



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS)

Document de recherche 2019/047

Région du Québec

Relations entre l'indice de performance de la pêche commerciale au capelan (*Mallotus* spp.) de la division 4R de l'OPANO (côte ouest de Terre-Neuve) et les conditions environnementales dans le golfe du Saint-Laurent

Jean-Martin Chamberland, Andrew Smith, Martin Castonguay et Stéphane Plourde

Pêches et Océans Canada
Institut Maurice-Lamontagne
850, Route de la Mer, C.P. 1000
Mont-Joli, Québec, G5H 3Z4

Avant-propos

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

Publié par :

Pêches et Océans Canada
Secrétariat canadien de consultation scientifique
200, rue Kent
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

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



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2019
ISSN 2292-4272

La présente publication doit être citée comme suit :

Chamberland, J.-M., Smith, A., Castonguay, M. et Plourde, S. 2019. Relations entre l'indice de performance de la pêche commerciale au capelan (*Mallotus* spp.) de la division 4R de l'OPANO (côte ouest de Terre-Neuve) et les conditions environnementales dans le golfe du Saint-Laurent. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech. 2019/047. iv + 28 p.

Also available in English :

*Chamberland, J.-M., Smith, A., Castonguay, M. and Plourde, S. 2019. Relationship between the 4R NAFO division (West coast of Newfoundland) capelin (*Mallotus* spp.) fishery performance index and environmental conditions in the Gulf of St. Lawrence. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2019/047. iv + 27 p.*

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	IV
INTRODUCTION	1
MÉTHODES	2
PRÉPARATION DES DONNÉES ZIFF	2
INDICES DE PERFORMANCE DE LA PÊCHE COMMERCIALE AU CAPELAN	2
DESCRIPTEURS ENVIRONNEMENTAUX.....	3
RELATIONS ENTRE L'INDICE DE PERFORMANCE DE PÊCHE À LA SENNE ET LES CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES.....	3
RELATIONS ENTRE L'INDICE DE PERFORMANCE DE LA PÊCHE COMMERCIALE AU CAPELAN (4R) ET LES INDICES DE DISPERSION	4
RÉSULTATS.....	4
INDICES DE PERFORMANCE	4
RELATIONS ENTRE L'INDICE DE PERFORMANCE DE PÊCHE ET LES CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES.....	5
RELATIONS ENTRE L'INDICE DE PERFORMANCE DE LA PÊCHE ET LES INDICES DE DISPERSION.....	6
DISCUSSION.....	6
CONCLUSION	8
REMERCIEMENTS	8
RÉFÉRENCES CITÉES.....	8
TABLEAUX	12
FIGURES.....	16
ANNEXE	26
ANNEXE 1 : MÉTHODOLOGIE POUR LE CALCUL DES FACTEURS ÉCONOMIQUES QUI POURRAIENT INFLUENCER LA PERFORMANCE DE LA PÊCHE COMMERCIALE AU CAPELAN	26

RÉSUMÉ

Le capelan de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (GSL) est un stock pour lequel il n'existe actuellement aucun indice d'abondance. Les avis scientifiques sur l'état du stock de capelan sont donc basés sur des indices indirects de son abondance, plus particulièrement un indice de performance de la pêche commerciale dans la division 4R de l'OPANO. Dans cette étude, nous testons l'hypothèse que les variations interannuelles de l'indice de performance de la pêche commerciale reflèteraient les variations du recrutement du capelan 2 ans plus tôt, avec la prémisse de départ que le recrutement du capelan dans le nord du GSL est associé aux mêmes processus océanographiques que ceux démontrés sur la côte est de Terre-Neuve (divisions 3KL de l'OPANO).

Nos analyses ont démontré que l'indice de performance de la pêche commerciale du capelan de la division 4R était fortement relié aux mêmes processus océanographiques que ceux déterminant le recrutement du capelan sur la côte est de Terre-Neuve, c'est-à-dire l'abondance de copépodes et le timing du bloom dans la zone pélagique. De plus, l'autocorrélation dans l'indice de performance avait une structure qui reflète la longévité de l'espèce, ce qui rajoute du support à l'hypothèse. Par contre, l'augmentation de la performance de la pêche commerciale au capelan de 1993 à 2013 pourrait s'expliquer par d'autres facteurs qui n'ont pu être testés, notamment l'amélioration des technologies utilisées par les pêcheurs commerciaux. Il est donc suggéré de continuer d'interpréter avec prudence l'indice de performance de la pêche commerciale au capelan.

INTRODUCTION

Le capelan de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (GSL) est géré comme un seul stock selon deux unités de gestion distinctes, soit celle de la division 4R et celle des divisions 4ST de l'Organisation des Pêches dans l'Atlantique du Nord-Ouest (OPANO, Figure 1), même si la structure des populations et même des espèces de capelan de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent n'est pas définie clairement (Mecklenburg et Steinke 2015, Mecklenburg *et al.* 2018).

Il n'existe actuellement aucun relevé de recherche permettant d'évaluer l'abondance du capelan dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Par conséquent, les derniers avis scientifiques (MPO 2008, 2011 et 2013) et mises à jour des indicateurs de l'état du stock de capelan de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (MPO 2015) étaient basés sur des indices indirects de l'état du stock comme l'indice de dispersion (moyenne krigée de la probabilité de présence dans le chalut de fond du relevé multidisciplinaire de poissons de fond et de crevette de Pêches et Océans Canada (MPO); Grégoire *et al.* 2002), les débarquement commerciaux, l'indice de performance de la pêche commerciale ainsi que des indices biologiques (longueurs des mâles et des femelles, indice de condition de Fulton) provenant des données de la pêche commerciale.

Sur la côte est de Terre-Neuve, un relevé de recherche printanier visant spécifiquement à estimer la biomasse de capelan est réalisé à chaque année (Mowbray 2013 et 2014). Dans ce relevé, les capelans âgés de 2 ans représentent en moyenne 58 % des individus échantillonnés (Mowbray 2014). Il existe aussi un relevé larvaire dans la baie Trinité (Nakashima et Mowbray 2014). Ces relevés ont permis de démontrer que la force des cohortes est déterminée tôt dans le cycle de vie et est fortement influencée par les conditions environnementales (Leggett *et al.* 1984, Carscadden *et al.* 2000). Plus récemment, Buren *et al.* (2014) ont démontré que les variations interannuelles de la biomasse de capelan étaient expliquées par un changement de régime des conditions océanographiques (en 1991) et la dynamique de la fonte des glaces, un déterminant clé du timing du bloom printanier de la zone pélagique (Wu *et al.* 2007). Par la suite, Mullowney *et al.* (2016) ont proposé un mécanisme pour expliquer la force du recrutement : la synchronisation de l'alimentation des larves de capelan avec le bloom printanier et l'abondance de leurs proies zooplanctoniques, exprimé par l'abondance des copépodes du genre *Calanus*. Pour représenter la force du recrutement, ces auteurs ont utilisé l'indice d'abondance des capelans de 2 ans qu'ils ont décalé de 2 ans (c'est-à-dire vers l'âge 0). Ils ont ainsi été en mesure de tester l'effet de facteurs environnementaux sur le recrutement. Murphy *et al.* (2018) ont également analysé les facteurs régulant le recrutement du capelan et ont trouvé que, après 1991, celui-ci n'était pas expliqué par les vents vers la côte qui favorisait l'émergence des larves. L'indice d'abondance d'âge 2 était plutôt relié à la densité de *Pseudocalanus sp.* lors du stade larvaire.

Dans ce contexte, le premier objectif de notre étude est de tester indirectement l'hypothèse que l'indice de performance de la pêche commerciale au capelan dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent reflète dans une certaine mesure l'abondance de capelan. Si les variations dans l'indice de performance de la pêche commerciale dans la division 4R sont reliées aux mêmes processus régularisant l'abondance des capelans sur la côte est de Terre-Neuve (Buren *et al.* 2014, Mullowney *et al.* 2016), cela apporterait un certain support à l'hypothèse de travail.

Le second objectif est de décrire la méthodologie employée pour calculer les différents indices de performance de la pêche commerciale au capelan et ainsi compléter l'avis scientifique de 2018 (MPO 2018).

MÉTHODES

PRÉPARATION DES DONNÉES ZIFF

Les données de débarquement durant la période 1986-2017 dans les divisions 4RST de l'OPANO ont été utilisées dans cette étude. Ces données sont compilées par espèce annuellement dans les bases de données ZIFF (Zonal Interchange File Format) du MPO. Les débarquements de capelan proviennent pour la plupart d'une pêche à la senne bourse et « tuck » sur la côte ouest de Terre-Neuve (4R). Cette pêche se pratique près de la côte et chaque navire effectue généralement un voyage de pêche par jour. Nous avons donc considéré que chaque entrée dans la base de données correspondait à une journée de pêche.

Les bases de données annuelles ont d'abord été mises en commun, résultant en un total de 18013 entrées. Par la suite, la saisie des zones unitaires de l'OPANO (exemple de zone unitaire : 4Ra) a été uniformisée et les entrées sans valeur pour cette colonne ont été enlevées. Nous avons ensuite sélectionné les entrées où l'engin de pêche rapporté était la senne bourse ou « tuck » en juin, juillet et août (seulement 2 entrées en mai et septembre). Finalement, les entrées avec des classes de longueur de bateaux manquantes ou inconnues ont été enlevées s'il n'était pas possible de retrouver cette information ailleurs dans la base de données à l'aide du numéro d'identification unique des bateaux. Cette dernière opération a permis de récupérer 1012 observations dans 4R, pour un total de 4511, et 140 observations dans 4T pour un total de 157. La longueur des bateaux est généralement proportionnelle à l'efficacité de la pêche. La division 4S n'a pas été incluse dans les analyses puisque la pêche à la senne bourse et « tuck » y est marginale (0 à 46 débarquements par année).

INDICES DE PERFORMANCE DE LA PÊCHE COMMERCIALE AU CAPELAN

Un indice annuel standardisé des prises par unité d'effort (PUE), qui sert d'indice de performance de la pêche commerciale, a été estimé à l'aide de modèles multiplicatifs (Gavaris 1980) appliqués aux PUE journalières ($\ln(t/\text{jour}/\text{bateau})$). Un premier modèle ayant la forme ci-dessous a été paramétré avec les données de la pêche à la senne bourse et « tuck » dans 4R, dans lequel toutes les variables explicatives ont été codées en facteurs (modèle 1 dans le Tableau 1) :

$$\ln(y_i) = b_0 + b_1x_{i1} + b_2x_{i2} + b_3x_{i3} + b_4x_{i4} + b_5x_{i5} + \varepsilon_i$$

où y_i : débarquement (tonne/jour)

x_{i1} : Année, de 1986 à 2017

x_{i2} : Mois de l'année, où juin= 6, juillet= 7 et août = 8

x_{i3} : Classe de longueur des navires où 1=1-34,9' (0,30-10,64 m), 2=35-44,9' (10,67-13,69 m), 3=45-64,9' (13,72-19,78 m), 4=65-99,9' (19,81-30,45 m), 5=100-124,9' (30,48-38,07 m), et 6= >125' (38,10 m)

x_{i4} : Zone unitaire de la division 4R de l'OPANO, soit 4Ra, 4Rb, 4Rc et 4Rd

x_{i5} : Engin de pêche où le code 25 signifie senne « tuck » et 31 signifie senne bourse

ε_i : Erreur distribuée log-normalement

Un modèle incluant l'interaction entre l'année et le mois (modèle 2, Tableau 1) a également été paramétré afin de tester l'hypothèse qu'un changement dans le timing de la fraie du capelan pourrait influencer la performance de la pêche commerciale.

Un modèle multiplicatif a aussi été développé pour la zone unitaire 4Tn (modèle 3, Tableau 1). Pour ce dernier modèle, le facteur « ENGIN » n'a pas été inclus puisque la senne bourse est le seul engin utilisé dans cette zone. Pour les modèles 1 et 3 (Tableau 1), les résidus et les

distances de Cook ont été examinés afin de vérifier si les conditions d'application étaient respectées.

Deux autres modèles multiplicatifs ont été paramétrés afin de visualiser l'effet de l'arrivée de la senne « tuck » en 2005 sur l'indice de performance de la pêche commerciale dans 4R : un modèle pour la senne bourse et un modèle pour la senne « tuck » (modèles 4 et 5, Tableau 1).

Les PUE standardisées ont été produites en utilisant, pour chaque année, les valeurs prédites par les modèles pour les niveaux suivants des facteurs de standardisation : le mois de juin, la classe de longueur 2, la zone unitaire 4Rc et la senne bourse. Les moyennes marginales estimées calculées à l'aide de la fonction « emmeans » de la librairie R du même nom (Lenth 2018) sont aussi présentées pour le modèle 1.

