



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 2024/027

Région de Terre-Neuve-et-Labrador

Évaluation du capelan (*Mallotus villosus*) des divisions 2J et 3KL de l'OPANO jusqu'en 2022

Hannah M. Murphy, Aaron T. Adamack, Fran K. Mowbray, Keith P. Lewis et
Christina M. Bourne

Pêches et Océans Canada
Direction des sciences
C.P. 5667
St. John's (Terre-Neuve-et-Labrador) A1C 5X1

Avant-propos

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

Publié par :

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

<http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/>
csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca



© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre du
ministère des Pêches et des Océans, 2024

ISSN 2292-4272

ISBN 978-0-660-71189-8 N° cat. Fs70-5/2024-027F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Murphy, H.M., Adamack, A.T., Mowbray, F.K., Lewis, K.P., et Bourne, C.M. 2024. Évaluation du capelan (*Mallotus villosus*) des divisions 2J et 3KL de l'OPANO jusqu'en 2022. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2024/027. iv + 54 p.

Also available in English :

Murphy, H.M., Adamack, A.T., Mowbray, F.K., Lewis, K.P., and Bourne, C.M. 2024. Assessment of Capelin (*Mallotus villosus*) in NAFO Divisions 2J + 3KL to 2022. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2024/027. iv + 48 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	iv
STRUCTURE DU STOCK	1
PÊCHE.....	2
APERÇU DE LA PÊCHE.....	2
Débarquements commerciaux et caractéristiques biologiques	3
FRAIE	4
PREMIERS STADES DU CYCLE BIOLOGIQUE	4
INDICE LARVAIRE SELON LE RELEVÉ A LA PLAGE BELLEVUE	4
RELEVÉS DES INDIVIDUS IMMATURES ET EN COURS DE MATURATION	6
MÉTHODES UTILISÉES DANS LE RELEVÉ ACOUSTIQUE DE PRINTEMPS	6
Abondance et biomasse selon le relevé acoustique de printemps	10
Âge, stade de maturité, croissance et régime alimentaire selon le relevé de printemps	11
RELEVÉ PLURISPÉCIFIQUE D'AUTOMNE AU CHALUT DE FOND	13
État et régime alimentaire à l'automne.....	14
MODÈLE DE PRÉVISION	15
CONTEXTE DE L'ÉCOSYSTÈME.....	16
POINT DE RÉFÉRENCE LIMITE	18
SOMMAIRE ET CONCLUSIONS	19
DOMAINES D'INCERTITUDE	19
RECOMMANDATIONS DE RECHERCHE	20
RÉFÉRENCES CITÉES	21
TABLEAUX	24
FIGURES	26
ANNEXE	51
PROGRAMME DE RECHERCHE DANS LA BAIE TRINITY	51

RÉSUMÉ

On a utilisé les données de relevés indépendants de la pêche (relevé acoustique de printemps, relevé larvaire, caractéristiques biologiques tirées du relevé acoustique de printemps et du relevé au chalut de fond d'automne, et programme de surveillance de la fraie sur des plages avec consignation de données dans des journaux par des citoyens scientifiques) pour évaluer l'état du capelan (*Mallotus villosus*) des divisions 2J, 3K et 3L (2J3KL) de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest (OPANO) jusqu'en 2022 inclusivement. Il n'y a pas eu de pêche commerciale du capelan en 2022 pour des raisons liées au marché. En 2022, l'indice de la biomasse du capelan des divisions 2J3KL selon le relevé acoustique était supérieur à la médiane après l'effondrement et similaire à ceux de 2018 et 2019, mais bien en deçà du récent pic du stock de 2013 et 2014, et il représentait une fraction seulement de la médiane des années 1980. Les capelans se nourrissaient bien, mais les poissons immatures grandissaient rapidement avec une forte proportion de poissons arrivant à maturité à l'âge 2. La période de la fraie était typique de la période après l'effondrement, et l'indice larvaire selon le relevé effectué à la plage Bellevue s'était amélioré par rapport aux dernières années et était semblable à la moyenne de la série chronologique. L'état relatif du capelan à l'automne était le plus élevé de la série chronologique, mais la valeur de l'état de 2022 pourrait ne pas être directement comparable à celle des années précédentes, car l'échantillonnage a eu lieu plus tôt que d'habitude dans la division 3K en 2022 en raison du programme de pêche comparative. De ce fait, les résultats du modèle de prévision pour le capelan ne peuvent être décrits que qualitativement en raison de l'incertitude entourant la valeur de l'état en 2022. L'indice de la biomasse du capelan selon le relevé acoustique en 2023 devrait être égal ou supérieur à celui de 2022. Un indice de la biomasse du capelan fondé sur le relevé acoustique de 640 kt a été retenu comme point de référence limite (PRL) en dessous duquel le stock de capelan subira probablement des dommages graves. C'est le niveau nécessaire pour soutenir la croissance du stock de morue franche (*Gadus morhua*) du Nord jusqu'aux niveaux observés pour la dernière fois entre 1983 et 1989 (période de référence pour le PRL de la morue franche du Nord). Depuis 1991, à l'exception de 2013 et de 2014, le stock de capelan se trouve dans la zone critique. Conformément au cadre décisionnel intégrant l'approche de précaution de Pêches et Océans Canada (MPO), il faut maintenir les prélèvements de toutes les sources au plus faible niveau possible jusqu'à ce que le stock sorte de la zone critique.

STRUCTURE DU STOCK

Le capelan est une petite espèce de poisson pélagique à courte durée de vie qui vit en bancs; son aire de répartition circumpolaire subarctique comprend les eaux de l'Atlantique Nord-Ouest, de la mer de Barents et du Pacifique Nord ainsi que les eaux autour de l'Islande (Gjøsæter 1998, Anderson et Piatt 1999, Carscadden *et al.* 2013). Autrefois, la région de Terre-Neuve-et-Labrador de Pêches et Océans Canada (MPO) évaluait trois stocks de capelan de Terre-Neuve : celui de la sous-zone 2 et de la division 3K de l'Organisation des pêches de l'Atlantique Nord-Ouest (OPANO), celui de la division 3L de l'OPANO, et celui des divisions 3N et 3O de l'OPANO. Elle produisait également des avis pour ces trois stocks. En 1992, à la suite d'une accumulation de preuves biologiques (Nakashima 1992), il a été recommandé de considérer le capelan de la sous-zone 2 et des divisions 3K et 3L de l'OPANO comme un complexe de stocks (appelé « capelan des divisions 2J3KL » dans le reste du document). Il s'agit du seul stock de capelan que la région de Terre-Neuve-et-Labrador évalue actuellement (Figure 1). Deux autres stocks de capelan sont évalués dans les eaux canadiennes : celui du golfe du Saint-Laurent (divisions 4R, 4S et 4T; évalué par le MPO) et celui du Platier (divisions 3N et 3O; évalué par l'OPANO). Un stock situé sur la côte sud de Terre-Neuve (sous-division 3Ps) n'est pas évalué.

Le capelan est le poisson-fourrage dominant dans l'écosystème de Terre-Neuve; il constitue un lien énergétique vital entre le zooplancton et de nombreux prédateurs des niveaux trophiques supérieurs, dont des phoques, des baleines, la morue franche du Nord, le flétan du Groenland (*Reinhardtius hippoglossoides*), le saumon atlantique (*Salmo salar*) et des oiseaux de mer (Templeman 1948, Carscadden *et al.* 2001, Davoren et Montevecchi 2003, Buren *et al.* 2014b). Le capelan des divisions 2J3KL passe la majeure partie de sa vie adulte au large des côtes sur les plateaux de Terre-Neuve et du Labrador. Le centre de la répartition du capelan change de façon saisonnière, les poissons se nourrissant généralement plus au nord (divisions 2J et 3K de l'OPANO) à l'automne, se déplaçant vers le sud le long de la bordure du plateau au printemps (division 3L de l'OPANO) et remontant la côte nord-est de Terre-Neuve pour entrer dans les baies et frayer sur les plages et dans les eaux côtières profondes (démersales) en été.

Le stock de capelan des divisions 2J3KL s'est effondré au début des années 1990 et n'a depuis connu qu'un rétablissement minime dans les 30 et quelques dernières années (Buren *et al.* 2019). Autrefois, le capelan arrivait à maturité et frayait à l'âge 3 ou 4. Après l'effondrement du stock, la croissance des capelans immatures s'est accélérée et l'espèce arrive maintenant à maturité à un plus jeune âge, faisant penser à un mécanisme d'adaptation de la croissance résultant de l'abondance plus faible du stock et de l'amoindrissement de la concurrence pour les ressources (Engelhard et Heino 2004). Étant donné que la majorité des capelans des divisions 2J3KL meurent après la fraie (sémelpares; Winters et Carscadden 1978, Shackell *et al.* 1994, Flynn *et al.* 2001), une proportion importante des capelans arrivant à maturité à l'âge 2 donne une population reproductrice tronquée selon l'âge avec peu de poissons d'âge 4+ par rapport aux années 1980. Après l'effondrement du stock, la période de fraie du capelan sur les plages a été abruptement retardée de façon persistante, la fraie ayant lieu environ 18 jours plus tard (de 1991 à 2019 et encore jusqu'à aujourd'hui) par rapport à la majeure partie du XX^e siècle (de 1919 à 1990). La reproduction a été minimale sur les plages du Labrador depuis l'effondrement du stock (Murphy *et al.* 2021). Les prédicteurs du retard de la fraie étaient la petite taille des reproducteurs (liée au changement de la structure selon l'âge de la population à un âge plus jeune à la maturité) et les anomalies négatives dans l'indice de l'oscillation nord-atlantique d'été et l'indice climatique de Terre-Neuve-et-Labrador (Murphy *et al.* 2021). Ce retard persistant de la période de la fraie sur les plages a entraîné une augmentation, observée par les pêcheurs, de l'utilisation des frayères des eaux côtières profondes (Nakashima et Clark 1999), car les eaux près des plages sont souvent trop chaudes (plus de 12°C) plus tard dans

l'été pour frayer (Templeman 1948, Dodson *et al.* 1991, Davoren 2013). Le développement des embryons et l'émergence des larves interviennent plus tard dans les frayères côtières profondes que sur les sites des plages en raison des températures plus froides de l'eau, mais des recherches récentes permettent de penser que ces habitats de fraie peuvent produire des densités de larves semblables à celles des sites des plages (Tripp *et al.* 2023), contrairement à ce qu'indiquait une étude antérieure (Nakashima et Wheeler 2002). La force de la classe d'âge est établie au début du cycle biologique du capelan (Murphy *et al.* 2018), et on prévoit que la reproduction retardée produira des classes d'âge plus faibles (Murphy *et al.* 2021).

PÊCHE

APERÇU DE LA PÊCHE

Le capelan est depuis longtemps un élément important de la pêche côtière et de la culture de Terre-Neuve, le poisson récolté sur les plages de fraie étant largement utilisé comme nourriture, appât et engrais. Au début des années 1970, une pêche hauturière des poissons immatures et en cours de maturation, principalement en automne (d'août à décembre), a commencé dans les divisions 2J3KL et a culminé à près de 250 000 tonnes en 1976. Une pêche commerciale côtière d'été (de juin à août) a débuté en 1978, atteignant un pic de 71 000 tonnes en 1990 (Figure 2). La pêche hauturière a été fermée dans la division 3L en 1979 et dans les divisions 2J3K en 1992; la pêche côtière est la seule pêche commerciale en cours du capelan; les débarquements annuels médians sont de 20 406 tonnes de 1991 à 2021. Le total autorisé des captures (TAC) baisse depuis 2017, jusqu'à un creux de 14 533 tonnes en 2022. En raison de la courte saison de pêche, des changements dans le calendrier de pêche et les méthodes d'exploitation, ainsi que de l'effet des forces du marché sur les débarquements, les taux de capture commerciale du capelan n'ont pas été utilisés comme indice de la biomasse du stock reproducteur depuis 1993. Toutefois, les données biologiques provenant d'échantillons prélevés durant la pêche commerciale sont utilisées dans l'évaluation pour fournir des données sur la structure selon l'âge et la taille du stock reproducteur.

La participation à la pêche du capelan dépend des conditions du marché et de la capacité du secteur de la transformation, tant pour le capelan que pour les autres espèces. Actuellement, le plan de gestion intégrée des pêches (PGIP) du capelan répartit le quota global entre les secteurs des engins mobiles et fixes (MPO 2019). Les limites relatives à la période pendant laquelle la pêche est ouverte sont également établies dans le PGIP, mais la date d'ouverture pour chaque secteur d'engin dans chaque baie est déterminée annuellement en consultation avec l'industrie et dépend de la disponibilité et de la qualité du capelan. Avant l'ouverture de la pêche, des permis de pêche d'essai sont attribués afin de surveiller les caractéristiques biologiques du capelan. Dans la plupart des cas, l'industrie ne demandera pas l'ouverture de la pêche dans une baie tant que la pêche d'essai n'aura pas démontré que le capelan est de grande qualité (grande taille, forte proportion de femelles, faible présence d'aliments « rouges » [copépodes] dans les estomacs). Le secteur des engins mobiles ouvre 24 heures avant le secteur des engins fixes. Le secteur des engins mobiles se compose uniquement de senneurs à senne coulissante, qui sont autorisés à récolter le quota dans l'ensemble de la zone du stock (c'est-à-dire dans plusieurs zones de pêche). Le secteur des engins fixes englobe les pièges, les éperviers, les épuisettes et les sennes « tuck » (sennes-barrages modifiées). Les pêcheurs détenant un permis de pêche aux engins fixes peuvent pêcher dans une seule zone de pêche du capelan.

Des échantillons provenant de la pêche commerciale sont prélevés des navires à mesure que les prises sont déchargées dans les installations de transformation. On prélève et congèle un maximum de 10 échantillons de 200 poissons chacun à partir des débarquements provenant de

chaque baie. Au total, 20 de ces échantillons congelés sont traités chaque année, répartis entre les secteurs d'engins, les baies et les semaines en fonction des débarquements totaux de capelan des divisions 2J3KL. On détermine la longueur, le sexe et la maturité de tous les poissons échantillonnés et on consigne des renseignements supplémentaires détaillés (poids, poids des gonades, plénitude de l'estomac et âge d'après les otolithes) pour deux poissons de chaque sexe, par tranche de 5 mm de longueur dans chaque échantillon. On calcule séparément les prises selon l'âge pour chaque cellule de prise, qui est définie comme une combinaison unique de secteur d'engin et de division de l'OPANO. On détermine les clés âge-longueur pour chaque combinaison de division et de sexe. On les applique ensuite à la fréquence des longueurs par sexe (tranches de 5 mm) de chaque échantillon, de sorte que l'âge de chaque poisson est attribué d'après sa longueur. On convertit le nombre de poissons dans chaque tranche de longueur de 5 mm en biomasse à l'aide de régressions longueur-poids calculées par division, sexe et mois. Les fréquences selon la longueur et l'âge des poissons échantillonnés ainsi obtenues sont ensuite mises à l'échelle des débarquements pour chaque cellule de prise.

Débarquements commerciaux et caractéristiques biologiques

En 2022, le TAC pour les zones de stock du capelan dans les divisions 2J3KL et la sous-division 3Ps était de 14 533 tonnes; toutefois, la pêche n'a pas été ouverte pour des raisons liées au marché (Figure 2). C'est la troisième fois dans la période qui a suivi l'effondrement que la pêche n'a pas été ouverte pour des raisons liées au marché (la pêche d'essai a débarqué 960 tonnes en 1994 et 116 tonnes en 1995). En 2021, la pêche commerciale dans les divisions 2J3KL a débarqué 13 945 tonnes (96 % du TAC de 14 533 tonnes pour les divisions 2J3KL et la sous-division 3Ps; Figure 2).

La structure selon l'âge et la taille des poissons reproducteurs est habituellement déduite des prises commerciales. Mais comme il n'y a pas eu de pêche commerciale en 2022, des données biologiques provenant de la pêche n'étaient pas disponibles. Cependant, le personnel du MPO et les citoyens scientifiques ont utilisé des éperviers pour capturer des capelans reproducteurs sur les plages des côtes sud et nord-est de l'île de Terre-Neuve à un taux d'environ un échantillon par semaine pendant la période de fraie active. Des poissons reproducteurs ont été capturés sur une plage de la sous-division 3Ps en juin (Lawn), cinq plages de la division 3L en juin et en juillet (anse Middle, Holyrood, anse Chapels, plage Long et plage Bellevue) et une plage de la division 3K en juillet (anse Jackson's). Les captures de poissons reproducteurs ont suivi la migration de fraie vers le nord-est. À tous les sites de plage, à l'exception de la plage Bellevue, un échantillon de 200 poissons a été prélevé au hasard. La longueur, le sexe et la maturité ont été déterminés pour tous ces poissons, et des renseignements détaillés supplémentaires (poids, poids des gonades, plénitude de l'estomac et âge d'après les otolithes) ont été recueillis pour deux poissons par sexe par classe de longueur de 5 mm dans chaque échantillon. Sur la plage Bellevue, 25 femelles et 25 mâles ont été prélevés et ont fait l'objet d'un échantillonnage détaillé. En tout, on a analysé 989 poissons pour en déterminer l'âge, la longueur, le poids et le sexe, la majorité d'entre eux ayant été échantillonnés dans la division 3L (n = 905), puis dans la sous-division 3Ps (n = 63) et enfin dans la division 3K (n = 21). Dans les échantillons prélevés sur les plages en 2022, la majorité des reproducteurs étaient d'âge 3 (54 %; Figure 3a) et la longueur moyenne et l'écart type (regroupés selon le sexe et l'âge) variaient de $162 \pm 17,7$ mm de longueur totale dans la sous-division 3Ps à $173 \pm 16,9$ mm de longueur totale dans la division 3K. Dans la division 3L, où la majorité des échantillons ont été prélevés, on a relevé des preuves d'un changement dans la structure selon l'âge et dans la longueur de juin à juillet (les données ont été regroupées par sexe; Figure 3b). La proportion de reproducteurs d'âge 2 est passée de 0,18 à 0,28 et la longueur moyenne (regroupée selon l'âge et le sexe) a diminué, passant de $172 \pm 12,4$ mm à $165 \pm 15,1$ mm de longueur totale de juin à

juillet. Ces données documentent la présence de deux vagues de fraie dans la division 3L. On ne connaît pas le lien entre ces échantillons prélevés sur les plages et les ceux prélevés dans le cadre de la pêche commerciale.

FRAIE

La période de fraie du capelan sur les plages a changé brusquement en 1991 et ce changement a persisté, la fraie sur les plages ayant lieu en moyenne 18 jours plus tard comparativement au début du XX^e siècle (Murphy *et al.* 2021). On prévoit que le retard dans la période de la fraie sur les plages produira de faibles classes d'âge (Murphy *et al.* 2021), ce qui pourrait s'expliquer par une combinaison de facteurs, notamment le fait que les reproducteurs plus tardifs sont généralement plus petits, plus jeunes et produisent moins d'œufs, et le décalage, depuis l'effondrement, entre l'émergence des larves et les conditions environnementales idéales pour leur survie (Leggett *et al.* 1984, Murphy *et al.* 2018).

