



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS)

Document de recherche 2025/083

Région des Maritimes

Cadre d'évaluation des stocks pour les zones de pêche du pétoncle 25, 26 et 27B : points de référence

Keith, D., Keyser, F., McDonald, R., Pearo Drew, T. et Sameoto, J.A.

Institut océanographique de Bedford
Pêches et Océans Canada
1, promenade Challenger
Dartmouth (Nouvelle-Écosse) B2Y 4A2

Avant-propos

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

Publié par :

Pêches et Océans Canada
Secrétariat canadien des avis scientifiques
200, rue Kent
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

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



© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre du
ministère des Pêches et des Océans, 2025

Ce rapport est publié sous la [Licence du gouvernement ouvert – Canada](#)

ISSN 2292-4272

ISBN 978-0-660-96127-9 N° cat. Fs70-5/2025-083F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Keith, D., Keyser, F., McDonald, R., Pearo Drew, T. et Sameoto, J.A. 2025. Cadre d'évaluation des stocks pour les zones de pêche du pétoncle 25, 26 et 27B : points de référence. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2025/083. iv + 62 p.

Also available in English :

Keith, D., Keyser, F., McDonald, R., Pearo Drew, T., and Sameoto, J.A. 2025. Stock Assessment Framework for Scallop Fishing Areas 25, 26, and 27B: Reference Points. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2025/083. iv + 60 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	iv
1. INTRODUCTION	1
2. MÉTHODES.....	2
2.1. CONTEXTE.....	2
2.2. MÉTHODES FONDÉES SUR DES INDICES	2
2.2.1. Niveau d'exploitation de référence relatif	3
2.3. SIMULATIONS DU RMD.....	4
2.3.1. Dépendance à la densité	4
2.3.2. Corrélation.....	5
2.3.3. Procédure de simulation	6
2.3.4. Indices issus des modèles	8
2.4. SIMULATIONS DE RDP	8
3. RÉSULTATS.....	9
3.1. PRODUCTIVITÉ ET DÉPENDANCE À LA DENSITÉ.....	9
3.1.1. ZPP 25A.....	9
3.1.2. ZPP 26A.....	10
3.2. POINTS DE RÉFÉRENCE.....	11
3.2.1. Indices de la biomasse des relevés	11
3.2.2. Simulations du RMD	11
3.3. SIMULATIONS DE RDP	13
4. CONCLUSIONS.....	13
5. RECOMMANDATIONS DE RECHERCHE.....	16
RÉFÉRENCES CITÉES	16
TABLEAUX	19
FIGURES	20

RÉSUMÉ

Le présent document de recherche porte sur l'élaboration de points de référence pour les zones de pêches du pétoncle (ZPP) 25A (banc de l'Île de Sable), 26A (banc de Brown [nord]), 26C (banc German) et 27B (banc de Georges [b]). Les indices de la biomasse des relevés et les taux d'exploitation relatifs utilisés pour l'élaboration des points de référence fondés sur des indices ont été approuvés pendant la première de deux réunions d'examen régional par les pairs du Secrétariat canadien des avis scientifiques qui portaient sur les données d'entrée (pour toutes ces ZPP) et la conception des modèles (pour les ZPP 25A et 26A). Les modèles d'évaluation des stocks et les scénarios de productivité employés dans le cadre des simulations du rendement maximal durable (RMD) dans les ZPP 25A et 26A ont aussi été approuvés pendant cette première réunion. Des points de référence limites (PRL) fondés sur les indices de la biomasse des relevés sont proposés pour chacune de ces ZPP. Outre ceux-ci, de l'orientation quant aux points de référence supérieurs du stock (PRS) et aux niveaux d'exploitation de référence limites (NER_{lim}) et cibles (NER_{cib}) relatifs est fournie pour toutes les zones, en fonction de l'indice de la biomasse des relevés et des taux d'exploitation relatifs. En ce qui concerne les deux zones pour lesquelles des modèles d'évaluation des stocks ont été approuvés (ZPP 25A et 26A), des simulations du RMD servent à obtenir des PRL fondés sur les modèles. Ces simulations sont également utilisées pour fournir de l'orientation sur les NER_{cib} et les PRS de ces deux zones. De plus, pour ces deux mêmes zones, des simulations de règles de décision sur les prises (RDP) sont élaborées, et leur utilisation potentielle est montrée à l'aide de l'exemple suivant : 1) maintien du stock près du point de référence cible (PRC), 2) augmentation des prélèvements moyens à long terme par la pêche de sorte qu'ils dépassent les prélèvements estimés au moyen de la simulation du RMD optimal, et 3) réduction de la proportion de temps pendant laquelle le stock est inférieur au PRL par rapport à la simulation du RMD optimal. Les simulations de RDP permettent de trouver un scénario dans lequel ces trois objectifs de gestion sont atteints, les prélèvements médians à long terme étant considérablement accrus dans les deux zones, et la proportion de temps pendant laquelle les stocks sont inférieurs au PRL étant réduite. Ces simulations représentent une méthode potentielle d'exploration des effets de divers objectifs de gestion, tâche qui pourrait comprendre l'élaboration de NER_{lim} et de PRC. Dans les zones pour lesquelles des points de référence fondés sur des modèles sont disponibles (ZPP 25A et 26A), ces derniers sont privilégiés, et un PRL fixé à 40 % de la biomasse des pétoncles pleinement recrutés au RMD est recommandé. Dans les zones pour lesquelles seuls des points de référence fondés sur des indices sont disponibles (ZPP 26C et 27B), un PRL fixé à 30 % de l'indice de la biomasse des pétoncles pleinement recrutés est recommandé.

1. INTRODUCTION

Le présent document est le troisième et dernier document de recherche issu d'un processus d'examen du cadre d'évaluation axé sur les zones de pêche du pétoncle (ZPP) 25, 26 et 27B. Le premier document de recherche portait sur les données d'entrée (Keyser et coll., sous presse), tandis que le deuxième présentait l'élaboration de nouveaux modèles d'évaluation pour les ZPP 25A et 26A (Keith et coll., sous presse). L'unité de gestion de la ZPP 26 comprend aussi les ZPP 26B (banc de Brown [sud]) et 26C (banc German), et la ZPP 27 comprend les ZPP 27A (banc de Georges [a]) et 27B (banc de Georges [b]). La ZPP 25, appelée « Est du plateau néo-écossais », se divise en ZPP 25A, qui comprend les ZPP 25A-Sab (banc de l'Île de Sable) et 25A-Mid (banc du Milieu), et ZPP 25B (banc Banquereau, voir le tableau 1 de Keyser et coll., sous presse).

Un historique des relevés et de la pêche dans les ZPP 25, 26 et 27B est présenté dans Keyser et coll. (sous presse). La croissance des pétoncles et la sélectivité de la pêche varient selon les zones. Par conséquent, il en va de même pour les catégories de taille des pétoncles. Dans les ZPP 25A et 26A, les pétoncles considérés comme pleinement recrutés (PR) ont une taille supérieure à 90 mm, et les pétoncles recrutés sont définis comme ayant une taille comprise entre 75 et 89 mm. Dans la ZPP 26C, les pétoncles recrutés sont définis comme ayant une taille comprise entre 95 et 104 mm, tandis que les pétoncles pleinement recrutés ont une taille supérieure à 105 mm. Enfin, dans la ZPP 27B, les pétoncles recrutés sont définis comme ayant une taille comprise entre 85 et 94 mm, tandis que les pétoncles pleinement recrutés ont une taille supérieure à 95 mm (Keyser et coll., sous presse).

Dans la ZPP 26, la principale zone de pêche est la ZPP 26A (banc de Brown [nord]). Dans la ZPP 25, la ZPP 25A-Sab (banc de l'Île de Sable) est la zone faisant le plus l'objet d'une pêche régulière. La partie du banc du Milieu de cette zone est exclue des présentes analyses en raison de l'activité de pêche limitée qui s'y fait. Dans le reste du document, la ZPP 25A-Sab sera appelée ZPP 25A (Keyser et coll., sous presse). Un modèle bayésien d'espace états à différences retardées (MBEE) a été adopté pour la ZPP 25A, tandis qu'un nouveau modèle d'évaluation des stocks spatialement explicite (MESE) a été adopté pour la ZPP 26A (Keith et coll., sous presse). En outre, dans l'objectif de réduire au minimum les biais de prédiction, les paramètres de productivité employés pour les projections de la biomasse dans les années à venir étaient différents pour ces deux zones. Cependant, les projections faites pour les deux zones reposaient sur la même version non spatiale du modèle à différences retardées (Keith et coll., sous presse). Dans la ZPP 25A, pour les projections sur un an, le modèle utilise le recrutement, la croissance des pétoncles recrutés et la mortalité naturelle de l'année précédente, et le terme de croissance des pétoncles pleinement recrutés est fixé à 1 (c.-à-d. que les projections supposent qu'il n'y a pas de croissance des pétoncles pleinement recrutés). Dans la ZPP 26A, pour les projections sur un an, le modèle utilise le recrutement, la croissance des pétoncles recrutés, la croissance des pétoncles pleinement recrutés et la mortalité naturelle de l'année précédente (Keith et coll., sous presse). Les simulations examinées aux présentes reposent sur les paramètres de productivité et le modèle non spatial à différences retardées utilisés aux fins des projections sur un an.

Le présent document porte sur l'élaboration de points de référence limites (PRL) pour les ZPP 25A, 26A, 26C et 27B. Des options de PRL y sont mises au point à partir des indices de la biomasse des relevés, ainsi que des PRL supplémentaires à l'aide des résultats des simulations du rendement maximal durable (RMD) dans les deux zones pour lesquelles des modèles d'évaluation ont été approuvés (ZPP 25A et 26A). En plus des PRL, des possibilités de niveaux d'exploitation de référence cibles (NER_{cib}) et de points de référence supérieurs du stock (PRS), établis à l'aide des simulations du RMD, sont présentés. Des simulations de règles de décision

sur les prises (RDP) montrent comment on peut utiliser ces techniques de simulation, conjointement à des objectifs de gestion prédéfinis, de manière à orienter l'établissement de niveaux d'exploitation de référence limites (NER_{lim}) et de points de référence cibles (PRC) potentiels. Ce document traite des concepts de NER_{lim} et de NER_{cib} . Aux présentes, le NER_{lim} désigne un taux d'exploitation du stock à ne pas dépasser, tandis que le NER_{cib} désigne un taux d'exploitation que la pêche peut maintenir, en moyenne, à long terme. Le NER_{lim} devrait toujours être supérieur au NER_{cib} .

En résumé, le présent document a les objectifs suivants :

- Proposer et adopter des points de référence limites pour les ZPP 25A, 26A, 26C et 27B;
- Fournir de l'orientation sur les points de référence supérieurs du stock, les points de référence cibles, les niveaux d'exploitation de référence et les règles de décision sur les prises.

2. MÉTHODES

2.1. CONTEXTE

Les PRL employés dans le présent document ont été calculés à partir d'estimations de la biomasse non exploitée (B_0) ou de la biomasse au rendement maximal durable (B_{RMD} ; Marentette et Kronlund, 2020; MPO, 2021, 2023). Les PRL sont généralement fixés à 20 % de la B_0 estimée ($B_{0[20]}$), à 30 % de la B_{RMD} ($B_{RMD[30]}$) ou à 40 % de la B_{RMD} ($B_{RMD[40]}$; MPO, 2009, 2021, 2023). Pour les PRS, une convention similaire est appliquée, et deux PRS sont mentionnés ici à titre indicatif : 40 % de la B_0 ($B_{0[40]}$) ou 80 % de la B_{RMD} ($B_{RMD[80]}$; MPO, 2009; Marentette et Kronlund, 2020). En plus de ces points de référence de la biomasse, de l'orientation est donnée quant aux possibilités de niveaux d'exploitation de référence limites (NER_{lim}) et cibles (NER_{cib}). En ce qui concerne les points de référence fondés sur des indices, les indices de la biomasse reposent sur l'indice de relevé (tonnes), qui a été mis à l'échelle selon la superficie de relevé et corrigé en fonction de la capturabilité par les engins, et les niveaux d'exploitation de référence sont fournis en tant qu'indices relatifs. La capturabilité (q) a été fixée à 0,33 dans toutes les zones, une valeur similaire aux estimations découlant des modèles employés pour les ZPP 25A et 26A (Keith et coll., sous presse). Pour des raisons de cohérence entre les méthodes, des données de 1994 à 2022, inclusivement, ont été utilisées pour toutes les analyses (Keith et coll., sous presse; Keyser et coll., sous presse).

2.2. MÉTHODES FONDÉES SUR DES INDICES

Des PRL et des PRS ont été élaborés à partir des séries chronologiques des indices de la biomasse des relevés dans quatre zones (ZPP 25A, 26A, 26C et 27B) qui font l'objet de relevés annuels. En 2008, dans la ZPP 26C, une doublure a été ajoutée à l'engin afin d'accroître la capturabilité des petits pétoncles; par conséquent, les analyses pour cette zone ont été limitées à la période commençant en 2008, car les changements apportés aux engins peuvent avoir une incidence sur la sélectivité. Consulter Keyser et coll. (sous presse) pour en savoir plus sur les méthodes sous-tendant l'élaboration des indices de la biomasse des relevés. Ces indices utilisés pour l'élaboration des points de référence n'ont pas été corrigés en fonction de la capturabilité par les engins de relevé, et les valeurs ne sont pas directement comparables aux estimations découlant de modèles. Le relevé effectué dans la ZPP 26C n'est pas stratifié. La superficie ayant servi à estimer l'indice de la biomasse des relevés des pétoncles pleinement recrutés repose donc sur la superficie totale du domaine de relevé (1 797 km²).

Les points de référence fondés sur les indices de relevés ont été élaborés à l'aide de ce qui suit : 1) l'indice de la biomasse des relevés moyen (moyenne géométrique) sur trois ans le plus élevé, en tant qu'indicateur de la capacité biotique ou de la biomasse non exploitée (B_0) des stocks; 2) la moyenne géométrique de la série chronologique, en tant qu'indicateur de la biomasse au rendement maximal durable (B_{RMD}). Une approche basée sur la moyenne géométrique sur trois ans a été adoptée, parce que les erreurs d'observation créent de l'incertitude quant aux estimations de la biomasse issues de tout relevé annuel et qu'il est difficile de quantifier l'ampleur de cette incertitude dans le contexte de méthodes fondées sur des indices. Aux fins du calcul de la moyenne géométrique sur trois ans, les trois années les plus récentes pour lesquelles des données étaient disponibles ont été considérées comme un indicateur de l'état du stock pour une année donnée; cette approche concorde avec celles employées ailleurs pour déterminer l'état du stock à l'aide d'indices de la biomasse des relevés (voir MPO, 2024). De plus, des activités de pêche sont généralement menées dans ces zones tous les ans, ce qui permet d'utiliser l'indice de taux d'exploitation relatif dans les recherches sur l'élaboration d'un NER_{lim} et d'un NER_{cib} . Consulter Keyser et coll. (sous presse) pour en savoir plus sur les méthodes sous-tendant l'élaboration de l'indice du taux d'exploitation relatif et de l'indice de la biomasse des relevés.

2.2.1. Niveau d'exploitation de référence relatif

Puisque des activités de pêche ont généralement lieu tous les ans dans les quatre zones mentionnées plus haut, il est possible d'utiliser l'indice de taux d'exploitation relatif dans les recherches sur l'élaboration d'un NER_{lim} et d'un NER_{cib} . Consulter Keyser et coll. (sous presse) pour en savoir plus sur les méthodes sous-tendant l'élaboration de l'indice de taux d'exploitation relatif.

Une méthode semi-quantitative (la méthode d'exploitation généralisée [MEG]) comparant le changement de l'indice de la biomasse des relevés relatif (ΔB_r) au taux d'exploitation relatif (E_r) a servi à guider la proposition de NER_{lim} pour les méthodes fondées sur des indices (Jonsen et coll., 2009; Sameoto et coll., 2024). Cette méthode suppose une relation linéaire entre le changement de l'indice de la biomasse des relevés et le taux d'exploitation relatif :

$$\begin{aligned}\Delta B_{r_i} &\sim N(0, \sigma_i^2) \\ E(\Delta B_{r_i}) &= \mu_i \\ \mu_i &= E_{r_i}\end{aligned}$$

où ΔB_r est la valeur attendue de μ et est présumée avoir une distribution normale avec une variance de σ^2 , et i représente chaque observation. Une pente significativement négative constitue un signe que la pêche a influencé la biomasse dans la région, et l'endroit où la droite coupe l'axe des x est une estimation du taux d'exploitation relatif au-delà duquel la biomasse tend à diminuer.

Une deuxième méthode a été conçue pour produire une estimation de NER_{cib} à l'aide de méthodes fondées sur des indices. Tout d'abord, l'écart-type de l'indice de la biomasse des relevés a été calculé sur une fenêtre mobile de cinq ans. Dans les cas où aucune donnée de relevé n'était disponible sur une zone pour une année donnée, l'indice de la biomasse des relevés de cette année-là a été estimé comme étant la moyenne des indices des années précédente et suivante (MPO, 2022a, 2022b). La période de cinq ans pendant laquelle l'écart-type de l'indice était le plus faible a été cernée, et le taux d'exploitation relatif médian pendant cette période a été estimé. La valeur obtenue a été présentée comme une possibilité de NER_{cib} fondé sur des indices.

2.3. SIMULATIONS DU RMD

Des simulations du RMD ont été effectuées pour les ZPP 25A et 26A à l'aide des paramètres de productivité provenant du modèle d'évaluation du stock respectif de chaque zone. Elles s'appuient sur les paramètres de productivité modélisés qui ont été adoptés pour les projections sur un an dans chaque zone (Keith et coll., sous presse).

Le modèle sous-jacent aux simulations ayant produit les projections repose sur le modèle non spatial à différences retardées employé dans Keith et coll. (sous presse).

$$B_{pr,t} = e^{-m_{pr,t}} g_{pr,t} (B_{pr,t-1} - C_{t-1}) + e^{-m_{r,t}} g_{r,t} R_{t-1}$$

B_{pr} représente la biomasse de pétoncles pleinement recrutés; m , la mortalité naturelle; g , la croissance; C , les débarquements; R , la biomasse de pétoncles recrutés; et l'indice t , le pas de temps annuel, qui va de 1 au nombre d'années prises en compte dans la simulation. Lorsqu'ils sont présents, les indices pr et r se rapportent respectivement aux pétoncles pleinement recrutés et aux pétoncles recrutés. Les pétoncles recrutés ont été définis comme ayant une taille (hauteur de coquille) de 75 à 89 mm, et les pétoncles pleinement recrutés, comme ayant une taille supérieure à 90 mm (Keyser et coll., sous presse). Dans la ZPP 25A, le paramètre du terme de croissance des pétoncles pleinement recrutés ($g_{pr,t}$) est fixé à 1 pour les simulations, tandis que dans la ZPP 26A, la mortalité naturelle des pétoncles recrutés (m_r) est identique à la mortalité naturelle des pétoncles pleinement recrutés (m_{pr} , Keith et coll., sous presse).

2.3.1. Dépendance à la densité

Il est considéré que la diminution de la productivité avec l'augmentation de la biomasse des adultes (soit une dépendance négative à la densité) est l'un des principaux mécanismes de régulation de la population, et elle sous-tend une grande partie des sciences halieutiques (Hilborn et Walters, 1992). La relation entre les paramètres de productivité et la biomasse des adultes (ci-après appelée la biomasse du stock reproducteur [BSR]) est intégrée à la dynamique de la population. Aux présentes, il est supposé que la BSR comprend à la fois les pétoncles recrutés et pleinement recrutés; ainsi, la contribution potentielle au recrutement des pétoncles dont la coquille mesure moins de 75 mm de hauteur est ignorée. Cette dernière est présumée minime pour ces pétoncles (Parsons et coll., 1992; McGarvey et coll., 1993). Des preuves d'une dépendance à la densité dans les paramètres de productivité ont été cherchées à l'aide de méthodes quantitatives et qualitatives.

La méthode quantitative utilisée supposait une relation linéaire entre le paramètre de productivité et la BSR. La structure du modèle linéaire était la suivante :

$$\begin{aligned} P_i &= N(\mu_i, \sigma^2) \\ E(P_i) &= \mu_i \\ \mu_i &= \alpha + \beta \times BSR \end{aligned}$$

où P_i représente le paramètre de productivité; σ^2 , la variance; μ_i , la valeur attendue du paramètre de productivité; α , le point de croisement de l'axe; et β , la pente. Ce modèle a servi à évaluer la dépendance à la densité des termes de productivité que sont la croissance et la mortalité naturelle.

Pour évaluer la dépendance à la densité du recrutement, le recrutement « par individu » a été utilisé comme mesure de la productivité. Les résultats des analyses de von Bertalanffy donnent à penser que dans la ZPP 25A, les pétoncles ayant atteint la taille définie pour le recrutement ont environ quatre ans, tandis que dans la ZPP 26A, une croissance plus rapide fait en sorte que la plupart des pétoncles ayant atteint la taille définie pour le recrutement ont environ trois ans (Keyser et coll., sous presse). Un décalage de trois ans (ZPP 26A) ou quatre ans

(ZPP 25A) a donc été appliqué aux pétoncles recrutés (R) dans chaque ZPP, respectivement, pour les mettre en correspondance avec la BSR qui les a produits (p. ex. les pétoncles recrutés dans la ZPP 25A en 2022 ont été présumés avoir quatre ans, et ainsi être « nés » en 2018; ils ont donc été mis en correspondance avec la BSR de 2018). La biomasse des pétoncles recrutés (R) a ensuite été divisée par la BSR de l'année pendant laquelle ces pétoncles étaient « nés », pour obtenir une mesure des pétoncles recrutés par géniteur (PRG). Si l'on fait une transformation logarithmique des valeurs de PRG et que l'on compare le résultat à la BSR, la relation établie est une linéarisation de la relation stock-recrues de Ricker :

$$R_t = \alpha(BSR_t)e^{-\beta(BSR_t)}$$

Que l'on peut linéariser comme suit :

$$\log\left(\frac{R_t}{BSR_t}\right) = \alpha - \beta \times BSR_t$$

L'équation de régression linéaire ci-dessus peut ainsi être simplifiée de la façon suivante :

$$P = \log\left(\frac{R_t}{BSR_t}\right).$$

Cette méthode linéaire quantitative a d'abord été employée pour chercher des preuves d'une relation de dépendance à la densité (p. ex. la ligne bleue accompagnée de l'intervalle de confiance à 95 % [ombré] dans la figure 1). Dans les cas où une relation de dépendance à la densité a été constatée, la régression linéaire (et son incertitude) a servi à tenir compte de cette dépendance dans les simulations du RMD. Cependant, les prédictions fournies par les régressions linéaires n'ont pas été utilisées dans les simulations du RMD, parce que 1) la relation était rarement linéaire; et 2) ces modèles linéaires ne permettaient pas de tenir compte de la variabilité observée dans les données et produisaient des estimations de paramètres beaucoup moins variables que les données de ces paramètres contenues dans les séries chronologiques d'évaluation des stocks respectives (un résultat particulièrement problématique dans le cas du recrutement). Des techniques de régression robustes ont été essayées dans l'objectif de mieux tenir compte de la variabilité observée, mais elles n'ont pas permis de résoudre ce problème.

Pour cette raison, une méthode visuelle qualitative a été mise au point afin de déterminer la BSR à laquelle un changement non linéaire et discontinu d'un paramètre de productivité était observé (p. ex. la ligne tiretée verticale rouge dans la figure 1). Cette méthode est ci-après appelée la méthode du point de rupture. Des renseignements détaillés sur la manière dont les points de rupture ont été intégrés aux simulations du RMD sont donnés ci-dessous, dans la section *Procédure de simulation*.

2.3.2. Corrélation

L'autocorrélation dans chaque paramètre de productivité historiquement modélisé et la corrélation croisée entre ces paramètres ont été intégrées à la dynamique de la population dans les simulations du RMD et des RDP. La force de l'autocorrélation dans les paramètres a été estimée à l'aide de techniques d'autocorrélation standard (p. ex. les fonctions *acf*, *pacf* et *ccf* du paquet *stats* de R, version 4.2.2; R Core Team, 2023). La corrélation dans les valeurs de PRG a été explorée sur une échelle logarithmique, tandis que l'échelle naturelle a été employée pour la croissance et la mortalité naturelle. Dans les cas où des signes de non-stationnarité du paramètre de productivité ont été relevés (p. ex. une diminution de l'estimation du paramètre au fil du temps), l'autocorrélation a été testée à l'aide de données desquelles la tendance avait été éliminée (au moyen des résidus d'un modèle linéaire ajusté à la série chronologique de la productivité). Aucun signe d'autocorrélation n'a été constaté dans les paramètres de croissance et la plupart des paramètres de mortalité naturelle; par conséquent, aucune autocorrélation n'a

été modélisée pour ces paramètres. L'exception était une relation marginalement significative pour le terme de mortalité naturelle des pétoncles pleinement recrutés pour un décalage de 2 dans la ZPP 25A.

2.3.3. Procédure de simulation

Dans le texte qui suit, les « paramètres modélisés » désignent les estimations des paramètres issues des modèles d'évaluation du stock, qui forment la base de notre compréhension de la productivité historique dans chaque zone modélisée. Les simulations du RMD se fondent sur les relations de productivité historique pour fournir des projections futures de chaque stock. Dans ces simulations, une projection de série chronologique porte sur un nombre d'années fixé par l'utilisateur, et est appelée « réalisation » dans le présent texte. Un « scénario » combine les résultats de multiples réalisations respectant un ensemble de règles précises (p. ex. si un scénario de 10 000 réalisations était exécuté sans prélèvement par la pêche, ses résultats seraient ceux du « scénario sans pêche »). Les simulations du RMD découlent de plusieurs scénarios de taux d'exploitation fondés sur les tendances de productivité historique dressées à partir des modèles d'évaluation du stock.

Les simulations du RMD s'appuient sur des méthodes antérieures de simulation du RMD élaborées pour des stocks de pétoncles dans la région des Maritimes, mais représentent plus complètement la variabilité et la corrélation entre les paramètres de productivité que ce que l'on a pu faire auparavant (p. ex. Smith et coll., 2015). Une caractérisation plus complète de la dynamique de la productivité concorde avec les « pratiques exemplaires » recommandées pour l'élaboration de points de référence (Marentette et Kronlund, 2020; Marentette et coll., 2021). En outre, ces techniques permettent d'explorer l'effet de stratégies de récolte plus complexes sur la dynamique du stock (pour en savoir plus, voir la section *Simulations de RDP*).

Les simulations du RMD ont consisté en des projections de séries chronologiques de 200 ans, chaque scénario étant composé de 10 000 réalisations. Les scénarios étaient fondés sur des taux d'exploitation qui variaient d'un scénario à l'autre, allant de 0 à 0,1 par pas de 0,005. Dans un scénario donné, le taux d'exploitation ne variait pas au fil du temps. Par exemple, dans le scénario du taux de 0,1, 10 % de la B_{pr} était retirée à chaque année simulée. Les résumés et les points de référence ont été calculés à partir des 100 dernières années de la série chronologique projetée. La façon d'échantillonner les paramètres de productivité entrant dans ces simulations a été déterminée à partir des résultats des analyses de la corrélation et de la dépendance à la densité.

La procédure suivante a été appliquée dans les cas où aucun signe de dépendance à la densité ou de corrélation n'avait été trouvé dans les paramètres de productivité historiques modélisés. Pour chaque paramètre, une projection de série chronologique comportant 200 ans de valeurs a été produite pour chacune des 10 000 réalisations et chacun des scénarios de taux d'exploitation. Ces projections ont été obtenues par un échantillonnage d'une distribution log-normale dont la moyenne (la médiane pour la mortalité naturelle, parce que la moyenne donnait lieu à des simulations présentant de nombreuses années où les taux de mortalité naturelle des pétoncles pleinement recrutés dépassaient les 90 %) et l'écart-type provenaient des estimations du paramètre de productivité modélisé. Cette distribution a été utilisée pour garantir que les paramètres de productivité restaient positifs, tout en fournissant une variabilité des paramètres semblable à celle observée historiquement.

Dans les cas où une dépendance à la densité avait été observée (c.-à-d. que la méthode du point de rupture avait été utilisée), mais pas de corrélation, les projections de séries chronologiques des paramètres de productivité étaient dépendantes des estimations de la BSR et ont été calculées pour chaque année comprise dans les séries chronologiques projetées.

Lorsqu'un seul point de rupture avait été déterminé et que la BSR simulée pour une année était inférieure à ce point, la moyenne (médiane pour m) et l'écart-type des valeurs du paramètre de productivité historiquement modélisé qui étaient inférieures au point de rupture ont servi à échantillonner une distribution log-normale afin d'obtenir une valeur pour le paramètre projeté pour l'année en question. À l'inverse, lorsque les données se situaient au-dessus du point de rupture, la même procédure a été suivie, mais seules les données supérieures à la BSR au point de rupture ont été utilisées. De même, si plusieurs points de rupture avaient été observés (p. ex. PRG dans la ZPP 25A), cette méthode a été appliquée, mais à l'aide des paramètres de productivité historiques issus de la catégorie de BSR appropriée.

Dans les cas où une corrélation avait été observée dans un paramètre de productivité historiquement modélisé, mais pas de dépendance à la densité, la projection de la série chronologique du paramètre tenait compte de l'autocorrélation dans la série chronologique historique, la moyenne (médiane pour m) et l'écart-type de la projection ayant été fixés en fonction du paramètre historique. L'autocorrélation a été incorporée au moyen d'un cadre autorégressif à moyenne mobile intégrée (ARIMA) (c.-à-d. la fonction *arima.sim* du paquet *stats* et la fonction *rmvnorm* du paquet *mvtnorm* de R, version 4.2.2; R Core Team, 2023), dont les deux premières composantes autorégressives ont été prises en compte.