DESCRIPTEURS ENVIRONNEMENTAUX

Les conditions environnementales dans le GSL ont été décrites à l'aide de 4 descripteurs physiques ayant potentiellement un effet sur la dynamique du bloom phytoplanctonique printanier dans la zone pélagique (Mullowney *et al.* 2016). Les descripteurs, qui proviennent de Galbraith *et al.* (2018), sont le timing du réchauffement printanier des eaux de surface, le volume maximal des glaces dans le GSL, la date de la dernière occurrence de glace dans la région du chenal d'Esquiman (région 5, Galbraith *et al.* 2018) et la somme des anomalies de la couche intermédiaire froide et des indicateurs des glaces (Tableau 2).

Les variations dans les conditions biologiques ont été décrites à l'aide des données d'abondance de zooplancton récoltées à une station au large de Rimouski, la plus longue série de zooplancton disponible dans le GSL (1992-2015). Cette station est située dans l'estuaire du Saint-Laurent et est échantillonnée sur une base quasi-hebdomadaire du printemps jusqu'à tard à l'automne. Les variations interannuelles dans les indices d'abondance des principales espèces de zooplanctons à cette station sont généralement cohérentes avec celles des autres régions du golfe (Plourde *et al.* 2014). Deux types d'indices biologiques ont été utilisés : les moyennes annuelles des abondances des 3 espèces de copépodes dominants (*Calanus finmarchicus*, *C. glacialis* et *C. hyperboreus*), 3 indices visant à quantifier les changements de phénologie des copépodes en utilisant *C. finmarchicus*, l'espèce de copépode dominante. Ces 3 derniers descripteurs sont le moment où l'abondance maximale des jeunes stades (c1-c3) de 1^{ière} et 2^{ième} génération est observée (respectivement cf_Timing_max_C1.3_G1 et cf_Timing_max_C1.3_G1), de même que la proportion de ces stades dans la population (Cf_G2G1_maxC1.3; Plourde *et al.* 2015). Les abréviations pour chacun des descripteurs environnementaux sont fournies dans le tableau 2.

RELATIONS ENTRE L'INDICE DE PERFORMANCE DE PÊCHE À LA SENNE ET LES CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES

Les analyses subséquentes ont été effectuées sur l'indice de performance de la pêche commerciale au capelan dans 4R décalé de 2 ans (IP_{t-2}) en utilisant les valeurs prédites du modèle 1 (Tableau 1) pour les niveaux standards mentionnés précédemment. Cet indice de performance décalé de 2 ans (IP_{t-2}) a été mis en relation avec des descripteurs environnementaux représentant les mêmes processus régularisant l'abondance des capelans sur la côte est de Terre-Neuve.

Toutes les variables indépendantes ont été centrées et réduites (moyenne de 0, écart type de 1) avant les analyses, de sorte que les valeurs absolues des coefficients de régression puissent être interprétées directement en terme d'importance relative des variables explicatives dans le modèle (Legendre et Legendre 2012). L'indice de performance pour 4Tn n'a pu être utilisé pour les analyses subséquentes puisque la série n'était pas suffisamment longue.

Les facteurs d'inflation de la variance (VIF) ont été calculés afin d'identifier les variables colinéaires et les retirer avant de débiter les analyses. La variable représentant la somme des anomalies de la couche intermédiaire froide et des indicateurs des glaces a dû être retirée afin qu'aucun VIF ne soit supérieur à 5 (Zuur *et al.* 2011) (Tableau 2).

L'autocorrélation dans les données détendancées a ensuite été inspectée visuellement. Comme les données présentaient un fort patron d'autocorrélation temporelle, des modèles de régression linéaires avec toutes les variables explicatives et différentes structures d'erreur autocorrélées (méthode des moindres carrés généralisés) ont été comparés à l'aide du critère d'information d'Akaike corrigé (AICc) pour les faibles échantillons (Burnham et Anderson 2003). Les types de structures d'erreur autocorrélées qui ont été considérées sont : symétrie composée, auto-régressive d'ordre 1 (AR-1), de même que la moyenne mobile auto-régressive (ARMA) avec toutes les combinaisons des valeurs suivantes de p (nombre de paramètres auto-régressifs) et q (nombre de paramètres pour la moyenne mobile) : 0, 1 ou 2.

Par la suite, une sélection des variables explicatives par la méthode progressive descendante (« backward ») a été réalisée sur la base des AIC. Les résidus, l'autocorrélation dans les résidus et les distances de Cook du meilleur modèle ont été examinés afin de valider que les conditions d'application étaient respectées.

Les mêmes analyses ont aussi été faites avec l'indice de performance de 4R décalé de 1 et 3 ans.

RELATIONS ENTRE L'INDICE DE PERFORMANCE DE LA PÊCHE COMMERCIALE AU CAPELAN (4R) ET LES INDICES DE DISPERSION

L'indice de dispersion du capelan correspond à sa probabilité de présence (moyenne annuelle) dans le chalut de fond du relevé multidisciplinaire de poissons de fond et de crevette du MPO dans le nord du golfe. La probabilité est obtenue par krigeage et la méthodologie est décrite dans Grégoire *et al.* (2002).

La relation entre l'indice de performance de la pêche commerciale au capelan dans 4R et l'indice de dispersion pour la même zone a été testée avec le test du coefficient de corrélation de Pearson. Le test a aussi été effectué avec l'indice de dispersion pour 4RST. L'indice de dispersion était disponible de 1990 à 2017 et de 1990 à 2013 pour respectivement 4R et 4RST.

Toutes les manipulations de données et analyses ont été effectuées dans R (R Core Team 2018).

RÉSULTATS

INDICES DE PERFORMANCE

L'analyse de standardisation réalisée sur les PUE (ln(t/jour)) des senneurs de la division 4R s'est avérée significative (ANOVA, $F=71,64$, $p<0,001$) de même que la contribution de chacun des facteurs du modèle ($p<0,01$) (Tableau 3) (voir également Grégoire et Bruneau 2012). Le modèle explique 39,1 % de la variance totale. Les résidus (Figure 2A) et les résidus standardisés (Figure 2B) ne présentent pas de patron indiquant une violation de l'homogénéité des variances. Les résidus suivent une distribution qui s'écarte légèrement de la normalité (Figure 2C) et ne comportent pas de valeurs extrêmes pouvant influencer le modèle (toutes les distances de Cook sont inférieures à 0,5, Figure 2D). La pêche est de plus en plus performante à mesure que la saison progresse (effet du mois), est plus performante pour les classes de longueur des grands navires (CL_LONG 4, 5 et 6) et les zones unitaires de l'OPANO plus au sud (ZONE_U 4Rc et 4Rd), et la performance de la senne bourse est plus grande que celle de la

senne « tuck » (Figure 3). L'indice de performance du modèle tel que décrit par les moyennes standardisées a été calculé en fixant les facteurs aux niveaux suivants : MOIS=6, CL_LONG=2, ZONE_U =4Rc et ENGIN=31. L'indice présente une augmentation moyenne de 2,71 t/j/année de 2005 à 2013. Depuis 2014, les valeurs annuelles de cet indice sont à la baisse, mais demeurent toutefois supérieures à la moyenne de la série (Figure 4). L'indice tel que calculé à partir des moyennes marginales estimées (Figure 5) présente le même patron que celui calculé avec des niveaux prédéterminés puisqu'il provient du même modèle. Cependant, l'échelle des valeurs des deux indices est différente, car les moyennes marginales sont estimées à partir de l'effet moyen de chaque facteur tandis que les moyennes standardisées sont estimées pour des niveaux prédéterminés des facteurs.

L'interaction entre l'année et le mois (modèle 2, Tableau 1) était significative, ($p < 0,0001$). Ce modèle expliquait 42,4 % de la variance, soit 1,3 % de plus que le modèle 1.

L'analyse de variance réalisée sur les PUE des senneurs de la zone unitaire 4Tn s'est aussi avérée significative ($F=2,821$, $p<0,01$) de même que la contribution des facteurs du modèle ($p<0,05$), à l'exception de la classe de longueur des navires ($p >0,05$) (Tableau 4). Le modèle explique 14,7 % de la variance totale et les résidus (Figure 6A) et les résidus standardisés (Figure 6B) présentent des patrons qui pourraient suggérer une violation d'homogénéité des variances. Les résidus suivent une distribution qui s'écartent de la normalité (Figure 6C) et ne comportent pas de valeurs extrêmes pouvant influencer le modèle (toutes les distances de Cook sont inférieures à 0,5) (Figure 6D). Dans 4Tn, la performance est supérieure en juin et comparable pour les différentes classes de longueur de bateau (Figure 7). Bien que les facteurs de standardisation ne soient pas exactement les mêmes, les moyennes des performances mesurées dans 4R et 4Tn sont similaires. Cependant, la performance mesurée dans 4Tn comporte plus de variabilité (Figure 8).

L'arrivée de la pêche à la senne « tuck » dans 4R en 2005 semble avoir un effet négligeable sur l'indice de performance global (senne bourse et « tuck ») puisque l'indice pour la senne bourse et l'indice pour la senne « tuck » varient de manière cohérente (Figure 9).

RELATIONS ENTRE L'INDICE DE PERFORMANCE DE PÊCHE ET LES CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES

La colinéarité des descripteurs environnementaux mis en relation avec IP_{t-2} n'était pas sévère puisque tous les VIF étaient en dessous de 5 (Neter *et al.* 1996, Chatterjee *et al.* 2000; Tableau 2). L'autocorrélation dans l'indice de performance de la pêche commerciale dans 4R était significative pour un décalage de 1, 2 et 3 ans et montre un patron général décroissant (Figure 10).

Les modèles avec différentes structures d'erreurs autocorrélées mettant en relation IP_{t-2} et tous les descripteurs environnementaux ont été comparés sur la base des AICc (Tableau 5). Le modèle ayant le plus de support est celui impliquant une erreur distribuée normalement et non autocorrélée. Il s'agit aussi du modèle ayant le plus petit nombre de paramètres (K). Il a donc été retenu pour l'analyse subséquente, qui consistait à réaliser une sélection progressive descendante des variables explicatives basée sur les AIC.

Le modèle optimal sélectionné inclut le timing du réchauffement printanier, le volume maximal de glace en hiver ainsi que l'abondance moyenne annuelle de *C. hyperboreus* et *C. glacialis* (Tableau 6). Le modèle s'est avéré significatif ($p < 0,0001$) et explique 72,2 % de la variation de l' IP_{t-2} . Les résidus (Figure 11A) et les résidus standardisés (Figure 11B) ne présentent pas de patron indiquant une violation de l'homogénéité des variances. Les résidus sont distribués normalement (Figure 11C), ne comportent pas de valeurs extrêmes pouvant influencer le modèle (toutes les distances de Cook sont inférieures à 0,5) (Figure 11D) et ne sont pas

significativement autocorrélés ($r = 0,43$, $p = 0,052$ pour un décalage de 1). Une comparaison des valeurs prédites par le modèle environnemental et l'indice de performance de 4R, ordonnée selon les années, est aussi présentée à la Figure 12 et montre que les prédictions correspondent très bien corrélée avec les valeurs observées.

L'abondance moyenne annuelle de *C. hyperboreus* est la variable contribuant le plus au modèle, suivie du volume maximal de glace, et du timing du réchauffement printanier. Le coefficient de régression positif de *C. hyperboreus* signifie qu'une augmentation de l'abondance de cette espèce est suivie, deux ans plus tard, par une augmentation de la performance de la pêche commerciale au capelan dans la division 4R de l'OPANO. De même, une augmentation du volume maximal de glace et un réchauffement printanier plus tardif sont associés à des augmentations de la performance de la pêche 2 ans plus tard. Quant à l'abondance moyenne annuelle de *C. glacialis*, elle a une importance moindre dans le modèle (Tableau 6).

Les mêmes analyses faites avec l'indice de performance de 4R décalé de 1 et 3 ans ont donné des résultats très similaires à l'exception que les meilleurs modèles étaient légèrement moins bien ajustés aux données qu'avec un décalage de 2 ans.

RELATIONS ENTRE L'INDICE DE PERFORMANCE DE LA PÊCHE ET LES INDICES DE DISPERSION

La corrélation entre l'indice de performance de la pêche commerciale dans 4R et l'indice de dispersion pour cette même zone était non significative au seuil $\alpha = 0,05$ ($r = 0,355$, $p = 0,08147$; Figure 13). La corrélation entre l'indice de performance dans 4R et l'indice de dispersion dans les divisions 4RST était significative ($r = 0,53$, $p = 0,009$; Figure 14).

