



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS)

Document de recherche 2025/019

Région de Terre-Neuve-et-Labrador

Extension du modèle d'évaluation du stock de morue du Nord (*Gadus morhua*) - Partie III : Révision du point de référence limite

Paul M. Regular

Pêches et Océans Canada
Centre des pêches de l'Atlantique nord-ouest
St. John's, Terre-Neuve-et-Labrador, Canada

Avant-propos

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

Publié par :

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

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



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

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

ISSN 2292-4272

ISBN 978-0-660-76355-2 N° cat. Fs70-5/2025-019F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Regular, P.M. 2025. Extension du modèle d'évaluation du stock de morue du Nord (*Gadus morhua*) - Partie III : Révision du point de référence limite. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2025/019. iv + 5 p.

Also available in English :

Regular, P.M. 2025. *Extending the Northern Cod (Gadus morhua) Assessment Model - Part III: Revisiting the Limit Reference Point.* DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2025/019. iv + 5 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	iv
DISCUSSION.....	1
REMERCIEMENTS	4
RÉFÉRENCES CITÉES.....	4

RÉSUMÉ

Dans le cadre de l'approche de précaution (AP) canadienne en matière de gestion des pêches, un point de référence limite (PRL) est défini comme l'état du stock en dessous duquel des dommages graves se produisent. Depuis 2010, le PRL pour la morue du Nord a été défini comme la biomasse du stock reproducteur (BSR) moyenne des années 1980, car c'est la dernière fois que des niveaux modérés de recrutement ont été observés. Cette définition a été officiellement revue à l'aide de la relation stock-recrutement de Beverton-Holt en calculant le niveau de la BSR qui produit 50 % du recrutement maximal prévu. Les solutions de rechange potentielles basées sur le rendement maximal durable (RMD) sont également envisagées, et les limites des points de référence basés sur le recrutement et le RMD sont abordées dans cet article de perspective. En bref, la pertinence d'un PRL basé sur le RMD est remise en question pour la morue du Nord, car les estimations sont sensibles aux changements dans les indices vitaux et la sélectivité des pêches, qui ont tous deux connu des changements importants au fil du temps depuis 1954. Je pense que les estimations du RMD pourraient être plus appropriées pour fournir des conseils tactiques et écosystémiques. En fin de compte, il est recommandé de continuer à utiliser le PRL fondé sur le recrutement, car il devrait être supérieur au point où les taux de recrutement sont affaiblis et où l'anticompensation ou la disparition du pays est préoccupante.

DISCUSSION

La politique de l'approche de précaution (AP) du Canada définit un point de référence limite (PRL) comme « l'état d'un stock au-dessous duquel ce dernier risque de subir de graves dommages » (MPO 2009). La signification précise de graves dommages n'est toutefois pas définie. Il a souvent été interprété comme le point en dessous duquel le recrutement est gravement altéré, et l'action de pêcher un stock en dessous de cette limite est souvent considérée comme une surpêche du potentiel reproducteur (MPO 2015). Le PRL actuel de la morue du Nord est fondé sur ce concept, car il est défini comme la biomasse du stock reproducteur (BSR) moyenne des années 1980, qui est la dernière fois qu'un bon recrutement a été observé (DFO 2010, MPO 2019). Les termes « bon » ou « moyen » sont des énoncés relatifs fondés sur des comparaisons avec les estimations de recrutement des années 1960, qui ont été jugées élevées et près des niveaux maximaux de recrutement. Le modèle d'évaluation décrit à la partie I (Regular *et al.*, 2025a) et la partie II (Regular *et al.*, 2025b) estime la BSR et le recrutement depuis 1954 et, à ce titre, offre l'occasion de revoir le PRL pour la morue du Nord.

L'application d'une relation de recrutement du stock de Beverton-Holt est expressément recommandée dans la partie I. Cette relation permet d'estimer le niveau de BSR qui produit des niveaux moyens de recrutement (c.-à-d. BSR qui produit 50 % du recrutement maximal prévu, qui est simplement l'inverse du paramètre de Beverton-Holt β ; Myers *et al.* 1994). Le modèle d'évaluation proposé fournit donc un calcul plus formel du PRL actuel pour la morue du Nord. Cela dit, l'application d'une relation de Beverton-Holt permet également d'estimer les points de référence fondés sur le rendement maximal durable (RMD), qui peuvent être considérés comme supérieurs aux points de référence basés sur le recrutement, car ils tiennent compte des deux sources de productivité : recrues par géniteurs et géniteurs par recrue (DFO 2010). Par conséquent, il convient de tenir compte du PRL le plus couramment appliqué au Canada, soit l'approximation de 40 % B_{RMD} recommandée dans la politique de l'AP du Canada (Marentette *et al.* 2021).