Depuis 1991, le suivi de la fraie du capelan sur les plages dans l'ensemble de la province est confié à des citoyens scientifiques rémunérés, qui surveillent tous les jours leurs plages locales durant la période de fraie de l'espèce (de juin à août; Murphy 2022). La surveillance des plages a été constante pendant ce programme, chaque plage ayant fait l'objet d'une surveillance pendant cinq ans en moyenne (fourchette de 1 à 32 ans; Murphy 2022). La participation à ce programme a varié d'une année à l'autre, avec en moyenne 18 plages surveillées chaque année (Figure 4). En 2022, 16 plages ont été surveillées et trois plages n'ont enregistré aucun comportement reproducteur (une plage dans la sous-division 3Ps et deux plages dans la division 3K; Figure 5). Le pic médian (intensité élevée) de la fraie sur les plages était le 8 juillet 2022, une date similaire à la médiane à long terme (9 juillet de 1991 à 2020), mais environ deux semaines plus tard qu'en 2021 (pic médian du jour de la fraie : 22 juin). Cependant, le premier jour médian de la fraie était le 22 juin 2022, plus tôt que la moyenne (4 juillet), mais les citoyens scientifiques ont considéré que l'intensité de la fraie était faible à modérée. Deux vagues de fraie ont été observées en 2022, la période durant en moyenne 17 jours (la durée médiane est de 11 jours de 1991 à 2021; Murphy 2022). Cette documentation de deux vagues de fraie est confirmée par les échantillons de reproducteurs prélevés sur les plages dans la division 3L (Figure 3b), qui ont révélé des différences dans la composition selon l'âge entre juin et juillet. La fraie a commencé d'abord dans la sous-division 3Ps (26 juin; seulement deux plages surveillées), puis dans la division 3L (8 juillet) et dans la division 3K (17 juillet; Figure 5). La force de la classe d'âge devrait être faible en 2022 en raison de la période de la fraie sur les plages, qui était similaire à la médiane après l'effondrement.

PREMIERS STADES DU CYCLE BIOLOGIQUE

INDICE LARVAIRE SELON LE RELEVÉ A LA PLAGE BELLEVUE

Les traits de surface pour le dénombrement des larves sont effectués à cinq stations fixes dans les eaux littorales (moins de 20 m) au large de la plage Bellevue, dans la baie Trinity, depuis 2001 (Figure 6a). Ce relevé a été conçu pour échantillonner les larves de capelan émergeant de la plage Bellevue, des frayères des eaux côtières profondes et de quatre sites de fraie plus petits le long de la rive ouest de la plage Bellevue. Ce programme de surveillance est mené à partir d'un bateau en fibre de verre de 27 pieds, à l'aide de deux bolinches de 75 cm de diamètre avec des mailles de 270 µm qui sont remorquées pendant 10 minutes à 2,1 nœuds toutes les 24 à 48 heures (si le temps le permet) du début à la fin de l'émergence larvaire (environ 6 semaines chaque été). Une seule des bolinches prélève un échantillon de larves; la deuxième est utilisée pour l'équilibre et n'a pas de cul de chalut. Un débitmètre mécanique de la

série 2030 de General Oceanics, positionné à l'ouverture de la bolinche munie d'un cul de chalut, mesure le volume d'eau filtrée. Les larves de capelan sont conservées dans une solution à 5 % de formol et d'eau salée tamponnée avec du borate de sodium et les échantillons sont traités en laboratoire. Lorsque moins de 500 larves de capelan sont présentes dans un échantillon, elles sont toutes dénombrées, sinon une technique de sous-échantillonnage est utilisée (van Guelpen *et al.* 1982). On mesure 50 larves de chaque échantillon et on consigne la présence ou l'absence de leur sac vitellin. Si ce dernier est présent, on mesure son diamètre. L'âge des larves de capelan échantillonnées pour cet indice va de l'émergence récente à moins de 12 jours (taille comprise entre 3 et 10 mm de longueur standard). Cette estimation de l'âge repose sur la présence ou l'absence du sac vitellin et la longueur des larves. Le capelan ne forme pas d'anneaux journaliers dans ses otolithes avant environ 12 jours après l'éclosion (Ivarjord *et al.* 2008) et très peu des larves prélevées ont des anneaux journaliers dans leurs otolithes au moment de l'échantillonnage (Murphy, données inédites).

La production annuelle totale de larves par m³ (N) est estimée selon la méthode d'intégration trapézoïdale dans l'équation 1 :

$N = \sum (t_n - t_{n-1}) \frac{1}{2} [X(t_n) + X(t_{n-1})]$	1
--	----------

où t est le jour de l'année, n le nombre de jours d'échantillonnage et X(t) le nombre moyen journalier de larves par m³ aux cinq stations échantillonnées le jour t. Seuls les jours où les cinq stations ont été échantillonnées avec succès ont été inclus dans l'analyse. Si un échantillon n'a pas été prélevé en raison de conditions de mer défavorables ou pour toute autre raison, la valeur de cet échantillon est remplacée par la moyenne des estimations pour les jours adjacents. Si l'échantillonnage n'a pas été effectué pendant trois jours ou plus, les valeurs manquantes sont remplacées par 0.

La variance de la production annuelle totale de larves (var(N)) est estimée à l'aide de l'équation 2, basée sur ce qui se trouve dans Millar et Jordan (2013) et Irvine *et al.* (1992) :

$\text{var}(N) = 0,25 \sum (t_n - t_{n-1})^2 \text{var}(c_n)$	2
---	----------

où t est le jour de l'année, n le jour d'échantillonnage et var(c_n) est la variance des densités larvaires dans les cinq échantillons par jour d'échantillonnage.

L'indice du recrutement à l'âge 2 provenant du relevé acoustique de printemps mené en milieu hauturier, qui a été décalé de deux ans afin de comparer les survivants de la même cohorte, affiche une relation positive avec l'indice découlant des traits de surface à la plage Bellevue (Murphy *et al.* 2018). Cependant, cette relation s'est affaiblie ces dernières années et n'est plus significative en raison du recrutement récent à l'âge 2, meilleur que prévu, par rapport aux années où les valeurs de l'indice larvaire selon le relevé à la plage Bellevue sont faibles (Figure 6b). Cela pourrait être dû à divers facteurs potentiels tels qu'un décalage de la répartition de l'habitat de fraie vers des eaux profondes ou le fait que la plage Bellevue ne représente plus la production larvaire typique dans la baie Trinity. L'indice larvaire provenant du relevé à la plage Bellevue est néanmoins un paramètre du modèle de prévision le plus parcimonieux (voir la section Modèle de prévision ci-après) et les tendances étaient similaires entre l'indice larvaire d'un site situé dans la baie Notre Dame, où la proportion de la fraie en eaux profondes est élevée, et l'indice larvaire de la plage Bellevue (Tripp *et al.* 2023).

En 2022, l'indice larvaire de la plage Bellevue (1 322 ± 387,7 individus m⁻³) était à son niveau le plus élevé depuis 2013 et était semblable à la moyenne de la série chronologique après l'effondrement (1 439,5 individus m⁻³; 2001 à 2021; Figure 6c). L'abondance des larves a été

faible pendant neuf années consécutives (de 2014 à 2022), y compris toutes les classes d'âge disponibles pour la pêche en 2023 (Figure 6d).

RELEVÉS DES INDIVIDUS IMMATURES ET EN COURS DE MATURATION

MÉTHODES UTILISÉES DANS LE RELEVÉ ACOUSTIQUE DE PRINTEMPS

Le relevé acoustique est généralement effectué en mai et couvre la majorité de la division 3L, une zone particulièrement importante pour les capelans juvéniles et non migrateurs d'âge 1+, bien que toutes les classes d'âge visées par le relevé acoustique soient incluses dans l'indice annuel de la biomasse du capelan. Depuis 1982, le relevé acoustique de printemps ciblant le capelan a lieu chaque année avec à peu près la même couverture temporelle et spatiale, sauf en 1983, 1984 et 2021; il n'y a pas eu de relevé acoustique de 1993 à 1995 ni en 1997, 1998, 2006, 2016 et 2020. En 1982, le relevé acoustique de printemps a été réalisé en avril, mais il est inclus dans la série chronologique, car il couvrait bien spatialement la division 3L. En 1983 et 1984, le relevé acoustique de printemps a porté sur le sud de la division 3L en avril et n'était donc pas comparable au relevé acoustique de printemps typique, de sorte que ces années ont été exclues de la série chronologique. En 2021, le relevé acoustique de printemps s'est déroulé en juin et n'a porté que sur une partie des strates de la division 3L; il a été exclu de la série chronologique parce qu'il n'était pas comparable à celui des autres années. Depuis 1996, la partie sud de la division 3K (en dessous de 50°N) est également comprise dans le relevé (Figure 7). Il n'est pas possible d'inclure des zones plus au nord (au-dessus de 50°N) en raison de la présence de glace de mer en mai.

À l'origine, l'objectif principal du relevé acoustique de printemps était de produire une estimation de l'abondance de la partie immature et non migratoire du stock de capelan (essentiellement les poissons d'âge 2) qui sera recrutée dans la population reproductrice l'année suivante. Cependant, avec une proportion croissante de poissons d'âge 2 arrivant à maturité depuis l'effondrement du stock, le relevé capture également désormais une partie de la population de capelan avant la fraie. Cette proportion variable de poissons d'âge 2 en cours de maturation empêche le relevé de produire une estimation de l'abondance du stock reproducteur prévu l'été suivant. Le relevé acoustique de printemps ne peut pas fournir une estimation de la biomasse totale du stock reproducteur parce que la zone du relevé ne couvre qu'une partie de l'aire de répartition de la population et que la répartition spatiale du capelan dans cette aire de répartition varie d'une année à l'autre. Des relevés antérieurs ont montré qu'au cours de la période du relevé, les capelans grands et âgés se trouvaient au nord de la zone du relevé, tandis qu'une partie des capelans les plus jeunes (âge 1 et âge 2) pouvait également se trouver dans les zones côtières. Des détails sur les méthodes utilisées pour le relevé acoustique et l'échantillonnage, de même que le calcul des indices de l'abondance et de la biomasse se trouvent dans Mowbray (2013).

Le relevé est effectué chaque année selon un plan stratifié, même si le plan des transects, les limites des strates et les zones couvertes ont changé au fil du temps (Mowbray 2013, 2014). Avant 1989, les transects étaient disposés selon des tracés équidistants parallèles ou en zigzag. De 1989 à 1992, les relevés ont suivi des transects parallèles espacés au hasard selon les protocoles établis dans O'Boyle et Atkinson (1989). Un plan de transects espacés au hasard était jugé préférable, car il permettait de calculer la variance des estimations de l'abondance d'après la moyenne des transects. Toutefois, une diminution des densités du capelan au large et un changement dans les profils de répartition ont incité les chercheurs à revenir au plan en lignes parallèles équidistantes en 1993, considérant que ce plan offrait la plus grande probabilité de croiser des regroupements de capelans. Depuis 1999, la latitude de départ du transect initial est générée de manière aléatoire pour chaque relevé. Avant 1999, les strates

étaient habituellement rectangulaires et s'étendaient de la côte jusqu'au plateau, mais pas jusqu'à la bordure du plateau. Depuis 1999, les strates sont délimitées en profondeur. La méthodologie et les strates originales pour chaque relevé de 1982 à 1996 sont présentées dans les documents annuels d'évaluation du stock (Miller 1991, 1992, 1997). Une description plus détaillée des changements apportés au relevé est documentée dans Mowbray (2013) et tous les changements dans le plan du relevé sont pris en compte dans les calculs de l'indice de la biomasse.

L'abondance du capelan est calculée à partir des mesures acoustiques de la rétrodiffusion pour toute la colonne d'eau. Les échogrammes sont édités en deux étapes :

1. application d'un algorithme automatisé de détection du fond et examen manuel des résultats pour ajuster le fond choisi de manière à exclure tous les signaux générés par le substrat du fond;
2. des analystes formés examinent les rétrodiffusions acoustiques et les attribuent à des régions propres à l'espèce en fonction des calées de pêche ciblées, de la réponse en fréquence acoustique, de l'information sur la force de la cible, de la forme et de l'apparence du signal et de l'information déjà acquise sur les associations avec des habitats et des zones.

Un signal de rétrodiffusion acoustique associé à une prise au chalut composée à 80 % ou plus (en poids) de capelan est attribué à 100 % au capelan. Lorsque deux espèces prédominantes dans la rétrodiffusion sont présentes dans les prises (p. ex., capelan et morue arctique [*Boreogadus saida*]) et que le capelan représente moins de 80 % des prises, la rétrodiffusion acoustique est classée en régions proportionnelles aux prises de chaque espèce. Les signaux acoustiques démersaux associés aux prises au chalut qui sont un mélange de poissons de fond et de crevettes sont attribués aux espèces « démersales mixtes ». Depuis 1985, les enregistrements acoustiques classifiés sont intégrés à partir de la profondeur d'exclusion de la surface (11 m) jusqu'à la ligne de fond, dans des unités élémentaires d'échantillonnage de la distance de 100 m. Si une partie d'un transect (lignes E-O) a été couverte deux fois, seul le premier passage est utilisé pour les analyses de l'abondance du capelan. Cela est nécessaire parce qu'on a commencé à acquérir les données acoustiques en continu pendant chaque relevé en 1999. On attribue la rétrodiffusion de surface (s_a) de chaque unité élémentaire d'échantillonnage de la distance à un événement (transect, inter-transect, pêche dans une zone ayant déjà fait l'objet d'un relevé, pêche le long d'un transect n'ayant pas fait l'objet d'un relevé et autres) à l'aide des entrées du journal de bord qui suivent les types d'événements associés à des périodes consécutives. On relie ensuite les heures du point milieu de l'unité élémentaire d'échantillonnage de la distance aux heures de l'événement dans le journal de bord.

Les instructions du relevé exigent qu'au moins un trait de chalut soit effectué toutes les 12 heures. Le chalut est déployé sur le fond et au milieu de la colonne d'eau pour vérifier la composition en espèces de la rétrodiffusion acoustique. Le taux d'un trait de chalut toutes les 12 heures est souvent dépassé, en particulier lorsque l'apparence des signaux acoustiques change rapidement ou dans des circonstances où il est nécessaire de vérifier la composition de plus d'une couche verticale simultanée de signal. Dans certaines circonstances, un trait de chalut toutes les 12 heures peut ne pas être possible en raison de la présence d'engins de pêche dans l'eau, du trafic maritime, du fond inapproprié pour poser un chalut ou de la présence d'icebergs. Le chalut est également déployé à l'occasion en l'absence de signal de poisson pour vérifier les hypothèses selon lesquelles le capelan est détectable et l'engin fonctionne comme prévu.

Avant 1996, on utilisait un grand chalut pélagique (Diamond IX) pour les calées de pêche ciblées et, de 1996 à 2002, on a eu recours à des chaluts pélagiques (International Young Gadoid

Pelagic Trawler [YGP] et de fond (Campelen 1800). Depuis 2003, on utilise le chalut Campelen 1800 pour effectuer à la fois les traits pélagiques et de fond avec un trait occasionnel au chalut pélagique YGP entre 2004 et 2012. Des corrections de la sélectivité basées sur la longueur ont été apportées à toutes les prises du chalut YGP pour produire des équivalents pour le chalut Campelen, car le chalut YGP capture beaucoup plus de petits capelans (moins de 10 cm) que de gros capelans (plus de 14 cm). La durée des traits de chalut varie de 15 à 120 minutes, selon le mode de déploiement (au fond ou pélagique) et l'intensité de la rétrodiffusion. Le nombre total d'individus de toutes les espèces capturées et leur poids sont enregistrés. Lorsque des capelans sont capturés, on enregistre la longueur, le sexe et la maturité d'un maximum de 200 poissons sélectionnés au hasard par calée. On calcule la proportion de femelles en cours de maturation en divisant le nombre de femelles d'âge 2 en cours de maturation par le nombre total de femelles d'âge 2 dans les prises. Pour chaque calée, un échantillonnage détaillé (poids, poids des gonades, plénitude de l'estomac et âge d'après les otolithes) est effectué sur deux capelans de chaque sexe par tranche de 5 mm de longueur. Depuis 1999, on prélève les estomacs pour analyser par la suite le contenu en proies au cours du processus d'échantillonnage détaillé; on procède à l'identification détaillée et à la pesée des proies contenues dans tous les estomacs. De 1999 à 2007, les estomacs étaient conservés dans du formol à 10 %; depuis 2008, ils sont congelés jusqu'à ce que l'analyse en laboratoire du régime alimentaire soit possible.

On n'a pas régulièrement calculé l'abondance des autres espèces de poissons capturées pendant le relevé acoustique. Mais depuis 1999, on consigne les mesures de la longueur pour toutes les autres cibles acoustiques potentielles, notamment la morue arctique, la morue franche, le hareng de l'Atlantique (*Clupea harengus*), des sébastes (*Sebastes* spp.) et des lançons (*Ammodytes* spp.) afin d'aider les analystes à classer les agrégations mixtes.

La rétrodiffusion acoustique attribuée au capelan est convertie en densités de capelan à l'aide de l'information provenant des échantillonnages biologiques dirigés connexes obtenus à partir des traits de chalut. Dans les cas où aucun chalutage associé n'a été effectué pour une strate en particulier, on a utilisé les données biologiques issues des strates les plus proches présentant des attributs acoustiques similaires. Avant 1985, les densités de capelan étaient extrapolées à la zone du relevé selon les méthodes présentées dans O'Boyle et Atkinson (1989) et rapportées dans Miller (1997). Depuis 1985, les densités de capelan sont converties en un indice de l'abondance selon le relevé à l'aide d'une approche de Monte Carlo qui intègre la variation potentielle dans les estimations de la densité du capelan résultant de quatre facteurs :

1. l'incertitude de l'étalonnage (associée aux progrès technologiques);
3. la force de la cible (résultant des variations de la composition selon la longueur et de la capturabilité);
4. la détectabilité acoustique (résultant des variations de la migration verticale du capelan);
5. la variabilité spatiale (agrégation).

Cette technique permet d'estimer la densité aréale d'une population rééchantillonnée de capelan pour chaque strate. Pour résoudre les problèmes d'autocorrélation spatiale, le tracé du relevé est divisé en segments consécutifs de deux kilomètres. Pour chaque segment, on choisit la valeur moyenne de la surface (s_a) du capelan au hasard dans l'une des 20 tranches horizontales de 100 m possibles. On transforme ensuite cette valeur en densité du capelan en incorporant des valeurs choisies au hasard pour trois paramètres : l'incertitude de l'étalonnage, la force de la cible et la détectabilité acoustique. Ce processus est répété 1 000 fois pour chaque segment de transect de deux kilomètres dans chaque strate. On utilise la valeur

moyenne de la distribution de la densité du capelan pour chaque strate de chaque itération (y compris une valeur pour chaque segment de deux kilomètres de la trajectoire) pour produire des milliers d'estimations de la densité pour chaque strate. On utilise la densité médiane des moyennes de ces itérations pour estimer la densité aréale des poissons dans chaque strate, les 5^e et 95^e centiles servant de limites de confiance supérieure et inférieure (Mowbray 2013). On multiplie ensuite les densités aréales pour chaque strate par la surface de la strate afin de produire une estimation de l'abondance et les limites de confiance.

À l'aide de l'information annuelle sur la composition selon l'âge et le sexe, ainsi que des longueurs et des poids calculés à partir du chalutage dirigé, on convertit les estimations de l'abondance pour chaque strate (A_{strate}) en biomasse et on les répartit en classes d'âge ($B_{strate, \text{âge}}$; g) à l'aide de l'équation 3 suivante :

$B_{strate, \text{âge}} = A_{strate} \times p_{strate, \text{âge}} \times \overline{W}_{strate, \text{âge}}$	3
--	----------

où $p_{strate \text{ âge}}$ est la proportion d'individus dans une strate qui sont attribués à une classe d'âge donnée et $\overline{W}_{strate \text{ âge}}$ est le poids moyen (g) des individus dans une strate appartenant à une classe d'âge. On convertit ensuite $B_{strate \text{ âge}}$ de grammes en kilotonnes à l'aide des facteurs de conversion appropriés; au besoin, on peut l'additionner entre les classes d'âge et les strates pour obtenir la biomasse annuelle selon l'âge, la biomasse annuelle ou la biomasse de la strate. Dans le cadre de cette analyse, on produit aussi des estimations pondérées de la proportion arrivant à maturité selon l'âge, de la longueur moyenne selon l'âge et du poids moyen selon l'âge dans les prises.

