Outil d'aide à la décision pour la sélection des méthodes permettant d'obtenir des indicateurs de la santé et des points de référence pour des stocks limités en données

Mathieu Boudreau et Daniel Duplisea

Pêches et Océans Canada
Institut Maurice-Lamontagne
850, route de la Mer
Mont-Joli, Québec
Canada G5H 3Z4

2022

Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques 3237

Pêches et Océans Canada Fisheries and Oceans Canada

Canada

Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques

Les rapports manuscrits contiennent des renseignements scientifiques et techniques qui constituent une contribution aux connaissances actuelles, mais qui traitent de problèmes nationaux ou régionaux. La distribution en est limitée aux organismes et aux personnes de régions particulières du Canada. II n'y a aucune restriction quant au sujet; de fait, la série reflète la vaste gamme des intérêts et des politiques de Pêches et Océans Canada, c'est-à-dire les sciences halieutiques et aquatiques.

Les rapports manuscrits peuvent être cités comme des publications à part entière. Le titre exact figure au-dessus du résumé de chaque rapport. Les rapports manuscrits sont résumés dans la base de données *Résumés des sciences aquatiques et halieutiques.*

Les rapports manuscrits sont produits à l'échelon régional, mais numérotés à l'échelon national. Les demandes de rapports seront satisfaites par l'établissement auteur dont le nom figure sur la couverture et la page du titre.

Les numéros 1 à 900 de cette série ont été publiés à titre de Manuscrits (série biologique) de l'Office de biologie du Canada, et après le changement de la désignation de cet organisme par décret du Parlement, en 1937, ont été classés comme Manuscrits (série biologique) de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Les numéros 901 à 1425 ont été publiés à titre de Rapports manuscrits de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Les numéros 1426 à 1550 sont parus à titre de Rapports manuscrits du Service des pêches et de la mer, ministère des Pêches et de l'Environnement. Le nom actuel de la série a été établi lors de la parution du numéro 1551.

Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences

Manuscript reports contain scientific and technical information that contributes to existing knowledge but which deals with national or regional problems. Distribution is restricted to institutions or individuals located in particular regions of Canada. However, no restriction is placed on subject matter, and the series reflects the broad interests and policies of Fisheries and Oceans Canada, namely, fisheries and aquatic sciences.

Manuscript reports may be cited as full publications. The correct citation appears above the abstract of each report. Each report is abstracted in the data base *Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts*.

Manuscript reports are produced regionally but are numbered nationally. Requests for individual reports will be filled by the issuing establishment listed on the front cover and title page.

Numbers 1-900 in this series were issued as Manuscript Reports (Biological Series) of the Biological Board of Canada, and subsequent to 1937 when the name of the Board was changed by Act of Parliament, as Manuscript Reports (Biological Series) of the Fisheries Research Board of Canada. Numbers 1426 - 1550 were issued as Department of Fisheries and Environment, Fisheries and Marine Service Manuscript Reports. The current series name was changed with report number 1551.

Rapport manuscrit canadien des sciences halieutiques et aquatiques 3237

2022

Outil d'aide à la décision pour la sélection des méthodes permettant d'obtenir des indicateurs de la santé et des points de référence pour des stocks limités en données

Mathieu Boudreau[1] et Daniel Duplisea[1]

[1]Institut Maurice-Lamontagne
Pêches et Océans Canada, 850 route de la Mer
Mont-Joli, Québec, G5H 3Z4, Canada

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, 2022
N° de cat. Fs97-4/3237F-PDF ISBN 978-0-660-41669-4 ISSN 1488-5468

On doit citer la publication comme suit :

Boudreau, M. et Duplisea, D. 2022. Outil d'aide à la décision pour la sélection des méthodes permettant d'obtenir des indicateurs de la santé et des points de référence pour des stocks limités en données. Rapp. manus. can. sci. halieut. aquat. 3237: vi + 67 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ / ABSTRACT v

1. INTRODUCTION……...1

1.1 Les indicateurs et les points de référence en gestion des pêches.……..……...….1

1.2 Une sélection des méthodes selon le type de données disponibles…….…….2

1.3 Objectifs du rapport technique....…..……..……...……....……...….3

2. CATÉGORIES DE STOCKS LIMITÉS EN DONNÉES.....3

3. SÉLECTION DES MÉTHODES ADAPTÉES AUX DONNÉES DISPONIBLES 4

3.1 Catégorie SLD-D : Série temporelle du total des débarquements commerciaux (Figure 2).....4

3.2 Catégorie SLD-C : Séries temporelles des débarquements commerciaux et de leur composition mais aucun indice d'abondance (Figure 3)..…….……..5

3.3 Catégorie SLD-B : Séries temporelles des débarquements et des indices d'abondance mais aucune donnée sur la composition (Figure 4)……..…….....7

3.4 Catégorie SLD-A : Séries temporelles des débarquements, des indices d'abondance et de la composition dans la pêche (Figure 5)…….....8

4. APPLICATIONS DES MÉTHODES POUR DIFFÉRENTES ESPÈCES DE POISSONS.....9

5. CAS PARTICULIER - LES INVERTÉBRÉS 10

5.1 Les indicateurs de la santé des stocks d'invertébrés…….....…...11

5.1.1 Les indicateurs d'abondance…….…….....11

5.1.2 Les indicateurs de productivité…….……11

5.1.3 Les indicateurs de la pression de pêche…….…….....12

5.1.3 Les indicateurs de l'environnement.…….…….....12

6. EXEMPLE D'UNE ÉVALUATION DE STOCK LIMITÉ EN DONNÉE POUR LE CAPELAN ET SUGGESTION DE PRÉSENTATION DES RÉSULTATS 12

6.1 Déterminer les méthodes à tester……...…....…..12

6.2 Structurer les résultats obtenus……...….....…..13

6.3 Utiliser les résultats pour remplir les objectifs de la loi sur les pêches…..…...…...…..14

7. DISCUSSION 15

7.1 Application des méthodes pour remplir les objectifs de la Loi sur les pêches..…….15

7.2 Utilisation des catégories de stocks dans les processus d'évaluation.....….15

8. CONCLUSION.....16

9. RÉFÉRENCES CITÉES 17

10. TABLEAUX ET FIGURES.....21
11. ANNEXES 37

RÉSUMÉ

Boudreau, M. et Duplisea, D. 2022. Outil d'aide à la décision pour la sélection des méthodes permettant d'obtenir des indicateurs de la santé et des points de référence pour des stocks limités en données. Rapp. manus. can. sci. halieut. aquat. 3237: vi + 67 p.

Cette étude a été réalisée dans le contexte des nouvelles dispositions de la loi sur les pêches du ministère canadien des Pêches et des Océans adoptées en 2019 pour la gestion des pêches qui comprennent la mise en œuvre des mesures pour maintenir les grands stocks de poissons au moins au niveau nécessaire pour favoriser la durabilité de la ressource. Dans ce contexte, un cadre de gestion intégré des pêches qui s'appuie sur des points de références liés à des indicateurs de la santé des stocks et des écosystèmes doit être défini pour chaque ressource pêchée. Cependant, plusieurs stocks de ressources marines évalués par le ministère présentent un certain degré de pauvreté en données et l'utilisation d'un modèle analytique des prises par âge n'est donc pas possible. Pour répondre à cette problématique, un outil d'aide à la décision est proposé dans ce document afin d'offrir un cadre de référence sur lequel les responsables d'évaluation de la ressource peuvent s'appuyer. L'outil propose un processus décisionnel afin d'identifier une combinaison de méthodes permettant d'obtenir des indicateurs de la santé de la ressource en fonction des informations disponibles sur les pêches, la population et l'espèce. Ces méthodes sont applicables dans différentes situations de données limitées de sorte que les dispositions sur les stocks de poissons de la Loi sur les pêches puissent être respectées selon les délais recommandés.

ABSTRACT

Boudreau, M. et Duplisea, D. 2022. Outil d'aide à la décision pour la sélection des méthodes permettant d'obtenir des indicateurs de la santé et des points de référence pour des stocks limités en données. Rapp. manus. can. sci. halieut. aquat. 3237: vi + 67 p.

This study was carried out in the context of the new provisions of the Fisheries Act of the Canadian Department of Fisheries and Oceans adopted in 2019 for the management of fisheries which include the implementation of measures to maintain large stocks of fish at least to the level necessary to ensure resource sustainability. In this context, an integrated fisheries management framework that relies on benchmarks linked to indicators of the state of stocks and ecosystems must be defined for each resource fished. However, several stocks of marine resources assessed by the ministry are data-limited and the use of an analytical catch-at-age model is therefore not possible. To address this issue, a decision support tool is proposed in this document in order to provide a framework on which those responsible for evaluating the resource can rely. The tool offers a decision-making process to identify a combination of methods to describe the state of the stock according to the available information on the fishery, the population and the species. These methods are applicable in different data-limited situations so that the fish stock provisions of the Fisheries Act can be met within the recommended timeframes.

1. INTRODUCTION

Suite à plusieurs consultations effectuées auprès des Canadiens, incluant des représentants de l'industrie des pêches et des peuples autochtones, le ministère des Pêches et des Océans Canada (MPO) a déposé, en juin 2018, le projet de loi C-68 qui visait à modifier la loi sur les pêches au Canada (L.R.C. (1985), ch. F-14) et dont les nouvelles dispositions ont été intégrées à la Loi en 2019. Les différentes modifications proposées ont pour objectif d'améliorer la protection du poisson et de son habitat ainsi que d'assurer la durabilité des ressources marines pour les générations futures. Selon l'article 6.1 de la nouvelle loi, le ministre doit mettre en œuvre, dans sa gestion des pêches, des mesures pour maintenir les grands stocks de poissons au moins au niveau nécessaire pour favoriser la durabilité des stocks, en tenant compte de la biologie des poissons et des conditions de leurs milieux. De plus, l'article 6.2 stipule que le ministre doit élaborer et mettre en œuvre des plans de rétablissement des stocks qui ont décliné jusqu'à leur zone critique. Pour répondre à ces nouvelles dispositions, le MPO a mis au point un processus de traitement par lots. Ce processus établit avec des délais clairs les objectifs à atteindre notamment au niveau de la détermination d'indicateurs et de points de référence permettant d'informer sur la santé des stocks de poissons, d'invertébrés et de mammifères marins exploités au Canada. Pour plusieurs stocks, ces indicateurs et points de référence sont déjà déterminés à partir de modèles complexes basés sur l'âge. Cependant, l'application de ce type de modèles nécessite une connaissance de la biologie de l'espèce et la disponibilité de données sur la pêche et la taille du stock. Pour les stocks n'ayant pas assez de données pour ajuster ces modèles, ou par manque de ressource ou d'expertise, plusieurs méthodes nécessitant moins de données ont été développées afin d'obtenir des indicateurs de la santé d'un stock et des points de référence. L'utilisation de ces méthodes est une avenue intéressante pour respecter les délais établis pour plusieurs stocks du MPO dans les différents lots.

Ce document présente des méthodes qui seraient applicables à différents contextes de disponibilité des informations utilisées pour évaluer la ressource de sorte que les dispositions sur les stocks de poissons de la Loi sur les pêches puissent être respectées. Nous fournissons des conseils, des exemples et des liens vers des références et des programmes clés qui peuvent être utilisés par les évaluateurs de stocks du département pour aider à répondre à ces besoins.

1.1 Les indicateurs et les points de référence en gestion des pêches

Un indicateur représente une valeur quantitative ou qualitative, une variable, un signal ou un indice permettant de décrire les phénomènes observés dans le domaine des pêches (FAO 2001). La biomasse du stock reproducteur (BSR), c'est-à-dire les individus qui participent à la reproduction et qui contribuent au renouvellement de la population, est un indicateur de la santé d'un stock fréquemment utilisé (Thorson et al. 2012; Jayasinghe et al. 2017). Il peut notamment informer sur la quantité d'individus reproducteurs nécessaires pour permettre un renouvellement de la population suffisant pour assurer une exploitation durable de la ressource. Les variations ou la tendance observée d'un indicateur estimé pendant plusieurs années peuvent aussi informer sur la santé d'un stock (Bark, Williams et Knights 2007; Rice et al. 2015). Par exemple, la tendance observée dans le nombre et le poids des individus capturés par unité d'effort dans la pêche commerciale ou dans les relevés scientifiques d'abondance peuvent indiquer si la taille du

stock est en augmentation, stable ou en diminution. Les indicateurs de la santé d'un stock servent éventuellement à définir des points de référence en identifiant des niveaux correspondants à une situation jugée désirable, par exemple, une valeur qui oscille autour d'un point de référence cible. Les valeurs de ces indicateurs peuvent aussi être utilisées pour identifier une situation indésirable pour un stock lorsque celles-ci sont inférieures à un point de référence limite. Deux indicateurs fréquemment utilisés pour déterminer des points de référence cibles et limites sont la biomasse du stock (*B*), soit le poids total de tous les individus d'un stock, ainsi que le taux de mortalité par la pêche (*F*) qui représente la proportion d'individus capturés par la pêche. Des exemples de points de référence cibles sont les valeurs de *B* et de *F* qui correspondent au rendement maximal durable de la population (RMD), ci-après B_{RMD} et F_{RMD} (Tsikliras et Froese 2019). B_{RMD} correspond à la biomasse du stock qui produit le taux de croissance maximum de la population. F_{RMD} représentent la proportion maximale d'individus prélevés par la pêche qui résulte, sur le long terme, à une biomasse du stock de B_{RMD}. Ainsi, des valeurs de *B* qui sont supérieures ou égales à B_{RMD} indiqueraient qu'un stock est en santé. Pour plusieurs stocks au Canada, une proportion de B_{RMD}, par exemple 0,8, est utilisée pour définir un point de référence supérieur au-dessus duquel le stock est considéré en santé (MPO 2019a; Marentette, Kronlund et Cogliati 2021). À l'opposé, une valeur de *F* qui est supérieure à F_{RMD} signalerait que le taux de mortalité par la pêche occasionnera sur le long terme une diminution de la biomasse de la population. Un exemple de point de référence limite est le niveau de biomasse du stock sous lequel la reproduction et le renouvellement de la population ont une forte probabilité d'être altérés, ci-après B_{lim}. Pour certains stocks, cette valeur limite correspond à la plus faible valeur de *B* enregistrée avant d'observer un rétablissement de la population (ICES 2019). Dans d'autres cas, une proportion de B_{RMD}, par exemple 0,4, est utilisée pour identifier un point de référence limite sous lequel le renouvellement de la population serait compromis.

1.2 Une sélection des méthodes selon le type de données disponibles

Dans un processus d'évaluation de stock, différentes méthodes sont employées pour obtenir des indicateurs et des points de référence pour orienter les mesures de gestion nécessaires à l'atteinte des objectifs de gestion. Les méthodes les plus appropriées sont spécifiques à l'espèce et au contexte des pêches et utilisent des données d'ampleur (biomasse et prélèvements) et de composition (longueur ou âge) qui sont respectivement dépendantes et indépendantes de la pêche. Le nombre d'engins déployés au cours d'une saison de pêche et la fréquence de longueur des individus dans les captures commerciales sont des exemples de données dépendantes de la pêche. La biomasse du stock reproducteur et la densité d'œufs estimée à partir d'un relevé scientifique sont des données indépendantes de la pêche.

Dans la littérature, différentes catégories de stocks sont définies selon la richesse des données disponibles (Restrepo et Powers 1999). Un stock est considéré riche en données lorsque les informations sur les tendances de la population, la composition en individu de différents âges ou différentes longueurs, et le niveau d'exploitation suffisent à estimer un niveau maximal de prises commerciales qui assure un renouvellement durable du stock (RMD). Ces valeurs peuvent être obtenues suite à l'ajustement d'un modèle analytique qui permet de déterminer la mortalité par la pêche, le niveau de recrutement à la pêche et la biomasse reproductrice des différentes classes d'âge. Les modèles structurés à l'âge présentés par Martell, Pine et Walters (2008) constituent

des exemples de modèles analytiques utilisés pour l'évaluation des stocks riches en données. À l'opposé, un stock est limité en données si les informations disponibles ne permettent pas l'utilisation de modèles analytiques d'évaluation de stock. Pour ces stocks, plusieurs méthodes qui nécessitent moins de données sont proposées dans la littérature (Newman et al. 2015; Chrysafi et Kuparinen 2016; Dowling et al. 2019; Chong et al. 2019; Pons, Cope et Kell 2020) afin d'obtenir des indicateurs de leur état et des points de référence à partir d'analyses statistiques ou de modèles simplifiés de dynamique de population.

1.3 Objectifs

Les objectifs de cette étude sont :

1) de définir différentes catégories de stocks limités en donnée (SLD) selon les informations disponibles;

2) d'identifier les méthodes nécessitant moins de données qui permettent d'estimer des indicateurs de la santé des stocks et des points de référence;

3) de proposer un processus décisionnel pour faciliter l'identification des méthodes qui peuvent être employées en fonction de la catégorie de stock;

4) de tester des fonctions utilisables avec le logiciel R qui permettent d'appliquer les méthodes identifiées;

5) de structurer les résultats obtenus pour différents indicateurs et points de référence à partir des méthodes sélectionnées afin de faciliter la sélection des plus appropriées pour remplir les objectifs de la Loi sur les pêches en lien avec la durabilité des stocks de poissons.

Diverses revues de méthodes nécessitant moins de données sont déjà disponibles dans la littérature. Notre approche n'est pas de reproduire ces revues, mais d'en adapter le contenu aux besoins spécifiques découlant des modifications apportées à la Loi sur les pêches de 2019. Ce rapport technique inclut une liste à jour des méthodes et des codes accessibles au public accompagné d'exemples concrets pertinents aux défis des évaluations de stock au Canada.

2. CATÉGORIES DE STOCKS LIMITÉS EN DONNÉES

Le Conseil International pour l'Exploration de la Mer (CIEM 2019) et la National Oceanic and Atmospheric Administration des États-Unis (NOAA, Newman et al. 2015; Reuter et al. 2010) distinguent différentes catégories de SLD selon les informations qui sont disponibles. Ce processus permet aux responsables d'évaluation de la ressource de déterminer quelles méthodes peuvent s'appliquer à une situation donnée. Puisque le MPO ne fait pas de telles distinctions, nous avons défini quatre catégories (A, B, C et D) pour élaborer un processus décisionnel qui facilite la sélection des méthodes applicables aux SLD (Figure 1).

Toutes les catégories SLD doivent minimalement avoir une série temporelle des débarquements commerciaux comme information disponible afin d'appliquer les méthodes proposées dans ce rapport. La catégorie de SLD la plus riche en données est SLD-A. Les stocks dans cette catégorie possèdent des séries temporelles des débarquements commerciaux, des indices d'abondance du stock estimés à partir de relevés scientifiques ou de la pêche commerciale, et des fréquences

de longueurs dans la pêche. Le stock de flétan du Groenland dans le golfe du Saint-Laurent est un exemple de stock SLD-A (MPO 2019a). Les stocks SLD-B sont caractérisés par la disponibilité des séries temporelles des débarquements commerciaux et des indices d'abondance, ainsi que l'absence de données sur la fréquence des longueurs dans la pêche. Des exemples de stocks SLD-B sont le stock de lingue bleue dans les zones de pêche à l'est du Groenland et en Islande (ICES 2018), ainsi que le stock de flétan Atlantique dans le golfe du Saint-Laurent (MPO 2019b). Les stocks dans la catégorie SLD-C possèdent seulement des informations sur la pêche commerciale comme les débarquements annuels et la fréquence des longueurs d'individus récoltés à la pêche comme le stock de capelan dans le golfe du Saint-Laurent (MPO 2018). Les stocks SLD-D présentent seulement des séries temporelles des débarquements commerciaux comme seule information disponible. Ces catégories sont inclusives et bien qu'un stock soit décrit par une catégorie, il possède les informations nécessaires pour utiliser les méthodes d'une catégorie moins riche en données.

3. SÉLECTION DES MÉTHODES ADAPTÉES AUX DONNÉES DISPONIBLES

Les revues de littérature qui présentent les applications et les limites des méthodes nécessitant moins de données (Chong et al. 2019; Dowling et al. 2019; ICES 2019; Pons, Cope et Kell 2020) ont permis de déterminer les méthodes fréquemment employées pour obtenir des indicateurs de la santé d'un stock et des points de référence, et qui possèdent des fonctions programmées avec le langage de programmation R. Une référence décrivant chaque méthode nommée dans le texte et des liens vers leurs implémentations en langage R sont présentés dans les Tableaux 1 et 2 respectivement. Certaines méthodes ne sont pas présentées dans ce rapport en raison de l'absence de fonctions programmées disponibles, mais peuvent tout de même être appropriées pour obtenir des indicateurs et des points de référence. Pour orienter la détermination d'une ou plusieurs méthodes applicables aux données disponibles et aux informations connues sur un stock, différents schémas d'aide à la décision sont proposés pour chaque catégorie de SLD (Figure 2 à 5). Dans le processus décisionnel, la priorisation des différentes méthodes dépend du nombre d'informations disponibles puisque ceci affecte le nombre de suppositions requises pour leur utilisation. Ainsi, les méthodes proposées en premier considèrent une meilleure connaissance des processus biologiques qui caractérisent la dynamique d'un stock. Les différentes méthodes offrent plusieurs résultats qui informent sur différentes composantes de la dynamique du stock de sorte que la combinaison de plusieurs méthodes peut être recommandée pour obtenir des indicateurs de la santé de la population et des points de référence. Un total de 22 méthodes différentes ont été associées aux catégories de SLD. Des fiches descriptives qui détaillent les informations requises, les indicateurs et/ou points de références obtenus, les suppositions, des exemples de résultats, ainsi que les limites et les biais associés l'application de certaines de ces méthodes sont présentées en annexe. Un répertoire complet des fiches descriptives de chacune des 22 méthodes est également disponible sur GitHub.

3.1 Catégorie SLD-D : Série temporelle des débarquements commerciaux (Figure 2)

Les stocks dans la catégorie SLD-D possèdent une série temporelle des débarquements commerciaux, mais pas de séries temporelles d'indices d'abondance ou de longueurs dans la pêche commerciale. Avec cinq années consécutives ou plus de données de débarquements, les

tendances temporelles peuvent être caractérisées comme stables, décroissantes ou croissantes en ajustant une droite de régression aux données disponibles. Toutefois, cette analyse doit tenir compte des variations dans l'effort de pêche ou le supposer constant. Si une série temporelle des débarquements est disponible depuis le début de l'exploitation de la ressource et que l'on connaît l'âge à maturité et la mortalité naturelle, l'analyse de réduction des stocks basée sur l'appauvrissement (DB-SRA) est une méthode qui peut être utilisée pour obtenir des indicateurs de la santé du stock, tel que le ratio B/B_{RMD}, ou des points de référence, comme B_{RMD}. Si l'âge à maturité n'est pas connu, la moyenne des captures corrigées pour l'appauvrissement (DCAC) peut être utilisée pour obtenir un point de référence qui indique la quantité de débarquements commerciaux correspondant au rendement maximal durable. Si le niveau d'appauvrissement est la seule information disponible sur la population, l'approche par scalaire (APS) peut être testée pour obtenir un point de référence pour la quantité de captures commerciales soutenable à court terme. Par exemple, une proportion de la valeur moyenne des prises commerciales au cours d'une série d'années où le stock ne semblait pas être en déclin pourrait servir de point de référence pour un niveau d'exploitation durable. Si la série temporelle des prises commerciales et la mortalité naturelle sont les seules informations disponibles, le modèle optimisé basé sur les captures (OCOM), qui emploie les mêmes suppositions qu'un modèle de production excédentaire de la biomasse, peut être utilisé pour obtenir des indicateurs de la santé du stock, comme le niveau d'appauvrissement qui correspond au ratio de B sur la biomasse en absence de pêche (B_0), et des points de référence, comme B_{RMD} et F_{RMD}. Finalement, si la série temporelle des prises commerciales est la seule information disponible, la méthode d'arbre de régression renforcé (ARR) et la méthode du ratio des prises commerciales (C/C_{max}) peuvent être employées pour obtenir respectivement des indicateurs quantitatifs ou qualitatifs de la santé du stock. La méthode ARR permet d'obtenir une série temporelle des estimés du niveau d'appauvrissement du stock (B/B_0) et du ratio B/B_{RMD}. ARR utilise la méthode d'apprentissage par arbres de décision renforcés basée sur des régressions pour paramétrer un modèle statistique qui tente d'estimer la valeur de B/B_0 à partir de plusieurs variables explicatives dérivées des données de captures commerciales. Des indicateurs qualitatifs peuvent également être obtenus en utilisant la méthode C/C_{max} qui permet d'identifier différents états prédéfinis du stock (sous-développé, en développement, exploité à pleine capacité, surexploité ou décimé) selon les valeurs du ratio des prises commerciales au cours de la série temporelle utilisée.