DISCUSSION

Les modèles multiplicatifs appliqués aux PUE ont permis de produire pour chaque année des indices standardisés de performance de la pêche commerciale du capelan dans la division OPANO 4R et la zone unitaire 4Tn. Ces indices sont dits « standardisés » puisqu'ils tiennent compte des variations interannuelles de la date des débarquements (mois), de la longueur des bateaux, des zones unitaires (4Ra à 4Rd), ainsi que du type d'engin utilisé. Ces indices sont donc directement comparables d'une année à l'autre.

L'indice annuel de performance de la pêche commerciale au capelan 4R décalé de 2 ans est très bien expliqué par des indices environnementaux reflétant les mêmes processus suggérés comme étant fondamentaux dans le contrôle du recrutement du capelan sur la côte est de Terre-Neuve (Buren *et al.* 2014, Mullaney *et al.* 2016). De plus, la structure de l'autocorrélation dans cet indice détendancé correspond à la longévité des adultes reproducteurs dans la population capturable. L'autocorrélation significative à un décalage de 1 et 2 ans pourrait s'expliquer par le fait que la plupart des femelles se reproduisent 2 fois dans leur vie ou, dans une moindre mesure, 3 fois. Cela renforce l'idée que l'indice de performance de la pêche représente dans une certaine mesure un indice relatif du recrutement du capelan 2 ans plus tôt.

La forte corrélation entre IP_{t-2} et l'abondance moyenne annuelle de *C. hyperboreus* suggère un lien fort, mais le mécanisme sous-jacent demeure hypothétique. Ce dernier pourrait être en lien avec l'importance de l'alimentation printanière pour la condition des juvéniles et des adultes, de même que pour le développement des gonades (Gerasimova 1994). *C. hyperboreus* est un copépode important dans les communautés zooplanctoniques des eaux profondes du GSL (Plourde *et al.* 2002, Plourde *et al.* 2003). Il représente une proie importante des capelans juvéniles et adultes (Vesin *et al.* 1981), mais les larves de capelan (< 75 mm) ne se nourrissent

pas de copépodes d'aussi grande taille (Vesin *et al.* 1981, Courtois et Dodson 1986, O'Driscoll *et al.* 2001). Gerasimova (1994) rapporte qu'au printemps, *C. hyperboreus* était la proie la plus importante des capelans juvéniles au moment où les copépodes dominaient le plus leur régime alimentaire. L'habitat d'hivernage du capelan, selon des études sur la côte est et les Grands Bancs de Terre-Neuve, serait les eaux profondes (150-250 m) dans des baies (Winters 1970) ou sur les pentes du plateau continental (Kovalyov et Kudrin 1973). L'abondance moyenne annuelle de *C. hyperboreus* mesurée à la station de Rimouski suit une tendance à la hausse de 1995 à 2015, mais une plus grande variabilité dans les données est observée à partir de 2003. L'habitat des capelans juvéniles et adultes en hiver et au printemps, de même que la consommation de *C. hyperboreus* par ce dernier pourrait donc expliquer la forte relation entre IP_{t-2} et ce copépode.

L'indice de performance de la pêche au capelan dans 4R était soit non significativement corrélé, soit très faiblement corrélé aux indices de dispersion calculés à partir du relevé multidisciplinaire au poisson de fond et à la crevette. Ces résultats, combinés aux études qui démontrent que plusieurs espèces de poissons pélagiques ont changé leur distribution verticale en fonction de l'absence de prédateurs dans la zone démersale (Mowbray 2002, McQuinn 2009), renforcent l'idée que les données provenant de relevés de poissons de fond ne reflètent pas les fluctuations d'abondance des populations de poissons pélagiques.

L'utilisation d'un indice de performance de la pêche commerciale comme indicateur de l'état d'un stock repose entre autres sur la prémisse que la capturabilité des poissons par les pêcheurs demeure constante dans le temps. Or, de nombreux facteurs sont sujets à influencer la capturabilité, lesquels peuvent être regroupés en facteurs biologiques et environnementaux, socio-économiques et technologiques. Parmi les facteurs biologiques et environnementaux, notons le comportement du capelan qui pourrait varier d'une année à l'autre. En effet, la capturabilité du capelan par les pêcheurs commerciaux pourrait être influencée par la sélection de l'habitat de reproduction (démersal vs plage), ce qui semblerait être déterminé par la température de l'eau (Crook *et al.* 2017). De même, un changement dans les distributions verticale et spatiale du capelan d'une année à l'autre pourrait influencer sa capturabilité (Campbell 2004). Le timing de la fraie pourrait aussi affecter la performance de la pêche commerciale. Ce dernier facteur a été testé statistiquement en ajoutant l'interaction ANNÉE * MOIS dans le modèle multiplicatif de 4R (modèle 2, Tableau 1). Ce nouveau terme, bien que significatif, ne permettait pas d'améliorer le modèle 1 de manière biologiquement significative. Également, la structure génétique du stock de capelan pêché dans le GSL est mal connue (MPO 2018) et il est possible qu'une partie de la pêche cible du capelan en provenance du Labrador. L'indice de performance de la pêche pourrait donc être influencé par l'intrusion de capelan par le détroit de Belle-Isle certaines années, ce qui ajoute de l'incertitude quant à son interprétation.

Des facteurs socio-économiques pourraient aussi influencer la performance de la pêche commerciale, puisque la rentabilité de l'activité agit sur le comportement des pêcheurs, notamment leur propension à prendre des risques (Holland 2008) et leurs patrons de déplacements dans la zone de pêche (Gillis 2003). Selon Lam *et al.* (2011), les deux principales dépenses des pêcheurs en Amérique du Nord sont les salaires et le carburant. Dans l'Annexe 1, nous avons assumé que les salaires étaient constants d'une année à l'autre (en tenant compte de l'inflation) et comparé l'effet du coût du carburant et du prix de vente du capelan (en dollars constants) au modèle environnemental. Les deux facteurs économiques et les descripteurs environnementaux du meilleur modèle expliquaient conjointement 33,7 % de la variation, mais les facteurs économiques n'ont apporté aucune nouvelle information dans le modèle. L'hypothèse que la performance de la pêche commerciale soit influencée par des facteurs économique est donc, selon les données disponibles, faiblement supportée.

Les avancées technologiques pourraient aussi expliquer l'augmentation de la performance de la pêche commerciale de 2004 à 2013. Notamment, l'augmentation de la puissance des navires, l'amélioration des échosondeurs, les cartes bathymétriques peu dispendieuses combinées aux systèmes de navigation par GPS rendant la navigation possible en tout temps, les communications électroniques pouvant augmenter la coopération et même les radars permettant d'identifier des agrégations d'oiseaux marins sont tous des exemples de technologies qui influencent la capturabilité et rendent la pêche plus efficace (Rahikainen et Kuikka 2002). Dans le cas de la pêche commerciale de 4R, il n'a pas été possible de tester l'influence de ces facteurs.

CONCLUSION

L'indice de performance de la pêche commerciale au capelan décalé de 2 ans était très bien expliqué par des variables reflétant les processus à la base du recrutement de la même espèce sur la côte est de Terre-Neuve. De même, l'autocorrélation temporelle dans l'indice décalé montre un patron concordant avec la biologie de l'espèce. Ces deux éléments supportent l'hypothèse que l'indice de performance de la pêche au capelan de la division 4R reflète dans une certaine mesure un indice relatif du recrutement deux ans plus tôt. Toutefois, son interprétation doit être faite avec prudence puisque de nombreux facteurs qui ne sont pas tenus en compte dans le modèle de standardisation pourraient influencer l'indice de performance. Il existe aussi plusieurs exemples qui montrent que la performance des pêches commerciales peut demeurer stable malgré le déclin des populations pêchées, notamment la morue franche du nord (Rose et Kulka 1999), de même que plusieurs espèces de gadiformes et de poissons plats dans les eaux européennes (Harley *et al.* 2001). Il sera intéressant de tester le modèle environnemental du capelan avec de nouvelles années de données.

REMERCIEMENTS

Nous remercions les nombreux biologistes et techniciens qui ont récolté les données, de même que Kim Émond et Hans-Frédéric Ellefsen pour la révision de ce document.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Buren, A. D., Koen-Alonso, M., Pepin, P., Mowbray, F., Nakashima, B., Stenson, G., Ollerhead, N., et Montevecchi, W. A. 2014. Bottom-Up Regulation of Capelin, a Keystone Forage Species. *PLoS ONE* 9(2): e87589.
- Burnham, K. P., et Anderson, D. R. 2003. Model selection and multimodel inference: a practical information-theoretic approach. Springer Science & Business Media.
- 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.* 70:209-227.
- Carscadden, J. E., Frank, K. T. et Leggett, W. C. 2000. Evaluation of an environment-recruitment model for capelin (*Mallotus villosus*). *ICES J. Mar. Sci.* 57:412-418.
- Chatterjee, S., Hadi, A. S., et Price, B. 2000. Regression analysis by example. John Wiley and Sons, New York, New York, USA.
- Courtois, R., et Dodson, J. J. 1986. Régime alimentaire et principaux facteurs influençant l'alimentation des larves de capelan (*Mallotus villosus*), d'éperlan (*Osmerus mordax*) et de hareng (*Clupea harengus harengus*) dans un estuaire partiellement mélangé. *Can. J. Fish. and Aquat. Sci.* 43:968-979.

-
- Crook, K. A., Maxner, E., et Davoren, G. K. 2017. Temperature-based spawning habitat selection by capelin (*Mallotus villosus*) in Newfoundland. ICES J. of Mar. Sci. 74 :1622-1629.
- Galbraith, P.S., Chassé, J., Caverhill, C., Nicot, P., Gilbert, D., Lefaiivre, D. et Lafleur, C. 2018. [Physical oceanographic conditions in the Gulf of St. Lawrence during 2017](#). DFO. Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2018/050. v + 79 p.
- Gavaris, S. 1980. Use of a multiplicative model to estimate catch rate and effort from commercial data. Can. J. Fish. and Aquat. Sci. 37:2272-2275.
- Gerasimova, O. 1994. Peculiarities of Spring Feeding by Capelin (*Mallotus villosus*) on the Grand Bank in 1987-90. J. Northwest Atl. Fish. Sci. 17:59-67.
- Gillis, D. M. 2003. Ideal free distributions in fleet dynamics: a behavioral perspective on vessel movement in fisheries analysis. Can. J. Zool. 81:177-187.
- Grégoire, F., et Bruneau, B. 2012. [Le capelan \(*Mallotus villosus*\) de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent \(Divisions 4RST de l'OPANO\) en 2010](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2011/023. vi + 116 pp.
- Grégoire, F., Bourdages, H., et Roy, J. 2002. Production d'un indice de dispersion pour le capelan (*Mallotus villosus* L.) de l'estuaire et du nord du golfe du Saint-Laurent par le krigeage d'indicatrice. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2418: vi + 21 p.
- Harley, S. J., Myers, R. A., et Dunn, A. 2001. Is catch-per-unit-effort proportional to abundance? Can. J. Fish. and Aquat. Sci. 58:1760-1772.
- Holland, D. S. 2008. Are Fishermen Rational? A Fishing Expedition. Mar. Resour. Econ. 23:325-344.
- Kovalyov, S., et Kudrin, B. 1973. Soviet investigations on capelin in the Grand Newfoundland Bank area in 1972. ICNAF.
- Lam, V. W. Y., Sumaila, U. R., Dyck, A., Pauly, D. et Watson, R. 2011. Construction and first applications of a global cost of fishing database. ICES J. Mar. Sci. 68:1996-2004.
- Legendre, P., et Legendre, L. 2012. Numerical Ecology. Third English edition. Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands.
- Leggett, W. C., Frank, K. T. et Carscadden, J. E. 1984. Meteorological and Hydrographic Regulation of Year-Class Strength in Capelin (*Mallotus villosus*). Can. J. Fish. and Aquat. Sci. 41:1193-1201.
- Lenth, R. 2018. [emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means](#). R package version 1.2.2.
- McQuinn, I. H. 2009. Pelagic fish outburst or suprabenthic habitat occupation: legacy of the Atlantic cod (*Gadus morhua*) collapse in eastern Canada. Can. J. Fish. and Aquat. Sci. 66:2256-2262.
- Mecklenburg, C. W., et Steinke, D. 2015. Ichthyofaunal Baselines in the Pacific Arctic Region and RUSALCA Study Area. Oceanography 28:158-189.
- Mecklenburg, C. W., Lynghammar, A., Johansen, E., Byrkjedal, I., Dolgov, A. V., Kaamushko, O. V., Mecklenburg, T. A., Møller, P. R., Steinke, D., et Wienerroither, R. M. 2018. Marine Fishes of the Arctic Region Volume 1. Conservation of Arctic Flora and Fauna.
- MPO. 2008. [Évaluation du stock de capelan de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent \(Divisions 4RST\) en 2007](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2008/037.
-