Toutes les strates n'ont pas été toujours couvertes dans la série chronologique du relevé acoustique de printemps. Pendant l'évaluation du capelan de 2008, on a examiné l'effet des strates perdues et recommandé de choisir un sous-ensemble de strates principales pour calculer les indices de l'abondance et de la biomasse selon le relevé acoustique de printemps (Mowbray 2013). Cependant, les indices de l'abondance et de la biomasse dérivés des strates principales suivaient de très près ceux de toutes les strates et les deux ont été utilisés de manière interchangeable au fil des ans. En prévision de l'élaboration d'un point de référence limite (PRL), il a été décidé qu'une approche plus normalisée était nécessaire pour calculer l'indice de la biomasse selon le relevé acoustique de printemps.

L'élaboration de cet indice révisé de la biomasse tiré du relevé acoustique de printemps comprenait un examen des indices de l'abondance antérieurs, de la couverture aréale du relevé et de la méthodologie utilisée pour convertir l'abondance en biomasse. Étant donné que l'étendue totale du relevé et les limites des strates ont varié au cours de la série chronologique, un récapitulatif visuel de la couverture du relevé a été élaboré en superposant les trajectoires du relevé des années précédentes sur les limites du relevé mises en œuvre pour la première fois en 2000 (Figure 8). Les noms de strates tels qu'ils apparaissent à la figure 8 ne se rapportent qu'aux limites des strates depuis 2000. Ces noms de strates ont également été utilisés les années précédentes, mais les limites étaient différentes. Pour calculer les indices de l'abondance et de la biomasse, on n'a pas tenté d'estimer l'abondance pour les strates qui n'ont pas les limites adoptées depuis 2000. En effet, les variations interannuelles de la répartition du capelan et les différences dans les caractéristiques de l'habitat des strates adjacentes empêchent l'invocation de substituts convenables.

Pour convertir les indices de l'abondance révisés en biomasse, on a modifié la méthodologie afin de normaliser la façon dont l'effort d'échantillonnage en mer a été appliqué. Avant 1999, on ne pesait pas les capelans échantillonnés en mer; on a donc calculé une régression longueur-poids à l'aide d'échantillons prélevés en mai pendant la pêche commerciale du

capelan, les sorties de marquage de capelans, le relevé plurispécifique de printemps au chalut de fond et les prises accessoires dans d'autres relevés indépendants de la pêche et d'autres pêches commerciales comme celles de la crevette, du calmar et de la morue. Cette régression longueur-poids a été utilisée pour convertir l'abondance du capelan d'après le relevé acoustique en biomasse. De 1999 à 2012, on a pesé les capelans en mer, mais utilisé la même méthode que celle décrite ci-dessus pour établir les relations longueur-poids. En 2013, un nouveau programme de prises selon l'âge a été élaboré pour permettre de calculer et d'appliquer les relations longueur-poids à partir des échantillons pesés en mer. Dans les cas où une strate faisait l'objet d'un relevé acoustique, mais que les poissons n'étaient pas échantillonnés, on a utilisé des échantillons provenant d'une strate voisine. Dans les cas où plus d'une strate adjacente était disponible, les échantillons étaient choisis dans la strate adjacente présentant un signal acoustique plus continu avec celui de la strate non échantillonnée (Tableau 1).

La nouvelle application des prises selon l'âge a offert une plus grande souplesse dans la façon dont les échantillons étaient choisis et appliqués aux strates. Cela a accessoirement entraîné des divergences dans les méthodes d'application. Ces divergences ont découlé de l'entrée de jumelages calée de pêche/strate et de paramètres manuels (regroupements, taille minimale de l'échantillon) choisis par l'analyste. Pour l'évaluation du capelan de 2023, on a examiné et révisé les valeurs calée de pêche/strate à partir de 1999, et recalculé les abondances et les biomasses du capelan à l'aide d'un ensemble normalisé de sous-ensembles et de regroupements de données. Les derniers regroupements ont été choisis de manière à reproduire aussi étroitement que possible la méthodologie d'avant 1999, tout en minimisant les pertes de classes d'âge lorsque peu de poissons étaient capturés.

Les estimations de la biomasse médiane étaient assez semblables entre les séries chronologiques des strates principales et de toutes les strates pour la plupart des années et se situaient généralement bien dans la plage d'incertitude l'une de l'autre, sauf en 2000 (Figure 9a). Au cours de cet examen et de ce processus de normalisation des méthodes, on a découvert une erreur de copier-coller pour les analyses du relevé acoustique de 2014, qui a entraîné un décalage entre les densités acoustiques, les surfaces des strates et les poids moyens utilisés pour calculer les indices de l'abondance et de la biomasse du capelan (Figure 9b). Les indices de 2014 ont été présentés lors des évaluations du stock de capelan depuis 2015 et utilisés dans le modèle de prévision du capelan. La correction de cette erreur a entraîné une diminution de ces indices pour 2014. Une deuxième erreur ayant une incidence sur les résultats du relevé de 2015 a également été cernée. Dans ce cas, on avait utilisé des valeurs préliminaires du poids moyen, calculées sans pondération par la fréquence de longueur de la population de capelan dans les strates. Toutefois, cette erreur ne se trouvait que dans une version de la base de données sur la biomasse utilisée dans l'élaboration du modèle de prévision du capelan, et non dans les estimations de la biomasse et de l'abondance présentées dans les documents d'évaluation. Ces erreurs n'ont pas eu d'incidence sur les conclusions générales ou les avis fournis lors des évaluations dans lesquelles les indices de la biomasse acoustique de 2014 et de 2015 ont été présentés (DFO 2015, 2018).

Abondance et biomasse selon le relevé acoustique de printemps

En 2022, le relevé acoustique de printemps a couvert la majeure partie de la zone du relevé, mais le relevé a été divisé en deux parties. La première partie a été menée à l'aide du navire de la Garde côtière canadienne (NGCC) *Capt. Jacques Cartier* (du 2 au 14 mai) avec un échosondeur EK-80, et la deuxième a été menée à l'aide du NGCC *Teleost* (du 23 au 30 mai) avec un échosondeur EK-60. Normalement, le relevé acoustique de printemps est effectué sur une période continue de 14 à 20 jours, mais en 2022, des problèmes liés à la disponibilité des navires ont entraîné un écart de neuf jours entre les deux parties du relevé. Étant donné que le

relevé cible la partie non migratrice du stock et qu'il a pris fin avant la migration de fraie (juin), ce trou dans la couverture a probablement eu une incidence minimale sur les estimations. Il est peu probable que l'utilisation de deux navires ait eu une incidence sur la comparabilité des données acoustiques, car les systèmes acoustiques des deux navires ont été entièrement étalonnés et les données ont été recueillies en utilisant les mêmes fréquences. De même, comme le chalutage n'est pas effectué de manière normalisée pendant le relevé acoustique du capelan (p. ex., durée d'immersion, profondeur du chalut), l'utilisation de deux navires distincts n'a pas influé sur le prélèvement d'échantillons biologiques.

Le relevé de 2022 a couvert la majorité des strates (à l'exception des strates E et F; Figures 8 et 10a) et la densité du capelan était la plus élevée dans les strates côtières, avec une deuxième bande de densité plus faible le long de la bordure du plateau (Figure 10a). Cette répartition est conforme à celle de la plupart des années de la dernière décennie. Afin de comprendre l'effet potentiel des strates E et F manquantes en 2022, on a examiné la répartition de l'abondance les années où un relevé complet a été réalisé (Figure 7). Au cours de ces années, les strates côtières combinées (A à C) représentaient en moyenne 48 % de l'abondance totale des strates principales, et les strates E et F représentaient en moyenne 9 % de l'abondance totale. Les contributions des strates E et F étaient plus élevées au début des années 2000 (de 2000 à 2007, 14 %) comparativement aux années suivantes (de 2008 à 2022, 6 %). D'après cette analyse, l'effet de l'absence de ces deux strates est considéré comme minimal et on n'a pas tenté d'estimer la biomasse de ces strates manquantes.

L'indice de la biomasse du capelan selon le relevé acoustique était de 262 kt (intervalle de confiance à 90 % : 177 à 448 kt) en 2022, ce qui est semblable à l'indice de 2018 et 2019 (288,9 kt et 282,4 kt, respectivement; Figure 10b). Depuis l'effondrement du stock en 1991, l'indice annuel médian de la biomasse du capelan selon le relevé acoustique était de 156 kt, bien en deçà de la médiane d'avant l'effondrement de 1985 à 1990 (3 704 kt). L'indice de l'abondance selon le relevé acoustique de printemps en 2022 était de 26,6 milliards de poissons, un nombre supérieur à la médiane de 1991 à 2019 (18,3 milliards de poissons; Figure 10c).

Âge, stade de maturité, croissance et régime alimentaire selon le relevé de printemps

Les capelans capturés dans les traits de chalut du relevé acoustique de printemps (chaluts Diamond IX, IYGPT et Campelen 1800) mesurent de 5 à 20 cm de long et ont toujours été des individus des âges 1 à 6, bien que des individus d'âge 5 et 6 n'aient été présents qu'en nombre limité quelques années depuis les années 1990. En raison du plan du relevé (c.-à-d. ciblant une aire de croissance connue des juvéniles), les poissons d'âge 2 représentent la majorité des capelans dans le relevé, les poissons d'âge 3 étant le deuxième groupe d'âge le plus abondant. Les chaluts utilisés pour échantillonner le capelan lors du relevé acoustique de printemps sont biaisés en faveur des petits poissons – en particulier ceux de moins de 10 cm, ce qui a donné une mauvaise représentation des capelans d'âge 1 (de 5 à 8 cm de longueur totale) dans le relevé. Cependant, les capelans d'âge 2+ sont bien échantillonnés par tous les types d'engins (Mowbray 2001). Dans le relevé acoustique de printemps de 2022, les poissons d'âge 2 dominaient les prises (environ 75 %) tandis que les poissons d'âge 1 et d'âge 3 étaient représentés en proportion similaire (Figure 11). Comme ces dernières années, on a échantillonné très peu de poissons d'âge 4 et aucun poisson d'âge 5+ (Figure 11).

Dans les années 1980, la proportion de capelans mâles et femelles arrivant à maturité à l'âge 2 était faible (environ 4 %) comparativement à celle des poissons d'âge 2 arrivant à maturité depuis l'effondrement (environ 40 à 80 %; Figure 12). De plus, une proportion variable de poissons d'âge 3 arrivaient à maturité au printemps, alors que près de 100 % des poissons

d'âge 3 échantillonnés depuis 1991 étaient en cours de maturation. Ce changement dans la dynamique de la population est probablement un mécanisme d'adaptation à la suite de l'amointrissement de la concurrence pour les ressources lorsque le stock s'est effondré. Cette réponse de la croissance présente une certaine plasticité, car la proportion de poissons d'âge 2 arrivant à maturité (environ 25 %) a diminué de 2013 à 2015 lorsque l'indice provenant du relevé acoustique de printemps a augmenté. En 2022, 67 % des poissons d'âge 2 étaient en cours de maturation et auraient frayé à l'été 2022 (Figure 12). En raison de la sémelparité facultative, la proportion élevée de poissons d'âge 2 arrivant à maturité a donné lieu à une structure selon l'âge du stock tronquée.

Étant donné que le moment de la maturité est lié à la croissance, les classes d'âge dont les juvéniles ont une croissance rapide arrivent à maturité à un plus jeune âge. Pour le stock de capelan des divisions 2J3KL, la croissance rapide des poissons immatures et une proportion accrue des poissons arrivant à maturité à l'âge 2 sont des caractéristiques de la période après l'effondrement. Ce changement dans la dynamique de la population a été observé dans d'autres stocks de poissons pélagiques dont l'abondance a diminué (c.-à-d. les effets dépendants de la densité; p. ex., Gjørseter 1998; Engelhard et Heino 2004). En 2022, les capelans des âges 1 et 2 étaient plus lourds et plus longs que dans les années 1980 (Figures 13a et 13b). Le poids moyen et la longueur moyenne des poissons des âges 3 et 4 sont demeurés les mêmes ou ont diminué depuis les années 1980, probablement parce que le capelan qui arrive à maturité à un plus jeune âge consacre plus d'énergie à la reproduction qu'à la croissance allométrique (Figures 13a et 13b). Les poissons d'âge 5+ sont essentiellement absents du relevé depuis 1991.

Comme on pouvait s'y attendre, la proportion de capelans matures à l'âge 2 est fortement liée à la longueur moyenne de la cohorte à cet âge (régression bêta, Pseudo $R^2 = 0,76$, $p = 0,01$; Figure 14a). De plus, à l'aide des données annuelles sur la longueur moyenne, nous avons trouvé des preuves d'effets de la croissance dépendants de la densité dans ce stock, les poissons des cohortes plus faibles (d'après l'indice de l'abondance des poissons d'âge 2) étant plus longs à l'âge 2 que les années où les cohortes étaient plus fortes (régression linéaire $R^2 = 0,25$, $p = 0,0032$; Figure 14b).

De 1999 à 2022 (à l'exclusion du relevé acoustique partiel de 2021), des échantillons d'estomacs ont été prélevés en fonction d'une stratification selon la longueur et le sexe dans toutes les strates hauturières dans lesquelles des quantités exploitables de capelan ont été observées. La taille annuelle médiane de l'échantillon était de 417 estomacs. Le poids total des contenus stomacaux a été enregistré à 0,01 g près de 1999 à 2006 et à 0,001 g près de 2007 à aujourd'hui, et tous les estomacs ont fait l'objet d'une analyse détaillée. Les proies sont classées au niveau de l'espèce lorsque cela est possible et le poids total des proies est enregistré. Avant 2007, tous les copépodes étaient enregistrés dans une catégorie de type de proie (copépodes), mais les spécimens intacts étaient enregistrés séparément des fragments de copépodes. Depuis 2007, les grands copépodes sont divisés en quatre catégories : « Calanoïdes ns », « *Calanus* – stades I à III », « *Calanus* – stades IV à VI » et « *Metridia* », tandis que les petits copépodes (*Oithona* spp., *Temora* sp.) sont pesés avec tous les fragments de copépodes restants et entrés comme « copépodes ». Dans la mesure du possible, on identifie les espèces dans chacune de ces catégories. Le nombre d'estomacs contenant de grands copépodes est déterminé comme étant ceux où un poids de proie est présent pour au moins un des types de proies classés parmi les grands copépodes. En 2007, on a utilisé la présence d'au moins une petite espèce de copépode dans l'une des catégories de proies « copépodes » ou « proies non identifiées » pour calculer le nombre d'estomacs contenant de petits copépodes. Seuls les estomacs contenant des proies sont utilisés pour calculer l'indice de la plénitude partielle (IPP; équation 4) et la fréquence d'occurrence (FO; équation 5) de

certaines proies, tandis que le pourcentage d'estomacs vides inclut tous les estomacs échantillonnés.

$IPP = \sum \frac{W_{i,k}}{L_k^3} \times 10^4$	4
--	----------

où W_i est le poids (g) des proies i trouvées dans l'estomac du capelan k et L_k est la longueur (cm) du capelan k .

$FO = S_i/S_{total}$	5
----------------------	----------

où S_i est le nombre d'estomacs contenant la proie i et S_{total} est le nombre total d'estomacs contenant des proies.

Depuis 1999, on a examiné un total de 8 367 estomacs de capelan, dont 4 986 contenaient des proies. L'IPP était élevé de 2017 à 2019, donnant à penser que des ressources étaient disponibles pour le capelan dans l'écosystème (Figure 15a). Toutes les années, les copépodes étaient la proie dominante en poids dans le régime alimentaire du capelan (IPP le plus élevé) et l'importance des amphipodes (hypéridés) et des euphausiacés en poids variait d'une année à l'autre, l'IPP des amphipodes augmentant depuis 2017. Dans l'ensemble, l'IPP en 2022 a diminué par rapport à 2017 à 2019, avec de fortes baisses dans toutes les catégories de proies, à l'exception des amphipodes.

Les copépodes sont la principale proie du capelan dans les divisions 2J3KL. Bien que la fréquence d'occurrence des petits et grands copépodes change d'une année sur l'autre, les grands copépodes dominent généralement son régime alimentaire (Figure 15b). De 2017 à 2019, la fréquence d'occurrence des petits copépodes a sensiblement augmenté, mais elle a de nouveau diminué en 2022.

Après l'effondrement, pendant la période au cours de laquelle les estomacs ont été échantillonnés (de 1999 à 2022), l'augmentation de la proportion d'estomacs vides au printemps a été liée à une hausse de l'indice de la biomasse provenant du relevé acoustique de printemps (régression bêta : $\text{logit}(\mu_y) = 0,002x - 0,81$, Pseudo $R^2 = 0,31$, $p = 0,003$), ce dont on peut déduire que la concurrence pour la nourriture pourrait être plus grande les années où l'indice de la biomasse d'après le relevé acoustique de printemps est plus élevé (Figure 15c).

RELEVÉ PLURISPÉCIFIQUE D'AUTOMNE AU CHALUT DE FOND

La région de Terre-Neuve-et-Labrador du MPO réalise un relevé plurispécifique d'automne au chalut de fond (appelé « relevé au chalut de fond » dans le reste du document) dans les divisions 2J3KL de l'OPANO (Figure 1). Un compte rendu détaillé de la méthodologie et du plan de ce relevé est donné dans Rideout et Ings (2018). On n'utilise pas les données du relevé au chalut de fond pour estimer la biomasse du capelan en raison de la répartition verticale nyctémérale de l'espèce et de la sélectivité du chalut, qui est biaisée par rapport aux poissons de petite taille – en particulier ceux de moins de 10 cm (Mowbray 2002). L'échantillonnage des capelans capturés au cours du relevé au chalut de fond vise à obtenir des échantillons de l'ensemble de la répartition géographique de l'espèce. Afin d'atteindre cet objectif tout en maintenant une charge de travail réalisable, les strates de ce relevé sont regroupées en superstrates depuis 1999. Ces regroupements étaient fondés sur la bathymétrie et la contiguïté des strates et ont permis de réaligner 228 strates en 88 superstrates. On conserve 25 poissons au maximum des plus grandes prises de capelan dans une superstrate. En laboratoire, on analyse ces échantillons pour déterminer la longueur, le sexe et la maturité et on effectue un échantillonnage détaillé sur deux poissons par sexe par classe de longueur de 5 mm, sur

lesquels on relève des mesures supplémentaires comme le poids total et le poids des gonades, en enregistrant la plénitude de l'estomac et l'âge (tel que déterminé à partir des otolithes). Ces données servent à décrire le régime alimentaire et les caractéristiques biologiques du capelan.

État et régime alimentaire à l'automne

Le manque d'uniformité dans la couverture du relevé d'automne au chalut de fond les deux dernières années a entraîné un manque d'échantillonnage dans la division 3L en 2021 et de nombreuses strates non échantillonnées en 2022 en raison du programme de pêche comparative. Il était donc nécessaire de modifier la façon dont l'indice de l'état du capelan est calculé. Auparavant, les données de toutes les calées pour lesquelles un échantillonnage détaillé était disponible étaient regroupées par division de l'OPANO. On calculait ensuite un indice de l'état (Le Cren 1951) selon le sexe et la classe d'âge (âge 1 ou 2), puis la moyenne des valeurs obtenues. Dans la présente évaluation, afin de tenir compte de l'effort d'échantillonnage inégal entre les divisions de l'OPANO les deux dernières années, on a calculé l'état relatif du capelan séparément selon la classe d'âge (âge 1 ou 2), le sexe et la division de l'OPANO. Ensuite on a fait la moyenne de l'état relatif selon le sexe dans chaque classe d'âge par division de l'OPANO, puis dans toutes les classes d'âge par division de l'OPANO et enfin entre les divisions de l'OPANO. Lorsque la division 3L n'a pas été échantillonnée à l'automne 2021, on a calculé l'état du capelan en 2021 en faisant la moyenne des états relatifs observés dans les divisions 2J et 3K et par l'état moyen du capelan dans la division 3L de 2011 à 2020. Les valeurs de l'état relatif étaient généralement similaires entre l'ancienne et la nouvelle approche, malgré quelques différences au début des années 2010 et au cours des dernières années (Figure 16).