3.2 Catégorie SLD-C : Séries temporelles des débarquements commerciaux et de leur composition, mais aucun indice d'abondance (Figure 3)

La méthode des tendances récentes et historiques peut encore une fois être utilisée pour déterminer si le stock est en augmentation, stable ou en déclin lorsque la série temporelle des débarquements commerciaux compte au moins 5 années consécutives. Nous suggérons de tester l'analyse synthèse simple des stocks (SSS) si les différentes informations disponibles permettent d'ajuster le modèle employé dans cette méthode. SSS emploie une approche simplifiée de l'analyse synthèse des stocks qui est une méthode d'évaluation pour les stocks riches en données. SSS utilise plusieurs informations sur les traits d'histoire de vie de l'espèce et sur la dynamique de la population pour obtenir des indicateurs de la santé du stock, comme des séries temporelles des ratios B/B_0 et B/B_{RMD}, ainsi que des points de référence comme B_{RMD}. Si la relation longueur-poids, l'âge à maturité, la croissance et les captures à l'âge sont connus,

l'analyse de réduction des stocks ajustée pour la courbe des captures (CC-SRA) peut être utilisée. CC-SRA permet d'obtenir des variables comme le recrutement en absence de pêche (R_0) et B_0 qui servent ensuite à estimer des indicateurs de la santé du stock, par exemple, le recrutement actuel par rapport à R_0 ou la biomasse actuelle par rapport à B_0. Ensuite, si la relation longueur-poids, la mortalité naturelle et la longueur à maturité sont les seules informations disponibles, une série de méthodes qui tentent d'ajuster un modèle simplifié de dynamique de population structuré en âge à l'aide des longueurs dans la pêche commerciale peuvent être testées pour obtenir des indicateurs de la santé et des points de référence. D'abord, la méthode d'estimation bayésienne de la biomasse basée sur la longueur (LBB) utilise les longueurs dans la pêche pour paramétrer par inférence bayésienne un modèle de dynamique de population et obtenir des valeurs de longueur asymptotique, de longueur à la première capture, ainsi que des taux relatifs de mortalité naturelle et de mortalité par la pêche. Ces valeurs servent ensuite à estimer le ratio B/B_0 à partir de versions simplifiées des équations qui décrivent la dynamique des stocks. La méthode du ratio du potentiel reproducteur basé sur la longueur (LB-SPR) se base sur les changements du taux de mortalité par la pêche observée dans la portion droite de la courbe des fréquences de longueurs dans la pêche commerciale pour estimer la production d'œufs correspondante en transformant les longueurs en valeur de fécondité. La production d'œufs associée aux différents niveaux d'exploitation peut ensuite être comparée à celle obtenue en absence de pêche et ainsi établir des points de référence qui assurent un renouvellement suffisant de la population. Puisque les changements ne sont perceptibles que lorsque le taux de mortalité par la pêche et le niveau d'appauvrissement sont moyens à élevés, LB-SPR est moins performante que LBB pour les stocks démontrant un faible niveau d'appauvrissement (Pons, Cope et Kell 2020). Finalement, LIME est une autre méthode de modélisation qui peut être employée lorsqu'au moins une année de composition en longueurs dans la pêche est disponible et que la relation longueur-poids, la longueur à maturité et la mortalité naturelle sont connues. Un des avantages de cette approche est l'estimation de points de référence comme B_{RMD} et F_{RMD} en plus d'indicateurs importants de la santé d'un stock tels que F et le ratio du potentiel reproducteur.

Si ces trois méthodes ne peuvent pas être employées en raison du manque d'information sur l'espèce, les longueurs d'ICES et les longueurs de Froese sont deux méthodes à considérer pour obtenir des indicateurs de la santé du stock si les longueurs asymptotiques et à maturité sont connues. D'abord, les longueurs d'ICES utilisent les fréquences de longueurs des spécimens dans la pêche pour estimer différents indicateurs et les comparer à des points de référence en lien avec la conservation, le rendement optimal et la distribution des longueurs attendues dans une population au rendement maximal durable. Parmi ceux-ci, il y a la longueur moyenne des individus qui correspondent à 5% des plus longs ($L_{max5\%}$), la longueur correspondant au 95e percentile de la fréquence des longueurs ($L_{95\%}$), la longueur correspondant à 50% de l'abondance modale (L_c), la longueur moyenne des individus > L_c (L_{mean}) et la classe de longueur qui correspond au maximum de biomasse dans les prises commerciales (L_{maxy}). L'autre méthode, les longueurs de Froese, utilise les fréquences de longueurs dans la pêche pour estimer des indicateurs qui informent sur la santé de différentes composantes importantes pour le renouvellement durable de la population, comme la proportion d'individus mâtures (P_{mat}), la proportion d'individus à une longueur optimale (P_{opt}) ou la proportion d'individus super-reproducteurs (P_{mega}). Si l'information sur la longueur à maturité n'est pas disponible, mais que

les paramètres qui décrivent la croissance somatique sont connus, la mortalité totale basée sur la longueur moyenne (MLZ) et l'analyse de la courbe des captures convertie en longueur (LCCC) sont deux méthodes à considérer. MLZ utilise une approche du maximum de vraisemblance pour déterminer l'année et les valeurs de mortalités totales (Z) qui font en sorte que les longueurs moyennes prédites par une équation non équilibrée de Beverton-Holt correspondent le mieux à une série temporelle des longueurs dans la pêche. LCCC utilise une régression linéaire appliquée à la portion descendante de la courbe du logarithme du nombre d'individus capturés en fonction des longueurs dans la pêche convertie en classe d'âge pour estimer un taux de décroissance en nombre de poissons pour différents groupes d'âge simultanément. L'application de ces méthodes permet d'obtenir le taux instantané de mortalité totale qui représente la somme des taux de mortalité naturelle (M) et de mortalité par la pêche (F). À partir de cette relation, il est possible d'obtenir une série temporelle des taux de mortalité par la pêche et d'estimer une moyenne de ces estimés au cours d'une période de référence où la pêche n'a pas causé d'effet négatif sur la population pour obtenir un proxy de F_{RMD}.

Les méthodes nécessitant moins de données qui utilisent les longueurs dans la pêche commerciale supposent que les données de longueurs sont représentatives de la composition en individus de différentes tailles dans la population. Lorsque cette supposition ne peut être respectée, les méthodes qui utilisent les séries temporelles des prises commerciales pour paramétrer un modèle simplifié de dynamique de population peuvent être utilisées. Si le niveau d'appauvrissement du stock, la mortalité naturelle et l'âge à maturité sont connus, l'analyse de réduction des stocks basée sur l'appauvrissement (DB-SRA) permet d'obtenir des séries temporelles d'indicateurs et des points de référence comme le ratio B/B_0 et B_{RMD}. Les méthodes OCOM, Catch-MSY et CMSY peuvent également être employées pour obtenir des estimés de B/B_{RMD}, F/F_{RMD}, B_{RMD} et F_{RMD} lorsque l'information sur le niveau d'appauvrissement et la dynamique de la population est connue.

3.3 Catégorie SLD-B : Séries temporelles des débarquements et des indices d'abondance, mais aucune donnée sur la composition (Figure 4)

Comme pour les autres catégories de SLD, la méthode des tendances récentes et historiques peut être utilisée pour déterminer si le stock est en augmentation, stable ou en déclin lorsque les prises commerciales et les indices d'abondance sont disponibles depuis au moins 5 années consécutives. Parmi les autres méthodes nécessitant moins de données qui peuvent être utilisées, l'analyse synthèse simple des stocks peut être testée si le niveau d'appauvrissement du stock, la mortalité naturelle, l'âge et la longueur à maturité, la croissance somatique, la relation longueur-poids et l'âge maximum sont connus. Ensuite, la méthode DB-SRA peut être testée si les données disponibles (prises commerciales) et les informations connues sur le stock (niveau d'appauvrissement, mortalité naturelle et âge à maturité) le permettent. Si la mortalité naturelle et l'âge à maturité sont inconnus, mais que les informations sur la dynamique de la population, notamment le taux de croissance intrinsèque (r) et la capacité de support limite théorique (K), sont disponibles, les méthodes Catch-MSY, CMSY et JABBA peuvent être utilisées pour obtenir des indicateurs comme les ratios B/B_{RMD} et F/F_{RMD} ainsi que des points de référence comme B_{RMD} et F_{RMD}. Si aucune information n'est disponible sur le niveau d'appauvrissement du stock, la méthode qui utilise un modèle stochastique de surplus de production en temps continu peut être

employée pour obtenir des indicateurs de la santé et des points de référence similaires à Catch-MSY, CMSY et JABBA. Cette dernière méthode tente d'ajuster un modèle état-espace de production excédentaire de la biomasse de Pella-Tomlinson qui incorpore les erreurs d'observation dans les captures commerciales et les indices d'abondance, ainsi que les erreurs de processus associées à la pêche et à la croissance de la population. Si aucune des méthodes précédentes ne peut être utilisée, la moyenne des captures corrigée pour l'appauvrissement, l'approche par scalaire ou le modèle optimisé basé sur les captures peuvent être utilisés lorsque le niveau d'appauvrissement et/ou la mortalité naturelle sont connus. Si ces dernières informations ne sont pas disponibles, mais que la biomasse du stock est connue, la moyenne des estimés de biomasse au cours d'une période de référence pendant laquelle la pêche n'a pas causé d'effet négatif sur la population peut être utilisée pour obtenir un proxy de B_{RMD}. De la même façon, estimer la moyenne du taux d'exploitation (captures/biomasse) sur une période de référence où la pêche n'a pas causé de déclin peut également fournir un proxy de F_{RMD}. Finalement, si la biomasse du stock ne peut être estimée, l'arbre de régression renforcé et le ratio des prises commerciales peuvent être utilisés afin d'obtenir des indicateurs quantitatifs ou qualitatifs de la santé du stock.

3.4 Catégorie SLD-A : Séries temporelles des débarquements, des indices d'abondance et de la composition dans la pêche (Figure 5)

Puisque cette catégorie de stocks est celle pour laquelle le plus grand nombre de sources d'information sont disponibles, plusieurs méthodes proposées pour les catégories SLD-B, SLD-C et SLD-D peuvent être utilisées pour obtenir des indicateurs de la santé des stocks et des points de référence. Les estimés d'indices d'abondance, notamment le poids moyen par unité d'effort dans les relevés scientifiques, peuvent servir à déterminer si le stock est en augmentation, stable ou en diminution à partir de la méthode des tendances récentes et historiques. Ensuite, selon les informations disponibles sur les traits d'histoires de vie, le niveau d'appauvrissement et le renouvellement de la population, plusieurs méthodes qui emploient des modèles simplifiés pour décrire la dynamique du stock sont à considérer. L'analyse synthèse simple des stocks permet d'obtenir des séries temporelles des ratios B/B_0 et B/B_{RMD}, ainsi que des points de référence comme B_{RMD}. Si la relation longueur-poids, l'âge à maturité, la croissance somatique et les captures à l'âge sont connues, la méthode CC-SRA peut également être utilisée pour obtenir des indicateurs de la santé du stock comme le recrutement actuel par rapport R_0 ou la biomasse actuelle du stock par rapport à B_0.

Si des données de longueurs dans la pêche sont disponibles et que la relation longueur-poids, la mortalité naturelle et la longueur à maturité sont connues, les méthodes LIME, LB-SPR et LBB peuvent être employées pour obtenir des indicateurs de la santé du stock et des points de référence comme le ratio du potentiel reproducteur, B_{RMD} et F_{RMD}. D'autres méthodes qui utilisent les longueurs dans la pêche et qui nécessitent moins d'informations sur les traits d'histoire de vie peuvent aussi être utilisées. Les longueurs d'ICES permettent d'obtenir des points de référence en lien avec la conservation, le rendement optimal et la distribution des longueurs attendues dans une population au rendement maximal durable alors que la méthode des longueurs de Froese fournit des indicateurs qui informent sur la santé de différentes composantes importantes pour le renouvellement durable de la population. Les méthodes MLZ et LCCC qui estiment un taux

instantané de mortalité totale (Z) à partir des séries temporelles de longueurs dans la pêche peuvent être utilisées pour déduire un proxy de F_{RMD} à partir de l'équation $Z = M + F$, qui relie la mortalité totale, la mortalité naturelle et la mortalité par la pêche.

Comme pour la catégorie de stock SLD-C, si les données de longueurs ne peuvent être utilisées, les méthodes qui utilisent des informations sur la dynamique de la population pour ajuster un modèle simplifié de surplus de production de la biomasse peuvent être employées pour obtenir différents indicateurs de la santé (B/B_{RMD}, B/B_0 et F/F_{RMD}) et des points de référence (B_{RMD}, F_{RMD}). DB-SRA peut être utilisée si le niveau d'appauvrissement, la mortalité naturelle et l'âge à maturité sont connus, alors que Catch-MSY, CMSY et JABBA sont à considérer si la mortalité et l'âge à maturité sont inconnus, mais que le taux de croissance intrinsèque et la capacité de support limite théorique sont disponibles. La méthode SPiCT peut aussi être testée si les informations sur la dynamique du stock sont connues et que l'incorporation d'erreurs d'observation et de processus est appropriée. Finalement, des proxys de B_{RMD} et de F_{RMD} peuvent être estimés si aucune information sur la dynamique de la population et sur les traits d'histoires de vie n'est disponible, mais que la biomasse du stock est connue. Le proxy de B_{RMD} est obtenu en calculant la moyenne des estimés de biomasse au cours d'une période de référence pendant laquelle la pêche n'a pas causé d'effet négatif sur la population alors que F_{RMD} découle de la moyenne du rapport entre les captures commerciales et les estimés de la biomasse du stock au cours d'une période similaire de stabilité dans la santé du stock.

4. APPLICATIONS DES MÉTHODES POUR DIFFÉRENTES ESPÈCES DE POISSONS

Selon les informations disponibles sur l'exploitation d'un stock et sur la biologie de l'espèce visée, il est possible que plusieurs méthodes nécessitant moins de données puissent être employées pour obtenir des indicateurs de la santé de la population et des points de référence. Afin de montrer la versatilité des méthodes proposées, leurs applications ont été recensées pour différents groupes d'espèces de poissons (Tableau 3). De plus, les méthodes proposées ont été testées avec les informations disponibles au MPO sur les stocks de flétan du Groenland, de flétan Atlantique, de capelan et de plie canadienne dans les zones de pêche 4R, 4S et 4T de l'Organisation des pêches de l'Atlantique nord-ouest (OPANO). Plusieurs exemples d'applications des méthodes qui décrivent les informations requises, la mécanique de la méthode, les indicateurs et/ou points de référence obtenus, les suppositions, les limites et sources de biais sont présentés aux annexes 1 à 13. Les fonctions programmées en langage R qui ont permis d'obtenir les résultats présentés dans les annexes sont disponibles au https://github.com/MathBoud/DLM.ReferencePoint.

Bien que certaines revues de littérature et articles scientifiques présentent et comparent l'utilisation de plusieurs des méthodes proposées (Chong et al. 2019; Dowling et al. 2019; ICES 2019; Pons, Cope et Kell 2020), il revient aux responsables d'évaluer la ressource de déterminer celles qui conviennent aux suppositions et aux limites des méthodes, à la biologie de l'espèce évaluée et aux connaissances du responsable. Les processus décisionnels élaborés ici proposent de tester différentes méthodes selon la provenance et la nature des données disponibles sur un stock. Ces processus ne supposent pas qu'une méthode est meilleure qu'une

autre, mais plutôt que certaines méthodes peuvent être utilisées dépendamment des données disponibles et des informations connues sur une espèce.

5. CAS PARTICULIER – LES INVERTÉBRÉS

Les différentes méthodes proposées dans les sections précédentes sont principalement utilisées pour évaluer la santé des stocks de poissons dont les données sont limitées. Ces méthodes, notamment celles qui utilisent des modèles de dynamique de population, semblent moins employées pour évaluer des stocks d'invertébrés (Caddy 2004; Smith et Sainte-Marie 2004), même si certaines seraient utilisables. Cependant, les invertébrés constituent la base des pêches les plus productives au Canada et ils ont souvent des caractéristiques biologiques particulières qui posent différents défis comparativement aux poissons lors de l'ajustement d'un modèle de dynamique de population. Par exemple, la détermination de l'âge des spécimens d'invertébrés est souvent plus difficile à effectuer ce qui fait que ce type de données sur la composition est rarement disponible. Les invertébrés possèdent également une longue phase de croissance sous la forme de larves pélagiques à la dérive avant de s'installer sur le fond et leur dynamique stock-recrutement est souvent non locale. Certaines espèces, comme la crevette nordique (*Pandalus borealis*), sont hermaphrodites protérandrique, c'est-à-dire qu'elles croissent et atteignent leur maturité sexuelle sous forme de mâles, puis passent le reste de leur vie reproductive sous forme de femelles. La difficulté de déterminer l'âge des espèces qui effectuent des mues saisonnières, comme le crabe des neiges (*Chionoecetes opilio)* et le homard américain (*Homarus americanus*), peut compliquer l'étude de la structure de la population et par le fait même l'identification d'un niveau d'exploitation adéquat à partir d'une certaine taille. Certains facteurs environnementaux, notamment la température de l'eau, l'amplitude des marées ou la densité de proies, peuvent grandement influencer la productivité d'un stock d'une année à l'autre particulièrement pour les espèces d'invertébrés sessiles comme les bivalves (*Bivalvia*), ou à mobilité réduite comme les concombres de mer (*Holothuroidea*).

Dans l'optique de proposer un répertoire pour faciliter le travail des responsables d'évaluer la ressource, les différents indicateurs et points de référence proposés dans différentes revues de littérature (Gilbert, Annala et Johnston 2000; Caddy 2004) ont été identifiés et associés à trois grandes catégories d'invertébrés: les crustacés, les mollusques et bivalves, et les organismes à mobilité réduite. Ces catégories sont décrites dans les travaux réalisés par Smith et Sainte-Marie en 2004, dont l'objectif était de proposer des indicateurs pertinents pour le développement de points de référence pour différents groupes d'invertébrées. Ces catégories sont définies selon les stades de développement, le comportement de reproduction et la mobilité des adultes. Une première catégorie, les crustacés, regroupe les espèces d'invertébrés, comme les crabes, les homards et les crevettes, dont les adultes sont mobiles, le taux de fécondité est élevé, les individus présentent un important dimorphisme sexuel de taille et les femelles couvent leurs œufs. Chez les espèces de la seconde catégorie, soit les mollusques et bivalves, la fécondation a lieu suite au relâchement d'une grande quantité de gamètes dans l'eau par des adultes reproducteurs qui sont sessiles. Les espèces dont les adultes ont une mobilité réduite et la fécondation a lieu dans la colonne d'eau, comme le concombre de mer ou l'oursin, se retrouvent dans la dernière catégorie d'invertébré.

5.1 Les indicateurs de la santé des stocks d'invertébrés

Les travaux de Gilbert, Annala et Johnston (2000), ainsi que ceux de Caddy (2004) permettent de dresser une liste des différentes variables que nous suggérons de considérer dans le développement d'indicateurs pour évaluer la santé d'un stock d'invertébrés (Tableau 4). Ces différentes variables ont été regroupées en quatre groupes de facteurs qui peuvent influencer la taille des stocks, soit l'abondance, la productivité, la pression par la pêche et l'environnement. Bon nombre des méthodes proposées pour les différentes catégories SLD ci-dessus peuvent être applicables aux invertébrés, mais il faut être conscient des particularités des espèces et des stocks avant de les utiliser.

5.1.1 Les indicateurs d'abondance

D'abord, des indicateurs d'abondance peuvent être développés à partir des informations disponibles provenant de la pêche commerciale et des relevés scientifiques pour étudier la santé de la ressource. Le nombre moyen d'individus capturés par unité d'effort ainsi que la superficie totale possédant de bonnes densités de spécimens peuvent notamment être utilisés dans les trois catégories d'invertébrés et servir au développement de points de référence. Par exemple, la valeur moyenne du nombre moyen par unité d'effort au cours d'une période où la biomasse du stock et les débarquements commerciaux étaient stables peut servir de point de référence cible. Une valeur minimale de la superficie possédant de bonnes densités de spécimens peut également être utilisée pour définir un point de référence limite. Un autre indicateur d'abondance proposé dans la littérature pour les stocks de crustacés qui ne font pas l'objet d'une pêche dirigée est la quantité de débarquements en prises accessoires dans la pêche dirigée vers d'autres espèces (Caddy 2004). Un point de référence limite peut d'ailleurs être défini à partir de cette variable. Il indiquerait la quantité maximale du stock pouvant être prélevée de façon accessoire pour une population capable de se renouveler à long terme.

5.1.2 Les indicateurs de productivité

Ensuite, il y a les indicateurs qui renseignent sur la productivité d'une population. Ceux qui peuvent s'appliquer aux trois groupes sont le nombre de recrues dans les relevés scientifiques, la superficie possédant une bonne densité de recrues, la taille moyenne des femelles adultes et les indices de conditions. Pour l'établissement de points de référence, une valeur minimale du nombre de recrues ou de la superficie avec de bonnes densités de recrues qui assure le maintien de la population à un niveau jugé durable peut notamment servir de référence limite. Une taille moyenne des femelles qui permet de maximiser la productivité en œufs peut également être utilisée comme point de référence cible. Un point de référence limite peut aussi être développé en établissant la valeur minimale d'un indice de condition. Des valeurs inférieures à ce point de référence limite indiqueraient une exploitation qui n'est pas soutenable au fil du temps. Il existe aussi des indicateurs de la productivité du stock qui sont plus spécifiques à certains groupes d'invertébrés. La densité de larves (nombre/m^2) dans la colonne d'eau échantillonnées lors de relevés scientifiques peut notamment renseigner sur la productivité de différents gisements de mollusques et bivalves dans un secteur pêché et éventuellement établir un niveau d'exploitation limite sur les gisements plus productifs. Le ratio des sexes et la proportion des femelles œuvées par rapport aux femelles non œuvées peuvent procurer un indice de fécondité dans les

populations de crabes et de homards et possiblement, un indice du taux d'exploitation (Bennett 1974).

5.1.3 Les indicateurs de la pression de pêche

Le taux de mortalité totale moyen estimé à partir des longueurs dans les relevés scientifiques, le nombre de jours de pêche d'une flotte par saison, le pourcentage d'individus immatures ainsi que le nombre annuel d'engins par zone de pêche sont des indicateurs pertinents de la pression de pêche sur une population. Certains peuvent servir au développement de points de référence. Par exemple, un taux de mortalité totale moyen estimé au cours d'une période où la pêche n'aurait pas eu d'impact sur la santé de la population peut servir de point de référence cible. Des recommandations qui visent la diminution du niveau de prélèvement peuvent alors être émises lorsque ce taux de référence cible est dépassé. Un pourcentage d'individus immatures peut aussi servir de point de référence cible et indique le niveau à ne pas dépasser pour assurer un nombre suffisant d'individus matures pour permettre le renouvellement durable de la population. Un indicateur plus spécifique aux crevettes de la famille des *Pandalidae* est le ratio des sexes. Cette variable informe, entre autres, sur le taux de mortalité dans la population résultant de la pêche, qui cible majoritairement les femelles (Hannah et Jones 1991). Cette variable peut servir à l'établissement d'un point de référence cible pour le niveau d'exploitation d'un stock.

5.1.4 Les indicateurs de l'environnement

La dernière série d'indicateurs regroupe ceux qui informent sur l'état des caractéristiques de l'environnement qui peuvent influencer la santé des stocks d'invertébrés. Le ratio d'abondance prédateur-proie, la densité de proies (nombre/m^2), le pourcentage d'habitat de bonne qualité, ainsi que la différence entre la température de l'habitat et la température optimale sont des variables qui peuvent être utilisées pour les trois groupes d'invertébrés proposés. Même si les mesures de gestion comme une réduction des débarquements ne permettent pas de modifier la tendance de tous ces indicateurs, des points de référence peuvent tout de même être établis afin d'orienter certaines décisions. La réduction des activités de pêche peut notamment être recommandée dans un secteur où les conditions environnementales sont peu favorables pour l'espèce, comme une différence importante entre la température de l'habitat et la température optimale, ou une augmentation de l'abondance d'un prédateur. Dans ce cas, une valeur limite au-delà de laquelle une diminution de la pression de pêche est recommandée peut être établie à partir du ratio d'abondance prédateur-proie ou de la différence entre la température au fond et la température optimale.

6. EXEMPLE D'UNE ÉVALUATION DE STOCK LIMITÉ EN DONNÉES POUR LE CAPELAN ET SUGGESTION DE PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

6.1 Déterminer les méthodes à tester

Les différents schémas et tableaux proposés dans les sections précédentes permettent d'identifier une ou plusieurs méthodes qui conviennent aux données disponibles pour obtenir des indicateurs de la santé et des points de référence pour une population soumise à des activités de pêche. Dans certains cas, plusieurs indicateurs ou points de référence, comme B/B_{RMD}, F/F_{RMD},

B_{RMD} et F_{RMD} peuvent être obtenus suite à l'application des méthodes proposées. Dans certains cas, il est possible que plusieurs méthodes soient appropriées aux données disponibles et qu'elles produisent différentes valeurs pour un même indicateur ou point de référence. La comparaison de ces différents résultats permet notamment de consolider les variations observées dans les variables prédites par les modèles, comme la biomasse du stock, et de vérifier le niveau de confiance dans les estimés obtenus à l'aide des mesures de précisions associées. Le processus décisionnel présenté à la Section 3 a été testé pour le stock de capelans pêché dans les zones de pêche 4R, 4S et 4T de l'OPANO. Les données disponibles pour ce stock sont des séries temporelles du total des débarquements annuels et de la composition des spécimens capturés dans la pêche. En utilisant le processus décisionnel présenté à la Figure 1, ce stock de capelan a été associé à la catégorie SLD-C. Bien que des données sur les longueurs dans la pêche commerciale sont récoltées chaque année, elles n'étaient pas disponibles au moment d'effectuer nos analyses. Pour cette raison, les méthodes LIME, LB-SPR, LBB, longueurs d'ICES, longueurs de Froese, MLZ et LCCC n'ont pas été testées. La méthode CC-SRA n'a également pas été considérée en raison de l'absence d'information sur les captures à l'âge. Les méthodes qui ont finalement été appliquées sont SSS, OCOM, DB-SRA et CMSY puisque les informations nécessaires étaient disponibles (niveau d'appauvrissement, mortalité naturelle, longueur et âge à maturité) ou pouvaient être supposées à partir de la fiche d'information sur le capelan dans FishBase comme la croissance somatique, la relation longueur-poids (Froese, Thorson et Reyes Jr. 2014) et la dynamique de la population (Froese et al. 2017).