-
- MPO. 2011. [Évaluation du stock de capelan de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent \(Divisions 4RST\) en 2010](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2011/008.
- MPO. 2013. [Évaluation du stock de capelan de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent \(Divisions 4RST\) en 2012](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2013/021.
- MPO. 2015. [Mise à jour des indicateurs de l'état du stock de capelan de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent \(divisions 4RST\) en 2014](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Rép. des Sci. 2015/032.
- MPO. 2018. [Évaluation du stock de capelan de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent \(Divisions 4RST\) en 2017](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2018/037.
- Mowbray, F. K. 2002. Changes in the vertical distribution of capelin (*Mallotus villosus*) off Newfoundland. ICES J. Mar. Sci. 59:942-949.
- Mowbray, F. K. 2013. [Some results from spring acoustic surveys for capelin \(*Mallotus villosus*\) in NAFO Division 3L between 1982 and 2010](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2012/143. ii + 34 p.
- Mowbray, F. K. 2014. [Recent spring offshore acoustic survey results for capelin, *Mallotus villosus*, in NAFO Division 3L](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2013-040. v + 25 p.
- Mulowney, D., Maillet, G., Dawe, E., Rose, G., et Rowe, S. 2016. Spawning delays of northern capelin (*Mallotus villosus*) and recovery dynamics: A mismatch with ice-mediated spring bloom? Progress in Oceanography 141:144-152.
- Murphy, H. M., Pepin, P., et Robert, D. 2018. Re-visiting the drivers of capelin recruitment in Newfoundland since 1991. Fish. Res. 200:1-10.
- Nakashima, B. S., et Mowbray, F. K. 2014. [Capelin \(*Mallotus villosus*\) recruitment indices in NAFO division 3KL](#). Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2013/091 v + 27 p.
- Neter, J, M. Kutner, H., Nachtsheim, C. J., et Wasserman, W. 1996. Applied linear statistical models. Irwin, Chicago, Illinois, USA.
- O'Driscoll, R. L., Parsons, M. J. D., et Rose, G. A. 2001. Feeding of capelin (*Mallotus villosus*) in Newfoundland waters. Sarsia 86:165-176.
- Plourde, S., Dodson, J. J., Runge, J. A., et Therriault, J.-C. 2002. Spatial and temporal variations in copepod community structure in the lower St. Lawrence Estuary, Canada. Mar. Ecol. Prog. Ser. 230:211-224.
- Plourde, S., Joly, P., Runge, J. A., Dodson, J., et Zakardjian, B. 2003. Life cycle of *Calanus hyperboreus* in the lower St. Lawrence Estuary and its relationship to local environmental conditions. Mar. Ecol. Prog. Ser. 255:219-233.
- Plourde, S., Starr, M., Devine, L., St-Pierre, J.-F., St-Amand, L., Joly, P., et Galbraith et P. S. 2014. [Chemical and biological oceanographic conditions in the Estuary and Gulf of St. Lawrence during 2011 and 2012](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2014/049. v + 46 pp.
- Plourde, S., Grégoire, F., Lehoux, C., Galbraith, P.S., Castonguay, M., et Ringuette, M. 2015. Effect of environmental variability on body condition and recruitment success of Atlantic Mackerel (*Scomber scombrus* L.) in the Gulf of St. Lawrence. Fish. Oceano. 24:347-363.
- R Core Team. 2018. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
-

-
- Rahikainen, M., et Kuikka, S. 2002. Fleet dynamics of herring trawlers—change in gear size and implications for interpretation of catch per unit effort. *Can. J. Fish. and Aquat. Sci.* 59:531-541.
- Rose, G. A., et Kulka, D. W. 1999. Hyperaggregation of fish and fisheries: how catch-per-unit-effort increased as the northern cod (*Gadus morhua*) declined. *Can. J. Fish. and Aquat. Sci.* 56:118-127.
- Statistics Canada 2017a. [Table 326-0009 - Average retail prices for gasoline and fuel oil, by urban centre, monthly \(cents per litre\), CANSIM \(database\)](#). (site consulté le 2017-12-20).
- Statistique Canada 2017b. [Indice des prix à la consommation \(IPC\)](#). (site consulté le 2017-12-20).
- Statistique Canada 2017c. [Tableau 326-0020 - Indice des prix à la consommation \(IPC\), mensuel \(2002=100 sauf indication contraire\)](#). (site consulté le 2017-12-21).
- Vesin, J. P., Leggett, W. C., et Able, K. W. 1981. Feeding Ecology of Capelin (*Mallotus villosus*) in the Estuary and Western Gulf of St. Lawrence and its Multispecies Implications. *Canadian Can. J. Fish. and Aquat. Sci.* 38:257-267.
- Winters, G. H. 1970. Biological Changes in Coastal Capelin from the Over-Wintering to the Spawning Condition. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 27:2215-2224.
- Wu, Y., Peterson, I. K., Tang, C. C. L., Platt, T., Sathyendranath, S., et Fuentes-Yaco, C. 2007. The impact of sea ice on the initiation of the spring bloom on the Newfoundland and Labrador Shelves. *J. of Plank. Res.* 29:509-514.
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N. J., Saveliev, A. A., et Smith, G. M. 2011. *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*. Springer.

TABLEAUX

Tableau 1 : Modèles multiplicatifs utilisés pour produire les indices standardisés de performance de la pêche commerciale au capelan dans les divisions 4R et 4T de l'OPANO. Cl. de long : classe de longueur de navire.

Num	Modèle	Facteurs de standardisation						Données
		Année	Mois	Cl. de long.	Zone unitaire	Engin	Année*Mois	
1	4R	X	X	X	X	X	-	4R
2	4R interaction	X	X	X	X	X	X	4R
3	4Tn	X	X	X	-	-	-	4T
4	4R bourse	X	X	X	X	-	-	4R senne bourse
5	4R "tuck"	X	X	X	X	-	-	4R senne "tuck"

Tableau 2: Abréviations, définitions et facteurs d'inflation de la variance (VIF) des descripteurs environnementaux mis en relation avec l'indice de performance de la pêche commerciale décalé de 2 ans dans 4R.

Abréviation	Définition	VIF
SprTiming	Timing du réchauffement printanier (jour julien)	1,13
GSL_Ice_Volmax	Volume maximal de glace	3,55
Day_lastIce_Reg5	Somme des anomalies froides CIF et glace	2,10
Cfin	<i>Calanus finmarchicus</i> (ab. moy. ann.)	1,52
Cglac	<i>Calanus glacialis</i> (ab. moy. ann.)	1,66
Chyp	<i>Calanus hyperboreus</i> (ab. moy. ann.)	1,38
Cf_Timing_max_C1.3_G1	Timing du max d'abondance jeunes stades (C1C3), 1ère géné.	2,09
Cf_Timing_max_C1.3_G2	Timing du max d'abondance jeunes stades (C1C3), 2ième géné.	1,61
Cf_G2G1_maxC1.3	Rapport G2 sur G1 (2ième / 1ième géné.)	1,78

Tableau 3. Résultats du modèle multiplicatif utilisé pour standardiser les PUE (indice de performance) de capelan de la pêche commerciale à la senne bourse et « tuck » de la division 4R de l'OPANO. Les abréviations suivantes sont utilisées : dl, degré de liberté; SC, somme des carrés; Pr, probabilité; Err. Std, erreur standard; E.-T., erreur type.

Table ANOVA				
	dl	SC	F	Pr(>F)
ANNÉE	30,0	617,95	30,371	< 2e-16 ***
MOIS	2,0	9,37	6,909	0,001 **
CL_LONG	5,0	1181,91	348,531	< 2e-16 ***
ZONE_U	3,0	73,38	36,066	< 2e-16 ***
ENGIN	1,0	109,59	161,590	< 2e-16 ***
Résidus	3028,3	4454	-	- -

Signif. : 0 *** 0,001 ** 0,01 * 0,05

Modèle: lpue ~ ANNÉE + MOIS + ZONE_U + CL_LONG					
Résidus:	Min,	1Q	Médiane	3Q	Max.
	-8,6049	-0,3248	0,1137	0,5018	1,9518
Coefficients:	Estimé	E.-T.	Valeur t	Pr(> t)	-
Ordonnée à l'origine	0,936	0,125	7,457	0,000	***
ANNÉE1987	-0,028	0,187	-0,151	0,880	-
ANNÉE1988	0,493	0,591	0,835	0,404	-
ANNÉE1989	1,075	0,264	4,073	0,000	***
ANNÉE1990	0,364	0,246	1,480	0,139	-
ANNÉE1991	0,821	0,119	6,877	0,000	***
ANNÉE1992	0,477	0,109	4,376	0,000	***
ANNÉE1993	0,381	0,114	3,337	0,001	***
ANNÉE1994	0,070	0,187	0,373	0,709	-
ANNÉE1996	-0,043	0,105	-0,410	0,682	-
ANNÉE1997	0,093	0,107	0,872	0,383	-
ANNÉE1998	0,564	0,109	5,157	0,000	***
ANNÉE1999	0,454	0,115	3,945	0,000	***
ANNÉE2000	0,458	0,115	3,978	0,000	***
ANNÉE2001	0,546	0,212	2,581	0,010	**
ANNÉE2002	0,557	0,122	4,580	0,000	***
ANNÉE2003	0,528	0,116	4,537	0,000	***
ANNÉE2004	0,405	0,112	3,599	0,000	***
ANNÉE2005	0,575	0,110	5,227	0,000	***
ANNÉE2006	0,889	0,109	8,190	0,000	***
ANNÉE2007	0,781	0,117	6,668	0,000	***
ANNÉE2008	0,991	0,116	8,528	< 2e-16	***
ANNÉE2009	0,986	0,111	8,853	< 2e-16	***
ANNÉE2010	1,288	0,115	11,154	< 2e-16	***
ANNÉE2011	1,345	0,118	11,365	< 2e-16	***
ANNÉE2012	1,138	0,113	10,080	< 2e-16	***
ANNÉE2013	1,521	0,126	12,117	< 2e-16	***
ANNÉE2014	1,454	0,126	11,522	< 2e-16	***
ANNÉE2015	1,380	0,111	12,417	< 2e-16	***
ANNÉE2016	1,276	0,115	11,127	< 2e-16	***
ANNÉE2017	1,086	0,161	6,768	0,000	***
MOIS7	0,198	0,044	4,520	0,000	***
MOIS8	0,290	0,217	1,339	0,181	-
CL_LONG2	0,379	0,081	4,671	0,000	***
CL_LONG3	0,657	0,084	7,778	0,000	***
CL_LONG4	1,510	0,088	17,231	< 2e-16	***
CL_LONG5	1,598	0,090	17,821	< 2e-16	***
CL_LONG6	1,536	0,107	14,385	< 2e-16	***
ZONE_U4Rb	0,171	0,049	3,515	0,000	***
ZONE_U4Rc	0,396	0,046	8,539	< 2e-16	***
ZONE_U4Rd	0,375	0,066	5,654	0,000	***
ENGIN31	0,511	0,040	12,712	< 2e-16	***

Modèle:	Ipue ~ ANNÉE + MOIS + ZONE_U + CL_LONG				
Résidus:	Min,	1Q	Médiane	3Q	Max.
	-8,6049	-0,3248	0,1137	0,5018	1,9518
E.-T. résidus: 0,8235 sur 4469 dl.					
R ² multiple: 0,3966, R ² ajusté: 0,3911					
F: 71,64 sur 41 et 4469 dl, p: <2,2E-16					

Tableau 4. Résultats du modèle multiplicatif utilisé pour standardiser les PUE (indice de performance) de capelan de la pêche commerciale à la senne bourse de la zone unitaire 4Tn. Les abréviations suivantes sont utilisées : dl, degré de liberté; SC, somme des carrés; Pr, probabilité; E.-T., erreur type; Ord, ordonnée à l'origine.