En 2022, la valeur de l'état relatif à l'automne était la plus élevée (1,11) de la série chronologique (de 1998 à 2022). La deuxième valeur la plus élevée de la série chronologique était de 1,06 (2021) et la valeur moyenne de l'état relatif pour la série chronologique (de 1998 à 2021) était de 1,01 avec un écart type de 0,036. Étant donné que la valeur la plus élevée de la série chronologique a coïncidé avec le changement de protocole d'échantillonnage en 2022, il fallait approfondir l'étude de son effet potentiel sur l'état.

La valeur de l'état en 2022 a été étudiée selon trois approches. Tout d'abord, on a recalculé l'état relatif pour l'ensemble de la série chronologique en fonction de l'ensemble réduit des strates échantillonnées en 2022. L'état relatif en 2022 était toujours le plus élevé de la série chronologique, et des différences mineures sont apparues dans l'état annuel lorsque le nombre de strates a été réduit (Figure 17a). Ensuite, on a restreint les données sur l'état à l'automne à la division 3K seulement, puisqu'il s'agit de la zone principale de la répartition du capelan à l'automne et qu'elle a été échantillonnée toutes les années. En 2022, les valeurs de l'état dans la division 3K étaient les plus élevées de la série chronologique et les tendances de l'état dans cette division étaient conformes à l'ensemble des divisions 2J3KL (Figure 17b). Enfin, on a examiné l'effet potentiel de la période de l'échantillonnage, puisque l'échantillonnage a eu lieu 30 jours plus tôt en 2022 dans la division 3K. Un modèle linéaire examinant l'effet du jour de l'année, du sexe et de la division de l'OPANO était statistiquement significatif, mais il n'a pas été considéré comme biologiquement significatif. D'après ces trois analyses, l'état relatif du capelan à l'automne était probablement au niveau des pics de la série chronologique en 2022 ou près de ceux-ci. L'ampleur réelle de la valeur de l'état en 2022 n'est pas claire en raison des changements dans la période d'échantillonnage, dont l'influence sur notre estimation de l'état relatif est inconnue, ce qui complique la comparaison précise de la valeur de l'état relatif de cette année à celle des années précédentes.

À partir de la série chronologique du relevé d'automne au chalut de fond (de 1980 à 2020), on a calculé la proportion d'estomacs vides en fonction d'un indice scalaire de la plénitude de

l'estomac (0 = vide, 1 à 4 niveaux de plénitude) enregistré pour les estomacs « échantillonnés » non disséqués. Le nombre médian d'estomacs de capelan échantillonnés chaque année était de 258 durant la période où on utilisait le chalut Engel (de 1980 à 1995) et de 1 001 pendant la période où on utilisait le chalut Campelen 1800 (de 1996 à 2020). La capturabilité du capelan diffère entre ces deux chaluts, le chalut Campelen retenant plus d'organismes de plus petite taille que le chalut Engel. D'après ces estomacs échantillonnés, la proportion médiane d'estomacs vides a augmenté dans la période après l'effondrement (0,46 avant l'effondrement et 0,54 après). En 2017 et 2018, la proportion médiane d'estomacs vides a atteint un creux historique (0,08), mais a de nouveau augmenté en 2019 et 2020 (Figure 18).

MODÈLE DE PRÉVISION

Le modèle de prévision pour le capelan (Lewis *et al.* 2019) s'appuie sur deux modèles antérieurs pour le capelan (Buren *et al.* 2014a, Murphy *et al.* 2018) en combinant leurs principales caractéristiques dans un cadre bayésien commun qui est ensuite utilisé pour générer des prédictions de l'indice de la biomasse du capelan à partir du relevé acoustique de printemps. Le modèle de prévision pour le capelan le plus parcimonieux comprenait l'indice larvaire de la plage Bellevue; le jour de l'année de la position la plus au sud de la glace de mer contiguë (retrait de la glace de mer; t_{glace}) – qui est lié à la période de la prolifération printanière annuelle de plancton; et l'indice de l'état relatif à l'automne du capelan d'âge 1 et d'âge 2 (Lewis *et al.* 2019). Le modèle utilise une combinaison de décalages temporels pour les différents indices afin de tenir compte du moment où chaque indice est censé avoir une incidence sur la biomasse du capelan pour l'année prévue.

Quelques changements ont été apportés aux valeurs d'entrée et aux calculs du modèle de prévision pour le capelan en 2023. Premièrement, nous avons révisé l'indice de la biomasse du capelan dans le cadre du processus de préparation des données pour l'élaboration du PRL. Deuxièmement, nous avons relevé deux erreurs dans le calcul du critère d'information de déviation (CID), qui aide à choisir le modèle le mieux ajusté. La première erreur était que les valeurs du CID étaient mal calculées. Les valeurs du CID ont une composante de déviation et une composante de pénalité, et notre calcul de ces valeurs n'incluait pas la composante de pénalité, de sorte que les valeurs du CID ne prenaient pas correctement en compte le nombre de paramètres utilisés par les différents modèles dans la suite de modélisation. La seconde erreur résidait dans l'utilisation de seulement 2 000 itérations pour calculer les valeurs du CID au lieu du nombre total d'itérations présumées utilisées (généralement des centaines de milliers d'itérations). Troisièmement, le réglage de la chaîne était ajusté lors de l'ajustement des modèles, ce qui réduisait le nombre d'itérations rejetées pendant le processus de rodage et la quantité d'amincissement effectuée sur les chaînes (Link et Eaton 2012). De plus, nous avons augmenté le nombre d'itérations utilisées pour ajuster les modèles afin que toutes les chaînes soient stables après les ajustements du nombre d'itérations de rodage et la quantité d'amincissement effectuée. Aucun de ces changements n'aurait modifié les avis scientifiques fournis depuis 2019.

En 2023, le changement dans la série chronologique de l'indice de la biomasse a entraîné une diminution de la quantité de variance expliquée par les modèles utilisant t_{glace} comme prédicteur. Dans le cas du modèle CSAM3, qui comprend l'indice larvaire de la plage Bellevue, l'état à l'automne et les paramètres de t_{glace} , la valeur de R^2 est passée de 0,68 à l'évaluation de 2020 à 0,51 à l'évaluation de 2023. Cette baisse de R^2 est due à la révision de la série chronologique de l'indice de la biomasse selon le relevé acoustique. Pour la première fois, le modèle CSAM1 était le plus parcimonieux, d'après les valeurs du CID, mais il était statistiquement équivalent au modèle CSAM3 (tableau 2). Cependant, étant donné que le modèle CSAM1 ne comprend que

deux paramètres (indice larvaire de la plage Bellevue et état à l'automne) et a un R^2 inférieur à celui du modèle CSAM3, le modèle CSAM3 a été choisi pour la production de l'avis scientifique.

L'examen des réponses du modèle CSAM3 à différentes valeurs de l'état à l'automne a révélé que le modèle est assez sensible à l'état à l'automne. Comme la valeur de l'état à l'automne en 2022 est bien en dehors de la plage de données utilisée pour ajuster le modèle de prévision, les résultats du modèle de prévision pour 2023 ne peuvent être décrits que qualitativement en raison de l'incertitude de la valeur de l'état de 2022. À l'aide du modèle CSAM3, une plage de valeurs plausibles de l'état a été utilisée pour prédire la tendance générale du relevé acoustique de printemps de 2023. On a utilisé trois ensembles de simulations utilisant des états à l'automne de 2022 de 1,11 (la valeur observée), 1,06 (la valeur approximative de la valeur de l'état la plus élevée observée précédemment) et 1,095 (une valeur intermédiaire entre la valeur observée et la valeur observée la plus élevée précédemment) pour déterminer la tendance probable de l'indice de la biomasse pour le printemps 2023. D'après ces simulations, l'indice de la biomasse du capelan en 2023 devrait être égal ou supérieur à celui de 2022 (Figure 19).

CONTEXTE DE L'ÉCOSYSTÈME

Le capelan se trouve au niveau trophique intermédiaire d'un écosystème de type « taille de guêpe » (Cury *et al.* 2000) dans lequel quelques espèces fourragères transfèrent l'énergie des niveaux trophiques inférieurs (zooplancton) aux prédateurs des niveaux trophiques supérieurs. La dynamique de la population de capelan est influencée par des facteurs ascendants comme le climat et la dynamique de la population de zooplancton (Buren *et al.* 2014). Le capelan, à son tour, joue un rôle essentiel dans l'ensemble de l'écosystème en influençant la dynamique des populations de ses prédateurs (Buren *et al.* 2014b, Koen-Alonso *et al.* 2021).

Le climat de Terre-Neuve-et-Labrador fluctue à l'échelle décennale, avec des effets potentiels sur la productivité des écosystèmes. La période plus chaude et peut-être plus productive qui a commencé en 2018 s'est poursuivie en 2022 (Figure 20). Bien que l'on ignore en grande partie l'effet des variations à grande échelle du climat océanique sur le capelan des divisions 2J3KL, des recherches récentes ont montré que l'indice de l'oscillation nord-atlantique d'été et l'indice climatique de Terre-Neuve-et-Labrador (NLCI) étaient des prédicteurs de la période de fraie du capelan (Murphy *et al.* 2021) et on a posé l'hypothèse que la variabilité interannuelle de la disponibilité des proies associée aux changements dans la période du retrait de la glace de mer au printemps influence le capelan au stade adulte et, par extension, sa biomasse (Buren *et al.* 2014a).

Les conditions générales des trois dernières années indiquent une amélioration de la productivité aux niveaux trophiques inférieurs dans la biorégion des plateaux de Terre-Neuve et du Labrador (divisions 2HJ3KLNO et sous-division 3Ps; figure 21), notamment des efflorescences précoces de phytoplancton, des concentrations plus élevées de chlorophylle et une augmentation de la biomasse du zooplancton avec une abondance plus élevée de copépodes du genre *Calanus* plus grands et plus riches en énergie. Ces changements dans la communauté de zooplancton portent à croire à une amélioration des conditions d'alimentation des larves de capelan (Murphy *et al.* 2018) et des capelans adultes (Buren *et al.* 2014a).

La communauté de poissons du plateau de Terre-Neuve et du nord du Grand Banc (divisions 2J3KL de l'OPANO) était dominée par les poissons à nageoires (capelan et poissons de fond) dans les années 1980, mais ces populations se sont effondrées au début des années 1990, tandis que les mollusques et crustacés proliféraient (Koen-Alonso et Cuff 2018, Buren *et al.* 2019). Même avec les augmentations des mollusques et crustacés depuis les années 1990, la biomasse totale est encore bien inférieure aux niveaux d'avant l'effondrement (Figure 22). En 2022, le relevé d'automne au chalut de fond a été refait pour mener le

programme de pêche comparative, ce qui a entraîné une couverture incomplète des divisions 2J3KL. Pour l'évaluation du capelan de 2023, des données sur l'écosystème jusqu'en 2021 ont été présentées.

La consommation de capelan par les groupes fonctionnels de poissons qui sont considérés comme des prédateurs d'espèces fourragères (les benthivores de taille moyenne et grande, les plancto-piscivores et les piscivores) dans les divisions 2J3K a augmenté en 2020 et 2021 par rapport à 2019 (Figure 23). La proportion de capelan dans le régime alimentaire de ses principaux prédateurs, la morue franche du Nord et le flétan du Groenland (flétan noir), a augmenté pour en représenter respectivement près d'un quart et de la moitié dans la division 2J en 2021. Les changements dans le régime alimentaire étaient relativement mineurs dans la division 3K et il n'y avait pas de données sur le régime alimentaire dans la division 3L en 2021 (voir plus de détails dans MPO 2023a). Si la consommation et le régime alimentaire des prédateurs à l'automne sont un indicateur de la biomasse du capelan au printemps suivant, ce que nos analyses permettent de penser, on s'attendrait à une amélioration de la biomasse dans le relevé acoustique du capelan de 2022. Cependant, il n'y avait aucune preuve d'une amélioration de l'indice de la biomasse de 2022, l'indice de la biomasse selon le relevé acoustique de printemps de 2022 (262 kt) étant similaire à celui de 2018 (288,9 kt) et de 2019 (282,4 kt).

Les données probantes actuelles indiquent que le capelan est principalement régulé par des processus ascendants. L'examen de la relation entre l'indice climatique de Terre-Neuve-et-Labrador et un indice du recrutement par tête appuie également cette perspective. Le signal du relevé acoustique de printemps est dominé par le capelan d'âge 2 et lorsque cet indice est utilisé comme indicateur de recrutement, il est généralement décalé de deux ans. Si nous supposons que l'indice acoustique suit également les changements relatifs dans la composante reproductrice du stock (cette hypothèse est généralement conforme à la cohérence observée entre le relevé d'automne par navire de recherche de l'année t-1 et le relevé acoustique de printemps de l'année t), le rapport entre la biomasse du capelan selon le relevé acoustique de printemps les années t+2 et t serait un indicateur du recrutement par tête pour l'année t. Cet indice est théoriquement similaire à la notion de recrues par reproducteur. Étant donné que l'indice climatique de Terre-Neuve-et-Labrador est une anomalie, considérer que $NLCI^* = \exp(NLCI)$ fournit un moyen de représenter les variations de la condition climatique comme un indice uniquement positif pour lequel une valeur de 1 correspond à l'état moyen du climat océanique. Cette nouvelle mise à l'échelle met également en évidence des anomalies positives. L'indice du recrutement par tête du capelan révèle une très bonne correspondance avec $NLCI^*$ (rho de Spearman = 0,38, valeur de p = 0,016), dénotant des réactions claires du capelan aux anomalies positives dans $NLCI^*$ (Figure 24). Cela indique que les conditions climatiques correspondant à l'indice climatique de Terre-Neuve-et-Labrador de l'année t ont un effet sur la survie des larves durant leur première année, sur l'état des adultes reproducteurs l'année t ou sur les deux. Quel que soit le mécanisme, cela vient confirmer davantage l'hypothèse selon laquelle le capelan est régulé par des processus ascendants. En outre, cette analyse fait apparaître des réponses positives constantes aux conditions climatiques océaniques plus chaudes et productives avant et après l'effondrement du stock, ce qui permet de penser que la régulation par des processus ascendants est probablement une caractéristique pour le capelan et pas seulement le résultat d'un stock effondré. Cette analyse montre également qu'il est important que la taille du stock de capelan augmente pour qu'il puisse profiter de l'occurrence de conditions environnementales favorables.

POINT DE RÉFÉRENCE LIMITE

Les révisions apportées à la *Loi sur les pêches* (L.R.C. (1985), ch. F-14) le 21 juin 2019 ont produit de nouvelles dispositions relatives aux stocks de poissons. Interprétées dans l'optique du cadre pour la pêche durable et de la politique sur l'approche de précaution, les dispositions relatives aux stocks de poissons définissent des objectifs pour l'utilisation durable des stocks, y compris la détermination d'un PRL unique par stock et l'état d'un stock par rapport à son PRL. Un processus consultatif national (MPO 2023b) a été organisé en juin 2022 afin de fournir des orientations conformes aux dispositions relatives aux stocks de poissons pour les PRL. Le MPO (2023b) a décrit des pratiques exemplaires pour l'élaboration des PRL, y compris la façon dont certains critères doivent être pris en compte : si une approche donnée est réalisable, le PRL doit tenir compte de la fiabilité des données, des paramètres et des modèles utilisés, ainsi que de la plausibilité du PRL. Pour le PRL du capelan des divisions 2J3KL, seules les approches qui satisfaisaient aux trois critères (réalisable, fiable, plausible) ont été jugées valides et soumises à un examen plus approfondi.

Un ensemble d'approches liées au PRL pour le capelan a été examiné, mais seules trois d'entre elles ont été considérées comme valides (voir plus de détails dans Lewis *et al.* en préparation¹). La première approche était une $B_{\text{rétablissement}}$ fondée sur la valeur de l'indice de la biomasse selon le relevé acoustique de 1982 (446 kt), qui est la biomasse observée la plus faible ayant permis au stock de se rétablir. La préoccupation entourant l'approche de la $B_{\text{rétablissement}}$ était qu'elle était fondée sur un seul point (1982) sans mesure de la variation par rapport à un relevé mené en avril plutôt qu'en mai, ce qui donne à penser qu'il s'agit d'une sous-estimation de l'indice de la biomasse. La $B_{\text{rétablissement}}$ repose également sur l'hypothèse que le rétablissement futur possible dépend des conditions prévalentes par rapport à celles de 1982. La deuxième approche était une approximation de la B_0 (la biomasse non exploitée) fondée sur la médiane des valeurs de l'indice de la biomasse selon le relevé acoustique de 1985 à 1990, qui sont les plus élevées de la série chronologique du relevé acoustique de printemps. On multiplie généralement la B_0 par 0,2, ce qui donne un PRL de 741 kt, mais dans le cas des poissons-fourrages ou des stocks improductifs, on a couramment recours à une multiplication par 0,3, ce qui donne un PRL de 1 111 kt. Les préoccupations au sujet de l'approche de la B_0 étaient le choix d'un multiplicateur quelque peu arbitraire, les grandes variations en pratique pour la sélection des périodes historiques et la difficulté de justifier que la valeur de 1985 à 1990 était vraiment une approximation de la B_0 .

La troisième approche reposait sur le modèle capelan-morue (Koen-Alonso *et al.* 2021), qui prédit avec précision la biomasse de la morue franche en se fondant en partie sur la biomasse du capelan. Ce modèle a été utilisé avec succès dans les écosystèmes de Terre-Neuve-et-Labrador et de la mer de Barents. Avec le modèle capelan-morue, l'indice de la biomasse du capelan exigeait de maintenir la morue franche du Nord à son propre PRL, c'est-à-dire aux niveaux observés pour la dernière fois de 1983 à 1989, soit 640 kt. La morue franche du Nord sert d'espèce indicatrice puisque la communauté de poissons à nageoires a une relation positive avec l'état de la morue franche du Nord et du capelan. Par conséquent, l'établissement d'un PRL pour le capelan qui tient compte de la dépendance de la morue franche du Nord au capelan devrait profiter à toute la communauté des poissons à nageoires. L'approche du PRL fondée sur le modèle capelan-morue a été considérée comme la plus

¹ Lewis *et al.* En préparation. Un examen et une évaluation des points de référence limites potentiels du capelan (*Mallotus villosus*) des divisions 2J3KL. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech.

robuste des trois approches, en partie en raison de son approche écosystémique de la gestion des pêches et de ses solides fondements théoriques et analytiques (Koen-Alonso *et al.* 2021).

Si on utilise le PRL, le stock de capelan des divisions 2J3KL se trouve dans la zone critique depuis 1991, sauf en 2014 (Figure 25). En 2013, la probabilité que le stock se trouve dans la zone critique était d'environ 45 %.

SOMMAIRE ET CONCLUSIONS

Le stock de capelan des divisions 2J3KL ne s'est pas rétabli depuis son effondrement en 1991. Les changements persistants dans la dynamique de la population de capelan après l'effondrement sont probablement attribuables à des facteurs dépendants de la densité, qui se traduisent par une croissance plus rapide des poissons immatures et la maturité atteinte à un plus jeune âge. De plus, en raison de la sémelparité, la structure selon l'âge du stock est tronquée par rapport aux années 1980. La fraie retardée et le faible recrutement caractérisent également le stock de capelan des divisions 2J3KL depuis son effondrement. Le bref rétablissement du stock en 2013 et 2014 n'a pas persisté. En 2022, l'indice de la biomasse du capelan des divisions 2J3KL provenant du relevé acoustique était supérieur à la médiane après l'effondrement et similaire à celui de 2018 et 2019, mais était bien en deçà du récent pic enregistré en 2013 et 2014, et il représentait une fraction seulement de la médiane des années 1980. Les capelans se nourrissaient bien et les individus immatures grandissaient rapidement avec une forte proportion de poissons arrivant à maturité à l'âge 2. La période de la fraie était typique de la période après l'effondrement, et l'indice larvaire de la plage Bellevue s'était amélioré par rapport aux dernières années et était semblable à la moyenne de la série chronologique. L'état relatif du capelan à l'automne était le plus élevé de la série chronologique, mais la valeur de l'état de 2022 pourrait ne pas être directement comparable aux estimations antérieures, car l'échantillonnage a eu lieu plus tôt que d'habitude en 2022. Le modèle de prévision pour le capelan étant sensible à l'état des poissons à l'automne, les résultats ne peuvent être décrits que qualitativement en raison de l'incertitude entourant la valeur de l'état en 2022. L'indice de la biomasse du capelan selon le relevé acoustique de 2023 devrait être égal ou supérieur à celui de 2022. Un indice de la biomasse du capelan selon le relevé acoustique de 640 kt a été retenu comme PRL en deçà duquel le stock de capelan et la communauté de poissons à nageoires subiront probablement des dommages graves. C'est le niveau nécessaire pour soutenir la croissance du stock de morue franche du Nord jusqu'aux niveaux observés dans les années 1980. Depuis 1991, à l'exception de 2013 et de 2014, le stock de capelan se trouve dans la zone critique. Pour être conforme au cadre décisionnel intégrant l'approche de précaution du MPO, il faut maintenir les prélèvements de toutes les sources au plus faible niveau possible jusqu'à ce que le stock sorte de la zone critique.