6.2 Structurer les résultats obtenus

Une fois les différentes méthodes testées, les résultats ont pu être structurés sous forme d'un tableau récapitulatif afin de faciliter la sélection des plus appropriées pour remplir les objectifs de la Loi sur les pêches en lien avec la durabilité des stocks de poissons. Ce genre de tableau présente les informations sur les indicateurs ou les points de référence choisis, la valeur estimée et son erreur associée, ainsi que la performance de l'approche, qui est déterminée par la qualité d'ajustement des modèles utilisés et la précision des résultats obtenus. Une mesure qualitative de l'appréciation des spécialistes responsables d'évaluer le stock à propos des méthodes appliquées est également inclue dans ce tableau récapitulatif. Ces différentes informations sont ensuite utilisées pour consolider l'acceptation ou le rejet des indicateurs et points de références obtenus à partir des méthodes qui ont été testées. Ainsi, les méthodes SSS, OCOM, DB-SRA et CMSY appliquées aux données disponibles et aux informations connues sur le stock de capelan dans les zones de pêches 4R, 4S et 4T de l'OPANO ont permis d'obtenir différentes valeurs pour les points de référence B_{RMD} et F_{RMD} (Tableau 5). B_{RMD} varient entre 30 160 et 31 886 tonnes pour toutes les méthodes testées. Les valeurs obtenues pour F_{RMD} varient entre 0,235 et 0,346 pour les méthodes OCOM, DB-SRA et CMSY. Les résultats obtenus avec les méthodes SSS et OCOM ont été jugés non acceptables en raison de la précision des valeurs obtenues qui était moins bonne et de la trajectoire de la biomasse prédite du stock qui correspondait plus ou moins aux variations de la biomasse observées dans la pêche. Les points de référence obtenus avec les méthodes DB-SRA et CMSY ont été jugés acceptables puisque la précision des valeurs estimées était meilleure et que la biomasse prédite correspondait mieux aux observations dans la pêche.

6.3 Utiliser les résultats pour remplir les objectifs de la Loi sur pêche

L'utilisation de la méthode CMSY a également permis de produire différents résultats graphiques qui facilitent l'utilisation des indicateurs et des points de référence obtenus pour remplir les objectifs de la Loi sur les pêches (Figure 6). D'abord, le total annuel des débarquements commerciaux (Figure 6.A) se situait, en 2018 (8142 tonnes) et en 2019 (7597 tonnes), à l'intérieur de l'intervalle de confiance pour la valeur de RMD estimée (6864; 8440). La valeur prédite du ratio de la biomasse du stock en 2019 par rapport à B_{RMD} (0,97; Figure 6.C) et celle du ratio de la mortalité par la pêche en 2019 par rapport à F_{RMD} (1,04; Figure 6.D) sont très près de 1, une valeur qui indique que le stock est exploité au rendement maximum durable. De plus, il est également possible d'établir des zones d'état du stock à partir des indicateurs et des points de référence, par exemple, en utilisant des proportions de B_{RMD}. Dans cet exemple, des points de référence limites et supérieurs ont été estimés à partir de 0,4 x B_{RMD} et 0,8 x B_{RMD}, respectivement (Figure 7). La santé du stock est considérée critique si la valeur de biomasse est inférieure au point de référence limite et en santé lorsque la biomasse du stock est plus élevée que le point de référence supérieur. Lorsque la biomasse se situe entre les points de référence supérieur et limite, le stock est considéré dans une zone de prudence. Ainsi, le stock de capelan aurait été considéré dans la zone de prudence de 2014 à 2017 avant de se retrouver dans la zone saine en 2018 et en 2019 selon les résultats obtenus avec la méthode CMSY (Figure 7).

Une fois que les différents indicateurs et points de référence ont été choisis pour décrire la santé d'une population pêchée, ils peuvent être rapportés dans un autre tableau qui s'inspire du concept de « trafic light table », également utilisé dans les avis scientifiques produits par le CIEM. Le CIEM propose d'ailleurs de distinguer deux types d'informations dans ce type de tableaux récapitulatifs, soit des indicateurs de la performance de la pêche commerciale et de la santé de la population (ICES 2019). Ces tableaux ont la particularité d'utiliser un code de couleur et de symboles qui permet d'informer rapidement sur la santé d'une population selon la position des valeurs estimées pour différents indicateurs (Tableau 6). Le CIEM distingue les indicateurs et les points de référence utilisés en fonction des objectifs de gestion qui suivent les principes du rendement maximal durable. Ainsi, ce concept de structuration des résultats a été appliqué aux résultats obtenus pour le stock de capelans 4RST afin de démontrer comment différentes composantes de la dynamique d'une population sont utilisées pour remplir les objectifs de la Loi sur les pêches concernant la durabilité des stocks de poissons (Tableau 7). La stochasticité dans les conditions océaniques et les régimes de productivité peuvent également influencer la dynamique d'une population. C'est pourquoi une nouvelle catégorie présentant différentes variables environnementales dont l'influence sur la dynamique de la population a été testée pourrait être ajoutée au sommaire proposé par ICES. Par exemple, les résultats d'une étude ayant montré que la probabilité d'occurrence des capelans augmente dans des eaux profondes plus chaudes et que des densités de capelans plus importantes sont associées à un plus grand nombre de proies présentes, comme les macro-zooplanctons (McGowan et al. 2019), seraient inclus dans cette nouvelle catégorie d'information à considérer dans l'évaluation. De cette façon, les décisions relatives à l'établissement d'un niveau d'exploitation acceptable s'appuient sur l'ensemble des facteurs qui peuvent impacter la durabilité d'un stock de pêche.

7. DISCUSSION

7.1 Application des méthodes pour remplir les objectifs de la Loi sur les pêches

Les méthodes présentées dans ce rapport technique proposent un cadre de référence pour déterminer de quelle façon l'état d'une pêche, la santé d'une population et des points de référence peuvent être obtenus pour des stocks limités en données. Certaines de ces méthodes, particulièrement celles qui utilisent un modèle de population structuré à l'âge (SSS, LB-SPR) ou qui considèrent la variabilité dans le recrutement et la mortalité (CC-SRA, SPiCT, LIME), procurent des résultats permettant de répondre aux objectifs de la Loi sur les pêches concernant la durabilité des stocks de poissons. Il est évident que les différentes approches proposées ne permettent pas d'obtenir des indicateurs et des points de référence aussi robustes que les méthodes utilisées pour évaluer les stocks riches en données, comme l'analyse séquentielle de population. Ainsi, leur utilisation pour répondre aux objectifs de la Loi sur les pêches est limitée en raison du manque d'information permettant de bien caractériser tous les processus qui influencent la dynamique d'une population. Par contre, l'attribution d'une catégorie de stocks et la sélection des méthodes d'évaluation appropriées pourraient faciliter l'identification des données manquantes pour qu'une population change de catégorie et soit évaluée avec des méthodes nécessitant une plus grande quantité d'information.

7.2 Utilisation des catégories de stocks dans les processus d'évaluation

L'outil proposé dans ce rapport technique s'inspire d'un processus de catégorisation selon la disponibilité des données et des connaissances sur l'espèce. En raison des avantages qu'il procure, ce processus est couramment utilisé dans d'autres juridictions, notamment le CIEM (ICES 2019) et la NOAA (Reuter et al. 2010), pour identifier les méthodes recommandées dans les évaluations de stock. D'abord, le cadre technique de l'évaluation est déterminé en fonction de la catégorie attribuée au stock. Ensuite, le cadre établi par la catégorie de stock facilite la sélection des méthodes appropriées pour l'établissement d'indicateurs de la santé du stock et des points de référence en fonction des objectifs de gestion établis. Finalement, l'identification des lacunes en matière de données et de connaissances est inhérente au processus de catégorisation. Il oriente donc les nouvelles recherches qui pourront améliorer la qualité des évaluations.

Bien qu'il procure plusieurs avantages, le processus de catégorisation n'est pas présentement utilisé lors des évaluations des stocks de Pêches et Océans Canada. Il y a cependant un consensus de différents experts concernant la pertinence de considérer cette approche (ICES 2019). De plus, ce cadre de référence permet à d'autres juridictions, comme le CIEM, de distinguer l'application du principe de rendement maximal durable ou de l'approche de précaution dans l'évaluation d'un stock selon la catégorie. Par exemple, les recommandations pour les stocks dans les catégories 3 à 6 du CIEM (Tableau 8) s'appuient sur une approche de précaution et incluent généralement l'estimation d'un point de référence limite (ICES 2018). Ainsi, les méthodes proposées pour les catégories SLD-A, SLD-B, SLD-C et SLD-D, dont la provenance des données est similaire aux catégories 3 à 6 du CIEM, pourraient satisfaire l'exigence minimale d'un point de référence limite, tel que le prescrit la nouvelle loi canadienne sur les pêches.

Dans la région du Québec, seulement 3 stocks sur plus d'une trentaine de stocks de poissons et d'invertébrés qui font l'objet d'une évaluation sont considérés comme riches en données et

possèdent un modèle analytique utilisé pour orienter les mesures de gestion. Tous les autres stocks sont associés aux différentes catégories de SLD définies dans ce document et un contexte similaire existe ailleurs au Canada (MPO 2021). L'absence d'un processus formel pour estimer des points de référence et formuler des recommandations pour ces stocks limités en données réduit la capacité du MPO à répondre aux exigences de la loi canadienne sur la pêche. Les différents schémas de catégories de SLD présentés dans ce document sont une tentative de formaliser ce processus pour le MPO. L'application d'un tel processus de catégorisation des SLD devrait permettre de mettre en évidence ses forces et ses faiblesses dans le contexte des évaluations de stock au MPO. Il devra éventuellement être modifié à mesure que ses limites dans la pratique deviennent évidentes. De plus, le processus proposé dans ce document est une première version, qui sera continuellement mise à jour avec les nouvelles méthodes développées.

8. CONCLUSION

L'objectif principal de cette étude était de proposer un cadre de référence pour catégoriser les stocks limités en données qui font l'objet d'une pêche commerciale et d'identifier les méthodes qui peuvent être utilisées pour obtenir des indicateurs de la santé des stocks et des points de référence afin d'orienter les décisions sur les niveaux d'exploitation appropriés. L'intérêt d'élaborer un cadre comme celui-ci découle de la promulgation en juin 2018 des dispositions sur les stocks de poissons dans la Loi sur les pêches. Des schémas décisionnels pour déterminer les méthodes qui devraient être appliquées selon le contexte ont été fournis afin de démontrer leur capacité à satisfaire les objectifs de la Loi. Des exemples concrets de résultats obtenus à partir de certaines méthodes ont été présentés afin de proposer une structure pour encadrer la sélection des indicateurs et des points de référence à utiliser dans l'évaluation d'un stock. Un tableau récapitulatif qui informe sur la performance de la pêche et la santé de la population a également été proposé afin de démontrer comment les informations obtenues à partir des méthodes d'évaluation de stocks limités en données pourraient remplir certains des objectifs de la Loi sur les pêches concernant les stocks de poissons. Le perfectionnement continu d'une telle approche avec un développement plus détaillé des outils de décision et la mise en disponibilité d'un répertoire de programmes spécifiques aux besoins du MPO permettraient à long terme de formuler des conseils plus cohérents et reproductibles.

9. RÉFÉRENCES CITÉES

Anderson, S. C., Branch, T. A., Ricard, D., et Lotze, H. K. 2012. Assessing global marine fishery status with a revised dynamic catch-based method and stock-assessment reference points. ICES Journal of Marine Science 69, 8: 1491-1500.

Bark, A., Williams, B., et Knights, B. 2007. Current status and temporal trends in stocks of European eel in England and Wales. ICES Journal of Marine Science 64, 7: 1368-1378.

Bennett, D. B. 1974. Growth of the edible crab (*Cancer pagurus* L.) off south-west England. Journal of the Marine Biological Association UK 54: 802-823.

Berkson, J. M., Barbieri, L. Cadrin, S., Cass-Calay, S., Crone P., Dorn, M., Friess, C., Kobayashi, D. Miller, T. J., Patrick, W. S., Pautzke, S., Ralston, S. et Trianni, M. 2011. Calculating acceptable biological catch for stocks that have reliable catch data only (only reliable catch stocks - ORCS). NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-616.

Caddy, J. F. 2004. Current usage of fisheries indicators and reference points, and their potential application to management of fisheries for marine invertebrates. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 61:1307-1324.

Chong, L., Mildenberger, T. K., Rudd, M. B., Taylor, M. H., Cope, J. M., Branch, T. A., Wolff, M. et Stäbler, M. 2019. Performance evaluation of data-limited, length-based stock assessment methods. ICES Journal of Marine Science 77, 1: 97-108.

Chrysafi, A. et Kuparinen, A. 2016. Assessing abundance of populations with limited data: Lessons learned from data-poor fisheries stock assessment. Environmental Reviews 24, 1: 25-38.

Cope, J. M. 2013. Implementing a statistical catch-at-age model (Stock Synthesis) as a tool for deriving overfishing limits in data-limited situations. Fisheries Research 142: 3-14.

Dick, E. J. et MacCall, A. D. 2011. Depletion-Based Stock Reduction Analysis: A catch-based method for determining sustainable yields for data-poor fish stocks. Fisheries Research 110, 2: 331-341.

Dowling, N. A., Smith, A. D., Smith, D. C., Parma, A. M., Dichmont, C. M., Sainsbury, K., Wilson, J. R., Dougherty, D. T. et Cope, J. M. 2019. Generic solutions for data-limited fishery assessments are not so simple. Fish and Fisheries 20, 1: 174-188.

FAO. 2001. Second technical consultation on the suitability of the CITES criteria for listing commercially exploited aquatic species. FAO background document for the 2nd technical consultation on the suitability of CITES criteria for listing commercially exploited aquatic species. FAO Doc. FI:SLC2/2001/2.

Froese, R. 2004. Keep it simple: three indicators to deal with overfishing. Fish and fisheries 5, 1: 86-91.

Froese, R., et Kesner-Reyes, K. 2002. Impact of fishing on the abundance of marine species. ICES Council Meeting Report CM.

Froese, R., J. Thorson et Reyes Jr., R. B. 2014. A Bayesian approach for estimating length-weight relationships in fishes. Journal of Applied Ichthyology 30, 1: 78-85.

Froese, R., Demirel, N., Coro, G., Kleisner, K. M. et Winker, H. 2017. Estimating fisheries reference points from catch and resilience. Fish and Fisheries 18, 3: 506-526.

Froese, R., Winker, H., Coro, G., Demirel, N., Tsikliras, A.C., Dimarchopoulou, D., Scarcella, G., Probst, W.N., Dureuil, M. et Pauly, D. 2018. A new approach for estimating stock status from length frequency data. ICES Journal of Marine Science, 75, 6:2004-2015.

Gedamke, T., et Hoenig, J. M. 2006. Estimating mortality from mean length data in nonequilibrium situations, with application to the assessment of goosefish. Transactions of the American Fisheries Society 135, 2: 476-487.

Gilbert, D.J., Annala, J.H. et Johnston, K. 2000. Technical background to fish stock indicators for state-of-environment reporting in New Zealand. Marine and Freshwater Research. 51:451-464.

Hannah, R. W. et Jones, S. A. 1991. Fishery-induced changes in the population structure of pink shrimp *Pandalus jordani*. Fishery Bulletin U.S. 89:41-51

Hordyk, A., Ono, K., Valencia, S., Loneragan, N., et Prince, J. 2015. A novel length-based empirical estimation method of spawning potential ratio (SPR), and tests of its performance, for small-scale, data-poor fisheries. ICES Journal of Marine Science 72, 1: 217-231.

ICES. 2018. Blue ling (Molva dypterygia) in Subarea 14 and Division5.a (East Greenland and Iceland grounds. *Dans* Report of the ICES Advisory Committee, 2018. ICES Advice 2018

ICES. 2019. Advice basis. *Dans* Report of the ICES Advisory Committee, 2019. ICES Advice 2019

Jayasinghe, R. P. K., Amarasinghe, U. S. et Newton, A. 2017. Evaluation of status of commercial fish stocks in European marine subareas using mean trophic levels of fish landings and spawning stock biomass. Ocean & Coastal Management 143: 154-163.

Loi sur les pêches, LRC 1985, c F-14, <http://canlii.ca/t/6c4mg> consulté le 2020-12-11

MacCall, A. D. 2009. Depletion-corrected average catch: a simple formula for estimating sustainable yields in data-poor situations. ICES Journal of marine Science 66, 10: 2267-2271.

Marentette, J. R., Kronlund, A. R. et Cogliati, K. M. 2021. Spécification des points de référence de l'approche de précaution et des règles de contrôle des prises dans les principaux stocks exploités gérés et évalués au niveau national au Canada. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2021/057. vii + 112 p.

Martell, S, et Froese, R. 2013. A simple method for estimating MSY from catch and resilience. Fish and Fisheries 14, 4: 504-514.

Martell, S. J., Pine, W. E. et Walters, C. J. 2008. Parameterizing age-structured models from a fisheries management perspective. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 65, 8: 1586-1600.

McGowan, D. W., Horne, J. K., Thorson, J. T., et Zimmermann, M. 2019. Influence of environmental factors on capelin distributions in the Gulf of Alaska. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography 165: 238-254.

MPO. 2018. Évaluation du stock de capelan de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (Divisions 4RST) en 2017. MPO, Secrétariat canadien de consultation scientifique. Avis scientifique 2018/037.

MPO. 2019a. Évaluation du stock de flétan du Groenland du golfe du Saint-Laurent (4RST) en 2018. MPO, Secrétariat canadien de consultation scientifique. Avis scientifique 2019/023.

MPO. 2019b. Évaluation du stock de flétan Atlantique du golfe du Saint-Laurent (4RST) en 2018. MPO, Secrétariat canadien de consultation scientifique. Avis scientifique 2019/038.

MPO. 2021. A management procedure framework for groundfish in British Columbia. MPO, Canadian Science Advisory Secretariat. Science Advisory Report 2021/002.

Newman, D., Berkson, J. et Suatoni, L. 2015. Current methods for setting catch limits for data-limited fish stocks in the United States. Fisheries Research 164: 86-93.

Pauly, D. 1990. Length-converted catch curves and the seasonal growth of fishes. Fishbyte 8, 3: 33-38.

Pedersen, M. W. et Berg, C. W. 2017. A stochastic surplus production model in continuous time. Fish and Fisheries 18, 2: 226-243.

Pons, M., Cope, J. M., et Kell, L. T. 2020. Comparing performance of catch-based and length-based stock assessment methods in data-limited fisheries. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 77, 6: 1026-1037.

Restrepo, V. R., et Powers, J. E. 1999. Precautionary control rules in US fisheries management: specification and performance. ICES Journal of Marine Science 56: 846-852.

Reuter, R. F., Conners, M. E., DiCosimo, J., Gaichas, S., Ormseth, O. et TenBrink, T. T. 2010. Managing non-target, data-poor species using catch limits: lessons from the Alaskan groundfish fishery. Fisheries Management and Ecology 17, 4: 323-335.

Rice, J., Tremblay-Boyer, L., Scott, R., Hare, S. et Tidd, A. 2015. Analysis of stock status and related indicators for key shark species of the Western Central Pacific Fisheries Commission. Dans Western and Central Pacific Fisheries Commission 11th Regular Session: 1-146.

Rudd, M. B., et Thorson, J. T. 2018. Accounting for variable recruitment and fishing mortality in length-based stock assessments for data-limited fisheries. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 75, 7: 1019-1035.

Smith, S. J. et Sainte-Marie, B. 2004. Biological reference points for invertebrate fisheries: Introduction. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 61, 8:1303-1306.

Thorson, J. T., Cope, J. M., Branch, T. A., et Jensen, O. P. 2012. Spawning biomass reference points for exploited marine fishes, incorporating taxonomic and body size information. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 69, 9: 1556-1568.

Thorson, J. T. et Cope, J. M. 2015. Catch curve stock-reduction analysis: an alternative solution to the catch equations. Fisheries Research 171: 33-41.

Tsikliras, C.A. et Froese, R. 2019. Maximum sustainable yield. *Dans* Encyclopedia of Ecology (2e édition). *Édité par* Brian Fath. Elsevier. pp. 108-115

Wehye, A. S. et Amponsah, S. K. K. 2017. Growth, mortality and exploitation rates of Lesser African thredfin, *Galeoides decadactylus* (Bloch 1795) within the coastal waters of Liberia. International Journal of Fisheries and Aquatic Research 2, 2: 43-49.

Winker, H., Carvalho, F. et Kapur, M. 2018. JABBA: just another Bayesian biomass assessment. Fisheries Research 204: 275-288.

Zhou, S., Punt, A. E., Ye, Y., Ellis, N., Dichmont, C. M., Haddon, M., Smith, D. C. et Smith, A. D. 2017. Estimating stock depletion level from patterns of catch history. Fish and Fisheries 18, 4: 742-75

Zhou, S., Punt, A. E., Smith, A. D., Ye, Y., Haddon, M., Dichmont, C. M. et Smith, D. C. 2018. An optimized catch-only assessment method for data poor fisheries. ICES Journal of Marine Science 75, 3: 964-976.

10. TABLEAUX ET FIGURES

Tableau 1. Méthodes nécessitant moins de données fréquemment employées pour obtenir des indicateurs de la santé d'un stock et des points de référence, et facilement utilisables avec des fonctions programmées.

Méthode	**Référence**
Proxy de B_{RMD}	Évaluation du stock de flétan du Groenland du golfe du Saint-Laurent (4RST) en 2018 (MPO 2019)
Proxy de F_{RMD}	ICES Advice on fishing opportunities, catch, and effort for Blue ling (*Molva dypterygia*) in Subarea 14 and Division 5.a (ICES 2018)
Longueurs de Froese	Keep it simple: three indicators to deal with overfishing (Froese 2004)
Longueurs d'ICES	Technical Guidelines - ICES reference points for stocks in categories 3 and 4 (ICES 2019)
Tendances récentes et historiques	Second technical consultation on the suitability of the CITES criteria for listing commercially-exploited aquatic species (FAO 2001)
Ratio des prises commerciales (C/C_{max})	Assessing global marine fishery status with a revised dynamic catch-based method and stock-assessment reference points (Anderson et al. 2012)
Arbre de régression renforcé (ARR)	Estimating stock depletion level from patterns of catch history (Zhou et al. 2017)
Approche par scalaire (APS)	Calculating acceptable biological catch for stocks that have reliable catch data only (Only Reliable Catch Stocks- ORCS) (Berkson et al. 2011)
Moyenne des captures corrigée pour l'appauvrissement (DCAC)	Depletion-corrected average catch: a simple formula for estimating sustainable yields in data-poor situations (MacCall 2009)
Modèle optimisé basé uniquement sur les captures (OCOM)	An optimized catch-only assessment method for data poor fisheries (Zhou et al. 2018)
Analyse de réduction des stocks basée sur l'appauvrissement (DB-SRA)	Depletion-based stock reduction analysis: a catch-based method for determining sustainable yield for data-poor fish stocks (Dick et MacCall 2011)
Catch-MSY	A simple method for estimating MSY from catch and resilience (Martell et Froese 2013)
Analyse de réduction des stocks ajustée pour la courbe des captures (CC-SRA)	Catch curve stock-reduction analysis: an alternative solution to the catch equation (Thorson et Cope 2015)

Tableau 1 (suite). Méthodes nécessitant moins de données fréquemment employées pour obtenir des indicateurs de la santé d'un stock et des points de référence, facilement utilisables avec des fonctions programmées dans le langage R.

Méthode	**Référence**
Analyse synthèse simple des stocks (SSS)	Implementing a statistical catch-at-age model (Stock synthesis) as a tool for deriving overfishing limits in data-limited situations (Cope 2013)
CMSY	Estimating fisheries reference points from catch and resilience. (Froese et al. 2017)
Approche bayésienne d'évaluation de la biomasse (JABBA)	JABBA: Just Another Bayesian Biomass Assessment (Winker, Carvalho et Kapur 2018)
Modèle stochastique de surplus de production en temps continu (SPiCT)	A stochastic surplus production model in continuous time (Pedersen et Berg 2017)
Mortalité totale basée sur la longueur moyenne (MLZ)	Estimating mortality from mean length data in nonequilibrium situations, with application to the assessment of goosefish (Gedamke et Hoenig 2006)
Analyse de la courbe des captures convertie en longueur (LCCC)	Length-converted catch curve and the seasonal growth of fishes (Pauly 1990)
Ratio du potentiel reproducteur basé sur la longueur (LB-SPR)	A novel length-based empirical estimation method of spawning potential ratio (SPR), and tests of its performance, for small-scale, data-poor fisheries (Hordyk et al. 2015)
Intégration des effets mixtes basée sur la longueur (LIME)	Accounting for variable recruitment and fishing mortality in length-based stock assessments for data-limited fisheries (Rudd et Thorson 2018)
Estimation bayésienne de la biomasse basée sur la longueur (LBB)	Length-based Bayesian Biomass estimator (LBB) for data-limited stock assessment (Froese et al. 2018)

Tableau 2. Implémentations disponibles en langage R des différentes méthodes nécessitant moins de données pour obtenir des indicateurs de la santé d'un stock et des points de référence proposées dans l'outil d'aide à la décision.

Méthodes	**Bibliothèque/ Fonction**	**Référence**
Proxy de B_{RMD}	DLM.ReferencePoint/ Bmsy.Fmsy.Proxy.R	https://github.com/MathBoud/DLM.ReferencePoint/tree/master/R/Bmsy%20%26%20Fmsy%20proxy
Proxy de F_{RMD}	DLM.ReferencePoint/ Bmsy.Fmsy.Proxy.R	https://github.com/MathBoud/DLM.ReferencePoint/tree/master/R/Bmsy%20%26%20Fmsy%20proxy
Longueurs de Froese	DLM.ReferencePoint/ FroeseLengthIndicator.R	https://github.com/MathBoud/DLM.ReferencePoint/tree/master/R/Froese%20length%20indicators
Longueurs d'ICES	ICES_MSY/ LBindicators.R	https://github.com/ices-tools-dev/ICES_MSY/blob/master/R/LBindicators.R
Tendances récentes et historiques	DLM.ReferencePoint/ Recent&Historical.Trends.R	https://github.com/MathBoud/DLM.ReferencePoint/tree/master/R/Recent%20%26%20historical%20trend
Ratio des prises commerciales (C/C_{max})	DLM.ReferencePoint/ CatchRatio.R	https://github.com/MathBoud/DLM.ReferencePoint/tree/master/R/Catch%20ratio
Arbre de régression renforcé (ARR)	datalimited2/ zbrt	https://rdrr.io/github/cfree14/datalimited2/man/zbrt.html
Approche par scalaire (APS)	DLM.ReferencePoint/ ScalarCatchMethod.R	https://github.com/MathBoud/DLM.ReferencePoint/tree/master/R/Scalar%20Catch%20method
Moyenne des captures corrigée pour l'appauvrissement (DCAC)	DLMtool/ DCAC	https://search.r-project.org/CRAN/refmans/DLMtool/html/DCAC.html
Modèle optimisé basé uniquement sur les captures (OCOM)	datalimited2/ ocom	https://rdrr.io/github/cfree14/datalimited2/man/ocom.html
Analyse de réduction des stocks basée sur l'appauvrissement (DB-SRA)	fishmethods/ dbsra	https://rdrr.io/cran/fishmethods/man/dbsra.html
Catch-MSY	fishmethods/ catchmsy	https://www.rdocumentation.org/packages/fishmethods/versions/1.11-1/topics/catchmsy
Analyse de réduction des stocks ajustée pour la courbe des captures (CC-SRA)	CCSRA / CCSRA.R	https://github.com/James-Thorson/CCSRA

Tableau 2 (suite). Implémentations disponibles en langage R des différentes méthodes nécessitant moins de données pour obtenir des indicateurs de la santé d'un stock et des points de référence proposées dans l'outil d'aide à la décision.

