



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 2026/061

Région du Golfe

Examen du cadre de référence pour le hareng de l'Atlantique (*Clupea harengus*) frayant à l'automne de la division 4TVn de l'OPANO: Indice de capture par unité d'effort

Laurie D. Maynard, Lysandre Landry et Jacob Burbank

Pêches et Océans Canada
Centre des pêches du Golfe
343, avenue Université, C.P. 5030
Moncton (Nouveau-Brunswick) E1C 9B6

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

[https://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/
DFO.CSAS-SCAS.MPO@dfo-mpo.gc.ca](https://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, 2026

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

ISSN 2292-4272

ISBN 978-1-100-00327-6 N° cat. Fs70-5/2026-061F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Maynard, L.D., Landry, L., et Burbank, J. 2026. Examen du cadre de référence pour le hareng de l'Atlantique (*Clupea harengus*) frayant à l'automne de la division 4TVn de l'OPANO: Indice de capture par unité d'effort. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2026/061. iv + 33 p.

Aussi disponible en anglais :

Maynard, L.D., Landry, L., and Burbank, J. 2026. NAFO Division 4TVn Fall Spawning Atlantic Herring (*Clupea harengus*) Assessment Framework Review: Catch per Unit Effort Index. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2026/061. iv + 31 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	iv
INTRODUCTION	1
MÉTHODES.....	2
DONNÉES	2
STANDARDISATION ET CORRECTIONS DES DONNÉES	7
CALCUL DE L'EFFORT ET DE LA CPUE NOMINALE	7
STANDARDISATION DE LA CPUE.....	9
COMPARAISON ENTRE LE MAG ET LE MLG.....	11
RÉSULTATS.....	12
RÉPARTITION DES ERREURS ET APPROCHE DE MODÉLISATION	12
INDICE D'ABONDANCE.....	15
DISCUSSION.....	19
CONCLUSIONS.....	21
RÉFÉRENCES CITÉES	22
ANNEXE A.....	25

RÉSUMÉ

La capture par unité d'effort (CPUE) est un indice largement utilisé de l'abondance relative des poissons. La CPUE ne peut être un indice d'abondance fiable que si des facteurs sont correctement pris en compte, tels que les variations spatiales et temporelles, l'expérience des pêcheurs, les règlements de pêche, les facteurs environnementaux et la technologie des engins. Une révision de l'indice de la CPUE actuellement utilisé dans le modèle d'évaluation du stock de hareng atlantique (*Clupea harengus*) dans la division 4TVn de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest (OPANO) a été réalisée en 2022 et a identifié des enjeux fondamentaux. L'objectif de cette révision était de résoudre ces enjeux identifiés, de mettre à jour le processus d'agrégation et le modèle de standardisation de l'indice de la CPUE, et de déterminer la fiabilité de cet indice dans le cadre mis à jour pour évaluer le hareng atlantique frayant à l'automne dans la division 4TVn de l'OPANO. La qualité des données a été traitée en corrigeant plusieurs problèmes de saisie de données et en ayant recours à l'imputation par la médiane pour les valeurs manquantes. La CPUE nominale a été standardisée à l'aide d'un modèle additif généralisé (MAG) qui comprenait des variables temporelles, des variables spatiales et des variables liées aux engins. Le MAG de la CPUE avait généralement des valeurs plus élevées que l'indice de CPUE précédent obtenu avec un modèle linéaire généralisé (MLG). Malgré ces améliorations, plusieurs lacunes, problèmes et incertitudes demeurent. Il est donc impératif de remettre en question la fiabilité et l'utilité de cet indice dans le modèle d'évaluation des stocks. Nous recommandons donc que, dans l'avenir, cet indice soit fondé sur le journal de bord scientifique et/ou sur les journaux de bord électroniques et les journaux de bord détaillés obligatoires, qui incluent tous deux des mesures précises de l'effort. Ce changement d'approche réduirait cependant considérablement les données disponibles et aurait une incidence négative sur la continuité des séries temporelles.

INTRODUCTION

La capture par unité d'effort (CPUE) est un indice largement utilisé de l'abondance relative des poissons. Toutefois, la CPUE ne peut servir d'indice d'abondance fiable que si la capturabilité est constante dans le temps et l'espace ou si ces changements peuvent être quantifiés et intégrés dans son calcul. De nombreux facteurs peuvent influencer la capturabilité et la proportionnalité de la CPUE à l'abondance réelle de la population, tels que la variation spatiale et temporelle du ciblage (Walters 2003; Carruthers *et al.* 2011; Hoyle *et al.* 2024), l'expérience des pêcheurs (Punt *et al.* 2001; Ward *et al.* 2013; Feenstra *et al.* 2019), les règlements de pêche (Maunder et Punt 2004; Cheng *et al.* 2023), les facteurs environnementaux (Hoyle *et al.* 2024) et la technologie des engins (Wilberg *et al.* 2010). La standardisation est donc nécessaire pour isoler le signal d'abondance de population de l'interférence due à ces facteurs de confusion (Campbell 2004; Hoyle *et al.* 2024). Pour y parvenir, des modèles tels que les modèles linéaires généralisés (MLG; Gavaris 1980; Yuan *et al.* 2024), les modèles additifs généralisés (MAG; Jones *et al.* 2025), les modèles linéaires généralisés mixtes (MLGM; Maunder et Punt 2004; Hsu *et al.* 2022) ou des modèles spatio-temporels plus avancés (VAST; Thorson 2019; Yuan *et al.* 2024) sont utilisés.

Pour le hareng atlantique (*Clupea harengus*) dans la division 4TVn de l'OPANO (Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest), la pêche aux engins fixes au filet maillant est la principale source de débarquements commerciaux de harengs depuis 1981. La pêche d'automne aux engins fixes a lieu de nuit et cible les zones de fraie à des profondeurs de 5 à 20 m dans les eaux côtières de la division 4T, généralement d'août à octobre (Maynard *et al.* 2024). Plusieurs filets maillants sont posés une fois qu'un banc de taille suffisante est localisé (LeBlanc *et al.* 2012), et ces filets sont installés pour de courtes durées et peuvent être remontés une à plusieurs fois par nuit avant le retour au port et la pesée des prises. Une mesure d'effort idéale pour une telle pêche serait la durée d'immersion (Hubert et Fabrizio 2007), mais l'effort pourrait aussi être déduit du nombre de remontées de filet lors d'une sortie.

Une pêche qui cible une concentration spatiale et temporelle de poissons en fraie entraîne un effort de pêche très concentré. Cela peut poser un défi lorsqu'un indice de CPUE est utilisé pour suivre l'abondance des stocks, car la capturabilité peut rester élevée même si l'abondance globale diminue, un phénomène connu sous le nom d'hyperstabilité (Hilborn et Walters 1992). Le schéma inverse, l'hyperépuisement, peut aussi se produire. Dans ce cas, l'indice d'abondance diminue même si la population dans son ensemble est stable. Cela se produit lorsque les régions déjà pêchées ne sont plus ciblées pour des raisons indépendantes de l'abondance, telles que de nouvelles réglementations, des aires protégées ou des changements dans la façon dont les variables sont enregistrées. Pour limiter l'effet de l'hyperépuisement, une solution consiste à normaliser la CPUE nominale en utilisant uniquement les zones qui ont été systématiquement explorées au fil du temps et à attribuer les lacunes spatiales et temporelles restantes dans les données (Carruthers *et al.* 2011; Hoyle *et al.* 2024). Une autre solution consiste à pondérer par la surface des principaux lieux de pêche afin de corriger les inégalités spatiales dans l'effort de pêche (Hoyle *et al.* 2024). Idéalement, inclure des effets spatiaux et temporels détaillés, tels que les coordonnées géographiques et la date et l'heure exactes de chaque événement de pêche dans le modèle de standardisation réduirait davantage les effets de la répartition spatiale et temporelle inégale des poissons et de l'effort (Maunder *et al.* 2020).

Le nombre de filets maillants, leur longueur et la taille de leur maillage ont évolué au fil du temps selon les mesures de gestion, la zone de pêche et la préférence des pêcheurs. La taille de maillage la plus couramment utilisée dans la série chronologique est de 2,63 pouces, cependant, historiquement, un faible pourcentage utilisait un maillage de 2,75 ou 2,88 pouces.

Les filets utilisés mesurent généralement entre 14 et 15 brasses. Dans certaines zones de pêche du hareng (ZPH), certains filets sont utilisés avec une extrémité attachée au bateau et l'autre ancrée, tandis que dans la plupart des autres zones, les filets sont ancrés aux deux extrémités (LeBlanc *et al.* 2012). Toute cette variabilité, parmi bien d'autres, présente des défis importants pour le développement d'un indice d'abondance fiable de la CPUE et la capacité de standardiser jusqu'à une capturabilité constante. Ces changements peuvent augmenter ou diminuer la capture pour un effort stable. De même, un pêcheur plus expérimenté a généralement plus de succès, parfois indépendamment de l'abondance et avec moins d'efforts comparativement à un pêcheur moins expérimenté. Retirer les pêcheurs moins expérimentés ou la première année d'activité pourrait permettre de tenir compte de cette variation entre les pêcheurs (Punt *et al.* 2001; Ward *et al.* 2013), mais ne permettrait pas de tenir compte des variations entre les pêcheurs plus expérimentés. De plus, un pêcheur cherchant à vendre commercialement sa prise peut manifester un comportement différent de celui qui pêche pour l'appât ou pour sa consommation personnelle. Les changements dans les règlements et les méthodes d'enregistrement des données peuvent aussi entraîner des biais chez les pêcheurs ou la méthode d'enregistrement (journaux de bord électroniques par rapport à journaux de bord papier; Cheng *et al.* 2023). Il existe plusieurs façons de corriger ces différences, mais principalement, inclure les caractéristiques des engins, l'identification des pêcheurs, les années d'expérience et la source des données dans le processus de standardisation pourrait améliorer notre capacité à détecter et ajuster ces biais sous-jacents (Punt *et al.* 2001; Ward *et al.* 2013; Cheng *et al.* 2023).

Pour l'évaluation du hareng atlantique dans la division 4TVn de l'OPANO, la CPUE standardisée avec un MLG (CPUE-MLG) a été utilisée comme indice d'abondance dans le modèle d'évaluation des stocks (Maynard *et al.* 2024). Cet indice a été révisé en 2022 pour comprendre et documenter ce qui avait été fait dans le passé tout en traduisant le code de SAS vers R (Landry *et al.* 2024). Cet examen a identifié des questions fondamentales nécessitant une remise en question et un examen supplémentaire. Par exemple, le modèle de standardisation n'incluait que les effets temporels (année et semaine) et la longueur du filet intégrés dans l'effort. Il a également regroupé et retiré des données des critères qui devaient être examinés de nouveau après des changements dans les méthodes d'enregistrement des données au fil du temps.

L'objectif de cet examen est donc de résoudre la plupart de ces problèmes identifiés, de mettre à jour le processus d'agrégation compte tenu des contraintes liées à la disponibilité et à la qualité des données, de mettre à jour la correction et la standardisation des données, d'intégrer les améliorations récentes dans l'information sur l'effort, et enfin d'améliorer le modèle de la CPUE grâce aux connaissances et aux avancées dans les pratiques exemplaires (Hoyle *et al.* 2024). À la suite de la mise en œuvre de ces améliorations, la fiabilité de cet indice a été évaluée.

MÉTHODES

DONNÉES

Les données sur les prises sont enregistrées dans les bordereaux d'achat, les rapports du Programme de vérification à quai (PVQ) et les fichiers Zonal Interchange File Format (ZIFF) recueillis par la Direction des statistiques de Pêche et Océans Canada (MPO). Les fichiers ZIFF sont fondés sur des informations recueillies par le PVQ qui fournissent une vérification précise, opportune et indépendante par des tiers des débarquements de poissons. Les entreprises sous contrat sont embauchées par l'industrie de la pêche pour observer le débarquement du poisson

et pour enregistrer et déclarer les informations sur les débarquements au MPO (figure 1; Claytor *et al.* 1992; Claytor 1998; Leblanc *et al.* 2001).

Les fichiers ZIFF sont priorisés comme source de données sur les prises durant la série chronologique et complétés par des bordereaux d'achat pour les données manquantes de 1986 à 2002. Les données sur les prises par navire et par sortie ne sont disponibles qu'à partir de 1985. Ainsi, la série chronologique utilisée va de 1986 à 2023 et est disponible par sortie de pêche, définie par l'identifiant du navire, la zone de pêche, le port de débarquement et la date de débarquement. La plupart des sorties de pêche sont associées à un lieu de prise correspondant à une subdivision de l'OPANO et/ou une ZPH. Les dossiers pour lesquels l'identifiant du navire, la date ou le port manquait ont été supprimés. Depuis les changements touchant le journal de bord obligatoire en 2022 (ci-après journaux de bord mis à jour) et les journaux de bord électroniques volontaires en 2024 (Figure 1; MPO 2025), des variables telles que la date et l'emplacement de la prise (latitude et longitude) ont été incluses, ainsi que d'autres variables informatives sur l'effort de pêche (Tableau 1). Les valeurs nulles (effort sans prise) n'ont pas été enregistrées de façon cohérente dans la série chronologique, mais ont été de plus en plus déclarées récemment (Tableau A1).

Nous avons obtenu la proportion de harengs frayant l'automne dans une prise en utilisant l'indice gonadosomatique des poissons matures et par otolithe pour les poissons immatures échantillonnés au port par le personnel du MPO (Cleary *et al.* 1982; McQuinn 1989). Nous associons les données d'un échantillon à une prise de sortie de pêche en utilisant l'échantillon le plus proche; la date de débarquement et la zone de pêche correspondant à une sous-division de l'OPANO (Figure 2), puis nous utilisons cette proportion la plus proche de hareng d'automne pour évaluer la prise de la sortie de pêche. C'est un changement par rapport à la méthodologie CPUE-MLG qui utilisait 100 % des prises des semaines 27 à 43 dans le calcul de la CPUE.

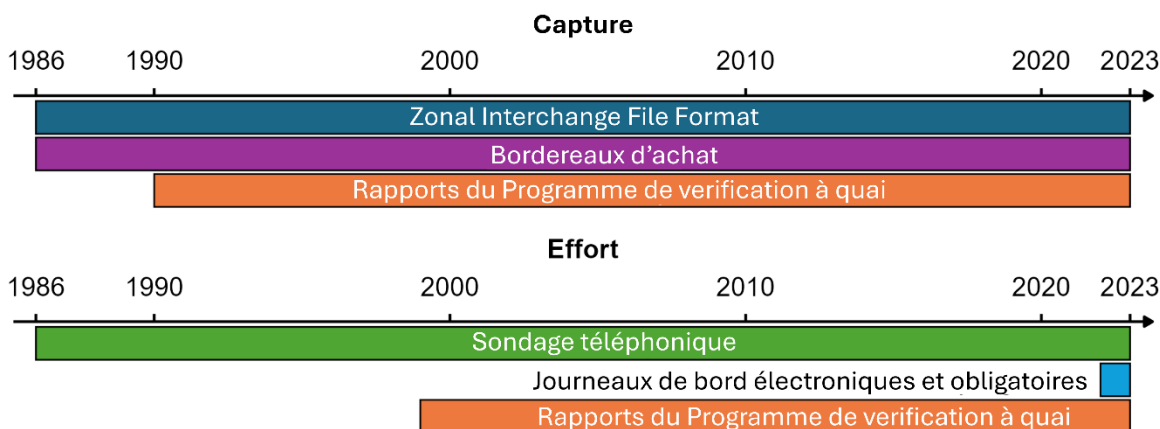


Figure 1. Chronologie de la source de données disponible pour les données de prise et d'effort.

Les données d'effort sont enregistrées par le PVQ depuis 1999 (Figure 1), cependant l'exhaustivité de ces données varie considérablement (Tableau 1). Plus précisément, le PVQ enregistre le nombre de filets déployés et le nombre de filets exploités, la longueur du filet et la taille de maille utilisés pour une sortie de pêche. Nous avons cherché à interpréter avec précision les définitions antérieures de « filets déployés » et « filets exploités » utilisés dans les scripts et évaluations précédents. Ces définitions ont été modifiées pour : « filets déployés » pour le nombre de filets installés, et « filets exploités » pour le nombre de filets remontés. Ainsi, pour traiter les années sans journaux de bord électroniques et les données de journaux de bord mises à jour, nous avons créé une variable « nombre de remontées de filet » calculée comme le

nombre de filets exploités divisé par le nombre de filets déployés. Les informations sur l'effort du PVQ ne sont pas enregistrées de façon cohérente lors de toutes les sorties.

