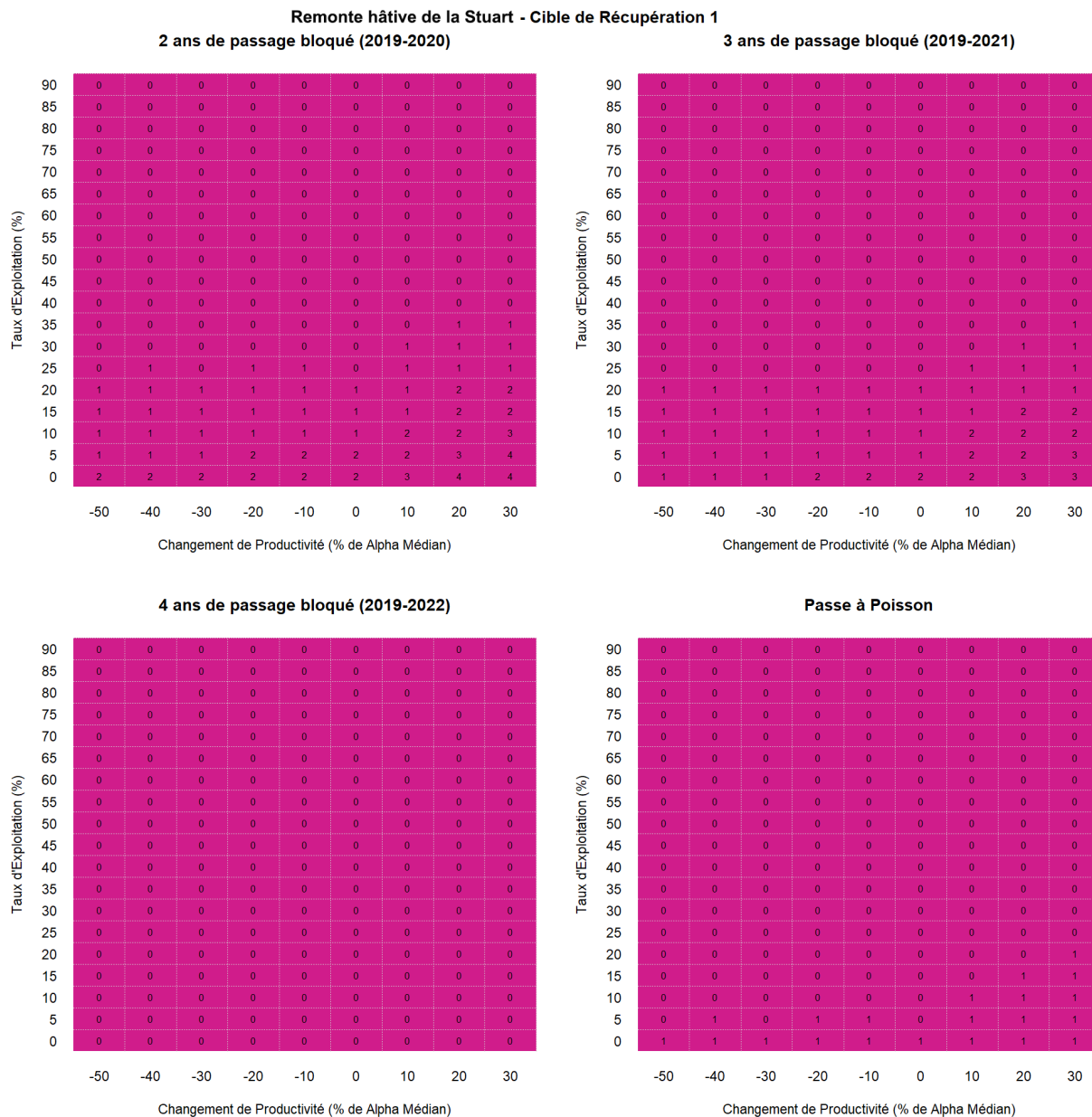


Figure 25. Effet de divers taux d'exploitation et de différents scénarios de recharge relatifs au glissement de terrain de Big Bar selon les scénarios de productivité de recharge pour l'UD Remonte hâtive de la Stuart (UD 20, Takla-Trembleur-montaison hâtive dans la Stuart). Chaque grille montre les résultats simulés concernant l'atteinte de la cible de rétablissement n° 1 (section 5.2) selon l'un des scénarios de recharge relatifs au glissement de terrain. La disposition des grilles est la même que celle des autres figures présentant des grilles. Les grilles représentant le passage bloqué montrent l'incidence d'un taux de mortalité en cours de montaison de 99,5 % attribuable aux répercussions du glissement de terrain pendant les années précisées et l'autre grille représente le scénario de passe migratoire décrit dans la section 6.1.3.

13.2.2. Bowron (Bowron-DE, UD 2)

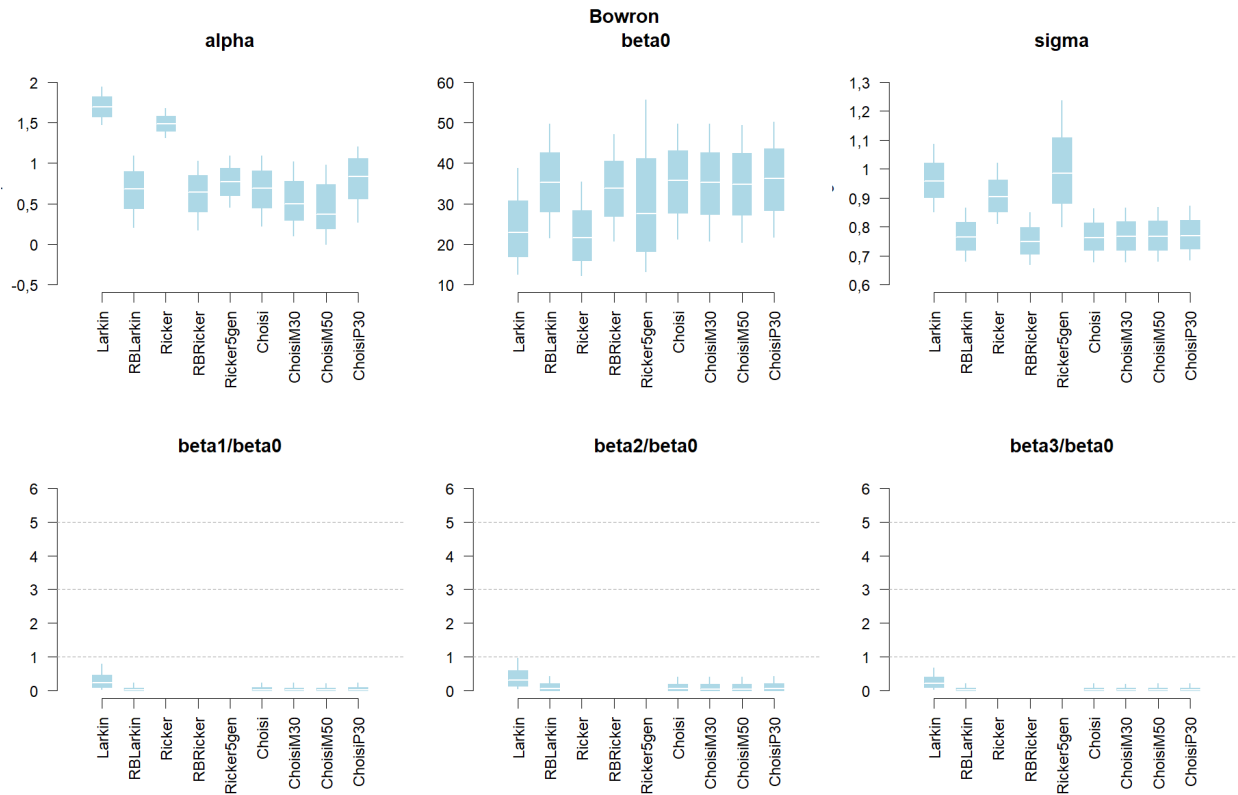


Figure 26. Distributions a posteriori associées aux paramètres de modèles stock-recrutement de recharge – Bowron (UD 2) (élément 13, partie 1). Chaque graphique montre la distribution a posteriori associée à un paramètre pour les cinq modèles stock-recrutement de recharge décrits dans la section 5.3.2, le modèle propre au stock et trois exemples du modèle propre au stock avec une productivité remise à l'échelle. Dans les graphiques, LA = modèle de Larkin; LRB = modèle bayésien de Larkin récursif; RA = modèle de Ricker; RRB = modèle bayésien de Ricker récursif; R5Gen = modèle de Ricker ajusté aux estimations du stock-recrutement de cinq générations d'individus; Meilleur = modèle propre au stock choisi selon le Tableau 6 de la section 5.3.4; MeilleurM30 = meilleur modèle avec un paramètre alpha médian moins 30 %; MeilleurM50 = meilleur modèle avec un paramètre alpha médian moins 50 %; MeilleurP30 = meilleur modèle avec un paramètre alpha médian plus 30 %. Les graphiques du bas montrent les distributions relatives aux termes « Retard – Bêta », remis à l'échelle par rapport à β_0 .

Bowron Trajectoires des géniteurs : Passage bloqué pendant un an (2019)
TE 0

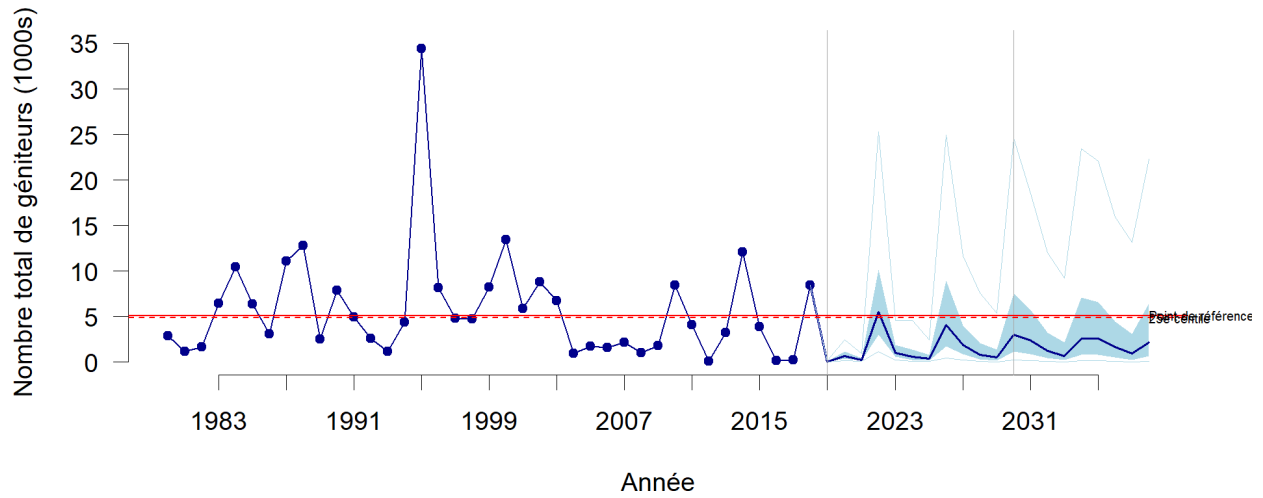
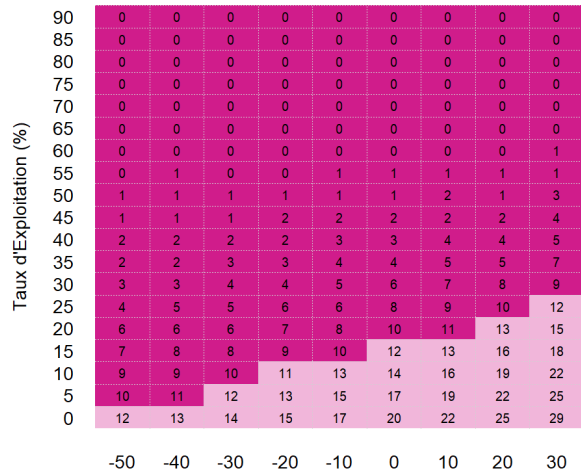


Figure 27. Trajectoire simulée relative au taux d'exploitation maximal qui permettrait probablement à l'UD Bowron (UD 2) de ne plus être désignée en voie de disparition ou menacée selon les hypothèses du scénario de référence (élément 15). La ligne bleue comportant des cercles pleins montre le nombre de géniteurs observés de 1980 à 2018. La partie droite du graphique montre la distribution des abondances de géniteurs simulées (ligne pleine = médiane, aire ombragée bleue = 25 à 75 % et lignes tiretées bleu pâle = 10 à 90 %). La ligne horizontale rouge indique le 25^e centile de toutes les abondances de géniteurs observés. Les lignes verticales grises délimitent la période de trois générations utilisée pour calculer les mesures de rendement décrites dans le Tableau 5.