DOMAINES D'INCERTITUDE

Le relevé acoustique de printemps ne fournit pas d'estimation de la biomasse totale du stock reproducteur, de sorte que l'on ignore l'effet de la pêche sur le stock de capelan.

L'indice larvaire de la plage Bellevue n'est peut-être pas représentatif de la densité des larves dans les zones où une forte proportion de la fraie a lieu en eaux profondes (démersales). Cependant, les tendances étaient semblables entre l'indice larvaire d'un site dans la baie Notre Dame, qui abrite une forte proportion de la fraie en eaux profondes, et l'indice larvaire de la plage Bellevue (Tripp *et al.* 2023). L'indice larvaire de la plage Bellevue est inclus dans le modèle de prévision pour le capelan le plus parcimonieux.

L'enveloppe estimée de la consommation de capelan par des poissons reste vaste et dépend fortement de l'importance de ces derniers dans la prédation globale. Si les analyses d'ordre de grandeur ont indiqué que les poissons sont les principaux consommateurs du capelan, la consommation de ce dernier par les mammifères marins et les oiseaux de mer reste une grande source d'incertitude.

L'effet de la mortalité par pêche sur le stock de capelan n'est pas quantifié et est généralement mal compris, en particulier son effet ciblé sur les femelles œuvées avant la fraie qui ont déjà survécu à la prédation et à d'autres sources de mortalité naturelle.

RECOMMANDATIONS DE RECHERCHE

1. Examiner l'effet de la plénitude de l'estomac (poids) sur l'état.
2. Examiner la fréquence des estomacs vides les premières années à l'aide de l'indicateur scalaire de la plénitude de l'estomac enregistré au moment de l'échantillonnage.
3. Recueillir plus d'information sur les niveaux de la biomasse dans les années 1980 à partir de plusieurs ensembles de données, y compris des études sur le régime alimentaire et la façon dont le capelan peut réagir à l'amélioration des conditions d'alimentation.
4. Examiner le rôle de l'environnement (climat, niveaux trophiques inférieurs) sur la productivité du stock, y compris de nouvelles recherches et une analyse documentaire.
5. Examiner et mettre à jour la suite de modèles de prévision pour le capelan. Discuter des façons de traiter les valeurs situées en dehors de la fourchette et de la façon de les traiter dans une prévision (p. ex., moyennes mobiles).
6. Comprendre l'effet des paramètres constants dans le modèle capelan-morue et de la valeur de la mortalité naturelle (mB^2) sur le capelan.
7. Poursuivre l'élaboration du modèle structuré selon l'âge pour le capelan.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Anderson, P.J., and Piatt, J.F. 1999. Community reorganization in the Gulf of Alaska following ocean climate regime shift. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 189: 117–123.
- Buren, A.D., Koen-Alonso, M., Pepin, P., Mowbray, F., Nakashima, B., Stenson, G., Ollerhead, N., and Montevecchi, W.A. 2014a. [Bottom-Up Regulation of Capelin, a Keystone Forage Species](#). *PLoS One*. 9: 1–11.
- Buren, A.D., Koen-Alonso, M., and Stenson, G.B. 2014b. [The role of harp seals, fisheries and food availability in driving the dynamics of northern cod](#). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 511: 265–284.
- Buren, A.D., Murphy, H.M., Adamack, A.T., Davoren, G.K., Koen-Alonso, M., Montevecchi, W.A., Mowbray, F.K., Pepin, P., Regular, P.M., Robert, D., Rose, G.A., Stenson, G.B., and Varkey, D. 2019. [The collapse and continued low productivity of a keystone forage fish species](#). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 616: 115–170.
- Carscadden, J.E., Frank, K.T., and Leggett, W.C. 2001. [Ecosystem changes and the effects on capelin \(*Mallotus villosus*\), a major forage species](#). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58(1): 73–85.
- Carscadden, J.E., Gjøsæter, H., and Vilhjálmsón, H. 2013. [Recruitment in the Barents Sea, Icelandic, and eastern Newfoundland/Labrador capelin \(*Mallotus villosus*\) stocks](#). *Prog. Oceanogr.* 114: 84–96.
- Cury, P., Bakun, A., Crawford, R.J.M., Jarre, A., Quiñones, R.A., Shannon, L.J., and Verheye, H.M. 2000. [Small pelagics in upwelling systems: patterns of interaction and structural changes in 'wasp-waist' ecosystems](#). *ICES J. Mar. Sci.* 57(3): 603–618.
- Dalley, E.L., Anderson, J.T., and deYoung, B. 2002. [Atmospheric forcing, larval drift, and recruitment of capelin \(*Mallotus villosus*\)](#). *ICES J. Mar. Sci.* 59: 929–941.
- Davoren, G.K., and Montevecchi, W.A. 2003. [Signals from seabirds indicate changing biology of capelin stocks](#). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 258: 253–261.
- Davoren, G.K. 2013. [Divergent use of spawning habitat by male capelin \(*Mallotus villosus*\) in a warm and cold year](#). *Behav. Ecol.* 24(1): 152–161.
- Dodson, J.J., Carscadden, J.E., Bernatchez, L., and Colombani, F. 1991. Relationship between spawning mode and phylogeographic structure in mitochondrial DNA of North Atlantic capelin *Mallotus villosus*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 76: 103–113.
- Engelhard, G.H., and Heino, M. 2004. [Maturity changes in Norwegian spring-spawning herring *Clupea harengus*: compensatory or evolutionary responses?](#) *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 272: 245–256.
- Flynn, S.R., Nakashima, B.S., and Burton, M.P.M. 2001. [Direct assessment of post-spawning survival of female capelin, *Mallotus villosus*](#). *J. Mar. Biol. Assoc. Unit. King.* 81(2): 307–312.
- Gelman, A., Goodrich, B., Gabry, J., and Vehtari, A. 2019. [R-squared for Bayesian Regression Models](#). *Amer. Stat.* 73(3): 307–309.
- Gjøsæter, H. 1998. [The population biology and exploitation of capelin \(*Mallotus villosus*\) in the barents sea](#). *Sarsia*. 83(6): 453–496.
- Irvine, J.R., Bocking, R.C., English, K.K., and Labelle, M. 1992. [Estimating Coho Salmon \(*Oncorhynchus kisutch*\) Spawning Escapements by Conducting Visual Surveys in Areas Selected Using Startified Random and Stratified Index Sampling Designs](#). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49(10): 1972–1981.

-
- Ivarjord, T., Pedersen, T., and Moksness, E. 2008. [Effects of growth rates on the otolith increments deposition rate in capelin larvae \(*Mallotus villosus*\)](#). J. Exp. Mar. Bio. Ecol. 358(2): 170–177.
- Koen-Alonso, M., and Cuff, A. 2018. Status and trends of the fish community in the Newfoundland Shelf (NAFO Div. 2J3K), Grand Bank (NAFO Div. 3LNO) and Southern Newfoundland Shelf (NAFO Div. 3P) Ecosystem Production Units. NAFO SCR Doc 18/070.
- Koen-Alonso, M., Lindstrøm, U., and Cuff, A. 2021. [Comparative Modeling of Cod-Capelin Dynamics in the Newfoundland-Labrador Shelves and Barents Sea Ecosystems](#). Front. Mar. Sci. 8: 1–15.
- Le Cren, C.D. 1951. [The Length-Weight Relationship and Seasonal Cycle in Gonad Weight and Condition in the Perch \(*Perca fluviatilis*\)](#). J. Anim. Ecol. 20(2): 201–219.
- Leggett, W.C., Frank, K.T., and Carscadden, J.E. 1984. [Meteorological and Hydrographic Regulation of Year-Class Strength in Capelin \(*Mallotus villosus*\)](#). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 41(8): 1193–1201.
- Lewis, K.P., Buren, A.D., Regular, P.M., Mowbray, F.K., and Murphy, H.M. 2019. [Forecasting capelin *Mallotus villosus* biomass on the Newfoundland shelf](#). Mar. Ecol. Prog. Ser. 616: 171–183.
- Link, W.A., and Eaton, M.J. 2012. [On thinning of chains in MCMC](#). Meth. Ecol. Evol. 3(1): 112–115.
- Millar, R.B., and Jordan, C.E. 2013. [A simple variance estimator for the trapezoidal area-under-the-curve estimator of the spawner abundance of Pacific salmon](#). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 70(8): 1231–1239.
- Miller, D.S. 1991. Estimates of biomass from an acoustic survey for capelin (*Mallotus villosus*) in Division 3L, May 1990. NAFO SCR Doc. 91/37. 14 p.
- Miller, D.S. 1992. Results of an Acoustic Survey for Capelin (*Mallotus villosus*) in NAFO Division 3L in 1992. NAFO SCR Doc 92/57. 4 p.
- Miller, D.S. 1997. [Results from an Acoustic Survey for Capelin \(*Mallotus villosus*\) in NAFO Divisions 3KL in Spring of 1996. In: Capelin SA2 + Div. 3KL](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 97/29.
- Mowbray, F.K. 2001. [Distribution and biological characteristics of capelin in Northeastern Newfoundland waters during May 1999. In: Capelin SA2 + Div. 3KL during 1999](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2001/161. 227 p.
- Mowbray, F.K. 2002. [Changes in the vertical distribution of capelin \(*Mallotus villosus*\) off Newfoundland](#). ICES J. Mar. Sci. 59(5): 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.
- MPO. 2015. [Évaluation de la population de capelans dans la sous-zone 2 et dans les divisions 3KL en 2015](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2015/036.
- MPO. 2018. [Évaluation de la population de capelans dans la sous-zone 2 et dans les divisions 3KL en 2017](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis. Sci. 2018/030.
-

-
- MPO. 2019. [Capelan - Région de Terre-Neuve-et-Labrador Divisions 2+3 \(zones de pêche au capelan 1 à 11\) - En vigueur en 2017](#). Plan de gestion intégrée des pêches (PGIP).
- MPO. 2023a. [Mise à jour sur l'état des stocks de capelan dans les divisions 2J3KL de l'OPANO pour 2022](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Rép. des Sci. 2023/010.
- MPO. 2023b. [Avis scientifique concernant les lignes directrices sur les points de référence limites dans le cadre des dispositions relatives aux stocks de poissons](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Avis sci. 2023/009.
- Murphy, H.M., Pepin, P., and Robert, D. 2018. [Re-visiting the drivers of capelin recruitment in Newfoundland since 1991](#). Fish. Res. 200: 1–10.
- Murphy, H.M., Adamack, A.T., and Cyr, F. 2021. [Identifying possible drivers of the abrupt and persistent delay in capelin spawning timing following the 1991 stock collapse in Newfoundland, Canada](#). ICES J. Mar. Sci. 78(8): 2709–2723.
- Murphy, H.M. 2022. [Capelin beach spawning diaries: an analysis of 30 years of citizen science data from the island of Newfoundland, Canada](#). Cybium Int. J. Ichth. 46(4): 357–370
- Nakashima, B.S. 1992. [Patterns in Coastal Migration and Stock Structure of Capelin \(*Mallotus villosus*\)](#). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49(11): 2423–2429.
- Nakashima, B.S., and Clark, M.C. 1999. [Results of a telephone opinion survey of fixed gear capelin licence holders for 1998](#). In: [Capelin in SA2 + Div. 3KL](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 1999/206. 1–37 p.
- Nakashima, B.S., and Wheeler, J.P. 2002. [Capelin \(*Mallotus villosus*\) spawning behaviour in Newfoundland waters - the interaction between beach and demersal spawning](#). ICES J. Mar. Sci. 59(5): 909–916.
- O'Boyle, R.N., and Atkinson, D.B. 1989. [Hydroacoustic survey methodologies for pelagic fish as recommended by CAFSAC](#). CAFSAC Res. Doc. 1989/72. 12 p.
- Rideout, R.M., and Ings, D.W. 2018. Temporal and Spatial Coverage of Canadian (Newfoundland and Labrador Region) Spring and Autumn Multi-Species RV Bottom Trawl Surveys, With an Emphasis on Surveys Conducted in 2017. NAFO SCR Doc. 18/017.
- Shackell, N.L., Shelton, P.A., Hoenig, J.M., and Carscadden, J.E. 1994. [Age- and Sex-Specific Survival of Northern Grand Bank Capelin \(*Mallotus villosus*\)](#). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 51(3): 642–649.
- Templeman, W. 1948. The life history of capelin (*Mallotus villosus* O.F. Muller) in Newfoundland waters. Nfld Gov. Lab. Res. Ser. Bull. 17: 1–151.
- Tripp, A.M., Murphy, H.M., Penton, P.M, and Davoren, G.K. 2023. [Trends in larval densities, spawning timing and site quality of capelin \(*Mallotus villosus*\) across bays and habitats in Newfoundland, Canada](#). ICES J. Mar. Sci. 0: 1–13.
- Van Guelpen, L., Markle, D.F., and Duggan, D.J. 1982. [An evaluation of accuracy, precision, and speed of several zooplankton subsampling techniques](#). ICES J. Mar. Sci. 40: 226–236.
- Winters, G.H., and Carscadden, J.E. 1978. Review of capelin ecology and estimation of surplus yield from predator dynamics. ICNAF (Int. Comm. Northwest. Atl. Fish.) Res. Bull. 13/78.

TABLEAUX

Tableau 1. Substitutions de strates par année. Les strates non échantillonnées sont des strates qui ont fait l'objet d'un relevé acoustique, mais qui n'ont pas été échantillonnées physiquement à l'aide d'un chalut Campelen ou qui ont été échantillonnées physiquement, mais où le chalut n'a pas capturé suffisamment de capelans pour produire une estimation de la composition selon l'âge et le poids moyen. La strate source était la strate jugée la plus susceptible d'être semblable à la strate non échantillonnée et a été utilisée pour fournir la composition selon l'âge, ainsi que les poids moyens et les longueurs moyennes selon l'âge pour la strate non échantillonnée.

ANNÉE	STRATE NON ÉCHANTILLONNÉE	STRATE SOURCE
1999	E, F	D
1999	C	B
2000	C	D
2001	K	J
2002	G	F
2002	I	J
2003	G	F
2003	I	J
2004	G	F
2004	K	J
2004	M	F
2005	M	E
2007	F, M	B
2007	G	B
2007	I, K	J
2008	G	F
2008	D	C
2008	I	J
2009	G	F
2010	K	J
2011	G	F
2012	G	F
2014	L	J
2015	F, M	C
2015	L	K
2017	G	F
2018	G	F
2018	L	K

Tableau 2. Statistiques de sélection des modèles pour les modèles de prévision pour le capelan. Les détails sur les modèles sont donnés dans Lewis et al. (2019)¹. CID : critère d'information de déviation; Δ CID : différence entre la variation du CID par rapport au modèle le plus parcimonieux; R^2 représente les analyses bayésiennes (Gelman et al. 2019).

Type de modèle	CID	Δ CID	R^2
CSAM1	37,52	0	0,48
CSAM3	37,9	0,47	0,51
AM0	39,31	1,79	0,20
CSAM2	40,35	2,83	0,42
AM1	42,47	4,94	0,34
CS1	42,57	5,04	0,30
CS0	43,33	5,81	0,13

¹ CSAM3 (indice larvaire de la plage Bellevue, t_{glace} , état), CSAM1 (indice et état larvaires de la plage Bellevue), CSAM2 (indice larvaire de la plage Bellevue et t_{glace}), CS1 (indice larvaire de la plage Bellevue et indice du zooplancton), AM0 (t_{glace}), AM1 (t_{glac} et état), CS0 (indice larvaire de la plage Bellevue).

FIGURES

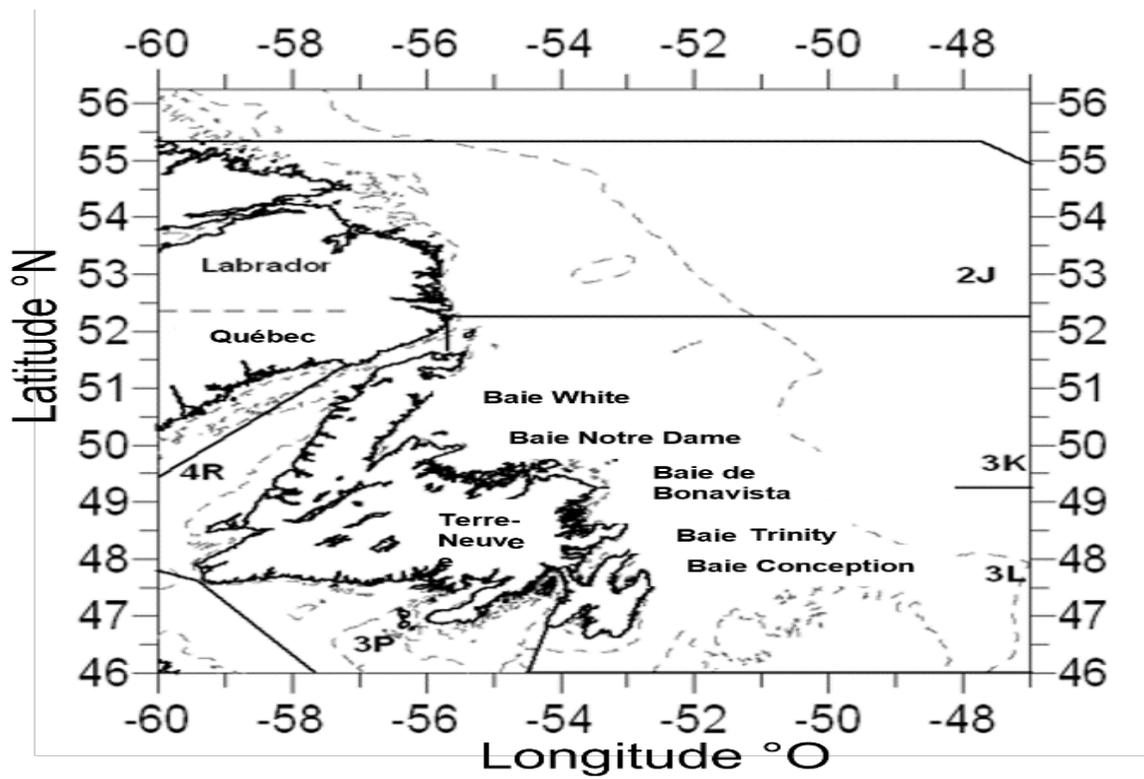


Figure 1. Zone de stock du capelan des divisions 2J3KL de l'OPANO.