Dans les cas où une corrélation et une dépendance à la densité avaient été observées dans un paramètre de productivité historique, ces deux caractéristiques ont été intégrées aux projections de la série chronologique du paramètre. La première étape consistait à élaborer une projection possédant la structure d'autocorrélation et de corrélation croisée observée dans la série chronologique historique du paramètre au moyen des méthodes ARIMA décrites plus haut. De plus, la moyenne (médiane pour m) et l'écart-type de la série chronologique projetée ont été fixés en fonction des estimations du paramètre historique calculées à partir des valeurs inférieures à la BSR au point de rupture (historiquement, on compte plus d'années pendant lesquelles le stock était inférieur au point de rupture). La deuxième étape consistait à mettre à jour l'estimation du paramètre dans la projection pour les années où la BSR était supérieure au point de rupture. L'estimation du paramètre pour chaque année en question a alors été remplacée par un échantillon d'une distribution log-normale dont la moyenne et l'écart-type avaient été estimés à partir des valeurs du paramètre historique au-dessus du point de rupture. Cette procédure a quelque peu réduit la force de la corrélation dans les projections de séries chronologiques, mais a donné lieu à des séries chronologiques dans lesquelles la structure de corrélation générale et la relation de dépendance à la densité des séries chronologiques originales étaient préservées (voir la section *Résultats*).

Une corrélation croisée n'a été observée qu'entre les paramètres de productivité que sont les PRG et la mortalité naturelle des pétoncles pleinement recrutés. Elle pourrait être liée aux difficultés constatées quant à l'estimation indépendante des valeurs de ces deux paramètres faite par les modèles à différences retardées (p. ex. McDonald et coll., 2021). L'analyse de la corrélation croisée a servi à déterminer la corrélation maximale pour des décalages de moins de cinq ans entre ces deux paramètres, sur la base de la productivité historique des PRG et de la mortalité naturelle des pétoncles pleinement recrutés. Les projections ont été élaborées au moyen d'un cadre ARIMA, de sorte qu'elles simulent les séries chronologiques des PRG et de la mortalité naturelle en préservant les caractéristiques de ces séries chronologiques observées. La dépendance à la densité des PRG a été prise en compte dans la projection de la manière décrite dans le paragraphe précédent.

Enfin, pour empêcher les simulations du RMD de produire des estimations impossiblement élevées de la biomasse, le paramètre de croissance des pétoncles pleinement recrutés a été fixé à 1 et échantillonné dans une distribution log-normale ayant un écart-type de 0,1 chaque

fois que la BSR dépassait la BSR maximale observée dans les séries chronologiques historiquement modélisées.

2.3.4. Indices issus des modèles

La B_{RMD} et la B_0 ont été estimées à partir des résultats des simulations du RMD. La B_0 a été calculée comme la biomasse médiane des 100 dernières années des simulations dans lesquelles le taux d'exploitation avait été fixé à zéro. La B_{RMD} a été calculée comme la biomasse médiane des 100 dernières années des simulations employant le taux d'exploitation qui donnait lieu à une maximisation du rendement moyen de la pêche (RMD) lorsqu'on utilisait les 100 dernières années de données simulées. Le taux d'exploitation à la B_{RMD} était le taux d'exploitation cible à long terme et peut être utilisé pour guider l'établissement du NER_{cib} .

Comme pour les méthodes fondées sur des indices, les critères applicables aux PRL proposés et aux possibilités de PRS reposaient sur la B_0 et la B_{RMD} . Les PRL proposés ont été fixés à 20 % de la B_0 ($B_{0[20]}$) et à 30 % ($B_{RMD[30]}$) et 40 % ($B_{RMD[40]}$) de la B_{RMD} , tandis que les possibilités de PRS correspondent à 40 % de la B_0 ($B_{0[40]}$) et à 80 % de la B_{RMD} ($B_{RMD[80]}$). Un autre avantage des simulations stochastiques est la possibilité de déterminer le pourcentage d'années pendant lesquelles les stocks se situaient dans les zones critique (sous le PRL), de prudence (entre le PRL et le PRS) et saine (au-dessus du PRS). Si l'on utilise les 100 dernières années de données, la $B_{0(20)}$ comme le PRL et la $B_{0(40)}$ comme le PRS, la proportion de temps passé dans ces zones par chacune des simulations tirées du scénario dans lequel la pêche se faisait au taux d'exploitation résultant en une biomasse égale à la B_{RMD} .

2.4. SIMULATIONS DE RDP

Les simulations stochastiques élaborées ici peuvent servir à explorer des scénarios mettant de l'avant des stratégies de récolte plus complexes que celles envisagées dans les simulations du RMD présentées ci-dessus (où le taux d'exploitation dans chaque scénario est fixe dans le temps). Aux fins des simulations de RDP, les paramètres de productivité sont simulés de la façon décrite plus haut, mais au lieu de fixer un taux d'exploitation pour chaque scénario, il est possible de faire varier le taux en fonction de la biomasse simulée actuelle. De plus, il est possible de concevoir des scénarios de RDP qui lient les taux aux points de référence et permettent d'étudier comment la variation des taux à chacun de ces points (souvent appelés points de contrôle) influe sur la dynamique du stock à long terme.

Bien que ces simulations de RDP ne soient pas nécessaires à l'établissement du PRL, l'exploration de différents scénarios de RDP aide à comprendre l'effet de la mise en œuvre de différents PRS et NER_{cib} . En outre, ces simulations facilitent l'étude d'autres points de référence, comme un point de référence cible (PRC) fondé sur la biomasse et un niveau d'exploitation de référence limite (NER_{lim} ; MPO, 2009; Marentette et Kronlund, 2020). Le PRC est une valeur supérieure au PRS qui repose sur les objectifs de productivité ou d'autres considérations biologiques (Marentette et Kronlund, 2020; MPO, 2021, 2023).

Il existe une infinité de scénarios de RDP que l'on pourrait tester, mais il convient de les concevoir en fonction des objectifs de gestion. Les simulations de RDP pourraient orienter l'élaboration d'autres stratégies de récolte susceptibles de soutenir les objectifs de conservation et les objectifs socioéconomiques. Le code permettant d'étudier l'effet de divers scénarios de RDP sur le stock est accessible au public (Keith, 2025). La définition des RDP n'est pas du ressort de la science, et il n'existe pas de RDP établies pour les ZPP évaluées ici. Nous présentons néanmoins un scénario de RDP pour chacune des ZPP 25A et 26A afin de démontrer l'utilité de cette approche.

Dans le cas des scénarios de RDP, les objectifs de gestion étaient a) de maintenir le stock près du PRC, b) d'augmenter les prélèvements par la pêche moyens à long terme, et c) de réduire le pourcentage d'années pendant lesquelles le stock était inférieur au PRL. Les résultats des scénarios de RDP pour les objectifs b) et c) ont été comparés aux résultats du scénario des simulations du RMD dans lequel le taux d'exploitation plaçait la population à la B_{RMD} . Dans chaque scénario de RDP, le PRC avait été fixé à la valeur estimée de la B_{RMD} , le PRL, à la $B_{RMD(40)}$, et le PRS, à la $B_{RMD(80)}$. Le taux d'exploitation moyen avait été fixé comme décrit ci-dessous. Une distribution log-normale ayant un écart-type de 0,1 a été employée pour permettre une certaine variabilité du taux d'exploitation. Les résultats résument les 100 dernières années des 10 000 réalisations et, comme pour les simulations du RMD, le pourcentage d'années pendant lesquelles les résultats sont inférieurs au PRL, supérieurs au PRS, supérieurs au PRC ou entre ces points de référence a été calculé.

Dans la ZPP 25A, le taux d'exploitation avait été établi comme suit pour le scénario de RDP : a) fixé à un NER_{lim} de 0,05 lorsque la B_{pr} était supérieure au PRC (2 900 tonnes); b) fixé à 0,02 lorsque la B_{pr} était supérieure au PRS (2 320 tonnes), mais inférieure au PRC; c) en diminution linéaire entre 0,02 au PRS et 0 au PRL (1 160 tonnes) lorsque la B_{pr} était inférieure au PRS, mais supérieure au PRL; et d) fixé à 0 lorsque la B_{pr} était inférieure au PRL. De même, dans la ZPP 26A, le taux d'exploitation avait été établi comme suit pour le scénario de RDP : a) fixé à un NER_{lim} de 0,07 lorsque la B_{pr} était supérieure au PRC (5 000 tonnes); b) fixé à 0,03 lorsque la B_{pr} était supérieure au PRS (4 000 tonnes), mais inférieure au PRC; c) en diminution linéaire entre 0,03 au PRS et 0 au PRL (2 000 tonnes) lorsque la B_{pr} était inférieure au PRS, mais supérieure au PRL; et d) fixé à 0 lorsque la B_{pr} était inférieure au PRL.

3. RÉSULTATS

3.1. PRODUCTIVITÉ ET DÉPENDANCE À LA DENSITÉ

3.1.1. ZPP 25A

Des signes clairs d'une dépendance négative à la densité du recrutement ont été observés; le nombre de PRG augmentait avec la diminution de la biomasse (figure 1). La relation générale était conforme à ce que l'on pouvait s'attendre d'un modèle de Ricker (figure 1), mais, comme indiqué ci-dessus, la méthode du point de rupture a été privilégiée dans les simulations du RMD. Le point de rupture choisi était la valeur de 7 000 tonnes (figure 1). Un second point de rupture potentiel a été cerné à la valeur de 4 300 tonnes, mais les tests de simulation l'employant ont donné lieu à un stock produisant systématiquement une biomasse relativement grande de pétoncles recrutés lorsque sa biomasse était inférieure à 4 300 tonnes. Les simulations utilisant ce point de rupture permettaient ainsi des taux d'exploitation de deux à trois fois plus élevés que ceux jamais observés dans la ZPP 25A. Par conséquent, ce point de rupture supplémentaire n'a pas été intégré aux simulations. Il n'y avait aucun signe de dépendance à la densité dans les paramètres de croissance ou de mortalité naturelle (figures 2 et 3). Il n'y avait pas non plus de rupture discontinue dans les relations avec la croissance ou la mortalité naturelle à mesure de l'augmentation de la BSR (figures 2 et 3). De ce fait, aucune dépendance à la densité n'a été intégrée aux simulations du RMD ou de RDP pour les paramètres de croissance et de mortalité naturelle.

La série chronologique des PRG montrait des signes d'autocorrélation, et une corrélation positive significative (0,68) a été constatée à un décalage d'un an (figure 4). Les paramètres de croissance ne montraient aucun signe de corrélation (figure 5). Une faible corrélation négative significative (-0,38) a été observée à un décalage de deux ans pour la mortalité des pétoncles pleinement recrutés, et elle a été intégrée aux simulations. Il n'y avait pas de corrélation dans la

série chronologique de la mortalité des pétoncles recrutés (figure 6). Enfin, la corrélation croisée entre les PRG (avec décalage à l'année pendant laquelle les pétoncles recrutés étaient observés dans la série chronologique) et la mortalité naturelle des pétoncles pleinement recrutés a été évaluée, et une corrélation faible, mais significative a été constatée. Les corrélations les plus élevées ont été obtenues entre les décalages de -1 à 1 an, la plus élevée étant à 1 an ($r = 0,46$, figure 7). Ce résultat donne à penser que des événements de biomasse de pétoncles recrutés relativement élevée (étant donné la BSR qui a produit ces pétoncles) ont été observés pendant des périodes de forte mortalité naturelle. Par ailleurs, des événements de biomasse de pétoncles recrutés relativement faible ont été observés pendant des périodes de forte mortalité naturelle. Pour tenir compte de cet effet, les simulations intégraient la corrélation entre la mortalité naturelle des pétoncles pleinement recrutés et les PRG au décalage produisant la corrélation maximale.

Les estimations de l'indice de la biomasse des relevés annuel étaient fortement corrélées ($r = 0,98$) aux estimations de la biomasse des modèles, bien que l'indice était sensiblement différent de l'estimation résultante des modèles pendant plusieurs années (p. ex. 1995, 2010 et 2022) et que la plupart des données se situaient près de la ligne 1:1 (figure 8). Ce résultat montre que l'indice de la biomasse des relevés était en général une approximation raisonnable de la biomasse des modèles, mais que les deux mesures diffèrent lorsqu'on compare des années individuelles (figure 8).

3.1.2. ZPP 26A

Des signes clairs d'une dépendance négative à la densité du recrutement ont été observés; le nombre de PRG augmentait avec la diminution de la biomasse (figure 9). La relation générale était conforme à ce que l'on pouvait s'attendre d'un modèle de Ricker (figure 9), mais, comme indiqué ci-dessus, la méthode du point de rupture a été privilégiée dans les simulations du RMD. Un seul point de rupture a été établi : lorsque la BSR était supérieure à 11 500 tonnes, le nombre de PRG tendait à être le plus bas observé dans la série chronologique, tandis qu'aucune tendance des PRG n'a été décelée pour les changements de la BSR en deçà de cette valeur (figure 9). Il y avait peu de signes d'une dépendance à la densité dans les paramètres de croissance et de mortalité naturelle (figures 10 et 11). Il n'y avait pas de rupture discontinue de la relation entre la croissance et la BSR (figure 10), bien qu'il faut noter qu'aucune valeur faible de mortalité naturelle n'a été observée lorsque la BSR était supérieure à environ 13 000 tonnes (figure 11). De ce fait, aucune dépendance à la densité n'a été intégrée aux simulations du RMD ou de RDP pour les paramètres de croissance et de mortalité naturelle.

La série chronologique des PRG montrait des signes d'autocorrélation, et une corrélation positive significative (0,7) a été constatée à un décalage d'un an ainsi qu'une corrélation négative significative à un décalage de deux ans (-0,61, figure 12). Il n'y avait pas de corrélation significative dans les séries chronologiques de la croissance et de la mortalité naturelle (figures 13 et 14). Enfin, la corrélation croisée entre les PRG (avec décalage à l'année pendant laquelle les pétoncles recrutés étaient observés dans la série chronologique) et la mortalité naturelle des pétoncles pleinement recrutés a été évaluée. Une corrélation significative a été constatée; les corrélations les plus élevées ont été obtenues entre les décalages de 0 à 2 ans, la plus élevée étant à -1 an ($r = 0,77$, figure 15). Ce résultat donne à penser que des événements de biomasse de pétoncles recrutés relativement élevée (étant donné la BSR qui a produit ces pétoncles) ont été observés pendant des périodes de forte mortalité naturelle. Par ailleurs, des événements de biomasse de pétoncles recrutés relativement faible ont été observés pendant des périodes de forte mortalité naturelle. Pour tenir compte de cet effet, les

simulations intégraient la corrélation entre la mortalité naturelle des pétoncles pleinement recrutés et les PRG au décalage produisant la corrélation maximale.

Les estimations de l'indice de la biomasse des relevés annuel étaient corrélées ($r = 0,76$) aux estimations de la biomasse des modèles, bien que l'indice ne suivait pas les estimations des modèles aussi étroitement que dans la ZPP 25A (figure 16). L'estimation des modèles est sensiblement plus élevée que l'indice pour plusieurs des premières années de la série chronologique (1994 à 1998). Cela pourrait être dû aux conditions initiales requises pour le MESE (Keith et coll., sous presse). En général, ces résultats montrent que l'indice de la biomasse des relevés est une approximation raisonnable de la biomasse des modèles, en particulier pour les années les plus récentes, mais que les différences entre les deux mesures peuvent être importantes lors d'une année donnée (figure 16).

3.2. POINTS DE RÉFÉRENCE

3.2.1. Indices de la biomasse des relevés

Trois PRL fondés sur des indices de la biomasse des relevés ont été élaborés pour chaque zone (tableau 1). Dans la ZPP 25A, ces trois PRL étaient les suivants : 1 255 tonnes ($B_{RMD[30]}$), 1 674 tonnes ($B_{RMD[40]}$) et 1 338 tonnes ($B_{0[20]}$; figure 17). Dans la ZPP 26A, ils étaient de 1 913 tonnes ($B_{RMD[30]}$), 2 551 tonnes ($B_{RMD[40]}$) et 3 252 tonnes ($B_{0[20]}$; figure 17). Dans la ZPP 26C, ils étaient de 890 tonnes ($B_{RMD[30]}$), 1 187 tonnes ($B_{RMD[40]}$) et 882 tonnes ($B_{0[20]}$; figure 17). Enfin, dans la ZPP 27B, ils étaient de 628 tonnes ($B_{RMD[30]}$), 837 tonnes ($B_{RMD[40]}$) et 771 tonnes ($B_{0[20]}$; figure 17).

Deux possibilités de PRS fondés sur des indices de la biomasse des relevés ont été élaborées pour chaque zone (tableau 1). Dans la ZPP 25A, les deux PRS étaient les suivants : 3 347 tonnes ($B_{RMD[80]}$) et 2 676 tonnes ($B_{0[40]}$; figure 17). Dans la ZPP 26A, ils étaient de 5 102 tonnes ($B_{RMD[80]}$) et 6 503 tonnes ($B_{0[40]}$; figure 17). Dans la ZPP 26C, ils étaient de 2 373 tonnes ($B_{RMD[80]}$) et 1 763 tonnes ($B_{0[40]}$; figure 17). Enfin, dans la ZPP 27B, ils étaient de 1 674 tonnes ($B_{RMD[80]}$) et 1 542 tonnes ($B_{0[40]}$; figure 17).

Des diagrammes de phase construits à l'aide des taux d'exploitation relatifs et des indices de la biomasse des relevés ont montré qu'il n'y avait pas de relation claire entre le taux d'exploitation relatif et l'indice de la biomasse des relevés dans les différentes zones (figure 18). La MEG n'a pas permis d'établir de relation entre le changement de l'indice de la biomasse et le taux d'exploitation relatif dans les ZPP 25A, 26C ou 27B qui aurait facilité l'élaboration d'un NER_{lim} dans ces zones (figure 19). Dans la ZPP 26A, le changement d'indice tendait à diminuer avec l'augmentation du taux d'exploitation relatif, ce qui a facilité l'élaboration d'une possibilité de NER_{lim} à l'aide des indices relatifs; la MEG a donné à penser qu'un NER_{lim} d'environ 0,12 (diagramme supérieur droit de la figure 19 et tableau 1) pourrait être envisagé.

Une possibilité de NER_{cib} relatif a été déterminée pour chacune des zones; il s'agit du taux d'exploitation relatif médian de la période de cinq ans présentant la plus faible variabilité de l'indice de la biomasse des relevés (tableau 1). Dans la ZPP 25A, ce NER_{cib} était de 0,011 et reposait sur le taux d'exploitation relatif entre 2011 et 2015. Dans la ZPP 26A, il était de 0,077 et reposait sur le taux d'exploitation relatif entre 2018 et 2022. Dans la ZPP 26C, il était de 0,025 et reposait sur le taux d'exploitation relatif entre 2015 et 2019. Enfin, dans la ZPP 27B, il était de 0,15 et reposait sur le taux d'exploitation relatif entre 2002 et 2006.

3.2.2. Simulations du RMD

Dans la ZPP 25A, les projections de séries chronologiques des paramètres de productivité découlant des simulations du RMD présentaient des caractéristiques semblables à celles des

séries chronologiques historiquement modélisées. Les projections du scénario de RMD dans lequel le taux d'exploitation était fixé à 0,03 ont été comparées aux séries chronologiques historiquement modélisées. Les paramètres de croissance et de mortalité naturelle des pétoncles recrutés issus des simulations présentaient une autocorrélation minimale (figure 20). La série chronologique des PRG simulée a conservé la corrélation observée pour un décalage de 1, sans corrélation notable pour un décalage de 2 (les estimations moyennes de la corrélation s'établissaient à 0,64 et à -0,01, respectivement, figure 20). En ce qui concerne la mortalité naturelle des pétoncles pleinement recrutés, la corrélation de la série a été conservée pour un décalage de 2, sans corrélation notable pour un décalage de 1 (les estimations moyennes s'établissaient à -0,35 et à -0,01, respectivement, figure 20). De plus, le pic de corrélation entre la mortalité naturelle et les PRG était aussi présent dans les données simulées au décalage de 1. Cependant, à l'instar de l'autocorrélation dans les PRG et la mortalité naturelle, cette valeur était quelque peu réduite dans les simulations (sa moyenne estimée était de 0,24, figure 21). La dépendance à la densité observée dans les données des PRG a été conservée dans les simulations, puisque le recrutement était systématiquement faible lorsque la BSR dépassait le point de rupture dans la ZPP 25A (7 000 tonnes) et que les valeurs de PRG inférieures à ce point ressemblaient aux valeurs de PRG observées sous-jacentes. Aucune dépendance à la densité n'a été constatée dans les autres paramètres de productivité simulés (figure 22).

Dans la ZPP 25A, les résultats des simulations du RMD ont montré que la biomasse médiane se stabilisait à environ 4 700 tonnes lorsque le taux d'exploitation était nul (figure 23). Cette valeur est ci-après considérée comme la biomasse non exploitée (B_0) pour cette zone. Le taux d'exploitation donnant lieu à des prélèvements maximaux à long terme était 0,03 (figure 24); il a été établi comme une possibilité de NER_{cib} dans la zone sur la base du régime de productivité historiquement observé. À ce NER_{cib} , la biomasse médiane était de 2 900 tonnes et a été considérée comme la biomasse au rendement maximal durable (B_{RMD} ; figure 25). Les prélèvements annuels moyens à la B_{RMD} s'élevaient à 88 tonnes (figure 24).

D'après ces valeurs, trois PRL fondés sur les simulations du RMD ont été proposés pour la ZPP 25A, soit 870 tonnes ($B_{RMD[30]}$), 1 160 tonnes ($B_{RMD[40]}$) et 940 tonnes ($B_{0[20]}$; figure 26 et tableau 2). Deux possibilités de PRS fondées sur ces simulations ont également été fournies pour cette zone, soit 2 320 tonnes ($B_{RMD[80]}$) et 1 880 tonnes ($B_{0[40]}$; figure 26 et tableau 2). À titre d'exemple, si l'on exécute le scénario de RMD pour un taux d'exploitation de 0,03 en fixant le PRL à la $B_{RMD(40)}$ et le PRS à la $B_{RMD(80)}$, les simulations dans la ZPP 25A montrent une population supérieure au PRS (c.-à-d. dans la zone saine) pour 64,1 % des années simulées, inférieure au PRL (c.-à-d. dans la zone critique) pour 9,3 % des années simulées, et entre le PRL et le PRS (c.-à-d. dans la zone de prudence) pour 26,6 % des années simulées (figure 27).

Dans la ZPP 26A, les projections des séries chronologiques des paramètres de productivité découlant des simulations du RMD présentaient des caractéristiques semblables à celles des séries chronologiques historiquement modélisées. Les projections du scénario de RMD dans lequel le taux d'exploitation était fixé à 0,04 ont été comparées aux séries chronologiques historiquement modélisées. Les paramètres de croissance et de mortalité naturelle issus des simulations présentaient une autocorrélation minimale (figure 28). La série chronologique des PRG simulée a conservé la corrélation observée pour un décalage de 1 et de 2 (les estimations moyennes de la corrélation de la série simulée s'établissaient à 0,4 et à -0,42, respectivement; cette corrélation était un peu plus faible que celle de la série chronologique observée, figure 28). En outre, le pic de corrélation entre la mortalité naturelle et les PRG était aussi présent dans les données simulées à un décalage de -1. Toutefois, à l'instar de l'autocorrélation des PRG et de la mortalité naturelle, cette valeur était quelque peu inférieure dans les simulations (sa moyenne estimée était de 0,47, figure 29). La dépendance à la densité des PRG a été conservée, puisque les valeurs étaient systématiquement faibles lorsque la BSR

dépassait le point de rupture dans la ZPP 26A (11 500 tonnes) et que les valeurs de PRG inférieures à ce point ressemblaient aux valeurs de PRG observées sous-jacentes. Aucune dépendance à la densité n'a été constatée dans les autres paramètres de productivité simulés (figure 30).

Dans la ZPP 26A, les résultats des simulations du RMD ont montré que la biomasse médiane se stabilisait à environ 8 300 tonnes lorsque le taux d'exploitation était nul (figure 31). Cette valeur est ci-après considérée comme la biomasse non exploitée (B_0) pour cette zone. Le taux d'exploitation donnant lieu à des prélèvements maximaux à long terme était 0,04 (figure 32); il a été établi comme une possibilité de NER_{cib} dans la zone sur la base du régime de productivité historiquement observé. À ce NER_{cib} , la biomasse médiane était de 5 000 tonnes et a été considérée comme la biomasse au rendement maximal durable (B_{RMD} ; figure 33). Les prélèvements annuels moyens à la B_{RMD} s'élevaient à 200 tonnes (figure 32).

D'après ces valeurs, trois PRL fondés sur les simulations du RMD ont été proposés pour la ZPP 26A, soit 1 500 tonnes ($B_{RMD[30]}$), 2 000 tonnes ($B_{RMD[40]}$) et 1 660 tonnes ($B_{0[20]}$; figure 34 et tableau 2). Deux possibilités de PRS fondées sur ces simulations ont également été fournies pour cette zone, soit 4 000 tonnes ($B_{RMD[80]}$) et 3 320 tonnes ($B_{0[40]}$; figure 34 et tableau 2). À titre d'exemple, si l'on exécute le scénario de RMD pour un taux d'exploitation de 0,04 en fixant le PRL à la $B_{RMD(40)}$ et le PRS à la $B_{RMD(80)}$, les simulations dans la ZPP 26A montrent une population supérieure au PRS (c.-à-d. dans la zone saine) pour 63 % des années simulées, inférieure au PRL (c.-à-d. dans la zone critique) pour 13,5 % des années simulées, et entre le PRL et le PRS (c.-à-d. dans la zone de prudence) pour 23,5 % des années simulées (figure 35).

3.3. SIMULATIONS DE RDP

Dans le scénario de RDP dans la ZPP 25A, la biomasse médiane (2 878 tonnes) fluctuait autour du PRC (figure 36). Pour ce qui est des prélèvements, la moyenne s'élevait à 119 tonnes, tandis que la médiane s'élevait à 64 tonnes (figure 37). Le stock était inférieur au PRL pour 2,37 % des années simulées, dans la zone de prudence pour 27,6 % des années simulées, entre le PRS et le PRC pour 20,7 % des années simulées, et supérieur au PRC pour 49,2 % des années simulées (figure 38). Il en résulte une séparation dans les valeurs de débarquement. Par exemple, quand le stock était supérieur au PRS, mais inférieur au PRC, les débarquements se situaient généralement entre 46,4 et 58 tonnes, tandis qu'au-dessus du PRC, les débarquements étaient généralement supérieurs à 145 tonnes et atteignaient parfois plus du double de cette valeur (figure 39).

Dans le scénario de RDP dans la ZPP 26A, la biomasse médiane (4 913 tonnes) fluctuait autour du PRC (figure 40). Pour ce qui est des prélèvements, la moyenne s'élevait à 281 tonnes, tandis que la médiane s'élevait à 159 tonnes (figure 41). Le stock était inférieur au PRL pour 2 % des années simulées, dans la zone de prudence pour 27,7 % des années simulées, entre le PRS et le PRC pour 22,2 % des années simulées, et au-dessus du PRC pour 48,1 % des années simulées (figure 42). Il en résulte une séparation dans les valeurs de débarquement. Par exemple, quand le stock était supérieur au PRS, mais inférieur au PRC, les débarquements se situaient généralement entre 120 et 150 tonnes, tandis qu'au-dessus du PRC, les débarquements étaient généralement supérieurs à 350 tonnes et atteignaient parfois plus du double de cette valeur (figure 43).

4. CONCLUSIONS

Des renseignements visant à orienter l'élaboration de PRS, de PRC et de NER dans chacune des quatre zones (ZPP 25A, 26A, 26C et 27B) ont été fournis. Les points de référence axés sur la B_{RMD} ont été privilégiés dans toutes les zones, étant donné les difficultés d'estimation de la B_0

pour les stocks faisant l'objet d'une pêche active. Pour les zones où il a été possible d'obtenir des points de référence fondés sur des modèles et sur des indices (ZPP 25A et 26A), les points fondés sur des modèles ont été jugés plus informatifs. Pour les deux zones modélisées, la $B_{RMD(40)}$ a été préférée comme PRL, car elle est plus étroitement conforme aux principes de l'approche de précaution. Pour ces zones, dans le présent document, des scénarios de RDP ont été explorés au moyen d'exemples. Le développement ultérieur de cette approche pourrait tenir compte d'objectifs de gestion établis ou potentiels.

Pour les zones où seuls des points de référence fondés sur des indices ont été élaborés (ZPP 26C et 27B), la $B_{RMD(30)}$ a été recommandée comme PRL. Elle a été choisie parce que les points de référence fondés sur des indices étaient plus prudents par nature (plus près de la valeur minimale observée dans la série chronologique) que les points de référence fondés sur des modèles correspondants dans les zones où les deux ensembles de points de référence étaient disponibles. Les méthodes fondées sur des indices mises au point pour déterminer les NER potentiels n'ont pas permis de distinguer les effets environnementaux des effets de la pêche sur les stocks, et il a été déconseillé de les utiliser pour déterminer le NER dans les zones où les travaux se fondent sur des indices. Enfin, il n'est pas recommandé d'utiliser à la fois des PRS et des PRC aux fins des points de référence fondés sur des indices découlant de relevés, parce que le fait de fixer des RDP supplémentaires à partir du PRC entraîne un potentiel de prélèvements accrus et une diminution de la probabilité de valeurs inférieures au PRL. L'élaboration de ces RDP serait difficile, compte tenu des contraintes en matière de données associées aux points de référence fondés sur des indices découlant de relevés.

Pour la ZPP 25A, les simulations du RMD ont permis de cerner trois possibilités de PRL fondés sur un modèle, soit 940 tonnes ($B_{0[20]}$), 870 tonnes ($B_{RMD[30]}$) et 1 160 tonnes ($B_{RMD[40]}$). Elles ont aussi servi à déterminer deux possibilités de PRS fondés sur un modèle, soit 1 880 tonnes ($B_{0[40]}$) et 2 320 tonnes ($B_{RMD[80]}$), ainsi qu'un NER_{cib} potentiel de 0,03. Le PRL fixé à la $B_{RMD(40)}$ (1 160 tonnes) a été adopté pour cette zone.

Pour la ZPP 26A, les simulations du RMD ont permis de cerner trois possibilités de PRL fondés sur un modèle, soit 1 660 tonnes (20 % de la B_0), 1 500 tonnes (30 % de la B_{RMD}) et 2 000 tonnes ($B_{RMD[40]}$). Elles ont aussi servi à déterminer deux possibilités de PRS fondés sur un modèle, soit 3 320 tonnes ($B_{0[40]}$) et 4 000 tonnes ($B_{RMD[80]}$), ainsi qu'un NER_{cib} potentiel de 0,04. Le PRL fixé à la $B_{RMD(40)}$ (2 000 tonnes) a été adopté pour cette zone.