Les informations sur l'effort sont également recueillies au moyen d'une enquête téléphonique annuelle menée depuis 1986, qui vise à interroger environ 30 % des titulaires de permis commerciaux actifs, stratifiée par zone (Tableau 1, Figure 3). L'enquête téléphonique recueille systématiquement des données, sur diverses données d'effort, y compris le nombre de filets et de remontées de filet, la longueur du filet et la taille de maille utilisés, selon la saison et l'identifiant du navire après 1992 (ou identifiant du gestionnaire du navire avant 1992; LeBlanc et LeBlanc 1996; tableau 1). Depuis 2006, l'enquête téléphonique comprend aussi une question sur le nombre de jours de pêche sans prises. Cependant, cette information n'est disponible que pour la période la plus récente, et elle n'est pas incluse dans le calcul de l'effort de pêche.

Tableau 1. Disponibilité des variables pour la standardisation de la CPUE dans les sources de données.

COMPOSANTES	EFFETS	VARIABLES	SOURCES DE DONNÉES				
			Fichiers ZIFF	Bordereaux d'achat	Rapports du PVQ	Enquêtes téléphoniques	Journaux de bord scientifiques/obligatoires
Prise	-	Quantité réelle	X	X	X	-	-
		Quantité estimée	-	-	-	X	X
Effort	-	Durée d'immersion	-	-	-	X	X
		Nombre de remontées de filet	-	-	Partiellement	Selon l'année	X
Standardisation	Temporel	Date	X	X	X	-	X
	Spatial	Coordonnées	Partiellement	-	-	Frayère	X
		Zone de pêche	X	X	X	X	X
	Pêcheur	Identifiant du navire ou du pêcheur	X	X	X	X	X
	Engin	Nombre de filets	-	-	Partiellement	Selon l'année	X
		Longueur du filet	-	-	X	Selon l'année	X
		Taille de maille	-	-	X	Selon l'année	X
		Hauteur du filet	-	-	-	Selon l'année	X

Pour les sources de données sur l'effort, nous avons imputé les zones de pêche les plus probables (c.-à-d. la sous-division de l'OPANO et la ZPH; Figure 2) pour un identifiant de navire par date et par port, ou par saison et année si l'information était manquante. Nous avons aussi imputé la longueur médiane du filet et la taille de maille pour les données manquantes par zone de pêche, saison et année ou par saison et année, si l'information était manquante. Dans la CPUE-MLG, lorsque l'information sur la longueur du filet manquait pour le calcul de la CPUE, une valeur par défaut de 15 brasses était utilisée jusqu'en 2013 et de 14 brasses en 2014 et au-delà, car ces longueurs de filet étaient les moyennes pour la période respective (McDermid *et al.* 2016; Landry *et al.* 2024). Les enregistrements n'ayant pas de date ou de zone de pêche et ceux pour lesquels le nombre de filets n'était pas indiqué ont été supprimés, car ils ne pouvaient pas être utilisés pour informer le calcul de l'effort. Le niveau d'agrégation spatiale a été modifié par rapport à la méthodologie CPUE-MLG qui agrégeait auparavant les données par zone d'enquête téléphonique (Figure 3) et par région (nord, centre et sud; Figure 2).

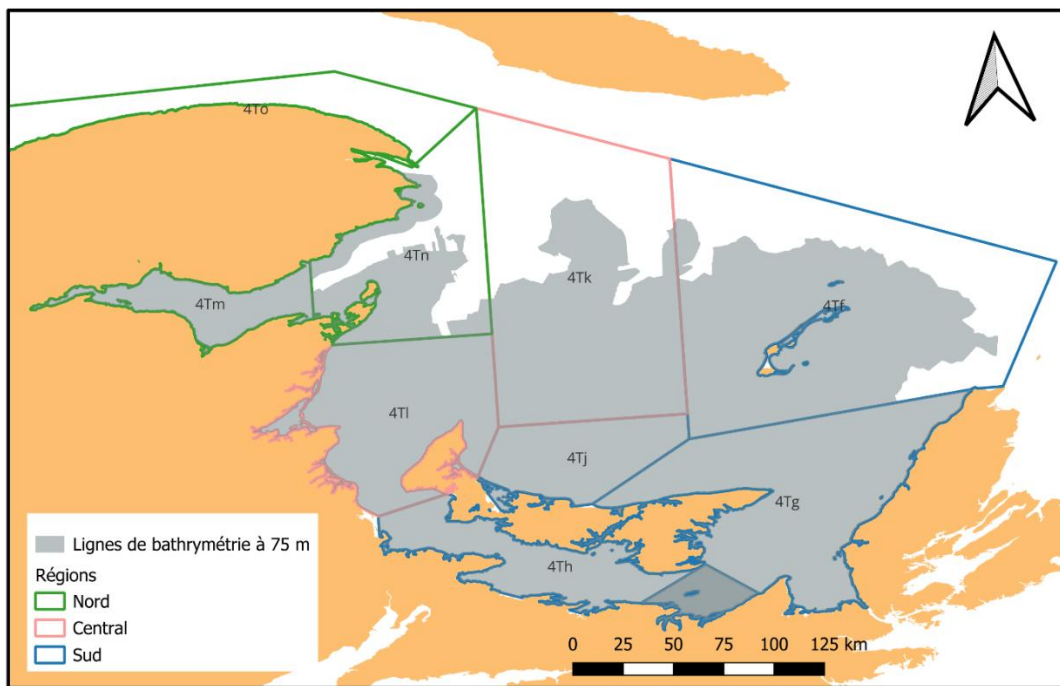
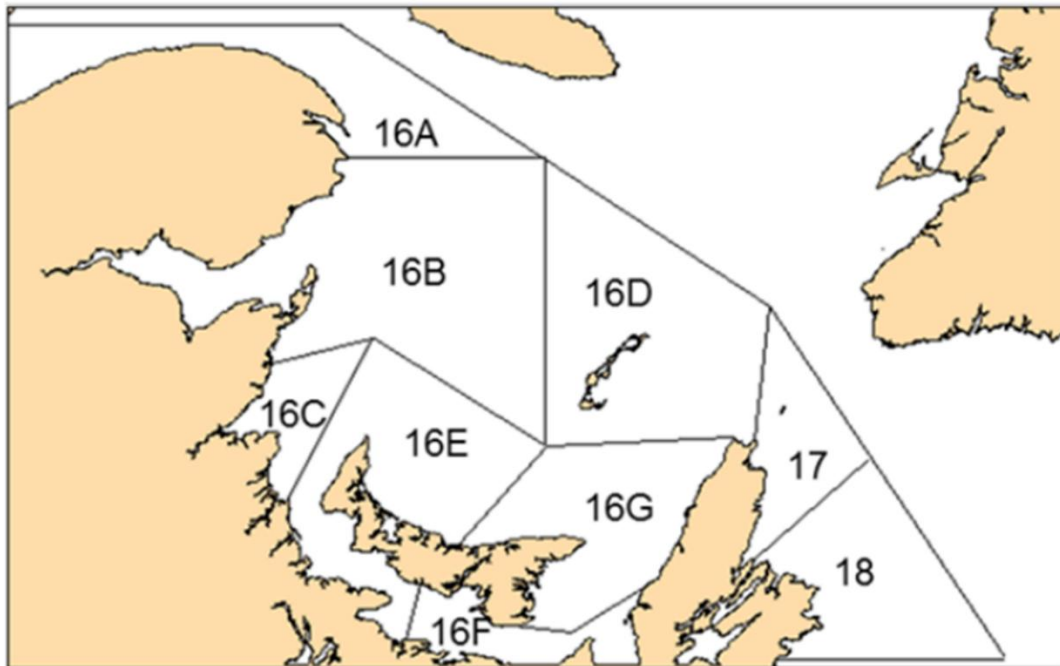


Figure 2. Panneau supérieur : zones de pêche du hareng (ZPH) dans le sud du golfe du Saint-Laurent pour la gestion des pêches. Le panneau inférieur présente les sous-divisions de la division 4T de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest (OPANO). Les zones entourées par les boîtes vertes représentent la région nord, les boîtes rouges représentent la région du centre et les boîtes bleues représentent la région sud. La zone grise représente la surface de chaque sous-division de l'OPANO utilisée et correspond à la limite de 75 m de lignes bathymétriques pour chaque sous-division. Les régions sont des zones de fraie utilisées par chaque sous-population de hareng d'automne correspondante.

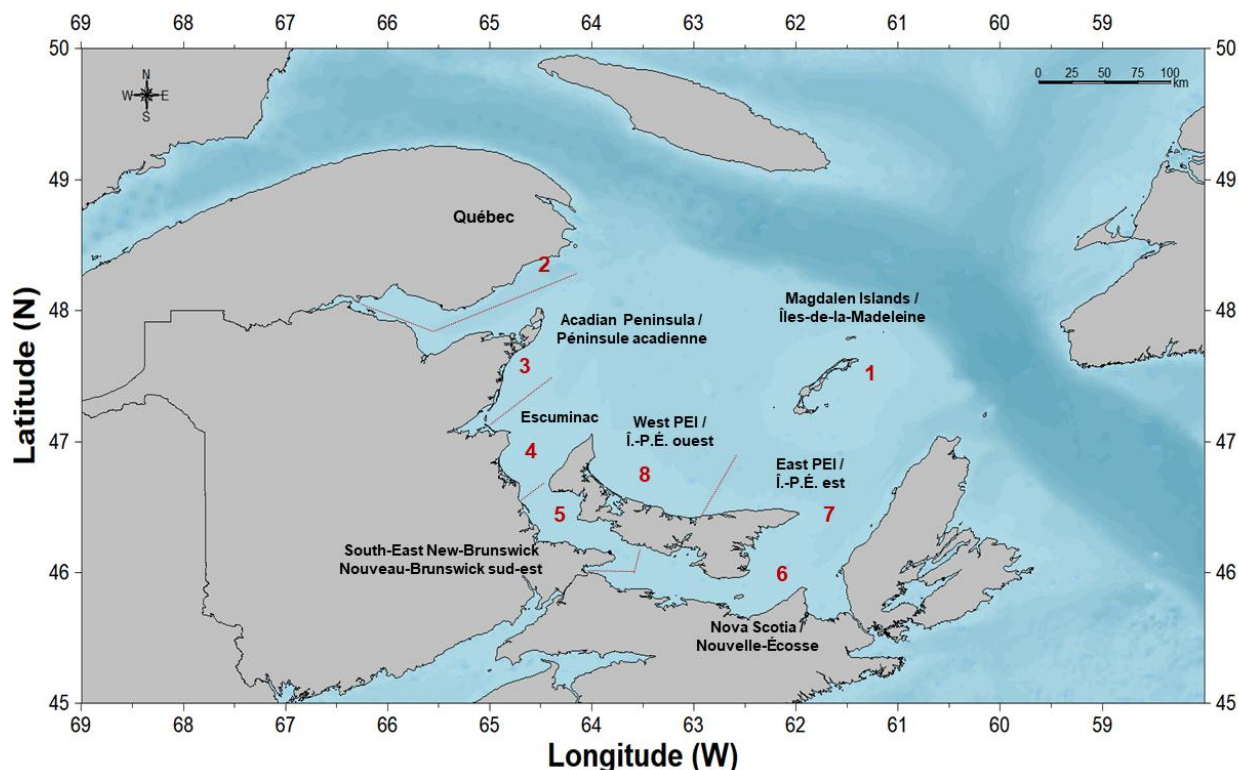


Figure 3. Zones de l'enquête téléphonique.

STANDARDISATION ET CORRECTIONS DES DONNÉES

La définition de la saison d'automne a été ajustée pour correspondre à la définition des saisons pour les prises selon l'âge des pêches fixes dans les sous-régions (Turcotte *et al.* *Sous presse*). Dans l'examen précédent, la saison d'automne correspondait aux mois 7 et plus, et plus précisément aux semaines 27 à 43. Elle correspond maintenant au mois 7 à 10, et plus précisément aux semaines 26 à 44.

Les erreurs dans les données brutes sur la longueur du filet et la taille de maille ont été corrigées comme lors des évaluations précédentes en tenant compte des incohérences dans les unités de mesure (Landry *et al.* 2024).

CALCUL DE L'EFFORT ET DE LA CPUE NOMINALE

En raison d'une mauvaise interprétation des scripts de calcul de l'effort provenant de SAS lors de la traduction vers R dans Landry *et al.* (2024), le calcul de l'effort de pêche pour la pêche d'automne (spécifiquement le nombre de remontées de filets) reposait exclusivement sur les données d'enquête téléphonique, contrairement aux documents historiques d'évaluation des stocks qui priorisaient la source de données (PVQ ou enquête téléphonique) ayant la plus grande taille d'échantillon. La méthodologie mise à jour intègre des données supplémentaires provenant du PVQ et des journaux de bord, y compris la taille de maille et le niveau spatial. Nous avons aussi calculé une variable « nombre de remontées de filet » à partir des colonnes « filets déployés » et « filets exploités » dans les rapports du PVQ (voir la section ci-dessus). Dans les journaux électroniques et journaux de bord mis à jour, le nombre de remontées de filet est inscrit directement pour chaque événement de pêche et a donc été utilisé pour les années 2022 et les suivantes (Figure 4).

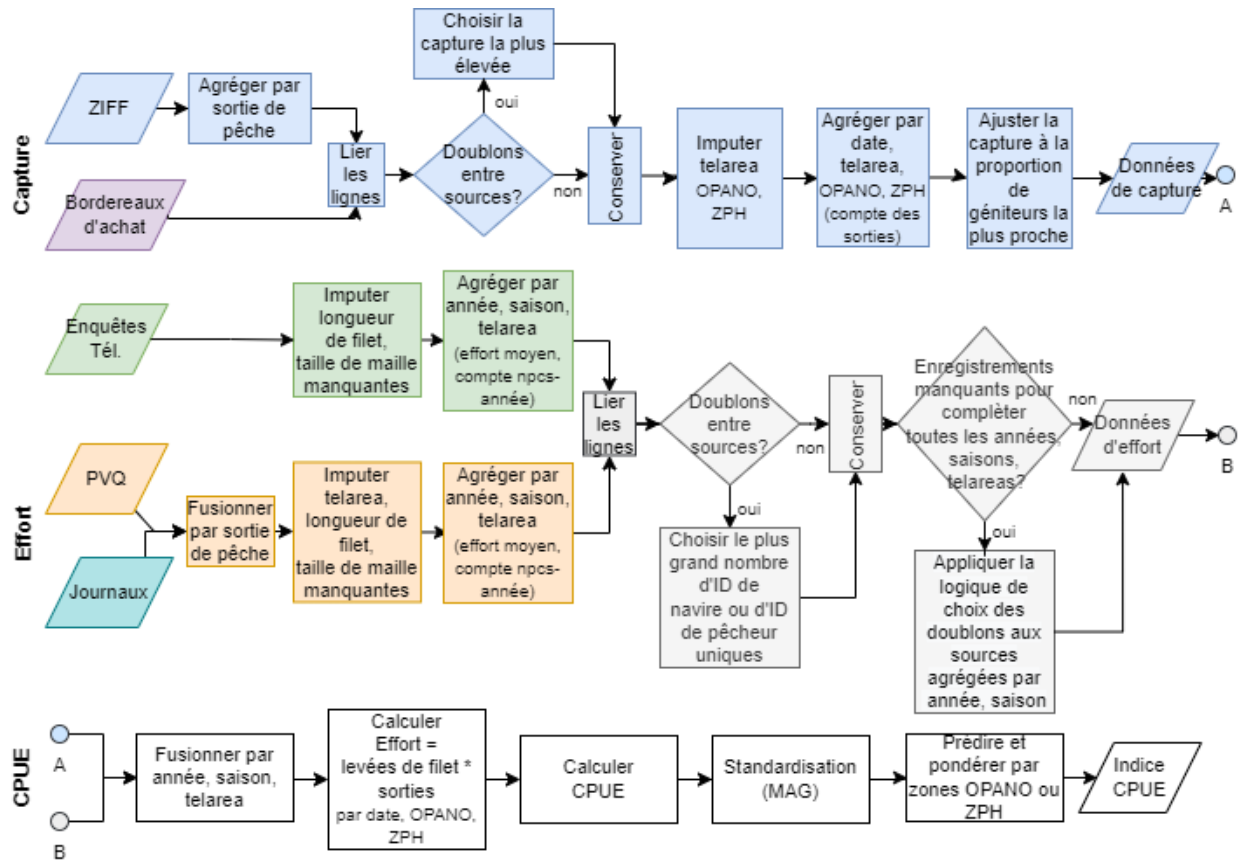


Figure 4. Ordigramme du calcul des données de prise et d'effort ainsi que du processus de standardisation de la CPUE.