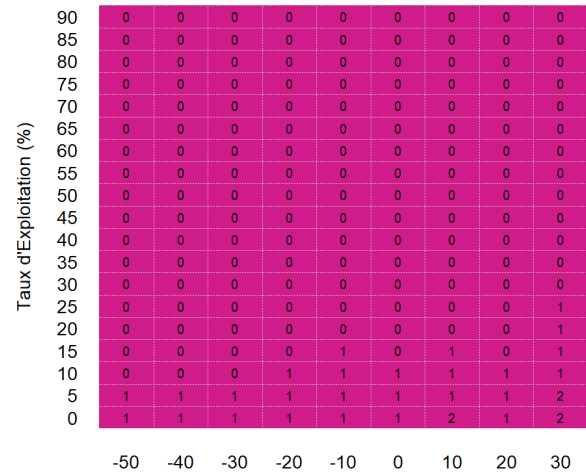
Bowron - Passage bloqué pendant un an (2019)

Cible de Rétablissement 1



Changement de productivité (% de médiane du paramètre alpha)

Cible de Rétablissement 2



Changement de productivité (% de médiane du paramètre alpha)

Figure 28. Effet de divers taux d'exploitation selon les scénarios de productivité de recharge pour l'UD Bowron (UD 2) (élément 15). Les deux grilles montrent les résultats simulés concernant l'atteinte des cibles de rétablissement n^{os} 1 et 2 décrites dans la section 5.2. Chaque grille résume les résultats de simulation pour divers taux d'exploitation (axe des y) et changements de productivité (axe des x). Les niveaux de productivité actuels figurent dans la colonne où le changement de productivité est de 0. Les valeurs dans chaque cellule représentent le pourcentage des 5 000 trajectoires simulées qui atteignent la cible de rétablissement. Les couleurs correspondent aux catégories de l'échelle de probabilité du GIEC (Tableau 7), qui varient de « Très probable » en vert foncé à « Très improbable » en magenta foncé. Pour les UD qui frayent en amont du lieu du glissement de terrain de Big Bar, on a modélisé un taux de mortalité en cours de montaison dans les rivières de 99,5 % pour l'année de simulation 2019.

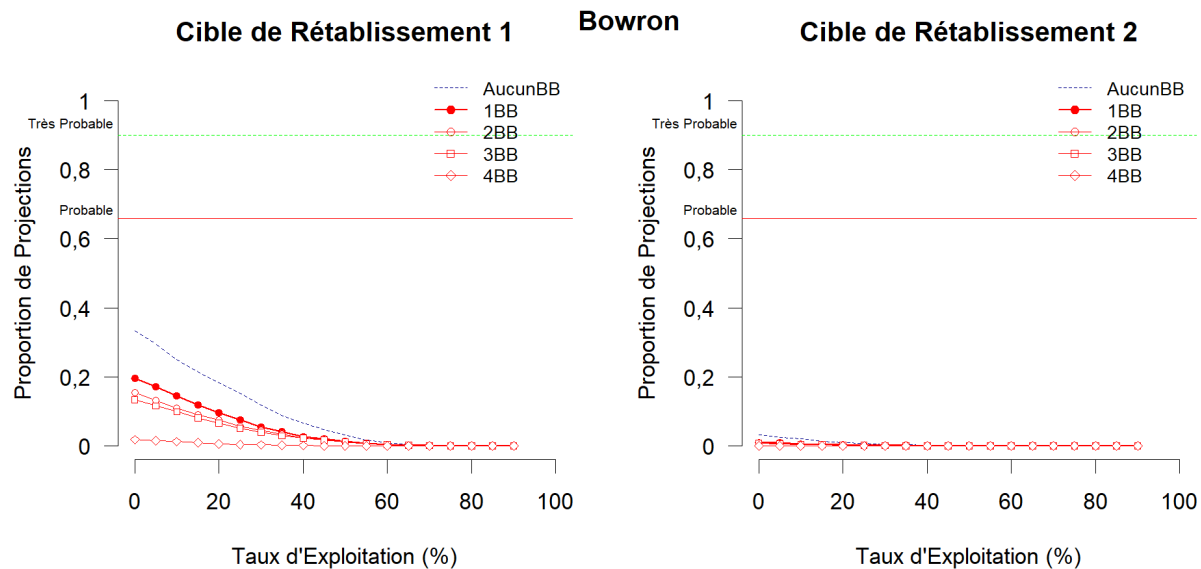


Figure 29. Effet de divers taux d'exploitation selon des scénarios de recharge représentant les effets du glissement de terrain de Big Bar pour l'UD Bowron (UD 2) (élément 20). Les deux graphiques montrent les résultats simulés concernant l'atteinte des cibles de rétablissement n^{os} 1 et 2 décrites dans la section 5.2. Chaque graphique résume les résultats des simulations selon divers taux d'exploitation pour les scénarios des effets du glissement de terrain de Big Bar décrits dans la section 6.1.3. Dans le graphique, ces scénarios sont représentés comme suit : 1 an – BB = taux de mortalité de 99,5 % appliqué à l'année de montaison 2019, 2 ans – BB = taux de mortalité de 99,5 % appliqué aux années de montaison 2019 et 2020, et ainsi de suite. La ligne rouge épaisse comportant des cercles pleins correspond à la colonne associée à un changement de productivité de 0 dans les grilles de la figure précédente. La ligne horizontale rouge indique la catégorie « Probable » de l'échelle de la GIEC et la ligne tiretée verte, la catégorie « Très probable » (Tableau 7).

Bowron - Cible de Récupération 1

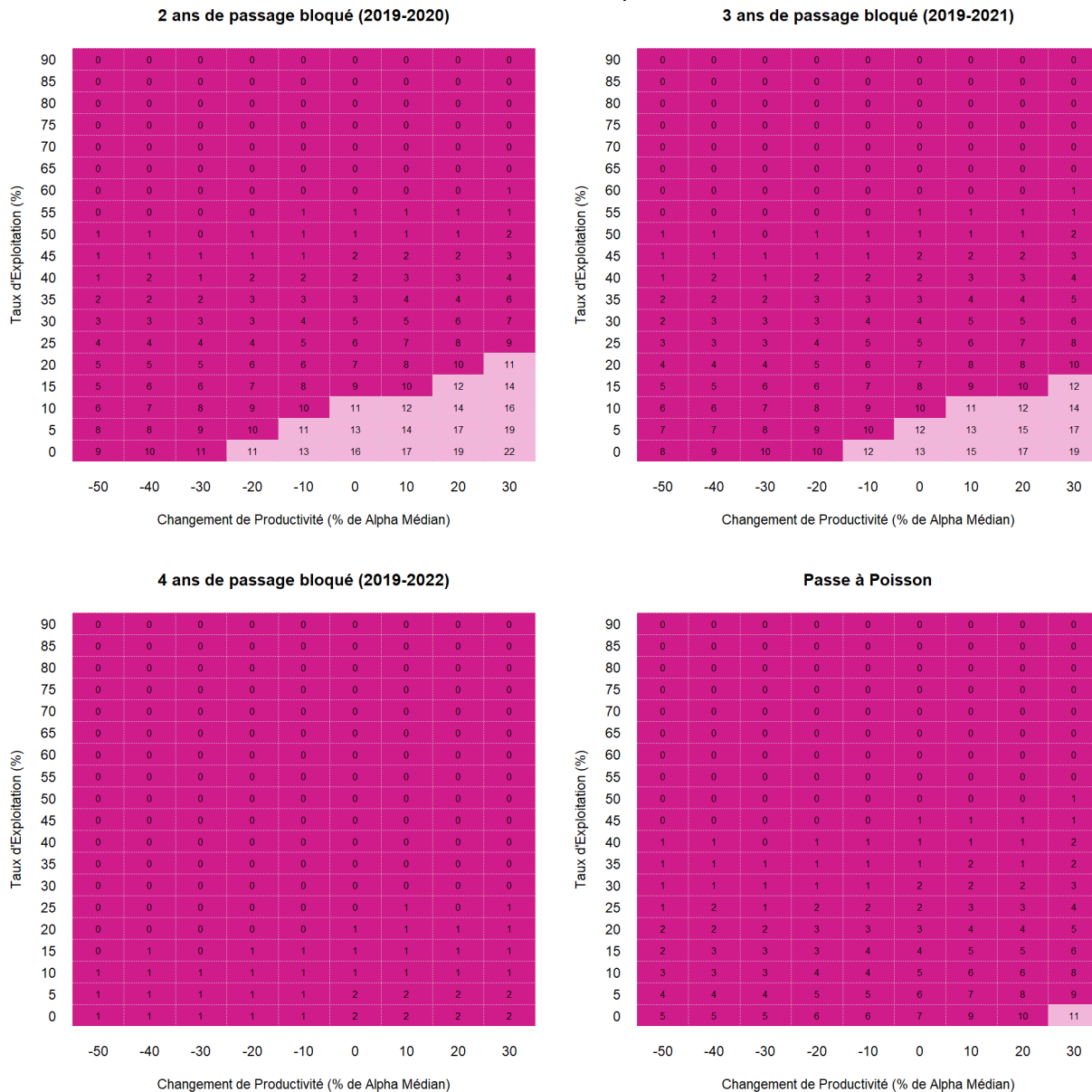


Figure 30. Effet de divers taux d'exploitation et de différents scénarios de recharge relatifs au glissement de terrain de Big Bar selon les scénarios de productivité de recharge pour l'UD Bowron (UD 2) (élément 20). Chaque grille montre les résultats simulés concernant l'atteinte de la cible de rétablissement n° 1 (section 5.2) selon l'un des scénarios de recharge relatifs au glissement de terrain. La disposition des grilles est la même que celle des autres figures présentant des grilles. Les grilles représentant le passage bloqué montrent l'incidence d'un taux de mortalité en cours de montaison de 99,5 % attribuable aux répercussions du glissement de terrain pendant les années précisées et l'autre grille représente le scénario de passe migratoire décrit dans la section 6.1.3.

13.2.3. Quesnel (Quesnel-E, UD 16)

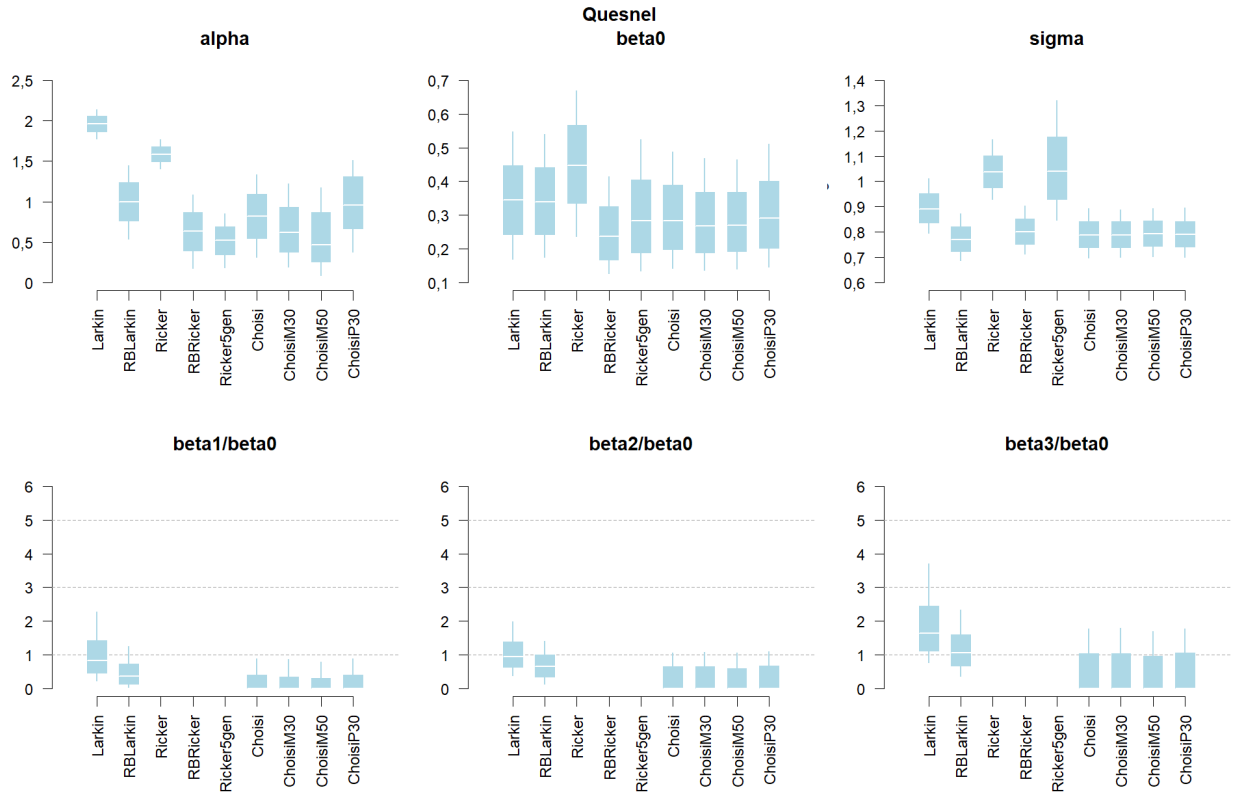


Figure 31. Distributions a posteriori associées aux paramètres de modèles stock-recrutement de rechange – Quesnel (UD 16) (élément 13, partie 1). Chaque graphique montre la distribution a posteriori associée à un paramètre pour les cinq modèles stock-recrutement de rechange décrits dans la section 5.3.2, les modèles propres au stock et trois exemples de modèles propres au stock avec une productivité remise à l'échelle. Dans les graphiques, LA = modèle de Larkin; LRB = modèle bayésien de Larkin récursif; RA = modèle de Ricker; RRB = modèle bayésien de Ricker récursif; R5Gen = modèle de Ricker ajusté aux estimations du stock-recrutement de cinq générations d'individus; Meilleur = modèles propres au stock choisis selon le Tableau 6 de la section 5.3.4; MeilleurM30 = meilleurs modèles avec un paramètre alpha médian moins 30 %; MeilleurM50 = meilleurs modèles avec un paramètre alpha médian moins 50 %; MeilleurP30 = meilleurs modèles avec un paramètre alpha médian plus 30 %. Les graphiques du bas montrent les distributions relatives aux termes « Retard – Bêta », remis à l'échelle par rapport à β_0 .