L'estimation du RMD nécessite toutefois d'importantes considérations techniques et théoriques, car le concept repose sur la prémisse de la dynamique à l'état stable. En s'appuyant sur ces fondements théoriques, les niveaux stationnaires de BSR peuvent être calculés pour un instantané donné d'un stock (mortalité naturelle, maturité selon l'âge, poids selon l'âge du stock) et d'une pêche (sélectivité, poids selon l'âge des prises; Albertsen et Trijoulet 2020). Les estimations du RMD sont connues pour être sensibles aux changements dans ces paramètres (p. ex. Scott et Sampson 2011, Punt *et al.* 2021), et toutes ces variables ont changé au fil du temps pour la morue du Nord. La question suivante se pose : quel RMD devrait être calculé? Devrait-il s'agir d'un RMD pour la pêche actuelle dans des conditions de productivité et de pêche contemporaines, ou devrait-il s'agir d'un RMD pour le stock et la pêche moyens à long terme? Les lignes directrices sur les dispositions relatives aux stocks de poissons suggèrent que le RMD devrait représenter des niveaux durables de prises dans les conditions qui prévalent (MPO 2022), et que les conditions qui prévalent pour la morue du Nord pourraient être considérées comme des conditions post-effondrement. En revanche, la politique de l'AP suggère que « les points de référence pour un stock devraient être basés sur une période de données aussi longue que possible » (MPO 2009), ce qui implique que les points de référence fondés sur le RMD devraient être fondés sur les moyennes de l'ensemble de la série chronologique. Compte tenu des changements qui se sont produits dans le stock et la pêche depuis 1954, le choix de la période sur laquelle la moyenne des paramètres clés doit être calculée a une incidence importante sur les estimations résultantes du RMD et B_{RMD} , causant une différence absolue d'environ 250 milliers de tonnes pour le RMD et de 1 million de tonnes

pour B_{RMD} selon le modèle **M12** (utilise une relation de Beverton-Holt et suppose un M allométrique; Partie I). Les estimations à 40 % de B_{RMD} différaient également d'environ 260 000 tonnes selon les modèles ayant des hypothèses M de base différentes (**M11** à **M13**). En revanche, les estimations de la BSR qui produit 50 % du recrutement maximal différaient de 48 000 tonnes d'un modèle à l'autre. D'une part, ce niveau de sensibilité remet en question la pertinence de l'approximation de 40 % B_{RMD} pour définir le point en dessous duquel le stock subit de graves dommages. On pourrait également soutenir que l'ampleur des changements dans la biologie et la pêche au fil du temps signifie que ces valeurs ne devraient pas être comparées. La question suivante se pose : les points de référence basés sur le RMD devraient-ils être statiques ou dynamiques? Pour la morue du Nord, les calculs du RMD peuvent être plus appropriés pour fournir des conseils tactiques, et ces conseils pourraient être ajustés à l'aide d'indicateurs écosystémiques de productivité (*sensu* F_{eco} ; Howell *et al.* 2021).

Je soutiens donc que le PRL fondé sur le recrutement demeure le PRL le plus approprié pour ce stock, étant donné qu'il s'agit d'une estimation plus fiable et plus simple. Néanmoins, on peut soutenir que le PRL fondé sur le recrutement est une simplification excessive qui néglige d'importantes sources de dommages graves. Premièrement, la relation de Beverton-Holt fait fi de l'effet anticompensation. Deuxièmement, l'accent mis sur le recrutement ne tient pas compte des changements dans le nombre de géniteurs par recrue, une composante importante de la productivité. Troisièmement, un PRL fondé sur le recrutement ne prend pas en compte la perte de résilience due à la perte de diversité génétique. Dans cette optique, la question demeure : le point de référence basé sur le recrutement est-il approprié et suffisamment préventif?