Le nombre moyen de remontées de filet par navire (ou enregistrement) est calculé pour chaque source de données, stratifié par année, saison et zone d'enquête téléphonique (*telarea*; Figure 3). Pour déterminer l'estimation finale du nombre de remontées de filet (c.-à-d. le nombre de remontées multiplié par le nombre de filets) à utiliser pour le calcul de l'effort, la source ayant le plus grand nombre d'observations (définie par le nombre de navires ou de pêcheurs uniques) est sélectionnée pour chaque strate. Les valeurs manquantes de la strate sont imputées par les moyennes calculées par année et saison, où la source avec la plus grande taille d'échantillon est encore priorisée. La méthode est également cohérente avec LeBlanc *et al.* (2008) qui ont conservé les informations d'effort provenant des enquêtes téléphoniques avant l'enregistrement des identifiants de navire en 1992, ou lorsque l'identifiant du navire ou le nom du pêcheur manquait. Ces méthodes ont aussi amélioré la couverture pour toutes les années et dans toutes les zones de pêche (Landry *et al.* 2024).

Les valeurs d'effort sont ensuite appliquées, par année de débarquement et zone de l'enquête téléphonique, aux données de prise à l'échelle correspondantes. Enfin, la CPUE nominale est calculée comme le débarquement quotidien (kg) par navire divisé par le nombre de sorties par nombre moyen de filets multiplié par le nombre de remontées de filet.

$$CPUE \text{ nominale} = \frac{\text{Débarquement (kg)}}{\text{Sorties} * \text{Moyenne (Filets} * \text{Remontées de filet)}}$$

STANDARDISATION DE LA CPUE

Pour normaliser la CPUE nominale et estimer un indice d'abondance, la formule suivante a été utilisée :

$$\text{CPUE nominale} \sim \text{année} + s(\text{semaine}) + s(\text{taille du maillage}) + s(\text{longueur du filet}) \\ + \text{niveau spatial} + \text{effort de la source}$$

La formule a été modélisée à l'aide d'un modèle additif généralisé (CPUE-MAG) avec le paquet R *mgcv* (Wood 2017). Nous avons utilisé le critère GCV.Cp pour l'estimation des paramètres de lissage (Wood 2008). Pour l'effet temporel, des fonctions de lissage non linéaires (c.-à-d. $s()$) étaient appliquées à la semaine de l'année, mais l'année était conservée comme facteur fixe à des fins de prédiction. Le niveau spatial, correspondant soit à la sous-division de l'OPANO (modèles nord et sud) soit à la ZPH (modèle du centre; Figure 2), a été ajouté comme effet fixe pour tenir compte de l'hétérogénéité spatiale et des effets. Nous avons utilisé la ZPH pour le modèle de la région du centre parce que cette sous-population ne comprend que deux sous-divisions différentes de l'OPANO (4TI et 4Tk) et il n'y avait pas de données de prise pour 4Tk. Une fonction de lissage non linéaire était également appliquée à la taille de maille et à la longueur du filet pour tenir compte de l'effet lié à l'engin. Nous avons aussi ajouté un effet fixe pour la provenance du calcul de l'effort (remontées de filet) à mesure que la source de cette valeur changeait avec les nouvelles réglementations au fil des ans. Tous les nœuds étaient réglés à la valeur par défaut de $k = 10$, sauf la taille de maille qui était fixée à $k = 3$ compte tenu de la variation limitée de la valeur qui ne permettait pas de lissage avec un nombre plus élevé de fenêtres. D'autres valeurs de nœuds n'ont pas été explorées dans cette version de l'examen, mais sont recommandées pour toute utilisation ultérieure de l'indice de la CPUE.

Différentes distributions d'erreurs ont été mises à l'essai (analyse de sensibilité) pour déterminer la distribution qui offre le meilleur ajustement tout en respectant les hypothèses du modèle. Puisque notre ensemble de données est composé d'une valeur continue positive (Figure 5), une distribution de Tweedie avec une fonction de lien logarithmique a été utilisée (Wood *et al.* 2016). La distribution de Tweedie permet de choisir le paramètre de puissance (p) permettant à la variance d'évoluer proportionnellement à la moyenne. À mesure que p passe de 1 à 2, la distribution sous-jacente passe d'une distribution de Poisson ($p = 1$), à une distribution composée de Poisson-Gamma ($1 < p < 2$), à une distribution Gamma ($p = 2$) (Kendal 2004; Wood *et al.* 2016). La fonction *mgcv::tw* a été utilisée pour choisir automatiquement la distribution p appropriée.

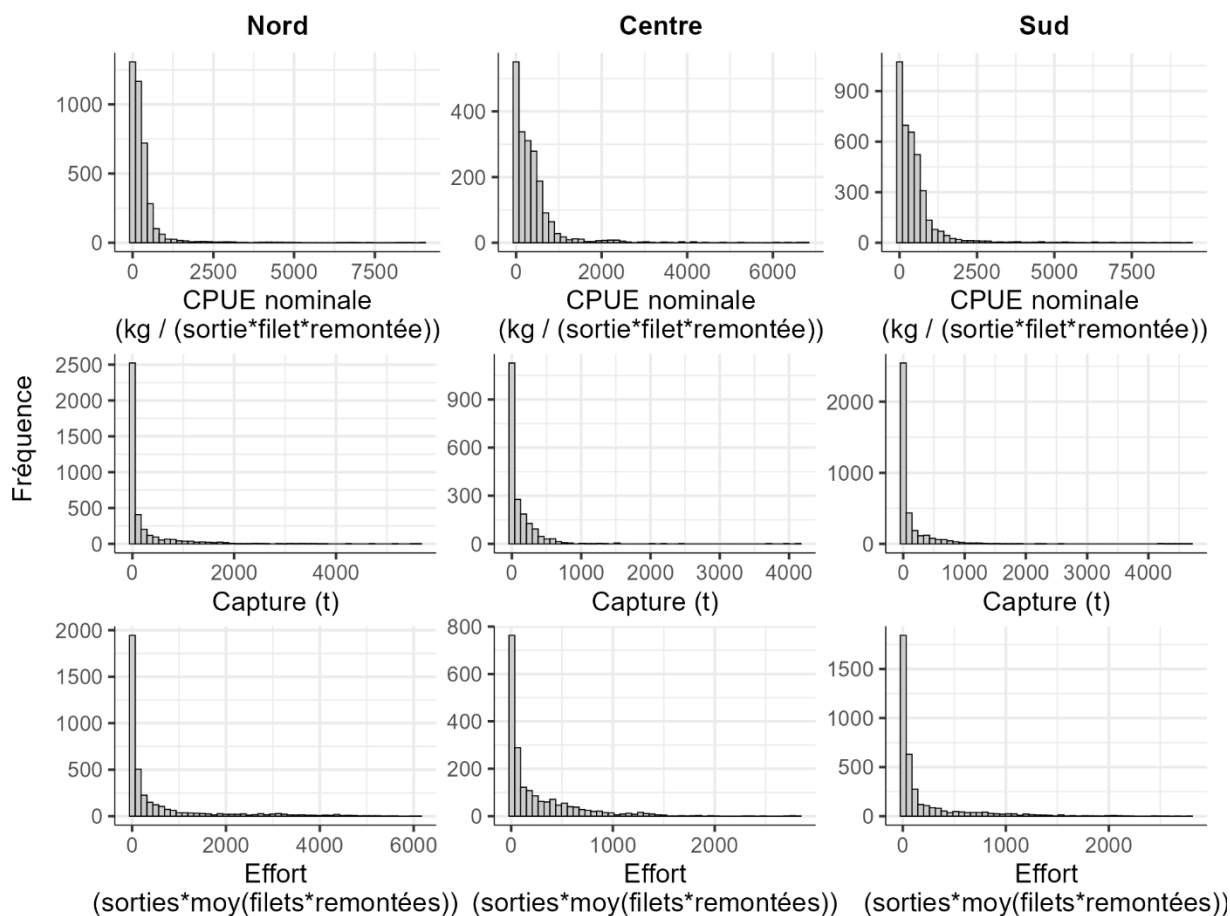


Figure 5. Histogramme de la fréquence des données de la CPUE nominale (kg/sortie*filet*remontées; haut), la prise (tonne; milieu) et l'effort (sorties*moyenne(filets*remontées); bas) pour chaque sous-population de hareng d'automne (nord : gauche, centre : milieu, sud : droite).

Nous avons également mis à l'essai une approche de rechange différente en utilisant la prise comme variable de réponse et en incluant l'effort transformé logarithmique comme terme de décalage au lieu de modéliser le rapport de capture par unité d'effort nominal. Pour déterminer la meilleure distribution d'erreurs, nous avons évalué le paramètre de dispersion estimé $\hat{\phi}$. Les valeurs de 1,5 à 3 étaient considérées modérément surdispersées, mais acceptables pour des espèces fortement agrégées, comme les poissons pélagiques formant des bancs. Les valeurs de 3 et plus étaient considérées comme gravement surdispersées, ce qui pourrait indiquer un mauvais choix de distribution, la présence de valeurs aberrantes ou l'absence d'une ou plusieurs variables explicatives importantes (Maunder et Punt 2004; Zuur *et al.* 2009). Nous avons également inspecté visuellement l'homoscédasticité et la normalité des résidus à l'aide de diagrammes Q-Q, de graphiques des résidus contre les valeurs ajustées, et des diagrammes en boîte des résidus par rapport aux niveaux factoriels.

Une fois la meilleure distribution d'erreur sélectionnée, différentes combinaisons de variables ont été mises à l'essai pour sélectionner le meilleur modèle à utiliser pour prédire l'indice d'abondance (Tableau 2). Pour sélectionner le meilleur modèle, nous avons utilisé un cadre de modèle de sélection hiérarchique et choisi le modèle avec le Critère d'Information d'Akaike (CIA) le plus bas (Tableau 2). Le niveau spatial (sous-divisions de l'OPANO ou ZPH) et la source des données d'effort (enquêtes téléphoniques ou rapports du PVQ) ont été conservés

dans tous les modèles. Les modèles ont été séparés par sous-populations (nord, centre et sud) afin de générer un indice régional et de s'ajuster aux modèles d'évaluation des stocks (Maynard *et al.* 2024; Turcotte *et al.* *Sous presse*).

Tableau 2. Processus hiérarchique de sélection du modèle lors de la standardisation de la CPUE nominale.

Modèles	Variables						Nombre de variables
O1	année	+ semaine	+ taille de maille	+ longueur du filet	+ sourceEffort	+ niveau spatial	6
O2	année	+ semaine		+ longueur du filet	+ sourceEffort	+ niveau spatial	5
O3	année	+ semaine	+ taille de maille		+ sourceEffort	+ niveau spatial	5
O4	année	+ semaine			+ sourceEffort	+ niveau spatial	2
O5	année				+ sourceEffort	+ niveau spatial	3
O6	année					+ niveau spatial	2
O7	année						1

Pour extraire un indice du modèle, nous avons généré une trame de données en élargissant chaque niveau de semaine, d'année et de niveau spatial. Nous avons fait la moyenne de la taille de maille et de la longueur du filet sur toutes les années et choisi l'enquête téléphonique comme source de données d'effort pour normaliser l'indice d'abondance. Nous avons ensuite utilisé la fonction `mgcv::p redict.gam` pour estimer la valeur de la CPUE pour chaque itération. Nous avons ensuite fait la moyenne de la valeur hebdomadaire prédite de la CPUE par année et par niveau spatial (sous-divisions de l'OPANO ou ZPH).

Nous avons ensuite calculé la somme pondérée en fonction de la superficie de la CPUE par année (Maunder *et al.* 2020). Nous avons d'abord extrait la superficie du niveau spatial dans le modèle, de la côte jusqu'aux profondeurs < 75 m, car la pêche au filet maillant est peu probable dans les eaux plus profondes (Figure 2). À des niveaux spatiaux où les eaux étaient généralement plus profondes près de la côte, nous avons ajouté une zone tampon de 10 km autour du littoral pour refléter la disponibilité spatiale. Nous avons ensuite estimé un poids par niveau spatial en divisant la superficie du niveau spatial par la somme de toutes les superficies du niveau spatial au sein d'une sous-population (c'est-à-dire nord, centre, sud). La CPUE par année et niveau spatial était multipliée par le poids. Cela vise à adapter la densité locale à la surface d'habitat disponible, en atténuant les biais causés par la répartition inégale de l'effort de pêche selon les niveaux spatiaux (effet de la pêche). Enfin, pour produire une valeur par année, nous avons fait la somme de l'indice d'abondance pondéré spatialement pour chaque année.

COMPARAISON ENTRE LE MAG ET LE MLG

Le MAG et MLG ont été exécutés séparément pour le nord, le centre et le sud. Il existe plusieurs différences clés dans l'ensemble de données, la méthodologie et les variables incluses dans chaque analyse. Ces différences sont notamment les suivantes :

- La CPUE nominale pour le CPUE-MLG a été calculée après que le nombre de filets ait été standardisé à une longueur de filet de 14 brasses, et par conséquent, la longueur de filet n'a pas été intégrée comme variable explicative. Pour le CPUE-MAG, la CPUE a été calculée avec un nombre non standardisé de filets, et par conséquent, la longueur de filet a été incluse comme variable dans le modèle.
- La taille de maille n'était pas non plus incluse dans le CPUE-MLG, mais elle l'était dans le CPUE-MAG.

-
- Les données du CPUE-MLG ont été agrégées spatialement par région. Le CPUE-MAG inclut le niveau spatial comme facteur dans le modèle et le niveau spatial correspond aux sous-divisions de l'OPANO et aux ZPH.
 - Les données du CPUE-MLG sont agrégées par semaine et les données manquantes sont remplacées par des valeurs moyennes à ce niveau sommaire pour l'analyse, cependant, le CPUE-MAG conserve chaque enregistrement individuel de la prise (c.-à-d. la sortie de pêche) et comble les valeurs manquantes par des valeurs moyennes au niveau des enregistrements individuels. Ainsi, les deux analyses sont menées sur des données de départ différentes.

Les modèles CPUE-MLG et CPUE-MAG ont chacun été exécutés avec leurs ensembles de données respectifs et les résultats ont été comparés entre la méthode antérieure et la méthode révisée. Pour comparer davantage les différences dans les ensembles de données de départ, le MLG a également été exécuté sur l'ensemble de données révisé.

RÉSULTATS

RÉPARTITION DES ERREURS ET APPROCHE DE MODÉLISATION

Pour la répartition des erreurs, les deux options qui ont donné les meilleurs résultats étaient la distribution Gamma (Tweedie, $p = 2$) avec et sans l'effort transformé logarithmiquement comme terme de décalage. Ces modèles avaient des paramètres de dispersion variant de 1,39 à 1,84, cependant, les hypothèses d'homoscédasticité et de normalité étaient légèrement meilleures pour le modèle sans le terme de décalage (Tableau A2 - A4; Figure A1 - A3). L'analyse des résidus du modèle a révélé des erreurs indépendantes pour la sous-population du centre, mais une autocorrélation résiduelle mineure à de courts décalages (1, 2) pour les sous-populations nord et sud, et des décalages de 7 à 10 pour la sous-population nord. Cela a été reconnu, mais non corrigé dans les modèles finaux (Figure A4). Ainsi, les sections suivantes présentent les extraits des MAG en utilisant une distribution d'erreur gamma sans utiliser l'effort transformé logarithmiquement comme terme de décalage. À partir de maintenant, nous appellerons ces modèles les modèles CPUE-MAG.