Quesnel Trajectoires des géniteurs : Passage bloqué pendant un an (2019)
TE 25

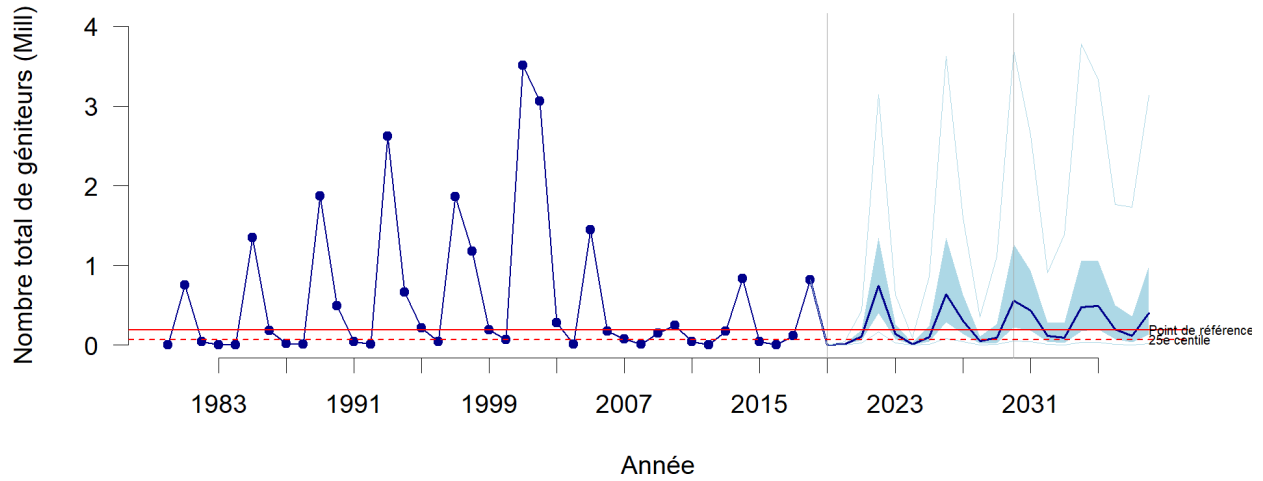


Figure 32. Trajectoire simulée relative au taux d'exploitation maximal qui permettrait probablement à l'UD Quesnel (UD 16) de ne plus être désignée en voie de disparition ou menacée selon les hypothèses du scénario de référence (élément 15). La ligne bleue comportant des cercles pleins montre le nombre de géniteurs observés de 1980 à 2018. La partie droite du graphique montre la distribution des abondances de géniteurs simulées (ligne pleine = médiane, aire ombragée bleue = 25 à 75 % et lignes tiretées bleu pâle = 10 à 90 %). La ligne horizontale rouge indique le 25^e centile de toutes les abondances de géniteurs observés. Les lignes verticales grises délimitent la période de trois générations utilisée pour calculer les mesures de rendement décrites dans le Tableau 5.

Quesnel - Passage bloqué pendant un an (2019)

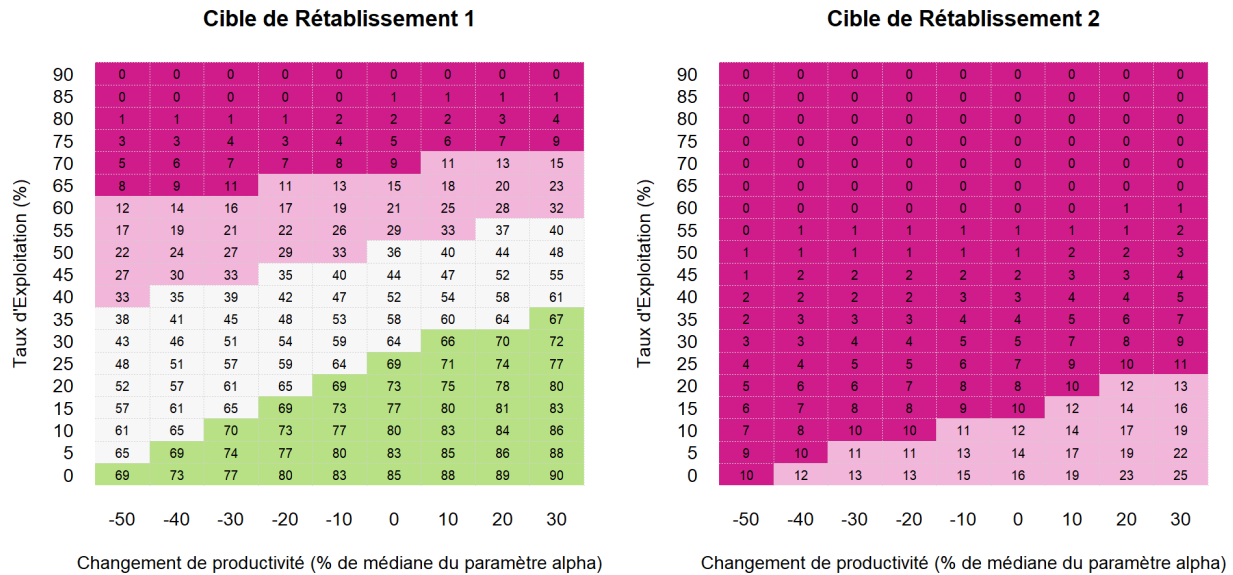


Figure 33. Effet de divers taux d'exploitation selon les scénarios de productivité de recharge pour l'UD Quesnel (UD 16) (élément 15). Les deux grilles montrent les résultats simulés concernant l'atteinte des cibles de rétablissement n^{os} 1 et 2 décrites dans la section 5.2. Chaque grille résume les résultats de simulation pour divers taux d'exploitation (axe des y) et changements de productivité (axe des x). Les niveaux de productivité actuels figurent dans la colonne où le changement de productivité est de 0. Les valeurs dans chaque cellule représentent le pourcentage des 5 000 trajectoires simulées qui atteignent la cible de rétablissement. Les couleurs correspondent aux catégories de l'échelle de probabilité du GIEC (Tableau 7), qui varient de « Très probable » en vert foncé à « Très improbable » en magenta foncé. Pour les UD qui frayent en amont du lieu du glissement de terrain de Big Bar, on a modélisé un taux de mortalité en cours de montaison dans les rivières de 99,5 % pour l'année de simulation 2019.

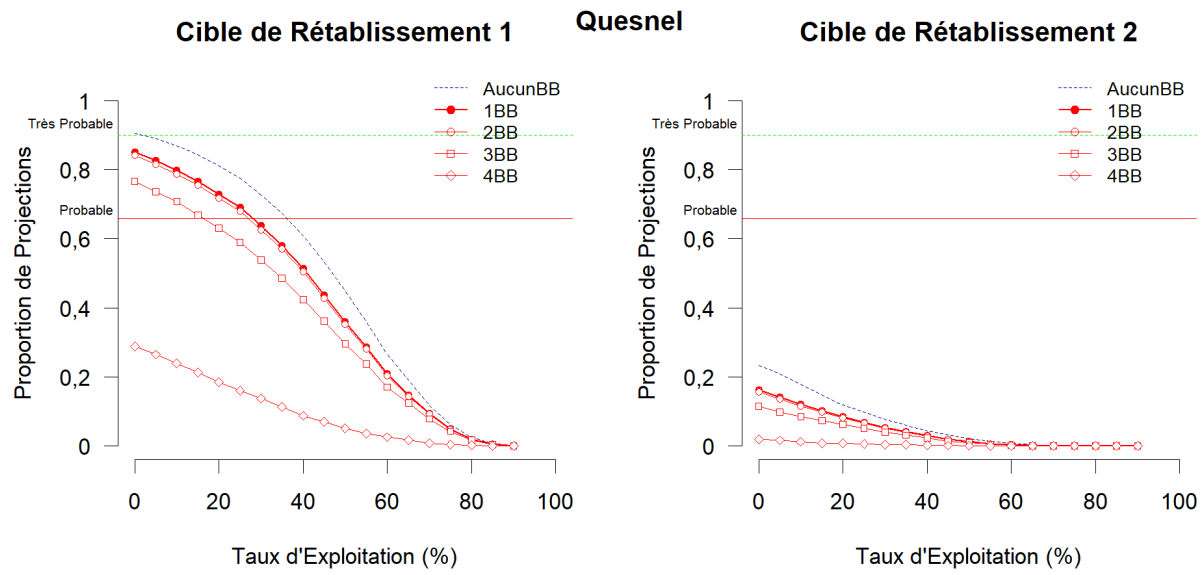


Figure 34. Effet de divers taux d'exploitation selon des scénarios de recharge représentant les effets du glissement de terrain de Big Bar pour l'UD Quesnel (UD 16) (élément 20). Les deux graphiques montrent les résultats simulés concernant l'atteinte des cibles de rétablissement n^{os} 1 et 2 décrites dans la section 5.2. Chaque graphique résume les résultats des simulations selon divers taux d'exploitation pour les scénarios des effets du glissement de terrain de Big Bar décrits dans la section 6.1.3. Dans le graphique, ces scénarios sont représentés comme suit : 1 an – BB = taux de mortalité de 99,5 % appliqué à l'année de montaison 2019, 2 ans – BB = taux de mortalité de 99,5 % appliqué à aux années de montaison 2019 et 2020, et ainsi de suite. La ligne rouge épaisse comportant des cercles pleins correspond à la colonne associée à un changement de productivité de 0 % dans les grilles de la figure précédente. La ligne horizontale rouge indique la catégorie « Probable » de l'échelle de la GIEC et la ligne tiretée verte indique la catégorie « Très probable » (Tableau 7).

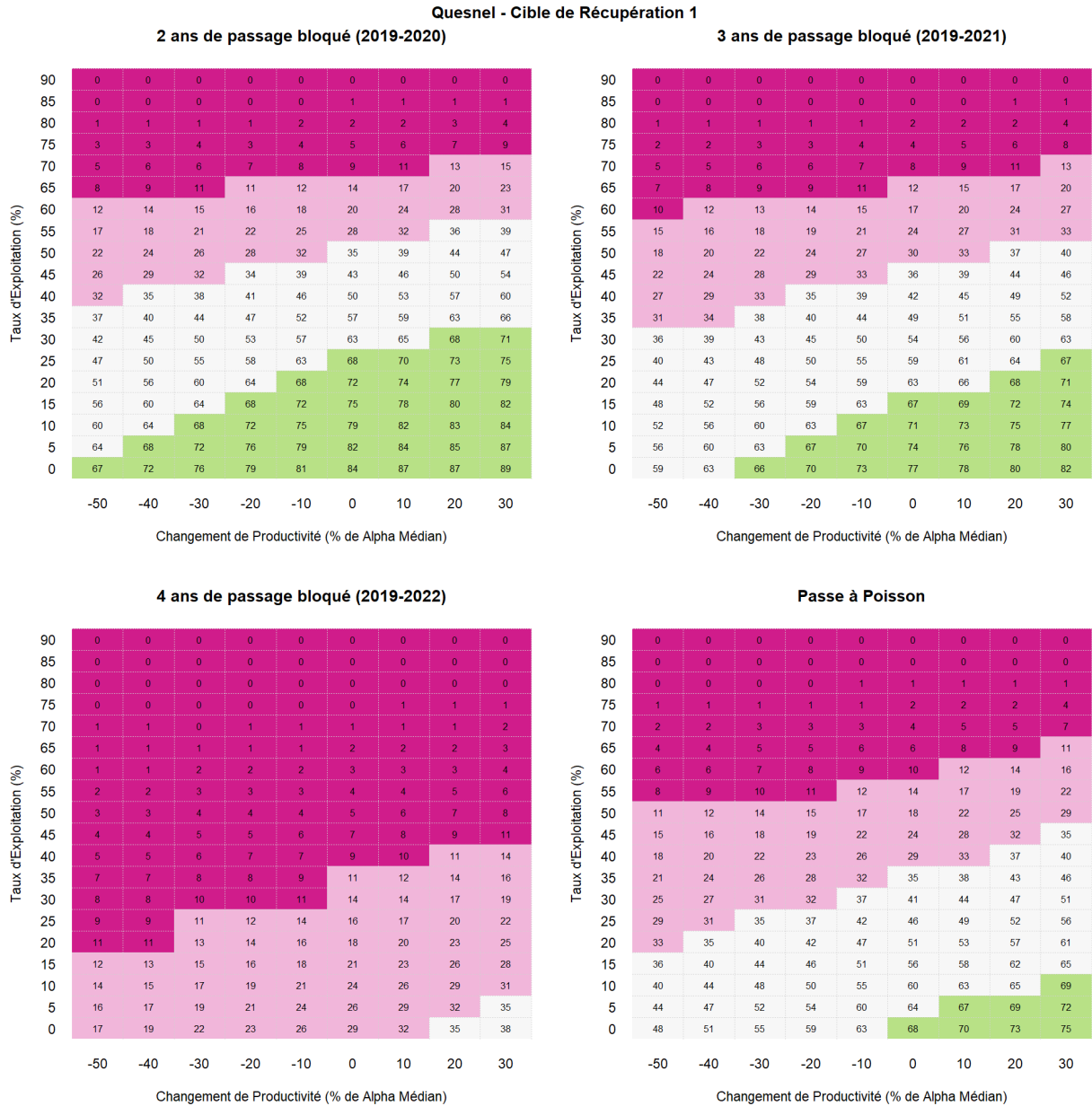


Figure 35. Effet de divers taux d'exploitation et de différents scénarios de recharge relatifs au glissement de terrain de Big Bar selon les scénarios de productivité de recharge pour l'UD Quesnel (UD 16) (élément 20). Chaque grille montre les résultats simulés concernant l'atteinte de la cible de rétablissement n° 1 (section 5.2) selon l'un des scénarios de recharge relatifs au glissement de terrain. La disposition des grilles est la même que celle des autres figures présentant des grilles. Les grilles représentant le passage bloqué montrent l'incidence d'un taux de mortalité en cours de moutaison de 99,5 % attribuable aux répercussions du glissement de terrain pendant les années précisées et l'autre grille représente le scénario de passe migratoire décrit dans la section 6.1.3.