Table ANOVA				
	dl	SC	F	Pr(>F)
ANNÉE	10,0	136,93	2,741	0,0042 **
MOIS	1,0	30,50	6,107	0,0147 *
CL_LONG	3,0	29,82	1,990	0,1185 -
Résidus	134,0	669,36	-	- -
Signif. 0 *** 0,001 ** 0,01 * 0,05				

Modèle:	Ipue ~ ANNÉE + MOIS + ZONE_U + CL_LONG				
Résidus:	Min.	1Q	Médiane	3Q	Max
	-6,7789	-0,3572	0,4895	1,1803	3,6469
Coefficients:	Estimé	E.-T.	Valeur t	Pr(> t)	-
Ordonnée à l'origine	0,229	3,284	0,070	0,945	-
ANNÉE1993	-1,058	3,799	-0,279	0,781	-
ANNÉE2006	-0,234	1,867	-0,125	0,901	-
ANNÉE2007	0,152	2,296	0,066	0,947	-
ANNÉE2008	-1,071	2,787	-0,384	0,701	-
ANNÉE2009	-2,185	1,706	-1,281	0,202	-
ANNÉE2010	-1,070	1,718	-0,623	0,535	-
ANNÉE2011	-0,789	1,672	-0,472	0,638	-
ANNÉE2012	-0,608	2,107	-0,289	0,773	-
ANNÉE2015	-0,590	1,899	-0,311	0,757	-
ANNÉE2016	-0,717	1,824	-0,393	0,695	-
MOIS6	3,300	1,161	2,842	0,005 **	
CL_LONG23	-0,351	2,628	-0,134	0,894	-
CL_LONG24	0,830	2,581	0,322	0,748	-
CL_LONG25	1,262	2,786	0,453	0,651	-
E.-T. résidus: 2,235 sur 134 dl					
R ² multiple: 0,2276, R ² ajusté: 0,1469					
F: 2,821 sur 14 et 134 dl, p: 0,001004					

Tableau 5. Comparaison de différentes structures d'erreurs autocorrélées pour les modèles mettant en relation l'indice de performance de la pêche au capelan décalé de 2 ans et tous les descripteurs environnementaux. K : nombre de paramètres.

Modèle	K	AICc
Aucune autocorrélation temporelle	11	97,28
Symétrie composée	12	106,48
Auto-régressif d'ordre 1 (AR-1)	12	99,33
ARMA: $p = 1, q = 0$	12	99,10
ARMA: $p = 0, q = 1$	12	101,67
ARMA: $p = 1, q = 1$	13	110,28
ARMA: $p = 2, q = 0$	13	110,28
ARMA: $p = 0, q = 2$	13	112,25
ARMA: $p = 2, q = 1$	14	124,33
ARMA: $p = 1, q = 2$	14	124,33
ARMA: $p = 2, q = 2$	15	141,75

Tableau 6. Résultats du modèle optimal de régression linéaire multiple entre IP_{t-2} et les descripteurs environnementaux. Les abréviations suivantes sont utilisées : dl, degré de liberté; Pr, probabilité; E.-T., erreur type.

Modèle:	$IP_{t-2} \sim \text{SprTiming} + \text{GSL_Ice_Volmax} + \text{Cglac} + \text{Chyp}$				
Résidus:	Min.	1Q	Médiane	3Q	Max
	-0,9107	-0,2506	0,0101	0,1954	1,1010
Coefficients:	Estimé	E.-T.	Valeur t	Pr(> t)	-
Ordonnée à l'origine	-0,052	0,110	-0,467	0,646	-
SprTiming	0,249	0,113	2,200	0,041	*
GSL_Ice_Volmax	0,276	0,130	2,118	0,048	*
Cglac	-0,179	0,121	-1,488	0,154	-
Chyp	0,690	0,113	6,080	0,000	***
É.-T. résidus: 0,572 sur 18 dl					
R ² multiple: 0,773, R ² ajusté: 0,722					
F: 15,29 sur 4 et 18 dl, p: 1,294e-05					

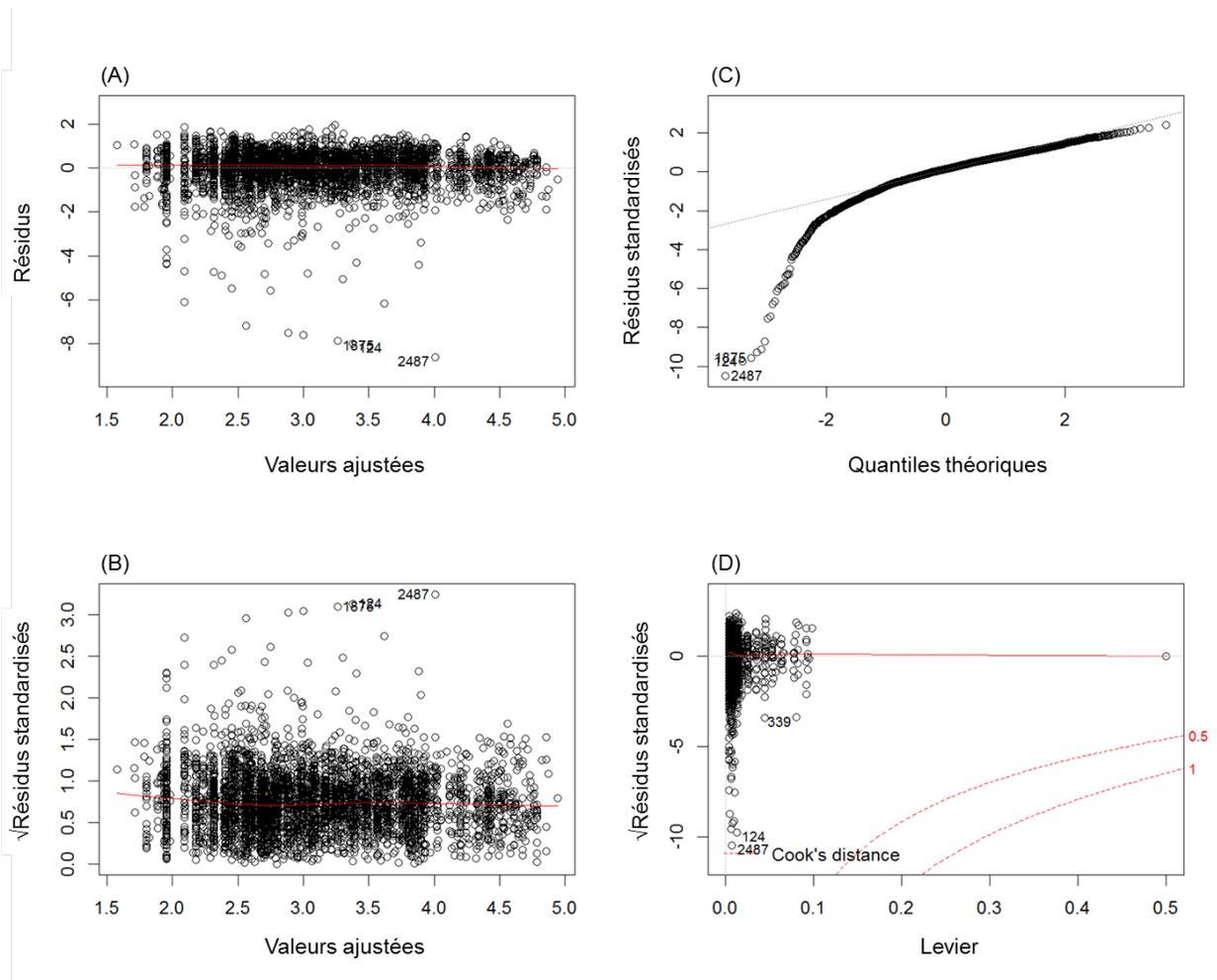


Figure 2. Diagnostiques du modèle multiplicatif utilisé pour standardiser les PUE (indice de performance) de capelan de la pêche à la senne bourse et « tuck dans la division 4R de l'OPANO. (A: résidus vs valeurs ajustées du modèle, B : racine carrée des valeurs absolues des résidus standardisés vs valeurs ajustées du modèle, C : graphique quantile-quantile des résidus standardisés et D : graphique des résidus standardisés vs levier et distances de Cook de 0,5 et 1).

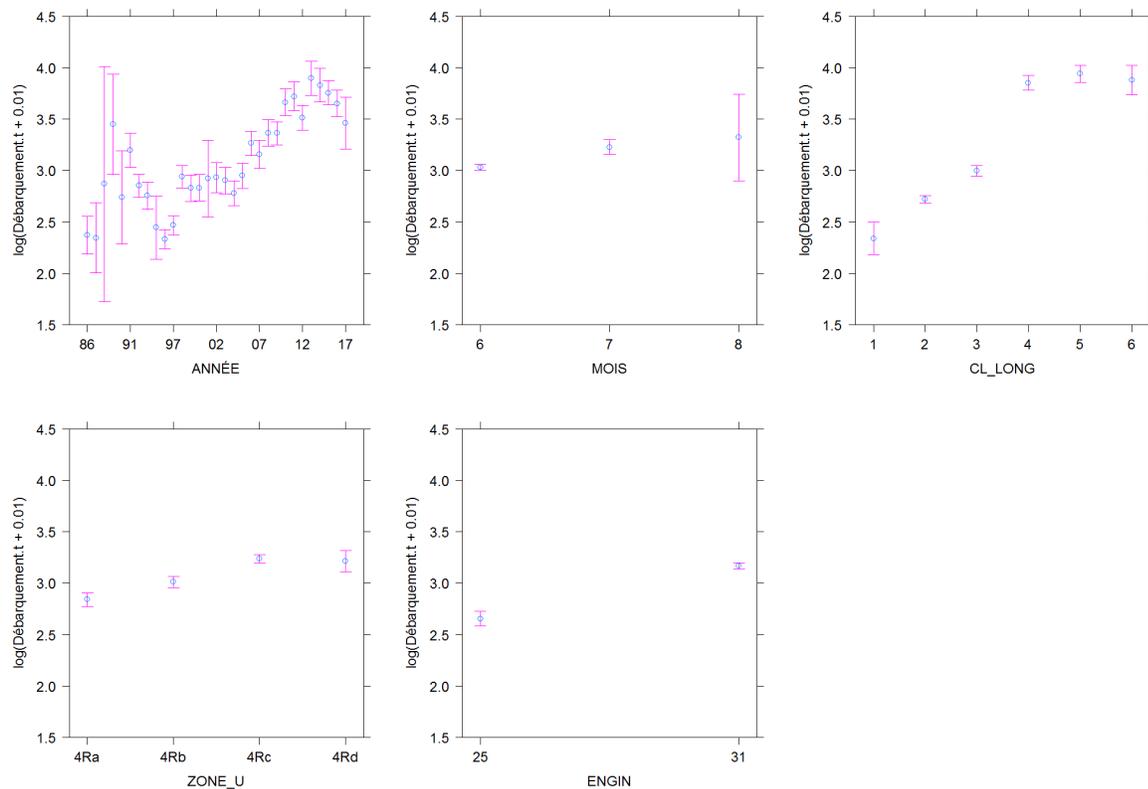


Figure 3. Effets et erreurs-types des différents niveaux des facteurs de standardisation sur l'indice de performance de la pêche commerciale au capelan de la division 4R de l'OPANO. Les axes des ordonnées sont exprimés sur l'échelle des prédicteurs linéaires.

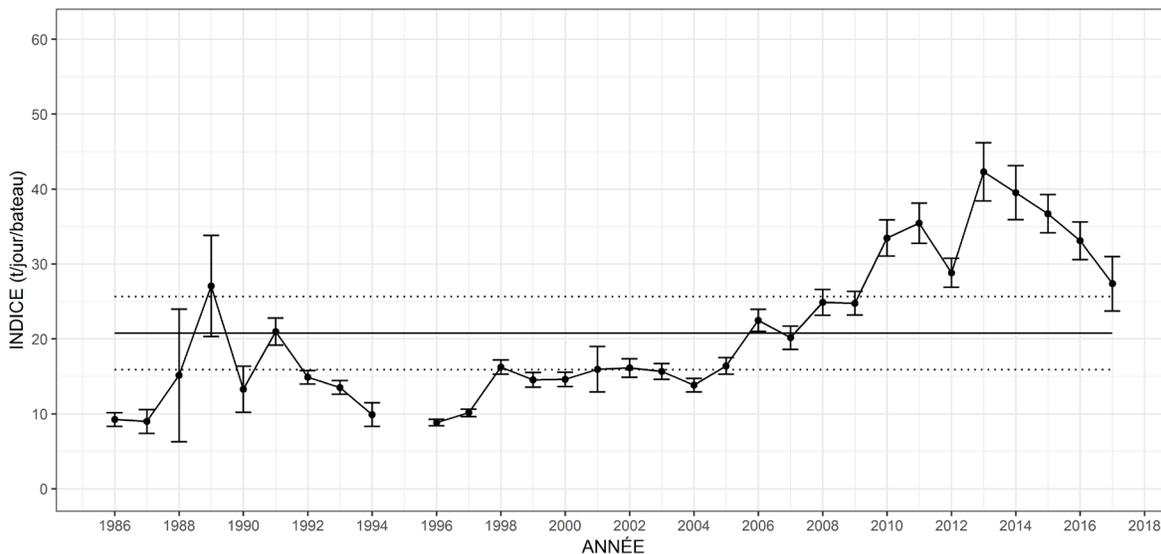


Figure 4. Performance (t/jour/bateau) de la pêche à la senne bourse et « tuck » sur la côte ouest de Terre-Neuve (division 4R de l'OPANO) telle que mesurée par un indice standardisé des prises par unité d'effort. Les niveaux de référence utilisés dans la standardisation sont : MOIS=6, CL_LONG=2, ZONE_U=4Rc et ENGIN=31. La ligne horizontale pleine représente la moyenne de la série et les lignes pointillées la moyenne $\pm 0,5$ écart type.