Pour la ZPP 26C, trois PRL fondés sur des indices découlant de relevés ont été proposés, soit 882 tonnes ($B_{0[20]}$), 890 tonnes ($B_{RMD[30]}$) et 1 187 tonnes ($B_{RMD[40]}$). L'application de méthodes fondées sur des indices découlant de relevés dans cette zone a permis de conseiller deux PRS, à savoir 1 763 tonnes ($B_{0[40]}$) et 2 373 tonnes ($B_{RMD[80]}$). Comme aucune relation stable n'a été observée entre les changements de la biomasse et le taux d'exploitation relatif, la MEG n'a pas permis de donner de l'orientation sur un NER_{lim} . La possibilité d'un NER_{cib} de 0,025 a été déterminée à l'aide du taux d'exploitation relatif médian de la période de cinq ans présentant la plus faible variabilité de la biomasse observée dans l'indice de la biomasse des relevés. Pendant cette période, la croissance et le recrutement étaient typiques pour la zone, bien qu'il faille noter que cette série chronologique était la plus courte disponible ayant été utilisée dans l'analyse (Keyser et coll., sous presse). Le PRL fixé à la $B_{RMD(30)}$ (890 tonnes) a été adopté pour cette zone.

Pour la ZPP 27B, trois PRL fondés sur des indices découlant de relevés ont été proposés, soit 771 tonnes ($B_{0[20]}$), 628 tonnes ($B_{RMD[30]}$) et 837 tonnes ($B_{RMD[40]}$). L'application de méthodes fondées sur des indices découlant de relevés dans cette zone a permis de conseiller deux PRS, à savoir 1 542 tonnes ($B_{0[40]}$) et 1 674 tonnes ($B_{RMD[80]}$). Comme aucune relation stable n'a été observée entre les changements de la biomasse et le taux d'exploitation relatif, la MEG n'a pas

permis de donner de l'orientation sur un NER_{lim} . La possibilité d'un NER_{cib} de 0,15 a été déterminée à l'aide du taux d'exploitation relatif médian de la période de cinq ans présentant la plus faible variabilité de la biomasse observée dans l'indice de la biomasse des relevés. Pendant cette période, la croissance était typique pour la zone, mais le recrutement était supérieur à la moyenne (Keyser et coll., sous presse). Le PRL fixé à la $B_{RMD(30)}$ (628 tonnes) a été adopté pour cette zone.

L'utilité des indices de la biomasse des relevés en tant qu'indicateur de l'état du stock a également été explorée dans les deux zones modélisées, dans le cas où des estimations de biomasse modélisée ne seraient pas disponibles pour des zones évaluées à l'aide de modèle. Dans la ZPP 25A, l'indice de la biomasse des relevés est fortement corrélé à l'estimation de la biomasse modélisée, de sorte que cette dernière peut servir à déduire l'état du stock. Dans la ZPP 26A, bien que l'indice de la biomasse des relevés soit quelque peu corrélé à l'estimation de la biomasse modélisée, les différences entre les deux paramètres peuvent être importantes, et la prudence est de mise si l'on veut utiliser l'indice comme approximation de la biomasse.

Des scénarios de RDP ont été employés pour montrer comment on peut utiliser cette approche afin de déterminer des possibilités de NER_{lim} et de PRC dans les zones modélisées. Dans les deux zones, le scénario de RDP a réduit la probabilité que le stock tombe sous le PRL et a augmenté les niveaux de récolte moyens à long terme par rapport au scénario de simulation du RMD qui a donné la B_{RMD} . Ces résultats de stratégie adaptative ont été obtenus par une réduction du taux d'exploitation dans la zone saine sous le taux à la B_{RMD} (qui est couramment utilisé comme le NER_{lim} ou le NER_{cib}), tout en autorisant des prélèvements supérieurs au taux d'exploitation à la B_{RMD} lorsque la biomasse dépassait le PRC. Dans le contexte de l'approche de précaution adoptée par le MPO, le NER_{lim} cerné grâce à ces simulations de RDP pourrait servir de taux d'exploitation maximal admissible qui ne s'appliquerait que lorsque le stock dépasse le PRC (MPO, 2021, 2023). Les scénarios de RDP ont donné lieu à une variabilité interannuelle beaucoup plus grande des prélèvements, avec des prélèvements relativement importants près de 50 % du temps, mais des prélèvements relativement faibles à court terme pendant que la biomasse augmente vers le PRC. Cependant, les prélèvements maximaux qui seraient recommandés lorsque les stocks sont supérieurs au PRS, mais inférieurs au PRC dépassent les prélèvements effectués dans la ZPP 25A au cours des dernières années et sont semblables aux prélèvements récents dans la ZPP 26A. Enfin, il a été possible d'examiner des RDP plus complexes, comme la variation du NER_{lim} en fonction de la biomasse lorsque celle-ci dépasse un PRC.

Il conviendrait de voir à la réévaluation des modèles des ZPP 25A et 26A afin d'assurer qu'ils tiennent toujours compte de la dynamique des populations de ces zones et de surveiller les changements de la productivité de chaque stock. Il est difficile de prévoir la date de la prochaine réévaluation des modèles, parce qu'elle dépend de facteurs écologiques, sociaux et économiques qui ne peuvent être prévus. Il est recommandé de surveiller les composantes de croissance, de PRG, de mortalité naturelle et d'erreur de processus des modèles. Un biais directionnel à long terme dans la croissance, les PRG, la mortalité naturelle ou une erreur de processus dénoterait une évolution de la productivité du stock. Il serait alors nécessaire de faire des recherches supplémentaires pour comprendre les processus à l'origine des changements et potentiellement élaborer des modèles tentant de prendre en compte les changements. Une telle évolution de la productivité aurait également un effet sur les points de référence dans la zone et exigerait d'effectuer d'autres essais de simulation.

Les méthodes employées aux présentes s'appuyaient sur des mesures indépendantes de la pêche (c.-à-d. extrants des modèles ou indices découlant de relevés). Bien qu'il soit possible d'élaborer des points de référence à partir de données dépendantes de la pêche, il ne serait pas approprié d'utiliser des méthodes dépendantes de la pêche pour ces zones en raison de

l'augmentation rapide de l'efficacité de la pêche au cours des deux dernières décennies et de l'adoption de navires plus grands et plus puissants au cours des trois dernières décennies (Keith et coll., 2020; Keyser et coll., sous presse). Les méthodes dépendantes de la pêche reposent généralement sur l'utilisation d'une certaine mesure des captures par unité d'effort (CPUE), l'hypothèse sous-jacente étant que les CPUE sont proportionnelles à la biomasse de la population (Hilborn et Walters, 1992). Toutefois, lorsque les changements de l'efficacité de la pêche découlent de changements technologiques ou comportementaux, les CPUE ne sont pas proportionnelles à la biomasse de la population, et cette hypothèse est invalide. L'utilisation de méthodes dépendantes de la pêche dans ce contexte entraînerait une compréhension faussée de l'état des stocks qui se solderait en un avis scientifique biaisé.

5. RECOMMANDATIONS DE RECHERCHE

La croissance et l'état des pétoncles varient considérablement sur le plan spatial et temporel (tant au cours d'une année que d'une année à l'autre). La réalisation de recherches supplémentaires permettant d'améliorer notre compréhension de cette variabilité, de ses causes et de ses effets sur la pêche ainsi que notre compréhension de l'état du stock était l'une des principales recommandations issues du processus décrit aux présentes. Des travaux de quantification de cette variabilité au banc de Georges ont commencé, fondés sur les données d'échantillonnage au port disponibles et de nouvelles données sur le vieillissement (voir Keyser et coll., sous presse, pour en savoir plus sur les données d'échantillonnage au port), mais d'autres recherches seront nécessaires pour mieux étudier les effets de la variabilité dans les zones hauturières.

En ce qui concerne les zones pour lesquelles des points de référence fondés sur des indices sont utilisés, il a été constaté qu'il était difficile de déterminer des NER appropriés au moyen des méthodes élaborées dans le présent document. De façon générale, il est recommandé d'explorer d'autres méthodes de détermination des NER dans les zones pour lesquelles on utilise des indices, ainsi que d'autres méthodes d'estimation des points de référence fondés sur la biomasse (p. ex. modélisation du rendement par pétoncle recruté) dans ces zones. L'une des difficultés majeures des méthodes employées pour déterminer les NER était leur incapacité à distinguer l'importance des effets environnementaux et des effets de la pêche sur l'évolution de la population. Les futures méthodes devraient tenter de surmonter cette limitation.

Par ailleurs, il serait bénéfique pour notre compréhension de la dynamique des populations, en particulier en ce qui concerne la variabilité du recrutement, de comprendre la connectivité entre ces populations et les populations adjacentes dans d'autres régions. La connectivité des stocks de pétoncles dans l'Atlantique Nord-Ouest est un domaine de recherche actif (Wyngaarden et coll., 2017; Chen et coll., 2021; Economou et coll., 2024). La poursuite de recherches à ce sujet permettra l'élaboration de modèles de stock-recrutement plus poussés et améliorera notre compréhension de la dynamique des populations de ces stocks.

RÉFÉRENCES CITÉES

Chen, C., Zhao, L., Gallager, S., Ji, R., He, P., Davis, C., Beardsley, R.C., Hart, D., Gentleman, W.C., Wang, L., Li, S., Lin, H., Stokesbury, K. et Bethoney, D. (2021), [Impact of larval behaviors on dispersal and connectivity of sea scallop larvae over the northeast U.S. Shelf](#), Progress in Oceanography, vol. 195, 102604.

-
- Economou, K.N., Gentleman, W.C., Krumhansl, K.A., DiBacco, C., Reijnders, D., Wang, Z., Lyons, D.A. et Lowen, B. (2024), [Assessing spatial structure in marine populations using network theory: A case study of Atlantic sea scallop \(*Placopecten magellanicus*\) connectivity](#), PLOS ONE, vol. 19, n° 11, e0308787, Public Library of Science.
- Hilborn, R. et Walters, C.J. (1992), Quantitative fisheries stock assessment: Choice, dynamics and uncertainty, Chapman and Hall, New York.
- Jonsen, I.D., Glass, A., Hubley, B. et Sameoto, J. (2009), [Georges Bank 'a' Scallop \(*Placopecten magellanicus*\) Framework Assessment: Data Inputs and Population Models](#), DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2009/034, iv + 76 p.
- Keith, D.M. (2025), [Offshore Scallop Harvest Decision Rule Simulations](#).
- Keith, D.M., Keyser, F.M., McDonald, R., Pearo Drew, T. et Sameoto, J.A. (sous presse), Framework Development for Scallop Fishing Areas 25a, 25b, 26a, 26b, 26c, and 27b: Stock Assessment Models for SFAs 25 and 26, DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc.
- Keith, D.M., Sameoto, J.A., Keyser, F.M. et Ward-Paige, C.A. (2020), [Evaluating socio-economic and conservation impacts of management: A case study of time-area closures on Georges Bank](#), PLOS ONE, vol. 15, n° 10, e0240322.
- Keyser, F.M., Glass, A., Keith, D.M., McDonald, R.R., Pearo Drew, T. et Sameoto, J.A. (sous presse), Framework Development for Scallop Fishing Areas 25a, 25b, 26a, 26b, 26c, and 27b: Data Inputs, DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc.
- Marentette, J.R., et Kronlund, R.A. (2020), [Un examen intergouvernemental des politiques, des normes et des lignes directrices en matière de pêches internationales : considérations liées à une approche du Secteur des sciences du Canada](#), Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 3342.
- Marentette, J.R., Kronlund, R.A. et Cogliati, K.M. (2021), Description des points de référence de l'approche de précaution et des règles de contrôle des prises établis pour les principaux stocks de poissons gérés et récoltés à l'échelle nationale au Canada.
- McDonald, R.R., Keith, D.M., Sameoto, J.A., Hutchings, J.A. et Flemming, J.M. (2021), [Explicit incorporation of spatial variability in a biomass dynamics assessment model](#), ICES Journal of Marine Science.
- McGarvey, R., Serchuk, F.M. et McLaren, I.A. (1993), [Spatial and Parent-Age Analysis of Stock–Recruitment in the Georges Bank Sea Scallop \(*Placopecten magellanicus*\) Population](#), Can. J. Fish. Aquat. Sci., vol. 50, n° 3, p. 564-574, NRC Research Press.
- MPO (2009), [Un cadre décisionnel pour les pêches intégrant l'approche de précaution](#).
- MPO (2021), [Avis scientifique sur les stratégies de pêche fondées sur l'approche de précaution aux termes des dispositions relatives aux stocks de poissons](#).
- MPO (2022), [Mise à jour de l'état du stock de pétoncles \(*Placopecten magellanicus*\) de la zone de pêche du pétoncle 29 à l'ouest de la longitude 65° 30'](#), Secr. can. des avis sci. du MPO, Rép. des Sci. 2022/042.
- MPO (2022), [Mise à jour sur l'état du stock de pétoncles du nord du banc de Browns \(*Placopecten magellanicus*\) pour la saison de pêche 2022](#), Secr. can. des avis sci. du MPO, Rép. des Sci. 2022/037.
- MPO (2023), [Avis scientifique concernant les lignes directrices sur les points de référence limites dans le cadre des dispositions relatives aux stocks de poissons](#).
-

-
- MPO (2024), [Tendances dans les relevés par navire de recherche sur le plateau néo-écossais et dans la baie de Fundy dans la région des Maritimes pour 2023](#), Secr. can. des avis sci. du MPO, Rép. des Sci. 2024/010.
- Parsons, G., Robinson, S., Chandler, R., Davidson, L., Lanteigne, M. et Dadswell, M. (1992), [Intra-annual and long-term patterns in the reproductive cycle of giant scallops *Placopecten magellanicus* \(Bivalvia: Pectinidae\) from Passamaquoddy Bay, New Brunswick, Canada](#), Mar. Ecol. Prog. Ser, vol. 80, p. 203-214.
- R Core Team (2023), [R: A language and environment for statistical computing](#), R Foundation for Statistical Computing, Vienne, Autriche.
- Sameoto, J.A., Keyser, F.M. et Keith, D.M. (2024), [Évaluation de la productivité des stocks dans les zones de production de pétoncles de la baie de Fundy et dans la zone de pêche du pétoncle 29 ouest ainsi que de l'incidence des projections sur deux ans](#), Secr. can. des avis sci. du MPO, Doc. de rech. 2024/065. iv + 110 p.
- Smith, S.J., Nasmith, L., Glass, A., Hubley, B. et Sameoto, J. (2015), [Framework assessment for SFA 29 West scallop fishery](#), DFO Can. Sci. Advis. Sec., Res. Doc. 2014/110: v + 69 p.
- Wyngaarden, M.V., Snelgrove, P.V.R., DiBacco, C., Hamilton, L.C., Rodríguez-Ezpeleta, N., Jeffery, N.W., Stanley, R.R.E. et Bradbury, I.R. (2017), [Identifying patterns of dispersal, connectivity and selection in the sea scallop, *Placopecten Magellanicus*. Using RADseq-derived SNPs](#), Evolutionary Applications, vol. 10, n° 1, p. 102-117.

TABLEAUX

Tableau 1. Résumé des points de référence pour chaque zone, calculés à l'aide de méthodes fondées sur des indices découlant de relevés. Les PRL sont les suivants : 30 % de l'indice de la biomasse des relevés médian ($B_{RMD[30]}$), 40 % de l'indice de la biomasse des relevés médian ($B_{RMD[40]}$) et 20 % de l'indice de la biomasse des relevés maximal ($B_{0[20]}$). Les PRS sont les suivants : 80 % de l'indice de la biomasse des relevés médian ($B_{RMD[80]}$) et 40 % de l'indice de la biomasse des relevés maximal ($B_{0[40]}$). Le niveau d'exploitation de référence limite (NER_{lim}) a été calculé à l'aide de la MEG, tandis que le niveau d'exploitation de référence cible (NER_{cib}) correspond aux prélèvements médians pendant la période de cinq ans au cours de laquelle l'indice de la biomasse des relevés présentait la variabilité la plus faible. Les indices de la biomasse des relevés ont été corrigés en fonction de la capturabilité.

	B_{RMD(30)}	B_{RMD(40)}	B₀₍₂₀₎	B_{RMD(80)}	B₀₍₄₀₎	NER_{lim}	NER_{cib}
ZPP 25A	1 255	1 674	1 338	3 347	2 676	S.O.	0,011
ZPP 26A	1 913	2 551	3 252	5 102	6 503	0,12	0,077
ZPP 26C	890	1 187	882	2 373	1 763	S.O.	0,025
ZPP 27B	628	837	771	1 674	1 542	S.O.	0,150

Tableau 2. Résumé des points de référence pour les ZPP 25A et 26A, calculés à l'aide de simulations du RMD. Les PRL sont les suivants : 30 % de la biomasse médiane à l'estimation du rendement maximal durable selon les simulations ($B_{RMD[30]}$), 40 % de la biomasse médiane à l'estimation du rendement maximal durable selon les simulations ($B_{RMD[40]}$) et 20 % de la biomasse médiane des simulations sans pêche ($B_{0[20]}$). Les PRS sont les suivants : 80 % de la biomasse médiane à l'estimation du rendement maximal durable selon les simulations ($B_{RMD[80]}$) et 40 % de la biomasse médiane des simulations sans pêche ($B_{0[40]}$). Le niveau d'exploitation de référence cible (NER_{cib}) a été calculé comme le taux d'exploitation donnant lieu au rendement maximal durable.

	B_{RMD(30)}	B_{RMD(40)}	B₀₍₂₀₎	B_{RMD(80)}	B₀₍₄₀₎	NER_{cib}
ZPP 25A	870	1 160	940	2 320	1 880	0,03
ZPP 26A	1 500	2 000	1 660	4 000	3 320	0,04

FIGURES

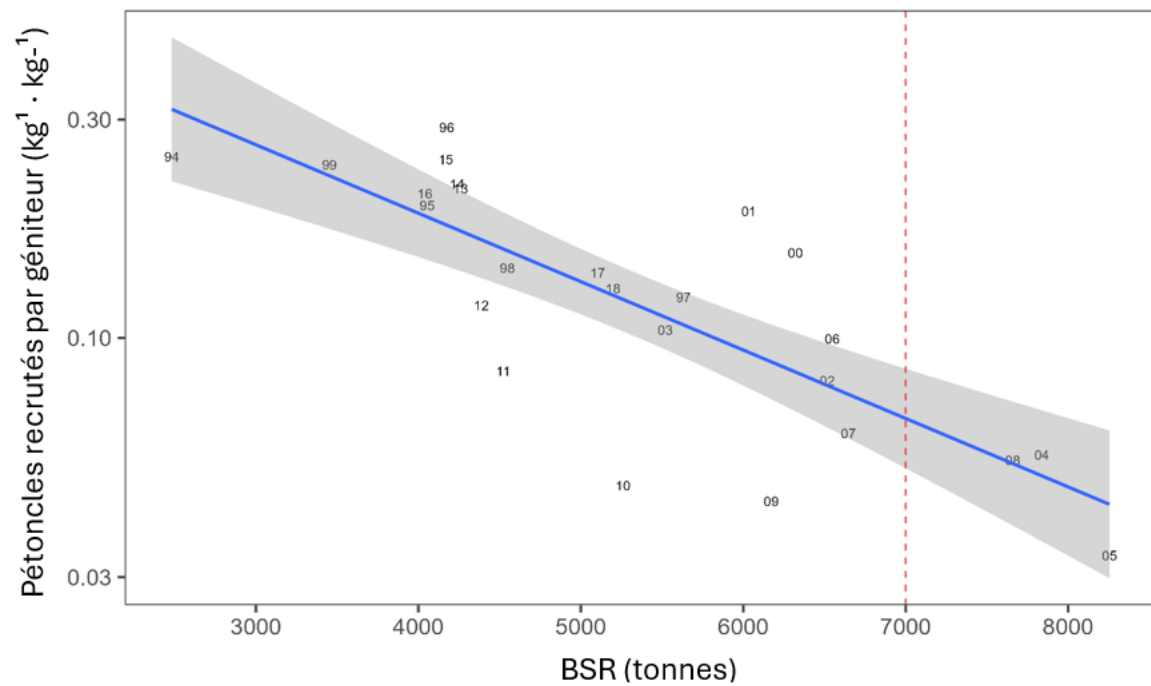


Figure 1. Relation entre les pétoncles recrutés par géniteur et la biomasse du stock reproducteur (BSR; tonnes) dans la ZPP 25A. Le modèle de Ricker est représenté par la ligne bleue accompagnée de l'intervalle de confiance à 95 % (ombré). La ligne tirée verticale rouge représente la valeur utilisée dans l'analyse du point de rupture. Les points numérotés indiquent la classe d'âge des pétoncles recrutés.

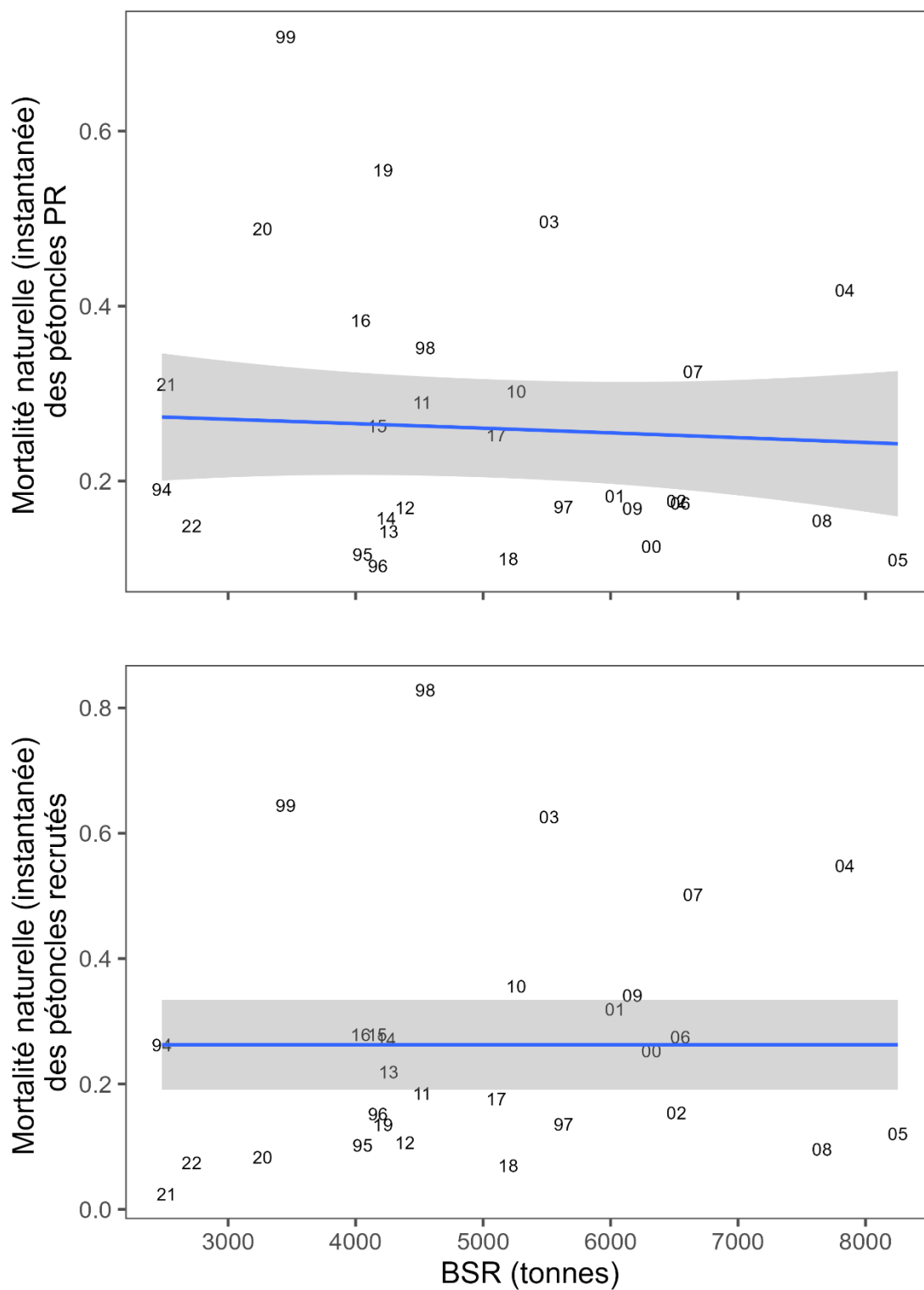


Figure 3. Relation entre la mortalité naturelle des pétoncles pleinement recrutés (PR) (diagramme du haut) et la biomasse du stock reproducteur (BSR; tonnes) et entre la mortalité naturelle des pétoncles recrutés (diagramme du bas) et la BSR (tonnes) dans la ZPP 25A. L'ajustement du modèle linéaire est représenté par la ligne bleue accompagnée de l'intervalle de confiance à 95 % (ombré). Les points numérotés indiquent l'année.

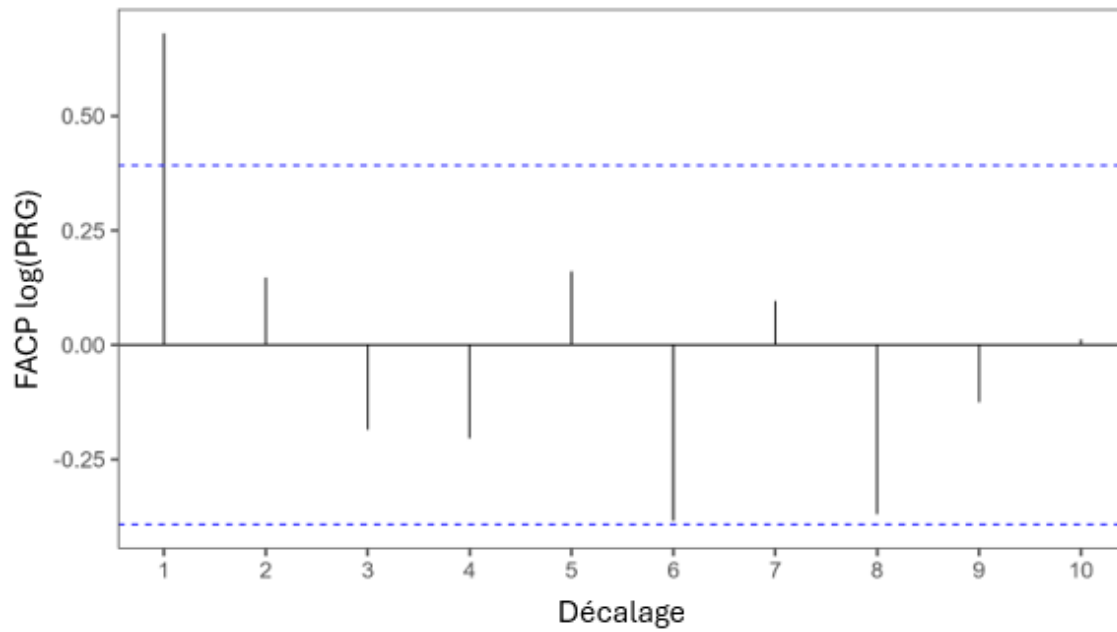


Figure 4. Autocorrélation (fonction d'autocorrélation partielle [FACP]) pour les pétoncles recrutés par géniteur (PRG) dans la ZPP 25A. Les lignes verticales noires représentent la force de la relation à chaque décalage, tandis que les lignes horizontales bleues représentent le niveau de signification de 95 %.

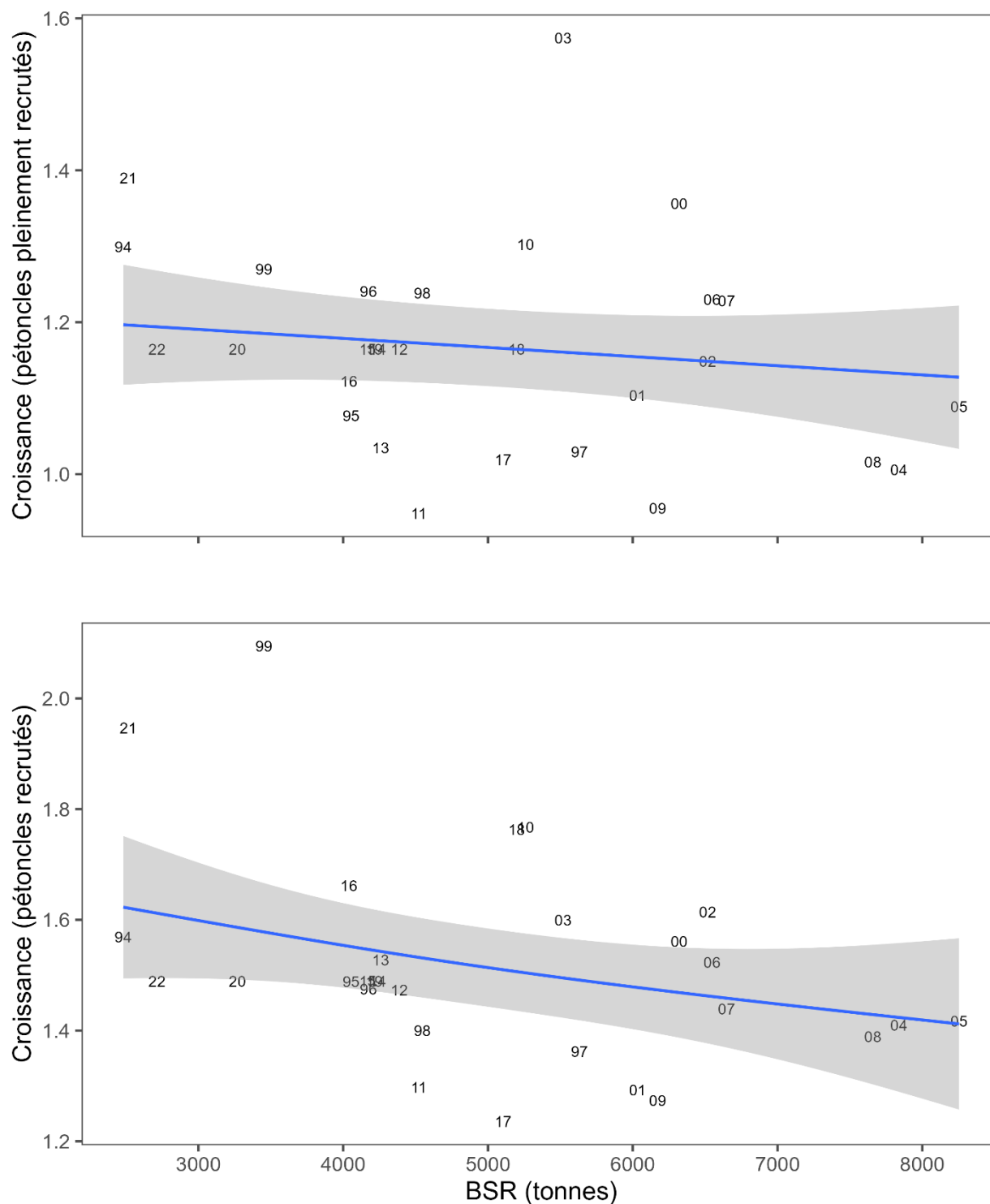


Figure 5. Autocorrélation (fonction d'autocorrélation [FAC]) pour la croissance des pétoncles pleinement recrutés (PR) (diagramme du haut) et la croissance des pétoncles recrutés (diagramme du bas) dans la ZPP 25A. Les lignes verticales noires représentent la force de la relation à chaque décalage, tandis que les lignes horizontales bleues représentent le niveau de signification de 95 %.