Méthodes	**Bibliothèque/ Fonction**	**Référence**
Analyse synthèse simple des stocks (SSS)	MSEtool / SSS	https://rdrr.io/github/tcarruth/MSEtool/man/SSS.html
CMSY	datalimited2/ cmsy2	https://rdrr.io/github/cfree14/datalimited2/man/cmsy2.html
Just another Bayesian biomass assessment (JABBA)	JABBA/ JABBAv1.1.R	https://rdrr.io/github/jabbamodel/JABBA/f/Tutorial%20Vignette.Rmd
Stochastic surplus production model in continuous time (SPiCT)	DTUAqua/ spict.R	https://github.com/DTUAqua/spict/tree/master/spict
Mean length mortality estimator (MLZ)	MLZ/ ML	https://www.rdocumentation.org/packages/MLZ/versions/0.1.3
Length-converted catch curve (LCCC)	TropFishR/ catchCurve	https://rdrr.io/cran/TropFishR/man/catchCurve.html
Length-based spawning potential ratio (LB-SPR)	LBSPR/ LBSPRfit	https://cran.r-project.org/web/packages/LBSPR/vignettes/LBSPR.html
Length-based integrated mixed effect (LIME)	LIME/ run_LIME.R	https://github.com/merrillrudd/LIME/blob/master/R/run_LIME.R
Length-based Bayesian Biomass estimator (LBB)	LBB/ LBB_33a.R	https://github.com/SISTA16/LBB/blob/master/LBB_33a.R

Tableau 3. Applications de différentes méthodes nécessitant moins de données qui permettent d'obtenir des indicateurs de la santé d'une population et des points de référence pour différents groupes d'espèces de poissons.

Méthodes	**Espèces**	**Références**
OCOM	Poissons de fond en eaux chaudes	Zhou et al. 2018
DCAC	*Sebastes entomelas*	MacCall 2009
DB-SRA	Poissons de fond de la côte Ouest Pacifique	Dick et MacCall 2011
SSS	Poissons de fond de la côte Ouest Pacifique	Cope 2013
CC-SRA	Poissons à croissance lente et périodique	Thorson et Cope 2015
Catch-MSY	Flétan du Groenland	Martell et Froese 2013
CMSY	Thon à nageoire bleue	Froese et al. 2017
JABBA	Espadon du Sud atlantique	Winker et al. 2018
SPiCT	Morue atlantique	Pedersen et Berg 2017
LB-SPR	*Pegusa lascaris* *Sebastes emphaeus* *Platycephalus endrachtensis* *Cololabis saira*	Hordyk et al. 2015
LIME	*Siganus sutor* *Lutjanus guttatus* *Epinephelus morio*	Rudd et Thorson 2018
LBB	Seiche, Crevettes, Anchois, Sprat, Harengs, Poissons plats, Poissons ronds, Raies et Requins	Froese et al. 2018
MLZ	*Lophiidae*	Gedamke et Hoenig 2006
LCCC	*Galeoides decadactylus*	Wehye et Amponsah 2017

Tableau 4. Variables proposées pour la sélection d'indicateurs pertinents pour évaluer la santé des stocks de crustacés, de mollusques et bivalves, et des invertébrés à mobilité réduite selon différents facteurs qui peuvent influencer la santé des stocks.

État	**Indicateurs**	**Groupes d'espèces**		
		Crustacés	Mollusques et bivalves	Organismes à mobilité réduite
Abondance	Nombre moyen par unité d'effort (pêche et relevé scientifique)	✓	✓	✓
	Superficie totale possédant de bonnes densités de spécimens	✓	✓	✓
	Quantité de prises accessoires dans la pêche dirigée d'autres espèces	✓		
Productivité	Nombre de recrues (relevés scientifiques)	✓	✓	✓
	Superficie totale possédant une bonne densité de recrues	✓	✓	✓
	Taille moyenne des femelles adultes	✓	✓	✓
	Indice de condition	✓	✓	✓
	Densité de larves dans la colonne d'eau (relevé scientifique)		✓	
	Ratio des sexes (pêche et relevé scientifique)	✓		
	Proportion des femelles qui ont des œufs	**Crabe et homard**		
Pression de la pêche	Taux de mortalité totale (*Z*) moyen à partir des longueurs dans les relevés scientifiques	✓	✓	✓
	Nombre de jours de pêche d'une flotte par saison	✓	✓	✓
	Pourcentage d'individu immature (pêche et relevé scientifique)	✓	✓	✓
	Nombre annuel d'engins par zone de pêche	✓	✓	✓
	Ratio des sexes (pêche et relevés scientifiques)	**Crevette *Pandalidae***		
Environnement	Ratio d'abondance prédateur-proie	✓	✓	✓
	Densité de proie	✓	✓	✓
	Pourcentage d'habitat de bonne qualité	✓	✓	✓
	La valeur absolue de la différence entre la température au fond et la température optimale	✓	✓	✓

Tableau 5. Tableau récapitulatif des points de référence obtenus suite à l'application des méthodes Catch-MSY, OCOM, DB-SRA, et CMSY avec les données de débarquements annuels dans la pêche commerciale aux capelans dans les zones de pêche 4R, 4S et 4T de l'OPANO.

Méthode	Points de référence	Valeur estimée	Précision (IC 95%)	Performance	Appréciation	Décision
SSS	B_{RMD} (tonnes)	30 386	-	Moyenne	Moyenne	Rejeté
	F_{RMD}	-	-			
	RMD (tonnes)	7658	-			
OCOM	B_{RMD} (tonnes)	31 634	[17 084; 95 402]	Moyenne	Moyenne	Rejeté
	F_{RMD}	0,235	[0,056; 0,517]			
	RMD (tonnes)	7541	[4894; 9190]			
DB-SRA	B_{RMD} (tonnes)	31 886	[28 704; 36 687]	Bonne	Bonne	Acceptable
	F_{RMD}	0,346	[0,337; 0,350]			
	RMD (tonnes)	7455	[6709; 8591]			
CMSY	B_{RMD} (tonnes)	30 160	[24 194; 35 797]	Bonne	Bonne	Acceptable
	F_{RMD}	0,252	[0,214; 0,297]			
	RMD (tonnes)	7611	[6864; 8440]			

Tableau 6. Tableau descriptif des symboles utilisés pour décrire la performance de la pêche commerciale et la santé de la population pêchée par rapport à différents points de référence établis selon l'approche que CIEM utilise pour présenter un sommaire de la santé d'un stock et de l'état de la pêche.

Symbole	**Description**	**Rendement maximal durable**		**Tendance temporelle**
		B_{RMD}	F_{RMD}	Indicateurs d'état du stock et de la performance de la pêche
✓	La population est exploitée et renouvelée au rendement maximal durable	$B = B_{RMD}$	$F = F_{RMD}$	
✓	La population se trouve dans une zone saine	$B > 0{,}8 \times B_{RMD}$	$F \leq F_{RMD}$	
●	La population se trouve dans une zone de prudence	$B < 0{,}8 \times B_{RMD}$ $B > 0{,}4 \times B_{RMD}$	$F \leq F_{RMD}$	
✗	La population se trouve dans une zone critique	$B < B_{RMD}$	$F > F_{RMD}$	
?	Information inconnue	Aucun point de référence défini		Aucun indice estimé
↗	Tendance croissante			Supérieur à l'année précédente
↘	Tendance décroissante			Inférieur à l'année précédente
→	Tendance stable			~ la même valeur que l'année précédente

Tableau 7. Tableau récapitulatif des informations utilisées pour décrire la performance de la pêche, la santé de la population et les conditions environnementales du stock de capelans dans les zones de pêche 4R, 4S et 4T de l'OPANO à partir des indicateurs et des points de référence sélectionnés selon l'approche qu'ICES utilise pour présenter un sommaire de la santé d'un stock et de l'état de la pêche.

	Performance de la pêche				**Santé de la population**				**Facteurs environnementaux**			
		2017	2018	2019		2017	2018	2019		2017	2018	2019
Tendance temporelle récente	Total des captures commerciales	↘	→	↗	Biomasse du stock	→	↗	↗	Température de la couche d'eau profonde	→	↗	↗
									Densité de proies	→	→	↗
Rendement maximal durable	F_{RMD}	✓	✗	✓	B_{RMD}	●	✓	✓				

Tableau 8. Exemple de tableau récapitulatif utilisé par le CIEM pour décrire la santé du stock et l'état de la pêche par rapport à différents points de référence pour le stock de lingue bleue dans les zones de pêche à l'est du Groenland et en Islande.

		Pression de la pêche					**Taille du stock**			
		2015	2016		2017		2015	2016		2017
Rendement maximal durable	Proxy de F_{RMD}	✓	✓	✓	Inférieur	Proxy de B_{RMD}	?	?	?	Non défini
Approche de précaution	$F_{précaution}$, F_{limite}	✓	✓	✓	Inférieur aux points de référence	$B_{précaution}$, B_{limite}	?	?	?	Non défini
Plan de gestion	$F_{gestion}$	-	-	-	Non applicable	$B_{gestion}$	?	?	?	Non applicable
Évaluation qualitative	-	-	-	-		-	↘	→	→	Stable

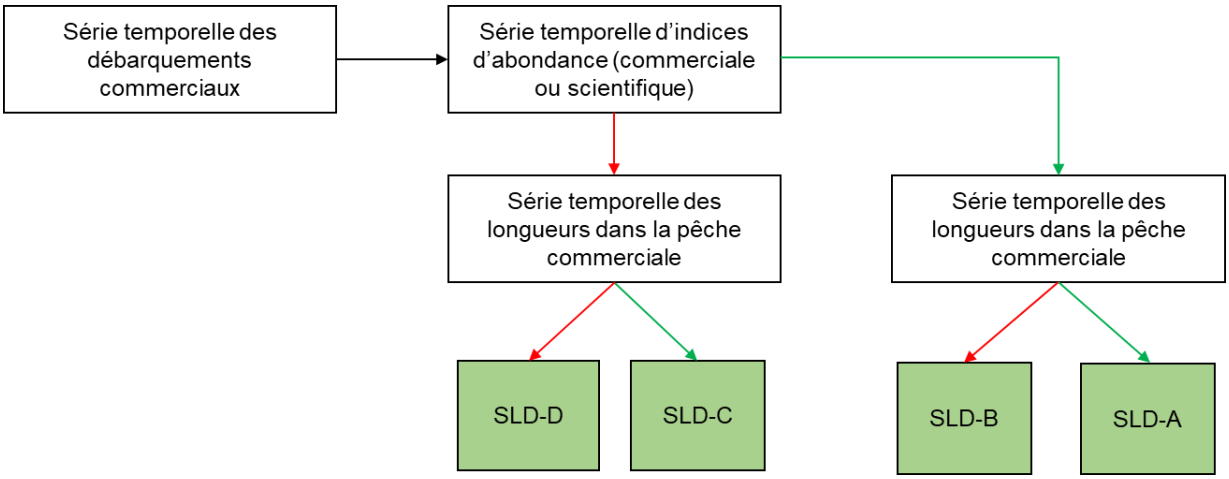

Figure 1. Schéma décisionnel pour l'attribution d'une catégorie de stocks limités en données (SLD) selon les données disponibles. Flèche verte = oui. Flèche rouge = non.

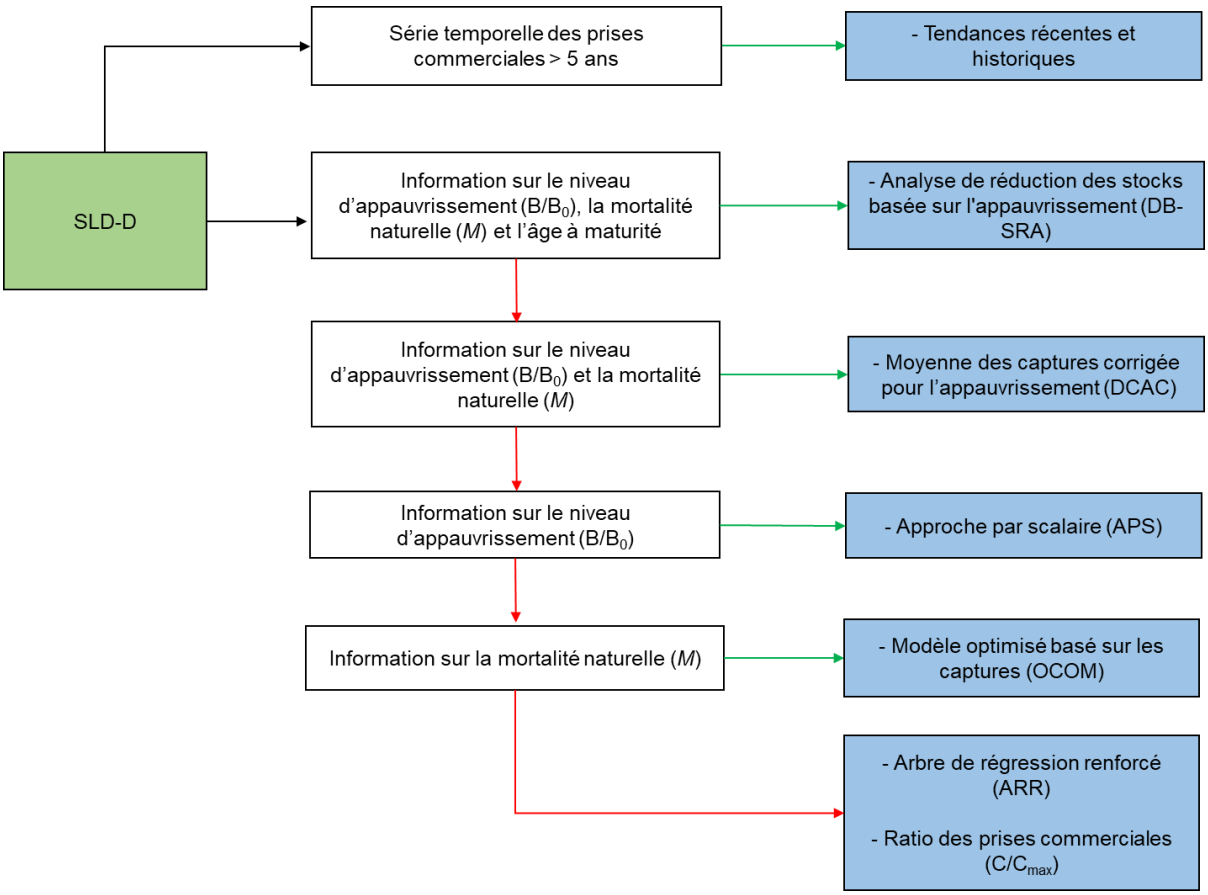

Figure 2. Schéma décisionnel pour tester des méthodes nécessitant moins de données proposées pour obtenir des indicateurs de la santé des stocks et des points de référence dans la catégorie SLD-D. Flèche verte = oui. Flèche rouge = non.

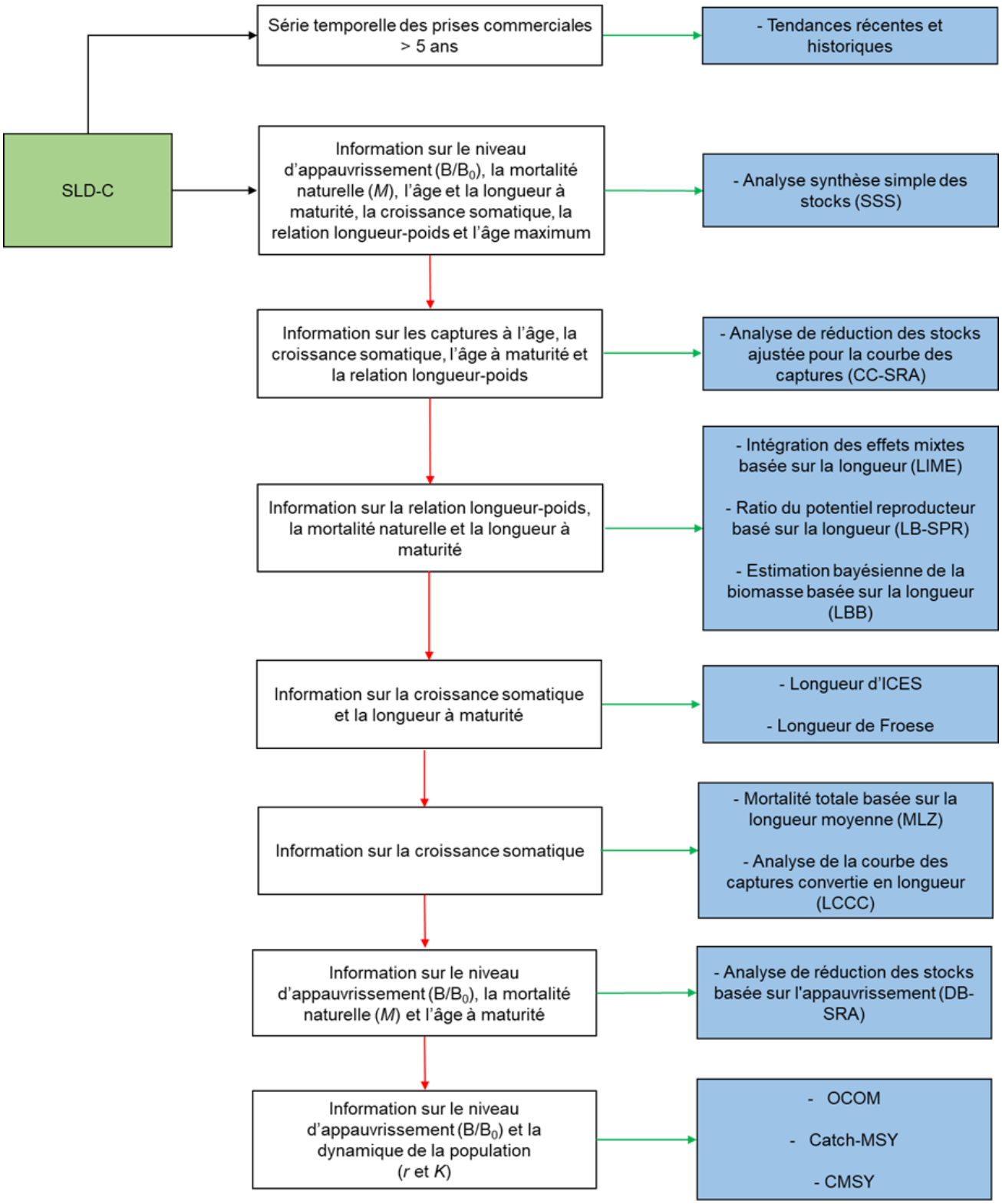

Figure 3. Schéma décisionnel pour tester des méthodes nécessitant moins de données proposées pour obtenir des indicateurs de la santé des stocks et des points de référence dans la catégorie SLD-C. Flèche verte = oui. Flèche rouge = non.

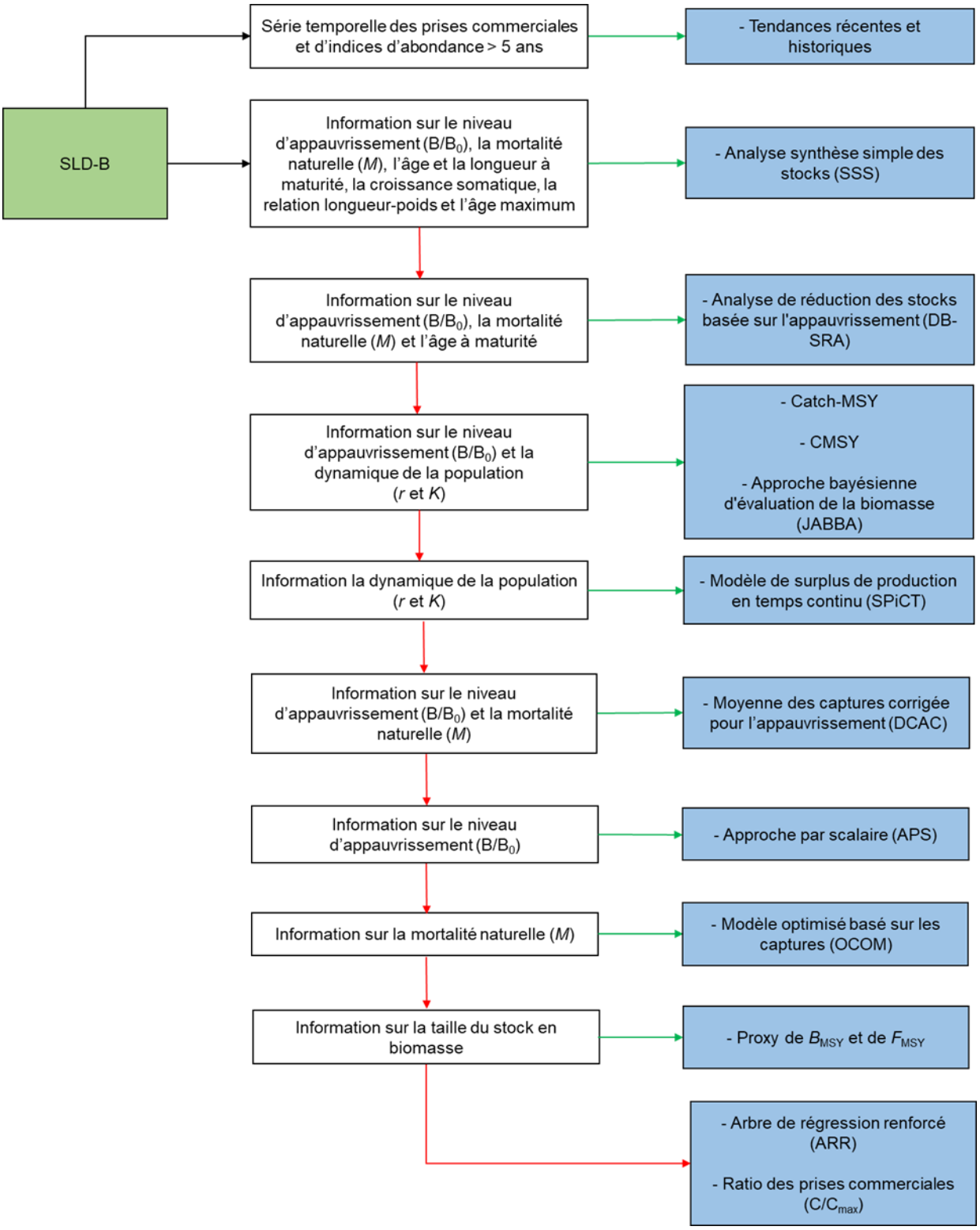

Figure 4. Schéma décisionnel pour tester des méthodes nécessitant moins de données proposées pour obtenir des indicateurs de la santé des stocks et des points de référence dans la catégorie SLD-B. Flèche verte = oui. Flèche rouge = non.

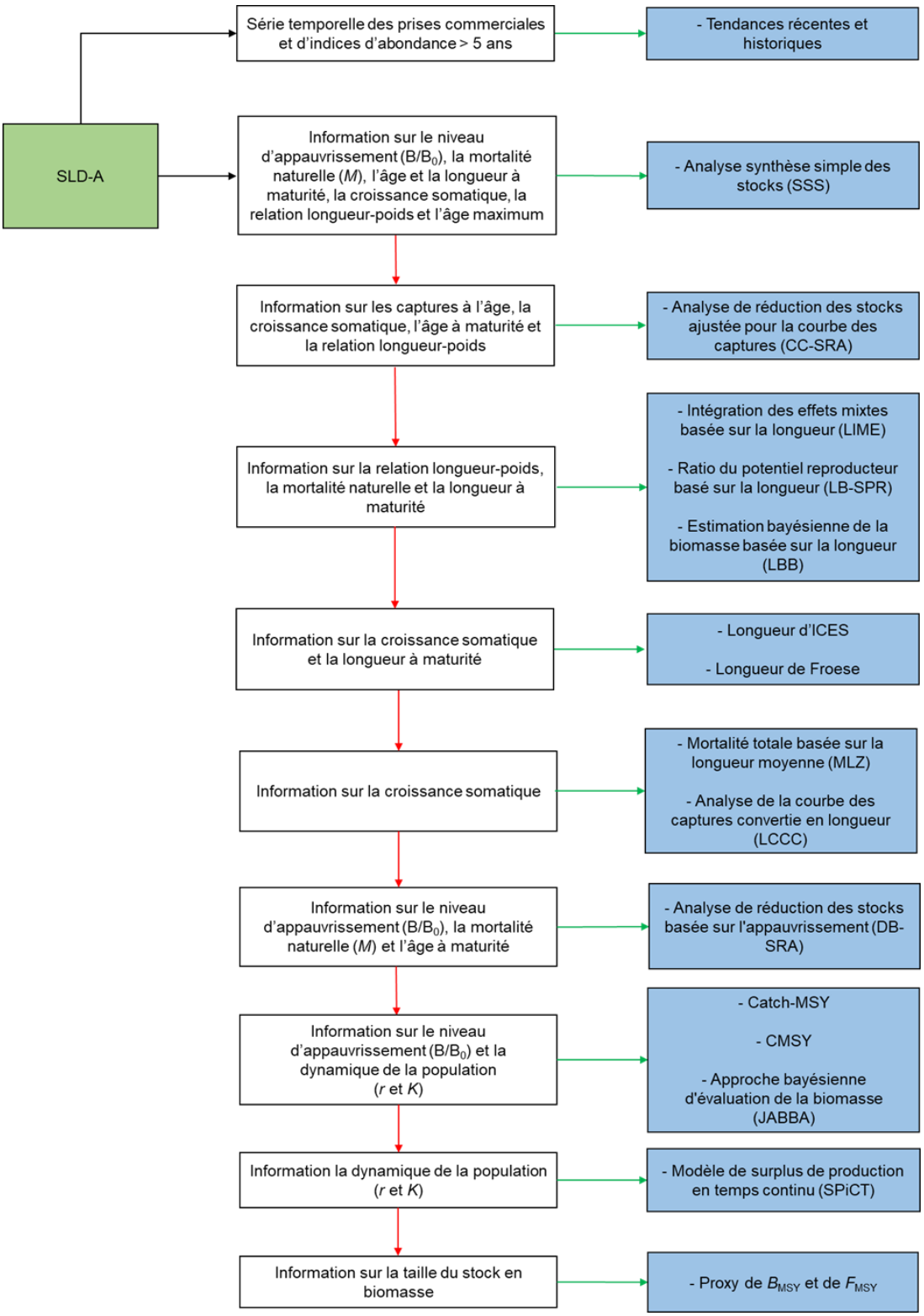

Figure 5. Schéma décisionnel pour tester des méthodes nécessitant moins de données proposées pour obtenir des indicateurs de la santé des stocks et des points de référence dans la catégorie SLD-A. Flèche verte = oui. Flèche rouge = non.