Dans l'ensemble, les modèles CPUE-MAG offraient un meilleur ajustement à leurs ensembles de données respectifs, et le CPUE-MAG permettait mieux de gérer le grand nombre de faibles valeurs de la CPUE comparativement au CPUE-MLG (figure A5). De plus, le modèle de standardisation CPUE-MAG n'a pas montré de tendances dans les résidus par rapport aux niveaux de facteurs (Figure 7).

Un problème notable pour le CPUE-MLG est que les premières semaines sont constamment sous-ajustées tandis que les semaines suivantes sont surajustées (Figure 6; figure A5). Ce problème systématique ne semble pas aussi marqué dans le CPUE-MAG, peut-être parce qu'il est plus approprié de remplacer les données manquantes par le niveau spatial, temporel et individuel le plus pertinent, et non à un niveau agrégé.

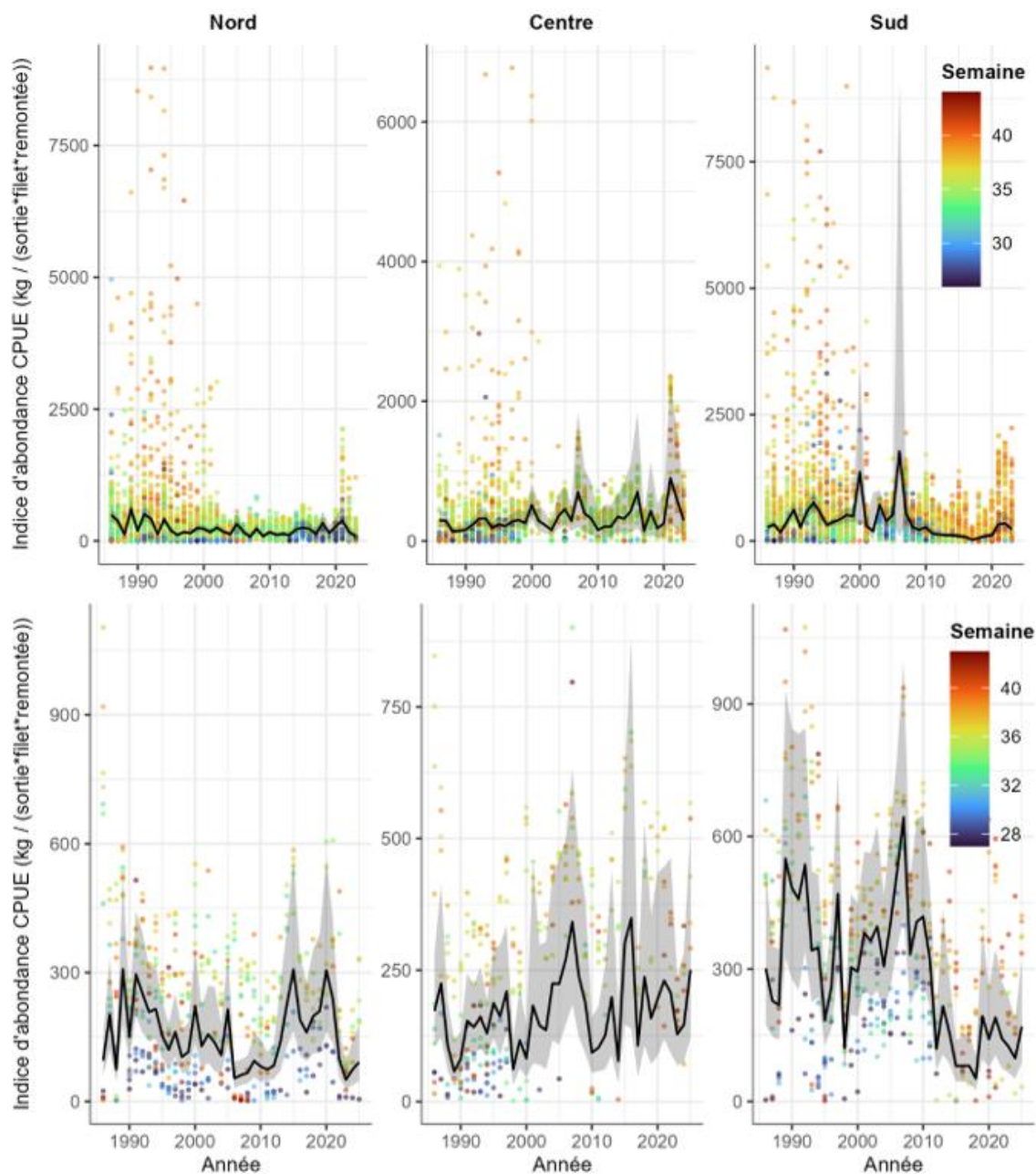


Figure 6. Valeurs de la CPUE nominale selon les années (1986 à 2023) et les semaines (26 à 44 : haut; 27 à 43 : bas) pour chaque sous-population de hareng d'automne (nord : gauche, centre : milieu, sud : droite) avec leur indice d'abondance respectif de la CPUE. La rangée du haut présente la méthode CPUE-MAG (ligne noire; le présent document de recherche; tandis que la rangée du bas présente la méthode CPUE-MLG [Rolland et al. 2022] : en bas).

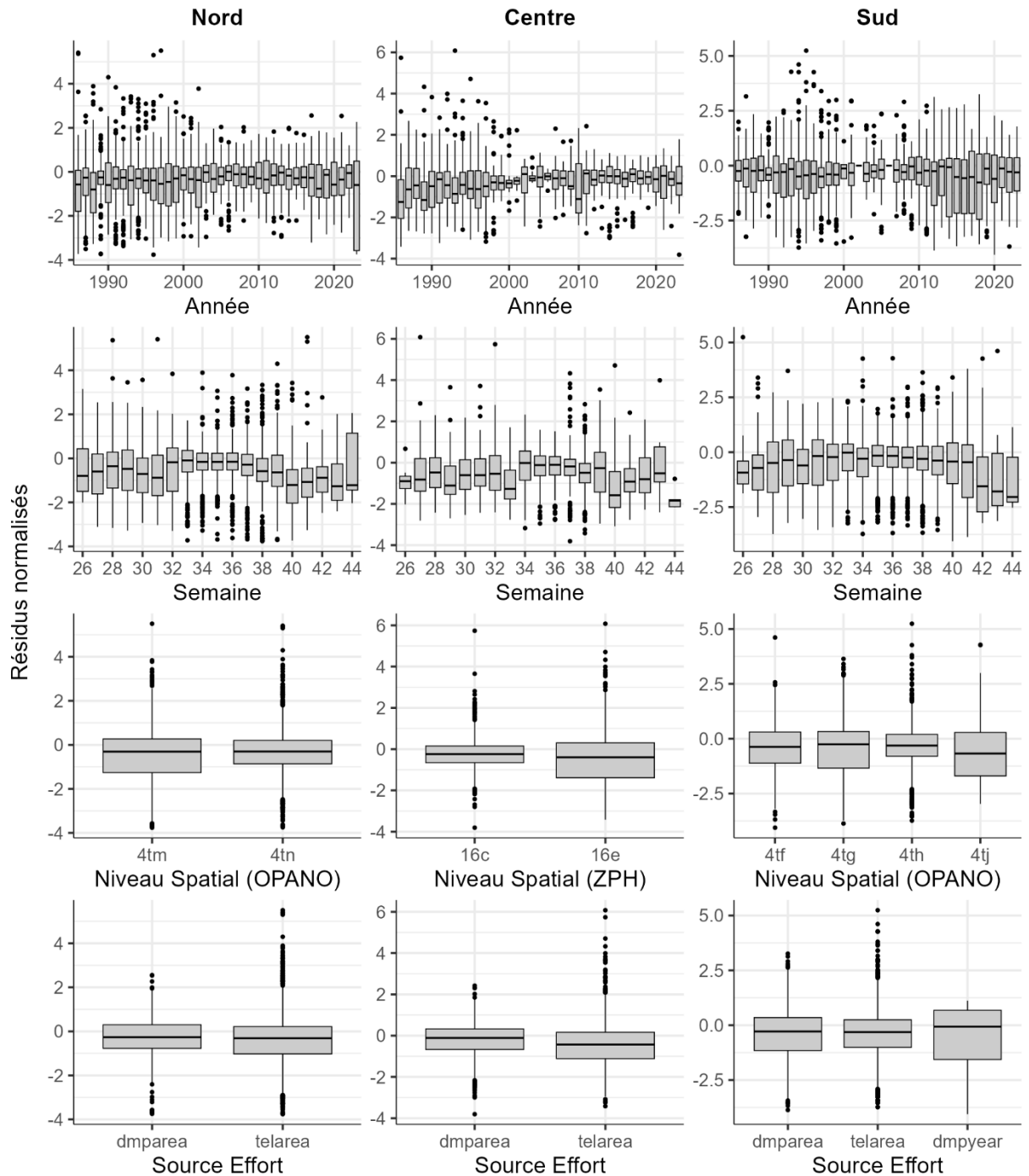


Figure 7. Diagrammes en boîte des résidus par rapport au niveau factoriel pour l'année, le niveau spatial et la source d'effort selon la sous-population (nord; gauche, centre; milieu et sud; droite) à partir du modèle CPUE-MAG. Les semaines ont également été ajoutées pour montrer l'absence de tendances temporelles dans les résidus.

INDICE D'ABONDANCE

Les modèles sélectionnés avec le plus faible CIA, pour les sous-populations du Nord, du Centre et du Sud, étaient des modèles utilisant toutes les variables (Tableau 3).

Tableau 3. Modèles avec le CIA le plus faible pour chaque sous-population.

Modèles		Variables					CIA	dCIA
Nord								
O1	année	+ semaine	+ tailledeMaille	+ longueurFilet	+ sourceEffort	+ niveauSpatial	48982	0
O2	année	+ semaine		+ longueurFilet	+ sourceEffort	+ niveauSpatial	48992	9
O3	année	+ semaine	+ tailledeMaille		+ sourceEffort	+ niveauSpatial	49041	59
O4	année	+ semaine			+ sourceEffort	+ niveauSpatial	49039	56
O5	année				+ sourceEffort	+ niveauSpatial	50773	1791
O6	année					+ niveauSpatial	50770	1787
O7	année						50815	1833
Centre								
O1	année	+ semaine	+ tailledeMaille	+ longueurFilet	+ sourceEffort	+ niveauSpatial	26460	0
O2	année	+ semaine		+ longueurFilet	+ sourceEffort	+ niveauSpatial	26476	15
O3	année	+ semaine	+ tailledeMaille		+ sourceEffort	+ niveauSpatial	26486	26
O4	année	+ semaine			+ sourceEffort	+ niveauSpatial	26498	38
O5	année				+ sourceEffort	+ niveauSpatial	27120	660
O6	année					+ niveauSpatial	27117	656
O7	année						27060	599
Sud								
O1	année	+ semaine	+ tailledeMaille	+ longueurFilet	+ sourceEffort	+ niveauSpatial	50928	0
O2	année	+ semaine		+ longueurFilet	+ sourceEffort	+ niveauSpatial	50974	46
O3	année	+ semaine	+ tailledeMaille		+ sourceEffort	+ niveauSpatial	51070	143
O4	année	+ semaine			+ sourceEffort	+ niveauSpatial	51132	205
O5	année				+ sourceEffort	+ niveauSpatial	51793	865
O6	année					+ niveauSpatial	51812	884
O7	année						52143	1216

L'indice varie de 23,06 à 1 177,35 kg/(sorties*filet*remontée de filet). La sous-population du sud présente les plus grandes variations avec un déclin général au fil des séries chronologiques. Les deux autres sous-populations varient modérément, la sous-population du centre atteignant un sommet au début des années 2020 avant de décliner et la sous-population du nord présentant un déclin général tout au long de la série chronologique (Figure 8).

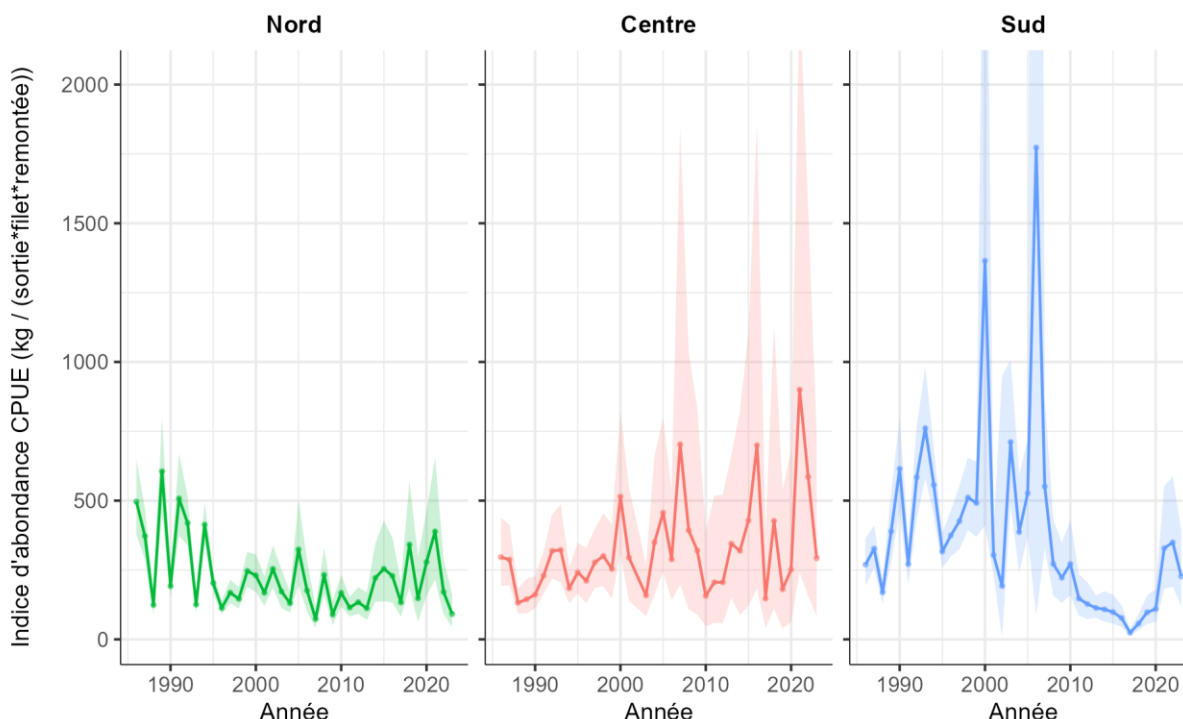


Figure 8. Indice d'abondance de la CPUE selon les années (1986 à 2023) pour chaque sous-population de hareng d'automne (nord : haut, centre : milieu et sud : bas). Les rubans ombragés représentent les intervalles de confiance à 95 % pour chaque modèle.

La CPUE pour toutes les sous-populations augmente généralement, atteignant un pic entre les semaines 38 et 40, avant de diminuer à mesure que la saison avance et que le quota est atteint. Cependant, dans les sous-populations moyennes, la CPUE diminue jusqu'à la 42^e semaine, puis augmente de nouveau par la suite, ce qui peut coïncider avec le passage du quota compétitif des zones 16CE au quota attribué. Dans le centre, il y a de petites augmentations de la CPUE dans les premières semaines, ce qui reflète probablement la pêche estivale dans cette région. La CPUE a montré une réponse plus minimale et différente de l'effet propre à la région pour la taille de maille, avec des tailles de maillage plus grandes augmentant la CPUE dans les sous-populations du nord et du centre, et réduisant la CPUE dans la sous-population du sud. La pêche est menée à presque 100 % avec un maillage de 2,63 pouces depuis 2008. La CPUE montre également des variations selon les longueurs de filet pour toutes les sous-populations. Dans la sous-population du nord, la CPUE diminue avec l'augmentation de la longueur du filet, avec une certaine variabilité à petite échelle indiquant une diminution des rendements pour les filets plus longs, tandis que dans la population du sud, le schéma inverse est observé avec une CPUE plus élevée à des longueurs de filet intermédiaires à plus longues, et une plus grande variabilité globale. La région du centre a montré une variation minimale, mais suggère un léger pic de la CPUE à une longueur de filet d'environ 14 brasses (la longueur de filet moyenne; Figure 9).