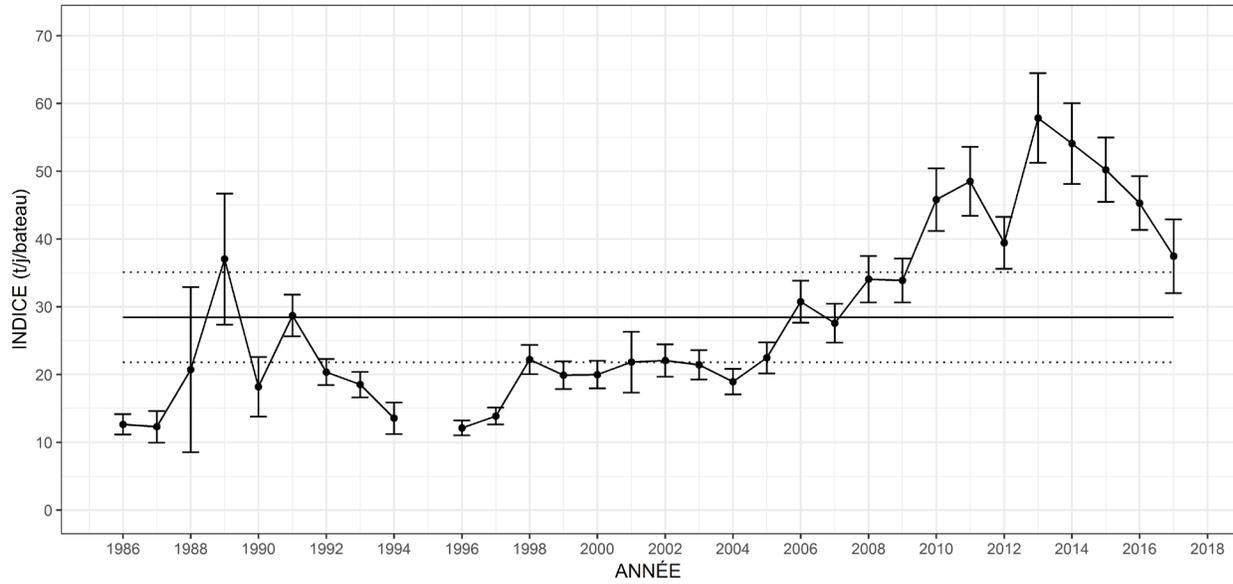


Figure 5. Performance (t/jour/bateau) de la pêche à la senne bourse et « tuck » sur la côte ouest de Terre-Neuve (division 4R de l'OPANO) telle que mesurée par un indice standardisé des prises par unité d'effort (moyennes marginales estimées). La ligne horizontale pleine représente la moyenne de la série et les lignes pointillées la moyenne $\pm 0,5$ écart type.

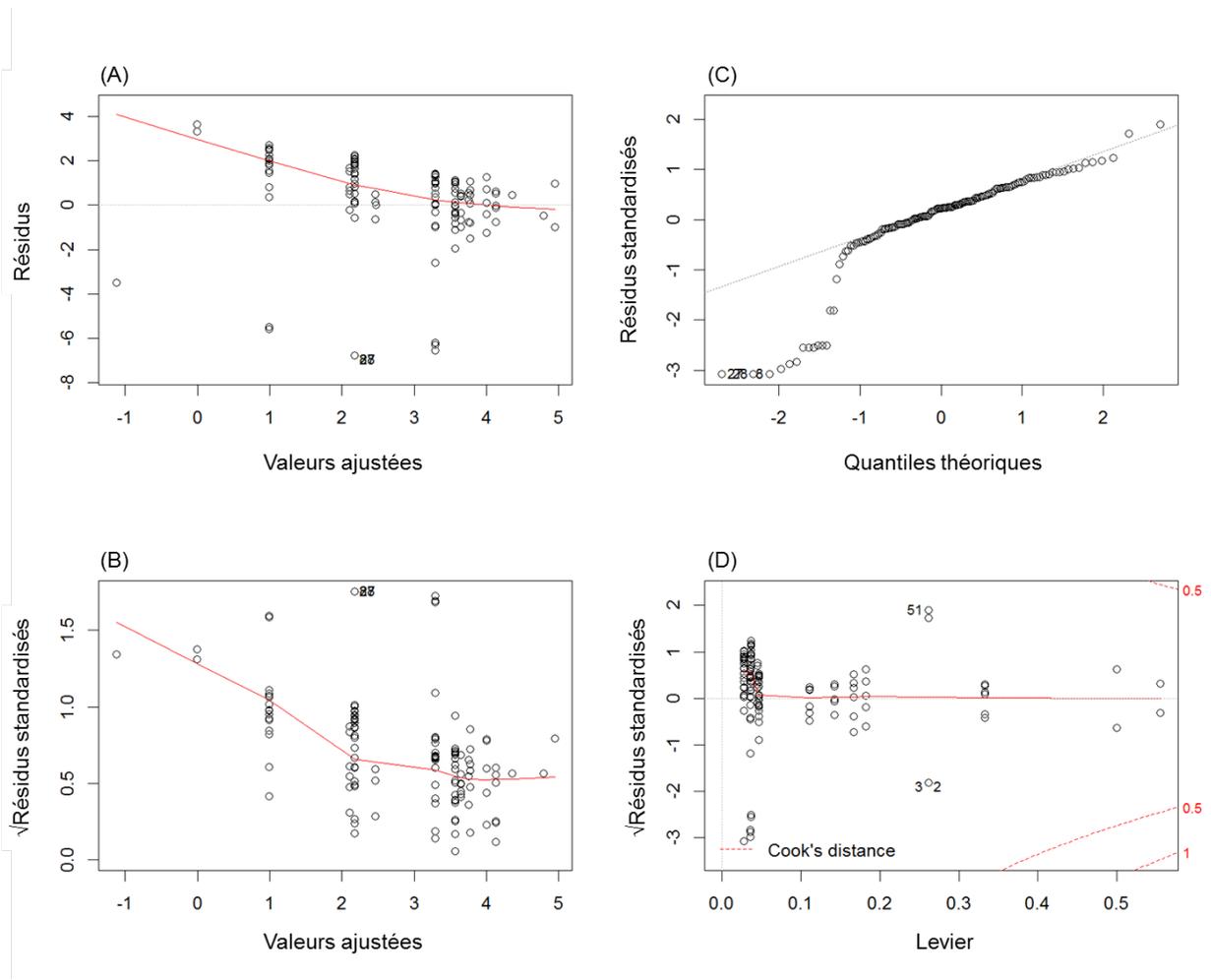


Figure 6. Diagnostiques du modèle multiplicatif utilisé pour standardiser les PUE (indice de performance) de capelan de la pêche à la senne bourse dans la zone unitaire 4Tn (A : résidus vs valeurs ajustées du modèle, B : racine carrée des valeurs absolues des résidus standardisés vs valeurs ajustées du modèle, C : graphique quantile-quantile des résidus standardisés et D : graphique des résidus standardisés vs levier et distances de Cook de 0,5 et 1).

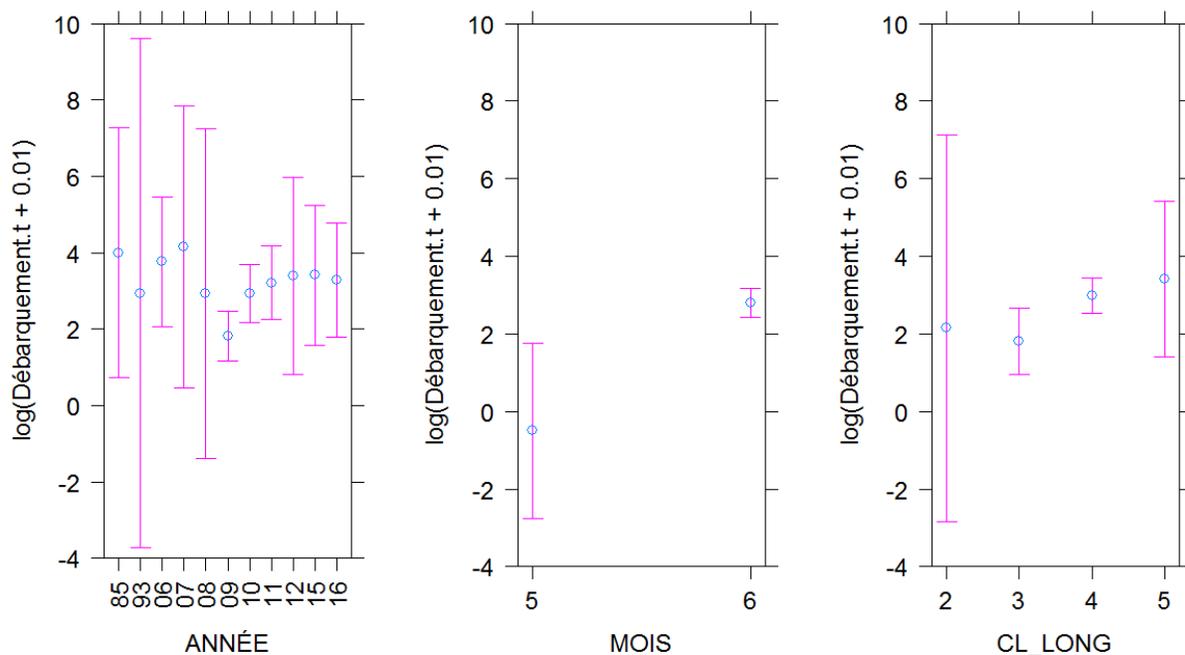


Figure 7. Effets et erreurs-types des différents niveaux des facteurs de standardisation sur l'indice de performance de la pêche commerciale au capelan de la zone unitaire 4Tn. Les axes des ordonnées sont exprimées sur l'échelle des prédicteurs linéaires.

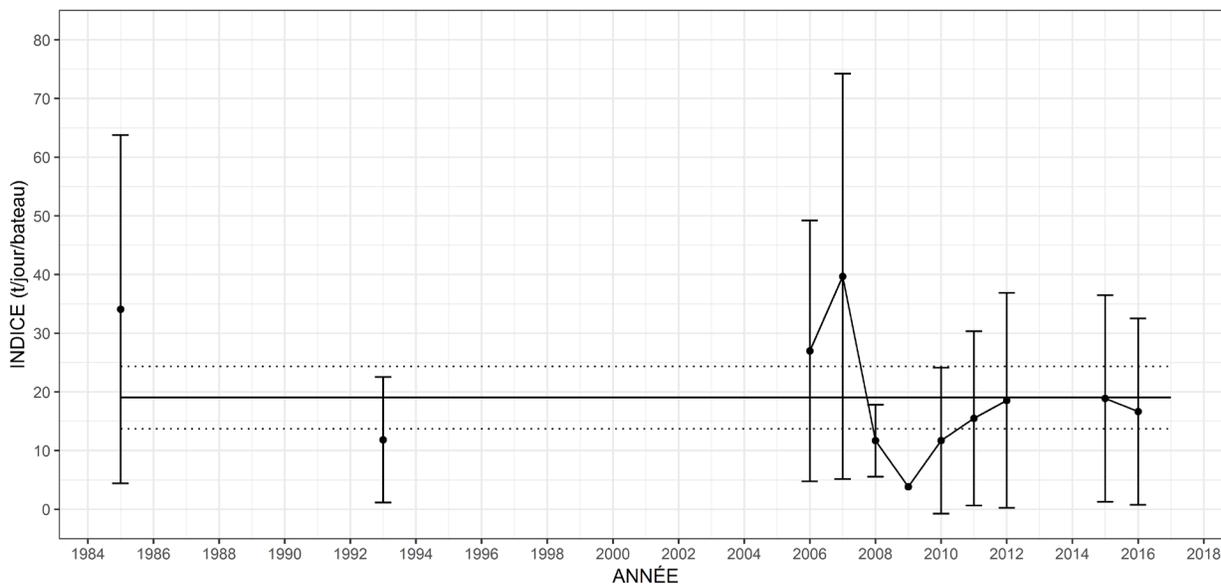


Figure 8: Performance (t/jour/année) de la pêche à la senne bourse dans la zone unitaire 4Tn telle que mesurée par un indice standardisé des prises par unité d'effort. La ligne horizontale pleine représente la moyenne de la série et les lignes pointillées la moyenne $\pm 0,5$ écart type. Les niveaux de référence utilisés dans la standardisation sont : MOIS=6, CL_LONG = 2.