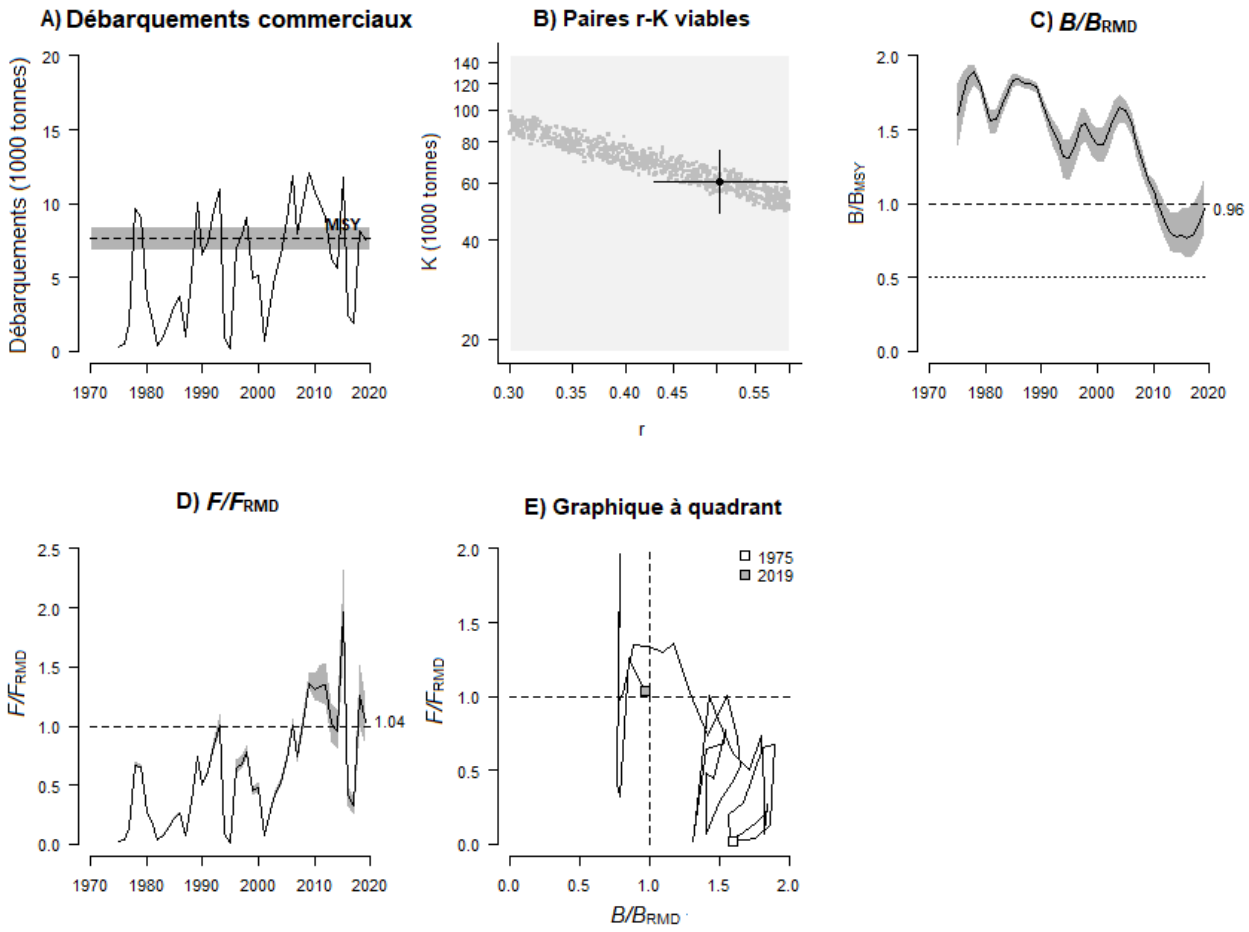

Figure 6. Résultats graphiques obtenus avec la méthode CMSY appliquée aux prises commerciales de capelans dans les zones de pêche 4R, 4S et 4T de l'OPANO de 1975 à 2019. A) Série temporelle des prises commerciales et de la valeur moyenne de RMD (± IC 95%) estimée. B) Paires r-K viables servant à prédire la biomasse et qui peuvent supporter les prises commerciales observées. C) Série temporelle du ratio de la valeur moyenne de biomasse prédite par le modèle (± IC95%) et de B_{RMD}. D) Série temporelle du ratio de la valeur moyenne du taux de mortalité par la pêche (F) prédit par le modèle (± IC95%) et de F_{RMD}. E) Graphique à quadrant démontrant la trajectoire du stock en relation avec les ratios F/F_{RMD} et B/B_{RMD}.

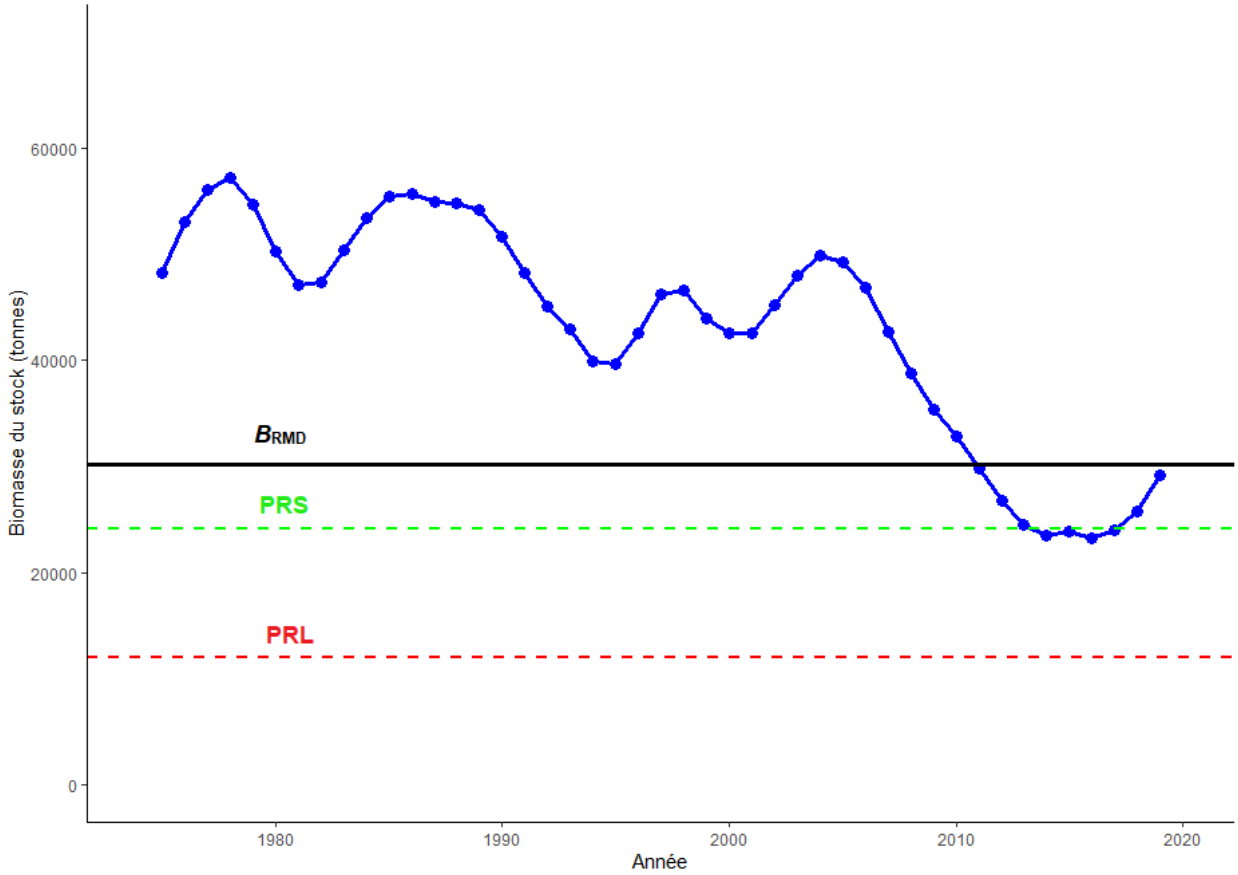

Figure 7. Série temporelle de la biomasse prédite par la méthode CMSY pour le stock de capelans dans les zones de pêche 4R, 4S et 4T de l'OPANO entre 1975 et 2019. Les points de référence supérieur (PRS) et limite (PRL) ont été déterminés à partir de 0,8 x B_{RMD} et 0,4 x B_{RMD}*, respectivement.*

11. ANNEXES

Annexe 1. *Application de la méthode pour obtenir un proxy de B_{RMD} à partir de la série temporelle de la biomasse reproductrice de flétan du Groenland estimée à partir du relevé scientifique réalisé dans le nord du golfe du Saint-Laurent de 1990 à 2019.*

Information requise :

- Série temporelle d'un indice de la biomasse du stock.

Approche :

Utilise la moyenne des estimés de la taille du stock en biomasse d'une période de référence pendant laquelle la pêche n'aurait pas causé d'effet négatif sur la population.

Indicateur et/ou point de référence :

- Proxy de la biomasse produisant le rendement maximal durable (B_{RMD}).

Supposition :

- Les valeurs d'indice de biomasse sont proportionnelles à la biomasse de la population.

Limite et source de biais :

- Les changements dans la mortalité naturelle, le recrutement et la croissance somatique dans la population ne sont pas considérés dans l'établissement du rendement maximal durable.

Exemple de résultats :

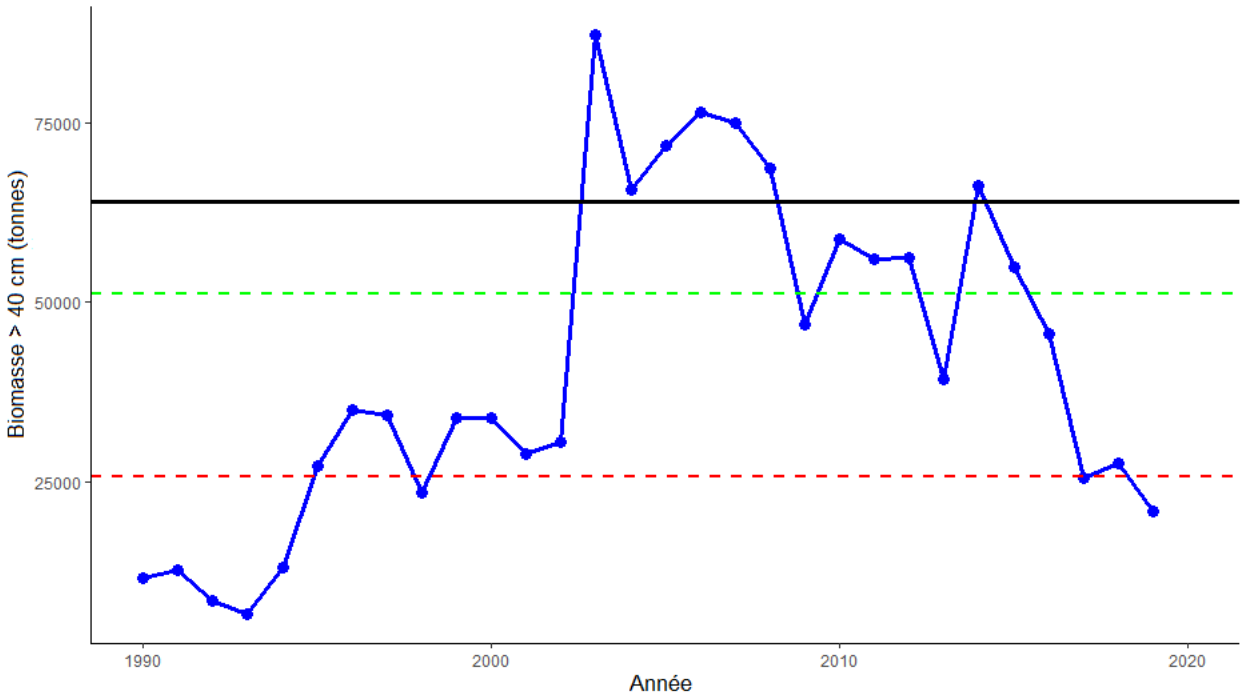

Figure A.1. Série temporelle de la biomasse des flétans du Groenland > 40 cm dans le relevé au chalut de fond réalisé dans le nord du golfe du Saint-Laurent de 1990 à 2019 (ligne bleue) et estimation d'un proxy de la biomasse au rendement maximal durable (B_{RMD}, ligne noire), à partir de la moyenne des années 2004 à 2012, et identification des points de référence supérieur (ligne verte) et limite (ligne rouge) correspondant respectivement à 80% et 40% de B_{RMD}.

Annexe 2. *Application de la méthode des indicateurs de longueurs d'ICES avec la série temporelle des longueurs dans la pêche commerciale des plies canadiennes échantillonnées de 1991 à 2010 dans la zone de pêche 4T de l'OPANO.*

Informations requises :

- Série temporelle des longueurs dans la pêche commerciale;
- Longueur à maturité (L_m);
- Longueur asymptotique (L_{inf}).

Approche :

Utilise les fréquences de longueurs dans les débarquements et les remises à l'eau de la pêche commerciale pour estimer différents indicateurs et les comparer à des points de référence en lien avec la conservation, le rendement optimal et la distribution des longueurs attendues dans une population au rendement maximal durable.

Indicateurs et/ou points de référence :

- Longueur moyenne des individus qui correspondent à 5% des plus larges ($L_{max5\%}$);
- Longueur correspondant au 95e percentile de la fréquence des longueurs ($L_{95\%}$);
- Proportion d'individus qui possèdent une longueur > L_{opt} + 10 % (P_{mega});
- Longueur correspondant au 25e percentile de la fréquence des longueurs ($L_{25\%}$);
- Longueur correspondant à 50% de l'abondance modale (L_c);
- Longueur moyenne des individus > L_c (L_{mean});
- Classe de longueur qui correspond au maximum de biomasse dans les prises (L_{maxy}).

Suppositions :

- Le recrutement, la mortalité naturelle et la croissance individuelle sont constants;
- La sélectivité dans la pêche suit une courbe logistique;
- Les fréquences de longueurs dans la pêche représentent celles dans la population.

Limite et source de biais :

- La courbe de sélectivité dans la pêche détermine les captures commerciales.

Exemple de résultats :

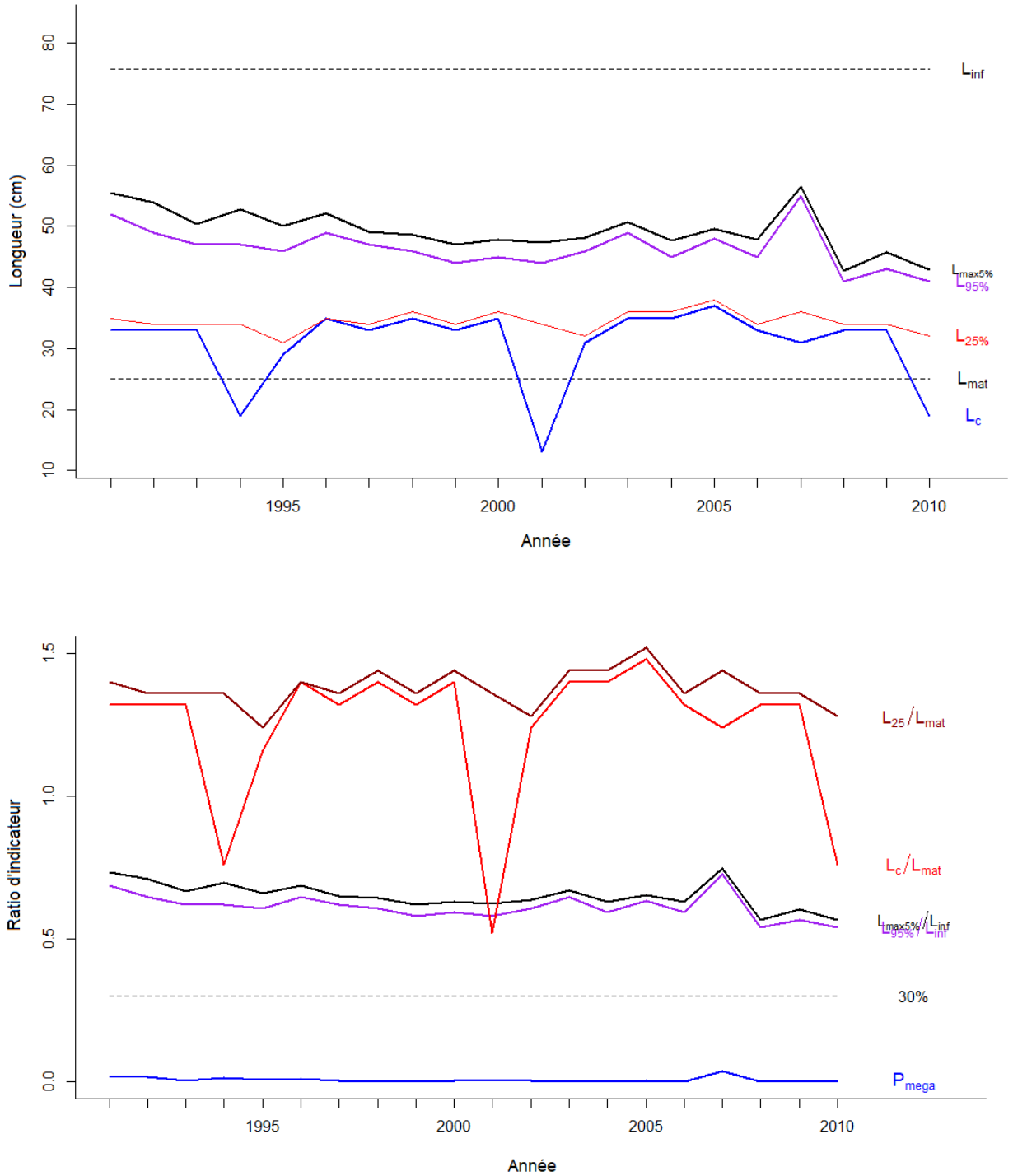

Figure A.2. Série temporelle des indicateurs de conservation d'ICES (graphique du haut) et de leur ratio par rapport à des points de référence (graphique du bas) basée sur la longueur dans les prises commerciales de la plie canadienne dans la zone de pêche 4T de l'OPANO de 1991 à 2010.

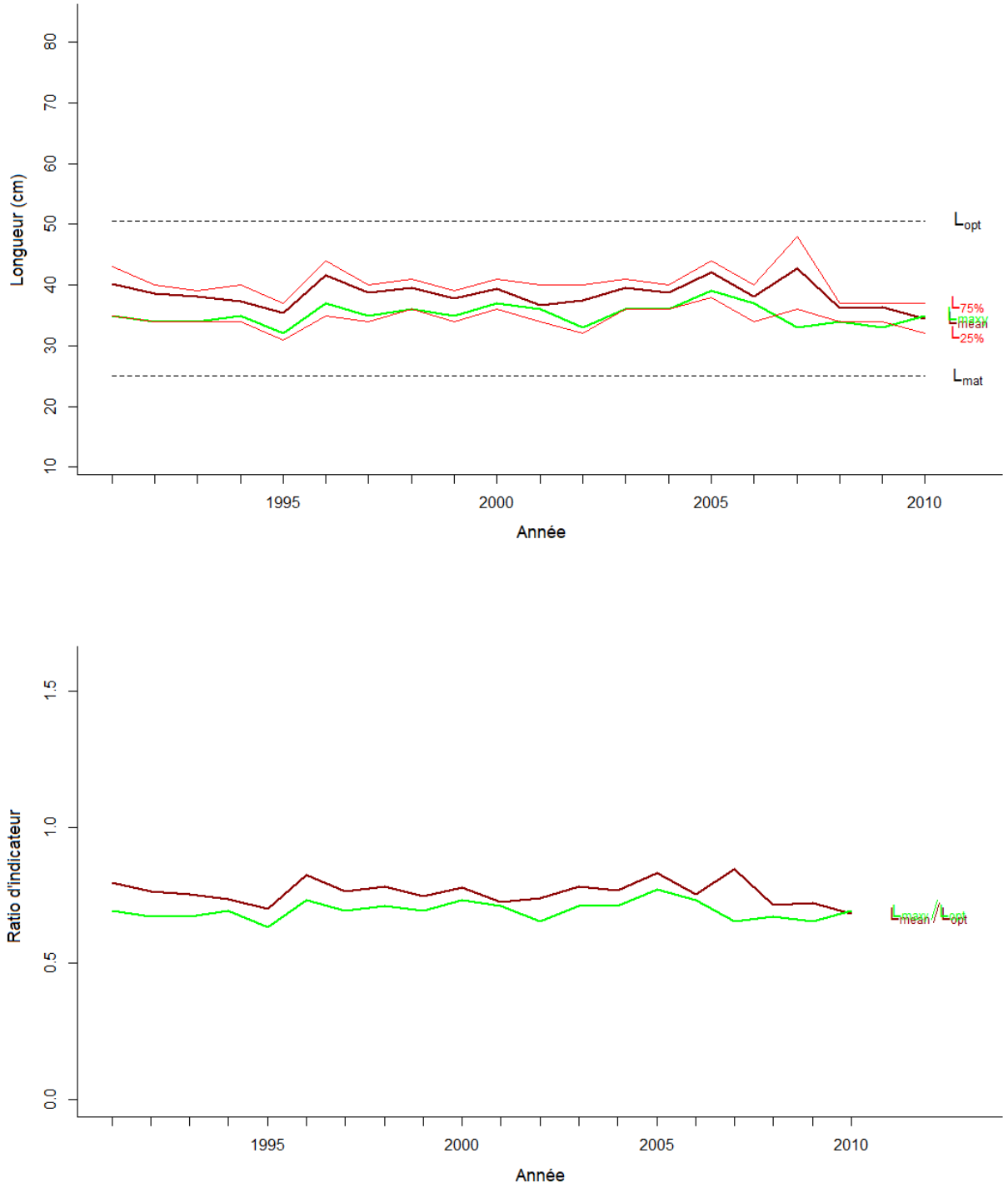

Figure A.3. Série temporelle des indicateurs du rendement optimal d'ICES (graphique du haut) et de leur ratio par rapport à des points de référence (graphique du bas) basée sur la longueur dans les prises commerciales de la plie canadienne dans la zone de pêche 4T de l'OPANO de 1991 à 2010.

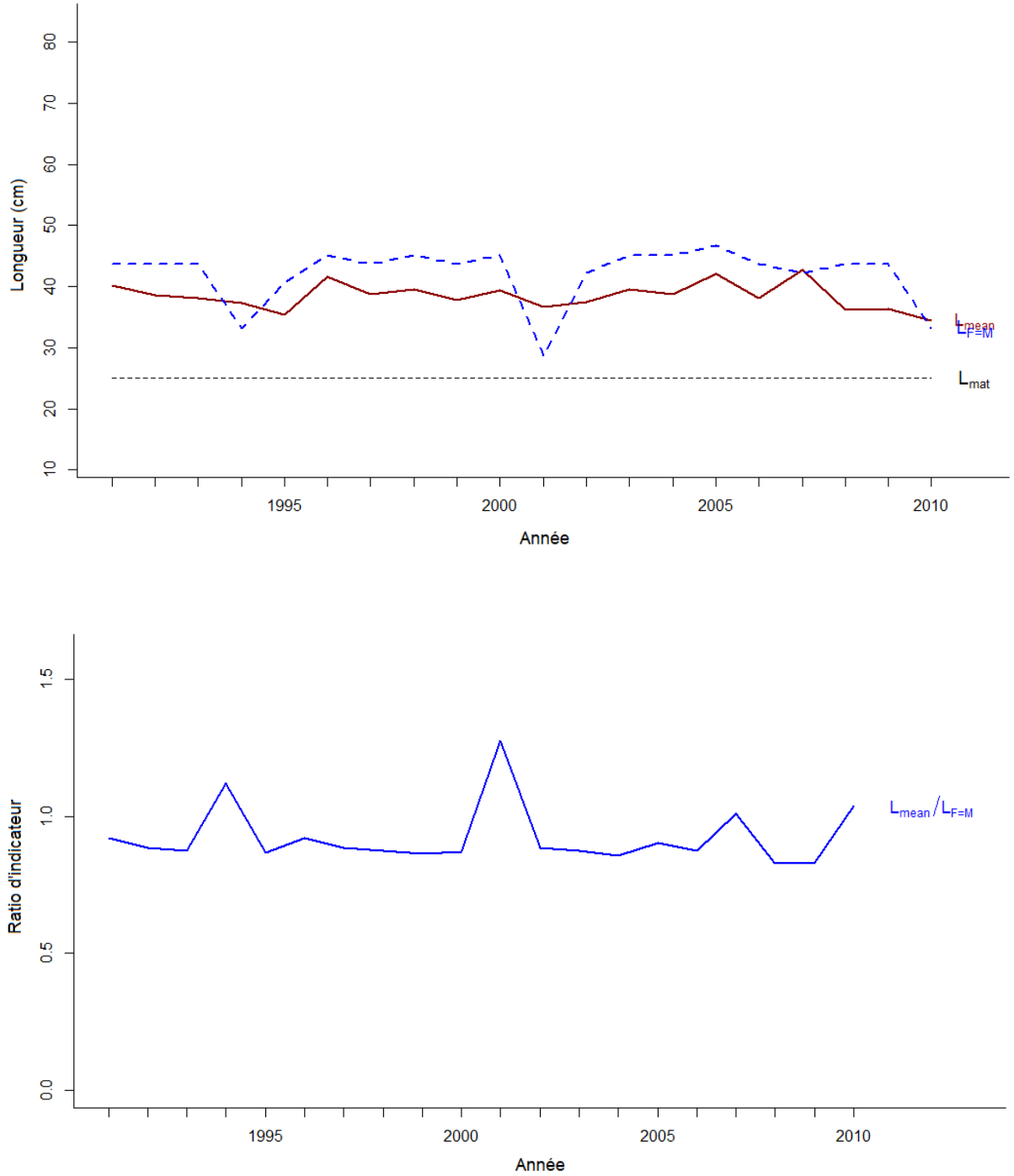

Figure A.4. Série temporelle des indicateurs du rendement maximal durable d'ICES (graphique du haut) et de leur ratio par rapport à des points de référence (graphique du bas) basée sur la longueur dans les prises commerciales de la plie canadienne dans la zone de pêche 4T de l'OPANO de 1991 à 2010.