13.2.4. Remonte tardive de la Stuart (Takla-Trembleur-Stuart-E, UD 21)

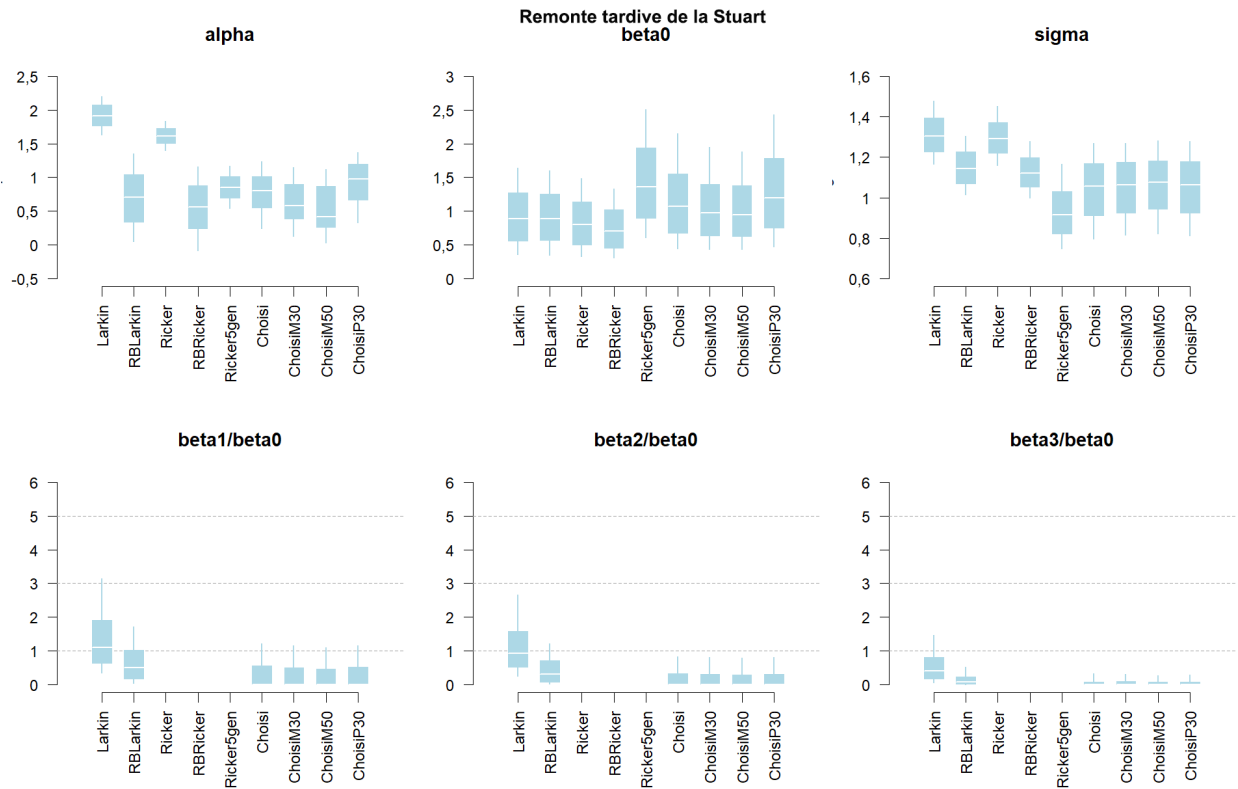


Figure 36. Distributions a posteriori associées aux paramètres de modèles stock-recrutement de rechange – Remonte tardive de la Stuart (UD 21) (élément 13, partie 1). Chaque graphique montre la distribution a posteriori associée à un paramètre pour les cinq modèles stock-recrutement de rechange décrits dans la section 5.3.2, les modèles propres au stock et trois exemples de modèles propres au stock avec une productivité remise à l'échelle. Dans les graphiques, LA = modèle de Larkin; LRB = modèle bayésien de Larkin récursif; RA = modèle de Ricker; RRB = modèle bayésien de Ricker récursif; R5Gen = modèle de Ricker ajusté aux estimations du stock-recrutement de cinq générations d'individus; Meilleur = modèles propres au stock choisis selon le Tableau 6 de la section 5.3.4; MeilleurM30 = meilleurs modèles avec un paramètre alpha médian moins 30 %; MeilleurM50 = meilleurs modèles avec un paramètre alpha médian moins 50 %; MeilleurP30 = meilleurs modèles avec un paramètre alpha médian plus 30 %. Les graphiques du bas montrent les distributions relatives aux termes « Retard – Bêta », remis à l'échelle par rapport à β_0 .

Remonte tardive de la Stuart Trajectoires des géniteurs : Passage bloqué pendant un an (2019)
TE 25

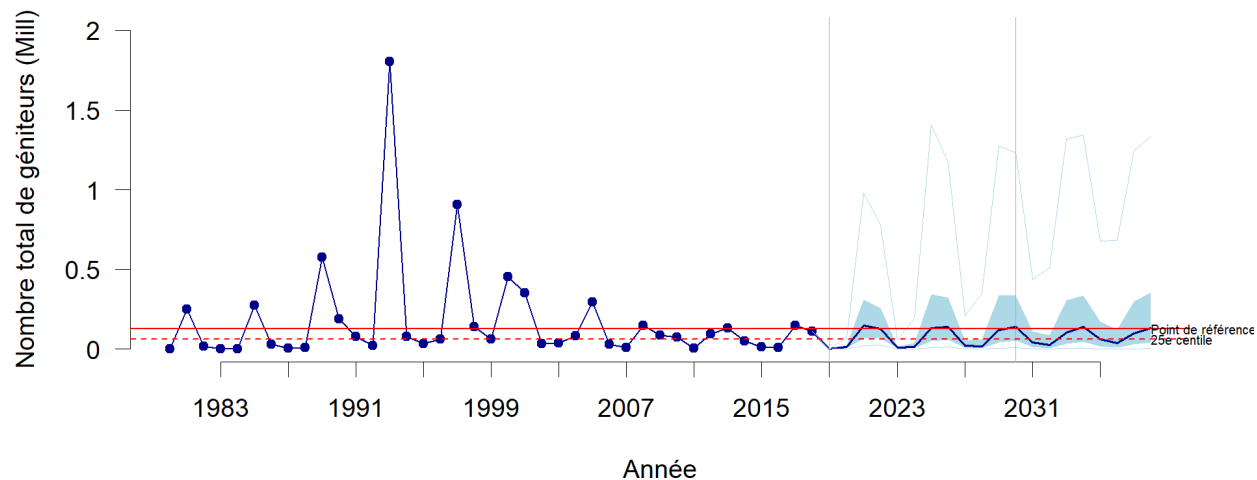
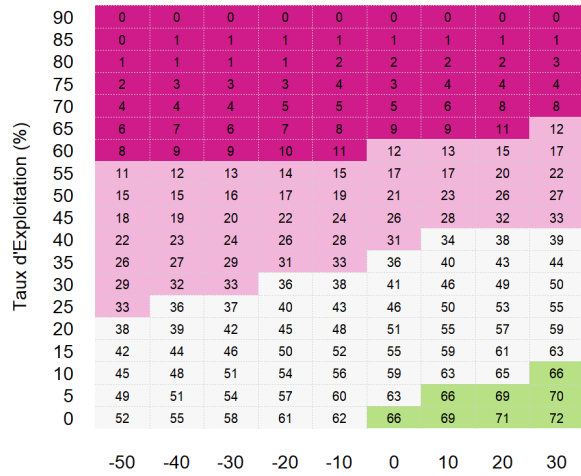


Figure 37. Trajectoire simulée relative au taux d'exploitation maximal qui permettrait probablement à l'UD Remonte tardive de la Stuart (UD 21) de ne plus être désignée en voie de disparition ou menacée selon les hypothèses du scénario de référence (élément 15). La ligne bleue comportant des cercles pleins montre le nombre de géniteurs observés de 1980 à 2018. La partie droite du graphique montre la distribution des abondances de géniteurs simulées (ligne pleine = médiane, aire ombragée bleue = 25 à 75 % et lignes tiretées bleu pâle = 10 à 90 %). La ligne horizontale rouge indique le 25^e centile de toutes les abondances de géniteurs observés. Les lignes verticales grises délimitent la période de trois générations utilisée pour calculer les mesures de rendement décrites dans le Tableau 5.

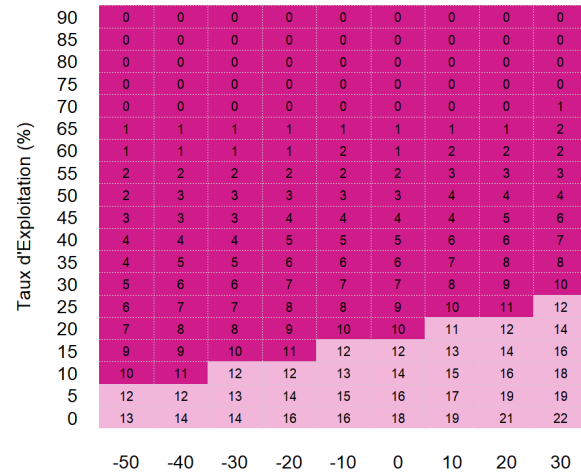
Remonte tardive de la Stuart - Passage bloqué pendant un an (2019)

Cible de Rétablissement 1



Changement de productivité (% de médiane du paramètre alpha)

Cible de Rétablissement 2



Changement de productivité (% de médiane du paramètre alpha)

Figure 38. Effet de divers taux d'exploitation selon les scénarios de productivité de recharge pour l'UD Remonte tardive de la Stuart (UD 21) (élément 15). Les deux grilles montrent les résultats simulés concernant l'atteinte des cibles de rétablissement n^{os} 1 et 2 décrites dans la section 5.2. Chaque grille résume les résultats de simulation pour divers taux d'exploitation (axe des y) et changements de productivité (axe des x). Les niveaux de productivité actuels figurent dans la colonne où le changement de productivité est de 0. Les valeurs dans chaque cellule représentent le pourcentage des 5 000 trajectoires simulées qui atteignent la cible de rétablissement. Les couleurs correspondent aux catégories de l'échelle de probabilité du GIEC (Tableau 7), qui varient de « Très probable » en vert foncé à « Très improbable » en magenta foncé. Pour les UD qui frayent en amont du lieu du glissement de terrain de Big Bar, on a modélisé un taux de mortalité en cours de montaison dans les rivières de 99,5 % pour l'année de simulation 2019.

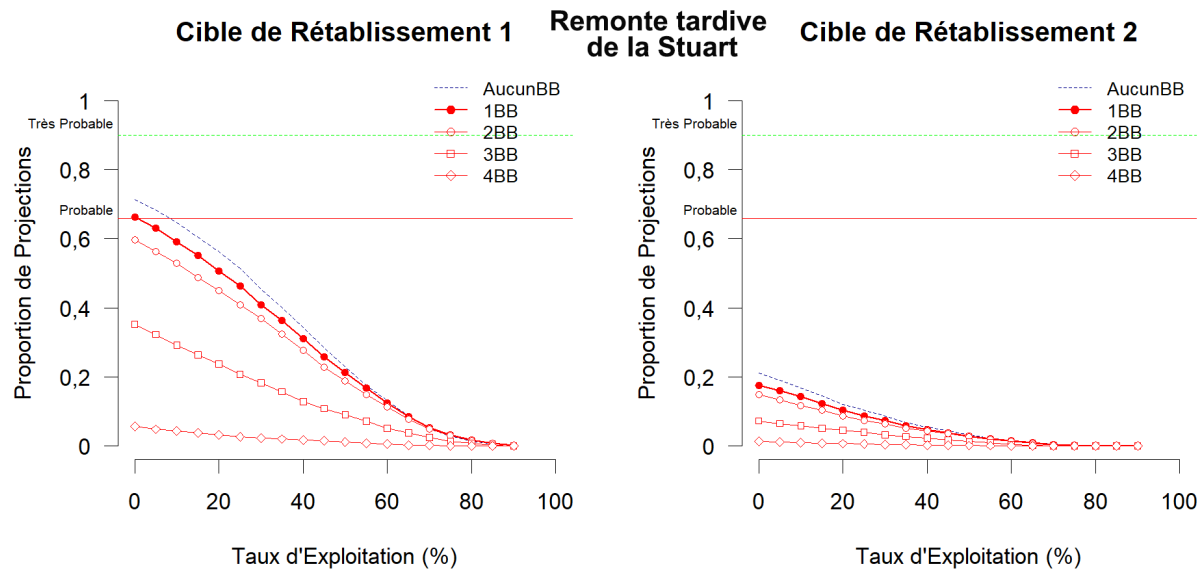


Figure 39. Effet de divers taux d'exploitation selon des scénarios de recharge représentant les effets du glissement de terrain de Big Bar pour l'UD Remonte tardive de la Stuart (UD 21) (élément 20). Les deux graphiques montrent les résultats simulés concernant l'atteinte des cibles de rétablissement n^{os} 1 et 2 décrites dans la section 5.2. Chaque graphique résume les résultats des simulations selon divers taux d'exploitation pour les scénarios des effets du glissement de terrain de Big Bar décrits dans la section 6.1.3. Dans le graphique, ces scénarios sont représentés comme suit : 1 an – BB = taux de mortalité de 99,5 % appliqué à l'année de montaison 2019, 2 ans – BB = taux de mortalité de 99,5 % appliqué à aux années de montaison 2019 et 2020, et ainsi de suite. La ligne rouge épaisse comportant des cercles pleins correspond à la colonne associée à un changement de productivité de 0 % dans les grilles de la figure précédente. La ligne horizontale rouge indique la catégorie « Probable » de l'échelle de la GIEC et la ligne tiretée verte indique la catégorie « Très probable » (Tableau 7).



Figure 40. Effet de divers taux d'exploitation et de différents scénarios de recharge relatifs au glissement de terrain de Big Bar selon les scénarios de productivité de recharge pour l'UD Remonte tardive de la Stuart (UD 21) (élément 20). Chaque grille montre les résultats simulés concernant l'atteinte de la cible de rétablissement n° 1 (section 5.2) selon l'un des scénarios de recharge relatifs au glissement de terrain. La disposition des grilles est la même que celle des autres figures présentant des grilles. Les grilles représentant le passage bloqué montrent l'incidence d'un taux de mortalité en cours de montaison de 99,5 % attribuable aux répercussions du glissement de terrain pendant les années précisées et l'autre grille représente le scénario de passe migratoire décrit dans la section 6.1.3.