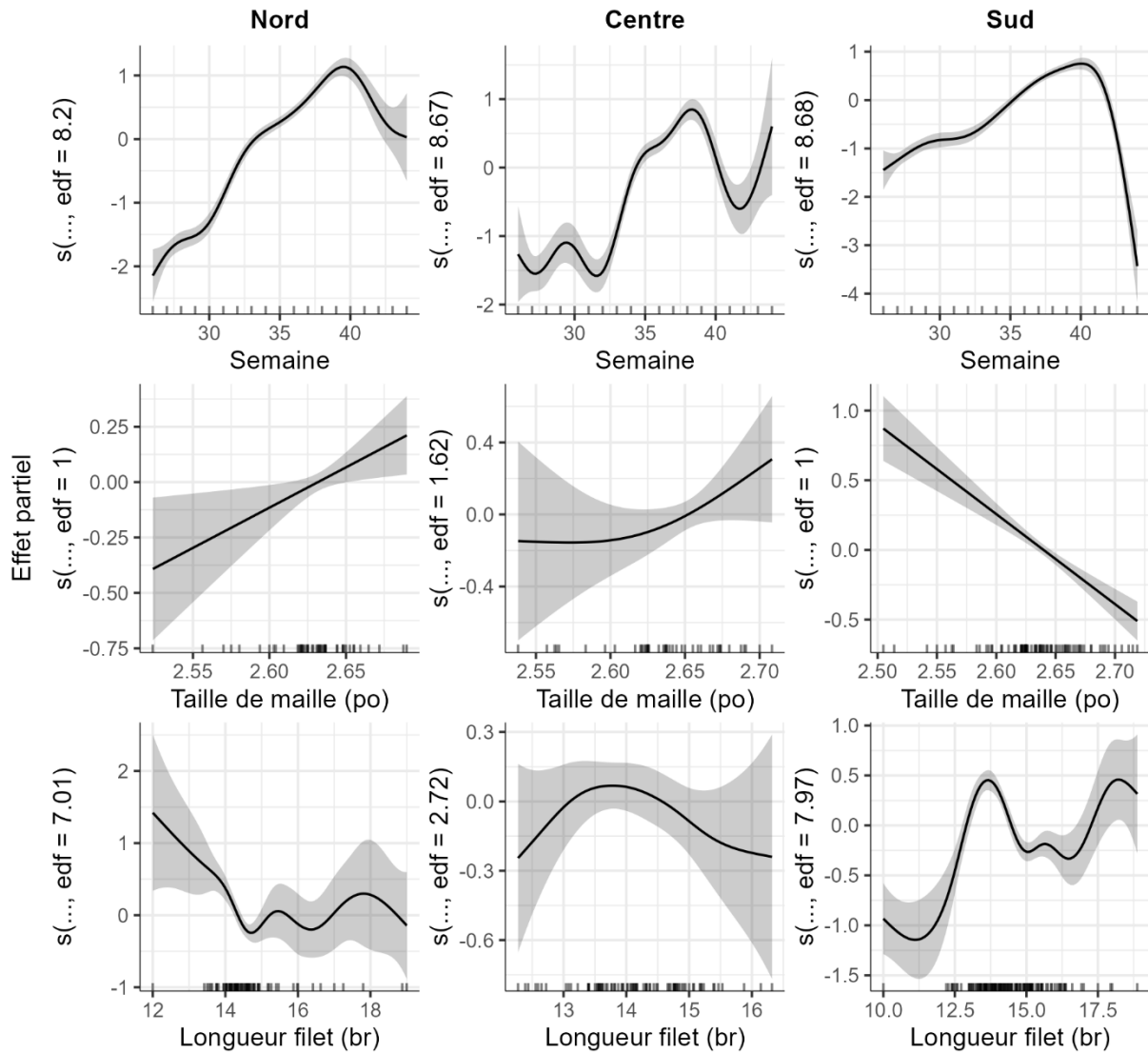


Figure 9. Estimations lissées des paramètres pour la semaine, la taille de maille (pouces; po) et la longueur du filet (brasses) pour chaque sous-population de hareng d'automne (nord : gauche, centre : milieu et sud : droite). L'axe des Y correspond aux valeurs lissées de la variable de réponse (CPUE nominale) et le degré de liberté estimatif (edf) est le nombre de nœuds utilisés par le modèle.

Le CPUE-MAG est souvent plus élevé que le CPUE-MLG précédent dans une année donnée (Figure 10). Dans l'ensemble, le CPUE-MAG et le CPUE-MLG présentent des tendances temporelles similaires lors de la prédiction à la longueur de filet moyenne. Il existe des divergences annuelles dans la CPUE entre les deux méthodes. Dans l'ensemble, le CPUE-MAG semble plus bruyant que le CPUE-MLG, avec des variations plus importantes d'une année à l'autre.

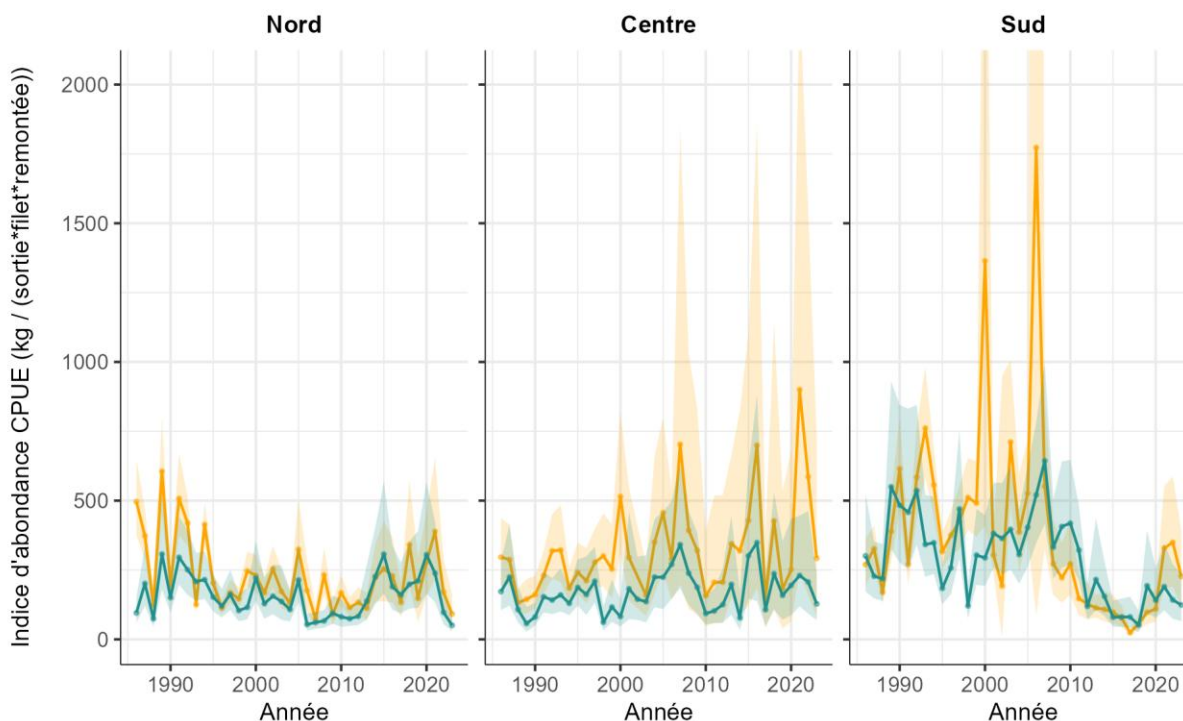


Figure 10. Comparaison de l'indice d'abondance de la CPUE au fil des ans (1986 à 2023) avec la nouvelle méthode de standardisation utilisant un MAG avec une distribution de Tweedie (orange); et l'ancienne méthode utilisant un MLG avec une distribution gaussienne (Rolland et al. 2022; sarcelle) pour chaque sous-population de hareng d'automne (nord : gauche, centre : milieu et sud : droite). Les rubans ombragés représentent les intervalles de confiance de 95 % pour chaque modèle.

Lorsque le MLG a été exécuté à la fois sur l'ensemble historique de données du CPUE-MLG et sur le jeu de données récemment révisé, l'indice d'abondance de la CPUE montre des schémas temporels globalement semblables pour les trois sous-populations frayant à l'automne (nord, centre et sud; Figure 11). Cela indique une cohérence dans la direction et le calendrier de la grande variabilité interannuelle malgré les changements et améliorations apportés lors de la mise en œuvre du nouvel ensemble de données. L'ensemble de données révisé produit généralement des valeurs de pic légèrement plus élevées, des intervalles de confiance légèrement plus larges, particulièrement lors des périodes de CPUE élevée, et une plus grande variabilité interannuelle, surtout ces dernières années. Dans l'ensemble, il y a des intervalles de confiance qui se chevauchent la plupart des années dans les trois régions, ce qui porte à croire qu'il n'y a pas de divergence majeure dans la direction ou le moment des changements importants de l'abondance.

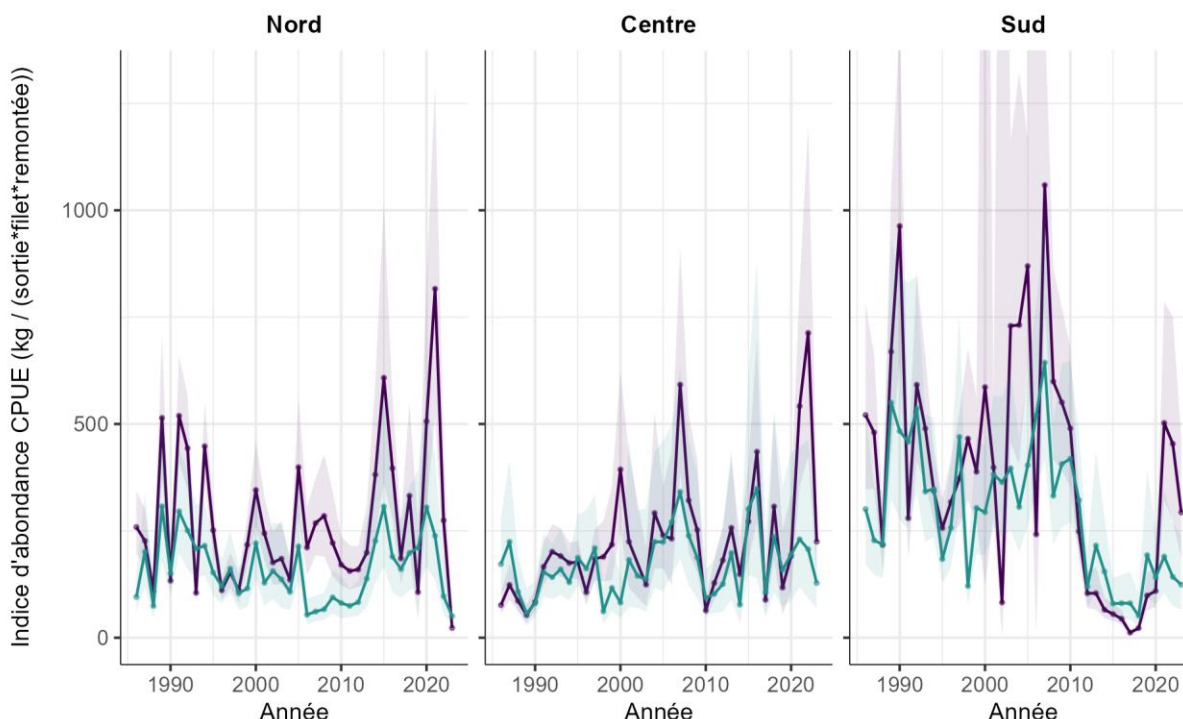


Figure 11. Comparaison de l'indice d'abondance de la CPUE au fil des ans (1986 à 2023) en utilisant la méthode de standardisation CPUE-MLG sur les nouveaux ensembles de données révisées (le présent document de recherche; violet); et l'ancien ensemble de données du CPUE-MLG (Landry et al. 2024; sarcelle) pour chaque sous-population de hareng d'automne (nord : gauche, centre : milieu et sud : droite). Les rubans ombragés représentent les intervalles de confiance de 95 % pour chaque modèle.

DISCUSSION

Nous avons déployé des efforts considérables pour standardiser la CPUE malgré d'importantes lacunes et des informations manquantes dans les données sur la pêche du hareng. Nous avons pu corriger de nombreux problèmes dans les sources de données et inclure des variables précédemment omises du CPUE-MLG. Le CPUE-MAG donnait généralement des valeurs plus élevées que le CPUE-MLG, mais cela pourrait découler de corrections de données (p. ex. utiliser toutes les sorties de pêche plutôt que la moyenne par semaine par niveau spatial) qui ont intégré plus de données dans le modèle qu'auparavant. Cependant, malgré les améliorations du diagnostic et du rendement du modèle, l'indice d'abondance demeure bruyé, généralement plus bruyé qu'avec le CPUE-MLG utilisé précédemment. Le modèle CPUE-MAG semble mieux tenir compte des nombreuses valeurs de prise faibles (presque nulles) dans les données qui pourraient contribuer à accroître le bruit.

Le moment de la saison est toujours important pour la CPUE dans toutes les régions, mais la direction et l'ampleur des effets de l'engin varient fortement selon la région. Ces résultats mettent en évidence l'importance de tenir compte des relations propres à chaque région lors de la standardisation des taux de prise et de l'interprétation des différences spatiales dans la CPUE. Plus important encore, les variables essentielles nécessaires pour quantifier correctement l'effort de pêche sont toujours absentes, créant des faiblesses dans le calcul (Figure A6 - A8). En raison de ces limites, l'indice d'abondance calculé à partir de la CPUE peut ne pas refléter fidèlement l'abondance réelle des stocks.

Un inconvénient important de l'approche actuelle est que l'estimation de l'effort n'est pas particulièrement robuste en soi, principalement parce qu'il y a beaucoup d'incertitude entourant le nombre de remontées de filet à partir des données du PVQ et des enquêtes téléphoniques. Choisir l'enquête téléphonique pour estimer le nombre de remontées de filet en tant que moyen de rechange se traduit par une réduction considérable de la résolution des données. Puisque l'enquête téléphonique n'enregistre qu'une ou deux valeurs (c.-à-d. effort maximal et effort non maximal) pour toute la saison de pêche, il y a une perte significative des variations potentielles du comportement des pêcheurs entre les événements de pêche et au fil de la saison. Potentiellement, utiliser une régression pour normaliser le nombre de remontées de filet entre les sources avant les calculs d'effort pourrait aider à réduire ce biais et nous permettre de retirer la variable source du modèle de standardisation plus tard (Cheng *et al.* 2023). Pourtant, le nombre de remontées de filet n'est toujours pas une mesure idéale de l'effort. Au contraire, la durée d'immersion serait plus représentative de l'effort, où l'on pourrait s'attendre à une relation plus proportionnelle entre la prise et l'effort, et cette information n'est disponible que par l'enquête téléphonique et donc seulement pour toute l'année.

C'est aussi vrai pour d'autres variables, puisque nous n'avons souvent que des informations partielles (rapports du PVQ) ou des informations annuelles (enquêtes téléphoniques) sur les variables d'effort. Pour les effets des engins, bien que nous ayons des informations pertinentes sur la taille de maille et la longueur du filet, plusieurs hypothèses sont formulées autour de ces valeurs. La taille de maille et la longueur du filet manquent souvent dans les rapports du PVQ et les bordereaux d'achat, et nous utilisons soit une médiane relative au navire, à la saison et à l'année (ou au navire et à l'année) pour combler les lacunes. C'est moins problématique comparé aux remontées de filet, car les pêcheurs sont peu susceptibles de modifier la longueur et la taille de maille utilisé pendant la saison de pêche. Lorsque l'information manque pour le navire, la valeur médiane pour le niveau spatial et l'année est utilisée. Disposer d'informations exactes et complètes réduirait cette incertitude, et les journaux de bord et les journaux de bord électroniques mis à jour amélioreront grandement les informations sur l'effort si elles sont remplies correctement et complètement.