À tout le moins, un PRL devrait représenter un état du stock avant que la disparition du pays soit préoccupante (DFO 2004, MPO 2023). Une voie bien connue vers la disparition du pays et même l'extinction est le phénomène connu sous le nom d'anticompensation (alias effets d'Allee), qui est, par exemple, ce qui aurait mené à la disparition du grand pingouin surexploité (Courchamp *et al.* 2006). Cependant, nous n'avons trouvé aucune preuve d'une dynamique décroissante pour la morue du Nord; il n'y a pas de détérioration évidente des recrues par géniteurs, même aux niveaux les plus bas observés de BSR, et il n'y avait pas de soutien clair à l'anticompensation lors de l'utilisation d'une relation sigmoïde de Beverton-Holt (partie I). En réalité, cela signifie probablement que la zone d'effet d'Allee n'a pas encore été observée. L'évitement du point en dessous duquel le recrutement devrait être inférieur à la moyenne correspond donc à un niveau de précaution pour établir un PRL, car il devrait être bien au-dessus d'un état de stock où l'anticompensation peut avoir lieu. Des méta-analyses antérieures appuient cette affirmation (Myers *et al.* 1994).

L'anticompensation peut également découler des répercussions relatives aux prédateurs, car les niveaux de consommation peuvent, dans certains cas, forcer une espèce à se retrouver dans ce qu'on appelle une fosse aux prédateurs (Bakun 2006). On craint toujours que les phoques du Groenland imposent un tel effet sur la morue du Nord; cependant, malgré des analyses approfondies, nous n'avons pas de preuves d'un tel effet (Partie II, Buren *et al.* 2014). S'il est vrai que les phoques ont une incidence sur la population, il semble qu'il s'agisse principalement de la composante juvénile de la population, et les répercussions présumées ont diminué au cours des dernières années (partie II). En bref, la croissance de la BSR de la morue ne semble pas être altérée par les phoques.

La disponibilité des proies, en particulier du capelan, semble être le plus grand obstacle à la croissance continue de la morue du Nord (Partie II, Buren *et al.* 2014, Koen-Alonso *et al.* 2021, Regular *et al.* 2022). En termes simples, l'augmentation du capelan devrait entraîner une augmentation de la BSR de la morue, ce qui favorisera l'augmentation du recrutement vers les niveaux maximaux prévus. Bien que le capelan continue d'avoir une faible productivité (Buren *et al.* 2019), et que cela semble contribuer aux taux relativement élevés de mortalité naturelle

exprimés par la morue du Nord depuis l'effondrement, il n'y a pas de preuves que les niveaux actuels de capelan exposent la morue à un risque accru de disparition du pays. Cela dit, on pourrait soutenir que les niveaux actuels de capelan causent de graves dommages à la morue du Nord compte tenu du lent renversement vers les niveaux précédents.

Enfin, l'évolution induite par les pêches est souvent signalée comme une préoccupation, car un tel phénomène peut diminuer la résilience et inhiber le rétablissement même si la mortalité par pêche est réduite (Enberg *et al.* 2009). La morue du Nord a montré un changement spectaculaire de maturité selon l'âge, et si ce changement est causé par un changement génétique en réponse à la pression de la pêche, le stock peut être enfermé dans son état actuel pendant une période prolongée (Olsen *et al.* 2004). Une étude récente à l'échelle du génome a toutefois démontré la « stabilité génomique au fil du temps malgré des décennies d'exploitation » [traduction libre] de la morue du Nord (Pinsky *et al.* 2021). Cela suggère que les changements observés dans la maturité selon l'âge sont phénotypiques et, par conséquent, réversibles.