Annexe 3. *Application de la méthode des tendances récentes et historiques avec les séries temporelles des débarquements commerciaux dans les zones de pêches 4R, 4S et 4T de l'OPANO et des poids moyens par unité d'effort (kg/trait) de flétan du Groenland dans les relevés scientifiques dans le nord du golfe du Saint-Laurent.*

Information requise :

- Série temporelle des prises commerciales ou série temporelle d'indices d'abondance.

Approche :

Utilise une droite de régression linéaire pour estimer un indicateur des tendances récentes et historiques observées dans les données de la pêche commerciale ou des relevés scientifiques.

Indicateur et/ou point de référence :

- Coefficient de régression dont la valeur indique la tendance observée au cours de la série temporelle sélectionnée (en augmentation, stable ou en diminution).

Supposition :

- Les valeurs d'indice d'abondance sont proportionnelles à l'abondance de la population et tous les individus récoltés à la pêche sont débarqués (aucune remise à l'eau).

Limite et source de biais :

- Il y a sous-estimation de l'abondance réelle de la population lorsque la quantité de remises à l'eau est importante et qu'elles ne sont pas signalées.

Exemple de résultats :

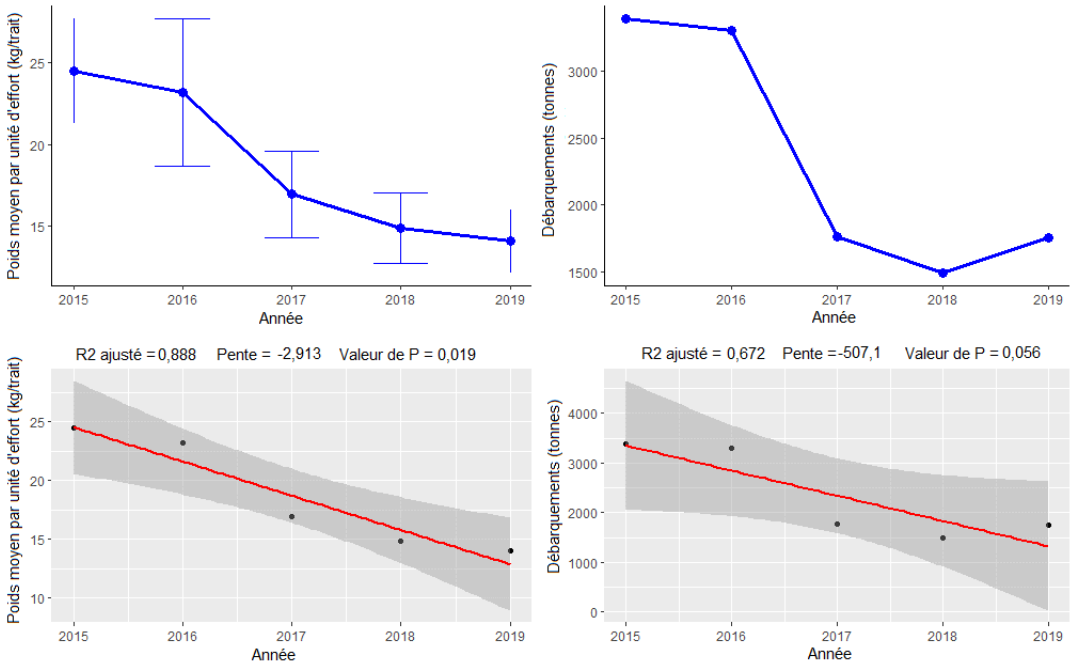

Figure A.5. Estimation des tendances temporelles récentes (graphiques du bas) observées de 2015 à 2019 dans les valeurs (graphiques du haut) du poids moyen (± IC 95%) par unité d'effort dans les relevés scientifiques (graphiques de gauche) et dans les débarquements commerciaux de flétan du Groenland (graphiques de droite).

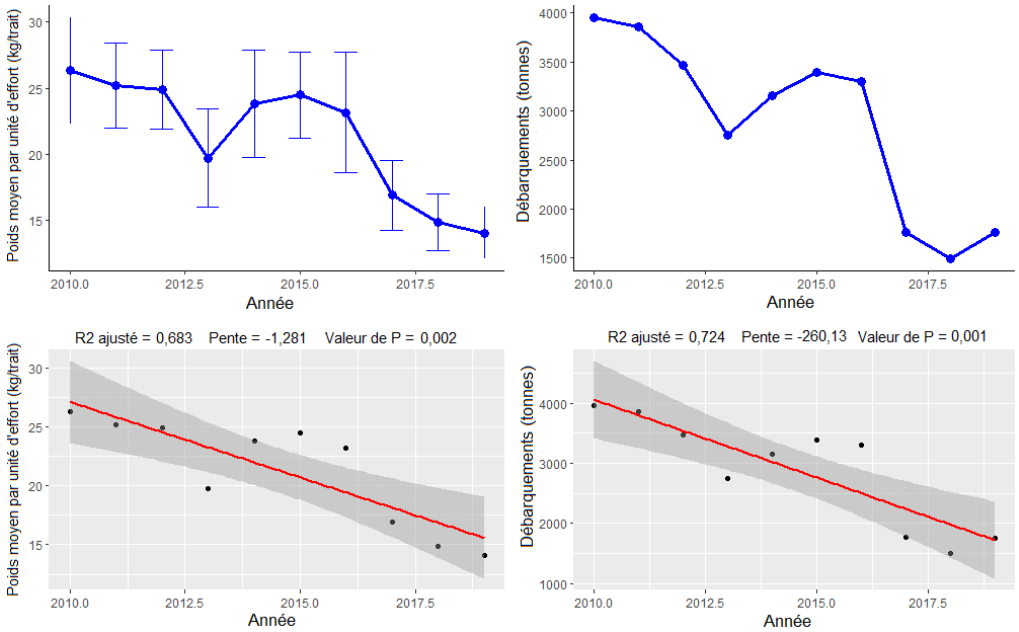

Figure A.6. Estimation des tendances temporelles récentes (graphiques du bas) observées de 2010 à 2019 dans les valeurs (graphiques du haut) du poids moyen (± IC 95%) par unité d'effort dans les relevés scientifiques (graphiques de gauche) et dans les débarquements commerciaux de flétan du Groenland (graphiques de droite).

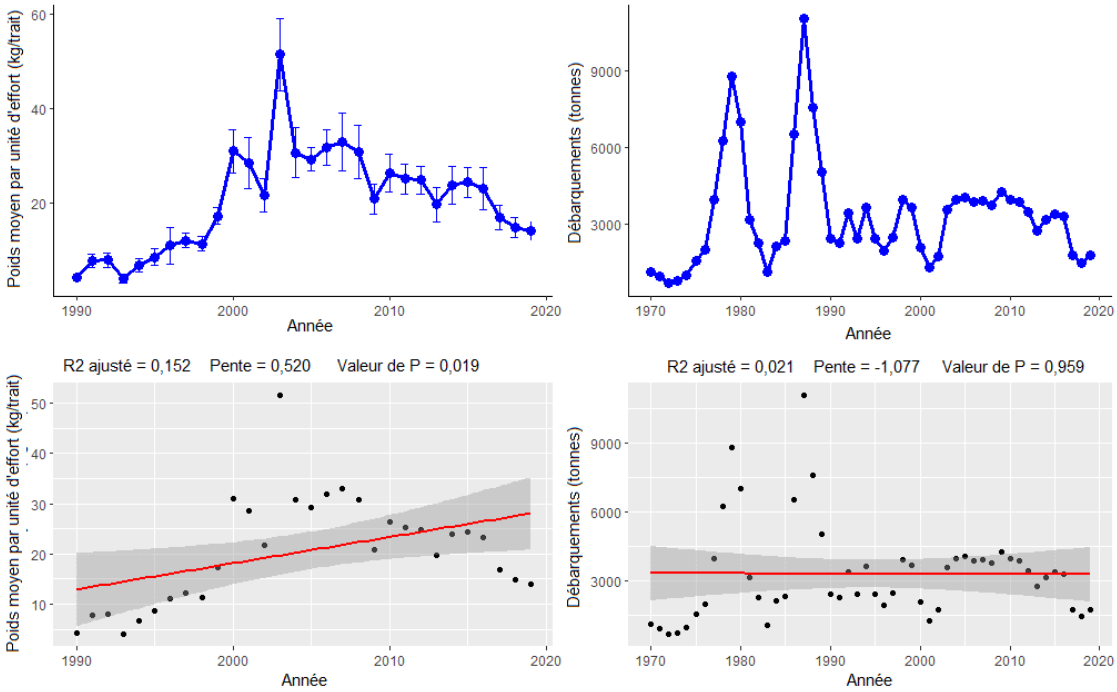

Figure A.7. Estimation des tendances temporelles historiques (graphiques du bas) observées dans les valeurs (graphiques du haut) du poids moyen (± IC 95%) par unité d'effort dans les relevés scientifiques de 1990 à 2019 (graphiques de gauche) et dans les débarquements commerciaux de flétan du Groenland de 1970 à 2019 (graphiques de droite).

Annexe 4. *Application de la méthode d'apprentissage par arbres de régression renforcée (ARR) avec la série temporelle des débarquements commerciaux de capelans dans les zones de pêche 4R, 4S et 4T de l'OPANO de 1975 à 2019.*

Information requise :

- Série temporelle des captures dans la pêche commerciale.

Approche :

Utilise la méthode d'apprentissage par arbres de régression renforcée pour paramétrer un modèle statistique qui tente d'estimer le niveau de saturation du stock (B/B_0) à partir de plusieurs variables explicatives dérivées des données de captures commerciales.

Indicateurs et/ou points de référence :

- Niveau de saturation du stock (1 - niveau d'appauvrissement);
- Ratio B/B_{RMD}.

Suppositions :

- B/B_{RMD} = Saturation x 2;
- Les captures commerciales représentent l'appauvrissement de la ressource;
- Le maximum de prélèvement par la pêche a été atteint.

Limite et source de biais :

- Ne convient pas aux pêches en développement ou qui démontrent un nombre croissant de captures commerciales.

Exemple de résultats :

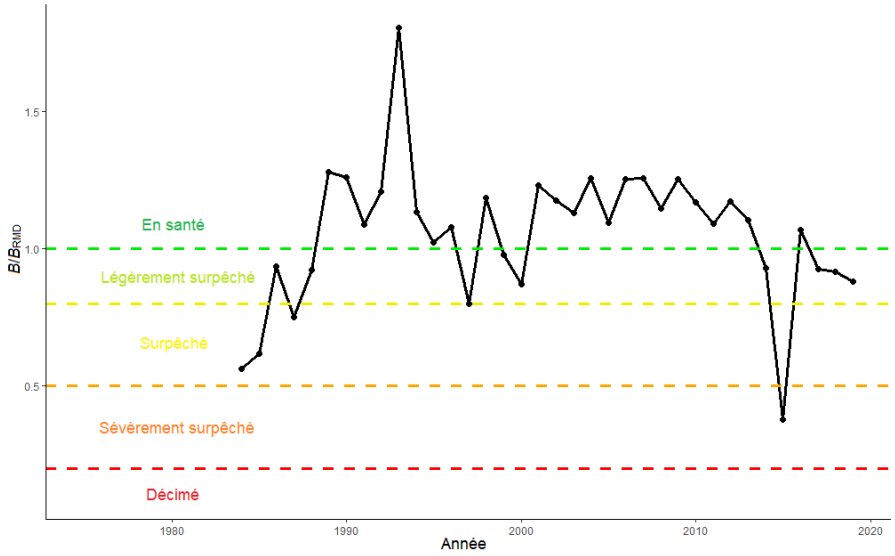

Figure A.8. Série temporelle du ratio de la biomasse du stock (B) et de la biomasse au rendement maximal durable (B_{RMD}) estimée par la méthode d'apprentissage par arbres de régression renforcée à partir des données sur les prises commerciales de capelans dans les zones de pêche 4R, 4S et 4T de l'OPANO de 1975 à 2019 et identification d'états prédéfinis du stock (en santé, légèrement surpêché, surpêché, sévèrement surpêché, décimé) selon les valeurs du ratio.

Annexe 5. *Application de la méthode de la moyenne des captures corrigées pour l'appauvrissement (DCAC) avec la série temporelle des débarquements commerciaux de flétans du Groenland dans les zones de pêche 4R, 4S et 4T de l'OPANO de 1970 à 2019.*

Informations requises :

- Série temporelle des captures dans la pêche commerciale;
- Taux de mortalité naturelle (M);
- Ratio F_{RMD}/M;
- Niveau d'appauvrissement du stock (B/B_0).

Approche :

Moyenne des captures commerciales corrigée par une méthode dérivée de Monte-Carlo à l'aide de probabilités de distribution du niveau d'appauvrissement actuel de la population, du taux de mortalité naturelle, du ratio F_{RMD}/M et B_{RMD}/B_0, pour estimer une distribution de valeurs du rendement maximal durable.

Indicateur et/ou point de référence :

- Quantité de captures commerciales soutenable à court terme.

Suppositions :

- Existence d'une quantité de captures anormalement élevées non soutenable;
- La tendance dans les captures commerciales reflète l'appauvrissement du stock.

Limites et sources de biais :

- Convient aux espèces dont la mortalité naturelle (M) est inférieure ou égale à 0,2;
- Sensible au niveau d'appauvrissement assumé de la population;
- Les valeurs du rendement maximal durable estimées sont plutôt conservatives.

Exemple de résultats :

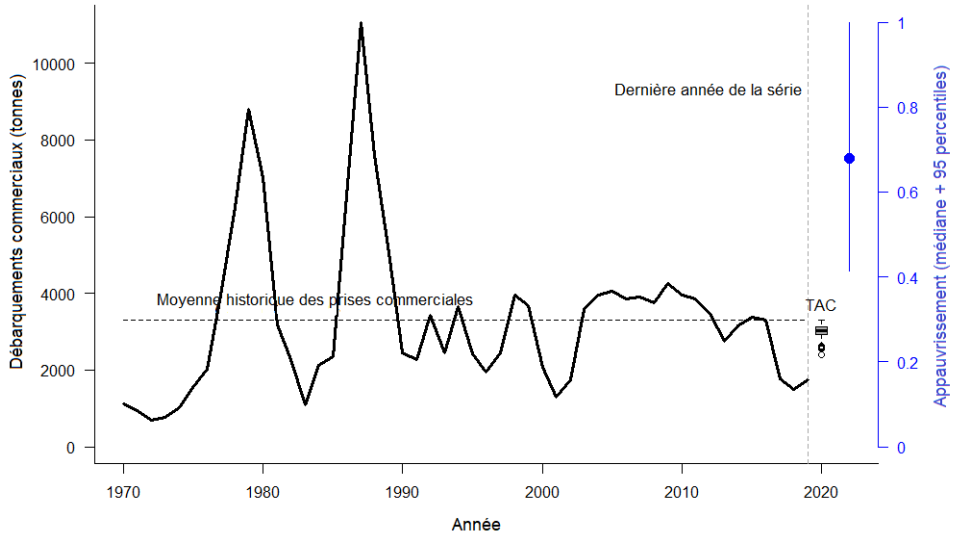

Figure A.9. Série temporelle des débarquements commerciaux de flétans du Groenland dans les zones de pêche 4R, 4S et 4T de l'OPANO de 1970 à 2019 (ligne pleine) et identification d'un proxy de la quantité de captures commerciales soutenables à court terme (ligne pointillée) avec la méthode de la moyenne des captures corrigées pour l'appauvrissement.

Annexe 6. *Application de la méthode du modèle optimisé basé uniquement sur les captures avec la série temporelle des débarquements commerciaux de flétans du Groenland dans les zones de pêche 4R, 4S et 4T de l'OPANO de 1970 à 2019.*

Informations requises :

- Série temporelle des captures dans la pêche commerciale;
- Taux de mortalité naturelle (*M*).

Approche :

Utilise une analyse de réduction de stock qui suit un modèle simple de surplus de production de Graham-Schaefer pour prédire des estimés de la biomasse (*B*) et des taux de mortalité par la pêche (*F*) en utilisant une série temporelle de captures commerciales et deux paramètres déterminés a priori, soit le taux de croissance intrinsèque de la population (*r*) dérivé de *M* et le niveau d'appauvrissement de la population basé sur les tendances dans les captures.

Indicateurs et/ou points de référence :

- Taux de croissance intrinsèque (*r*);
- Capacité de support limite théorique (*K*);
- Rendement maximal durable;
- Biomasse produisant le rendement maximal durable (B_{RMD});
- Taux de mortalité par la pêche produisant le rendement maximal durable (F_{RMD});
- Niveau d'appauvrissement du stock à la fin de la série temporelle.

Suppositions :

- Aucune migration dans ou hors du stock puisque les changements de biomasse résultent de la croissance (à partir de *r* et *K*) et de la pêche (*F*);
- La variabilité dans la distribution des âges/longueurs n'occasionne pas d'effet retardé dans la dynamique de la biomasse;
- Aucun changement dans les techniques de pêche (capturabilité constante);
- La croissance individuelle, le recrutement et la mortalité sont regroupés dans une seule équation de production simplifiée;
- La composition en âge et en longueur dans la population est stable dans le temps;
- La capturabilité utilisée pour obtenir un indice de biomasse est constante dans le temps.

Limites et sources de biais :

- Sous-estimation des valeurs de F_{RMD};
- Les effets des variations du recrutement et du taux de mortalité sont confondus;
- N'est pas en mesure de détecter les changements de régime de productivité.

Exemple de résultats :

Tableau A.1. Points de référence déterminés à partir de la méthode OCOM appliquée aux données des prises commerciales de flétans du Groenland dans les zones de pêche 4R, 4S et 4T de l'OPANO entre 1970 et 2019.

Point de référence	Moyenne	IC 95 %
B_{RMD} (tonnes)	23544	[11695; 63665]
F_{RMD}	0,148	[0,031; 0,408]

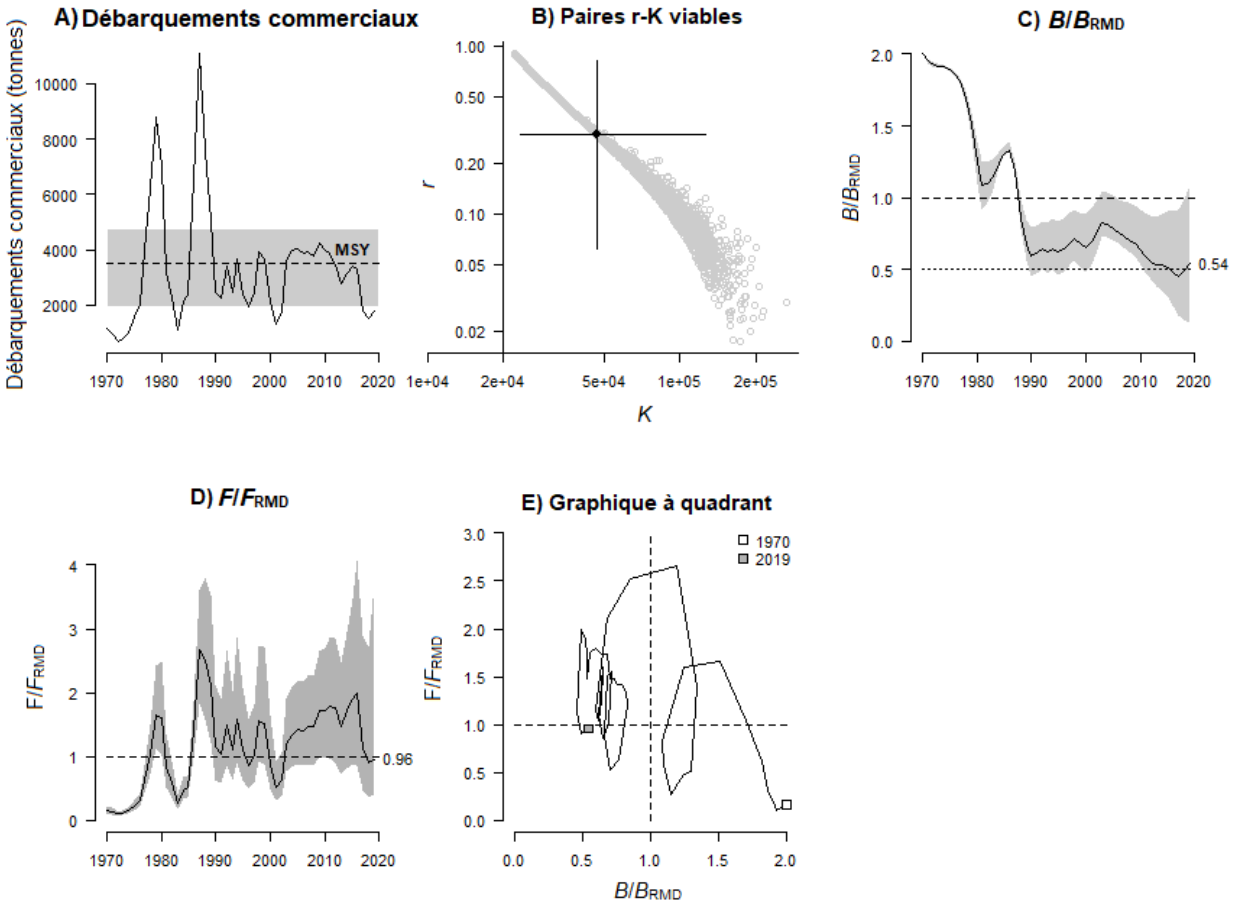

Figure A.10. Résultats graphiques obtenus avec la méthode OCOM appliquée aux prises commerciales de flétan du Groenland dans les zones de pêche 4R, 4S et 4T de l'OPANO de 1970 à 2019. A) Série temporelle des débarquements commerciaux et de la valeur moyenne du rendement maximal durable estimée (± IC 95%). B) Paires r-K viables servant à prédire la biomasse et qui peuvent expliquer les prises commerciales observées. C) Série temporelle du ratio de la valeur moyenne de biomasse prédite par le modèle (± IC95%) et de B_{RMD}. D) Série temporelle du ratio de la valeur moyenne du taux de mortalité par la pêche (F) prédite par le modèle (± IC95%) et de F_{RMD}. E) Graphique à quadrant démontrant la trajectoire du stock en relation avec les ratios F/F_{RMD} et B/B_{RMD}.

Annexe 7. *Application de la méthode CMSY avec la série temporelle des débarquements commerciaux de capelans dans les zones de pêche 4R, 4S et 4T de l'OPANO de 1975 à 2019.*

Informations requises :

- Série temporelle des captures dans la pêche commerciale;
- Série temporelle d'un indice d'abondance de la pêche commerciale ou de relevés scientifiques;
- Valeur qualitative de résilience de l'espèce (très faible, faible, moyen, élevé);
- Taux de croissance intrinsèque de la population (*r*) (optionnel si la valeur de résilience est connue);
- Capacité de support limite théorique (*K*) (optionnel si la valeur de résilience est connue).

Approche :

Détecte, à partir d'une simulation de Monte-Carlo, les combinaisons viables de *r-K* produisant des trajectoires de la biomasse de la population ayant pu supporter les captures commerciales observées et dont les valeurs prédites sont vérifiées à partir d'un modèle bayésien espace-état de surplus de production de Graham-Schaefer.

Indicateurs et/ou points de référence :

- Rendement maximal durable;
- Biomasse produisant le rendement maximal durable (B_{RMD});
- Taux de mortalité par la pêche produisant le rendement maximal durable (F_{RMD});
- Ratio B/B_{RMD} et F/F_{RMD}.

Suppositions :

- La valeur maximale des captures commerciales définit la limite inférieure de la capacité de support limite théorique (*K*);
- L'intervalle de valeurs utilisé pour *K* est obtenu en divisant le maximum des captures commerciales par les limites inférieure et supérieure du taux de croissance intrinsèque de la population;
- Le maximum des captures commerciales représente une plus grande proportion de *K* pour les populations substantiellement appauvries que celles légèrement appauvries;
- Aucune migration dans ou hors du stock puisque les changements de biomasse résultent de la croissance (à partir de *r* et *K*) et de la pêche (*F*);
- La variabilité dans la distribution des âges/longueurs n'occasionne pas d'effet retardé dans la dynamique de la biomasse;
- Aucun changement dans les techniques de pêche (capturabilité constante);
- La sélectivité dans la pêche peut prendre différentes formes tant qu'elle demeure constante dans le temps;
- La croissance individuelle, le recrutement et la mortalité sont regroupés dans une seule équation de production simplifiée;
- La composition en âge et en longueur dans la population est stable dans le temps;
- La capturabilité utilisée pour obtenir un indice de biomasse est constante dans le temps.