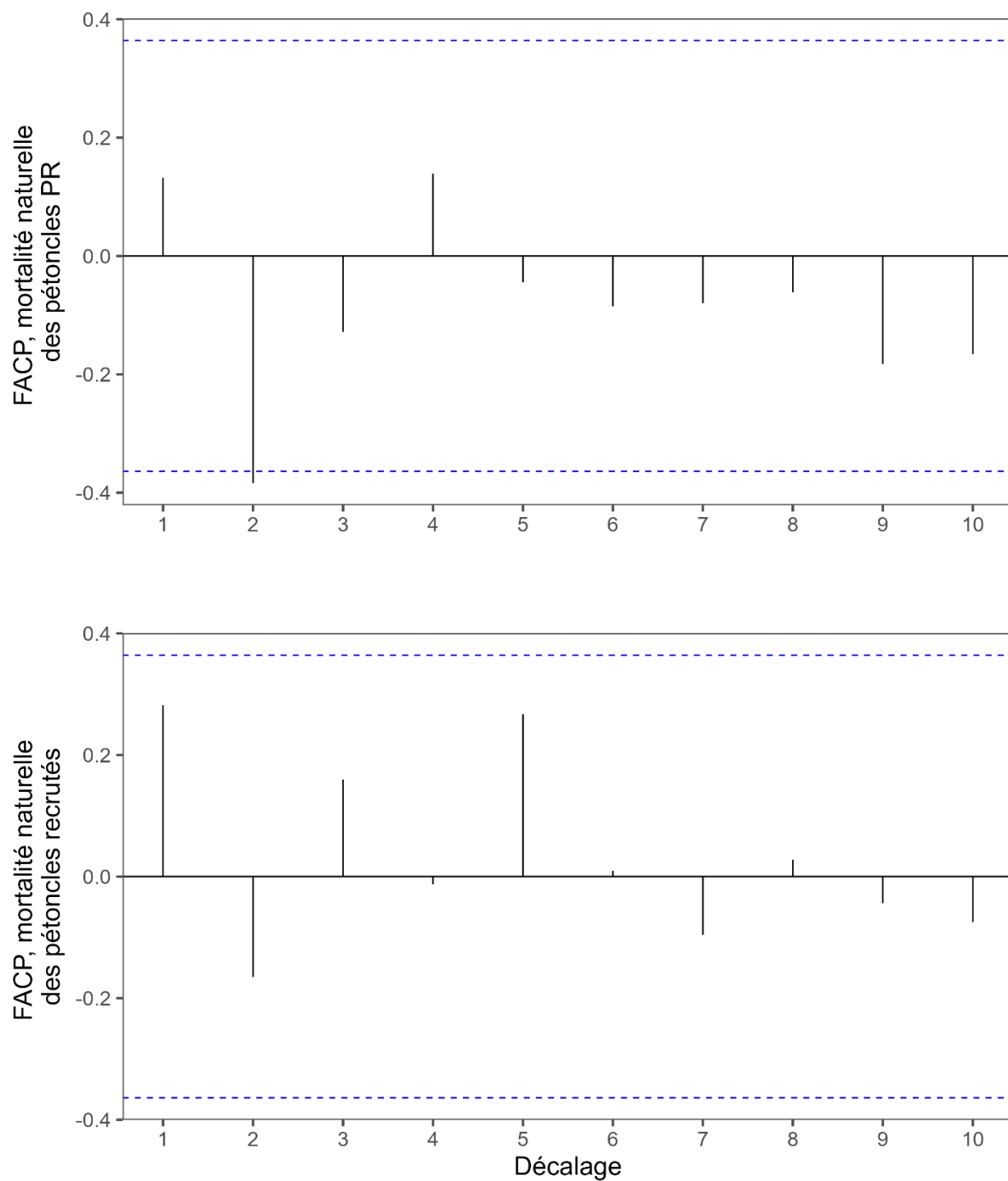


Figure 6. Autocorrélation (FACP) pour la mortalité naturelle des pétoncles pleinement recrutés (PR) (diagramme du haut) et la mortalité naturelle des pétoncles recrutés (diagramme du bas) dans la ZPP 25A. Les lignes verticales noires représentent la force de la relation à chaque décalage, tandis que les lignes horizontales bleues représentent le niveau de signification de 95 %.

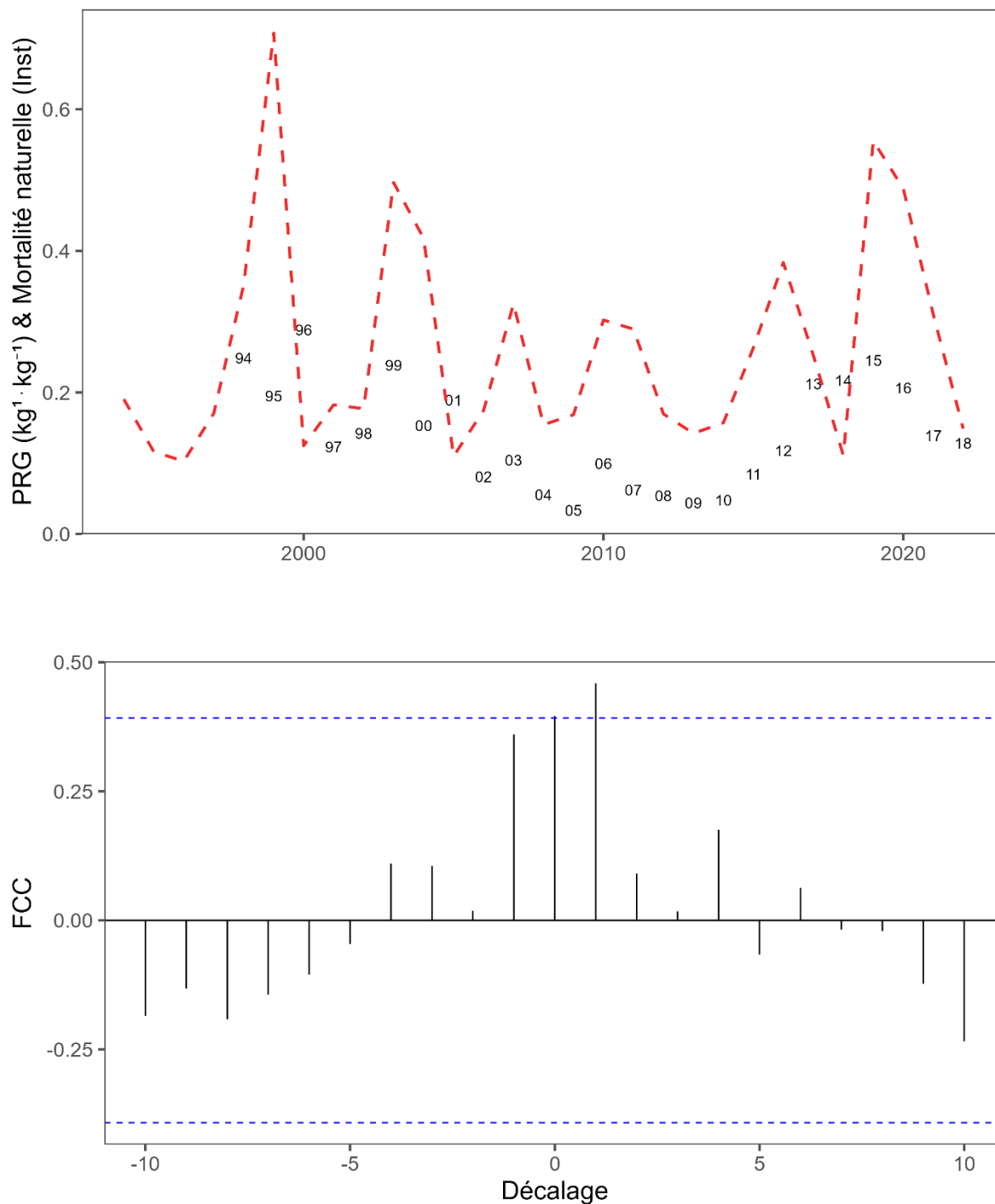


Figure 7. Relation entre la mortalité naturelle des pétoncles pleinement recrutés et les pétoncles recrutés par géniteur (PRG) dans la ZPP 25A. Le diagramme du haut montre la série chronologique de la mortalité naturelle des pétoncles pleinement recrutés (ligne tiretée rouge) et les PRG (les points numérotés indiquent la classe d'âge des pétoncles recrutés). Le diagramme du bas montre la corrélation croisée (fonction de corrélation croisée [FCC]); les lignes verticales noires représentent la force de la relation à chaque décalage, tandis que les lignes horizontales bleues représentent le niveau de signification à 95 %.

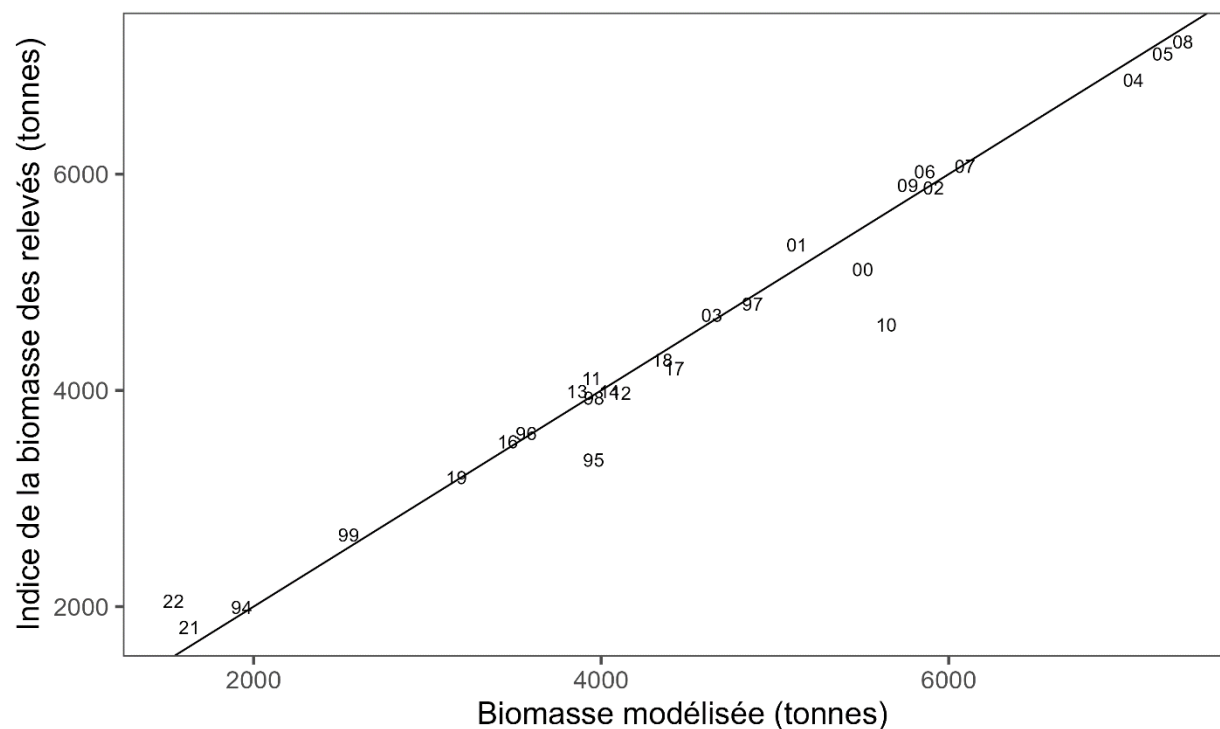


Figure 8. Relation entre la biomasse modélisée (tonnes) et l'indice de la biomasse des relevés corrigé en fonction de la capturabilité (tonnes) dans la ZPP 25A. Les points numérotés indiquent l'année et la ligne noire représente la ligne 1:1 (corrigée en fonction de la capturabilité médiane modélisée).

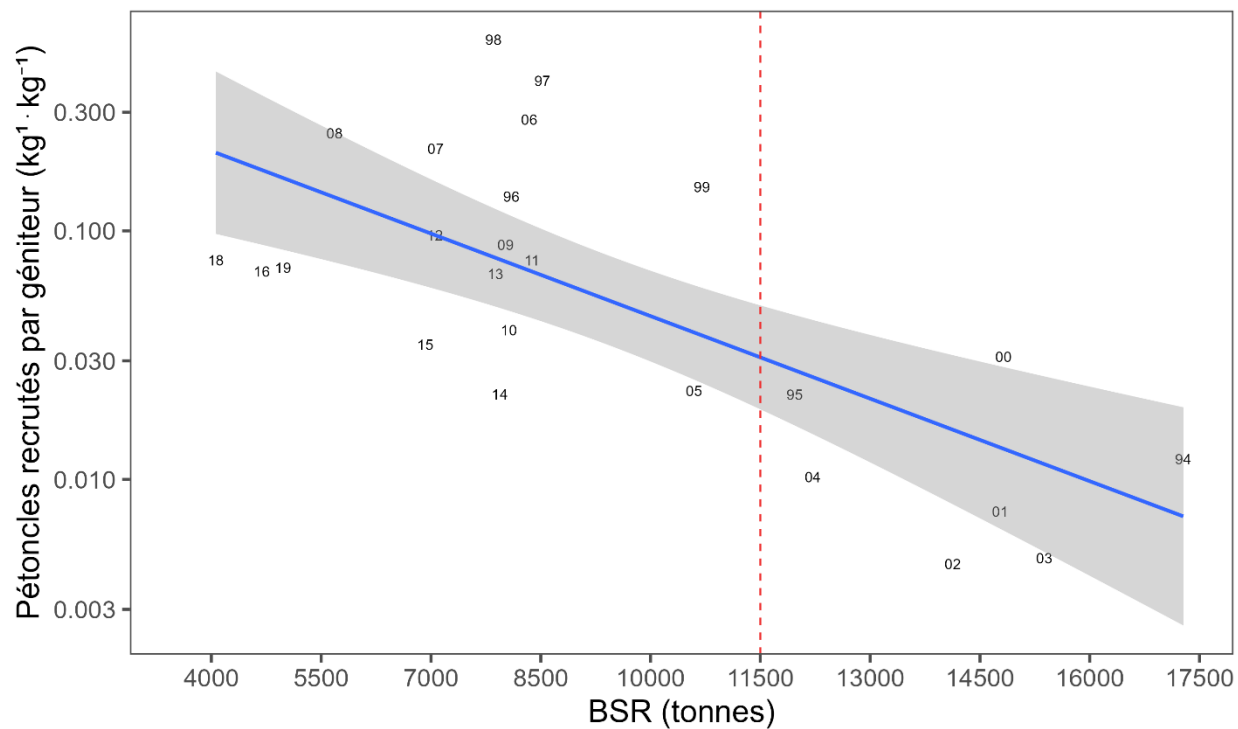


Figure 9. Relation entre les pétoncles recrutés par géniteur et la biomasse du stock reproducteur (BSR; tonnes) dans la ZPP 26A. Le modèle de Ricker est représenté par la ligne bleue accompagnée de l'intervalle de confiance à 95 % (ombré). La ligne tirée verticale rouge représente la valeur utilisée dans l'analyse du point de rupture. Les points numérotés indiquent la classe d'âge des pétoncles recrutés.

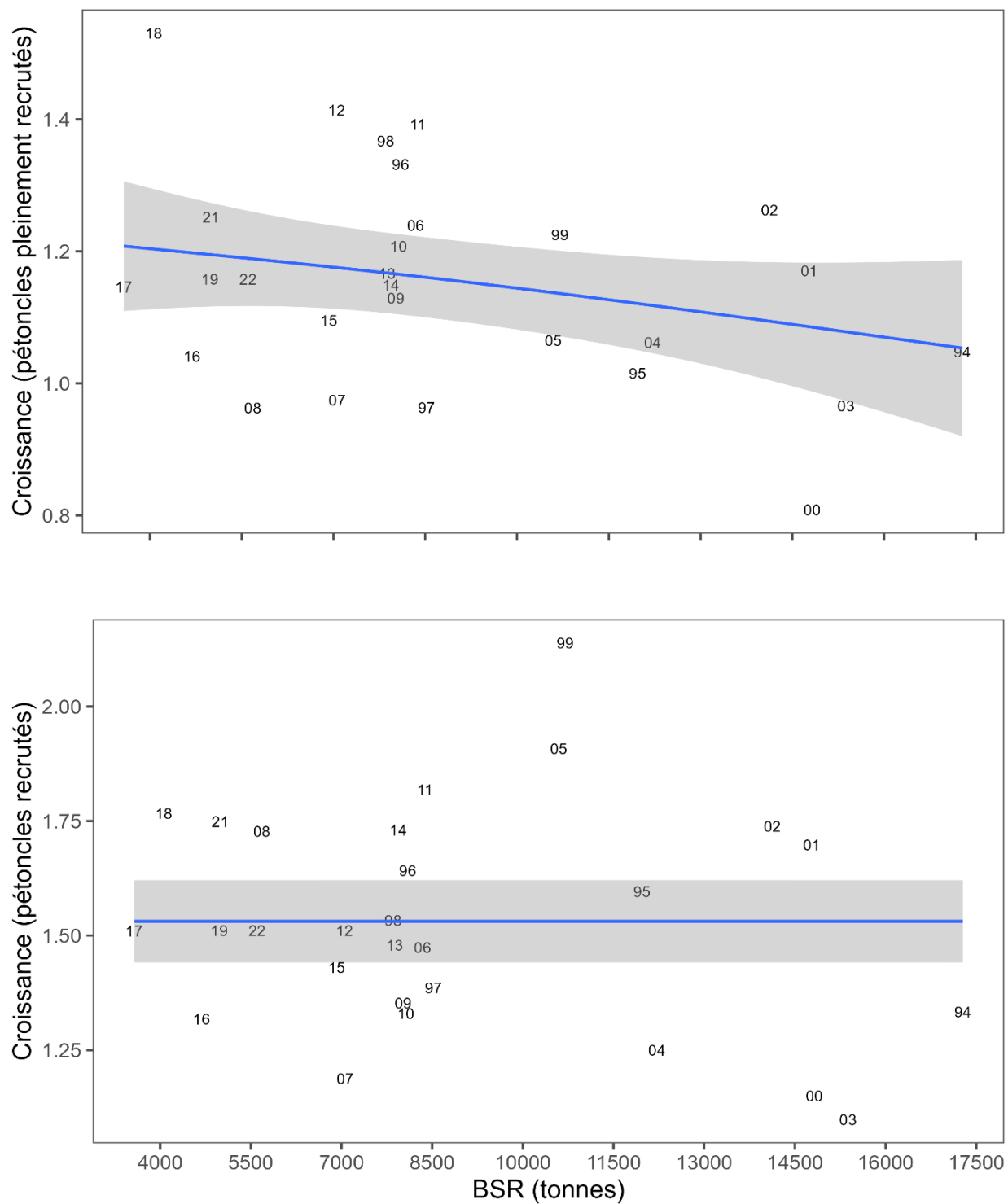


Figure 10. Relation entre la croissance des pétoncles pleinement recrutés (diagramme du haut) et la biomasse du stock reproducteur (BSR; tonnes) et entre la croissance des pétoncles recrutés (diagramme du bas) et la BSR (tonnes) dans la ZPP 26A. L'ajustement du modèle linéaire est représenté par la ligne bleue accompagnée de l'intervalle de confiance à 95 % (ombré). Les points numérotés indiquent l'année.

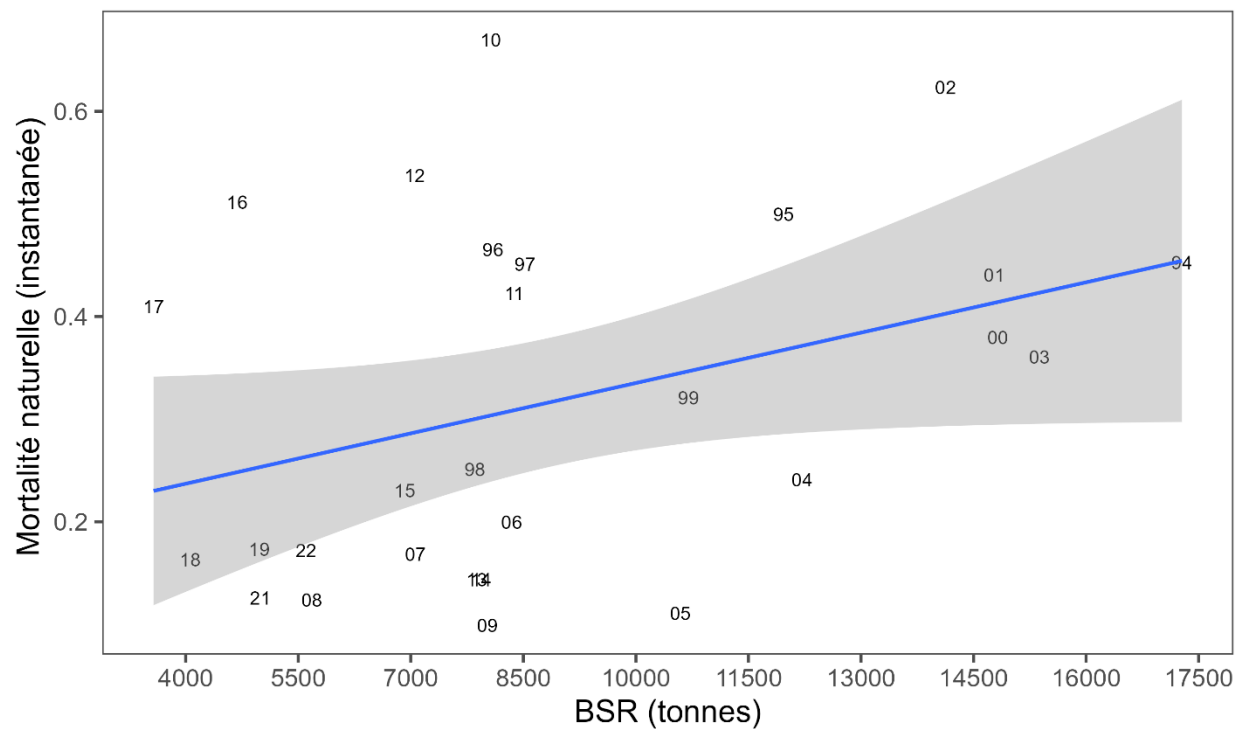


Figure 11. Relation entre la mortalité naturelle et la biomasse du stock reproducteur (BSR; tonnes) dans la ZPP 26A. L'ajustement du modèle linéaire est représenté par la ligne bleue accompagnée de l'intervalle de confiance à 95 % (ombré). Les points numérotés indiquent l'année.

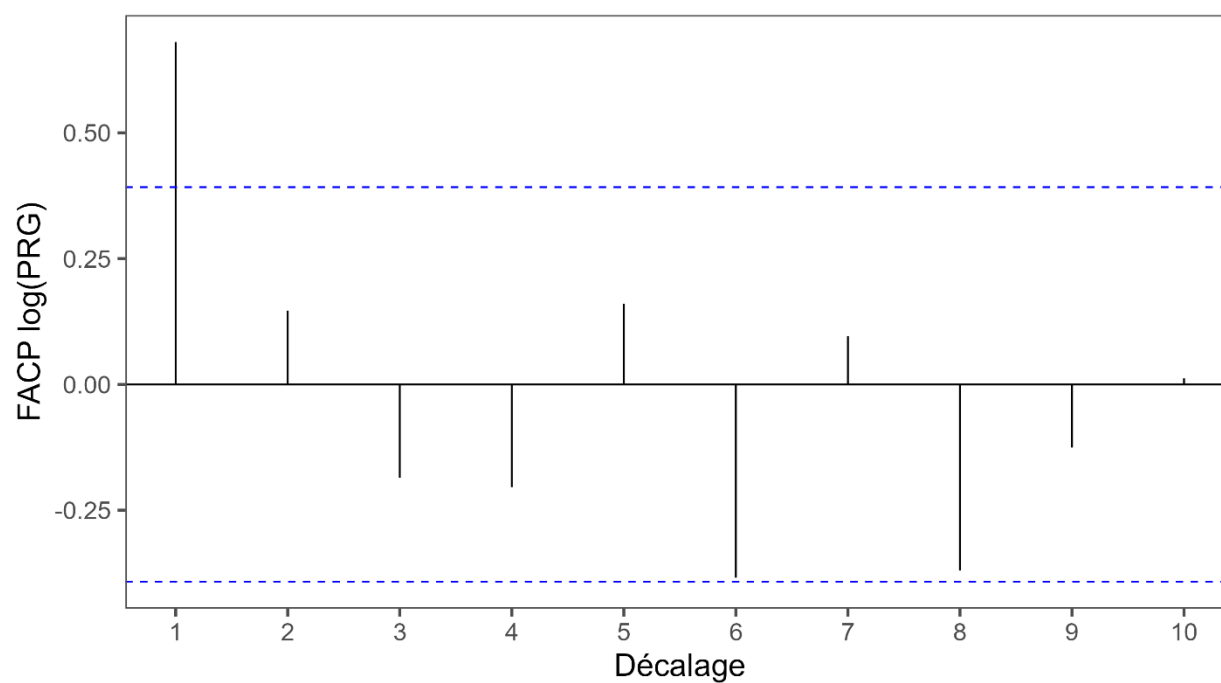


Figure 12. Autocorrélation (FACP) pour les pétoncles recrutés par géniteur (PRG) dans la ZPP 26A. Les lignes verticales noires représentent la force de la relation à chaque décalage, tandis que les lignes horizontales bleues représentent le niveau de signification de 95 %.

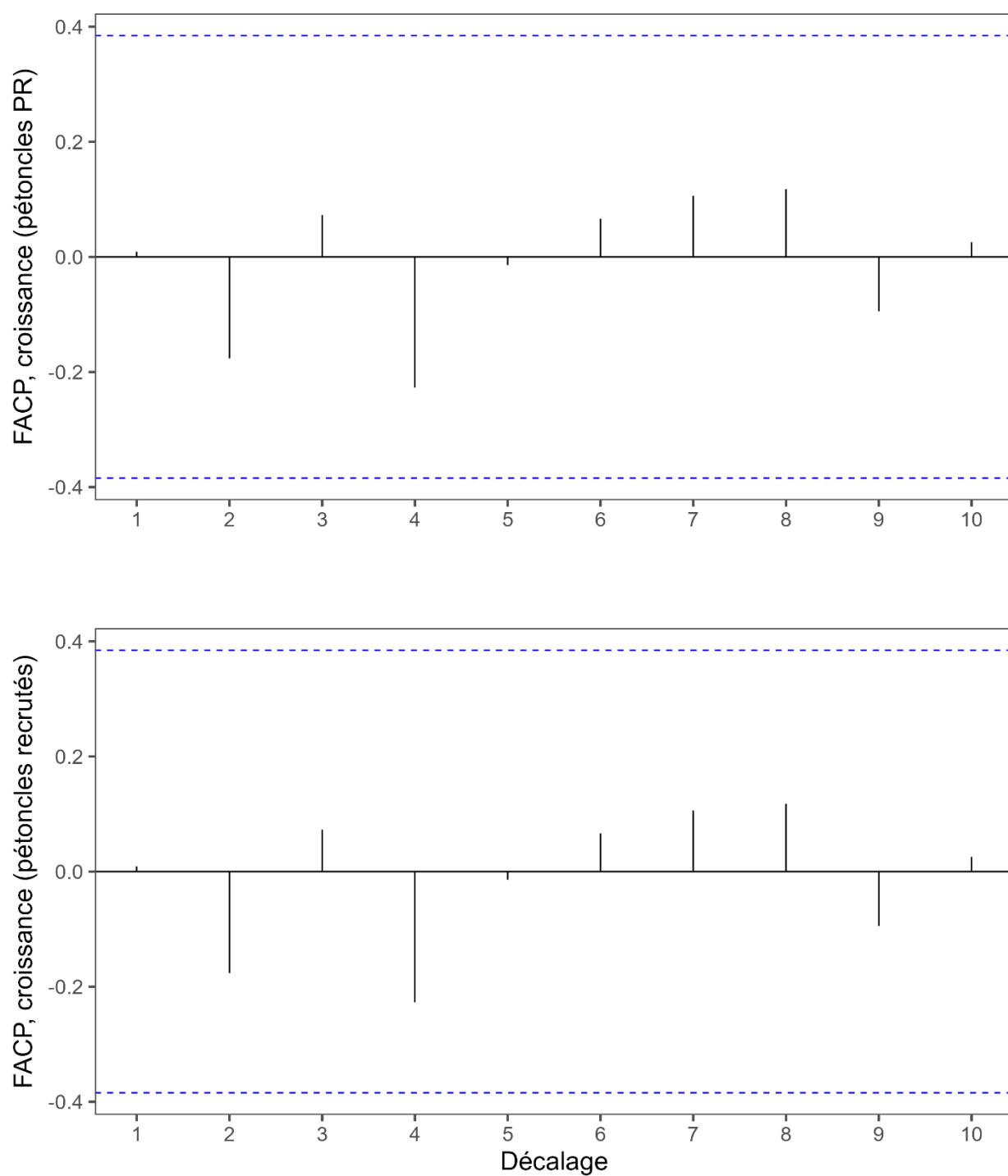


Figure 13. Autocorrélation (FACP) pour la croissance des pédoncles pleinement recrutés (PR; diagramme du haut) et la croissance des pédoncles recrutés (diagramme du bas) dans la ZPP 26A. Les lignes verticales noires représentent la force de la relation à chaque décalage, tandis que les lignes horizontales bleues représentent le niveau de signification de 95 %.