En conclusion, la détermination d'un PRL pour la morue du Nord est une entreprise complexe. Compte tenu des analyses effectuées à ce jour, nous avons deux options à prendre en compte :

1. Continuer à appliquer un PRL fondé sur le recrutement;
2. Passer à un PRL basé sur le RMD.

Bien que le PRL fondé sur le recrutement demeure un choix raisonnable en raison de sa stabilité dans le temps, il néglige d'importantes sources de dommages telles que l'anticompensation, les changements dans le nombre de géniteurs par recrue et la perte de diversité génétique. L'option basée sur le RMD est potentiellement plus robuste, car elle tient compte du nombre de géniteurs par recrue, mais elle est potentiellement moins uniforme en raison de sa sensibilité aux paramètres du cycle biologique. En suivant la structure des tableaux présentés dans MPO (2023), j'ai décrit les avantages et les inconvénients de chaque option dans le tableau 1. Je recommande de continuer à compter sur le PRL fondé sur le recrutement pour se protéger stratégiquement contre la surpêche du potentiel reproducteur tout en utilisant des estimations dynamiques du RMD pour des conseils tactiques et écosystémiques.

Tableau 1 : Aperçu des avantages et des inconvénients d'un PRL fondé sur le recrutement par rapport à un PRL basé sur le RMS pour la morue du Nord.

-	PRL fondé sur le recrutement	PRL basé sur le RMS
Lien avec des dommages graves	Recrutement altéré	Production excédentaire altérée
Avantages	Fournit des estimations relativement stables	Tient compte des recrues par géniteurs et des géniteurs par recrue
	Devrait être au-dessus de la zone d'effet d'Allee	Devrait être au-dessus de la zone d'effet d'Allee
	Basé sur l'ensemble de la série chronologique	-
	Simple et facile à interpréter	-
Inconvénients	50 % sont subjectifs	40 % sont subjectifs
	Exige l'hypothèse d'une relation constante entre le stock et le recrutement	L'estimation de séries chronologiques complètes nécessite des moyennes de mesures variant dans le temps

-	PRL fondé sur le recrutement	PRL basé sur le RMS
	Ne tient pas compte de la production des géniteurs par recrue	Les moyennes ne sont pas stochastiques et peuvent donner un faux sentiment de précision
	Sensible à la relation entre le stock et le recrutement	Sensible à la relation entre le stock et le recrutement, à la sélectivité, à la mortalité naturelle, au poids selon l'âge et à la maturité selon l'âge

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie Mariano Koen-Alonso, Divya Varkey et Brian Healey pour leurs précieux commentaires sur une version antérieure de cet article de perspective. Leur contribution a encouragé une perspective plus équilibrée.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Albertsen, C.M., and Trijoulet, V. 2020. [Model-based estimates of reference points in an age-based state-space stock assessment model](#). Fish. Res. 230: 105618.
- Bakun, A. 2006. [Wasp-waist populations and marine ecosystem dynamics: Navigating the "predator pit" topographies](#). Prog. Oceanogr. 68(2–4): 271–288.
- Buren, A.D., Koen-Alonso, M., and Stenson, G.B. 2014. [The role of harp seals, fisheries and food availability in driving the dynamics of northern cod](#). Mar. Ecol. Prog. Ser. 511: 265–284.
- Buren, A.D., Murphy, H.M., Adamack, A.T., Davoren, G.K., Koen-Alonso, M., Montevecchi, W.A., Mowbray, F.K., Pepin, P., Regular, P.M., Robert, D., Rose, G.A., Stenson, G.B., and Varkey, D. 2019. [The collapse and continued low productivity of a keystone forage fish species](#). Mar. Ecol. Prog. Ser. 616: 155–170.
- Courchamp, F., Angulo, E., Rivalan, P., Hall, R.J., Signoret, L., Bull, L., and Meinard, Y. 2006. [Rarity value and species extinction: The anthropogenic allee effect](#). PLoS Biology. 4(12): e415.
- DFO. 2004. Proceedings of the National Meeting on Applying the Precautionary Approach in Fisheries Management; February 10-12, 2004. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Proceed. Ser. 2004/003.
- DFO. 2010. [Proceedings of the Newfoundland and Labrador Regional Atlantic Cod Framework Meeting: Reference Points and Projection Methods for Newfoundland cod stocks](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Proceed. Ser. 2010/053.
- Enberg, K., Jørgensen, C., Dunlop, E.S., Heino, M., and Dieckmann, U. 2009. [Implications of fisheries-induced evolution for stock rebuilding and recovery](#). Evol. Appl. 2(3): 394–414.
- Howell, D., Schueller, A.M., Bentley, J.W., Buchheister, A., Chagaris, D., Cieri, M., Drew, K., Lundy, M.G., Pedreschi, D., Reid, D.G., and Townsend, H. 2021. [Combining ecosystem and single-species modeling to provide ecosystem-based fisheries management advice within current management systems](#). Front. Mar. Sci. 7: 607831.
- Koen-Alonso, M., Lindstrøm, U., and Cuff, A. 2021. [Comparative modeling of cod-Capelin dynamics in the Newfoundland-Labrador shelves and Barents Sea ecosystems](#). Front. Mar. Sci. 8: 579946.