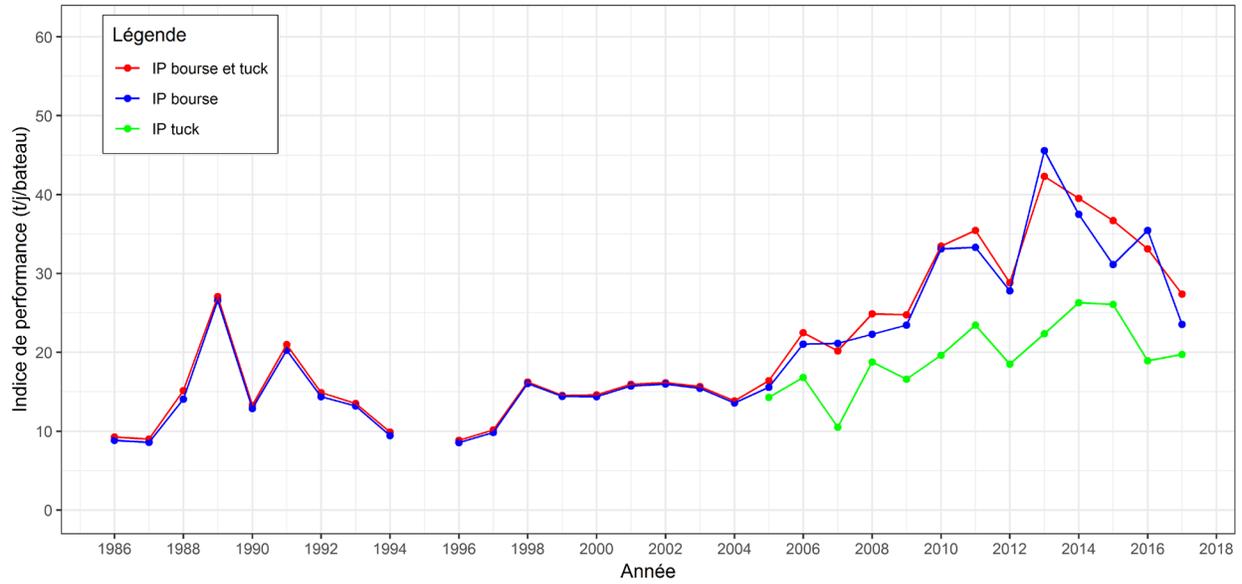


Figure 9. Comparaison entre les indices de performance de la pêche à la senne bourse et « tuck » combiné, bourse et « tuck » (modèles 1, 4 et 5 dans le Tableau 1) pour la division 4R de l'OPANO.

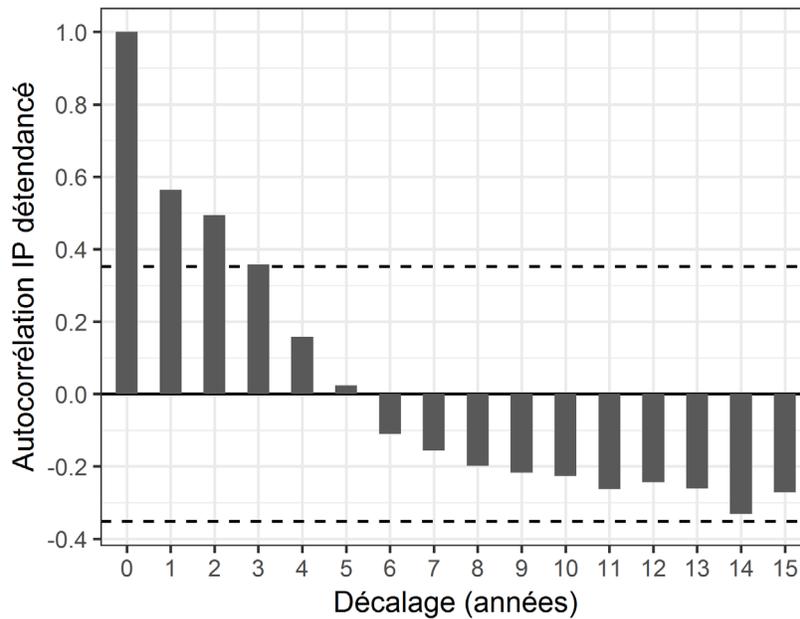


Figure 10. Autocorrélation dans l'indice de performance de la pêche commerciale déstancé en fonction du décalage de la série temporelle avec elle-même (années). Les lignes pointillées horizontales représentent le seuil à partir duquel l'autocorrélation est significative.

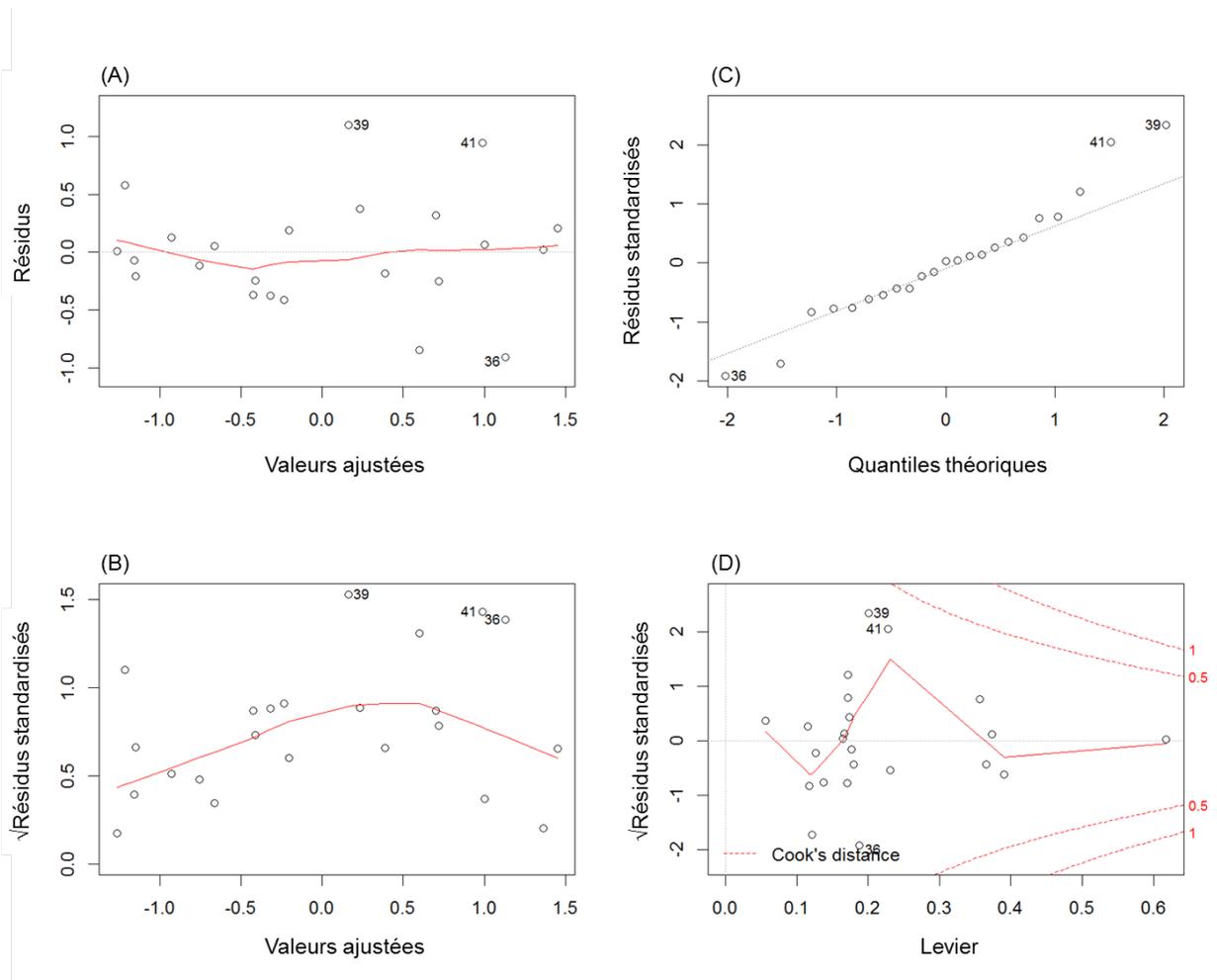


Figure 11. Diagnostiques du modèle optimal entre IP_{t-2} et les descripteurs environnementaux. (A: résidus en fonction des valeurs ajustées du modèle, B : racine carrée des valeurs absolues des résidus standardisés en fonction des valeurs ajustées du modèle, C : graphique quantile-quantile des résidus standardisés et D : graphique des résidus standardisés en fonction du levier et distances de Cook de 0,5 et 1).

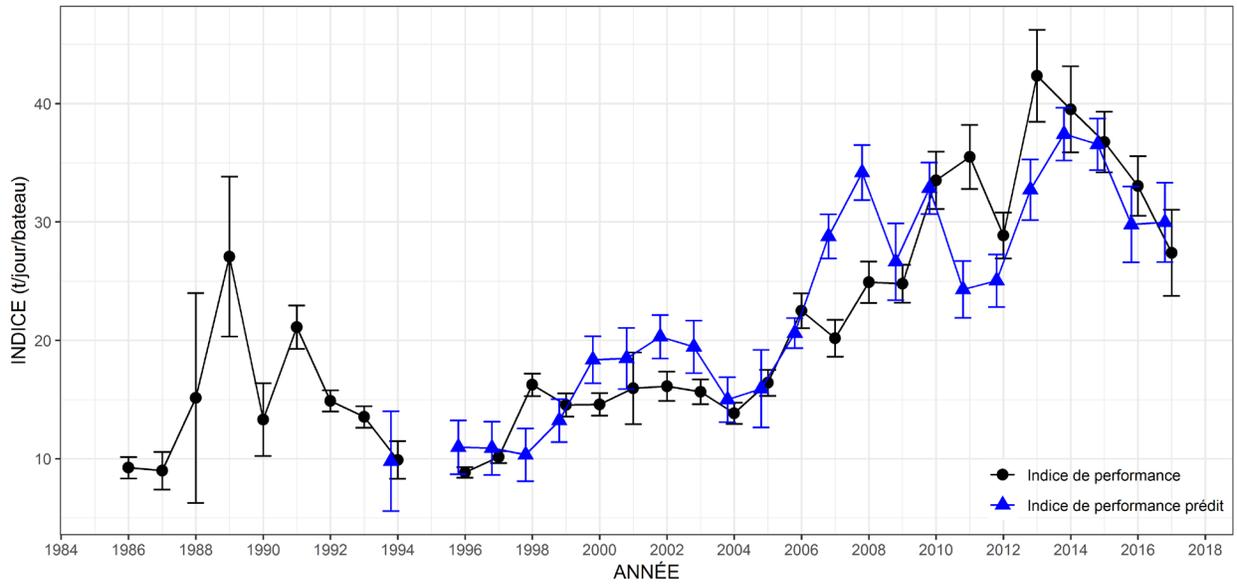


Figure 12. Comparaison des valeurs prédites par le modèle environnemental et l'indice de performance de la pêche commerciale de la division 4R de l'OPANO, ordonnée selon les années.