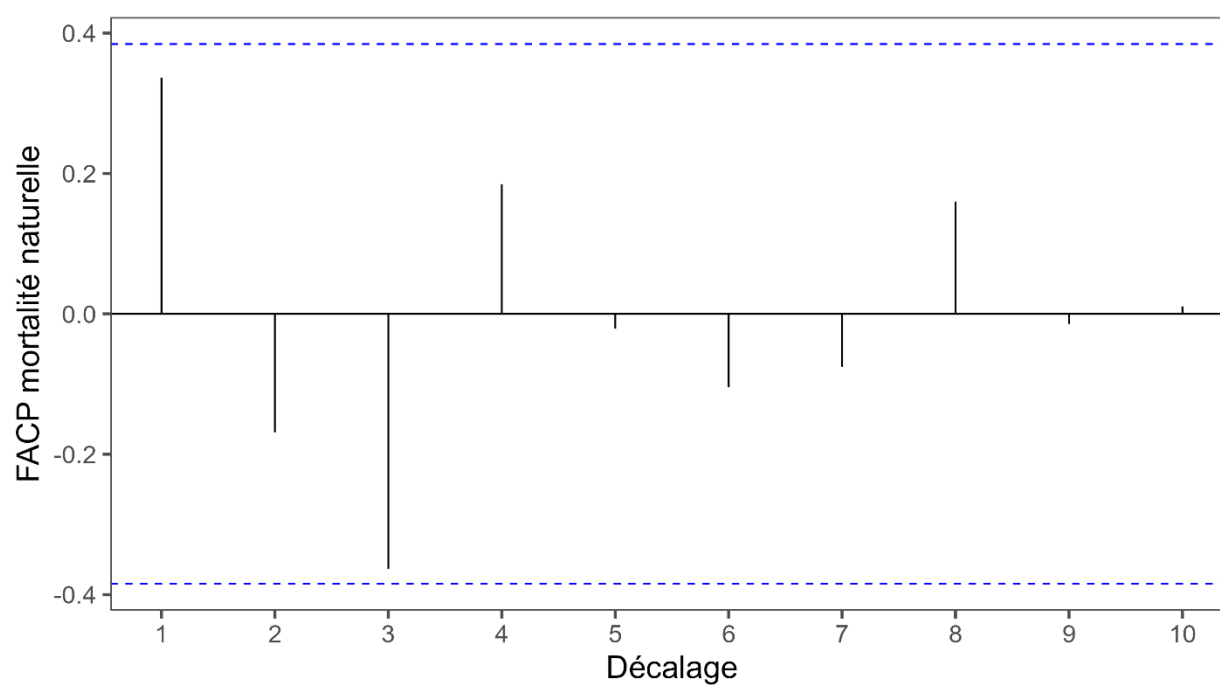


Figure 14. Autocorrélation (FACP) pour la mortalité naturelle dans la ZPP 26A. Les lignes verticales noires représentent la force de la relation à chaque décalage, tandis que les lignes horizontales bleues représentent le niveau de signification de 95 %.

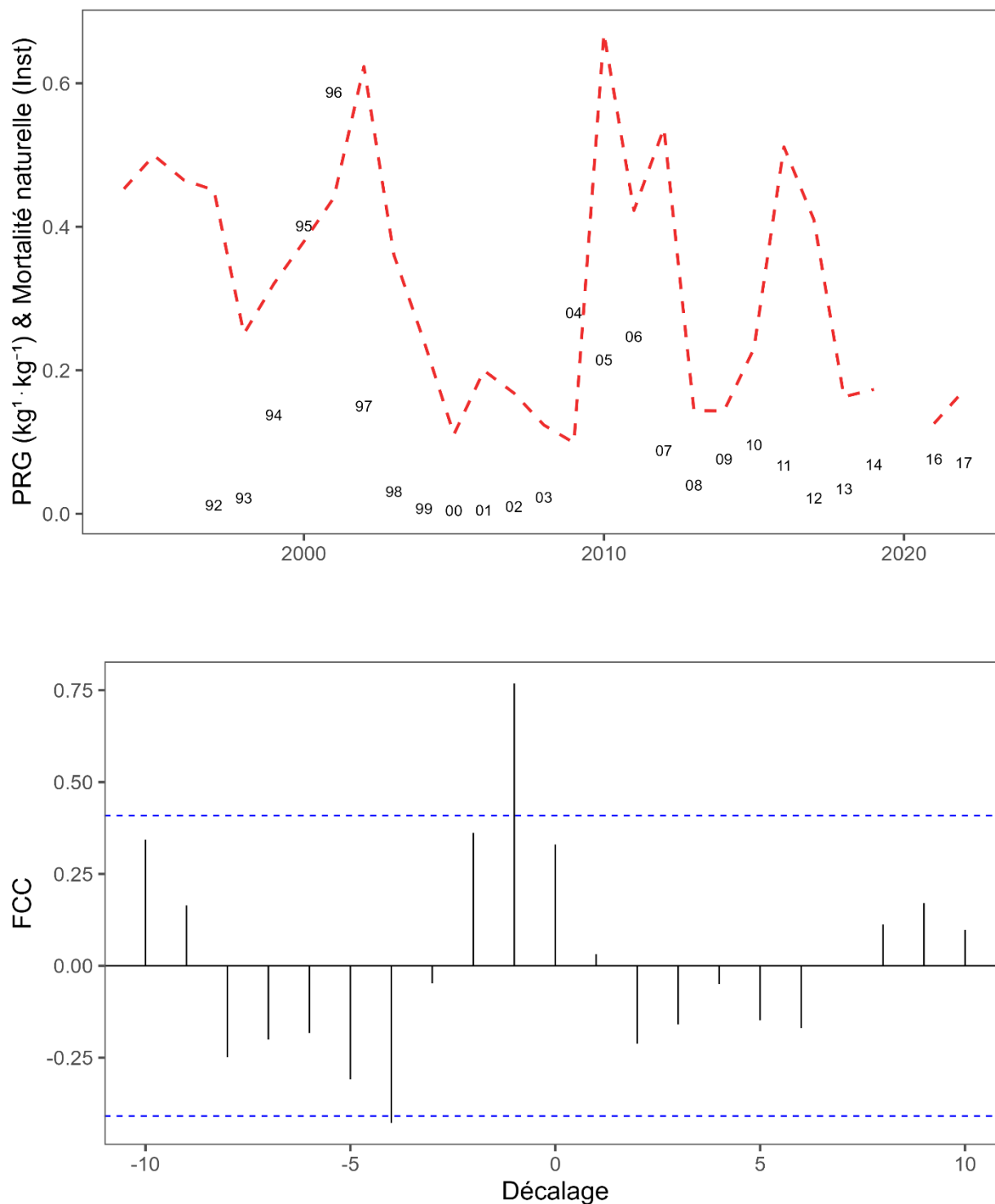


Figure 15. Relation entre la mortalité naturelle des pétoncles pleinement recrutés et les pétoncles recrutés par géniteur (PRG) dans la ZPP 26A. Le diagramme du haut montre la série chronologique de la mortalité naturelle (ligne tiretée rouge) et les PRG (les points numérotés indiquent la classe d'âge des pétoncles recrutés). Le diagramme du bas montre la corrélation croisée (FCC); les lignes verticales noires représentent la force de la relation à chaque décalage, tandis que les lignes horizontales bleues représentent le niveau de signification de 95 %.

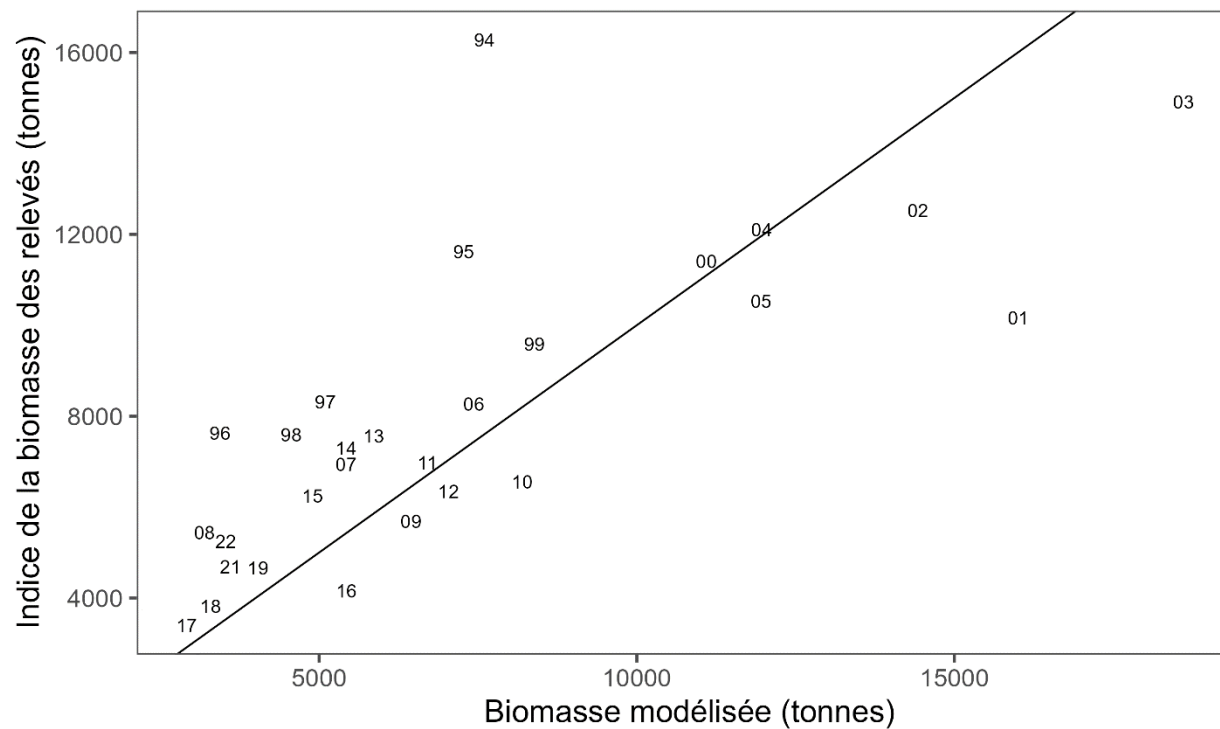


Figure 16. Relation entre la biomasse modélisée (tonnes) et l'indice de la biomasse des relevés corrigé en fonction de la capturabilité (tonnes) dans la ZPP 26A. Les points numérotés indiquent l'année et la ligne noire représente la ligne 1:1 (corrigée en fonction de la capturabilité médiane modélisée).

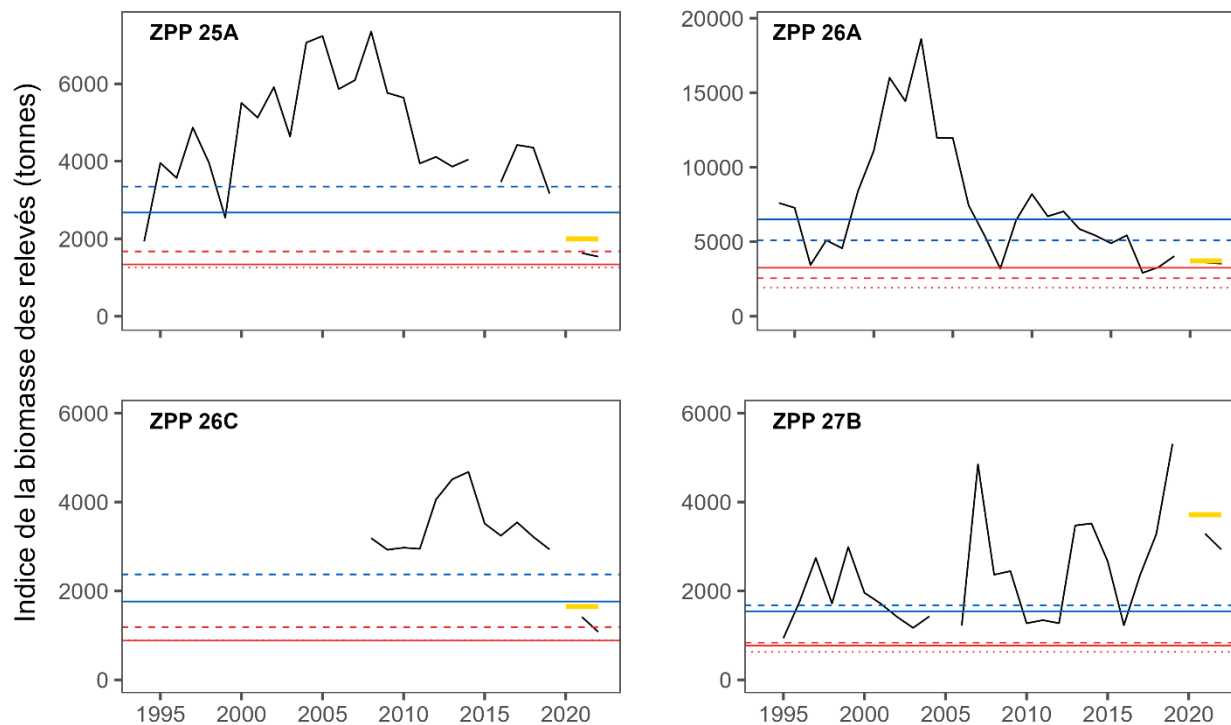


Figure 17. Série chronologique de l'indice de la biomasse des relevés corrigé en fonction de la capturabilité (ligne noire) pour chaque zone. La moyenne géométrique des données des trois dernières années est représentée par la ligne jaune épaisse. Les points de référence limites sont représentés par la ligne pointillée rouge ($BRMD[30]$), la ligne tiretée rouge ($BRMD[40]$) et la ligne rouge continue ($B_{0[20]}$). Les points de référence supérieurs du stock sont représentés par la ligne tiretée bleue ($BRMD[80]$) et la ligne bleue continue ($B_{0[40]}$).

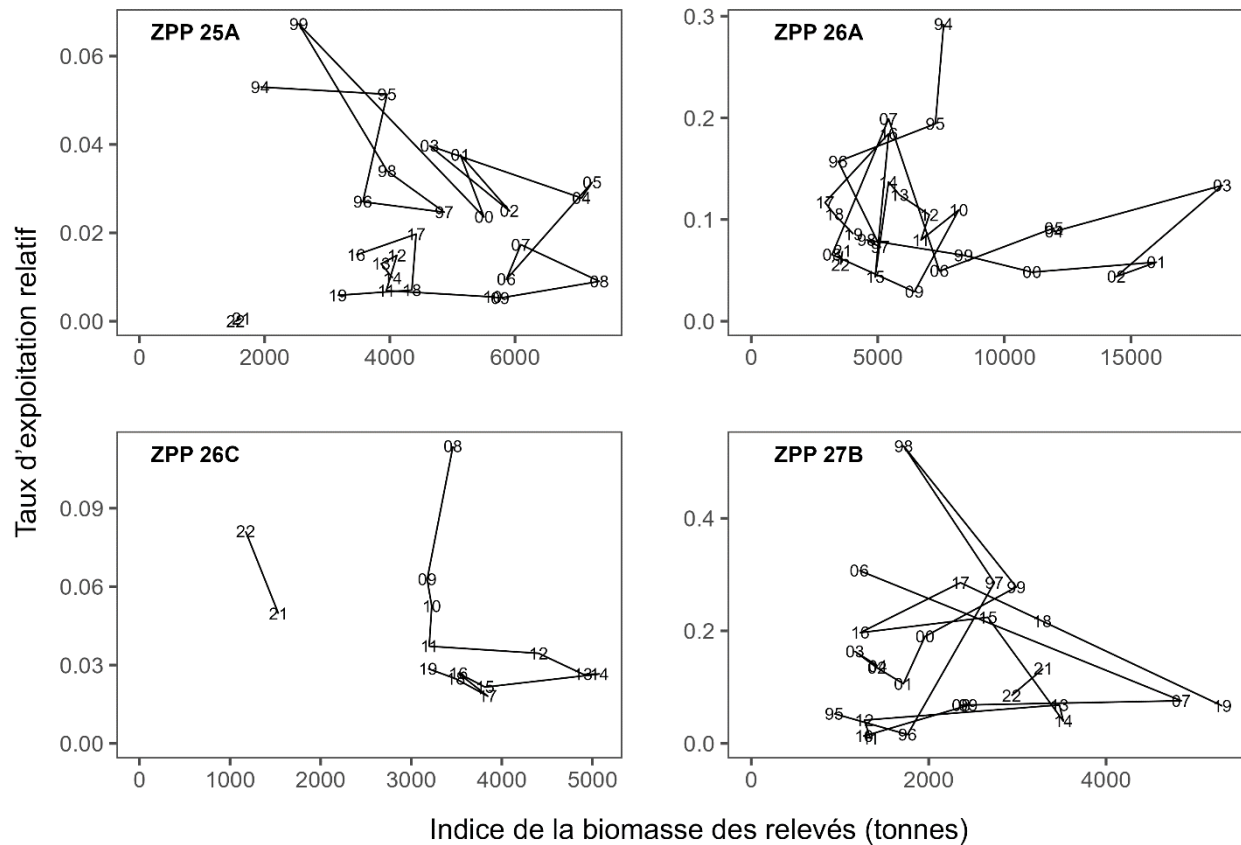


Figure 18. Diagramme de phase pour chaque zone. Le taux d'exploitation relatif figure sur l'axe des y, et l'indice de la biomasse des relevés corrigé en fonction de la capturabilité, sur l'axe des x. Les nombres sur chaque diagramme indiquent l'année.

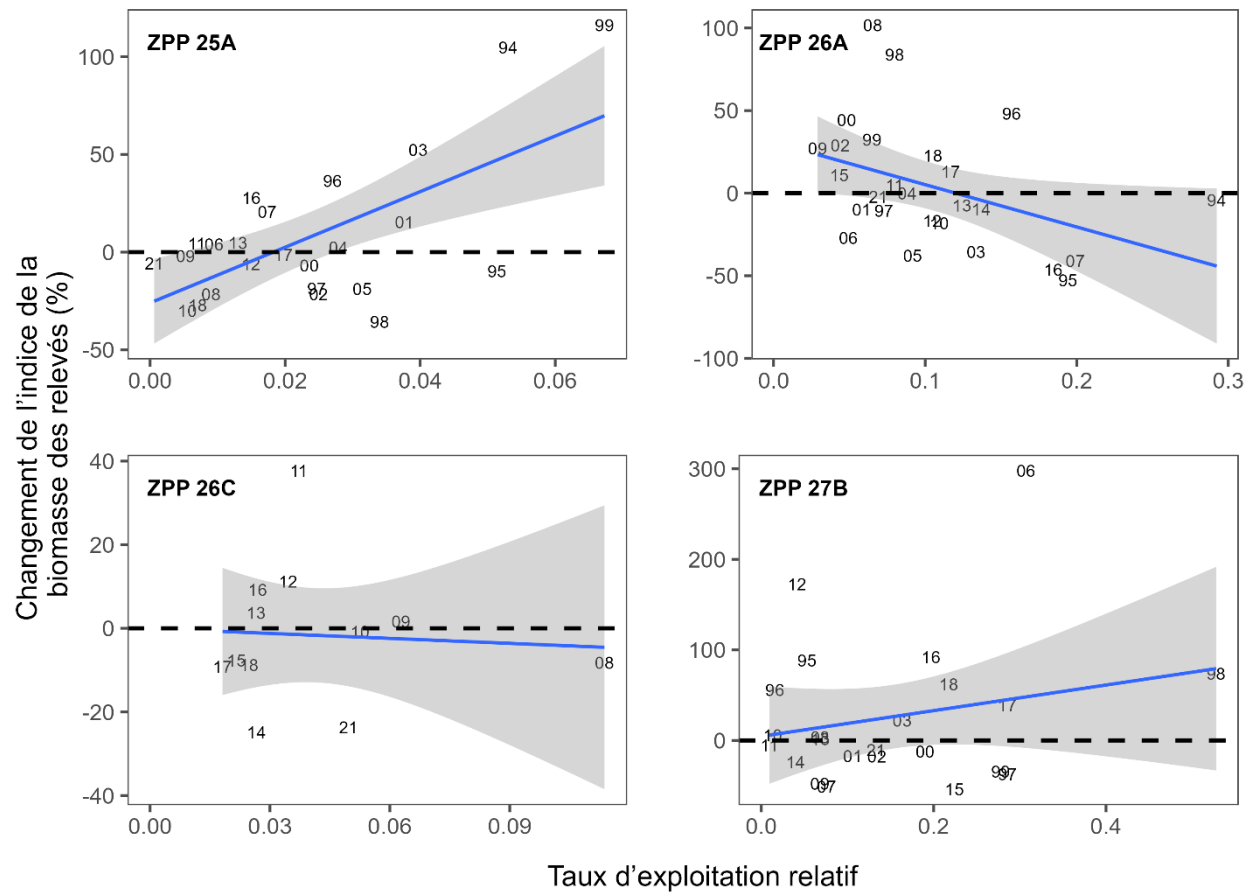


Figure 19. Pourcentage de changement de l'indice de la biomasse des relevés par rapport au taux d'exploitation relatif dans chaque zone. Les nombres sur chaque diagramme indiquent l'année (p. ex. 14 représente le changement de biomasse par rapport à 2014-2015 et le taux d'exploitation connexe). L'ajustement du modèle linéaire est représenté par la ligne bleue accompagnée de l'intervalle de confiance à 95 % (ombré).

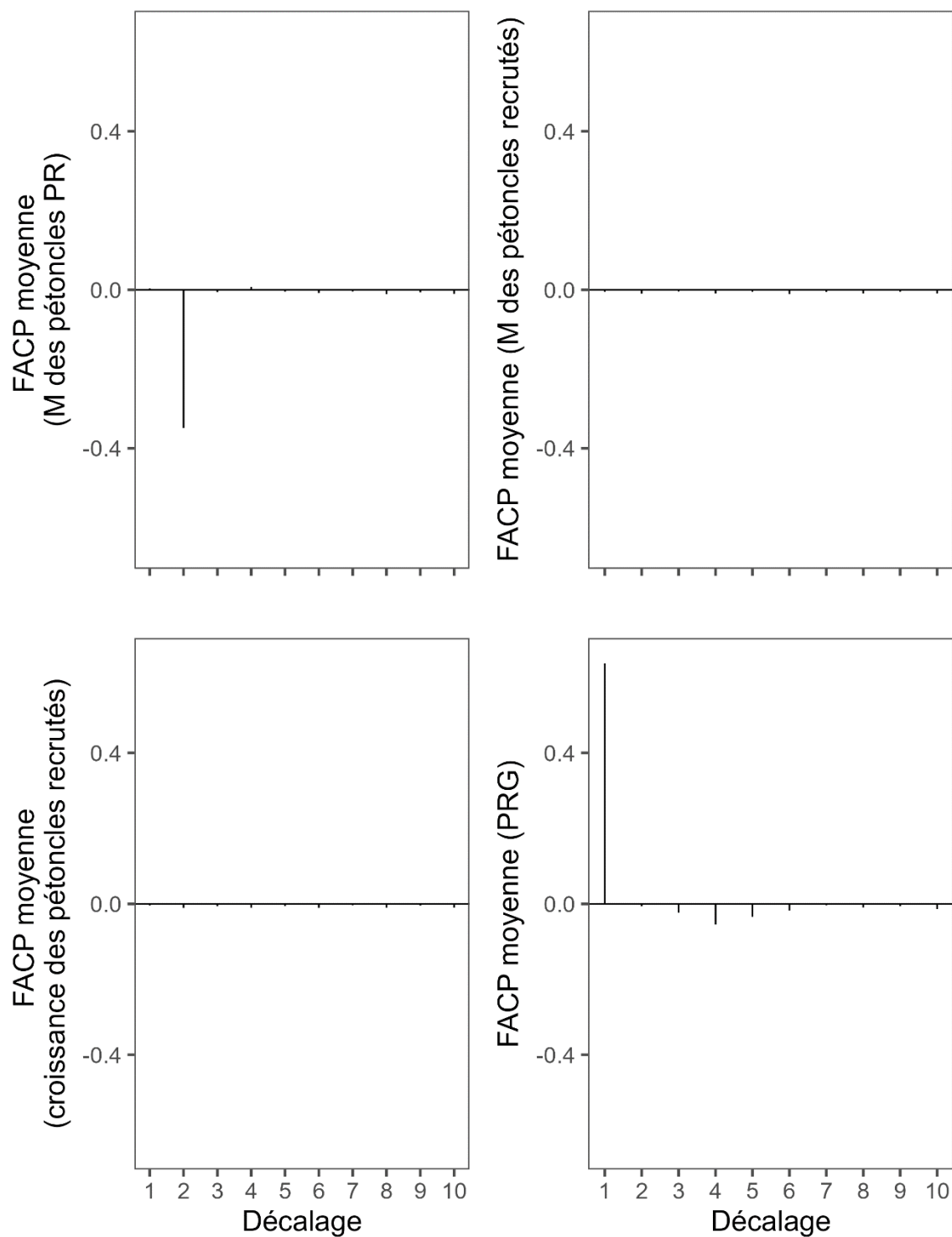


Figure 20. Estimation moyenne de l'autocorrélation (FACP) dans les séries chronologiques des simulations du rendement maximal durable dans la ZPP 25A fondées sur le scénario de la B_{RMD} . Les diagrammes portent sur la mortalité naturelle des pétoncles pleinement recrutés (M; en haut à gauche), la mortalité naturelle des pétoncles recrutés (M; en haut à droite), la croissance des pétoncles recrutés (en bas à gauche) et les pétoncles recrutés par géniteur (PRG; en bas à droite). Les lignes verticales noires représentent la force de la relation à chaque décalage.

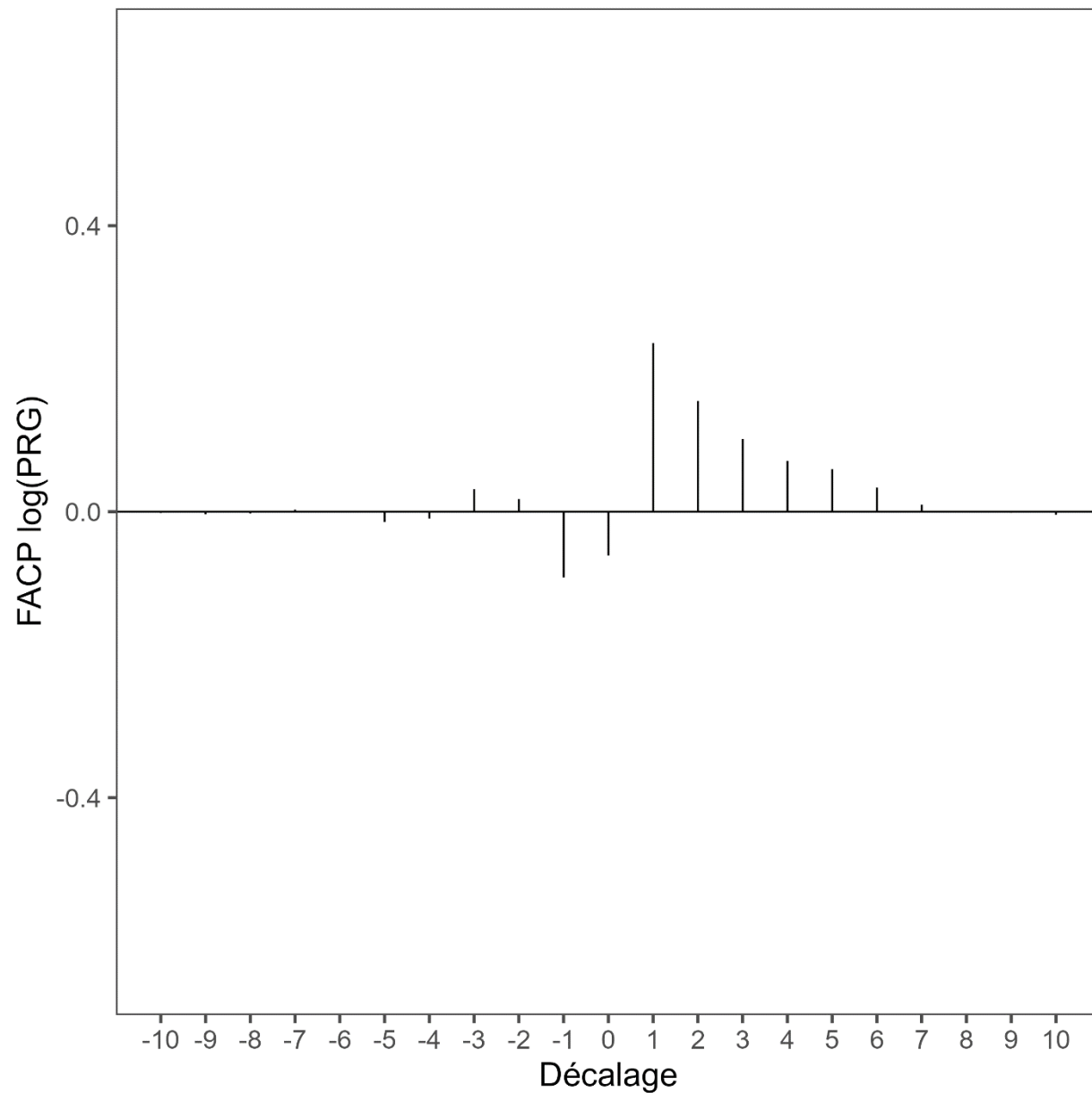


Figure 21. Estimation moyenne de la corrélation croisée (FCC) entre les pétoncles recrutés par géniteur (PRG) et la mortalité naturelle des pétoncles pleinement recrutés (M) dans les séries chronologiques des simulations du rendement maximal durable dans la ZPP 25A fondées sur le scénario de la B_{RMD} . Les lignes verticales noires représentent la force de la relation à chaque décalage.