Bien que nous ayons pu inclure la sous-population de pêche dans le modèle (c.-à-d. les divisions de l'OPANO et les ZPH) et mettre à l'essai certaines options de pondération par zone, Maunder *et al.* (2020) décrivent cette tactique comme défaillante par rapport à l'utilisation de véritables composantes spatiales (coordonnées géographiques) et de modèles spatio-temporels. De plus, bien que la sous-division de l'OPANO soit enregistrée dans les données du ZIFF, la ZPH est associée au port d'attache et au permis et peut ne pas représenter fidèlement la zone où l'activité de pêche a eu lieu. Par exemple, il n'y a pas vraiment de séparation entre 16C et 16E, car c'est une zone de pêche partagée qui commence la saison avec un quota compétitif pour les régions combinées, qui devient un quota propre à chaque province (qui peut aussi être pêché dans 16C et 16E) lorsque le quota compétitif est atteint. Cependant, l'effet temporel est probablement le seul avec une précision adéquate, puisque la date est constamment enregistrée dans nos données. Cependant, des erreurs et des biais peuvent encore être présents, surtout dans les premières années où les rapports n'étaient pas nécessairement saisis rapidement. Ainsi, au début de la série chronologique, il y a encore parfois de l'incertitude autour de la date enregistrée et la question de savoir si elle représente la date de la pêche ou la date finale de la soumission du rapport, mais c'est probablement un enjeu plus important dans la pêche printanière (Landry *et al.* 2024).

Un autre défi avec les données est que l'effet du pêcheur et de la pêche ne peut pas être correctement pris en compte dans les modèles. Parce que nous agrégeons par date de débarquement en raison du manque de données, nous retirons l'information qui pourrait identifier un pêcheur et éliminons ainsi la possibilité d'en tenir compte dans un modèle mixte.

Bien que nous ayons exploré la possibilité de ne pas agréger la date de débarquement, la trame de données résultante avait encore plus de lacunes à combler, ce qui a finalement dilué considérablement la réponse. Nous avons toutefois pu utiliser la superficie des sous-divisions de l'OPANO ou la ZPH pour tenir compte de la disponibilité spatiale de la pêcherie (Maunder *et al.* 2020), ce qui représente une étape modeste vers une estimation précise de l'effet d'un pêcheur ou d'une pêche sur la CPUE. À l'avenir, les approches pour tenir compte de ces effets pourraient inclure l'utilisation des journaux de bord scientifiques, qui sont remplis chaque année par quelques pêcheurs par sous-population, mais qui incluent des informations complètes sur l'effort quotidien et la prise.

Nous notons également que le modèle de standardisation n'incluait pas les variables environnementales, telles que la température de la mer ou la profondeur du fond, malgré leur importance reconnue (Hoyle *et al.* 2024; Jones *et al.* 2025). Bien que des valeurs environnementales moyennes auraient pu être intégrées, l'approche idéale nécessiterait des coordonnées géographiques et des données détaillées de prise et d'effort pour l'événement de pêche afin d'éviter de diluer les effets environnementaux.

CONCLUSIONS

En plus de ces problèmes, il est aussi important de considérer que le hareng est naturellement agrégé (c.-à-d. en banc) et peut être capturé en grande quantité avec un effort minimal malgré les variations d'abondance (hyperstabilité; Hilborn et Walters 1992). Il est donc impératif de remettre en question la fiabilité et l'utilité de cet indice dans le modèle d'évaluation des stocks. L'incertitude entourant le calcul de l'effort est peu susceptible d'être résolue sur toute la série chronologique et, par conséquent, bon nombre de ces défis subsisteront. Toutefois, n'utiliser que le journal de bord scientifique (1995+ selon la région) et/ou les journaux de bord électroniques et journaux de bord mis à jour (2022+) permettrait d'inclure à la fois des mesures précises, telles que la durée d'immersion, les caractéristiques nettes complètes et les coordonnées géographiques, mais cela tronquerait substantiellement les séries chronologiques, ce qui pourrait rendre la série moins informative.

Dans un avenir proche, certaines mesures peuvent être prises pour améliorer l'indice de la CPUE. Premièrement, restructurer le processus d'intégration des données en utilisant l'enquête téléphonique comme base de données fondamentale et en fusionnant les données de prise dans celle-ci. L'enquête téléphonique englobe d'autres variables importantes de l'effort qui ne sont pas encore numérisées ou prises en compte, telles que les identifiants des pêcheurs, les emplacements de pêche propres aux zones de fraie, l'expérience des pêcheurs, la durée d'immersion et la hauteur du filet. Une fois la base de données consolidée, le modèle peut intégrer ces nouvelles covariables. Par exemple, utiliser la hauteur du filet nous permettrait de calculer la superficie réelle du filet plutôt que de se fier uniquement à la longueur du filet, ce qui offrirait une représentation plus précise de l'effort. Nous pourrions aussi examiner si l'inclusion d'informations sur l'effort provenant de sources de données multiples (rapports du PVQ, enquêtes téléphoniques et journaux de bord scientifiques) améliorerait l'incertitude dans le modèle de la CPUE. Enfin, plusieurs ajustements statistiques devraient être explorés pour optimiser le modèle. Pour tenir compte de la qualité variable des données, un poids statistique plus faible devrait être appliqué aux données imputées. Le modèle pourrait aussi intégrer un terme d'interaction « année par niveau spatial » (*année*niveauSpatial*) pour saisir la dynamique spatio-temporelle dans la pêche. Pour les analyses de sensibilité, nous recommandons d'exécuter des modèles de rechange en utilisant exclusivement les ensembles de données de haute qualité mentionnés ci-dessus (c.-à-d. seulement les journaux de bord scientifiques ou seulement les journaux de bord obligatoires) afin d'évaluer la robustesse globale de l'indice.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Campbell, R.A. 2004. [CPUE standardisation and the construction of indices of stock abundance in a spatially varying fishery using general linear models](#). Fish. Res. 70(2-3 SPEC. ISS.): 209–227.
- Carruthers, T.R., Ahrens, R.N.M., McAllister, M.K., and Walters, C.J. 2011. [Integrating imputation and standardization of catch rate data in the calculation of relative abundance indices](#). Fish. Res. 109(1): 157–167.
- Cheng, M.L.H., Rodgveller, C.J., Langan, J.A., and Cunningham, C.J. 2023. [Standardizing fishery-dependent catch-rate information across gears and data collection programs for Alaska sablefish \(*Anoplopoma fimbria*\)](#). ICES J. Mar. Sci. 80(4): 1028–1042.
- Clayton, R.R. 1998. [Assessment of the NAFO Division 4T Atlantic herring stock, 1997](#). DFO Can. Stock Assess. Sec. Res. Doc. 98/047. 10 p.
- Clayton, R.R., Nielsen, G., Dupuis, H.M.C., et Mowbray, F. 1992. [Évaluation du hareng de l'Atlantique dans la division 4T de l'OPANO, 1991](#). Comité scientifique consultatif des pêches canadiennes dans l'Atlantique du MPO. Doc. de rech. 92/076. 1–88.
- Cleary, L., Hunt, J., Moores, J., and Tremblay, D. 1982. [Herring aging workshop, St. John's, Newfoundland, March 1982](#). DFO Can. Atl. Fish. Sci. Advis. Comm. Res. Doc. 82/041: 10 p.
- Feenstra, J., McGarvey, R., Linnane, A., Haddon, M., Matthews, J., and Punt, A.E. 2019. [Impacts on CPUE from vessel fleet composition changes in an Australian lobster \(*Jasus edwardsii*\) fishery](#). New Zeal. J. Mar. Freshw. Res. 53(2): 292–302.
- Gavaris, S. 1980. Use of a multiplicative model to estimate catch rate and effort from commercial data. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 37: 2272–2275.
- Hilborn, R., and Walters, C.J. 1992. [Quantitative Fisheries Stock Assessment](#). Springer US.
- Hoyle, S.D., Campbell, R.A., Ducharme-Barth, N.D., Grüss, A., Moore, B.R., Thorson, J.T., Tremblay-Boyer, L., Winker, H., Zhou, S., and Maunder, M.N. 2024. [Catch per unit effort modelling for stock assessment: A summary of good practices](#). Fish. Res. 269: 106860.
- Hsu, J., Chang, Y.J., and Ducharme-Barth, N.D. 2022. [Evaluation of the influence of spatial treatments on catch-per-unit-effort standardization: A fishery application and simulation study of Pacific saury in the Northwestern Pacific Ocean](#). Fish. Res. 255: 106440.
- Hubert, W.A., and Fabrizio, M.C. 2007. [Analysis and Interpretation of Freshwater Fisheries Data. In Analysis and Interpretation of Freshwater Fisheries Data](#). American Fisheries Society. pp. 279–326.
- Jones, A.W., Mercer, A.J., Duarte, D.G., and Curti, K.L. 2025. [Combining sources of high-resolution fishery-dependent data from the northeast United States to develop a catch rate time series](#). ICES J. Mar. Sci. 82(3): 32.
- Kendal, W.S. 2004. [Taylor's ecological power law as a consequence of scale invariant exponential dispersion models](#). Ecol. Complex. 1(3): 193–209. Elsevier.
- Landry, L., Turcotte, F., Rolland, N., McDermid, J.L., Cosandey-Godin, A., et Harbicht, A.B. 2024. Mise à jour de programmes de calcul de capture par unité d'effort pour les sous-populations de hareng du sud du Golfe du Saint-Laurent par la traduction du langage SAS vers le langage R. Rapp. manus. can. sci. halieut. aquat. 3286: x + 66 p.

-
- LeBlanc, C., et LeBlanc, L. 1996. [Sondage téléphonique 1995 près au des pêcheurs de hareng aux filets maillants de la zone 4T de l'OPANO](#). Comité scientifique consultatif des pêches canadiennes dans l'Atlantique. Doc. de rech. 96/077. 1–37.
- LeBlanc, C.H., Chouinard, G.A., et Poirier, G.A. 2001. [Évaluation des stocks de hareng de la zone 4T de l'OPANO dans le sud du golfe du Saint-Laurent en 2000](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2001/045. 108 p.
- LeBlanc, C.H., MacDougall, C., et Bourque, C. 2008. [Évaluation des stocks de hareng de la zone 4T de l'OPANO dans le sud du golfe du Saint-Laurent en 2007](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2008/061. iv + 133 p.
- LeBlanc, C.H., Mallet, A., MacDougall, C., Bourque, C., et Swain, D. 2012. [Évaluation des stocks de hareng de la zone 4T de l'OPANO dans le sud du golfe du Saint-Laurent en 2011](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2012/111. vi + 167 p.
- Maunder, M.N., and Punt, A.E. 2004. [Standardizing catch and effort data: A review of recent approaches](#). Fish. Res. 70(2-3 SPEC. ISS.): 141–159.
- Maunder, M.N., Thorson, J.T., Xu, H., Oliveros-Ramos, R., Hoyle, S.D., Tremblay-Boyer, L., Lee, H.H., Kai, M., Chang, S.K., Kitakado, T., Albertsen, C.M., Mente-Vera, C. V., Lennert-Cody, C.E., Aires-da-Silva, A.M., and Piner, K.R. 2020. [The need for spatio-temporal modeling to determine catch-per-unit effort based indices of abundance and associated composition data for inclusion in stock assessment models](#). Fish. Res. 229(2): 105594.
- Maynard, L.D., Burbank, J., DeJong, R., Turcotte, F., McDermid, J.L., Sylvain, F.-É., et Rolland, N. 2024. [Document de support pour l'évaluation du hareng de l'Atlantique \(*Clupea harengus*\) dans le sud du Golfe du Saint-Laurent \(Division OPANO 4TVn\) en 2022-2023](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2024/058. xiii + 149 p.
- McDermid, J.L., Mallet, A., et Surette, T. 2016. [Indicateurs de performance et de l'état des pêches pour l'évaluation du hareng de l'Atlantique \(*Clupea harengus*\) dans la division 4T de l'OPANO au sud du golfe du Saint-Laurent pour 2014 et 2015](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2016/060. ix + 62 p.
- McQuinn, I.H. 1989. [Identification of Spring- and Autumn-Spawning Herring \(*Clupea harengus*\) using Maturity Stages Assigned from a Gonadosomatic Index Model](#). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46(6): 969–980.
- MPO. 2025. [Plan de rétablissement : Hareng de l'Atlantique, *Clupea harengus*, composante des reproducteurs de printemps - Division 4T de l'OPANO](#).
- Punt, A.E., Pribac, F., Walker, T.I., and Taylor, B.L. 2001. Population modelling and harvest strategy evaluation for school and gummy shark. CSIRO Mar. Res. 99/102: 136 p.
- Rolland, N., Turcotte, F., McDermid J L, DeJong, R.A., et Landry, L. 2022. [Évaluation des stocks de hareng Atlantique \(*Clupea harengus*\) de la zone 4TVn de l'OPANO dans le sud du golfe du Saint-Laurent en 2020-2021](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2022/068. xiii + 148 p.
- Thorson, J.T. 2019. [Guidance for decisions using the Vector Autoregressive Spatio-Temporal \(VAST\) package in stock, ecosystem, habitat and climate assessments](#). Fish. Res. 210: 143–161.
- Turcotte, F., Landry, L., McDermid, J.L., Maynard, L., et Burbank, J. Sous presse. Examen du cadre de référence pour le hareng de l'Atlantique (*Clupea harengus*) frayant à l'automne de la division 4TVn de l'OPANO: Données sur les pêches et les relevés. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech.
-

-
- Walters, C. 2003. [Folly and fantasy in the analysis of spatial catch rate data](#). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 60(12): 1433–1436.
- Ward, H.G.M., Askey, P.J., and Post, J.R. 2013. [A mechanistic understanding of hyperstability in catch per unit effort and density-dependent catchability in a multistock recreational fishery](#). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 70(10): 1542–1550.
- Wilberg, M.J., Thorson, J.T., Linton, B.C., and Berkson, J. 2010. [Incorporating time-varying catchability into population dynamic stock assessment models](#). Rev. Fish. Sci. 18(1): 7–24.
- Wood, S.N. 2008. [Fast stable direct fitting and smoothness selection for generalized additive models](#). J. R. Stat. Soc. B 70: 495–518. [Consulté le 17 mars 2026].
- Wood, S.N. 2017. [Generalized additive models: An introduction with R, second edition](#). In Generalized Additive Models: An Introduction with R, Second Edition, CRC Press.
- Wood, S.N., Pya, N., and Säfken, B. 2016. [Smoothing Parameter and Model Selection for General Smooth Models](#). J. Am. Stat. Assoc. 111(516): 1548–1563. American Statistical Association.
- Yuan, T.L., Xu, H., Lu, B.J., and Chang, S.K. 2024. [Comparison of linear and nonlinear modeling approaches to develop an abundance index based on voyage and market data for a data-limited fishery](#). Front. Mar. Sci. 11: 1344181.
- Zuur, A.F., Ieno, E.N., Walker, N., Saveliev, A.A., and Smith, G.M. 2009. [Mixed effects models and extensions in ecology with R](#). Springer New York, New York, NY.

ANNEXE A

Tableau A1. Nombre de débarquements nuls dans l'ensemble de données des fichiers ZIFF et des bordereaux d'achat pour chaque année et la sous-division de l'OPANO triée par région.