-
- Marentette, J.R., Kronlund, A.R., 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
- MPO. 2009. [Cadre décisionnel pour les pêches en conformité avec l'approche de précaution](#).
- MPO. 2015. [Compte rendu de l'examen national par les pairs sur l'Élaboration des directives techniques pour la prestation d'un avis scientifique portant sur les divers éléments du cadre de l'approche de précaution de Pêches et Océans Canada; du 28 février au 1er mars 2012](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Compte rendu 2015/005.
- MPO. 2019. [Évaluation du point de référence limite de la biomasse de la morue du nord \(divisions 2J3KL de l'opano\)](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Avis sci. 2019/058.
- MPO. 2022. [Lignes directrices pour la rédaction de plans de rétablissement conformément aux Dispositions relatives aux stocks de poissons et Un cadre décisionnel pour les pêches intégrant l'approche de précaution](#).
- MPO. 2023. [Avis scientifique concernant les lignes directrices sur les points de référence limites dans le cadre des dispositions relatives aux stocks de poissons](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Avis sci. 2023/009.
- Myers, R., Rosenberg, A., Mace, P., Barrowman, N., and Restrepo, V. 1994. [In search of thresholds for recruitment overfishing](#). ICES J. Mar. Sci. 51(2): 191–205.
- Olsen, E.M., Heino, M., Lilly, G.R., Morgan, M.J., Brattey, J., Ernande, B., and Dieckmann, U. 2004. [Maturation trends indicative of rapid evolution preceded the collapse of Northern cod](#). Nature. 428(6986): 932–935.
- Pinsky, M.L., Eikeset, A.M., Helmerson, C., Bradbury, I.R., Bentzen, P., Morris, C., Gondek-Wyrozemska, A.T., Baalsrud, H.T., Brieuc, M.S.O., Kjesbu, O.S., Godiksen, J.A., Barth, J.M.I., Matschiner, M., Stenseth, N.C., Jakobsen, K.S., Jentoft, S., and Star, B. 2021. [Genomic stability through time despite decades of exploitation in cod on both sides of the atlantic](#). Proc. Natl. Acad. Sci. 118(15): e2025453118.
- Punt, A.E., Castillo-Jordán, C., Hamel, O.S., Cope, J.M., Maunder, M.N., and Ianelli, J.N. 2021. [Consequences of error in natural mortality and its estimation in stock assessment models](#). Fish. Res. 233: 105759.
- Regular, P.M., Buren, A.D., Dwyer, K.S., Cadigan, N.G., Gregory, R.S., Koen-Alonso, M., Rideout, R.M., Robertson, G.J., Robertson, M.D., Stenson, G.B., Wheeland, L.J., and Zhang, F. 2022. [Indexing starvation mortality to assess its role in the population regulation of Northern cod](#). Fish. Res. 247: 106180.
- Regular, P.M., Robertson, G.J., Kumar, R., Varkey, D.A., Gregory, R.S., Lewis, R.S., Skanes, K., Gullage, N., Koen-Alonso, M. et Dwyer, K.S. 2025. [Extension du modèle d'évaluation du stock de morue du Nord \(*Gadus morhua*\) - Partie I : Comblent les lacunes avec des données supplémentaires et des variations du modèle](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2025/034. iv + 84 p.
- Regular, P.M., Kumar, R., Varkey, D.A., Koen-Alonso, M. et Stenson, G.B. 2025. [Extension du modèle d'évaluation de la morue \(*Gadus morhua*\) du Nord - Partie II : Quantifier l'incidence du capelan et des phoques](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2025/035. iv + 39 p.
- Scott, R.D., and Sampson, D.B. 2011. [The sensitivity of long-term yield targets to changes in fishery age-selectivity](#). Mar. Pol. 35(1): 79–84.
-