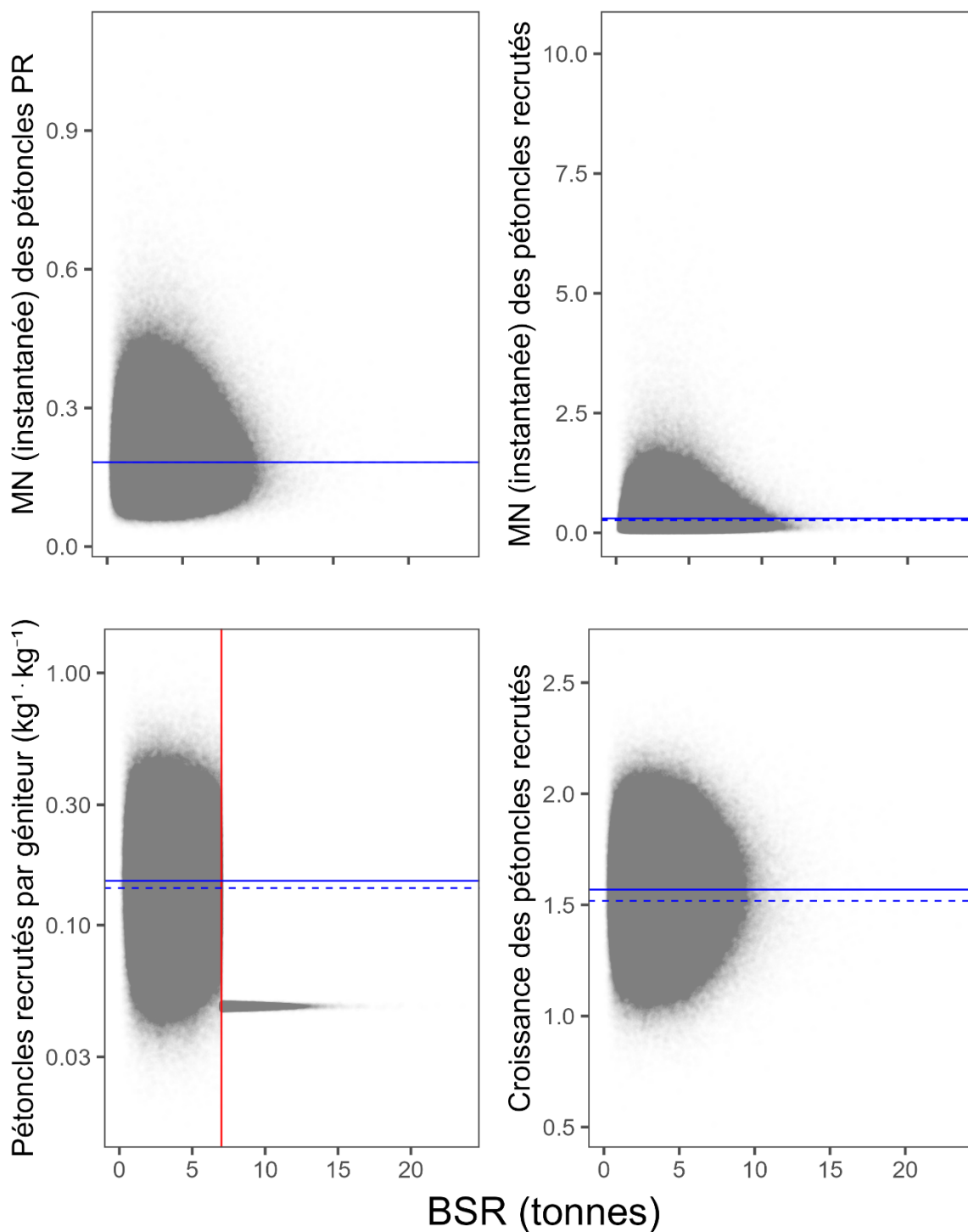


Figure 22. Relation entre les valeurs des paramètres simulés et les estimations de la biomasse du stock reproducteur (BSR) simulée dans la ZPP 25A d'après le scénario de la B_{RMD} de simulation du rendement maximal durable. La ligne horizontale bleue continue est la valeur moyenne (médiane pour les mortalités naturelles [MN]) tirée des simulations, tandis que la ligne tiretée bleue est la moyenne (médiane pour les MN) de l'estimation du paramètre historique. La ligne verticale rouge dans le diagramme inférieur gauche (pétoncles recrutés par géniteur) représente le point de rupture.

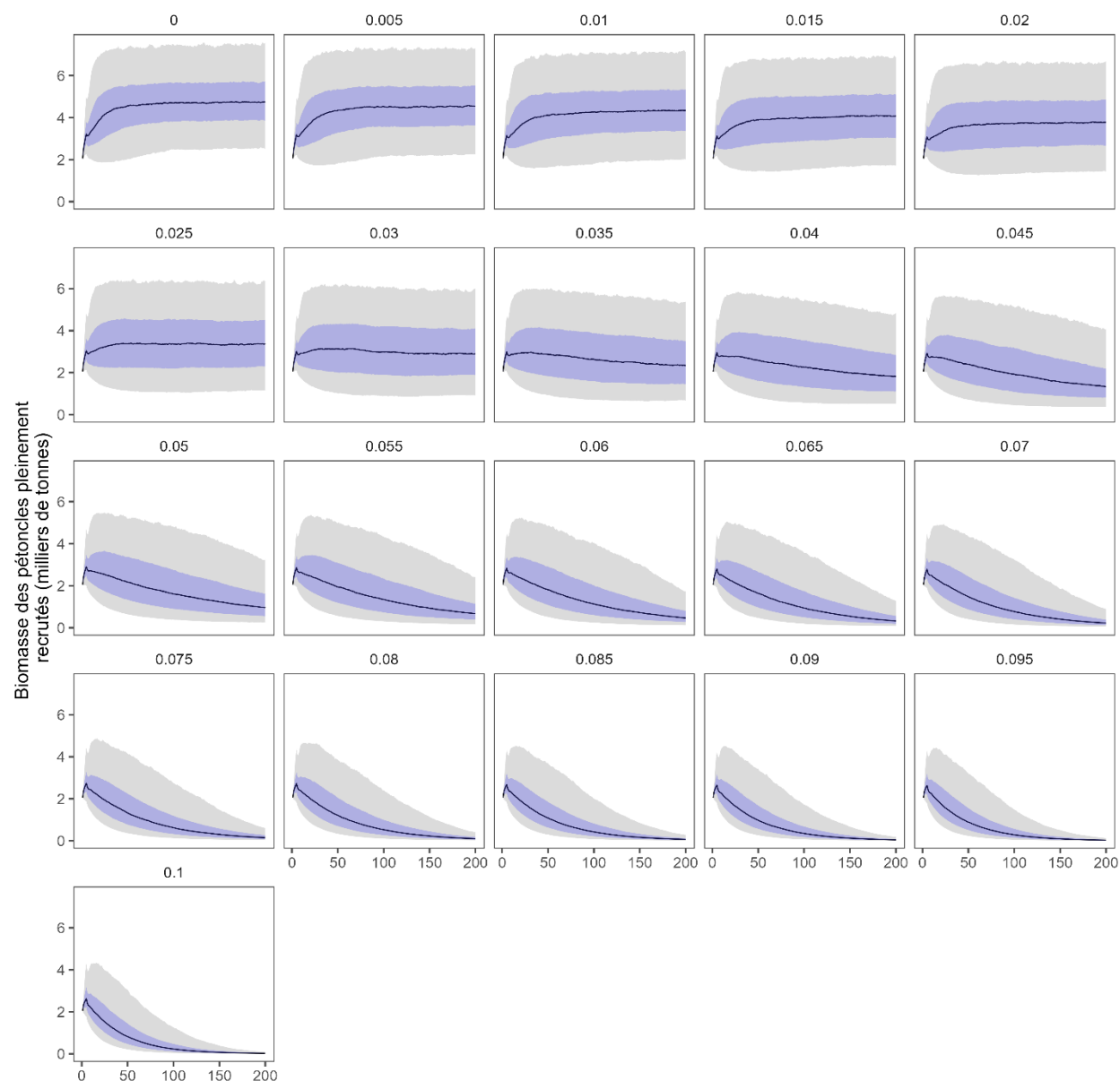


Figure 23. Estimations de la biomasse médiane des pétoncles pleinement recrutés dans les simulations du rendement maximal durable dans la ZPP 25A, accompagnées des intervalles de confiance à 50 % (bleu) et à 90 % (gris), pour chaque scénario de taux d'exploitation utilisé dans ces simulations.

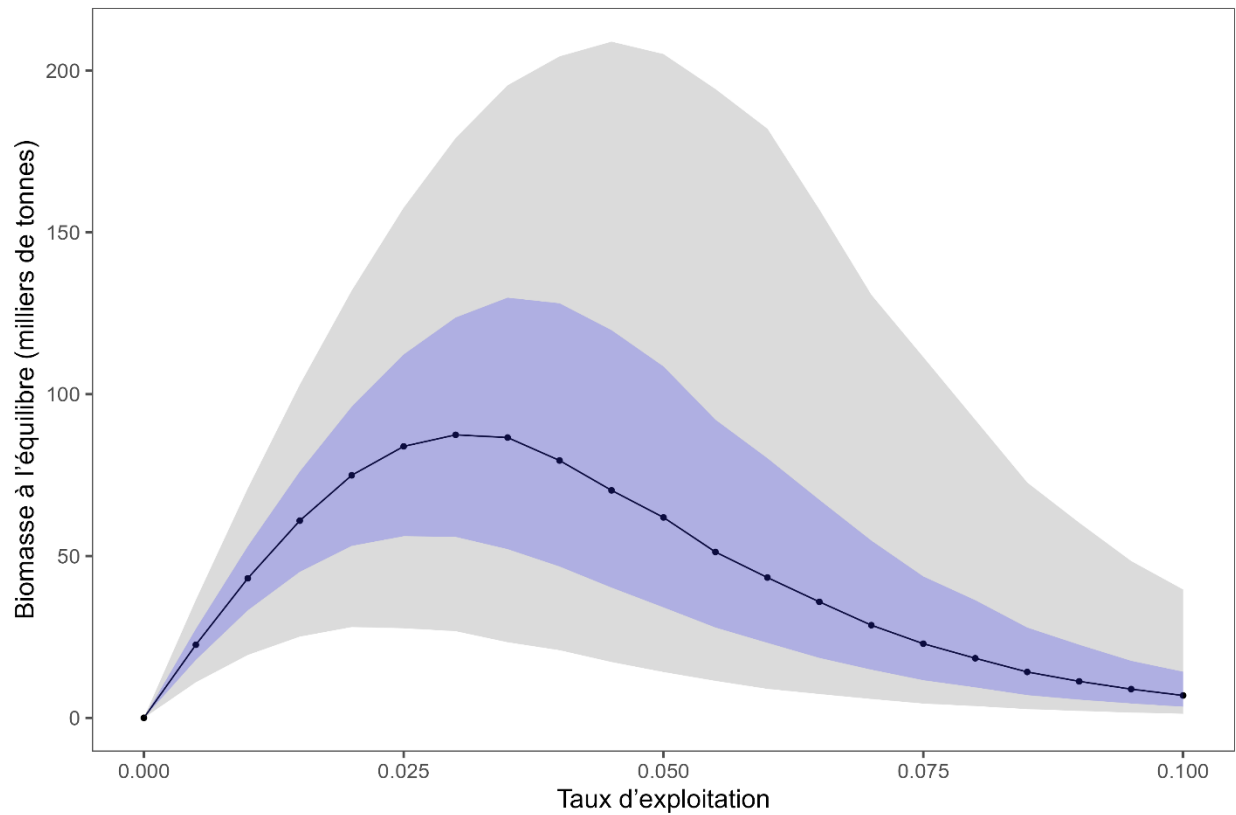


Figure 24. Estimations des prélèvements médians dans la ZPP 25A d'après les 100 dernières années des simulations du rendement maximal durable, accompagnées des intervalles de confiance à 50 % (bleu) et à 90 % (gris), pour chaque scénario de taux d'exploitation utilisé dans ces simulations.

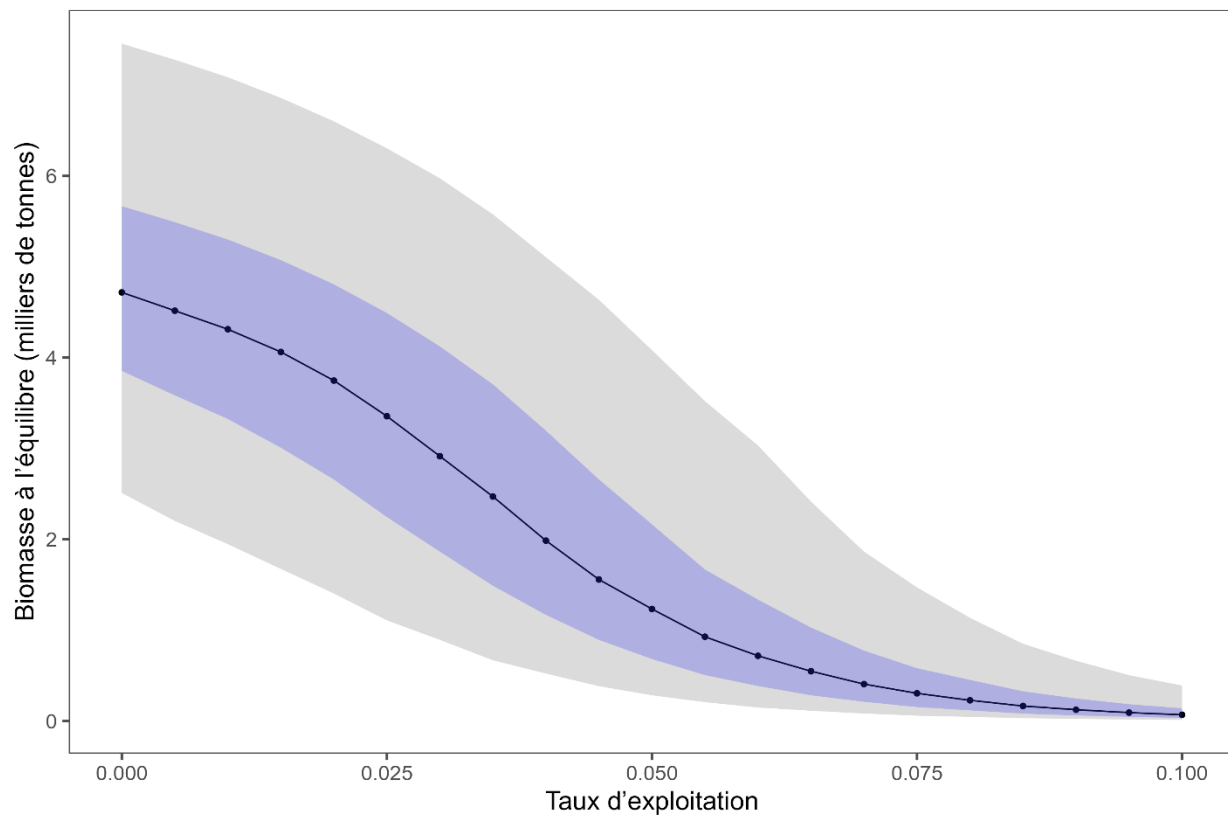


Figure 25. Estimations de la biomasse médiane d'après les 100 dernières années des simulations dans la ZPP 25A, accompagnées des intervalles de confiance à 50 % (bleu) et à 90 % (gris), pour chaque scénario de taux d'exploitation utilisé dans les simulations du rendement maximal durable.

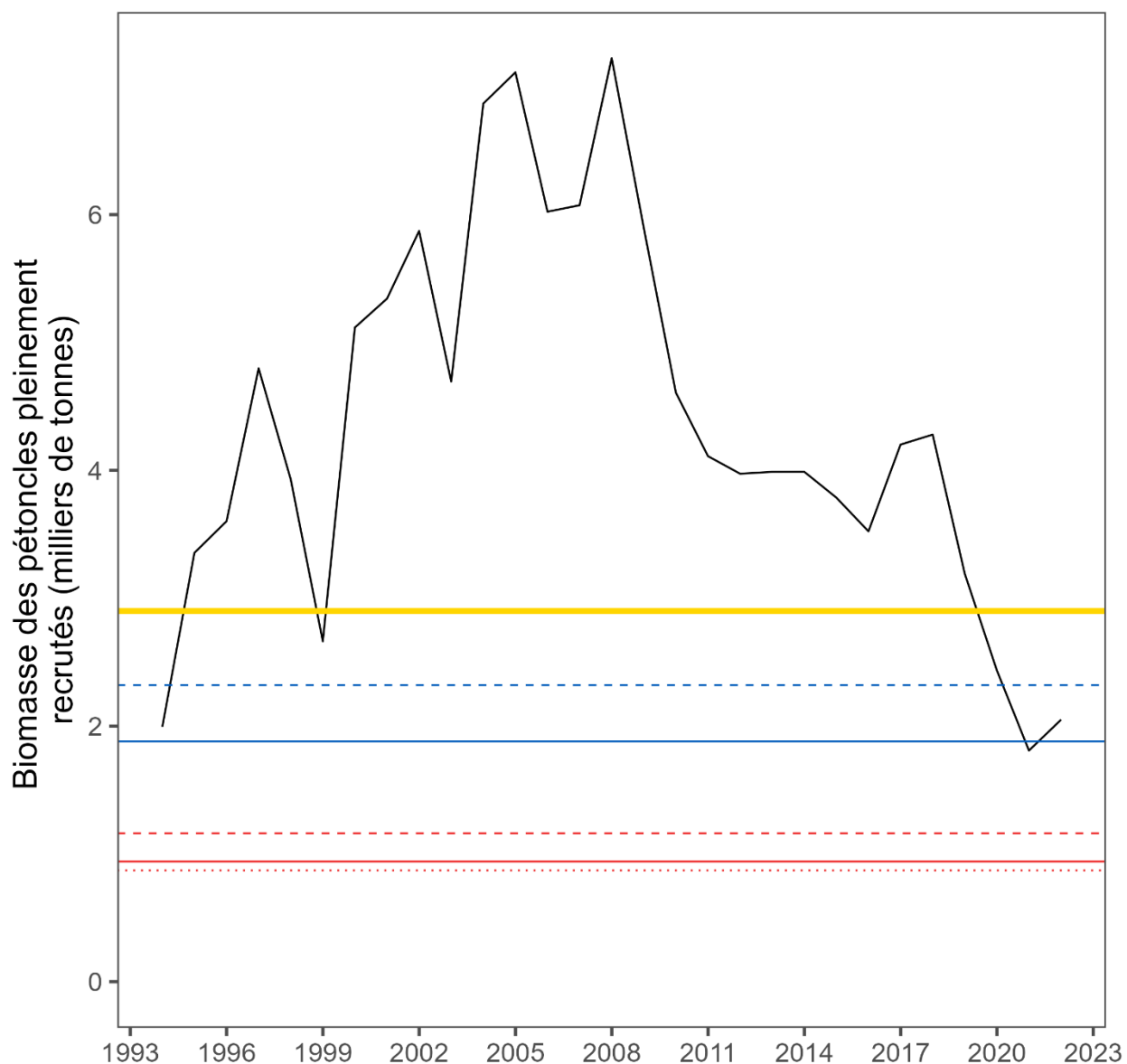


Figure 26. Série chronologique de la biomasse de pétoncles pleinement recrutés historiquement modélisée (ligne noire) par rapport à un ensemble de points de référence potentiels dans la ZPP 25A ayant été élaborés à partir de simulations du rendement maximal durable. Les points de référence limites sont représentés par la ligne pointillée rouge ($B_{RMD[30]}$), la ligne tiretée rouge ($B_{RMD[40]}$) et la ligne rouge continue ($B_{0[20]}$). Les points de référence supérieurs du stock sont représentés par la ligne tiretée bleue ($B_{RMD[80]}$) et la ligne bleue continue ($B_{0[40]}$). La ligne jaune continue représente la biomasse estimée au rendement maximal durable.

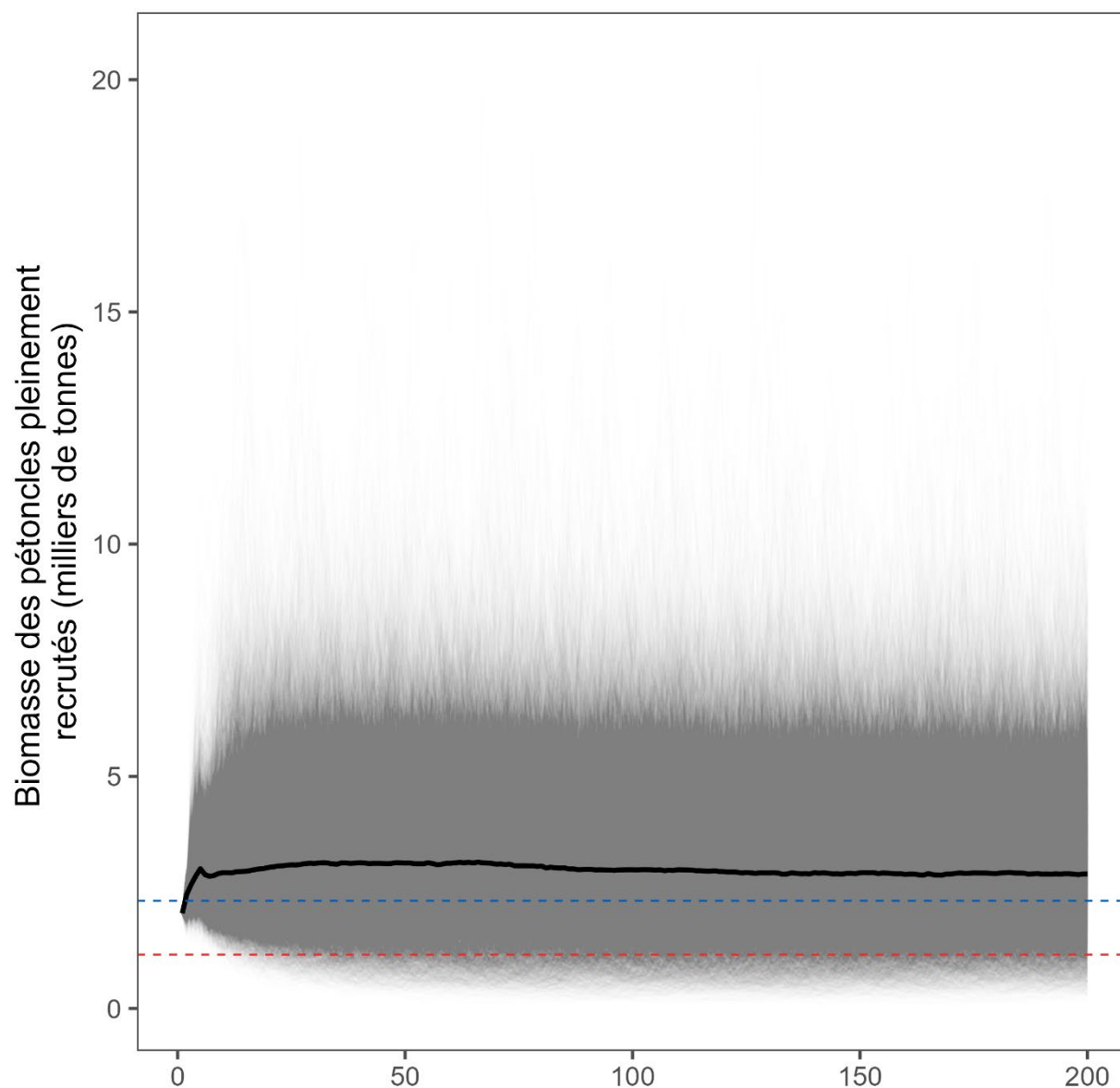


Figure 27. Projections de la série chronologique de la biomasse de pétoncles pleinement recrutés dans la ZPP 25A issues de simulations du rendement maximal durable, pour une récolte correspondant au NER_{cib} (possibilité de niveau d'exploitation de référence cible). Un point de référence limite ($B_{RMD[40]}$; ligne tiretée rouge) et un point de référence supérieur du stock ($B_{RMD[80]}$; ligne tiretée bleue) sont montrés à titre de référence. Chaque ligne grise représente l'une des 10 000 réalisations, et la ligne noire épaisse, la médiane de la série chronologique.

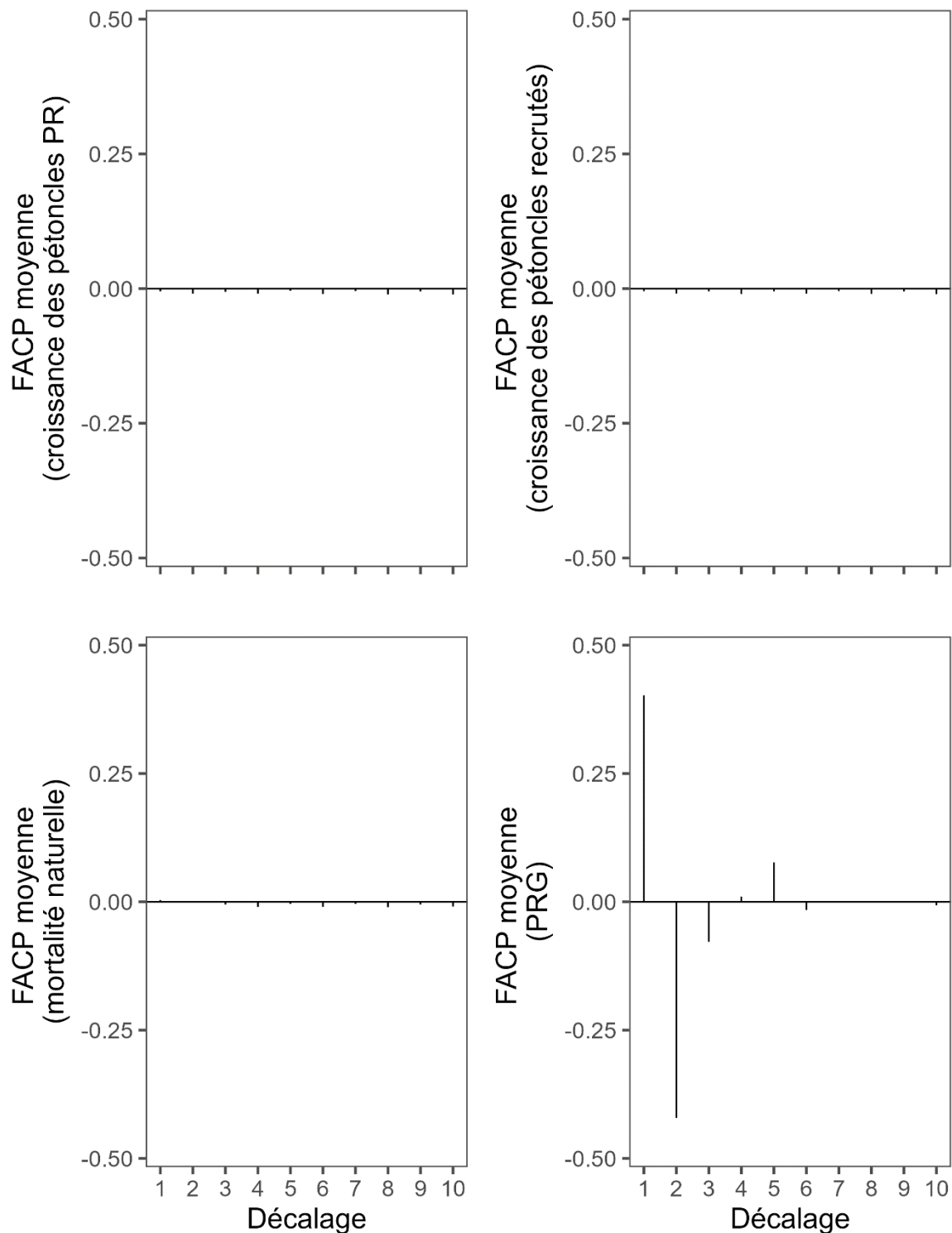


Figure 28. Estimation moyenne de l'autocorrélation (FACP) dans les séries chronologiques des simulations du rendement maximal durable dans la ZPP 26A, d'après l'exécution des simulations de la B_{RMD} . Les diagrammes portent sur la croissance des pétoncles pleinement recrutés (en haut à gauche), la croissance des pétoncles recrutés (en haut à droite), la mortalité naturelle (en bas à gauche) et les pétoncles recrutés par géniteur (PRG) (en bas à droite). Les lignes verticales noires représentent la force de la relation à chaque décalage.