Année	Nord					Centre		Sud		
	4Tm	4Tn	4To	4Tp	4Tq	4Tl	4Tf	4Tg	4Th	4Tj
1992	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
1993	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1994	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
1995	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1998	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1999	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
2000	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
2002	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
2003	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
2004	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0
2005	0	0	0	0	0	0	1	20	2	0
2006	0	0	0	0	0	0	5	19	0	0
2007	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0
2008	2	1	0	1	0	0	14	0	0	0
2009	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0
2010	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0
2011	0	0	1	0	0	16	0	24	3	11
2012	0	0	0	0	0	15	0	16	1	12
2013	0	0	0	0	0	2	0	1	2	2
2014	0	1	0	0	0	2	0	1	3	6
2015	1	5	0	0	0	6	0	2	1	1
2016	6	5	0	0	0	0	15	2	0	1
2017	14	4	0	0	0	1	0	12	1	0
2018	4	2	0	0	0	2	16	2	0	1
2019	75	19	32	0	0	1	14	1	0	0
2020	43	5	34	0	0	0	13	0	0	0
2021	35	20	44	0	0	1	3	1	1	1
2022	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0
2023	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0

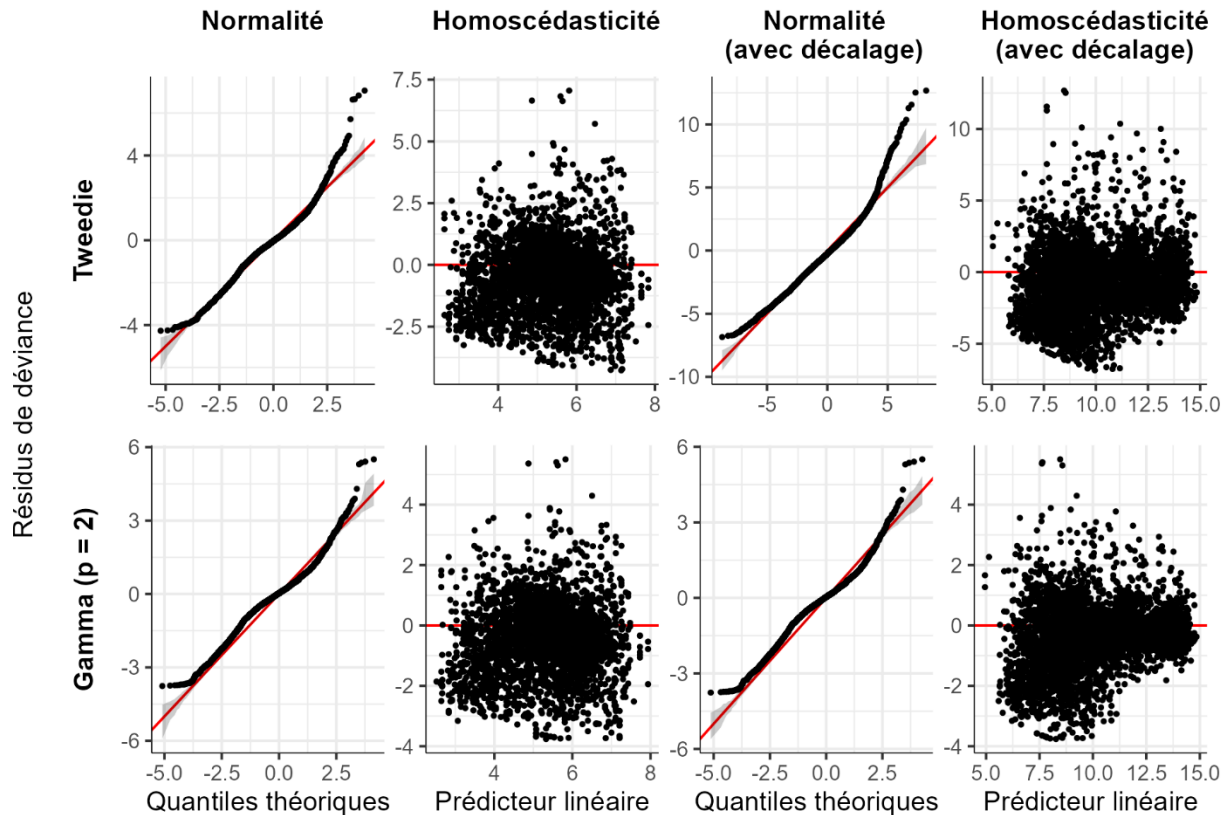


Figure A1. Diagrammes Q-Q et diagramme des résidus par rapport aux valeurs ajustées pour sélectionner le paramètre p (distribution des données) du modèle CPUE-MAG pour la sous-population du nord (frayant à l'automne). Les deux panneaux de droite servent de diagnostic pour le modèle avec l'effort comme terme de décalage, et les deux panneaux de gauche sont sans terme de décalage.

Tableau A2. Diagnostics de la sous-population nord pour la sélection des distributions du modèle CPUE-MAG. Les distributions mises à l'essai sont définies par le paramètre d'indice (p) et le décalage (effort), et le modèle de meilleure distribution d'erreurs est diagnostiqué à l'aide du paramètre de dispersion (ϕ) et vérifie la normalité et l'homoscédasticité (figure A1).

Sous-population	p	Terme de décalage	ϕ	Normalité	Homoscédasticité
Nord	1,926	non	1,641	OK	OK
Nord	2	non	1 592	OK	OK
Nord	1,818	oui	5,344	asymétrique	OK
Nord	2	oui	1 592	OK	tendance

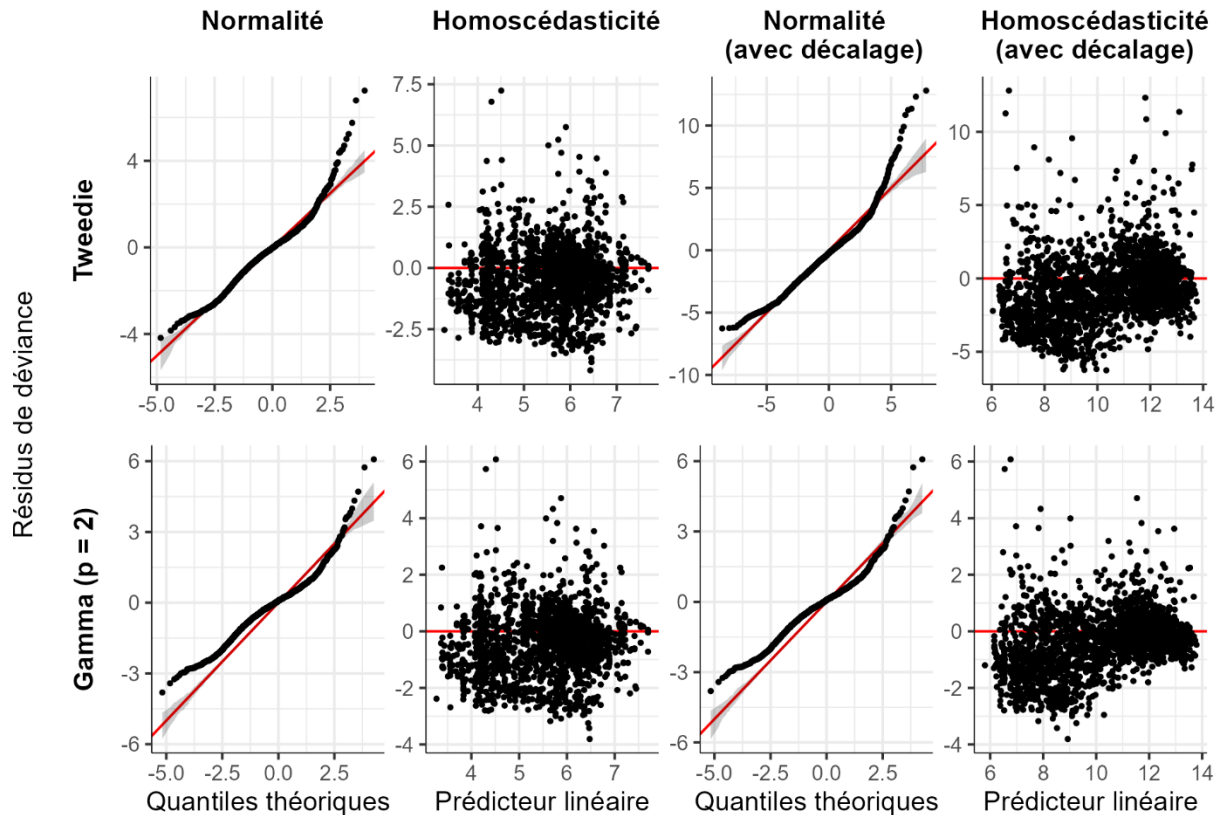


Figure A2. Diagrammes Q-Q et diagramme des résidus par rapport aux valeurs ajustées pour sélectionner le paramètre p (distribution des données) du modèle CPUE-MAG pour la sous-population du centre (frayant l'automne). Les deux panneaux de droite servent de diagnostic pour le modèle avec l'effort comme terme de décalage, et les deux panneaux de gauche sont sans terme de décalage.

Tableau A3. Diagnostic de la sous-population du centre pour la sélection des distributions du modèle CPUE-MAG. Les distributions mises à l'essai sont définies par le paramètre d'indice (p) et le terme de décalage (effort), et le modèle de meilleure distribution d'erreurs est diagnostiqué à l'aide du paramètre de dispersion (ϕ) et vérifie la normalité et l'homoscédasticité (figure A2).

Sous-population	p	Terme de décalage	ϕ	Normalité	Homoscédasticité
Centre	1,934	non	1,552	asymétrique	OK
Centre	2	non	1 849	OK	OK
Centre	1,818	oui	5,285	asymétrique	OK
Centre	2	oui	1 849	asymétrique	tendance

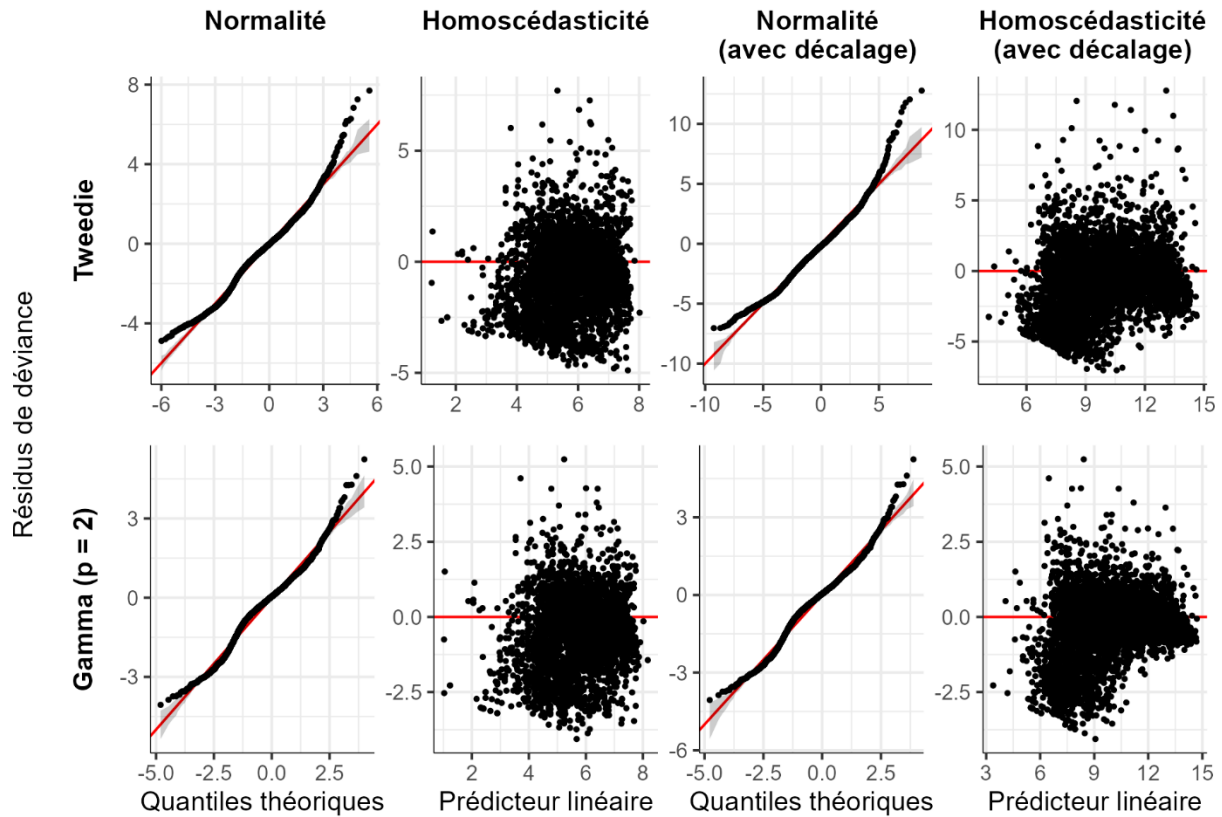


Figure A3. Diagrammes Q-Q et diagramme des résidus par rapport aux valeurs ajustées pour sélectionner le paramètre p (distribution des données) du modèle CPUE-MAG pour la sous-population du sud (frayant l'automne). Les deux panneaux de droite servent de diagnostic pour le modèle avec l'effort comme terme de décalage, et les deux panneaux de gauche sont sans terme de décalage.

Tableau A4. Diagnostic de la sous-population sud pour la sélection des distributions du modèle CPUE-MAG. Les distributions mises à l'essai sont définies par le paramètre d'indice (p) et le décalage (effort), et le modèle de meilleure distribution d'erreurs est diagnostiqué à l'aide du paramètre de dispersion (ϕ) et vérifie la normalité et l'homoscédasticité (figure A3).

Sous-population	p	Terme de décalage	ϕ	Normalité	Homoscédasticité
Sud	1,855	non	2,498	asymétrique	OK
Sud	2	non	1 393	OK	OK
Sud	1,804	oui	5,983	asymétrique	tendance
Sud	2	oui	1 393	OK	tendance

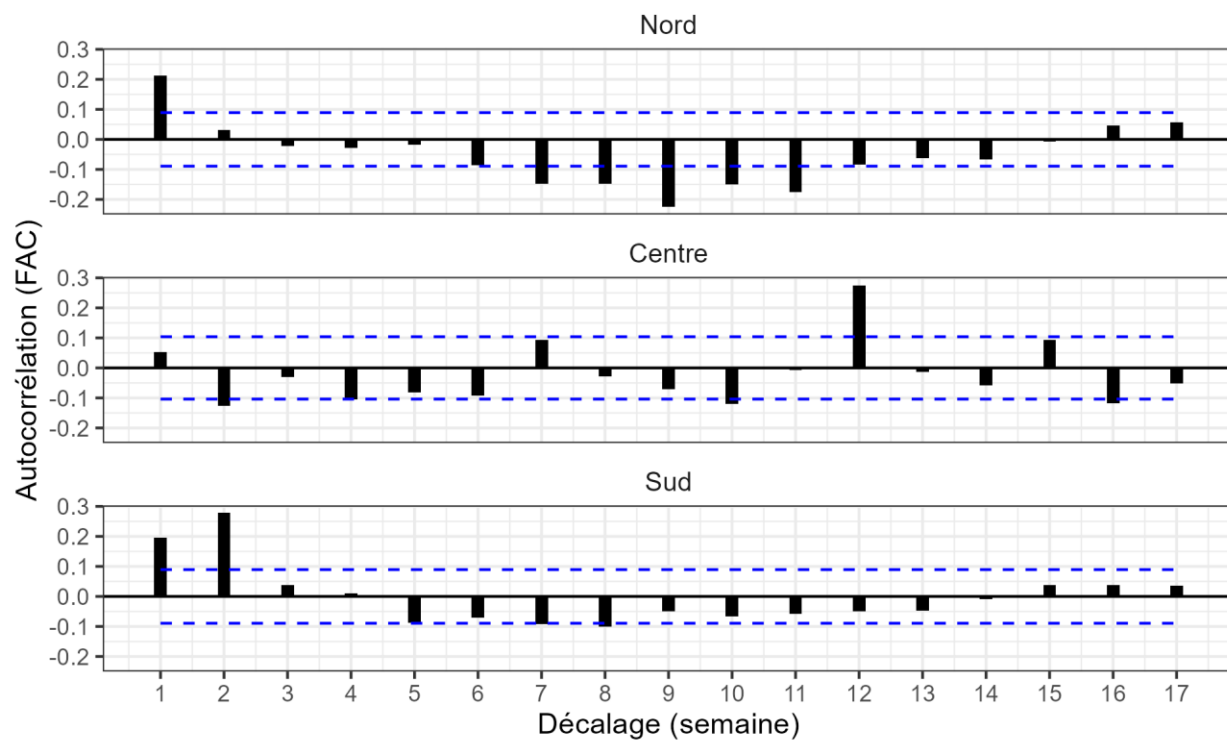


Figure A4. Autocorrélation temporelle des résidus du modèle sur les décalages hebdomadaires pour chaque sous-population de hareng d'automne (nord : haut, centre : milieu, sud : bas). Les lignes bleues tiretées représentent les intervalles de confiance à 95 % indiquant une autocorrélation significative.