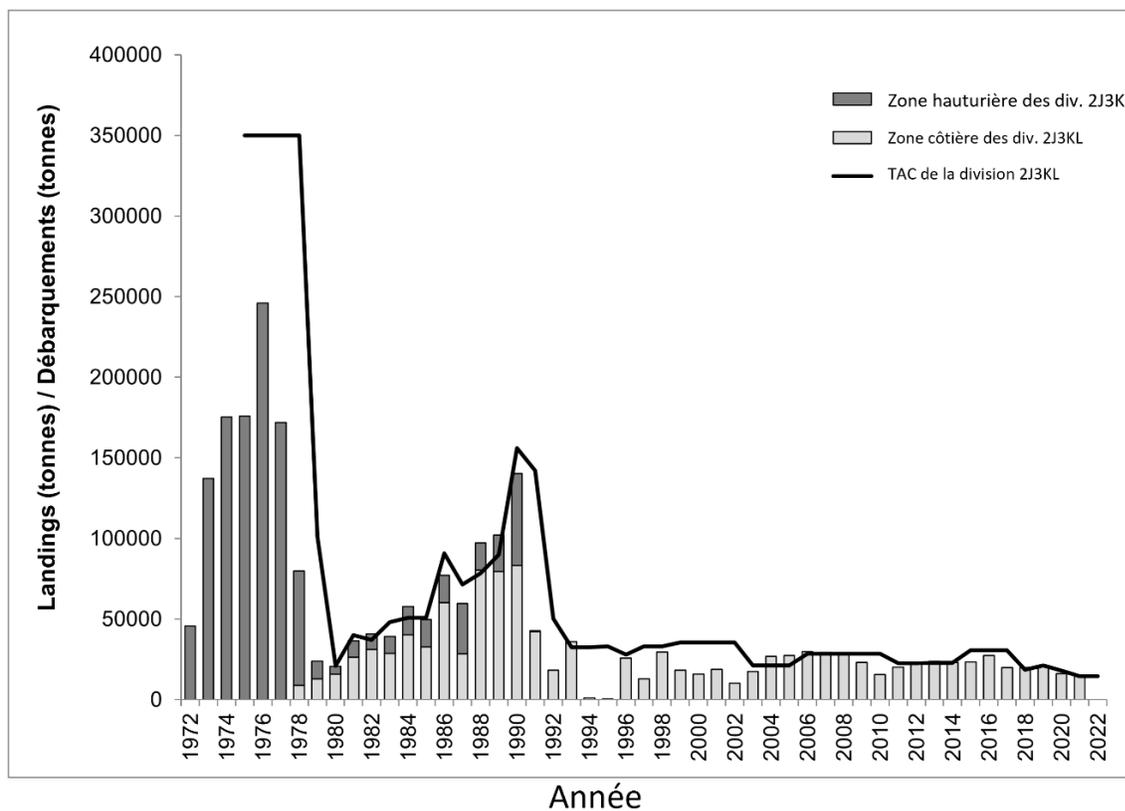


Figure 2. Débarquements des prises capturées en zone côtière (barres gris pâle), débarquements des prises capturées au large (barres gris foncé) et TAC (ligne) pour le capelan des divisions 2J3KL de 1972 à 2022. Il convient de noter que les débarquements annuels des prises capturées en zone côtière étaient probablement supérieurs à 0 t entre 1972 et 1977, mais qu'ils n'ont pas été enregistrés avant 1978. Il n'y a pas eu de pêche commerciale en 1994, 1995 et 2022.

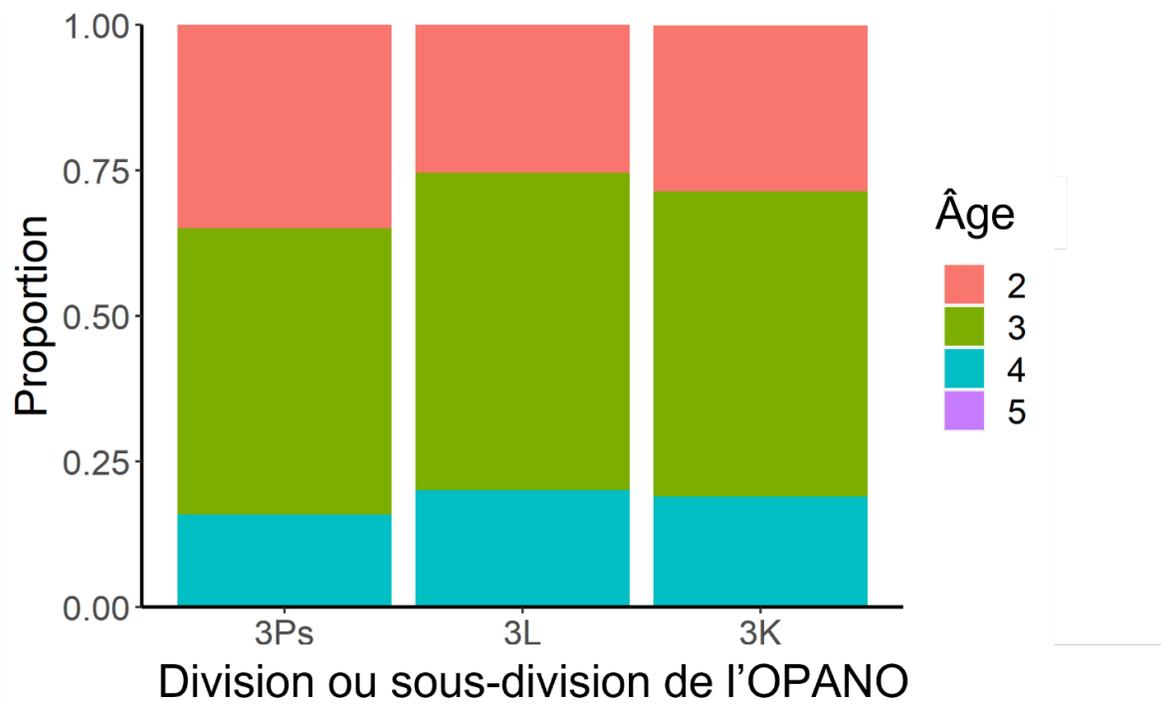


Figure 3a. Composition selon l'âge des capelans ayant frayé sur des plages dans les divisions 3K ($n = 21$) et 3L ($n = 905$) et dans la sous-division 3Ps ($n = 63$) de l'OPANO en juin et juillet 2022. Les poissons ont été échantillonnés à l'aide d'éperviers sur sept plages du sud et du nord-est de Terre-Neuve.

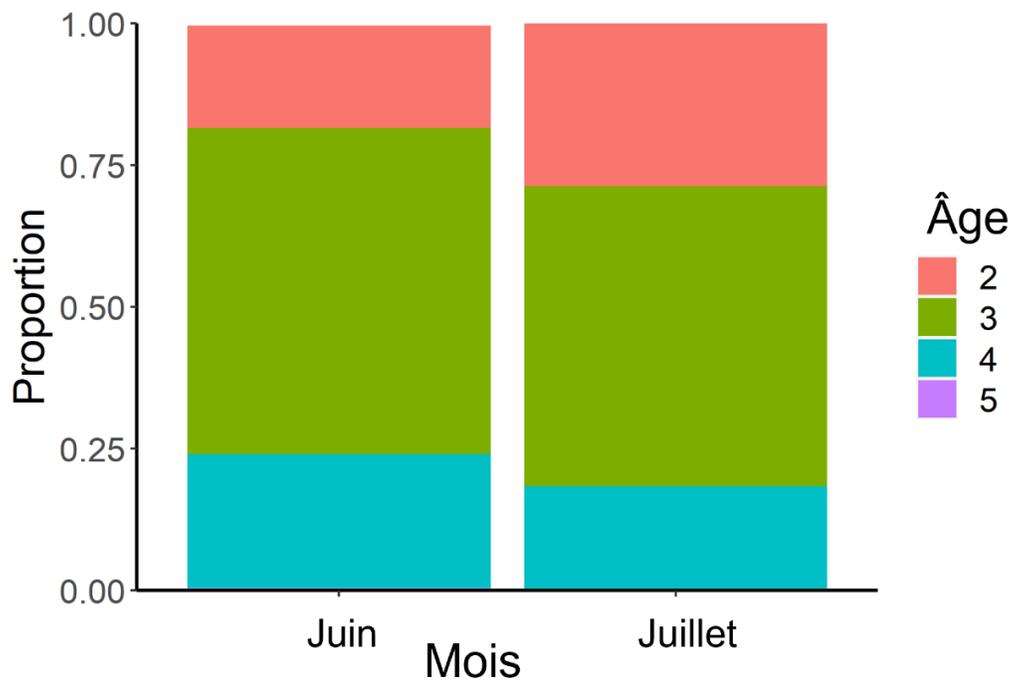


Figure 3b. Composition selon l'âge des capelans ayant frayé sur des plages dans la division 3L de l'OPANO en juin ($n = 288$) et en juillet ($n = 617$) 2022. Les poissons ont été échantillonnés à l'aide d'éperviers sur cinq plages.

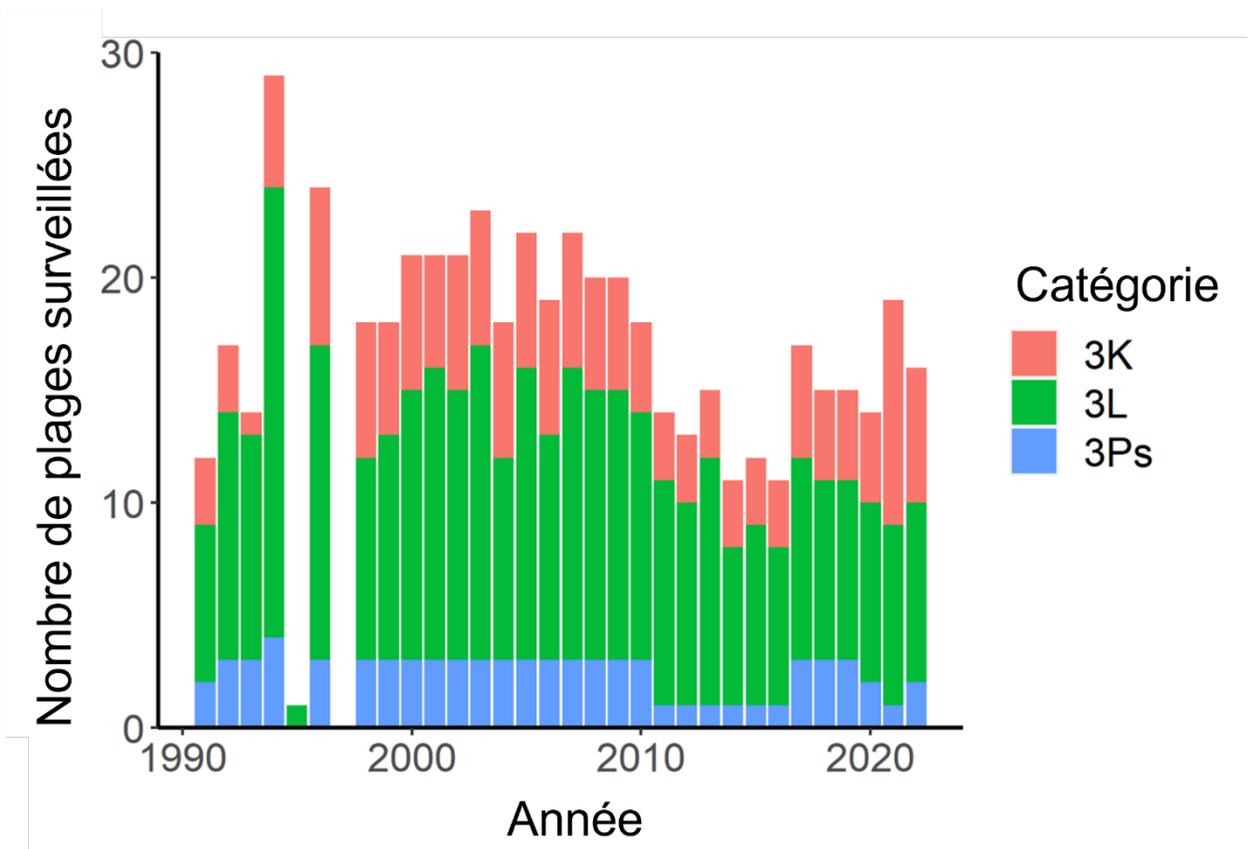


Figure 4. Plages de fraie du capelan surveillées depuis 1991 dans le cadre du programme de science citoyenne du MPO (consignation de données sur la fraie ayant lieu sur des plages dans des journaux), par division ou sous-division.

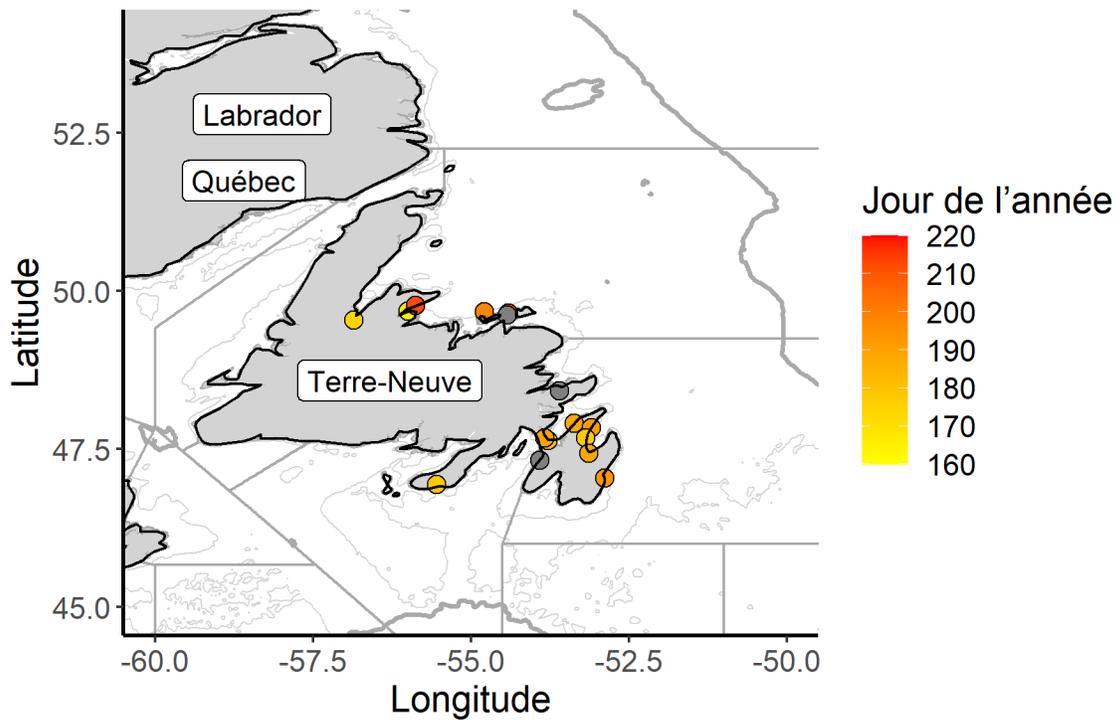


Figure 5. Période médiane de la fraie du capelan en 2022 aux 16 plages surveillées dans le programme de science citoyenne (consignation de données sur la fraie ayant lieu sur des plages dans des journaux). Les points gris indiquent les plages ayant fait l'objet d'une surveillance et sur lesquelles aucune activité de fraie n'a été enregistrée en 2022. Bathymétrie : courbes de niveau de 100 m en gris clair et de 500 m en gris foncé.

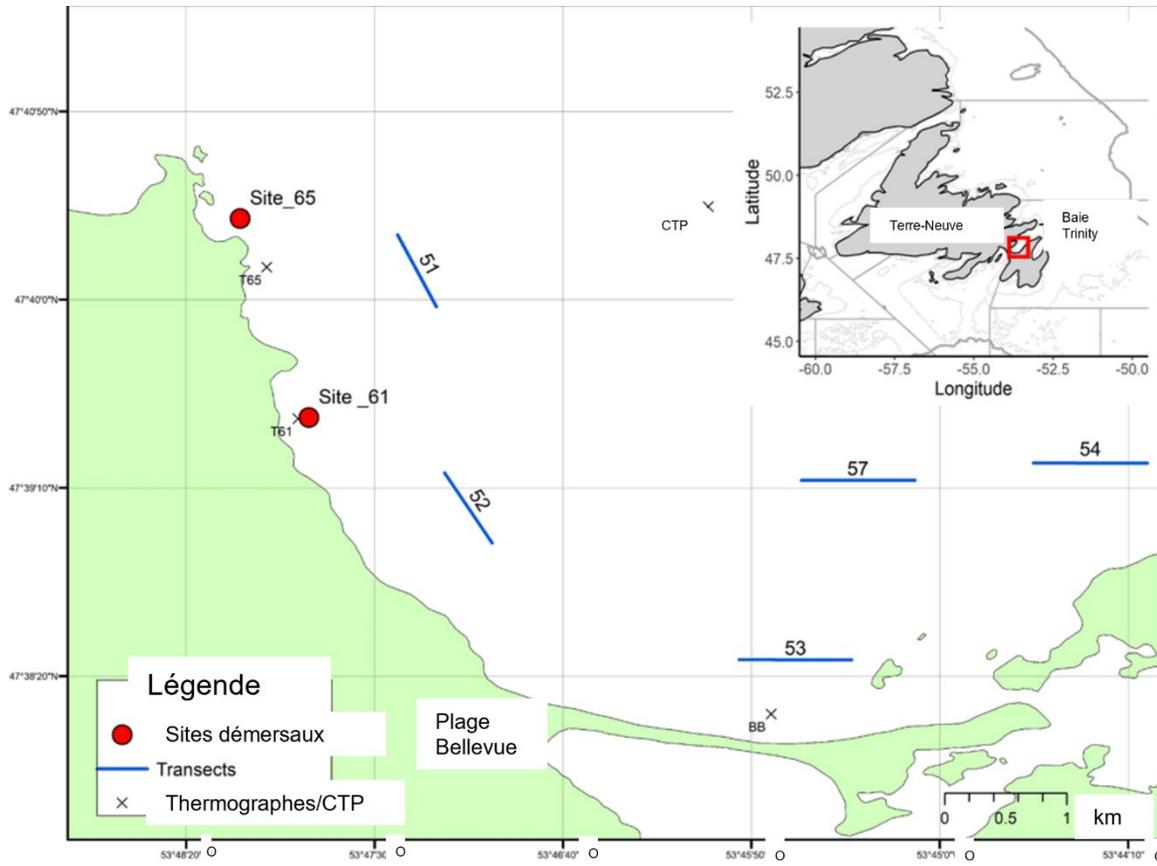


Figure 6a. Zone d'échantillonnage de la plage Bellevue dans la baie Trinity (division 3L). Les sites démersaux sont indiqués en rouge (profondeurs de 12 à 14 m). Les transects numérotés sont des stations fixes pour les traits de surface ciblant les larves. Un X indique une station fixe où des données sur la conductivité, la température et la profondeur (CTP) sont recueillies chaque jour d'échantillonnage. La boîte rouge dans le médaillon indique l'emplacement de la plage Bellevue dans la baie Trinity.

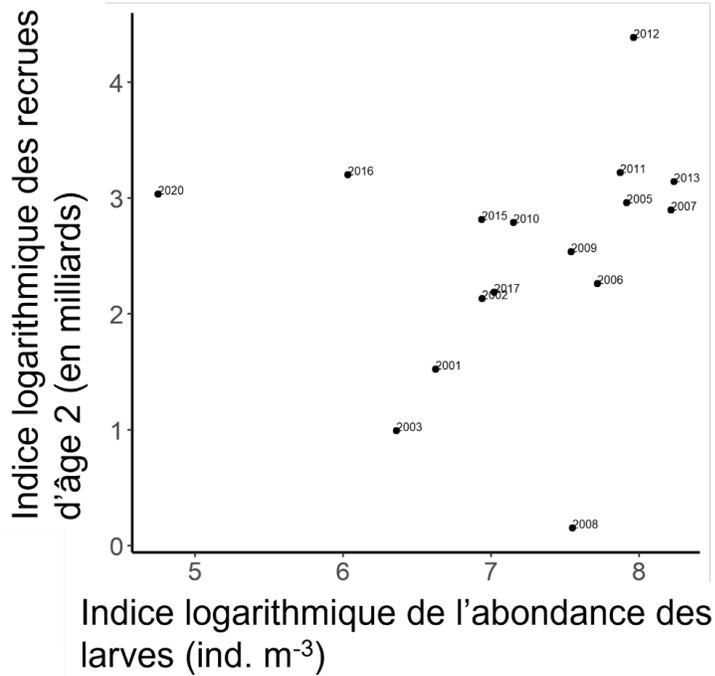


Figure 6b. Relation mise à jour entre l'indice des recrues d'âge 2 et l'indice larvaire de la plage Bellevue. Cette relation n'est plus significative avec l'ajout des classes d'âge de 2015 à 2017 et de 2020. Les années sur la figure renvoient à la classe d'âge.