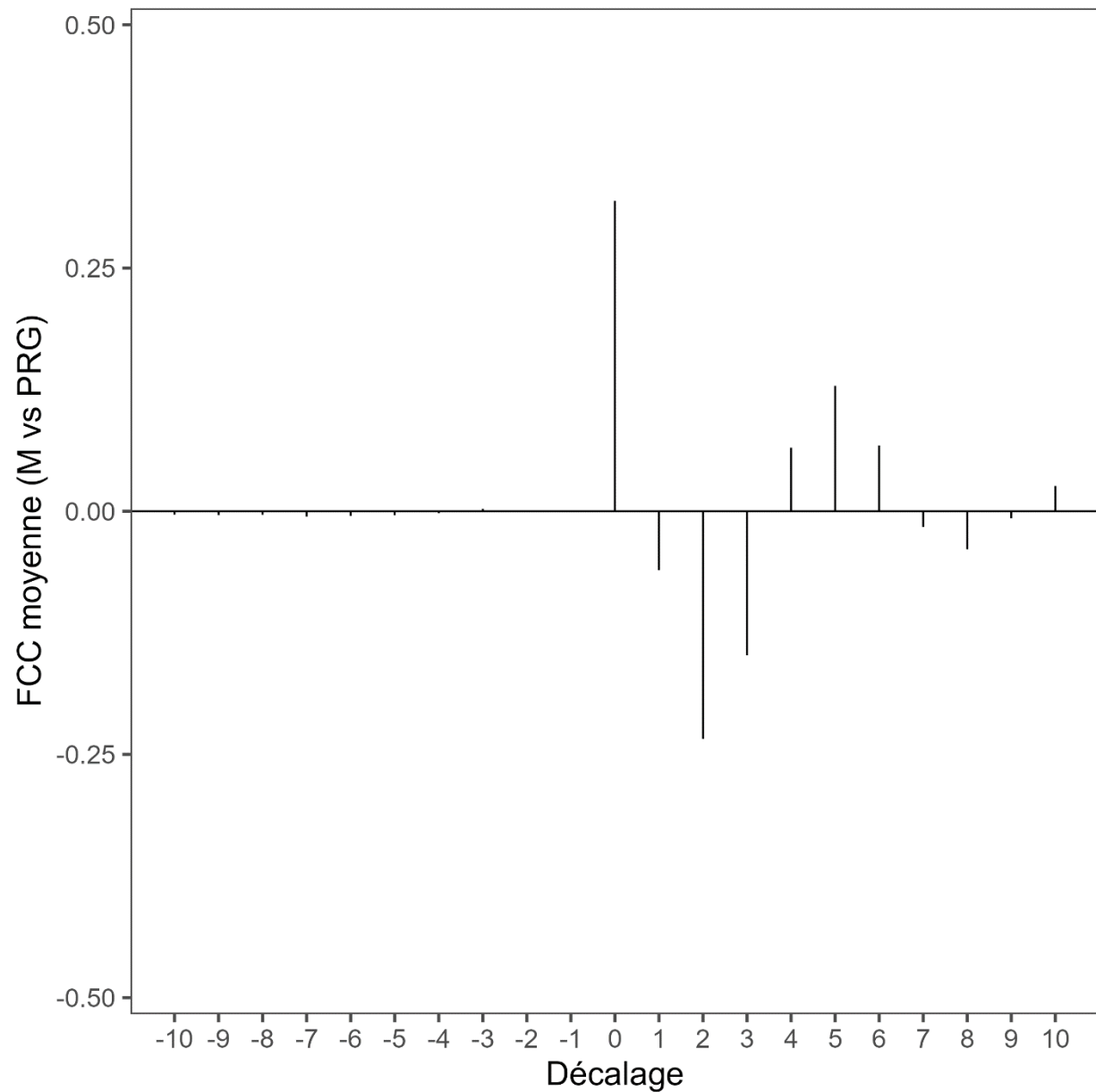


Figure 29. Estimation moyenne de la corrélation croisée (FCC) entre les pétoncles recrutés par géniteur (PRG) et la mortalité naturelle des pétoncles pleinement recrutés (M) dans les séries chronologiques des simulations du rendement maximal durable dans la ZPP 26A, d'après l'exécution des simulations de la B_{RMD} . Les lignes verticales noires représentent la force de la relation à chaque décalage.

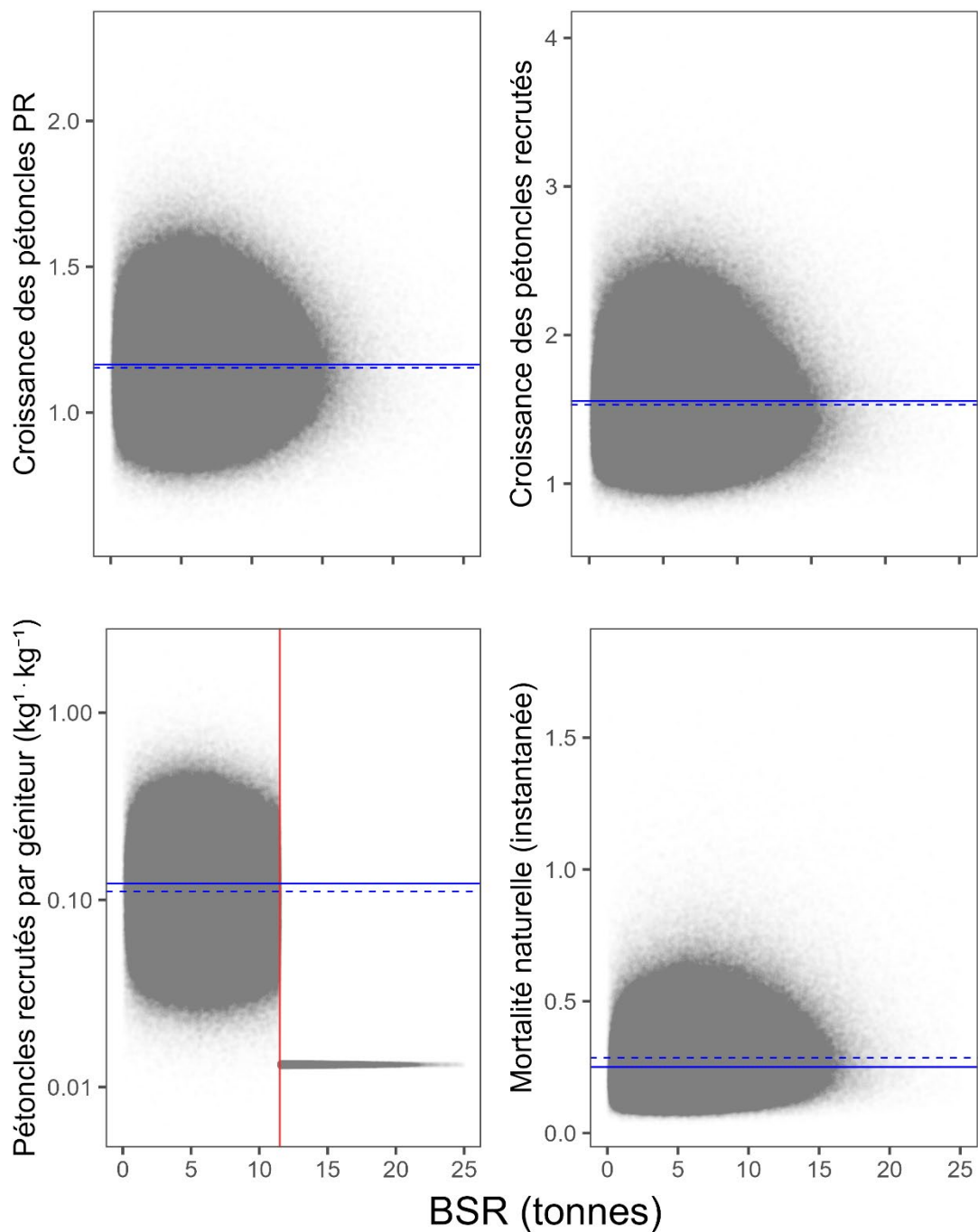


Figure 30. Relation entre les valeurs des paramètres simulés et les estimations de la biomasse du stock reproducteur (BSR) simulée dans la ZPP 26A d'après le scénario de la B_{RMD} des simulations du rendement maximal durable. La ligne horizontale bleue continue est la valeur moyenne (médiane pour la mortalité naturelle) tirée des simulations, tandis que la ligne tiretée bleue est la moyenne (médiane pour la mortalité naturelle) de l'estimation du paramètre historique. La ligne verticale rouge dans le diagramme inférieur gauche sur les pétoncles recrutés par géniteur représente le point de rupture.

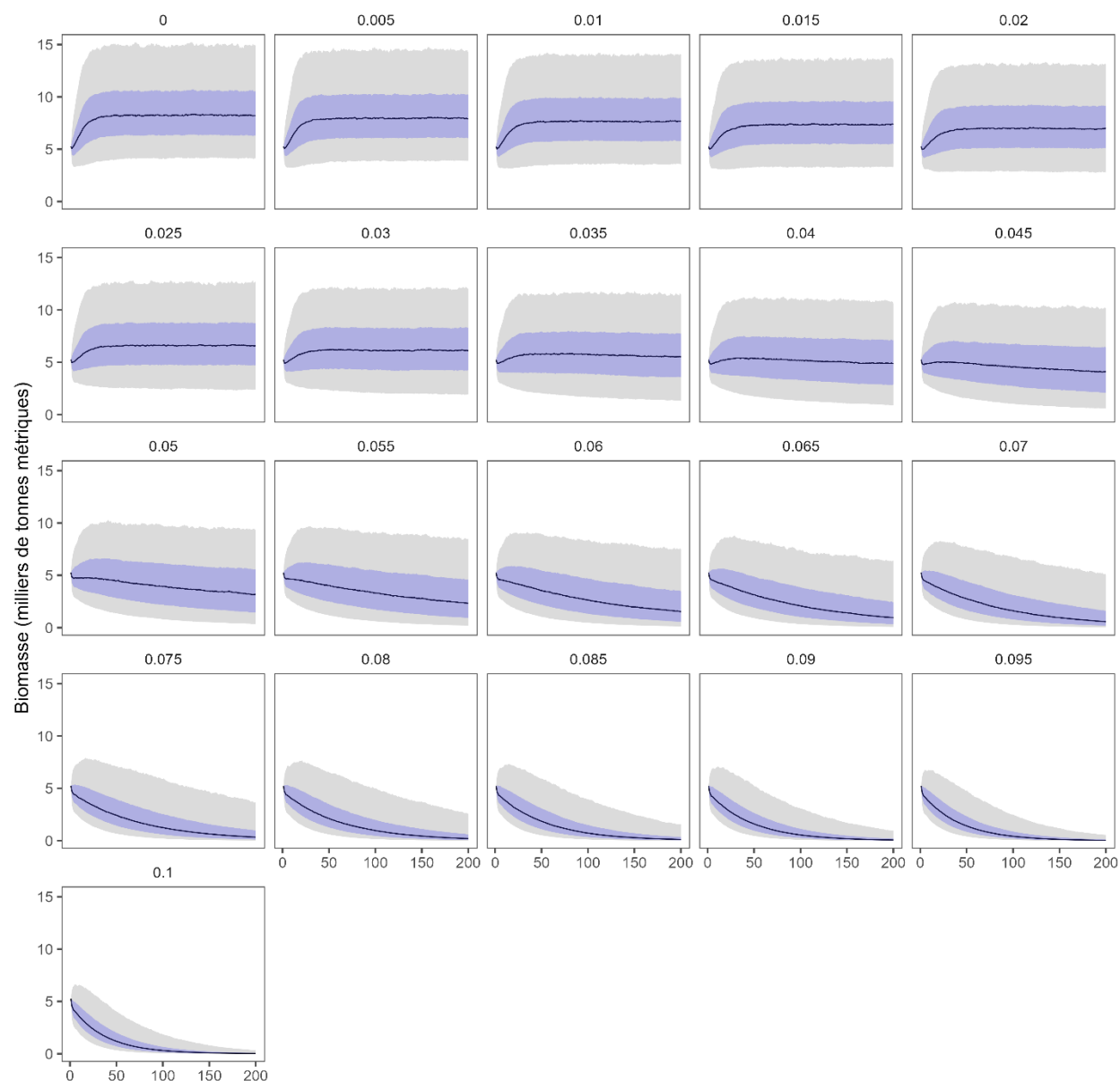


Figure 31. Estimations de la biomasse médiane des pétoncles pleinement recrutés dans la ZPP 26A pour chaque scénario de taux d'exploitation utilisé dans les simulations du rendement maximal durable. L'ombre bleue représente l'intervalle de confiance à 50 %, et l'ombre grise, l'intervalle de confiance à 90 %.

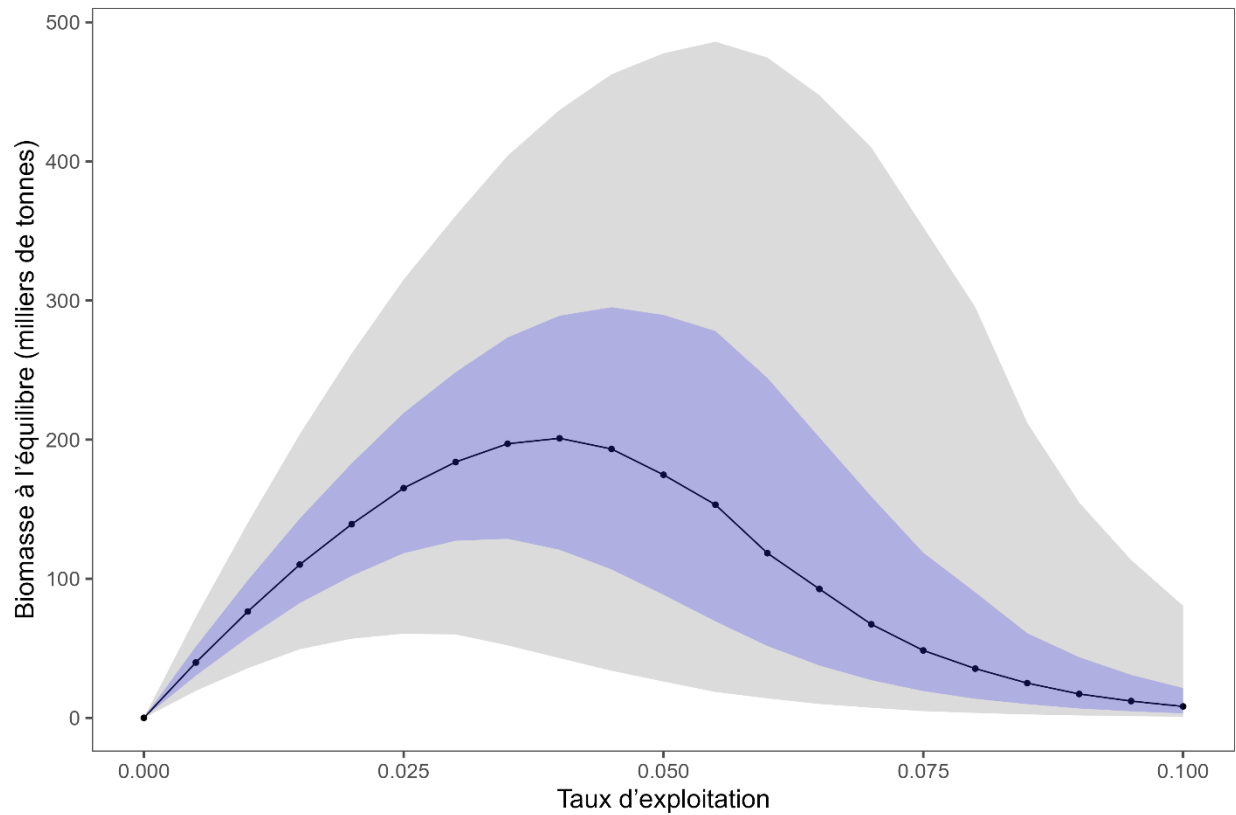


Figure 32. Estimations des prélèvements médians dans la ZPP 26A d'après les 100 dernières années de chaque scénario de taux d'exploitation utilisé dans les simulations du rendement maximal durable. L'ombre bleue représente l'intervalle de confiance à 50 %, et l'ombre grise, l'intervalle de confiance à 90 %.

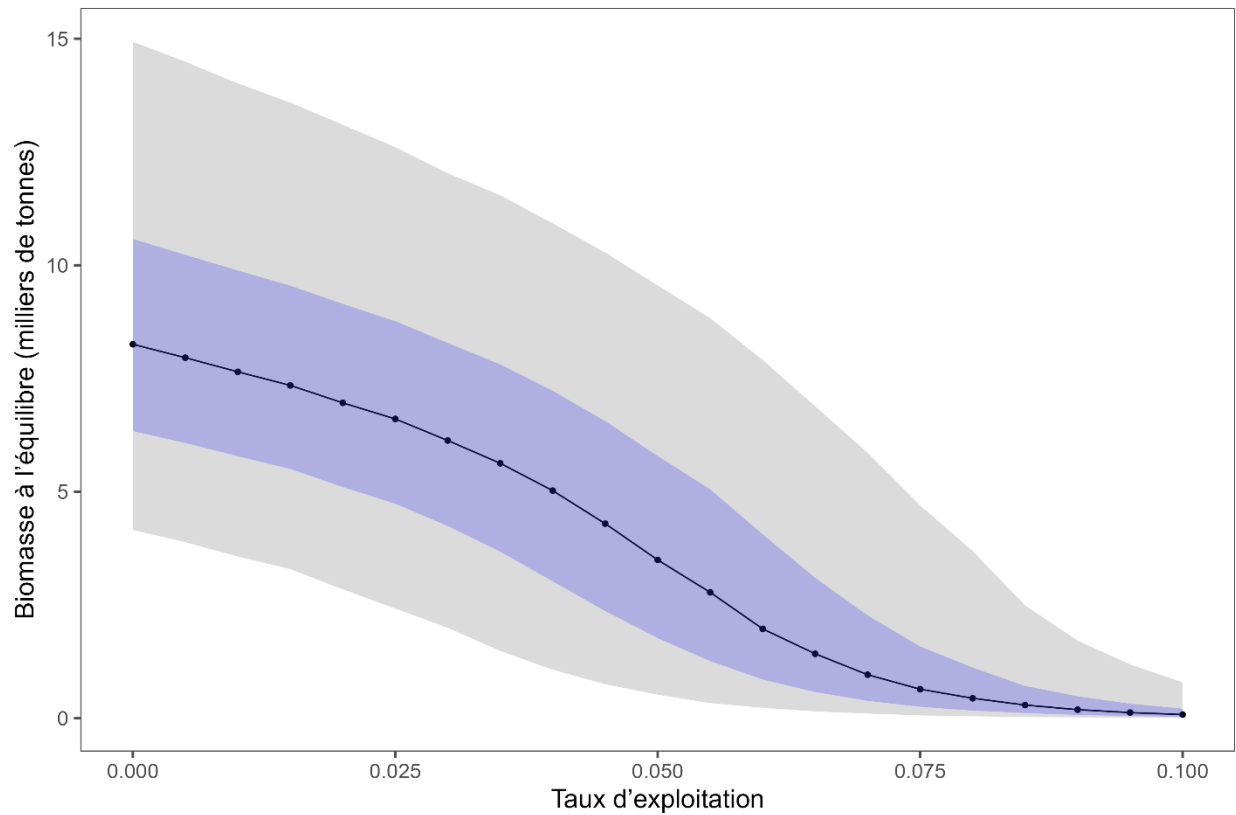


Figure 33. Estimations de la biomasse médiane d'après les 100 dernières années de chaque scénario de taux d'exploitation utilisé dans les simulations du rendement maximal durable. L'ombre bleue représente l'intervalle de confiance à 50 %, et l'ombre grise, l'intervalle de confiance à 90 %.

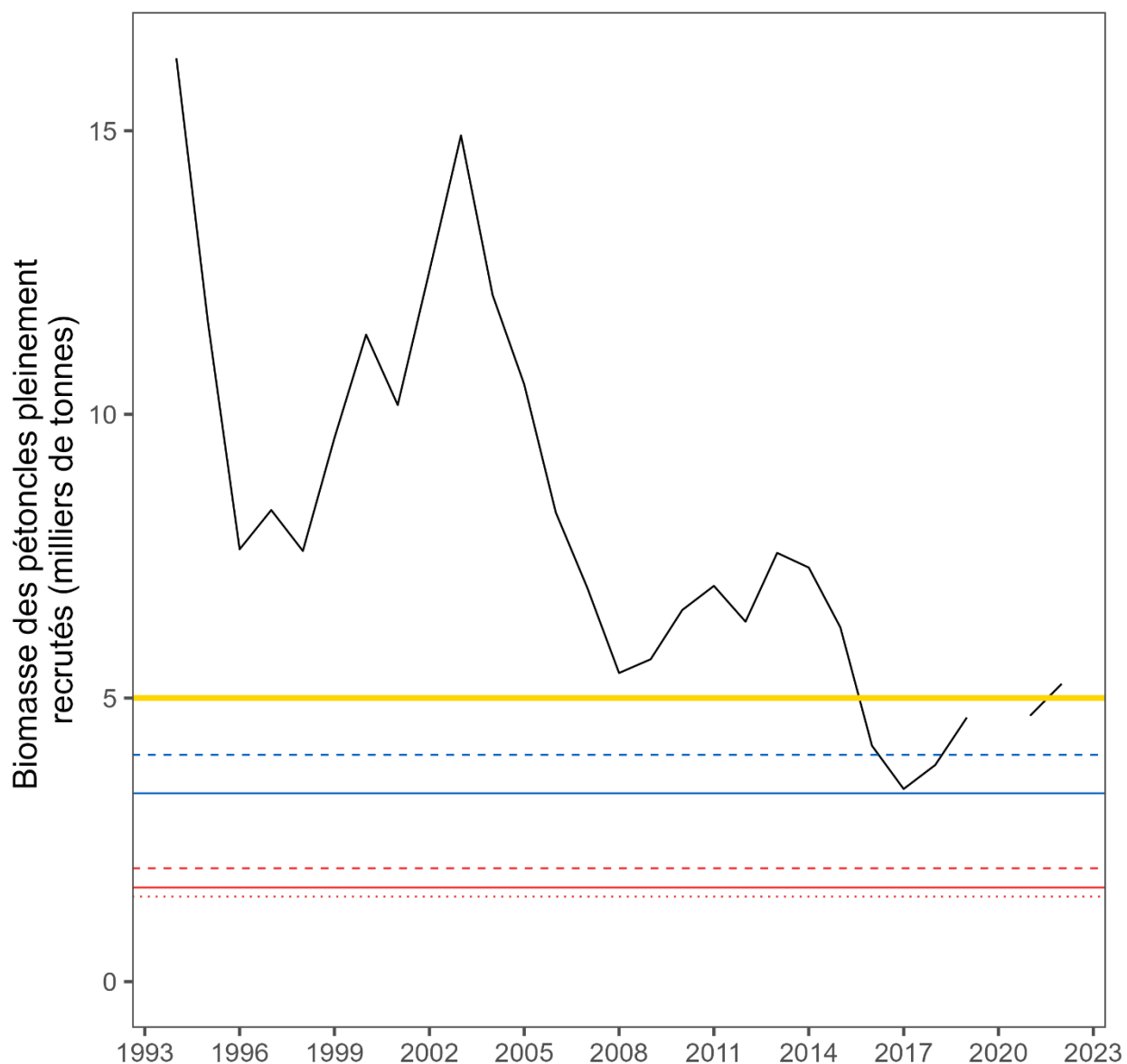


Figure 34. Série chronologique de la biomasse de pétoncles pleinement recrutés historiquement modélisée (ligne noire) par rapport à un ensemble de points de référence potentiels dans la ZPP 26A ayant été élaborés à partir de simulations du rendement maximal durable. Les points de référence limites sont représentés par la ligne pointillée rouge ($B_{RMD[30]}$), la ligne tiretée rouge ($B_{RMD[40]}$) et la ligne rouge continue ($B_{0[20]}$). Les points de référence supérieurs du stock sont représentés par la ligne tiretée bleue ($B_{RMD[80]}$) et la ligne bleue continue ($B_{0[40]}$). La ligne jaune continue représente la biomasse estimée au rendement maximal durable.

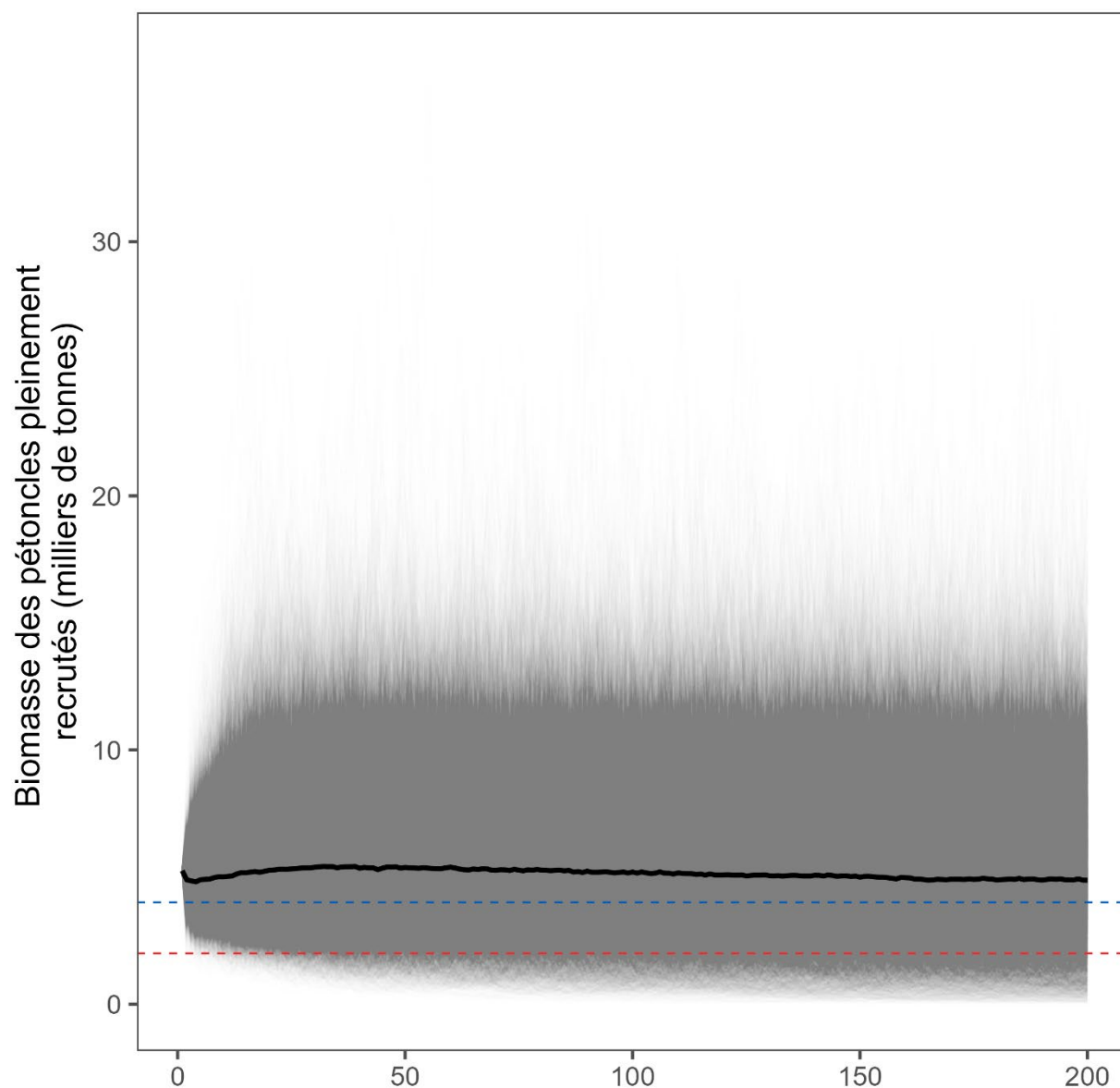


Figure 35. Projections de la série chronologique de la biomasse de pétoncles pleinement recrutés dans la ZPP 26A issues de simulations du rendement maximal durable, pour une récolte correspondant au NER_{cib} (possibilité de niveau d'exploitation de référence cible). Un point de référence limite ($B_{RMD[40]}$; ligne tiretée rouge) et un point de référence supérieur du stock ($B_{RMD[80]}$; ligne tiretée bleue) sont montrés à titre de référence. Chaque ligne grise représente l'une des 10 000 réalisations, et la ligne noire épaisse, la médiane.

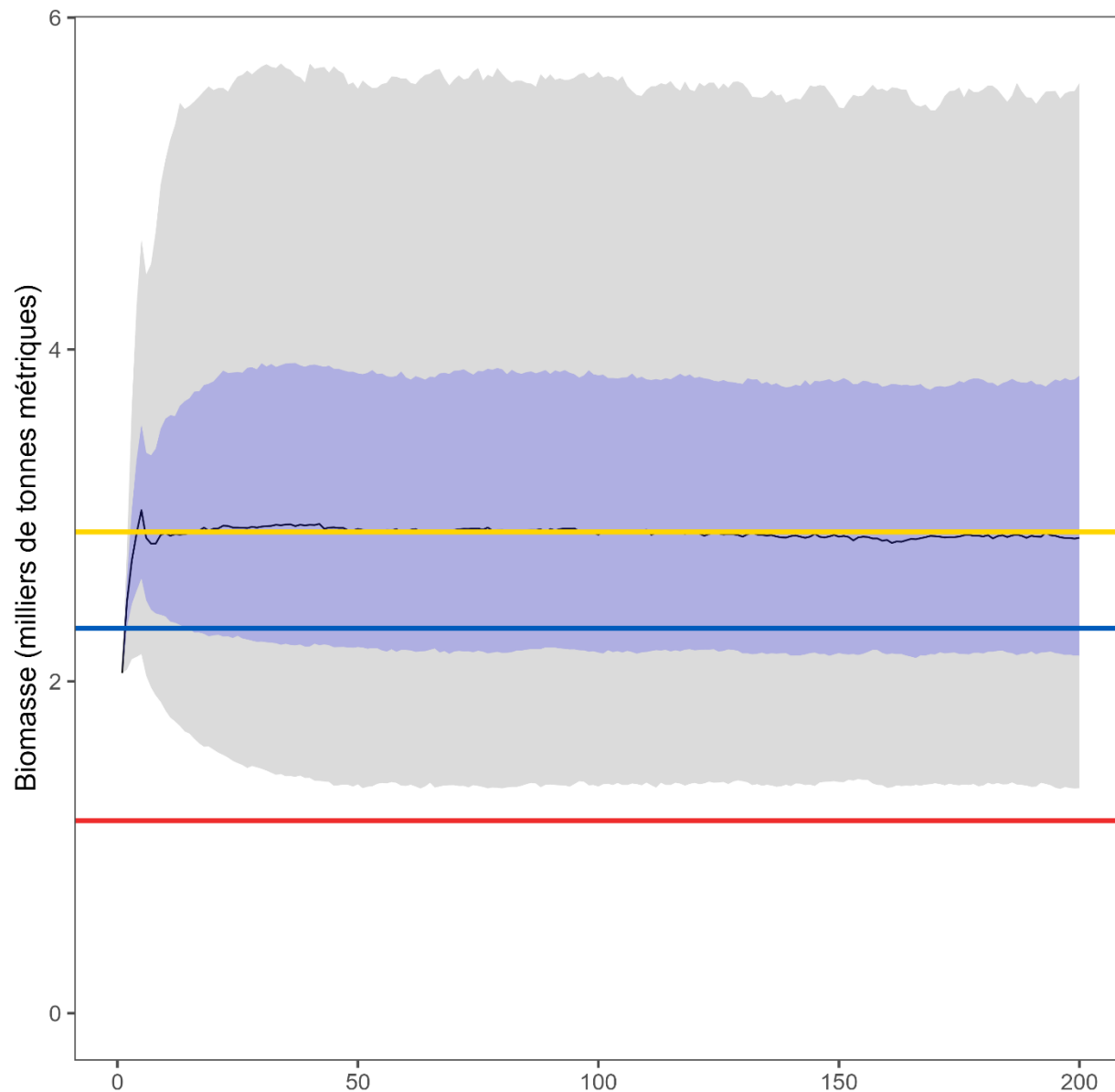


Figure 36. Estimations de la biomasse médiane de pétoncles pleinement recrutés d'après des simulations de règles de décision sur les prises dans la ZPP 25A. L'ombre bleue représente l'intervalle de confiance à 50 %, et l'ombre grise, l'intervalle de confiance à 90 %. Les points de référence utilisés dans ce scénario sont représentés par la ligne horizontale jaune (point de référence cible), la ligne horizontale bleue (point de référence supérieur du stock; $B_{RMD[80]}$) et la ligne horizontale rouge (point de référence limite; $B_{RMD[40]}$).