13.2.5. Taseko (Taseko-DE, UD 22)

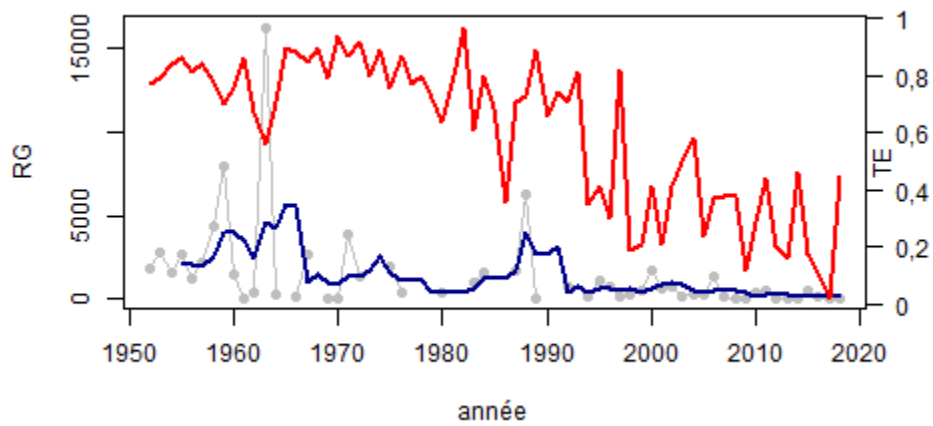


Figure 41. Série chronologique du nombre réel de génitrices (ligne grise = valeurs annuelles et ligne pleine bleue = moyenne pour une génération) et taux d'exploitation (ligne rouge) pour l'UD Taseko (UD 22) (élément 2).

13.3. UD PRÉOCCUPANTES

13.3.1. Raft* (Kamloops-DE, UD 11)

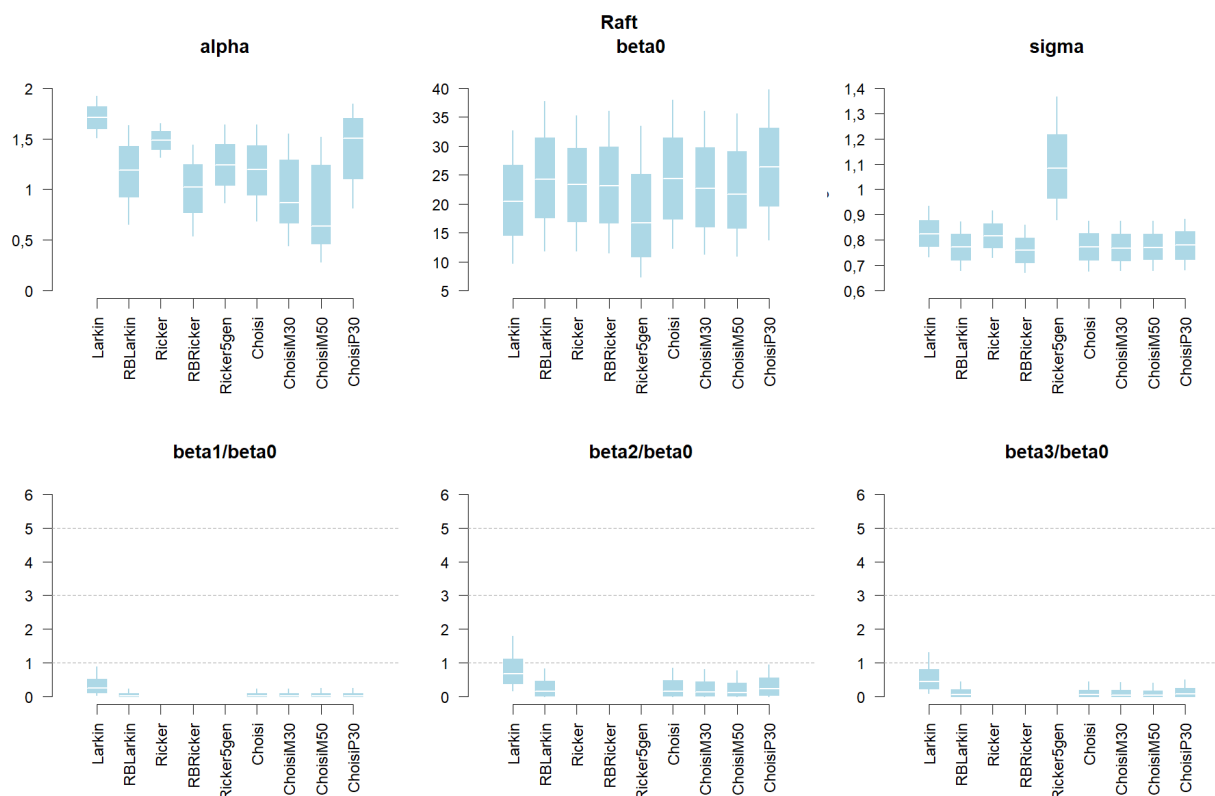


Figure 42. Distributions a posteriori associées aux paramètres de modèles stock-recrutement de recharge – Raft* (UD 11) (élément 13, partie 1). Chaque graphique montre la distribution a posteriori associée à un paramètre pour les cinq modèles stock-recrutement de recharge décrits dans la section 5.3.2, le modèle propre au stock et trois exemples du modèle propre au stock avec une productivité remise à l'échelle. Dans les graphiques, LA = modèle de Larkin; LRB = modèle bayésien de Larkin récursif; RA = modèle de Ricker; RRB = modèle bayésien de Ricker récursif; R5Gen = modèle de Ricker ajusté aux estimations du stock-recrutement de cinq générations d'individus; Meilleur = modèle propre au stock choisi selon le Tableau 6 de la section 5.3.4; MeilleurM30 = meilleur modèle avec un paramètre alpha médian moins 30 %; MeilleurM50 = meilleur modèle avec un paramètre alpha médian moins 50 %; MeilleurP30 = meilleur modèle avec un paramètre alpha médian plus 30 %. Les graphiques du bas montrent les distributions relatives aux termes « Retard – Bêta », remis à l'échelle par rapport à β_0 .

**Raft Trajectoires des géniteurs : Aucune année où le passage a été bloqué
TE 0**

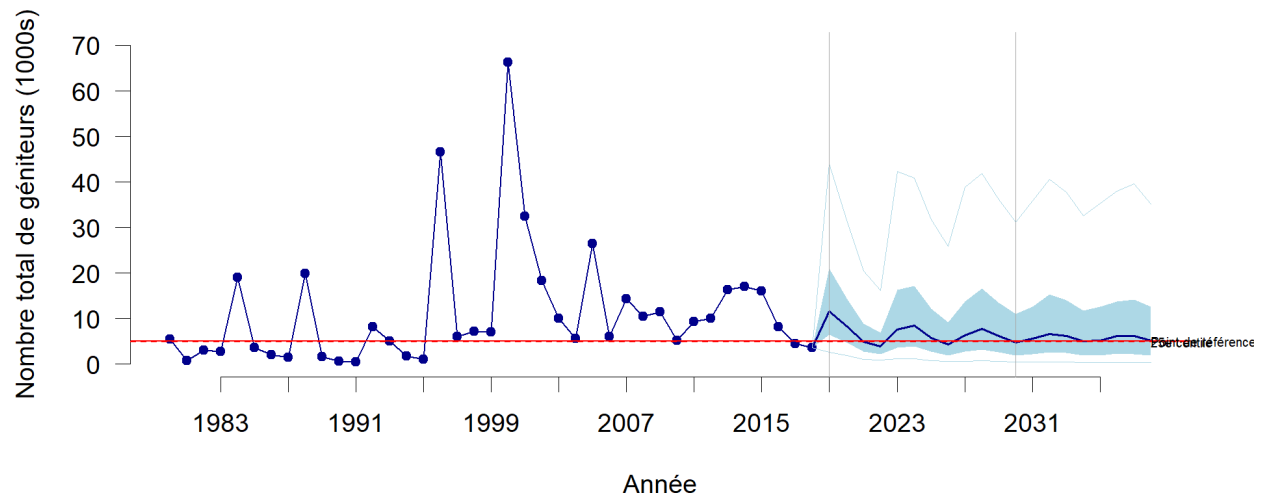


Figure 43. Trajectoire simulée relative au taux d'exploitation maximal qui permettrait probablement à l'UD Raft* (UD 11) de ne plus être désignée en voie de disparition ou menacée selon les hypothèses du scénario de référence (élément 15). La ligne bleue comportant des cercles pleins montre le nombre de géniteurs observés de 1980 à 2018. La partie droite du graphique montre la distribution des abondances de géniteurs simulées (ligne pleine = médiane, aire ombragée bleue = 25 à 75 % et lignes tiretées bleu pâle = 10 à 90 %). La ligne horizontale rouge indique le 25^e centile de toutes les abondances de géniteurs observés. Les lignes verticales grises délimitent la période de trois générations utilisée pour calculer les mesures de rendement décrites dans le Tableau 5.

Raft - Aucune année où le passage a été bloqué

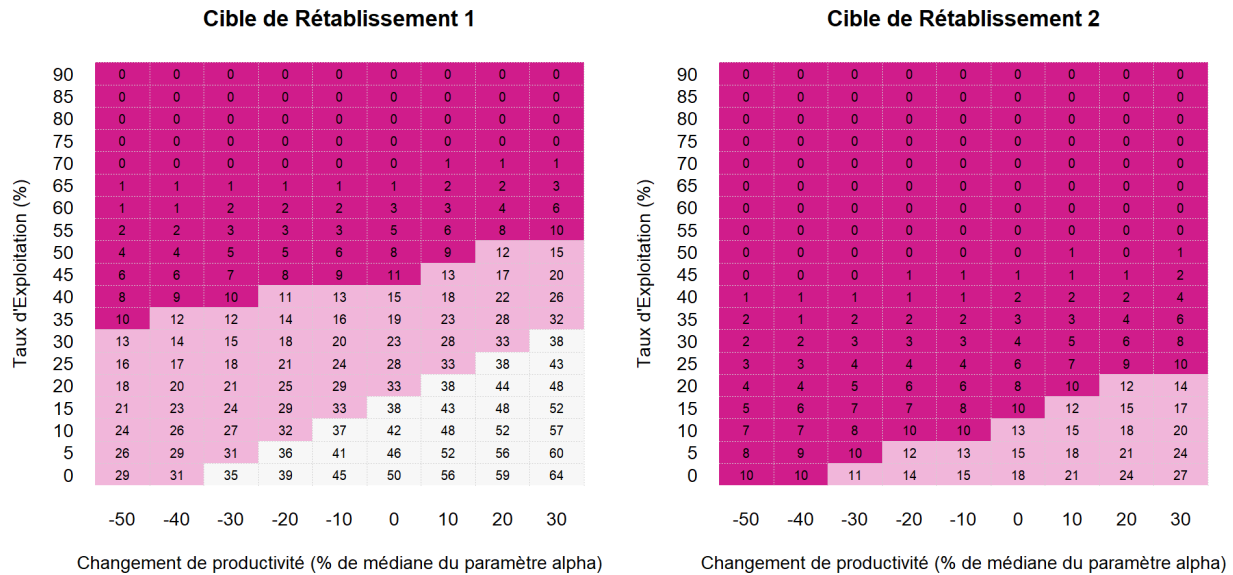


Figure 44. Effet de divers taux d'exploitation selon les scénarios de productivité de recharge pour l'UD Raft*(UD 11) (élément 15). Les deux grilles montrent les résultats simulés concernant l'atteinte des cibles de rétablissement n^{os} 1 et 2 décrites dans la section 5.2. Chaque grille résume les résultats de simulation pour divers taux d'exploitation (axe des y) et changements de productivité (axe des x). Les niveaux de productivité actuels figurent dans la colonne où le changement de productivité est de 0. Les valeurs dans chaque cellule représentent le pourcentage des 5 000 trajectoires simulées qui atteignent la cible de rétablissement. Les couleurs correspondent aux catégories de l'échelle de probabilité du GIEC (Tableau 7), qui varie de « Très probable » en vert foncé à « Très improbable » en magenta foncé. Pour les UD qui frayent en amont du lieu du glissement de terrain de Big Bar, on a modélisé un taux de mortalité en cours de montaison dans les rivières de 99,5 % pour l'année de simulation 2019.