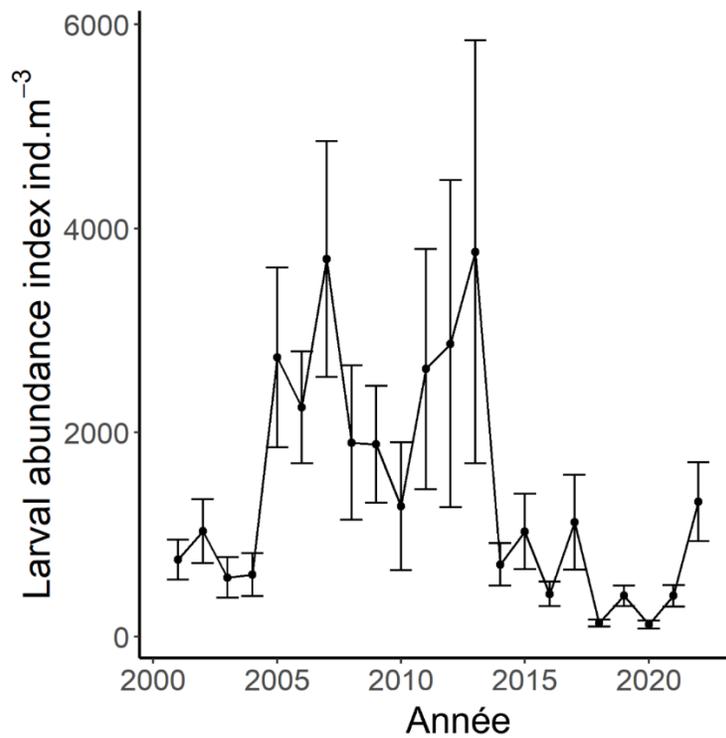


Figure 6c. Indice larvaire de la plage Bellevue (de 2001 à 2022) \pm erreurs types.

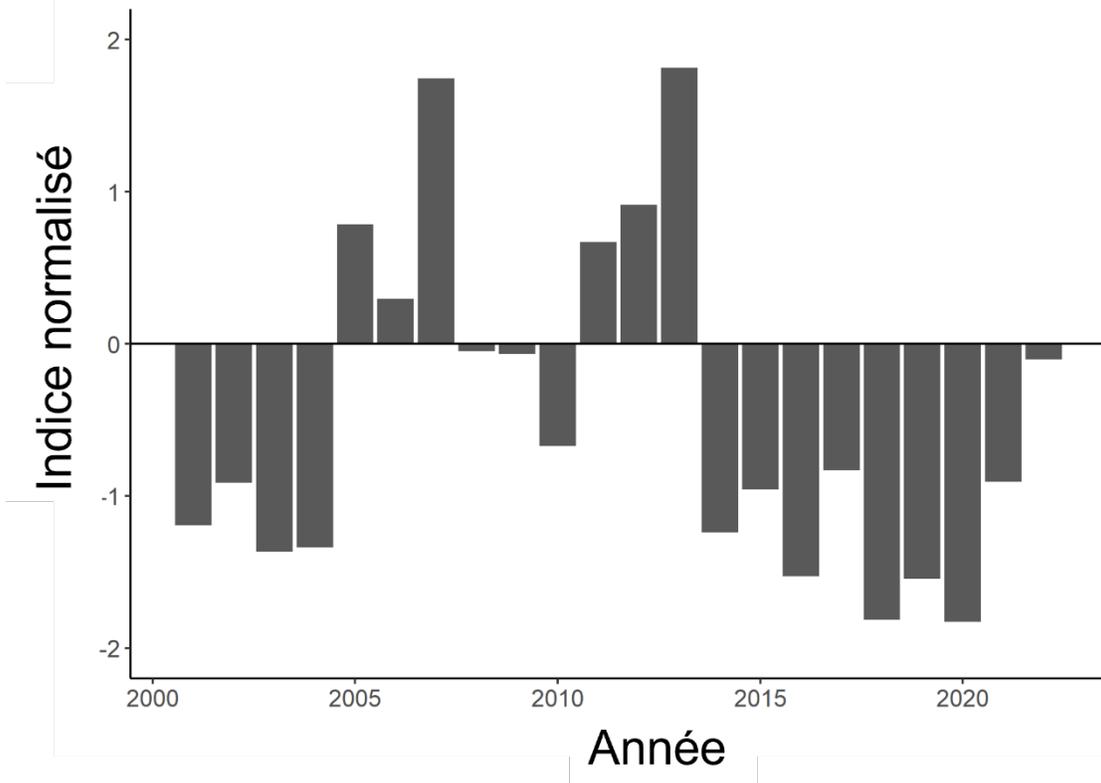


Figure 6d. Anomalies normalisées de l'indice larvaire du capelan à la plage Bellevue pour les classes d'âge de 2001 à 2022. Les anomalies ont été calculées à l'aide d'une période de référence de 2001 à 2021. Les anomalies négatives indiquent une production larvaire annuelle inférieure à la moyenne.

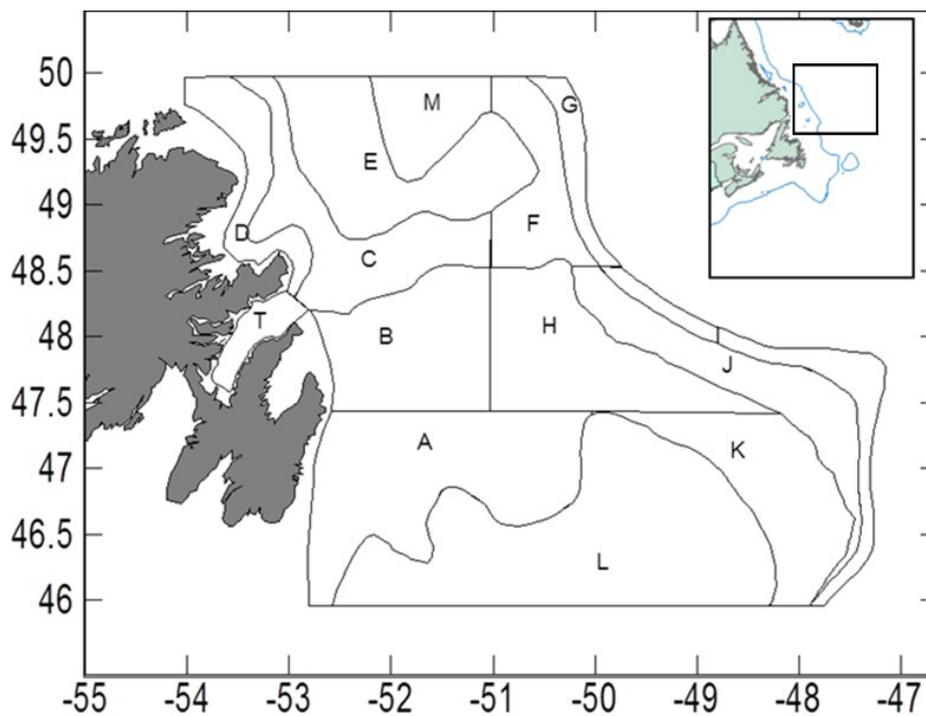


Figure 7. Strates du relevé acoustique de printemps dans les divisions 3K et 3L de l'OPANO.

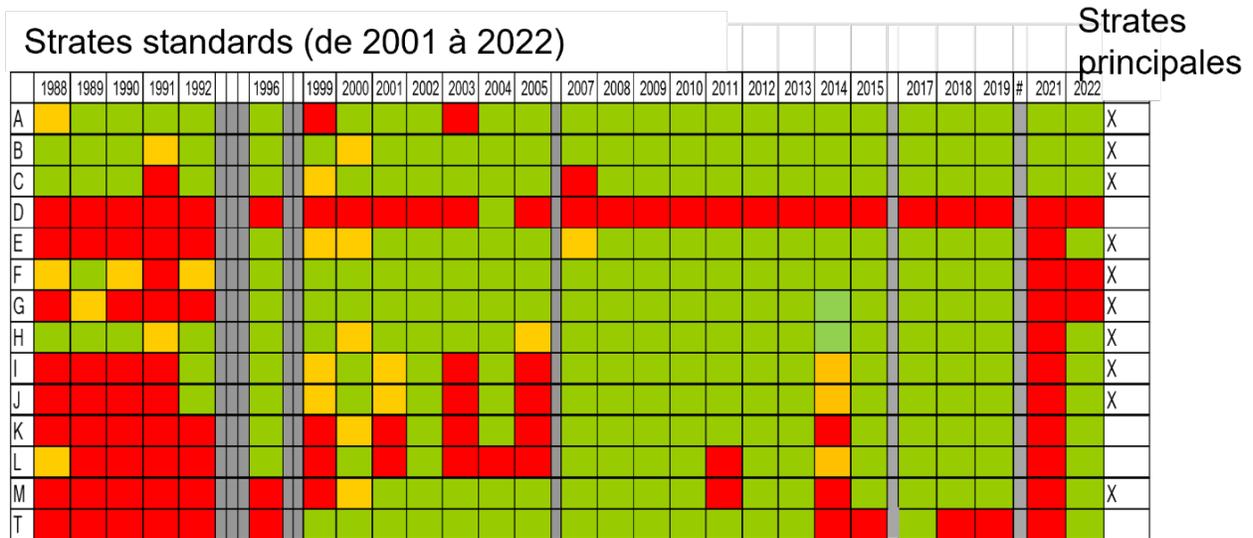


Figure 8. Couverture des strates du relevé acoustique de printemps ciblant le capelan de 1988 à 2022. Le vert indique les strates entièrement couvertes, l'orange indique une couverture partielle et le rouge indique une couverture manquante ou inadéquate. Les noms des strates font référence aux limites des strates telles qu'établies en 2000.

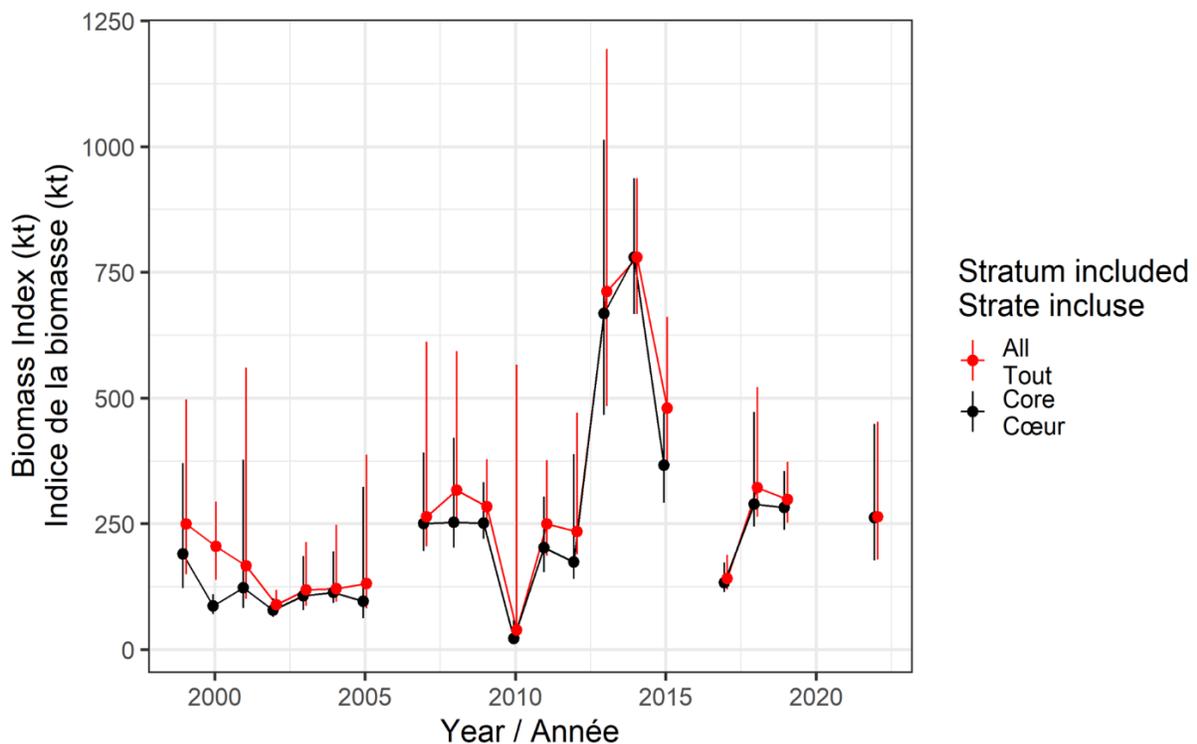


Figure 9a. Comparaison de l'indice de la biomasse du capelan calculé à l'aide de toutes les strates (Tout; ligne rouge) par rapport à l'indice de la biomasse calculé en utilisant uniquement les strates principales (Cœur; ligne noire). Pour les deux séries chronologiques, les points indiquent l'estimation de la médiane de l'indice de la biomasse pour chaque année et les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 90 % pour l'estimation de l'indice de la biomasse de l'année, allant du 5^e au 95^e centile de l'estimation.

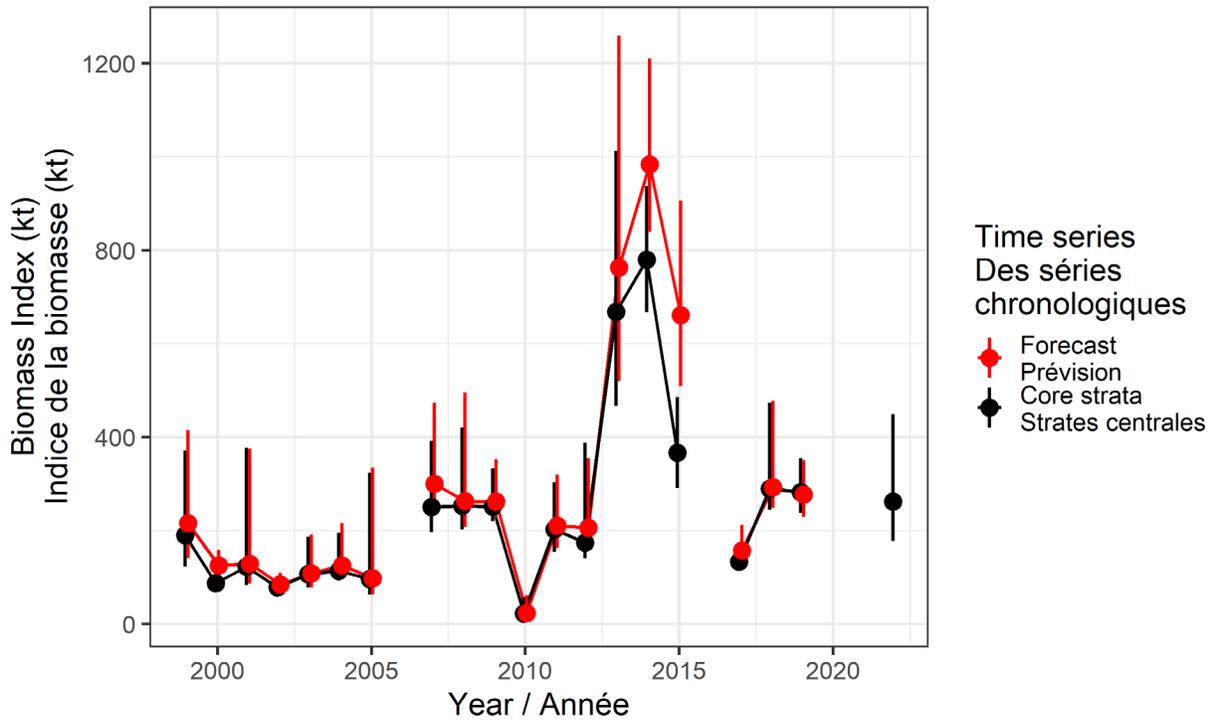


Figure 9b. Comparaison de l'indice révisé de la biomasse du capelan fondé sur les strates principales (Strates centrales; ligne noire) par rapport à l'indice de la biomasse du capelan utilisé dans le modèle de prévision pour le capelan de 2017 à 2021 (Préviation; ligne rouge).

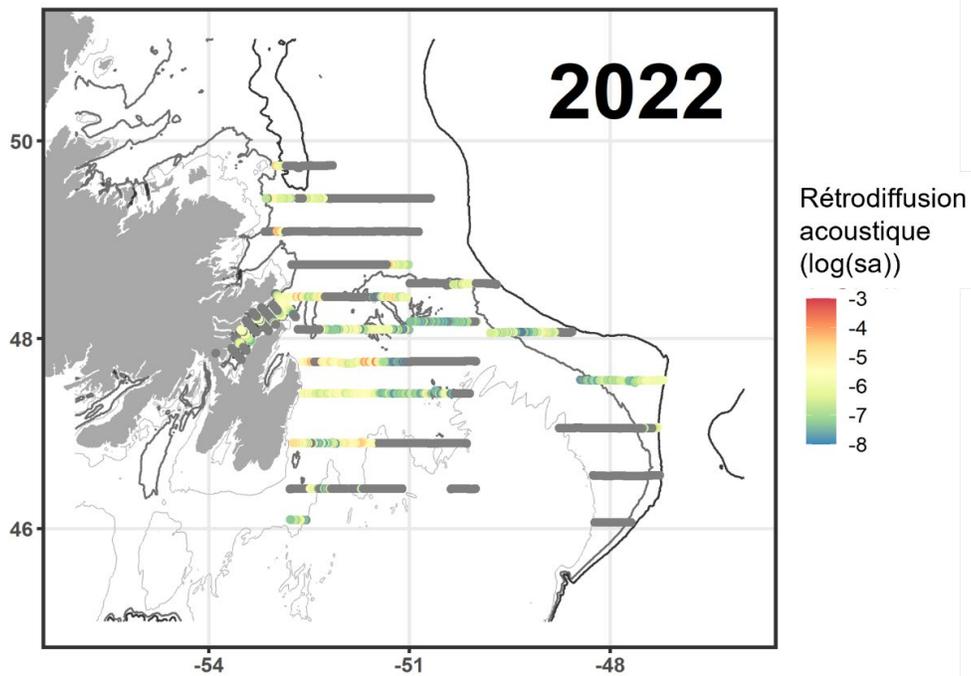


Figure 10a. Trajectoires lors du relevé acoustique de printemps en 2022. Les nuances de couleur consécutives indiquent une différence d'un ordre de grandeur dans la rétrodiffusion acoustique, les couleurs froides (bleu) indiquant une biomasse faible. Le gris indique l'absence de rétrodiffusion acoustique du capelan.