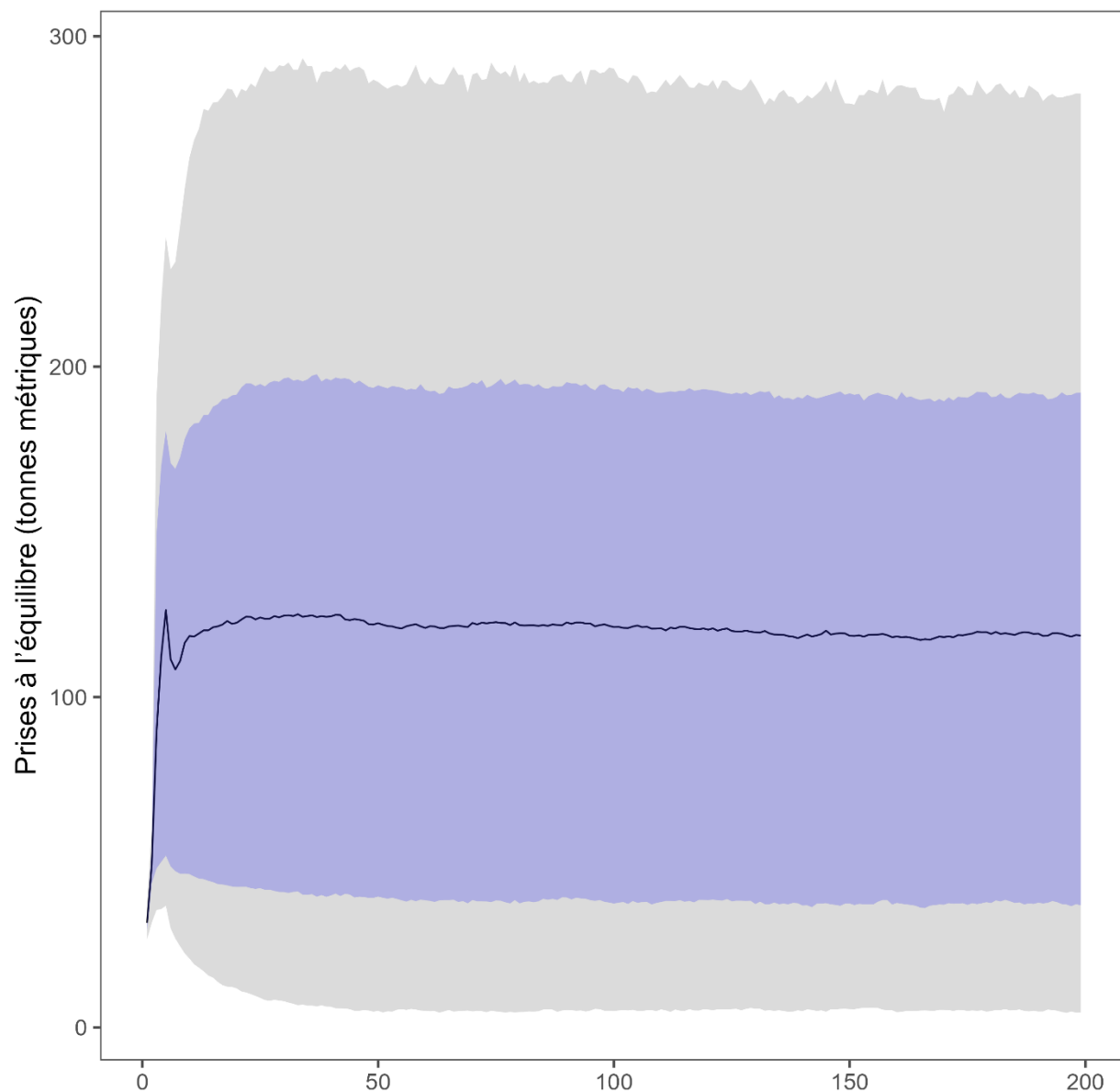


Figure 37. Estimations des prélèvements médians d'après des simulations de règles de décision sur les prises dans la ZPP 25A. L'ombre bleue représente l'intervalle de confiance à 50 %, et l'ombre grise, l'intervalle de confiance à 90 %.

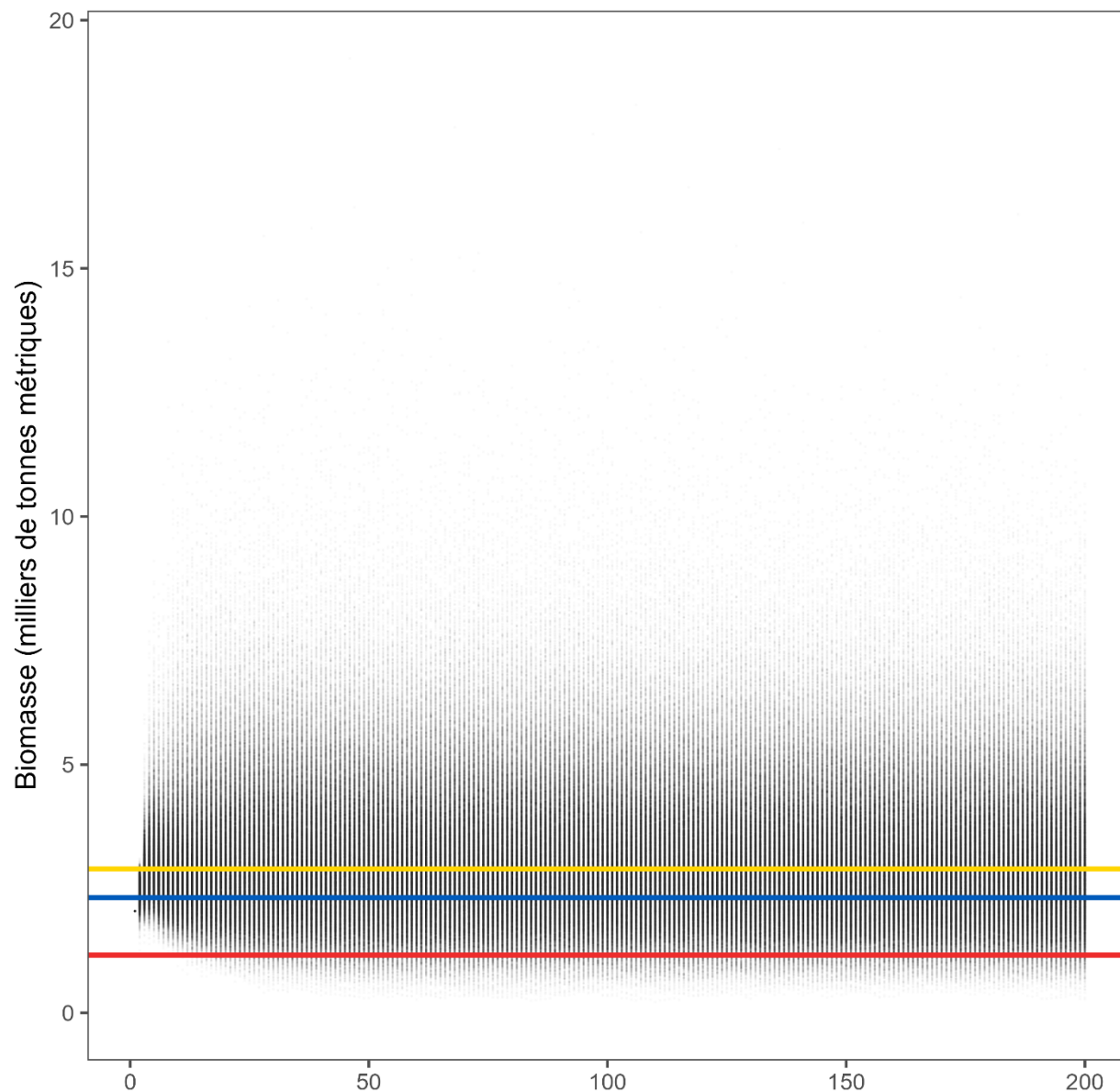


Figure 38. Estimations de la biomasse brute de pétoncles pleinement recrutés d'après des simulations de règles de décision sur les prises dans la ZPP 25A. Les points de référence utilisés dans ce scénario sont représentés par la ligne horizontale jaune (point de référence cible), la ligne horizontale bleue (point de référence supérieur du stock; $B_{RMD[80]}$) et la ligne horizontale rouge (point de référence limite; $B_{RMD[40]}$). Chaque ligne grise représente l'une des 10 000 réalisations.

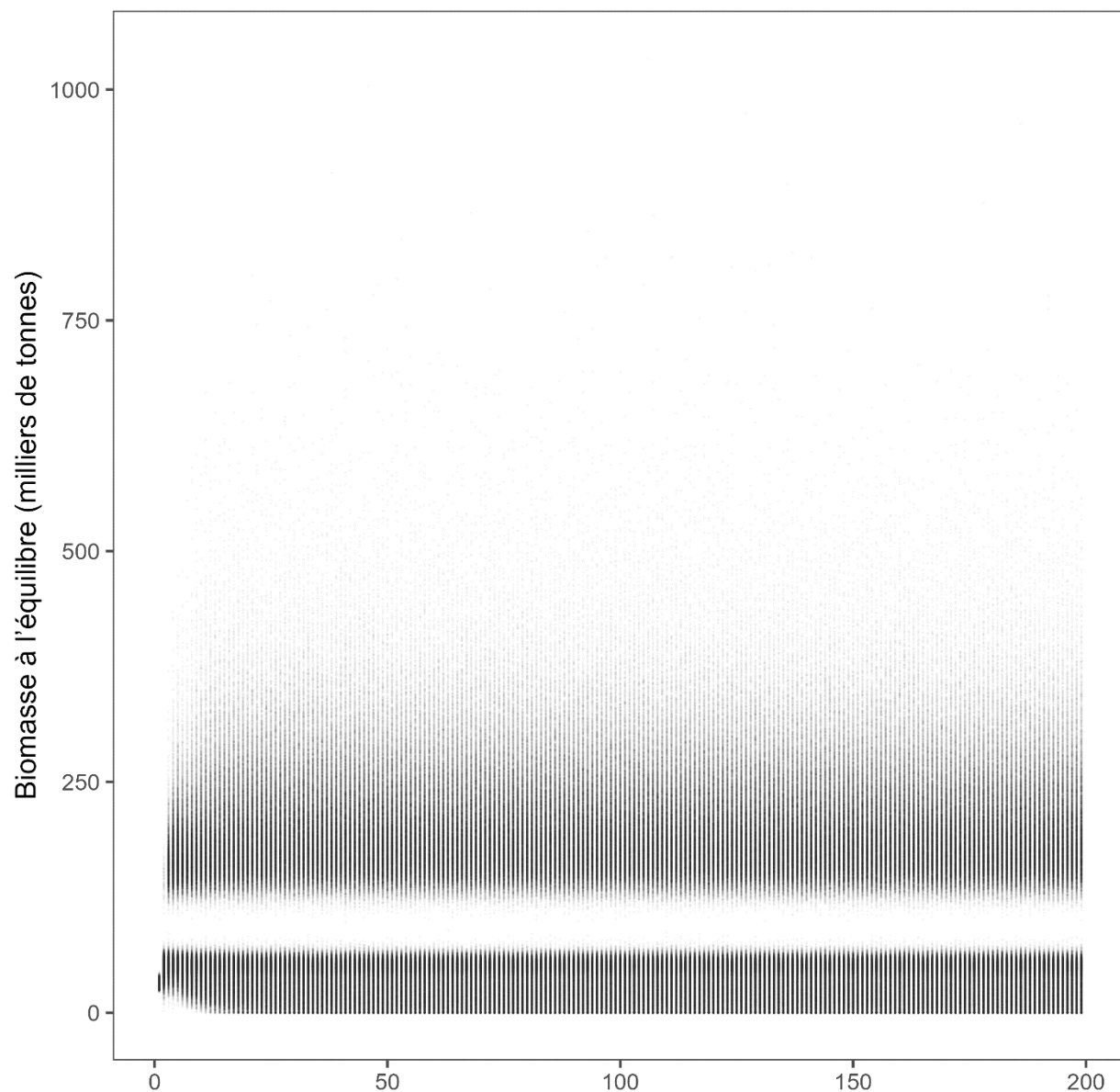


Figure 39. Série chronologique des prélèvements bruts d'après des simulations de règles de décision sur les prises dans la ZPP 25A. Chaque ligne grise représente l'une des 10 000 réalisations.

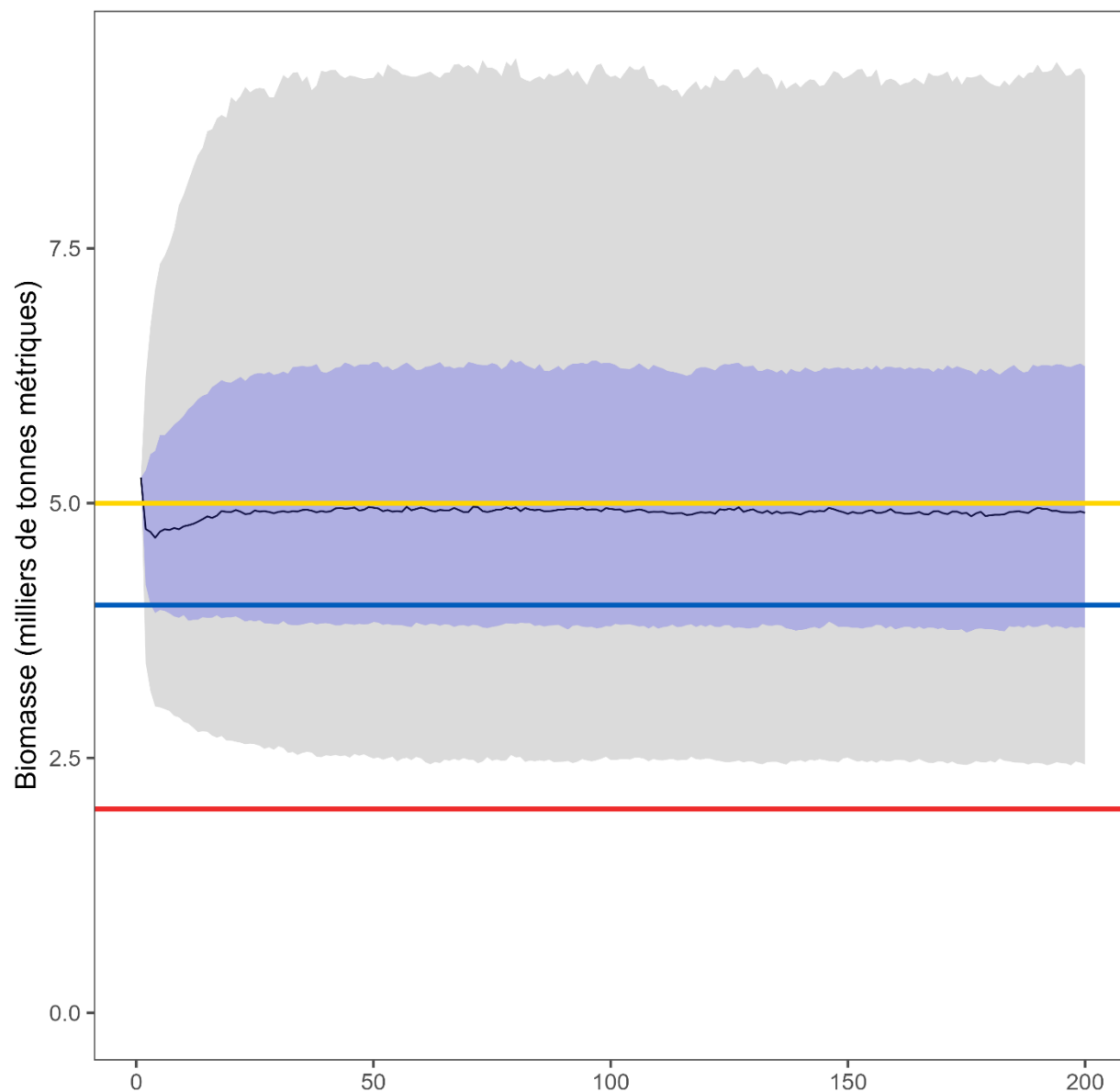


Figure 40. Estimations de la biomasse médiane de pétoncles pleinement recrutés d'après des simulations de règles de décision sur les prises dans la ZPP 26A. L'ombre bleue représente l'intervalle de confiance à 50 %, et l'ombre grise, l'intervalle de confiance à 90 %. Les points de référence utilisés dans ce scénario sont représentés par la ligne horizontale jaune (point de référence cible), la ligne horizontale bleue (point de référence supérieur du stock; $B_{RMD[80]}$) et la ligne horizontale rouge (point de référence limite; $B_{RMD[40]}$).

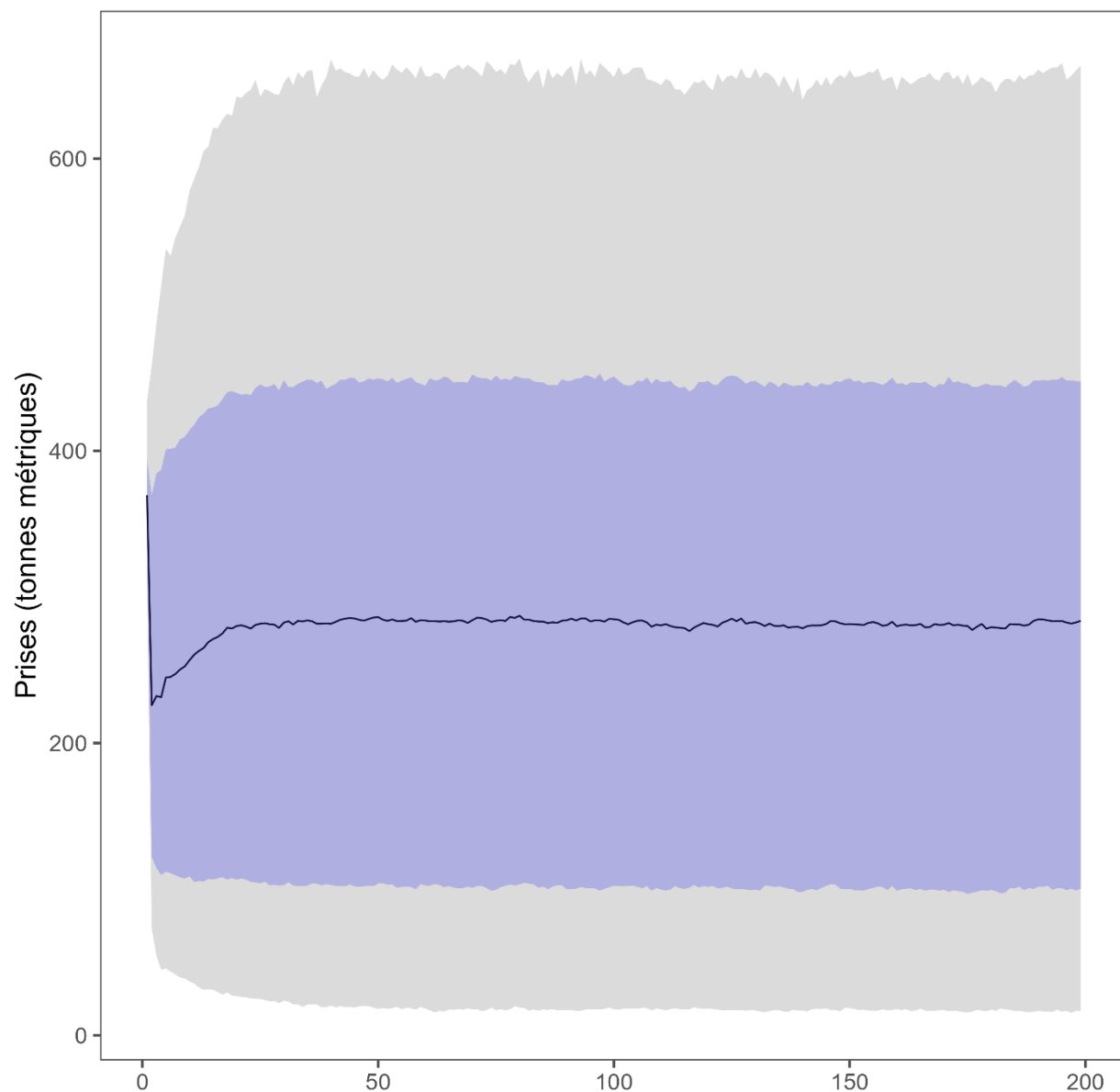


Figure 41. Estimations des prélèvements médians d'après des simulations de règles de décision sur les prises dans la ZPP 26A. L'ombre bleue représente l'intervalle de confiance à 50 %, et l'ombre grise, l'intervalle de confiance à 90 %.

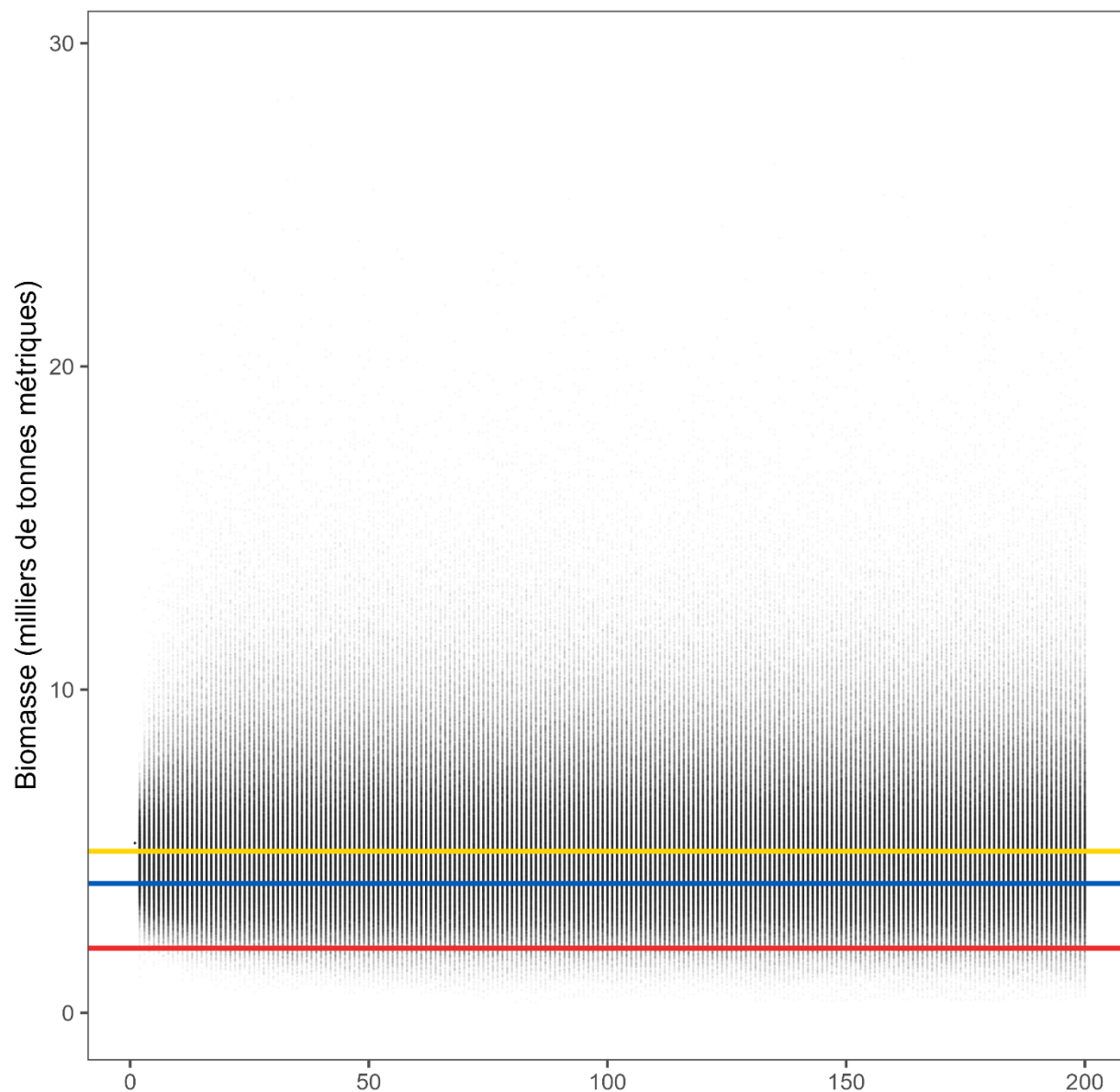


Figure 42. Estimations de la biomasse brute de pétoncles pleinement recrutés d'après des simulations de règles de décision sur les prises dans la ZPP 26A. Les points de référence utilisés dans ce scénario sont représentés par la ligne horizontale jaune (point de référence cible), la ligne horizontale bleue (point de référence supérieur du stock; $B_{RMD[80]}$) et la ligne horizontale rouge (point de référence limite; $B_{RMD[40]}$). Chaque ligne grise représente l'une des 10 000 réalisations.

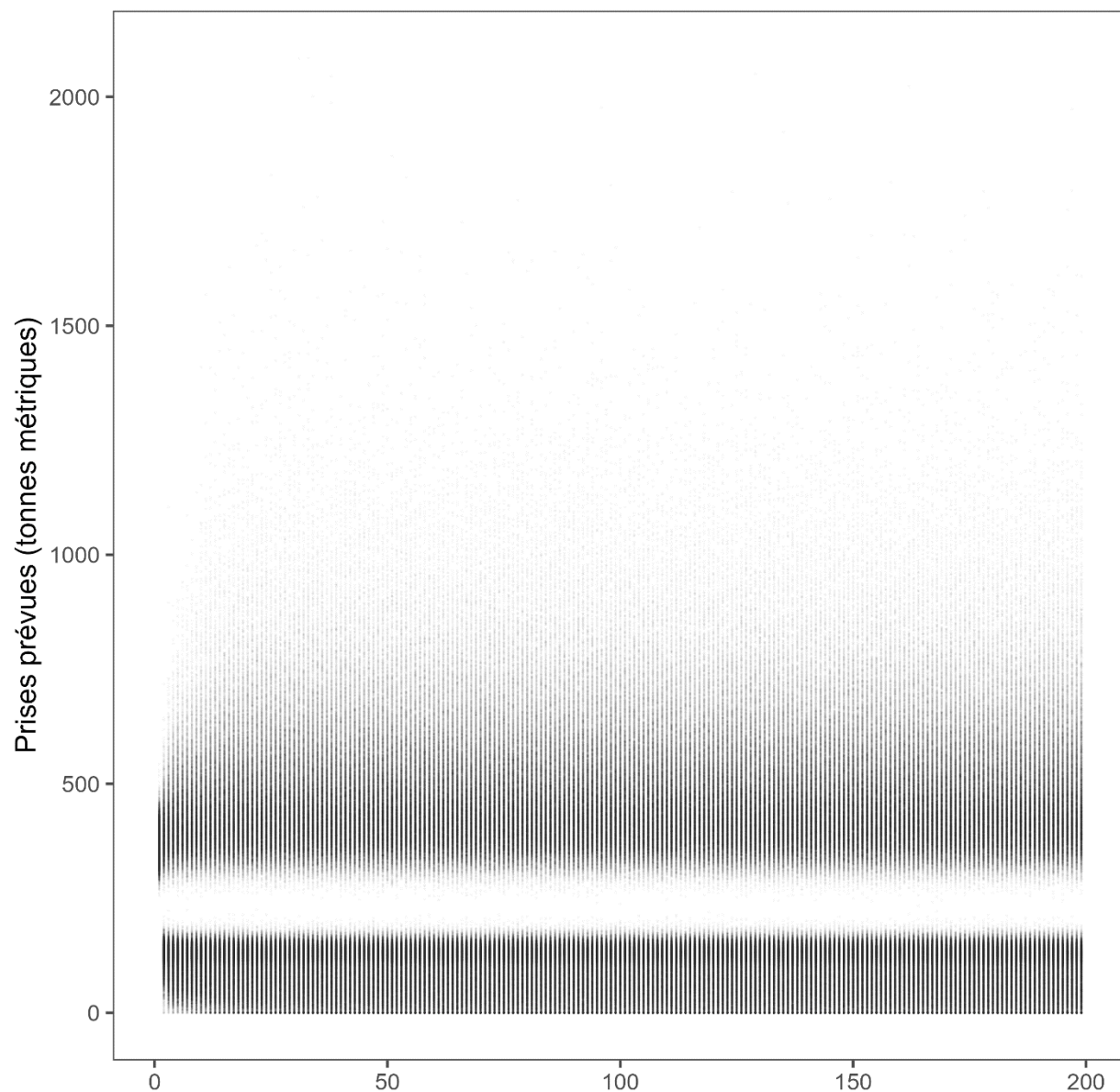


Figure 43. Série chronologique des prélèvements bruts d'après des simulations de règles de décision sur les prises dans la ZPP 26A. Chaque ligne grise représente l'une des 10 000 réalisations.