Limites et sources de biais :

- Il y a sous-estimation des valeurs du rendement maximal durable et de *K* si seulement les débarquements commerciaux sont utilisés (sans les remises à l'eau);
- Les points de référence estimés (B_{RMD} et F_{RMD}) sont sensibles au niveau d'appauvrissement et au taux de croissance intrinsèque déterminé a priori.

Exemple de résultats :

Tableau A.2. Points de référence déterminés à partir de la méthode CMSY appliquée aux données des prises commerciales de capelans dans les zones de pêche 4R, 4S et 4T de l'OPANO entre 1975 et 2019.

Point de référence	**Moyenne**	**IC 95 %**
B_{RMD} (tonnes)	30160	[24194; 35797]
F_{RMD}	0,252	[0,214; 0,297]

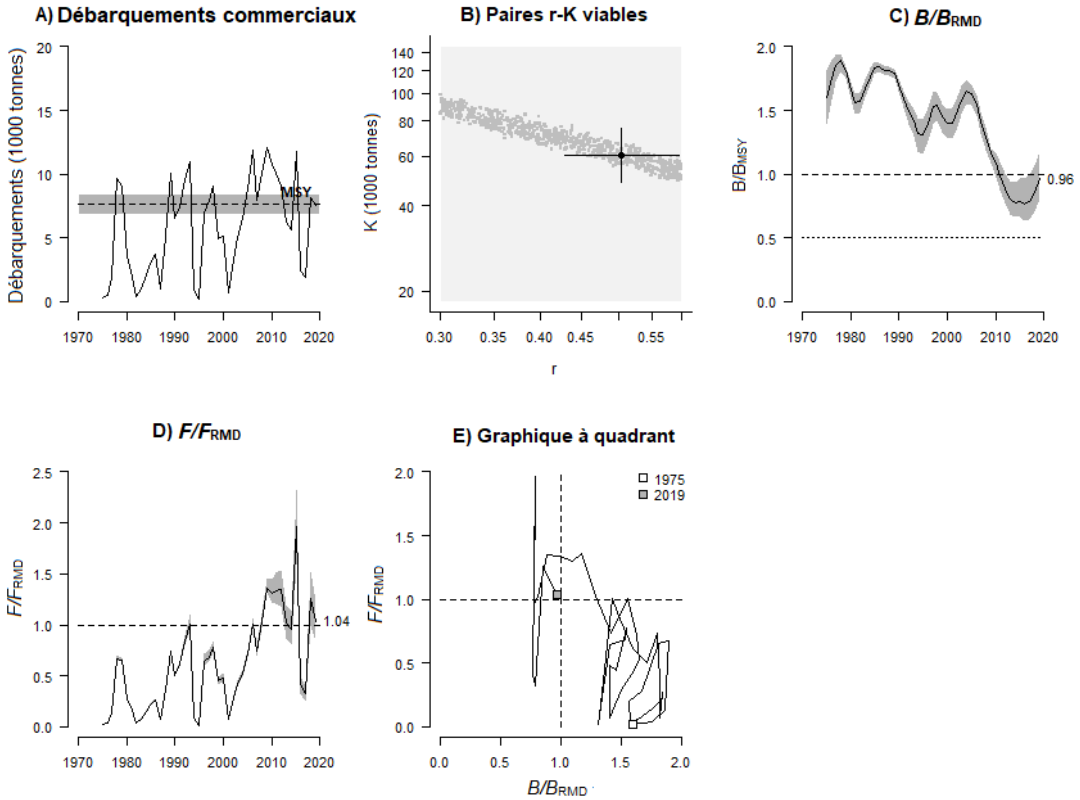

Figure A.11. Résultats graphiques obtenus avec la méthode CMSY appliquée aux débarquements commerciaux de capelans dans les zones de pêche 4R, 4S et 4T de l'OPANO de 1975 à 2019. A) Série temporelle des débarquements commerciaux et de la valeur moyenne du rendement maximal durable estimée (± IC 95%). B) Paires r-K viables servant à prédire la biomasse et qui peuvent supporter les prises commerciales observées. C) Série temporelle du ratio de la valeur moyenne de biomasse prédite par le modèle (± IC95%) et de B_{RMD}. D) Série temporelle du ratio de la valeur moyenne du taux de mortalité par la pêche (F) prédite par le modèle (± IC95%) et de F_{RMD}. E) Graphique à quadrant démontrant la trajectoire du stock en relation avec les ratios F/F_{RMD} et B/B_{RMD}.

Annexe 8. *Application de la méthode de l'approche bayésienne d'évaluation de la biomasse (JABBA) avec la série temporelle des prises commerciales de flétans Atlantique de 1960 à 2020 dans les zones de pêche 4R, 4S et 4T de l'OPANO, ainsi que les séries temporelles de poids moyens par unité d'effort estimés à partir des relevés scientifiques dans le nord (1990 à 2020) et le sud (1985 à 2020) du golfe du Saint-Laurent.*

Informations requises :

- Série temporelle des captures dans la pêche commerciale;
- Série temporelle d'un indice d'abondance de la pêche commerciale ou de relevés scientifiques;
- Taux de croissance intrinsèque de la population (r);
- Capacité de support limite théorique (K);
- Niveau d'appauvrissement du stock (B/B_0) au début de la série temporelle;
- Forme de la fonction de surplus de production (Schaefer, Pella-Tomlinson ou Fox).

Approche :

Ajustement d'un modèle espace-état généralisé de surplus de production de la biomasse pour obtenir des valeurs reproductibles de la santé du stock déterminées par une méthode bayésienne de Monte-Carlo par chaînes de Markov.

Indicateurs et/ou points de référence :

- Rendement maximal durable;
- Biomasse produisant le rendement maximal durable (B_{RMD});
- Taux de mortalité par la pêche produisant le rendement maximal durable (F_{RMD});
- Ratio B/B_{RMD} et F/F_{RMD}.

Suppositions :

- La relation stock reproducteur-recrutement suit une relation de Beverton-Holt;
- Il n'y a pas d'erreur d'observation dans les débarquements de la pêche commerciale;
- Aucune migration dans ou hors du stock puisque les changements de biomasse résultent de la croissance (à partir de r et K) et de la pêche (F);
- La variabilité dans la distribution des âges/longueurs n'occasionne pas d'effet retardé dans la dynamique de la biomasse;
- Aucun changement dans les techniques de pêche (capturabilité constante);
- La sélectivité dans la pêche peut prendre différentes formes tant qu'elle demeure constante dans le temps;
- La croissance individuelle, le recrutement et la mortalité sont regroupés dans une seule équation de production simplifiée;
- La composition en âge et en longueur dans la population est stable dans le temps;
- La capturabilité utilisée pour obtenir un indice de biomasse est constante dans le temps.

Limites et sources de biais :

- Ne considère pas l'incertitude annuelle associée aux erreurs d'observations dans les captures de la pêche commerciale;
- Utilise seulement les séries temporelles de captures continues sans année manquante.

Exemple de résultats :

Tableau A.3. Indicateurs de la santé du stock et points de référence déterminés à partir de la méthode JABBA appliquée aux données des débarquements commerciaux du flétan Atlantique dans les zones de pêche 4R, 4S et 4T de l'OPANO, ainsi que les séries temporelles de poids moyens par unité d'effort estimés à partir des relevés scientifiques dans le nord et le sud du golfe du Saint-Laurent.

Indicateurs et points de référence	**Moyenne**	**IC 95 %**
B_{RMD} (tonnes)	86472	[33007; 35797]
F_{RMD}	0,038	[0,022; 0,061]
B/B_{RMD}	1,79	[0,94; 2,60]
F/F_{RMD}	0,20	[0,05; 0,55]

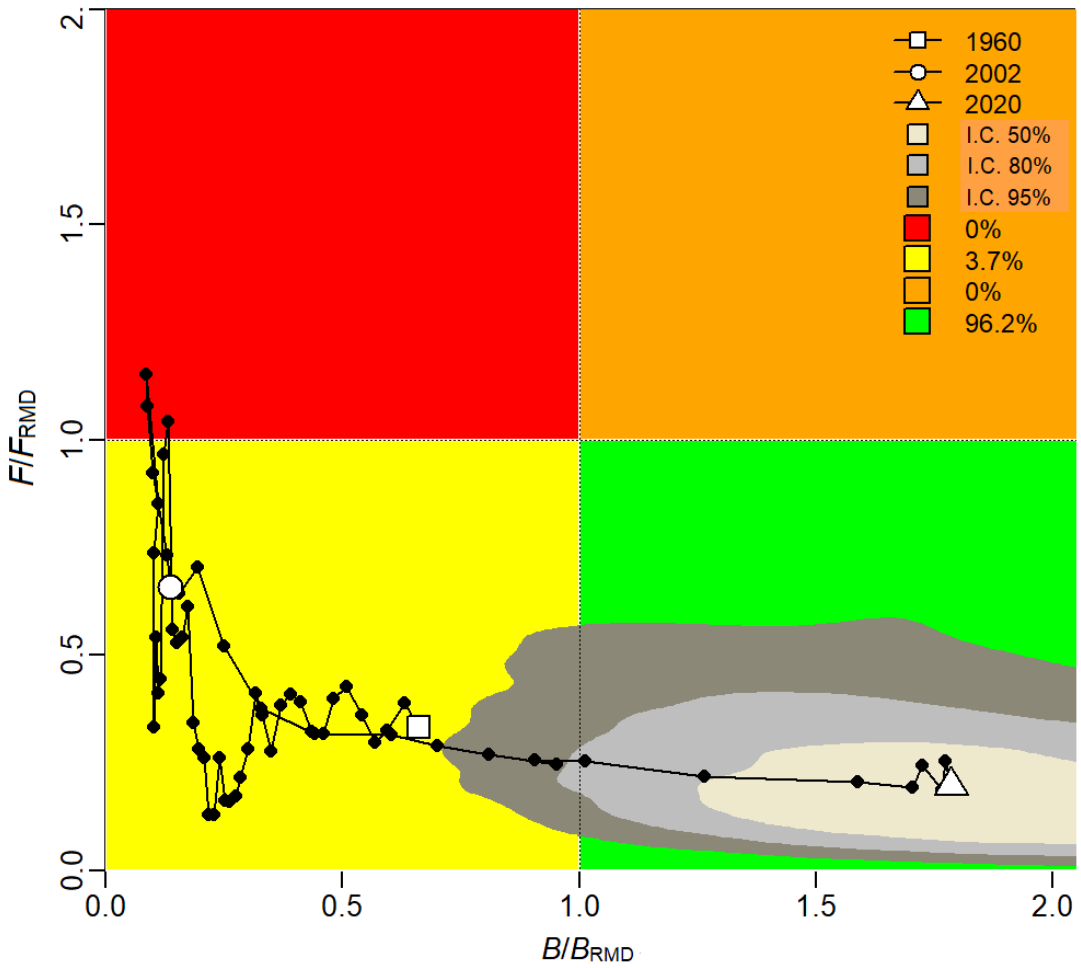

Figure A.12. Graphique à quadrant démontrant la trajectoire du stock de flétan Atlantique dans les zones de pêche 4R, 4S et 4T de l'OPANO entre 1960 à 2020 en relation avec les ratios F/F_{RMD} et B/B_{RMD}. Les zones grises représentent les intervalles de confiance à 50%, 80% et 95% pour la dernière année de la série temporelle (2020). La probabilité que le point de l'année terminale se trouve dans un des 4 quadrants est indiquée dans la légende de la figure.

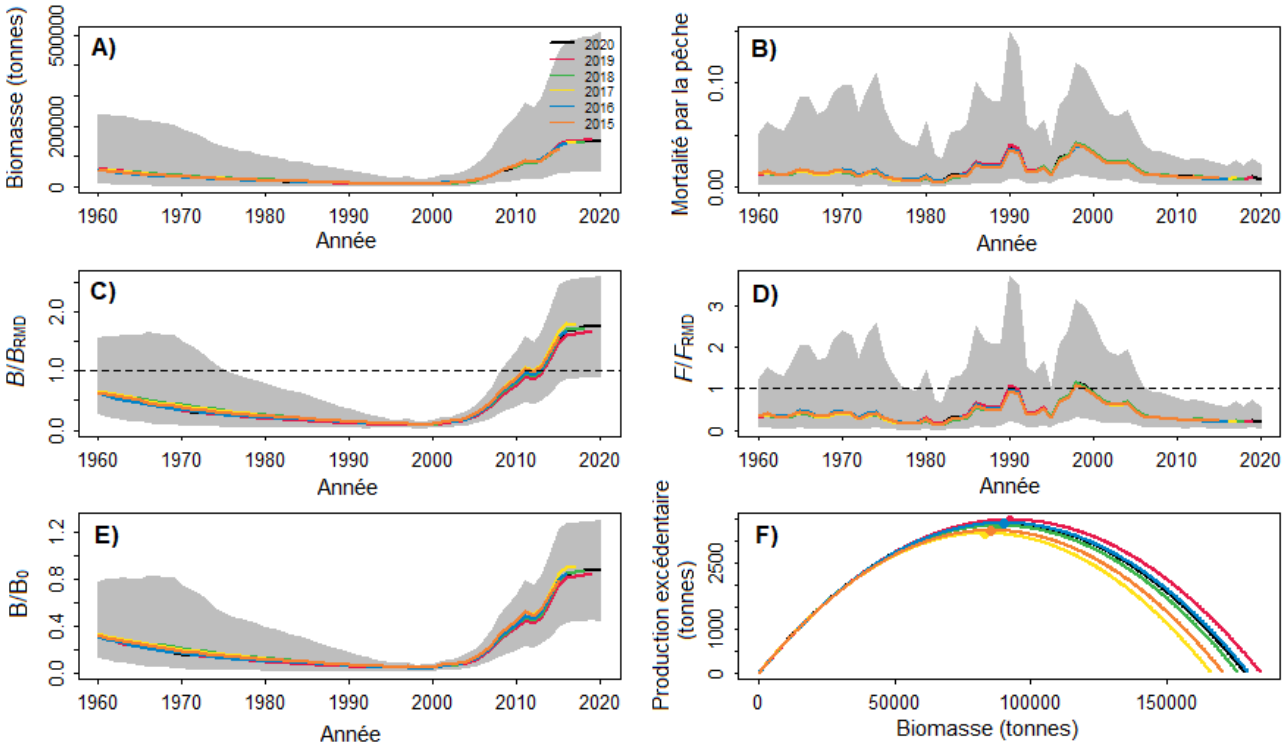

Figure A.13. Résultats de l'analyse rétrospective réalisée sur les séries temporelles de la trajectoire estimée par le modèle pour (A) la biomasse, (B) le taux de mortalité par la pêche, (C) le ratio B/B_{RMD}, (D) le ratio F/F_{RMD}, (E) le ratio B/B_0 et (F) la fonction qui décrit la production excédentaire en fonction de la biomasse du stock. Les zones en gris représentent les intervalles de confiance à 95%. La ligne noire représente le modèle de référence comprenant toutes les années et chaque ligne de couleur qui suit représente le retrait d'une année à chaque fois pour ajuster de nouveau le modèle de JABBA.

Annexe 9. *Application de la méthode du modèle stochastique de surplus de production en temps continu avec la série temporelle des débarquements commerciaux entre 1990 et 2019 de flétan du Groenland dans les zones de pêche 4R, 4S et 4T de l'OPANO.*

Informations requises :

- Série temporelle des captures dans la pêche commerciale;
- Série temporelle d'un indice d'abondance de la pêche commerciale ou de relevés scientifiques (optionnel).

Approche :

Ajustement d'un modèle état-espace de production excédentaire de la biomasse de Pella-Tomlinson qui incorpore les erreurs d'observation dans les captures commerciales et les indices d'abondance, ainsi que les erreurs de processus associées à la pêche et à la croissance de la population.

Indicateurs et/ou points de référence :

- Rendement maximal durable;
- Biomasse produisant le rendement maximal durable (B_{RMD});
- Taux de mortalité par la pêche produisant le rendement maximal durable (F_{RMD});
- B/B_{RMD};
- F/F_{RMD}.

Suppositions :

- Aucune migration dans ou hors du stock puisque les changements de biomasse résultent de la croissance (à partir de r et K) et de la pêche (F);
- La variabilité dans la distribution des âges/longueurs n'occasionne pas d'effet retardé dans la dynamique de la biomasse;
- Aucun changement dans les techniques de pêche (capturabilité constante);
- La sélectivité dans la pêche peut prendre différentes formes tant qu'elle demeure constante dans le temps;
- La croissance individuelle, le recrutement et la mortalité sont regroupés dans une seule équation de production simplifiée;
- La composition en âge et en longueur dans la population est stable dans le temps;
- La capturabilité utilisée pour obtenir un indice de biomasse est constante dans le temps.

Limites et sources de biais :

- La performance du modèle est meilleure en présence d'importants contrastes dans les données d'effort, de biomasse et de taux d'exploitation;
- Il est préférable de réduire le nombre de paramètres considérés dans le modèle lorsque les séries temporelles sont courtes ou qu'il y a peu de contraste dans les données.

Exemple de résultats :

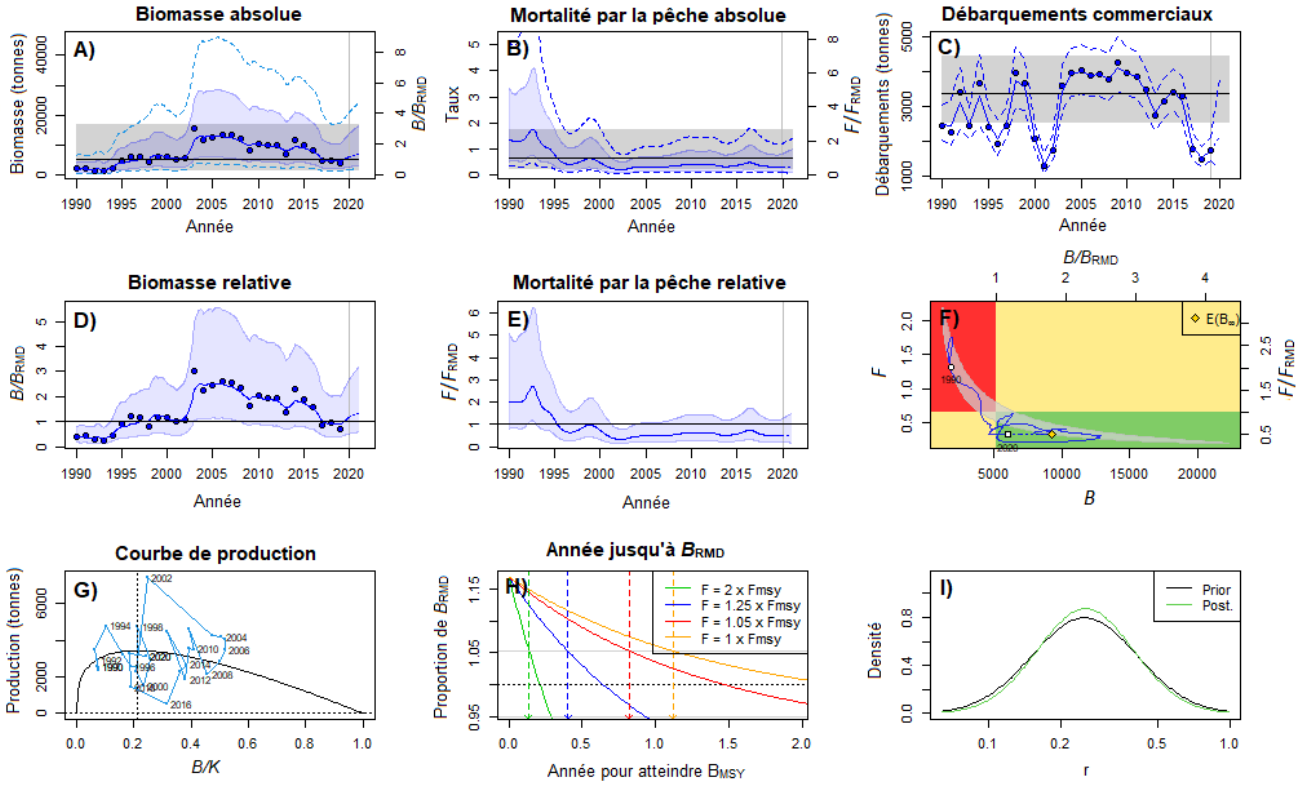

Figure A.14. Résultats graphiques obtenus avec la méthode SPiCT appliquée aux prises commerciales de flétans du Groenland dans les zones de pêche 4R, 4S et 4T de l'OPANO de 1990 à 2019 permettant de visualiser des séries temporelles A) de la biomasse prédite par le modèle (± IC95%), B) du taux absolu de mortalité par la pêche (± IC95%), C) des prises commerciales, D) du ratio B/B_{RMD} (± IC95%) et E) du ratio F/F_{RMD}. Les résultats graphiques présentent également F) un graphique à quadrant démontrant la trajectoire du stock de 1990 à 2019 en relation avec les ratios F/F_{RMD} et B/B_{RMD}, G) la fonction qui décrit la courbe de production excédentaire en fonction de la biomasse du stock (B/K), H) le temps nécessaire pour atteindre la valeur de B_{RMD} selon différents taux de mortalité par la pêche et I) les distributions de probabilité a priori et a posteriori pour le paramètre qui décrit le taux de croissance intrinsèque de la population (r).

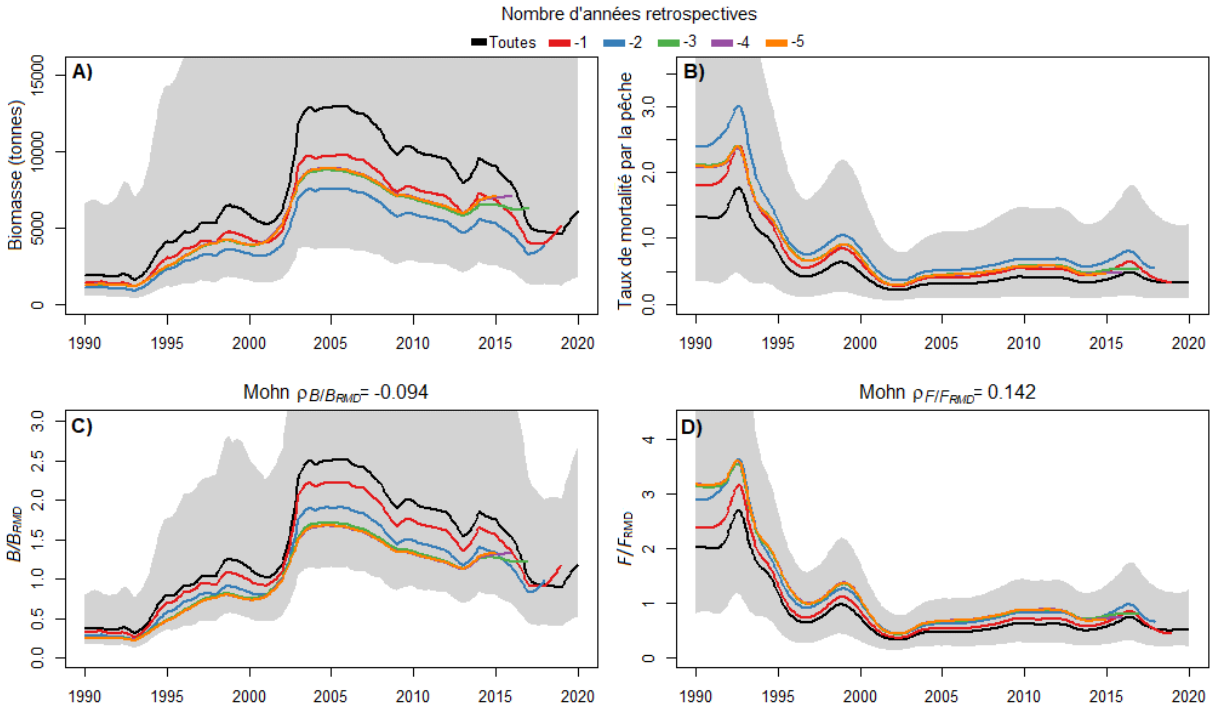

Figure A.15. Résultats de l'analyse rétrospective pour A) la biomasse, B) le taux de mortalité par la pêche, C) le ratio B/B_{RMD} et D) le ratio F/F_{RMD}. Les zones en gris représentent les intervalles de confiance à 95%. La ligne noire représente le modèle de référence comprenant toutes les années et chaque ligne de couleur représente le retrait supplémentaire d'une année pour réajuster le modèle de SPiCT. La valeur moyenne de Mohn est utilisée pour vérifier si les trajectoires prédites démontrent des patrons rétrospectifs.

Annexe 10. Application de la méthode d'estimation de mortalité totale basée sur la longueur moyenne avec les données de longueurs des plies canadiennes prélevées dans la pêche commerciale dans la zone de pêche 4T de l'OPANO entre 1991 et 2006.

Informations requises :

- Série temporelle des longueurs dans la pêche commerciale;
- Longueur asymptotique (L_{inf});
- Coefficient de croissance de von Bertalanffy (*k*).

Approche :

Utilise une approche du maximum de vraisemblance pour déterminer l'année et les valeurs de mortalités totales (*Z*) qui font en sorte que les longueurs moyennes prédites par une équation non équilibrée de Beverton-Holt correspondent le mieux à une série temporelle des longueurs dans la pêche et au changements importants dans la mortalité totale.

Indicateur et/ou point de référence :

- Taux instantané de mortalité totale (*Z*).

Suppositions :

- La population n'est pas à l'équilibre;
- Le recrutement est constant ou les variations sont faibles et n'affichent pas de tendance;
- La croissance individuelle est déterministe et suit une équation de von Bertalanffy;
- La sélectivité dans la pêche suit une distribution « knife-edge » vers la longueur à la première capture (L_c);
- Tous les individus qui ont au moins L_c sont pris dans la pêche.

Limites et sources de biais :

- Les effets des variations du recrutement et du taux de mortalité sont confondus;
- N'est pas appropriée si la sélectivité dans la pêche varie dans le temps;
- N'est pas appropriée pour les organismes qui ont une espérance de vie courte.