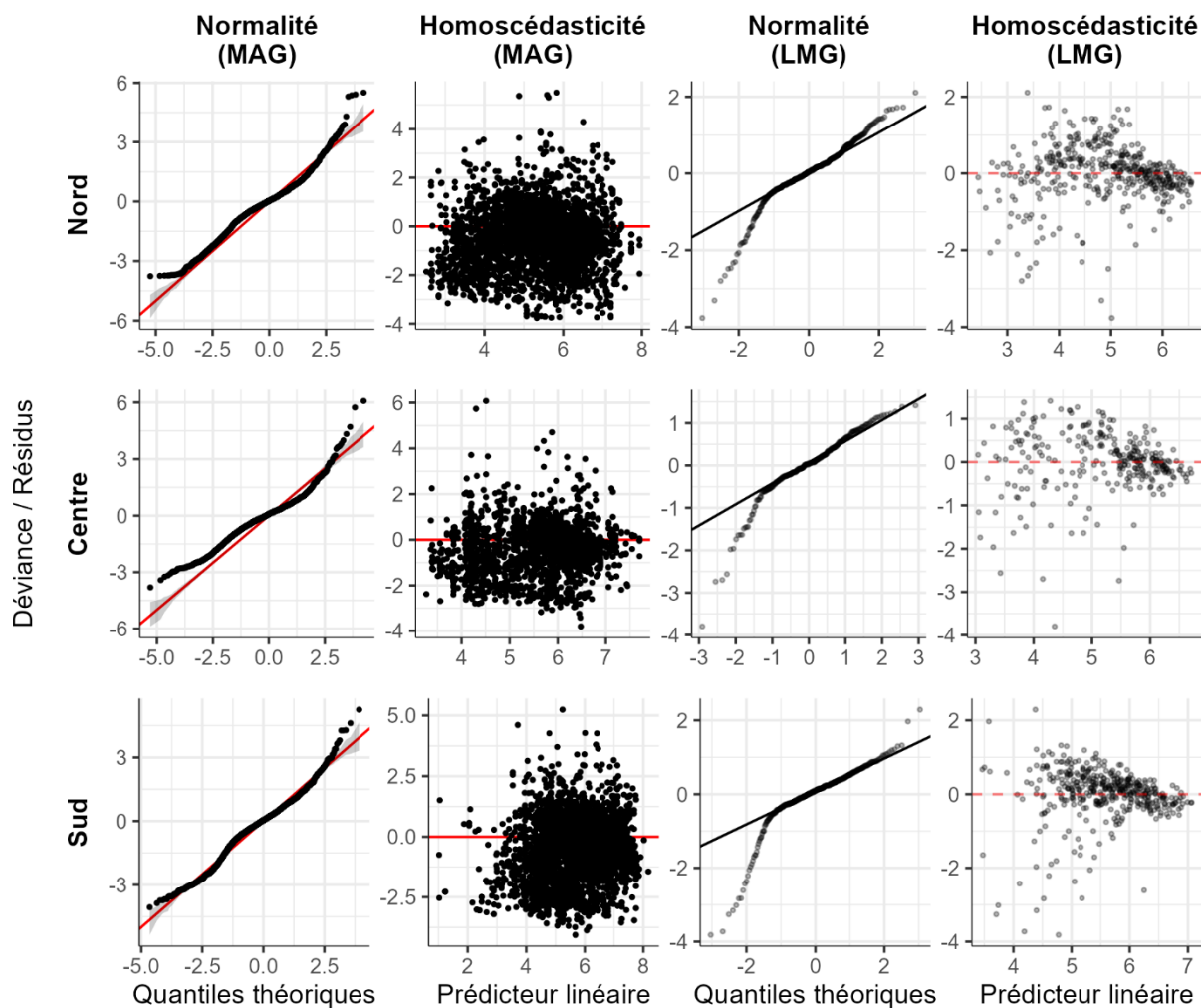


Figure A5. Diagrammes Q-Q de diagnostic et diagramme des résidus par rapport aux valeurs ajustées entre le CPUE-MAG (deux panneaux de gauche) et le CPUE-MLG (deux panneaux de droite) pour chaque sous-population de hareng d'automne sur leurs ensembles de données respectifs (nord : haut, centre : milieu, sud : bas).

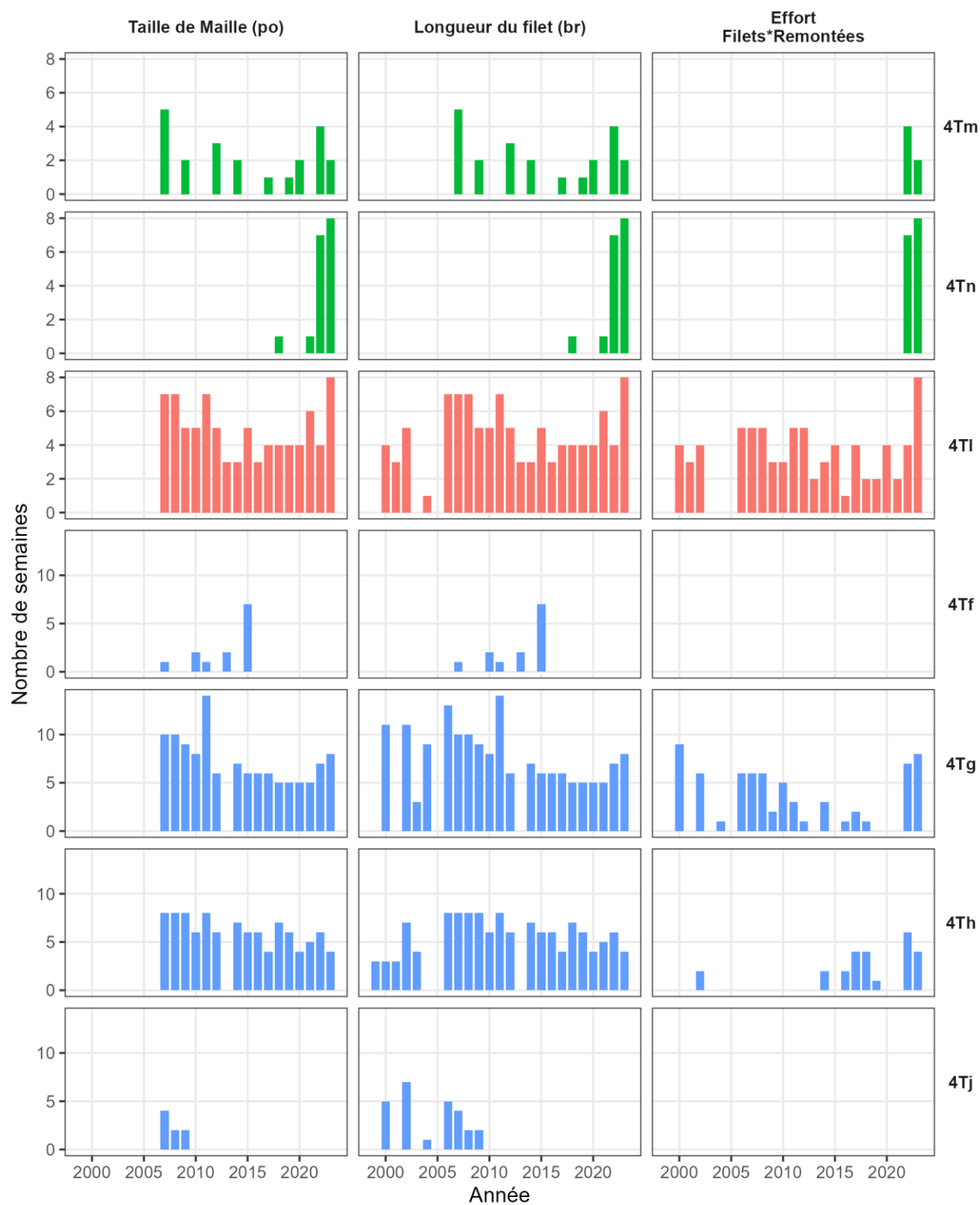


Figure A6. Nombre de semaines de pêche dans les données pour chaque année (1999 à 2023) et chaque sous-division de l'OPANO pour les sous-populations de hareng d'automne (nord : vert, centre : rouge, sud : bleu) dans les rapports du PVQ pour chaque variable d'effort (taille de maille [po] : droite, longueur du filet [brasses] : milieu, nombre de remontées de filet : gauche).

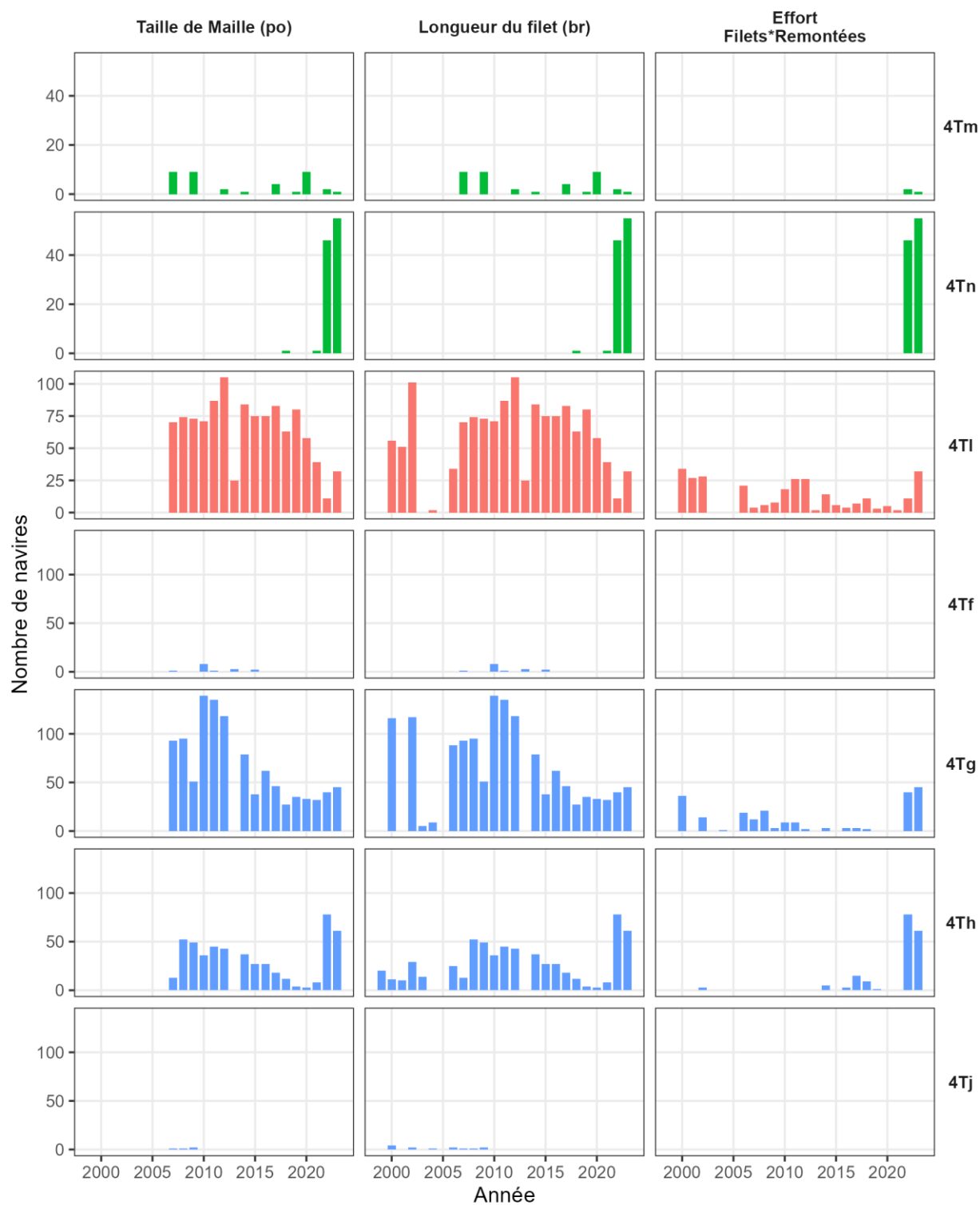


Figure A7. Nombre d'identifiants uniques de navires contribuant aux données pour chaque année (1999 à 2023) et chaque sous-division de l'OPANO pour les sous-populations de hareng d'automne (nord : vert, centre : rouge, sud : bleu) dans les rapports du PVQ pour chaque variable d'effort (taille de maille [po] : droite, longueur du filet [brasses] : milieu, nombre de remontées de filet : gauche).

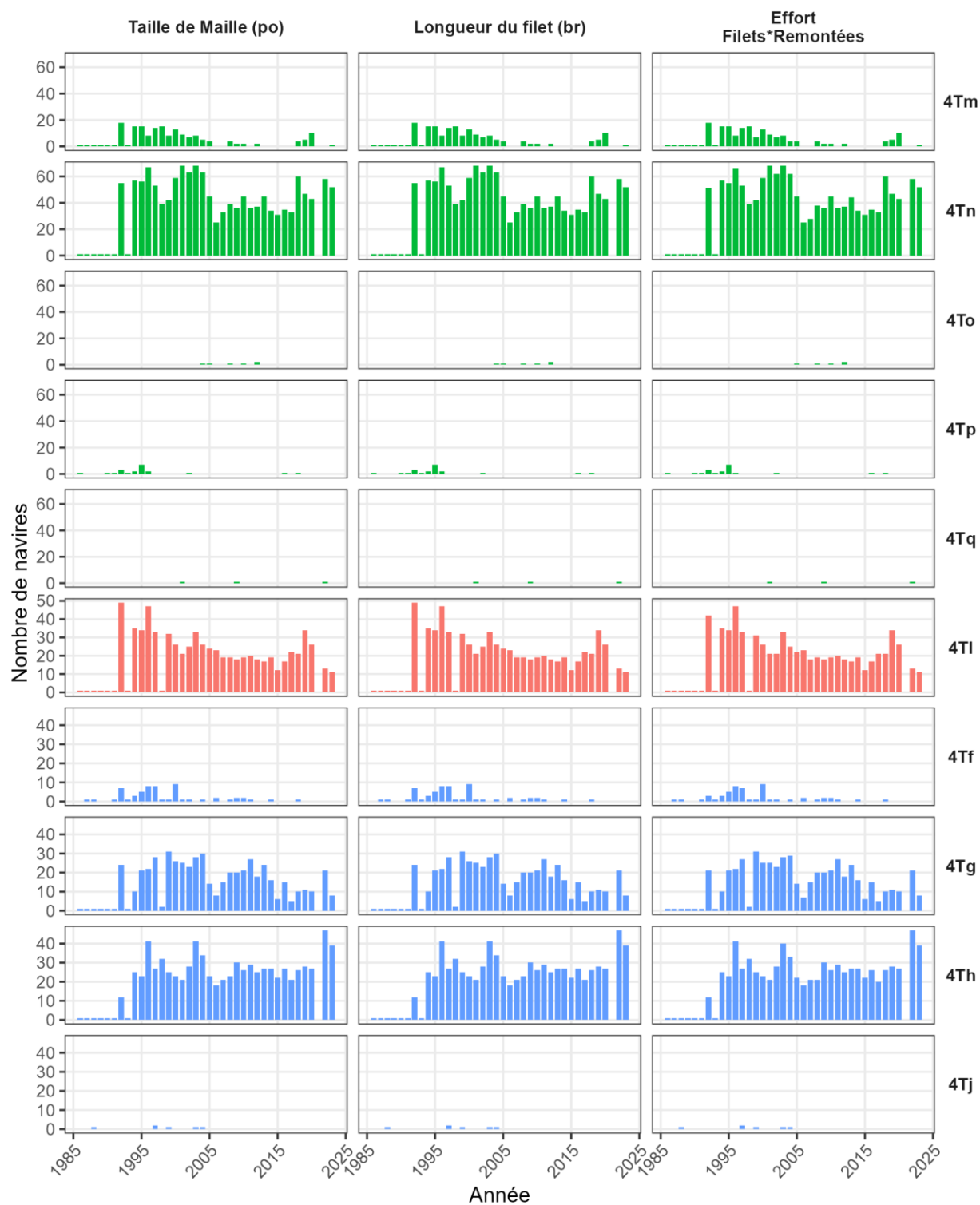


Figure A8. Nombre d'identifiants uniques de navires contribuant aux données pour chaque année (1986 à 2023) et chaque sous-division de l'OPANO pour les sous-populations de hareng d'automne (nord : vert, centre : rouge, sud : bleu) dans les rapports annuels d'enquête téléphonique pour chaque variable d'effort (taille de maille [po] : droite, longueur du filet [brasses] : milieu, nombre de remontées de filet : gauche).