13.3.2. Birkenhead* (Lillooet-Harrison-T, UD 12)

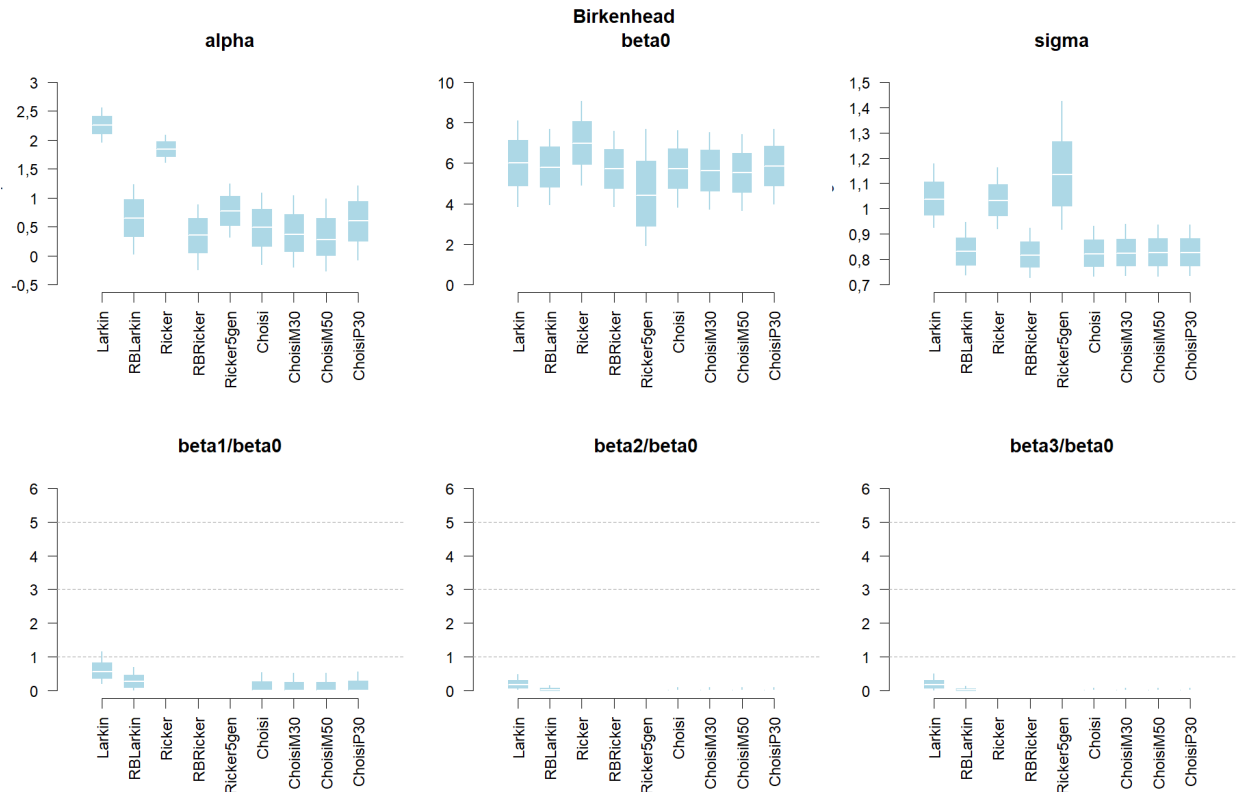


Figure 45. Distributions a posteriori associées aux paramètres de modèles stock-recrutement de rechange – Birkenhead* (UD 12) (élément 13, partie 1). Chaque graphique montre la distribution a posteriori associée à un paramètre pour les cinq modèles stock-recrutement de rechange décrits dans la section 5.3.2, les modèles propres au stock et trois exemples de modèles propres au stock avec une productivité remise à l'échelle. Dans les graphiques, LA = modèle de Larkin; LRB = modèle bayésien de Larkin récursif; RA = modèle de Ricker; RRB = modèle bayésien de Ricker récursif; R5Gen = modèle de Ricker ajusté aux estimations du stock-recrutement de cinq générations d'individus; Meilleur = modèles propres au stock choisis selon le Tableau 6 de la section 5.3.4; MeilleurM30 = meilleurs modèles avec un paramètre alpha médian moins 30 %; MeilleurM50 = meilleurs modèles avec un paramètre alpha médian moins 50 %; MeilleurP30 = meilleurs modèles avec un paramètre alpha médian plus 30 %. Les graphiques du bas montrent les distributions relatives aux termes « Retard – Bêta », remis à l'échelle par rapport à β_0 .

**Birkenhead Trajectoires des géniteurs : Aucune année où le passage a été bloqué
TE 0**

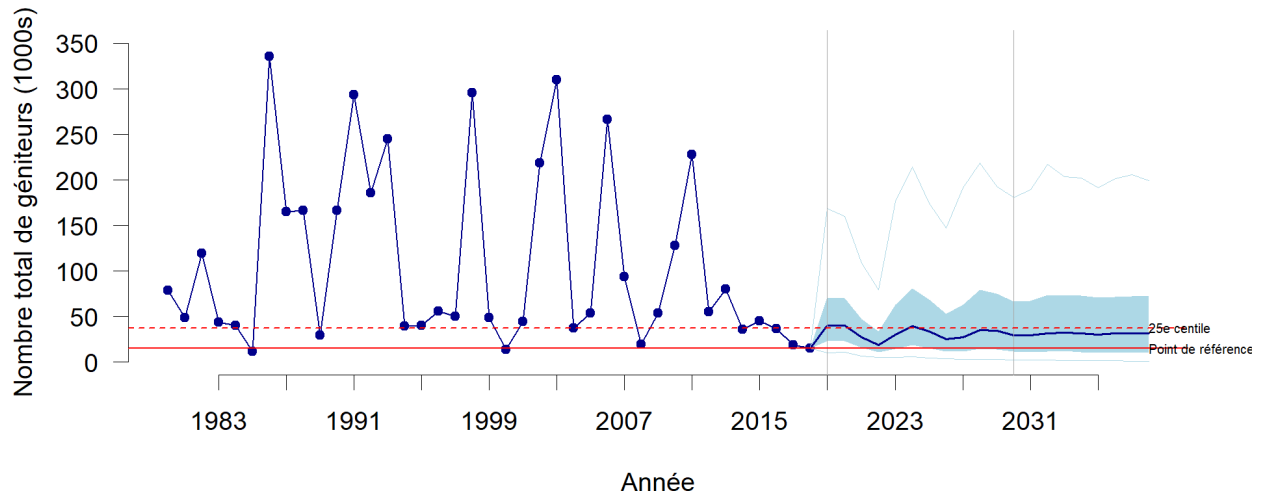
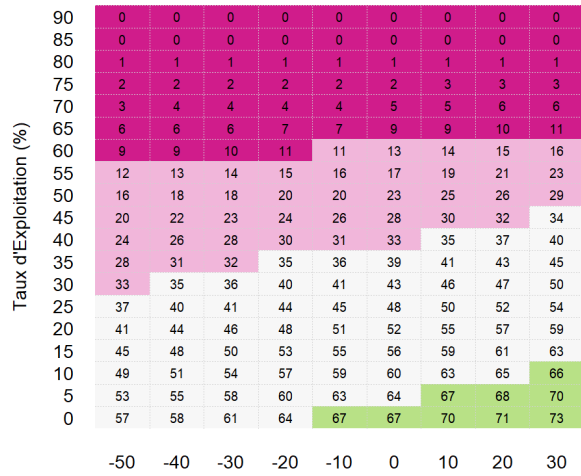


Figure 46. Trajectoire simulée relative au taux d'exploitation maximal qui permettrait probablement à l'UD Birkenhead* (UD 12) de ne plus être désignée en voie de disparition ou menacée selon les hypothèses du scénario de référence (élément 15). La ligne bleue comportant des cercles pleins montre le nombre de géniteurs observés de 1980 à 2018. La partie droite du graphique montre la distribution des abondances de géniteurs simulées (ligne pleine = médiane, aire ombragée bleue = 25 à 75 % et lignes tiretées bleu pâle = 10 à 90 %). La ligne horizontale rouge indique le 25^e centile de toutes les abondances de géniteurs observés. Les lignes verticales grises délimitent la période de trois générations utilisée pour calculer les mesures de rendement décrites dans le Tableau 5.

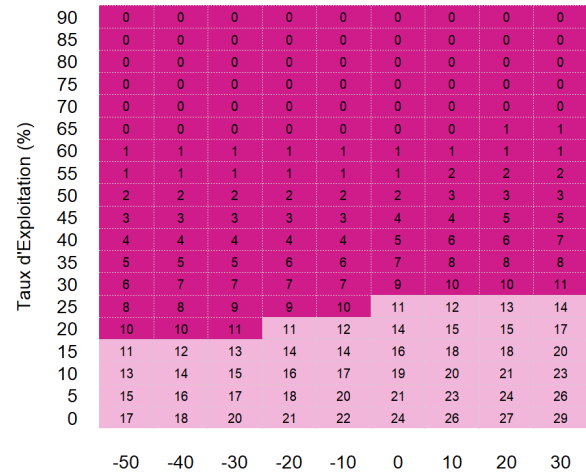
Birkenhead - Aucune année où le passage a été bloqué

Cible de Rétablissement 1



Changement de productivité (% de médiane du paramètre alpha)

Cible de Rétablissement 2



Changement de productivité (% de médiane du paramètre alpha)

Figure 47. Effet de divers taux d'exploitation selon les scénarios de productivité de recharge pour l'UD Birkenhead(UD 12) (élément 15). Les deux grilles montrent les résultats simulés concernant l'atteinte des cibles de rétablissement n^{os} 1 et 2 décrites dans la section 5.2. Chaque grille résume les résultats de simulation pour divers taux d'exploitation (axe des y) et changements de productivité (axe des x). Les niveaux de productivité actuels figurent dans la colonne où le changement de productivité est de 0. Les valeurs dans chaque cellule représentent le pourcentage des 5 000 trajectoires simulées qui atteignent la cible de rétablissement. Les couleurs correspondent aux catégories de l'échelle de probabilité du GIEC (Tableau 7), qui varient de « Très probable » en vert foncé à « Très improbable » en magenta foncé. Pour les UD qui frayent en amont du lieu du glissement de terrain de Big Bar, on a modélisé un taux de mortalité en cours de montaison dans les rivières de 99,5 % pour l'année de simulation 2019.*

13.3.3. Stellako* (Francois-Fraser-E, UD 7)

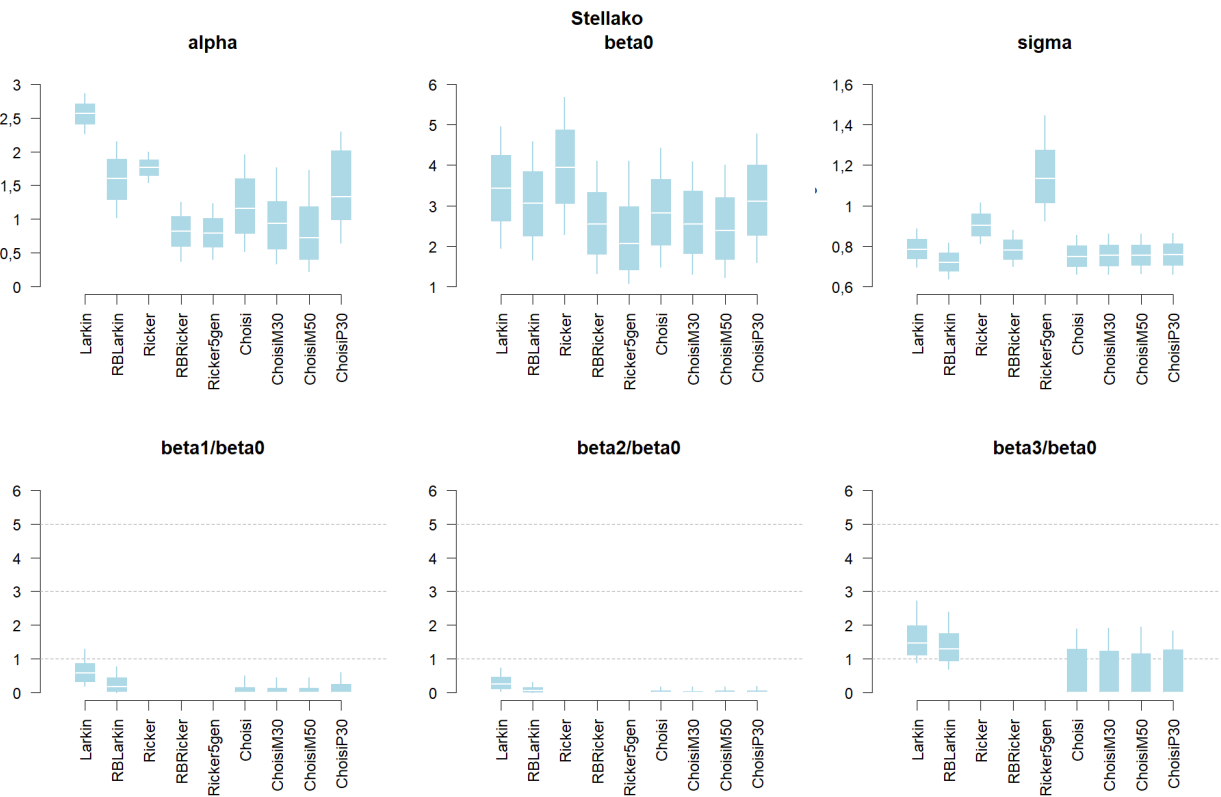


Figure 48. Distributions a posteriori associées aux paramètres de modèles stock-recrutement de rechange – Stellako* (UD 7) (élément 13, partie 1). Chaque graphique montre la distribution a posteriori associée à un paramètre pour les cinq modèles stock-recrutement de rechange décrits dans la section 5.3.2, les modèles propres au stock et trois exemples de modèles propres au stock avec une productivité remise à l'échelle. Dans les graphiques, LA = modèle de Larkin; LRB = modèle bayésien de Larkin récursif; RA = modèle de Ricker; RRB = modèle bayésien de Ricker récursif; R5Gen = modèle de Ricker ajusté aux estimations du stock-recrutement de cinq générations d'individus; Meilleur = modèles propres au stock choisis selon le Tableau 6 de la section 5.3.4; MeilleurM30 = meilleurs modèles avec un paramètre alpha médian moins 30 %; MeilleurM50 = meilleurs modèles avec un paramètre alpha médian moins 50 %; MeilleurP30 = meilleurs modèles avec un paramètre alpha médian plus 30 %. Les graphiques du bas montrent les distributions relatives aux termes « Retard – Bêta », remis à l'échelle par rapport à β_0 .