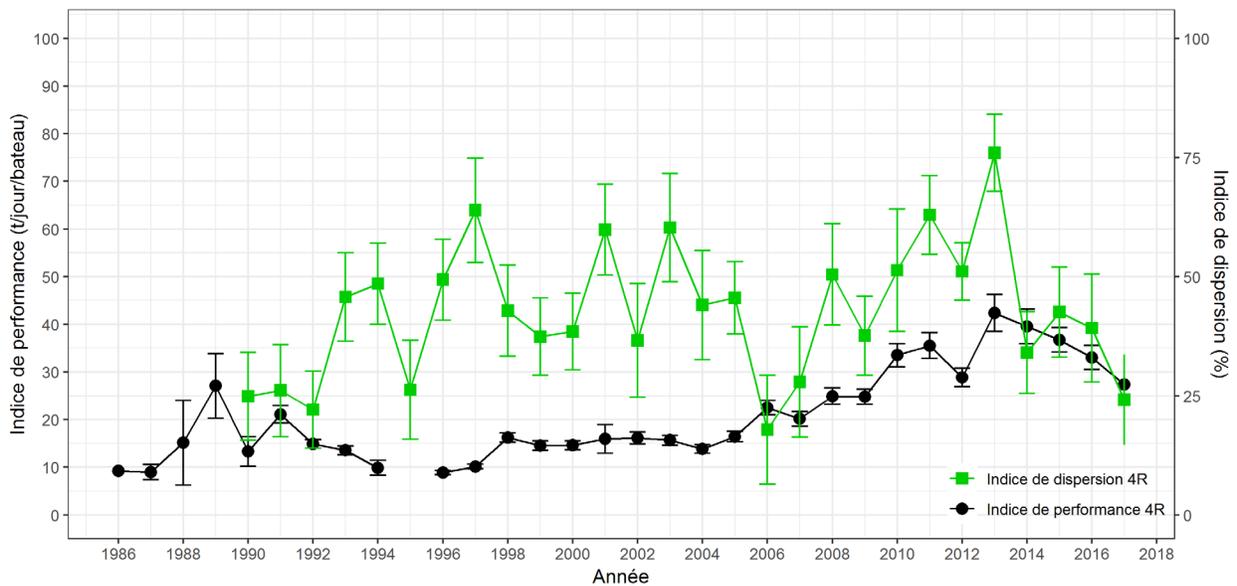


Figure 13. Comparaison entre l'indice de performance de la pêche commerciale au capelan et l'indice de dispersion de la division 4R de l'OPANO.

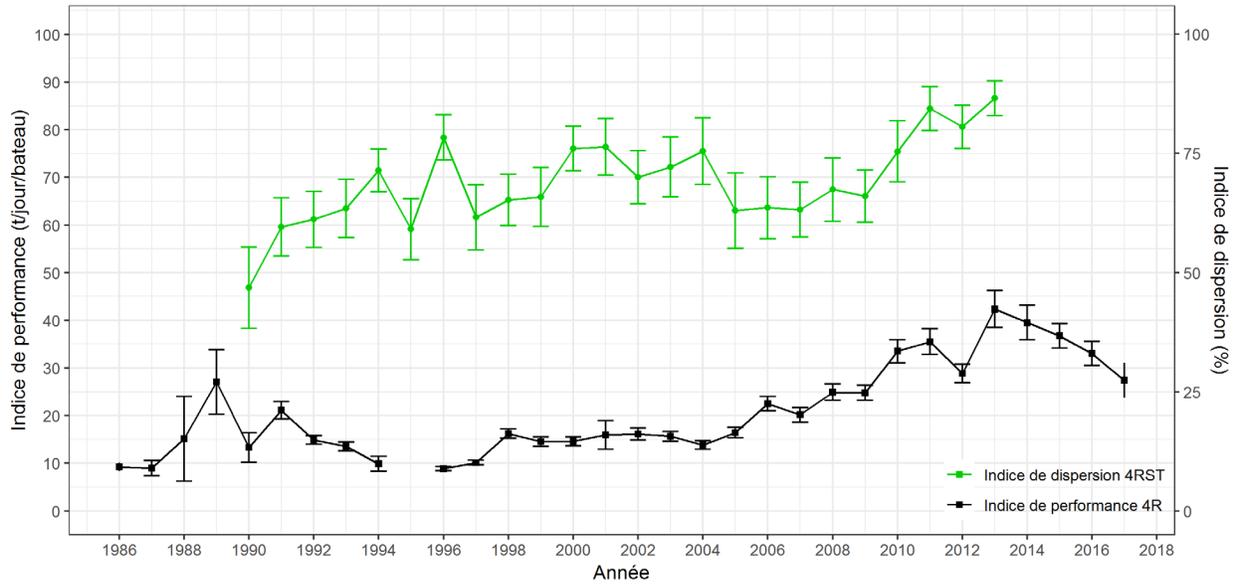


Figure 14. Comparaison entre l'indice de performance de la pêche commerciale au capelan de la division 4R de l'OPANO et l'indice de dispersion des divisions 4RST.

ANNEXE

ANNEXE 1 : MÉTHODOLOGIE POUR LE CALCUL DES FACTEURS ÉCONOMIQUES QUI POURRAIENT INFLUENCER LA PERFORMANCE DE LA PÊCHE COMMERCIALE AU CAPELAN

Afin de tester la relation entre l'indice de performance de la pêche commerciale au capelan de la division 4R de l'OPANO et différents facteurs économiques, des données sur le prix du diesel et sur la valeur des débarquements ont été compilées.

Prix du diesel

Le carburant est la deuxième plus importante dépense des pêcheurs commerciaux en Amérique du Nord (Lam *et al.* 2011) et est ainsi une composante importante du coût d'opération, ce qui affecte la rentabilité de la pêche. La pêche commerciale au capelan dans 4R est presque entièrement (97 %) réalisée par des navires de plus 35 pieds qui fonctionnent au diesel. C'est donc le prix moyen du diesel qui a été utilisé comme indicateur.

Les prix moyens mensuels du diesel à St John's (la seule ville à Terre-Neuve avec de telles données) ont été extraits des bases de données de Statistique Canada (Statistique Canada 2017a). Afin de mieux représenter le coût du carburant pour la pêche au capelan, la moyenne des prix de juin et juillet a été calculée pour chaque année où les données étaient disponibles (1990 à 2017).

Prix de vente du capelan

Un autre facteur influençant la rentabilité de la pêche et ayant possiblement un impact sur le comportement des pêcheurs est le prix de vente du capelan. Les données ZIFF contiennent cette information et ont donc été utilisées pour calculer le prix moyen annuel (\$) par kg de capelan débarqué dans 4R. La série ainsi compilée s'étend de 1986 à 2017.

Standardisation des prix moyens annuels en tenant compte de l'inflation

Les séries des prix moyens annuels pour le diesel et le capelan montraient tous deux une tendance à la hausse en raison de l'inflation. Les prix ont donc été rapportés (déflatés) sur la même base temporelle, soit en dollars de l'année 2002, l'année où l'Indice de Prix à la Consommation (IPC) était de 100 (Statistique Canada 2017b). Pour ce faire, la base de données des indices de prix à la consommation mensuels (Statistique Canada 2017c) a été téléchargée et l'IPC « ensemble » (« All items ») de Terre-Neuve (ci-après IPC), qui consiste en un indice global de prix à la consommation, a été moyenné par année pour les mois de juin et juillet. Par la suite, les prix moyens annuels du diesel et du capelan calculés précédemment ont été convertis en dollars de 2002 à l'aide de l'équation suivante :

$$\text{Valeur}_{\$ 2002} = \text{Valeur}_{\text{année } i} * (\text{IPC}_{2002} / \text{IPC}_{\text{année } i})$$

Où $\text{Valeur}_{\$ 2002}$: Valeur transformée en dollars de l'année 2002.

$\text{Valeur}_{\text{année } i}$: Valeur en dollars de l'année i .

IPC_{2002} : Moyenne des mois de juin et juillet 2002 de l'IPC de Terre-Neuve.

$\text{IPC}_{\text{année } i}$: Moyenne de l'IPC de juin et juillet à Terre-Neuve pour l'année i .

Les deux séries résultantes sont présentées aux figures 15 et 16. Notons que la variabilité intra-annuelle de la valeur du capelan est très faible à partir de 1999, ce qui est reflété par de très petits écarts-types dans la figure 16.

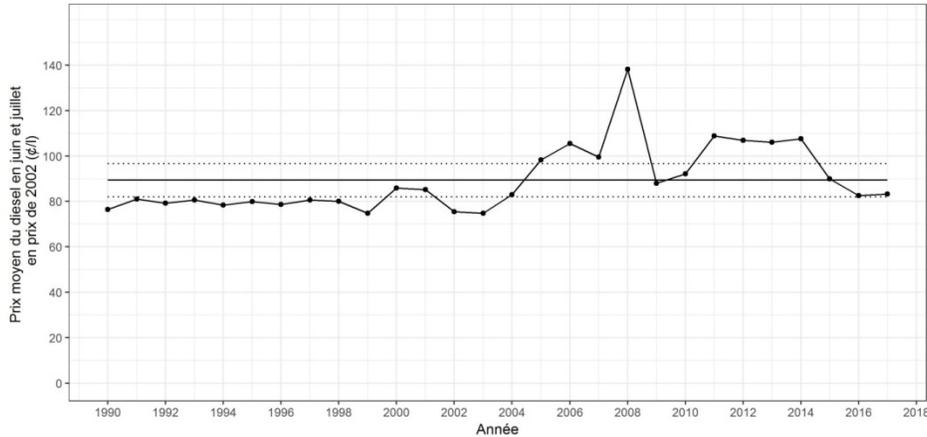


Figure 15. Prix moyen du diesel à St John's (Terre-Neuve) pour les mois de juin et juillet de 1990 à 2017. Les prix sont présentés en valeurs de 2002 afin de tenir compte de l'inflation. La ligne horizontale pleine représente la moyenne de la série et les lignes pointillées correspondent à la moyenne plus ou moins 0,5 fois l'écart type.

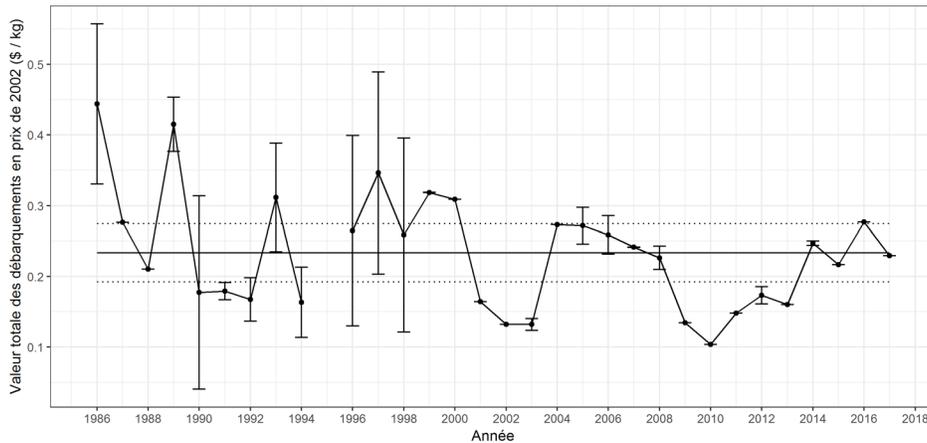


Figure 16. Prix moyen annuel (\pm écart-type) des débarquements de capelan dans 4R de 1986 à 2017. La ligne horizontale pleine représente la moyenne de la série et les lignes pointillées correspondent à la moyenne plus ou moins 0,5 fois l'écart type.

Relations entre l'indice de performance de la pêche commerciale au capelan dans 4R et les facteurs économiques

La méthode du partitionnement de la variation a été utilisée puisqu'elle permet de comparer 2 ou plusieurs ensembles complémentaires d'hypothèses pouvant expliquer la variation d'une variable réponse (Legendre et Legendre 2012). Le modèle final entre IP_{t-2} et les variables environnementales a ainsi été comparé au modèle économique. Ce dernier consiste en une régression linéaire multiple entre IP_{t-2} et les variables prix du diesel et prix du capelan. Les séries de données économiques ont été décalées de 2 ans afin qu'elles correspondent à l'indice de performance de la même année.

Le modèle environnemental expliquait 72,2 % de la variance de IP_{t-2} , dont 33,7 % était conjointement expliquée par le modèle environnemental et économique. Le pourcentage de variation expliqué uniquement par le modèle économique était négatif et donc non significatif (Figure 17).

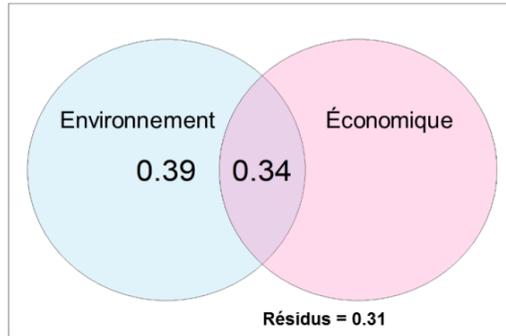


Figure 17. Diagramme de Venn montrant le partitionnement de la variation de IP_{t-2} entre les variables environnementales préalablement sélectionnées et les variables économiques décalées de 2 ans. Les valeurs rapportées sont les coefficients de déterminations multiples ajustés. La proportion de la variance uniquement expliquée par les facteurs économiques est de 0.

Ainsi, les facteurs économiques pour lesquels des données étaient disponibles n'expliquent pas une grande proportion de la variance de l'indice de performance, ce qui apporte encore plus de support au modèle environnemental.