Exemple de résultats :

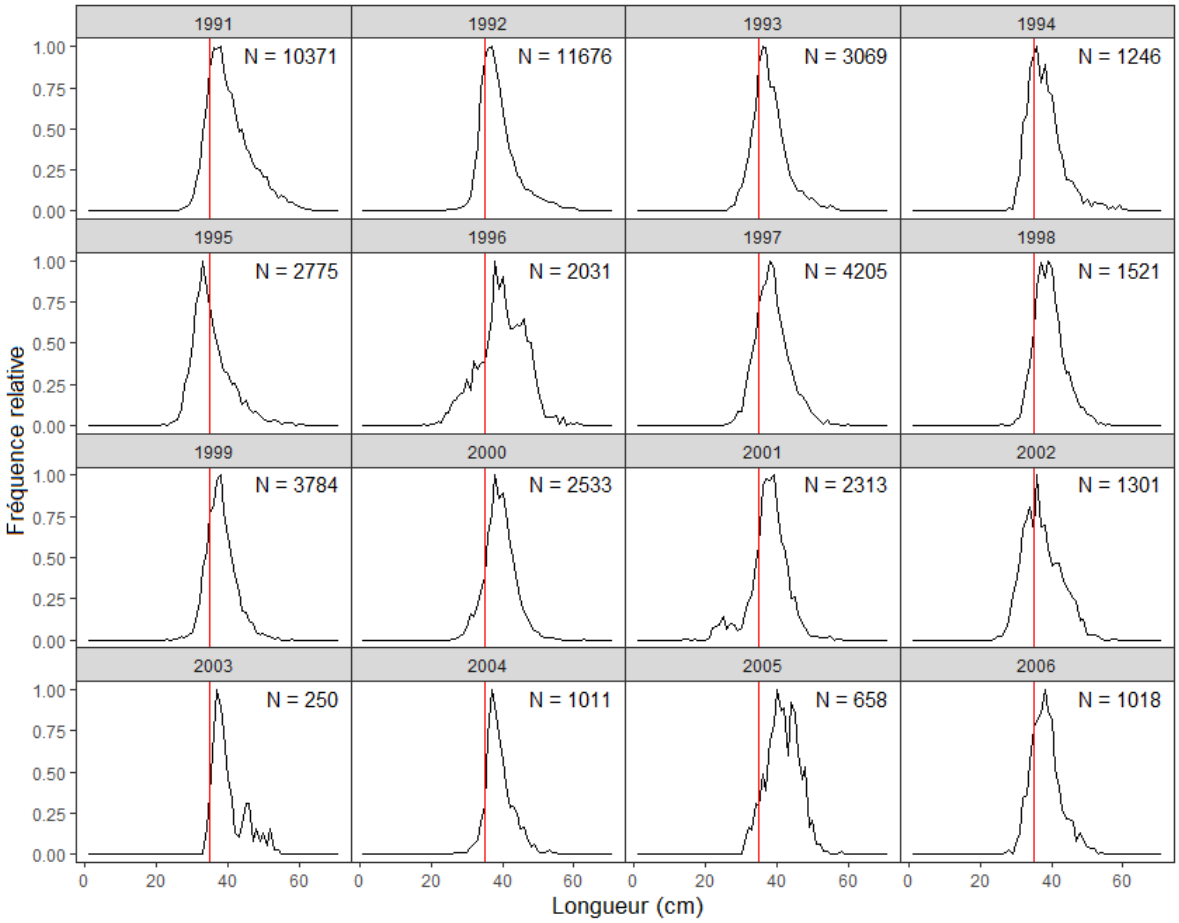

Figure A.16. Série temporelle des fréquences relatives de longueur des plies canadiennes échantillonnées dans la zone de pêche 4T de l'OPANO entre 1991 et 2006. La ligne rouge verticale représente la longueur à laquelle les individus sont pleinement sélectionnés dans la pêche (35 cm).

Tableau A.4. Variation du taux instantané de mortalité totale (Z) selon différents nombres de changements importants (point d'inflexion) dans la mortalité totale estimés à partir de la composition en longueur des plies canadiennes dans la pêche commerciale dans la zone de pêche 4T de l'OPANO entre 1991 et 2006.

Nombre de points d'inflexion	Périodes	Estimés de Z	Erreur type
0	1991-2006	0,432	0,020
1	1991-1994	0,391	0,028
	1994-2006	0,477	0,036
2	1991-1996	0,381	0,021
	1996-1997	1,203	1,463
	1997-2006	0,421	0,044

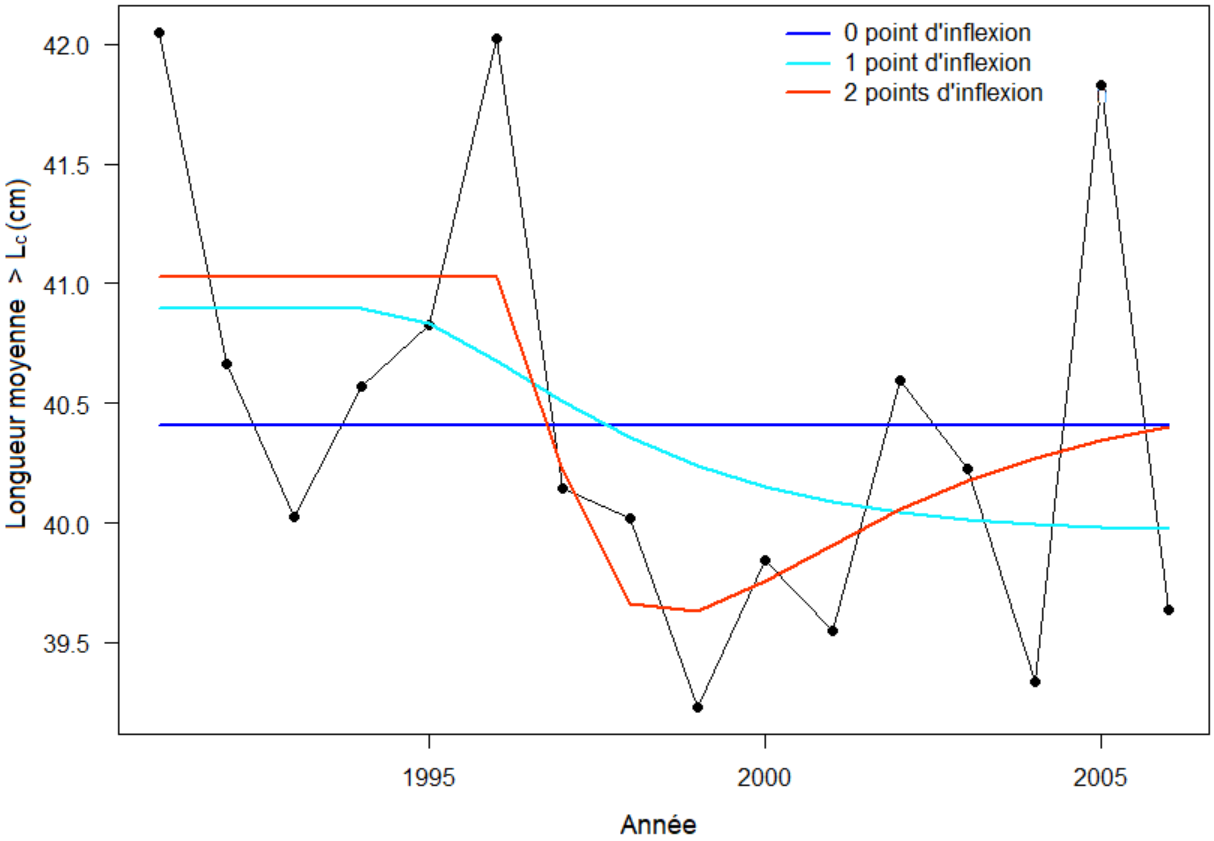

Figure A.17. Série temporelle de la longueur moyenne des plies canadiennes échantillonnées dans la zone de pêche 4T de l'OPANO entre 1991 et 2006 qui ont une longueur supérieure à L_c (35 cm). Les lignes pleines représentent les valeurs de longueurs moyennes prédites par une équation non équilibrée de Beverton-Holt qui correspondent le plus à la série de longueurs observées dans la pêche et à la mortalité totale avec aucun (bleu), 1 (rouge) ou 2 (turquoise) points d'inflexion dans les changements de valeurs de mortalité.

Annexe 11. *Application de la méthode du ratio du potentiel reproducteur basé sur la longueur (LB-SPR) avec la série temporelle des longueurs de la plie canadienne dans la pêche commerciale échantillonnées dans la zone de pêche 4T de l'OPANO entre 1991 et 2000.*

Informations requises :

- Série temporelle des longueurs dans la pêche commerciale;
- Longueur asymptotique (L_{inf});
- Coefficient de variation (CV) de L_{inf};
- Ratio de la mortalité naturelle sur le coefficient de croissance de von Bertalanffy (*M*/*k*);
- Longueur à maturité 50% et 95% (L_{m50} et L_{m95});
- Longueur à la première capture (L_c).

Approche :

Utilise d'abord les données de longueur situées dans la portion de la courbe de fréquence au-dessus de L_{m50} pour estimer la production en œufs correspondante en transformant les longueurs en valeurs de fécondité. Compare ensuite la production en oeufs pour différents niveaux de mortalité par la pêche avec celle obtenue en absence de pêche.

Indicateurs et/ou points de référence :

- Ratio du taux de mortalité par la pêche et de la mortalité naturelle (*F*/*M*);
- Sélectivité à l'âge;
- Ratio du potentiel reproducteur (SPR).

Suppositions :

- La population est à l'équilibre;
- Le recrutement, la mortalité naturelle et la croissance individuelle sont constants;
- Les longueurs dans la pêche représentent les longueurs dans la population;
- La maturité et la sélectivité dans la pêche ont une distribution dite « knife-edge » vers la longueur à maturité (L_m) et L_c respectivement.

Limites et sources de biais :

- Les résultats obtenus basés sur une population à l'équilibre ne représentent pas nécessairement la réalité étant donné les composantes stochastiques de l'environnement;
- Incertitude si la sélectivité dans la pêche n'est pas asymptotique;
- Procure des estimés imprécis lorsque la distribution des longueurs démontre plusieurs modes.

Exemple de résultats :

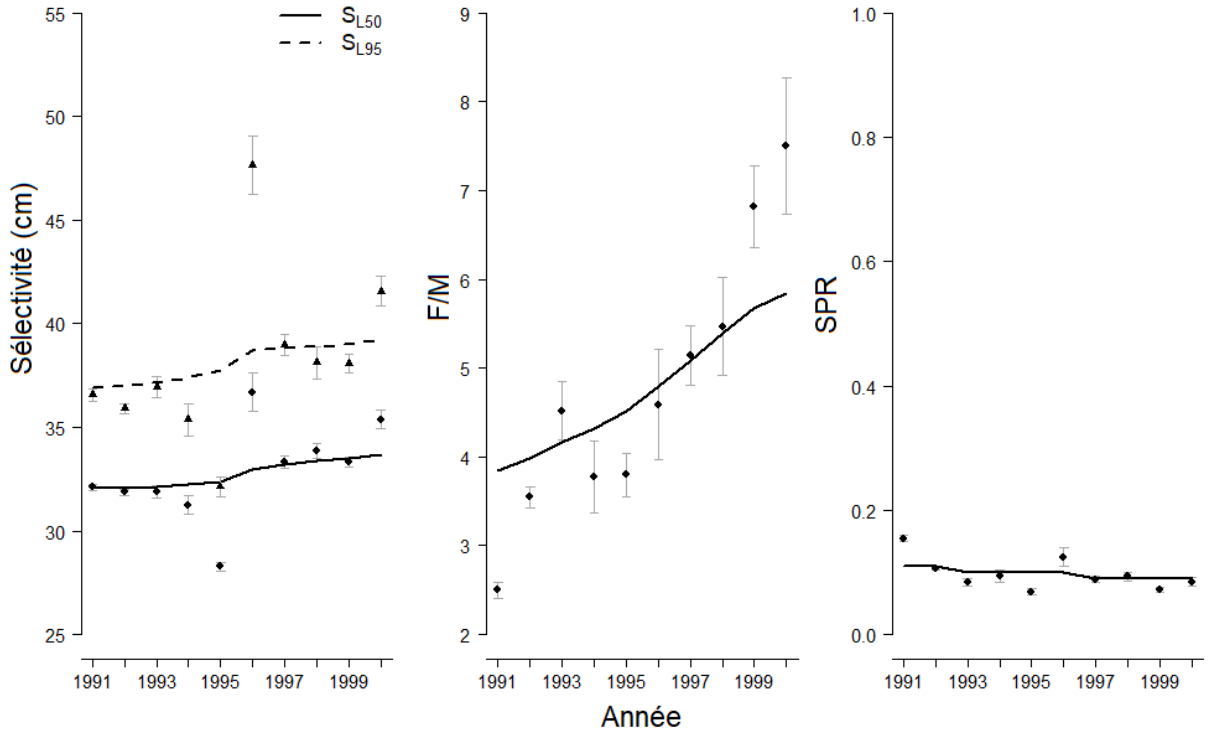

Figure A.18. Séries temporelles des variables estimées pour la sélectivité, le ratio F/M et le ratio du potentiel reproducteur (SPR) à partir de la méthode LB-SPR appliquée aux données de longueurs de la plie canadienne dans les prises commerciales de la zone de pêche 4T de l'OPANO entre 1991 et 2000. Les points représentent les valeurs moyennes (± IC95%) de sélectivité, du ratio F/M et du SPR estimés à partir des données de longueurs dans la pêche commerciale. Les lignes représentent les valeurs prédites pour ces trois variables à partir du modèle employé par la méthode LB-SPR.

Annexe 12. *Application de la méthode d'intégration des effets mixtes basée sur la longueur (LIME) avec la série temporelle des longueurs des plies canadiennes dans la pêche commerciale échantillonnées dans la zone de pêche 4T de l'OPANO entre 1993 et 2006.*

Informations requises :

- Une ou plusieurs années de composition en longueur dans la pêche commerciale;
- Relation longueur-poids;
- Mortalité naturelle (*M*);
- Longueur à 50% d'individus matures;
- Série temporelle des captures commerciales (optionnel);
- Série temporelle d'un indice d'abondance de la pêche commerciale ou de relevés scientifiques (optionnel).

Approche :

Utilise un modèle à effet mixte de dynamique de population structuré en âge pour estimer les variations aléatoires dans le recrutement, la mortalité par la pêche et l'erreur d'observation dans l'échantillonnage des longueurs, ainsi que l'amplitude de la variation aléatoire de ces différents processus.

Indicateurs et/ou points de référence :

- Taux de mortalité annuel par la pêche (*F*);
- Longueur à 50% et 95% de sélectivité dans la pêche;
- Ratio du potentiel reproducteur (SPR);
- Biomasse produisant le rendement maximal durable (B_{RMD});
- Taux de mortalité par la pêche produisant le rendement maximal durable (F_{RMD}).

Suppositions :

- La population n'est pas à l'équilibre;
- Le recrutement annuel est traité comme un effet aléatoire du modèle;
- Les longueurs dans la pêche représentent les longueurs dans la population.

Limites et sources de biais :

- Inappropriée si seulement une année de longueur est utilisée pour évaluer une espèce avec une espérance de vie élevée;
- La performance du modèle est augmentée pour les espèces à courte et moyenne durée de vie lorsqu'au moins 10 années de données de longueurs sont disponibles.

Exemple de résultats :

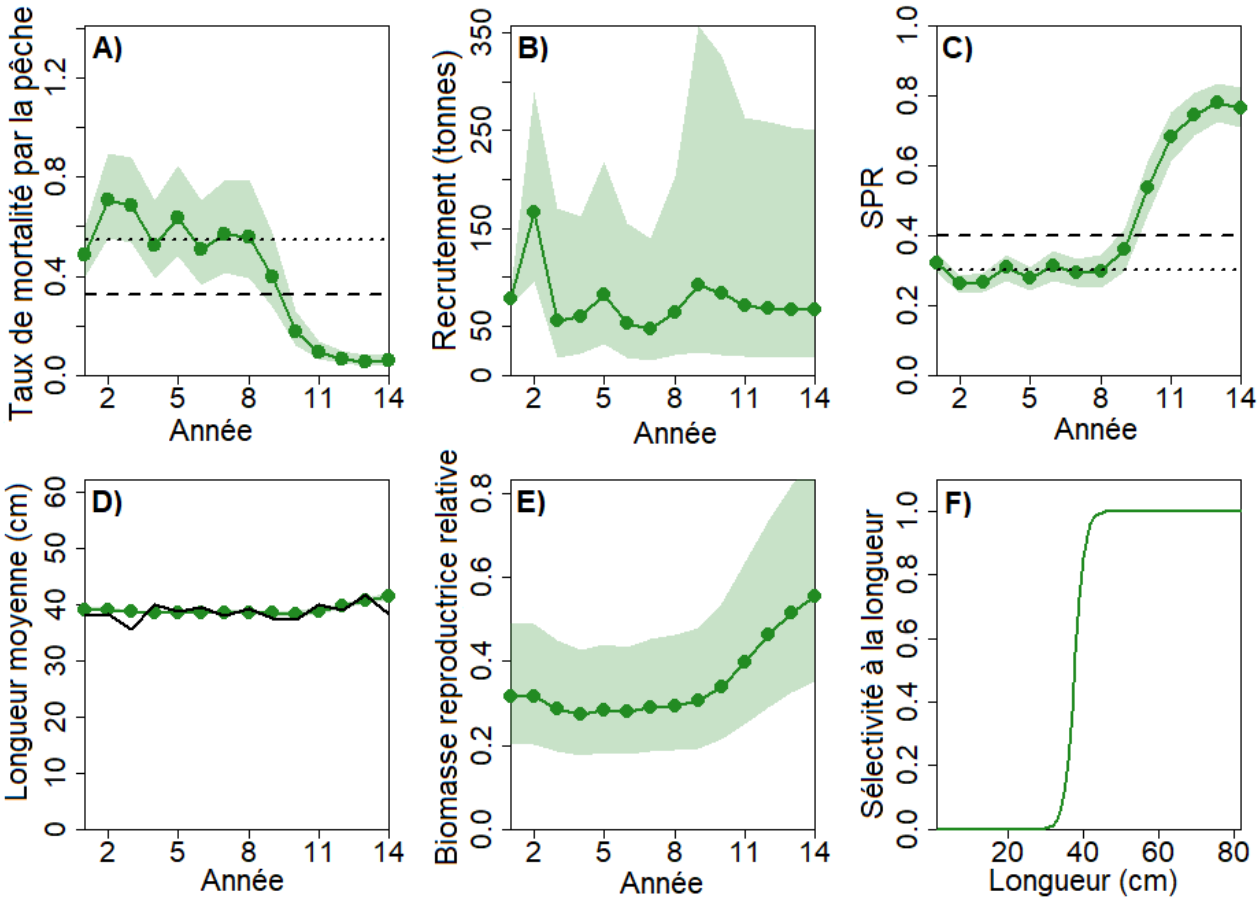

Figure A.19. Séries temporelles des valeurs moyennes (ligne pleine) et des IC95% (zone vert pâle) estimées à partir la méthode LIME appliquée aux données de longueurs de la plie canadienne dans les captures commerciales de la zone de pêche 4T de l'OPANO entre 1993 et 2006 pour A) la mortalité par la pêche, B) le recrutement, C) le ratio du potentiel reproducteur (SPR), D) la longueur moyenne et E) la biomasse relative du stock reproducteur. Les lignes pointillées dans les figures A et C représentent les points de référence supérieur et limite. F) Sélectivité à la longueur résultant des informations définies à priori (Longueur à 50% et 95% de sélectivité dans la pêche) et utilisées pour paramétrer le modèle employé avec la méthode LIME.

Annexe 13. *Application de la méthode d'estimation bayésienne de la biomasse basée sur la longueur (LBB) avec la série temporelle des longueurs de la plie canadienne dans la pêche commerciale échantillonnées dans la zone de pêche 4T de l'OPANO entre 1991 et 2006.*

Informations requises :

- Série temporelle des longueurs dans la pêche commerciale;
- Longueur asymptotique (L_{inf});
- Longueur à 50% d'individus matures;
- Ratio de la mortalité naturelle sur le coefficient de croissance de von Bertalanffy (M/k).

Approche :

Utilise une méthode bayésienne de Monte-Carlo par chaînes de Markov pour dériver des distributions de probabilités pour les paramètres L_{inf}, M/k, F/k et L_c qui servent à ajuster une équation simplifiée de la dynamique de la biomasse.

Indicateur et/ou point de référence :

- Taux de Longueur asymptotique (L_{inf});
- Longueur à la première capture (L_c);
- Longueur à la première capture qui permet le rendement maximal durable (L_{c_opt});
- Taux relatif de mortalité naturelle (M/k) et par la pêche (F/k);
- Ratio B/B_0 et B/B_{RMD};
- Rendement par recrue.

Suppositions :

- La croissance en longueur est obtenue à partir de l'équation de croissance de von Bertalanffy avec une forme de Beverton-Holt;
- La population est à l'équilibre;
- La mortalité, la croissance et le recrutement dans la population varient autour des valeurs moyennes dans les différentes classes d'âge;
- Les longueurs dans la pêche représentent les longueurs dans la population.

Limites et sources de biais :

- Inappropriée si la variabilité interannuelle dans le recrutement est importante;
- Inappropriée si les différents engins de pêche présentent une sélectivité variable.

Exemple de résultats :

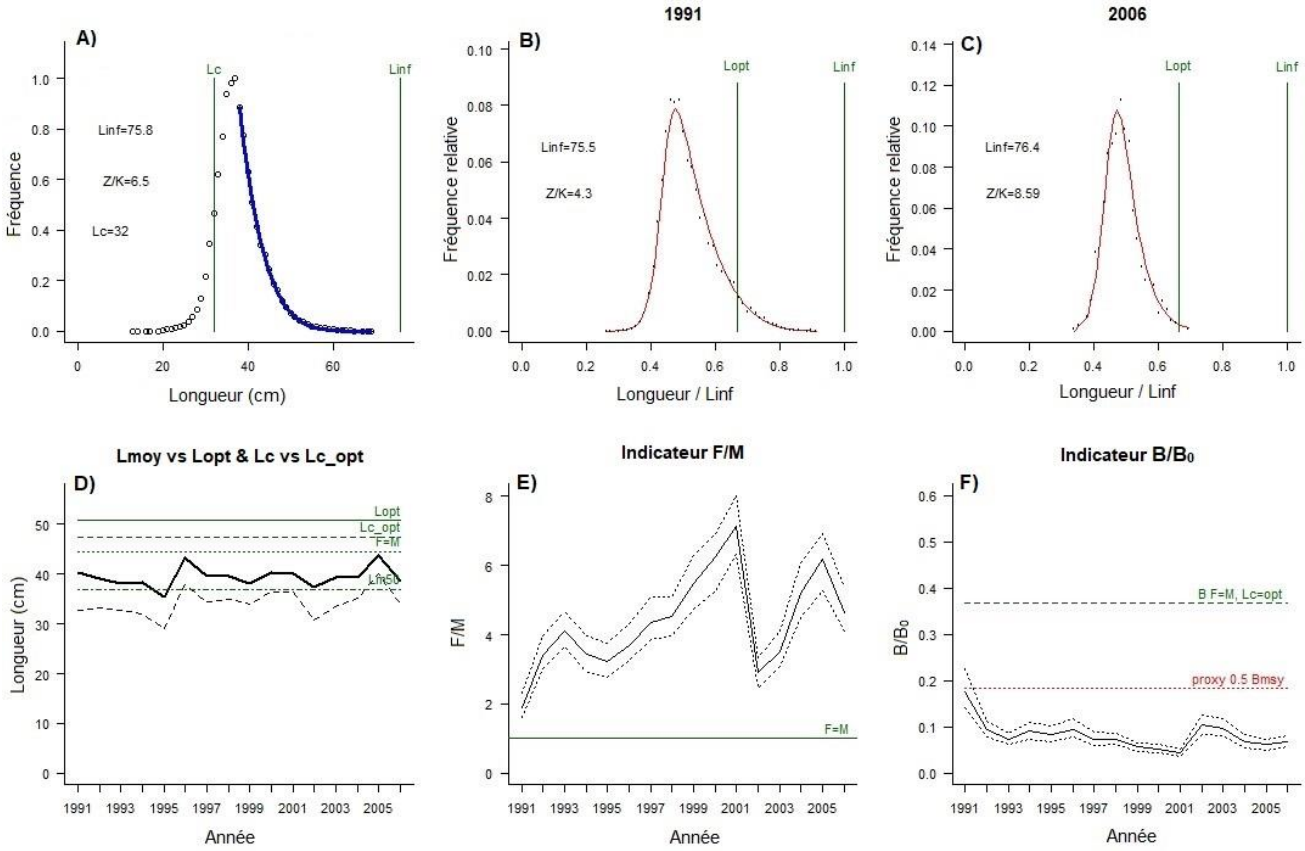

Figure A.20. Résultats graphiques obtenus suite à l'application de la méthode LBB aux données de longueurs des plies canadiennes dans la pêche commerciale échantillonnées dans la zone de pêche 4T de l'OPANO entre 1991 et 2006. A) Données cumulées de LF utilisées pour estimer les valeurs des paramètres a priori L_c, L_{inf} et Z/k. B) Données de LF disponibles pour la première (1991) et C) la dernière année (2006) de la série temporelle. La ligne rouge dans ces deux graphiques représente la courbe d'ajustement de l'équation servant à estimer les paramètres Z/k, M/k, F/k, L_c et L_{inf}. L_{opt} est calculée à partir de L_{inf} et de M/k, et constitue un point de référence. D) Série temporelle des valeurs de longueur moyenne (L_{moy}) par rapport aux points de référence L_{opt} et L_c (courbe noire pointillée). E) Série temporelle du taux relatif de mortalité par la pêche F/M (courbe pleine) et des intervalles de confiance à 95% (courbes pointillées) par rapport au point de référence où la mortalité par la pêche est égale à la mortalité naturelle (F=M). F) Série temporelle de la biomasse relative B/B_0 (courbe pleine) et des intervalles de confiance à 95% (courbes pointillées) par rapport aux points de référence qui représentent un proxy de B_{RMD} (ligne verte pointillée) et 0,5 x B_{RMD} (ligne rouge pointillée).