Stellako Trajectoires des géniteurs : Passage bloqué pendant un an (2019)
TE 55

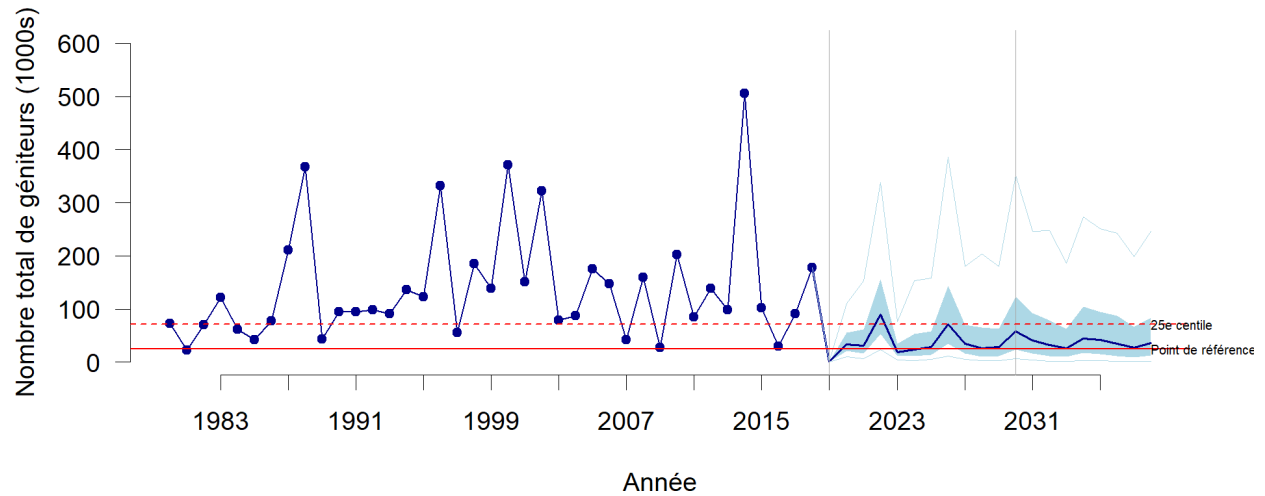
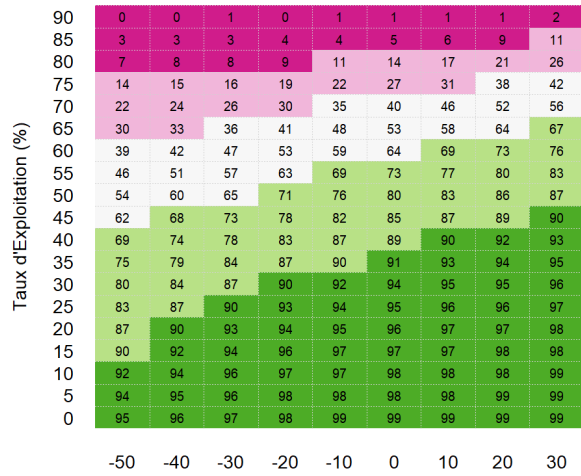


Figure 49. Trajectoire simulée relative au taux d'exploitation maximal qui permettrait probablement à l'UD Stellako* (UD 7) de ne plus être désignée en voie de disparition ou menacée selon les hypothèses du scénario de référence (élément 15). La ligne bleue comportant des cercles pleins montre le nombre de géniteurs observés de 1980 à 2018. La partie droite du graphique montre la distribution des abondances de géniteurs simulées (ligne pleine = médiane, aire ombragée bleue = 25 à 75 % et lignes tiretées bleu pâle = 10 à 90 %). La ligne horizontale rouge indique le 25^e centile de toutes les abondances de géniteurs observés. Les lignes verticales grises délimitent la période de trois générations utilisée pour calculer les mesures de rendement décrites dans le Tableau 5.

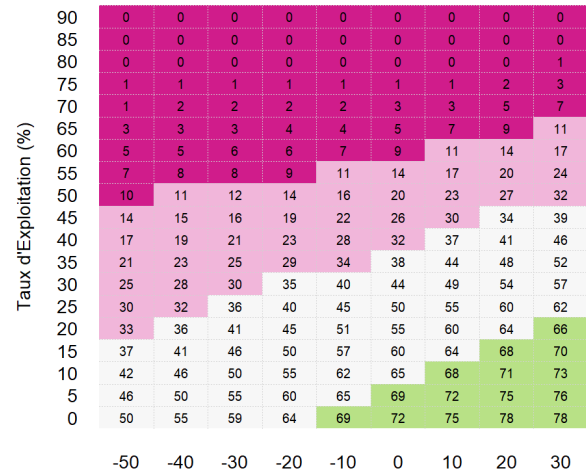
Stellako - Passage bloqué pendant un an (2019)

Cible de Rétablissement 1



Changement de productivité (% de médiane du paramètre alpha)

Cible de Rétablissement 2



Changement de productivité (% de médiane du paramètre alpha)

Figure 50. Effet de divers taux d'exploitation selon les scénarios de productivité de recharge pour l'UD Stellako*(UD 7) (élément 15). Les deux grilles montrent les résultats simulés concernant l'atteinte des cibles de rétablissement n^{os} 1 et 2 décrites dans la section 5.2. Chaque grille résume les résultats de simulation pour divers taux d'exploitation (axe des y) et changements de productivité (axe des x). Les niveaux de productivité actuels figurent dans la colonne où le changement de productivité est de 0. Les valeurs dans chaque cellule représentent le pourcentage des 5 000 trajectoires simulées qui atteignent la cible de rétablissement. Les couleurs correspondent aux catégories de l'échelle de probabilité du GIEC (Tableau 7), qui varient de « Très probable » en vert foncé à « Très improbable » en magenta foncé. Pour les UD qui frayent en amont du lieu du glissement de terrain de Big Bar, on a modélisé un taux de mortalité en cours de montaison dans les rivières de 99,5 % pour l'année de simulation 2019.

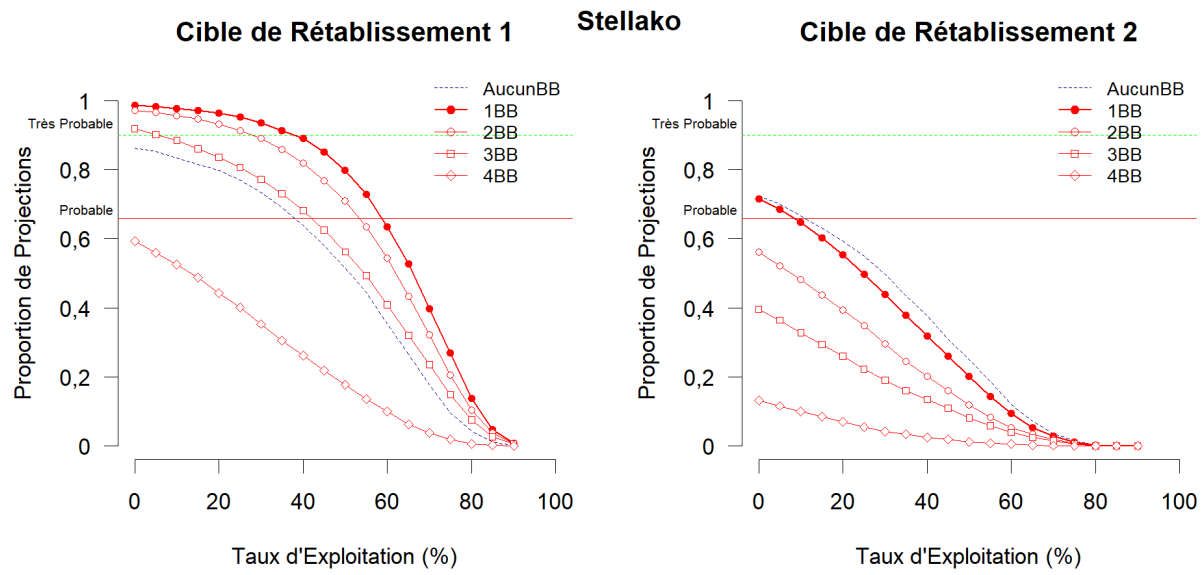


Figure 51. Effet de divers taux d'exploitation selon des scénarios de recharge représentant les effets du glissement de terrain de Big Bar pour l'UD Stellako*(UD 7) (élément 20). Les deux graphiques montrent les résultats simulés concernant l'atteinte des cibles de rétablissement n^{os} 1 et 2 décrites dans la section 5.2. Chaque graphique résume les résultats des simulations selon divers taux d'exploitation pour les scénarios des effets du glissement de terrain de Big Bar décrits dans la section 6.1.3. Dans le graphique, ces scénarios sont représentés comme suit : 1 an – BB = taux de mortalité de 99,5 % appliqué à l'année de montaison 2019, 2 ans – BB = taux de mortalité de 99,5 % appliqué aux années de montaison 2019 et 2020, et ainsi de suite. La ligne rouge épaisse comportant des cercles pleins correspond à la colonne associée à un changement de productivité de 0 dans les grilles de la figure précédente. La ligne horizontale rouge indique la catégorie « Probable » de l'échelle de la GIEC et la ligne tiretée verte indique la catégorie « Très probable » (Tableau 7).

Stellako - Cible de Récupération 1

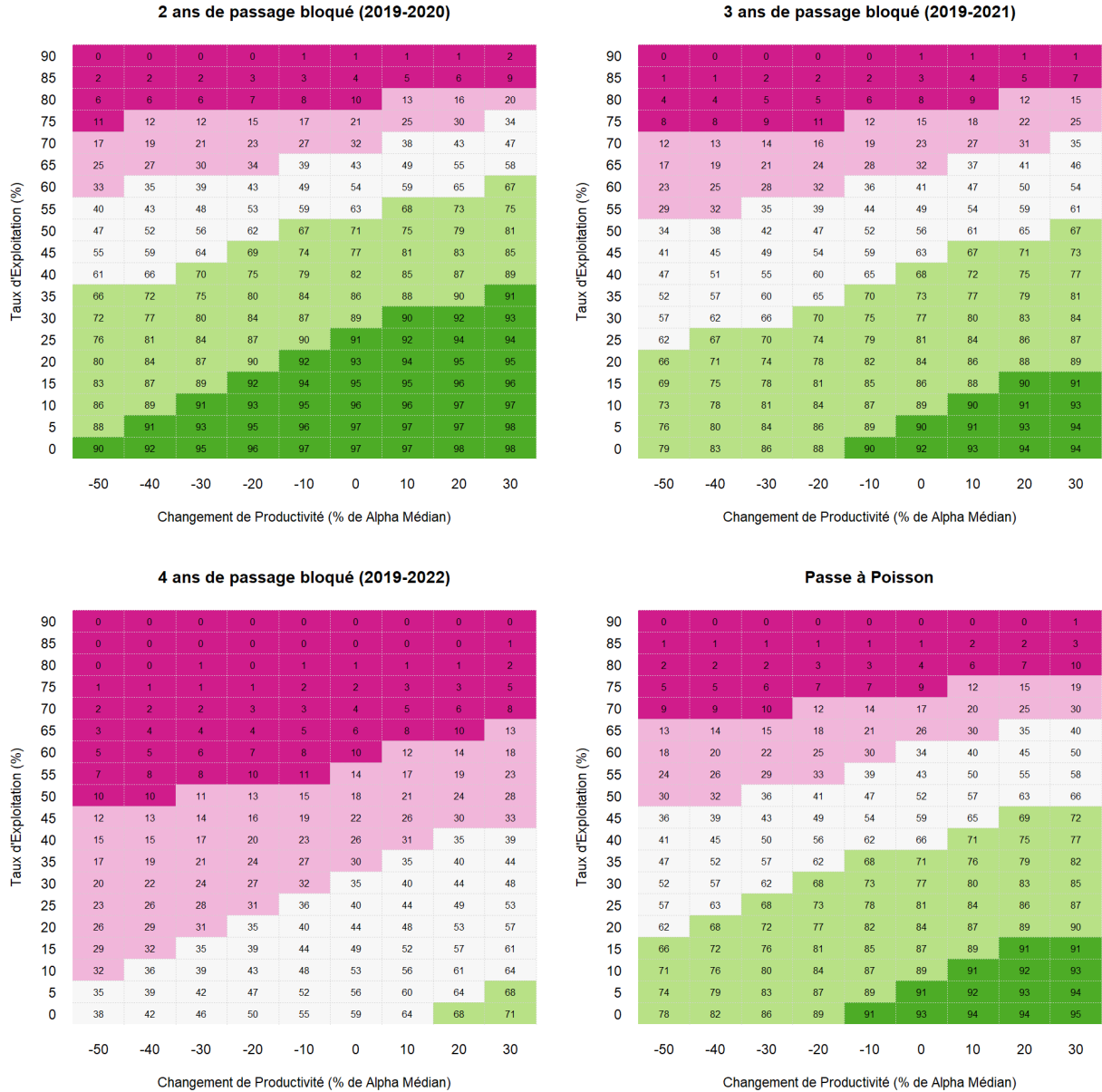


Figure 52. Effet de divers taux d'exploitation et de différents scénarios de recharge relatifs au glissement de terrain de Big Bar selon les scénarios de productivité de recharge pour l'UD Stellako* (UD 7) (élément 20). Chaque grille montre les résultats simulés concernant l'atteinte de la cible de rétablissement n° 1 (section 5.2) selon l'un des scénarios de recharge relatifs au glissement de terrain. La disposition des grilles est la même que celle des autres figures présentant des grilles. Les grilles représentant le passage bloqué montrent l'incidence d'un taux de mortalité en cours de montaison de 99,5 % attribuable aux répercussions du glissement de terrain pendant les années précisées et l'autre grille représente le scénario de passe migratoire décrit dans la section 6.1.3.

14. ANNEXE 4 : CODE

14.1. ESTIMATION DE PARAMÈTRES : MODÈLE DE RICKER (RA)

```
model{
  for( i in 1 : N) {
    R_Obs[i] ~ dlnorm(R[i],tau_R)
    R[i] <- RS_log[i] + log(S[i])

    # Ricker
    RS_log[i] <-alpha - beta0 * S[i]

    resid[i] <- log(R_Obs[i]) - R[i]
    Rep[i] ~ dlnorm(R[i],tau_R)
  }
  alpha ~ dnorm(0,0.001)
  beta0 <- 1/Smax
  Smax~ dlnorm(log_Shi,1)I(,sShi)
  sShi <- 3*Shi
  log_Shi<- log(Shi)
  Smax0~ dlnorm(log_Shi,1)I(,sShi)
  tau_R ~ dgamma(0.001,0.001)
  sigma <- 1 / sqrt(tau_R)
```

14.2. ESTIMATION DE PARAMÈTRES : MODÈLE BAYÉSIEEN DE RICKER RÉCURSIF (RRB)

```
model{
  for (i in 1:N){
    R_Obs[i] ~ dlnorm(Y[i],tau_R)
    Y[i] <- RS[i] +log(S[i])
    RS[i] <- alpha[i] - beta0 * S[i]
    year[i]<-i
    Rep[i] ~ dlnorm(Y[i],tau_R)
  }
  for (i in 2:N){
    alpha[i] <- alpha[i-1] + w[i]
    w[i]~ dnorm(0,tauw)
  }

  alpha[1]~ dnorm(p.alpha,tau_alpha)
  beta0 <- 1/Smax
  Smax~ dlnorm(log_Shi,1)I(,sShi)
  sShi <- 3*Shi
  log_Shi<- log(Shi)

  tau_R~ dgamma(0.01,0.001)
  varR <- 1/tau_R
  sigma <- 1/pow(tau_R,2)

  tauw~ dgamma(0.01,0.001)
  varw<- 1/tauw
  sigw<- 1/sqrt(tauw)
}
```

14.3. MESURES DE RENDEMENT ET CODE DU CLASSEMENT À L'ÉCHELLE

```
retro.pm <- function(resids,obs){
# resids is a vector of residuals
# obs is a corresponding vector of observed values

out.vec <- rep(NA,5)
names(out.vec) <- c("MRE", "MAE", "MPE", "MAPE", "RMSE")

num.obs <- sum(!is.na(resids))

out.vec["MRE"] <- mre.fn(resids)
out.vec["MAE"] <- mae.fn(resids)
out.vec["MPE"] <- mpe.fn(resids,obs)
out.vec["MAPE"] <- mape.fn(resids,obs)
out.vec["RMSE"] <- rmse.fn(resids)
return(out.vec)
}

mre.fn <- function(resids){ num.obs <-
  sum(!is.na(resids));round(sum(resids,na.rm=TRUE)/num.obs,4)}
mae.fn <- function(resids){ num.obs <-
  sum(!is.na(resids));round(sum(abs(resids),na.rm=TRUE)/num.obs,4)}
rmse.fn <- function(resids){ num.obs <- sum(!is.na(resids))
  round(sqrt(sum(resids^2,na.rm=TRUE)/num.obs),4)}
mpe.fn <- function(resids,obs){ num.obs <- sum(!is.na(resids))
  round(sum(resids/obs,na.rm=TRUE)/num.obs,4)}
mape.fn <- function(resids,obs){ num.obs <- sum(!is.na(resids))
  round(sum(abs(resids)/obs,na.rm=TRUE)/num.obs,4)}

scaled.ranks <- function(x){

# adapted from Michael Folkes Fn at
# https://github.com/MichaelFolkes/forecastR_package/blob/master/R/Module_rankModels.R

x <- abs(x)
rank.perpmunit <- (length(x)-1)/(max(x, na.rm=TRUE)-min(x, na.rm = TRUE))
scaled.rank <- x*rank.perpmunit - min(x, na.rm = TRUE)*rank.perpmunit + 1

if(length(unique(x))==1){scaled.rank <- rep(NA,length(x))}

return(scaled.rank)
}
```

14.4. CODE DE SIMULATION PROSPECTIVE

```
#####
# FUNCTION TO DO A BASIC FOWARD SIMULATION

doForwardSim <- function(sr.dat, sr.pars, stock.info, # data and parameter
                        er = 0.5, erm = 0.1, age.prop = c(0,0.9,0.1), # scenario settings
                        start.year = 2017, sim.years = 20, # arguments for the forward sim
                        rec.error= FALSE , prod.scal="none", cap=NULL, min1fish=TRUE, # arguments
for recruits.cf())
  age.names = c("age3","age4", "age5") ,
  random.seed = 12345
){

# function to do a simple forward simulation. See notes at the end of the header!

# sr.dat = SR data (needs to have StkID, yr, rec3, rec4,rec5,rec,totspn) NOTE: in 1Mill fish
!
# sr.pars = SR parameters (needs to have StkID, alpha, beta0,beta1, beta2, beta3)
# -> set beta1-beta3 to 0 for Ricker
# stock.info = names etc for each StkID

# The following inputs can be given as single value
# OR matrix of dim sim.years x NumStocks
# OR array dim sim.years x NumStocks x NumParSets
# er = Expl Rate
# erm = En-route mortality rate (use pDBE values for Fraser Sockeye)

# ageprop = either vector of 3 values (for age 3,4,5)
# OR matrix of dim 3 x NumStocks
# OR matrix of dim 3 x NumStocks x NumParSets

# start year = first year of the simulation. sr.dat must have records
# up to the year before start yeae
# sim.years = number of years to simulate forward.

# arguments for recruits.cf
# rec.erron: if TRUE, include random error term
# prod.scal="none" or a value or matrix (see recruits.cf)
# cap=NULL, cap on recruits (NULL or a vector)
# min1fish = if TRUE, set minimun recruits to 1/(10^6)

# NOTES
# For now this is set up specifically for age 3-5 fish. This currently loops through
# the sim years and uses array calcs to do all traj for all stocks at once.
# This loop/array combo is fast, so stopped trying to make
# purr::map() or apply() work for this iterative case

set.seed(random.seed)

# -----
# PART 0: SETTING UP

# load the packages
require(reshape2); require(tidyverse)

# subset the sr data to 8 yrs before start year
sr.dat <- sr.dat[sr.dat$yr %in% (start.year-8):(start.year-1),]

# get and check the number of parameter sets
num.mcmc <- unique(table(sr.pars$StkID))
```

```

if(length(num.mcmc) !=1){warning("variable number of MCMC sets. Check SR Par input file"); stop()}

# reorg the data into arrays
# turn the sr data into matrix (wide format) rather than flat format
spn.mat <- sr.dat %>% dplyr::select(StkID,yr,spn) %>% tidyr::spread(StkID,spn) %>%
  tibble::remove_rownames() %>% tibble::column_to_rowname(var="yr")

# add the placeholders for sim values
spn.mat <- rbind(spn.mat,matrix(NA,ncol=dim(spn.mat)[2],nrow=sim.years+5,
  dimnames=list(start.year:(start.year + sim.years +5 - 1),dimnames(spn.mat)
[[2]])))

# expand the matrix into a cube (yrs x stocks x par sets)
spn.arr <- array(rep(unlist(spn.mat,num.mcmc)), dim = c(dim(spn.mat),num.mcmc) )
dimnames(spn.arr) <- list(paste("Year", dimnames(spn.mat)[[1]]),paste("Stock", names(spn.mat)
),paste("Par.Set",1:num.mcmc))

# create matching arrays for rec, run, er, erm, age.prop
array.template <- spn.arr
array.template[,,] <- NA
rec.arr <- run.arr <- er.arr <- erm.arr <- array.template
age.prop.arr <- array.template[1:3,,]
cap.mat <- array.template[1,,]

# index of array rows that are for forward sim (i.e. excluding the part with spn seed values
sim.idx <- as.numeric(gsub("Year ", "",dimnames(spn.arr)[[1]])) %in% start.year:(start.year+sim
.years-1)

# populate run array with 0s
# (need 0, because adding estimated rec-at-age in each pass through the loop below)
run.arr[sim.idx,,] <- 0

# create SR par array -----
pars.names <- names(sr.pars)[-1]
stk.ids <- unique(sr.pars$StkID)
# unique keeps order of first occurrence,
# so should be fine even if mcmc file is not sorted by stk id
sr.par.arr <- array(unlist(t(sr.pars[,,-1])), dim = c( length(pars.names),num.mcmc,length(stk.i
ds) ) )
dimnames(sr.par.arr ) <- list(pars.names, paste("Par.Set",1:num.mcmc),paste("Stock", stk.ids )
)
sr.par.arr <- aperm(sr.par.arr,c(1,3,2))

# populate er, erm, cap and age.prop arrays -----
# this handles single val, matrix,and array (as long as matrix and array have proper dim as pe
r above!)
er.arr[sim.idx,,] <- er
erm.arr[sim.idx,,] <- erm
if(!is.null(cap)){ cap.mat[,] <- cap }
if(is.null(cap)){ cap.mat <- NULL}

age.prop.arr[,,,] <- age.prop
dimnames(age.prop.arr)[[1]] <- age.names

# -----
# PART 1: CALCULATE RECRUITS AND RUN FOR SEED SPN

# loop through the seed years and feed into an array
for(row.index in 4:8){
  rec.arr[row.index,,] <- recruits.cf(esc.arr = spn.arr[(row.index-3):row.index,,],

```

```

        pars.arr = sr.par.arr , SRmodel="larkin_4",
        # this is the "type" in terms of par (e.g. can feed in
        # Ricker pars formatted the same way)
        SR.which=NA, # obsolete arg
        error=rec.error, prod.scal=prod.scal, cap.arr=cap.mat,
        min1fish=min1fish)
# calculate run from rec
# keep overwriting the whole thing, because age class
# contributions to a return "build" with each iteration
run.arr <- RecToRun.fn(Rec.tmp = rec.arr,Run.tmp = run.arr,
                    Age.Prop = age.prop.arr, brd.yr=row.index)
} # end looping through seed years

# -----
# PART 2: DO THE ANNUAL CALCULATION: Spn -> Rec -> Run

#print("starting sim years -----")

for(row.index in 9:(dim(spn.arr)[1]-5)){

  # calculate spawners after expl rate and en-route mortality
  spn.arr[row.index,,] <- run.arr[row.index,,] * (1 - er.arr[row.index,,]) * (1-erm.arr[row.inde
ex,,])

  # calculate recruits (notes as above)
  rec.arr[row.index,,] <- recruits.cf(esc.arr = spn.arr[(row.index-3):row.index,,],
    pars.arr = sr.par.arr ,
    SRmodel="larkin_4", SR.which=NA, error=rec.error,
    prod.scal=prod.scal, cap.arr=cap.mat, min1fish=min1fish)

  # calculate ret from rec (again: keep adding to the run 3,4,5 yrs
  # into the future from each BY)
  run.arr <- RecToRun.fn(Rec.tmp = rec.arr,Run.tmp = run.arr,
                    Age.Prop = age.prop.arr, brd.yr=row.index)
} # end looping through the sim years

# remove the 5 incomplete sim years at the end
yrs.keep <- paste("Year", (start.year-8):(start.year + sim.years - 1))

return(list(Settings = list(label="Text",rec.error = rec.error),
  Spn = spn.arr[yrs.keep,,], Rec = rec.arr[yrs.keep,,],
  Run = run.arr[yrs.keep,,], ER = er.arr[yrs.keep,,],
  ERM = erm.arr[yrs.keep,,]))
} # end doForwardSim()

```

14.5. CODE DU CALCUL DU RECRUTEMENT

Tiré du document de Pestal *et al.* (2012).

```
recruits.cf<-function(esc.arr,pars.arr, SRmodel="larkin_4",
                    SR.which= "totspn", error=TRUE,
                    prod.scal="none",cap.arr=NULL,min1fish=TRUE){

# calculates total recruits for a brood year based on a 4-yr sequence of escapements
# esc.arr is a subset of Esc.Array -> 4yrs by 19 stocks by 500 parameter sets
# pars.arr is the full Lark.Pars
# prodscal.vec are the productivity scalars the current brood year - one for each stock
# if prodscal.type = "Total" then it directly scales the total
#      recruits (changing patterns in alpha or betas should be built in)

# NOTE: IN THE RPA MODEL, ALPHA SCALING HAPPENS OUTSIDE OF THIS FUNCTION
#      THROUGH SUBSAMPLING THE MCMC

if(SRmodel=="larkin_4" | SRmodel=="larkin_best" | SRmodel=="ricker" ){
# error = rnorm(mean=0, sd=1)* sigma
# RSpred = alpha - beta0 *esc_0 - beta1 * esc_-1 - beta2 * esc_-2 - beta3 * esc_-3
# Rec = esc * exp(RSpred) * exp (error)

rec.arr <- esc.arr[4,,] * exp( pars.arr["alpha",,] - pars.arr["beta0",,] * esc.arr[4,,] - par
s.arr["beta1",,] * esc.arr[3,,] - pars.arr["beta2",,] * esc.arr[2,,] - pars.arr["beta3",,] *
esc.arr[1,,])

if(error){

#err.tmp<-exp(rnorm(dim(pars.arr)[2] *dim(pars.arr)[3] ,mean = 0, sd = 1) * (pars.arr["sigma
",,]^2)/2
)
err.tmp<-exp(rnorm(dim(pars.arr)[2] *dim(pars.arr)[3] ,mean = 0, sd = 1) * pars.arr["sigma",
,]
)

rec.arr <- rec.arr * err.tmp

} # end error

# putting in cap to avoid very large rec
if(!is.null(cap.arr)){

cap.idx <- rec.arr > cap.arr
rec.arr[cap.idx] <- cap.arr[cap.idx]

}

if(min1fish){
# flag and replace anything with rec for a stock less than 1 fish
tiny.idx <- rec.arr < 0.000001
rec.arr[tiny.idx] <- 0.000001
}

} # end Larkin-type SR
```

```
# PRODUCTIVITY SCALAR
if (!is.null(dim(prod.scal))) { rec.arr <- rec.arr * prod.scal} # end prod.scal

return(rec.arr)

} # end recruits.cf
\
```