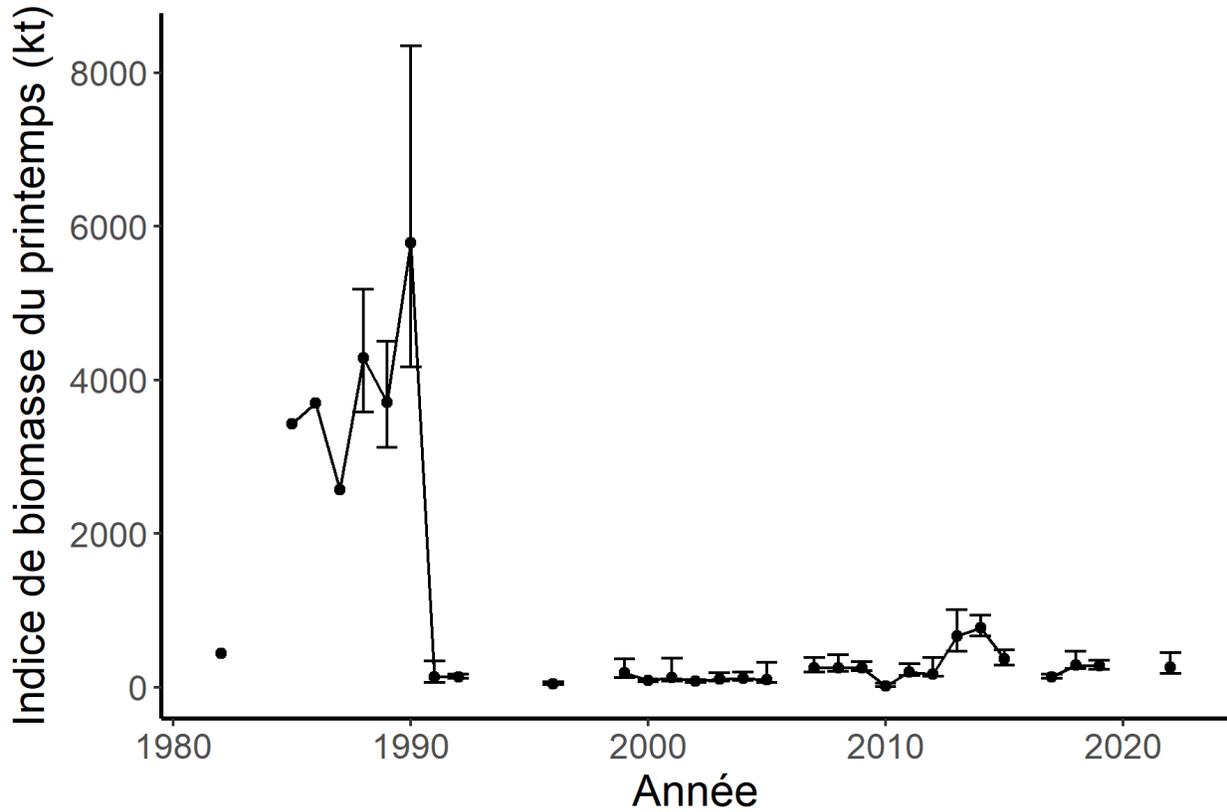


Figure 10b. Indice de la biomasse du capelan selon le relevé acoustique de printemps de 1982 à 2022. Les barres d'erreur sont les intervalles de confiance à 90 %, allant du 5^e au 95^e centile de l'estimation. Il n'a pas été possible de calculer les barres d'erreur pour 1982 à 1987.

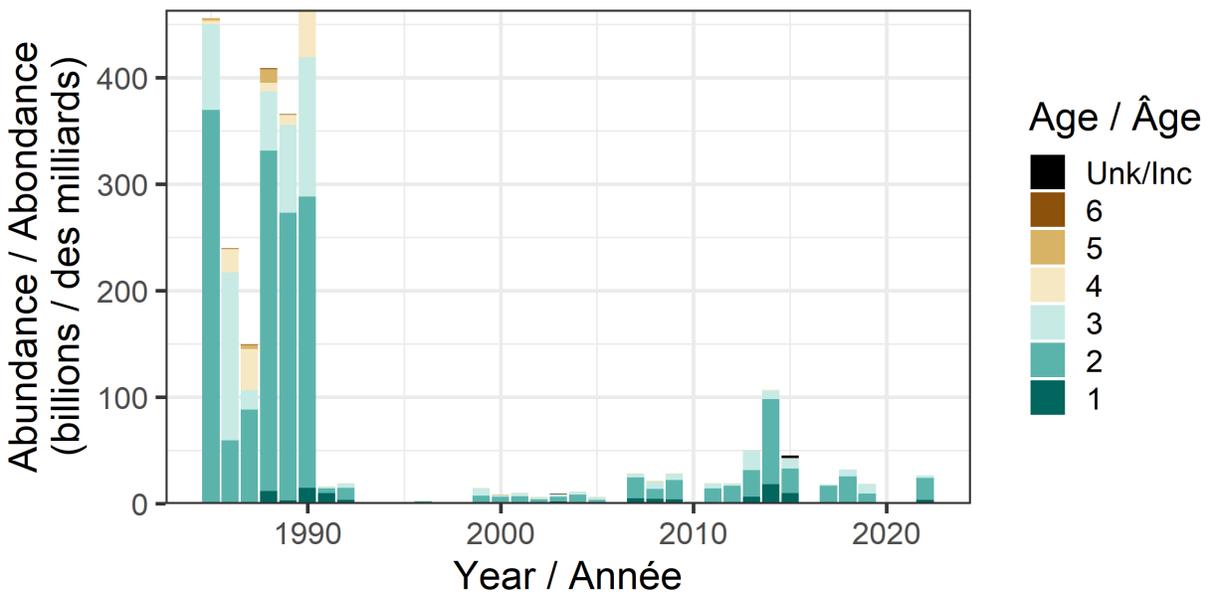


Figure 10c. Indice de l'abondance du capelan selon le relevé acoustique de printemps, ventilé selon l'âge, de 1985 à 2022.

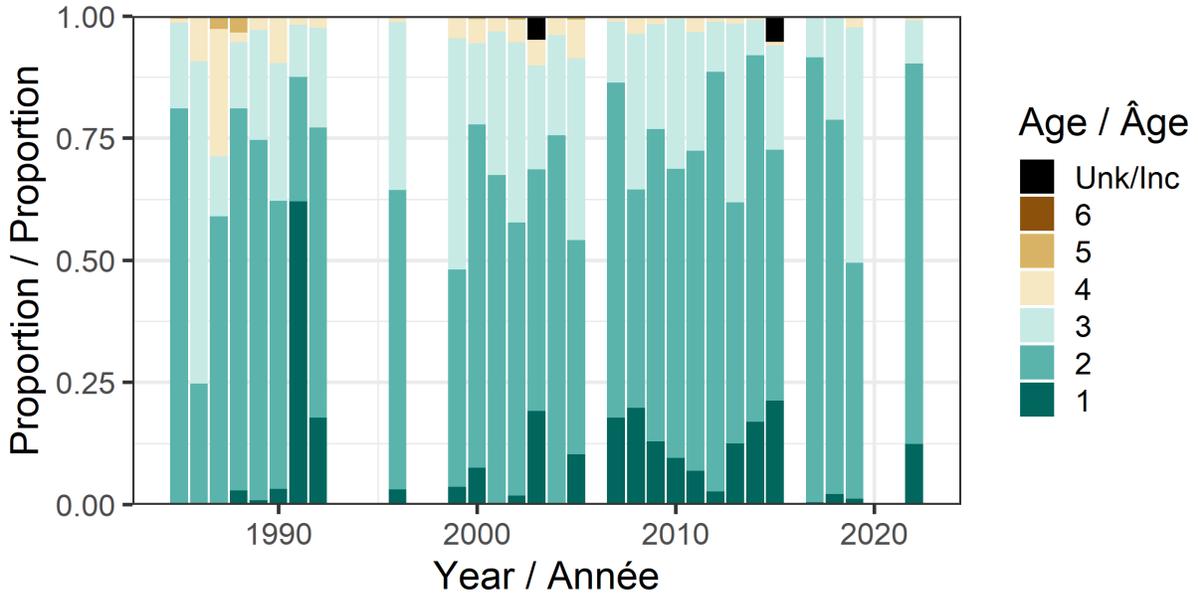


Figure 11. Composition selon l'âge du capelan des divisions 2J3KL selon le relevé acoustique de printemps depuis 1985.

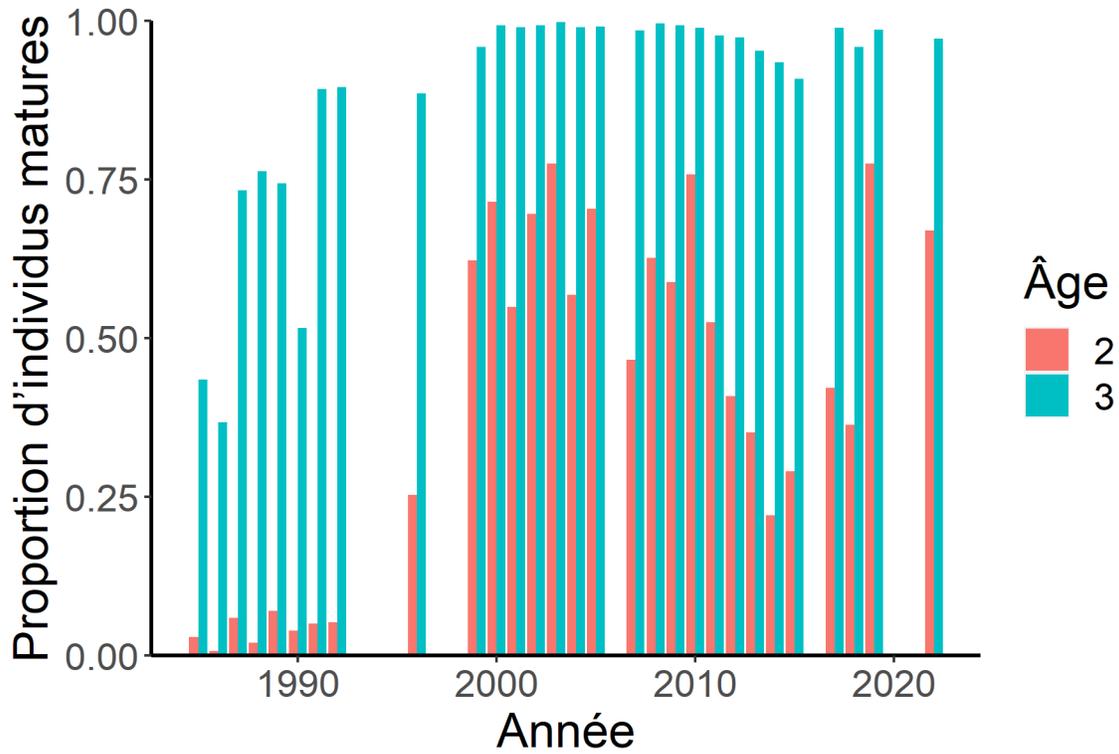


Figure 12. Proportion de capelans matures (regroupés par sexe) à l'âge 2 et à l'âge 3 depuis 1985.

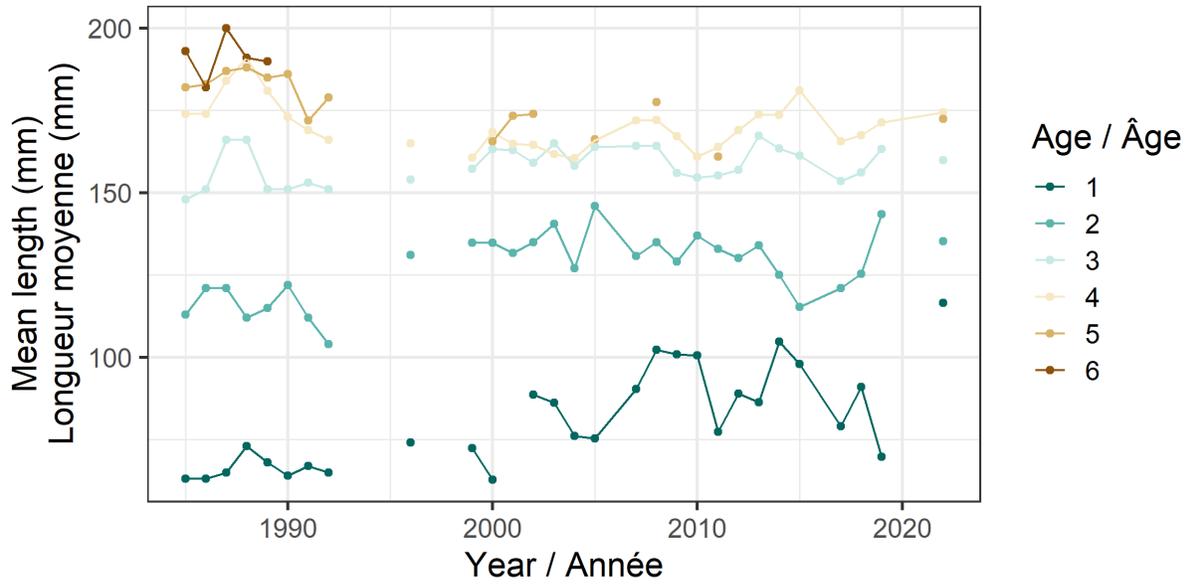


Figure 13a. Longueurs moyennes des capelans des divisions 2J3KL échantillonnés dans le cadre du relevé acoustique de printemps (âges 1 à 6) de 1985 à 2022.

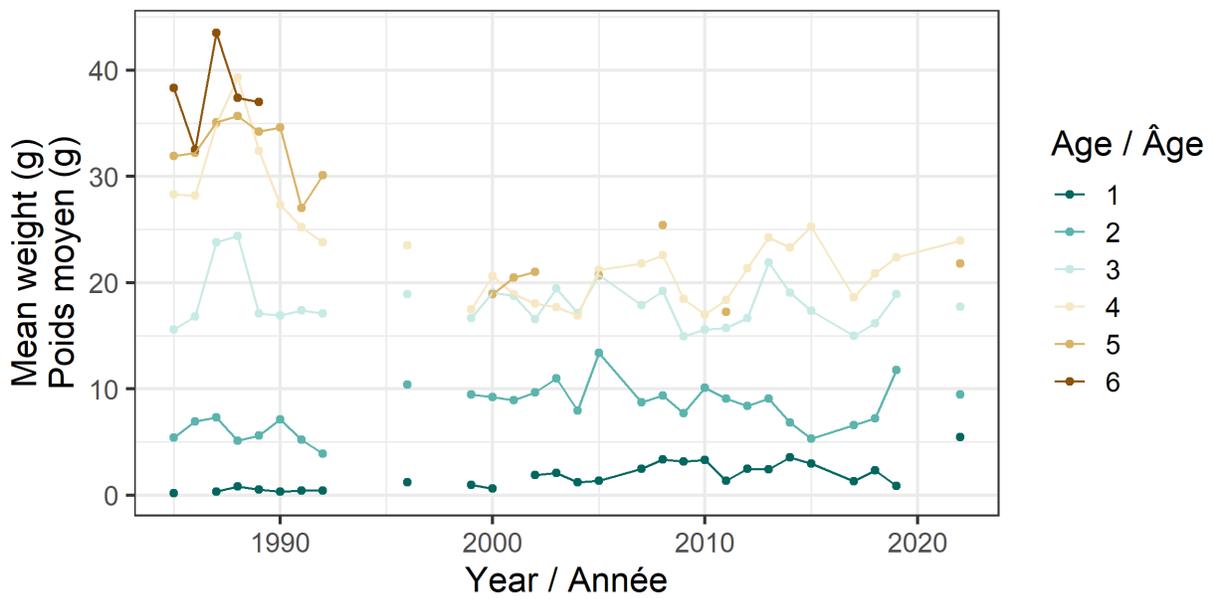


Figure 13b. Poids moyens des capelans des divisions 2J3KL échantillonnés dans le cadre du relevé acoustique de printemps (âges 1 à 6) de 1985 à 2022.

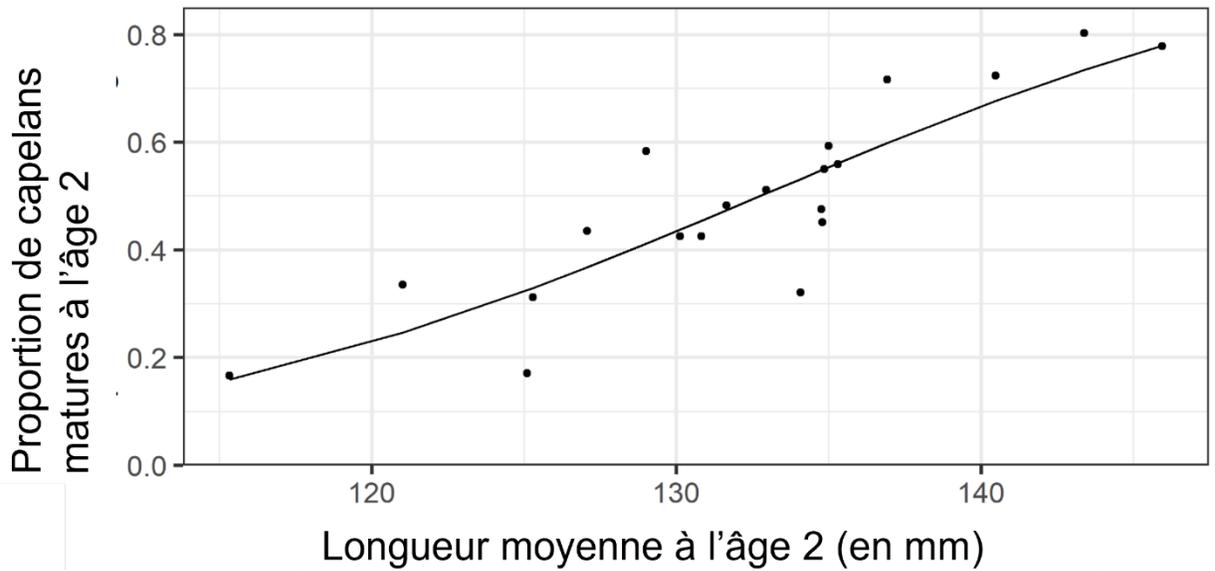


Figure 14a. Proportion des capelans matures à l'âge 2 affichant une relation positive avec la longueur moyenne à l'âge 2 (régression bêta, Pseudo $R^2 = 0,76$, $p = 0,001$).

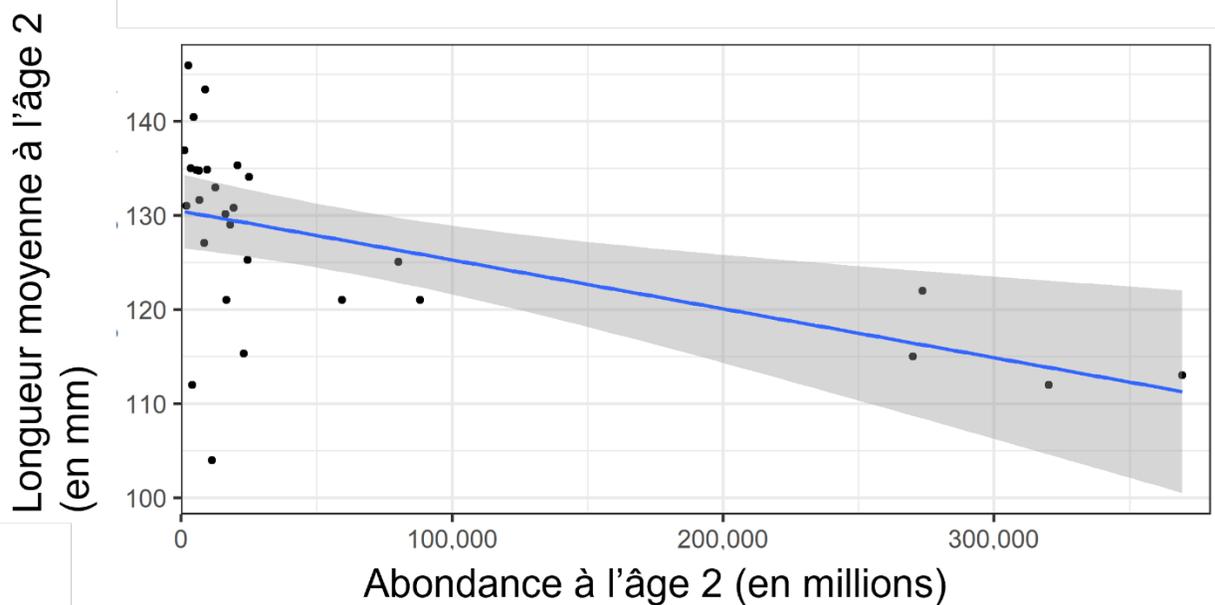


Figure 14b. Abondance des capelans d'âge 2 affichant une relation négative avec la longueur moyenne selon l'âge (régression linéaire, $R^2 = 0,25$, $p = 0,0032$).

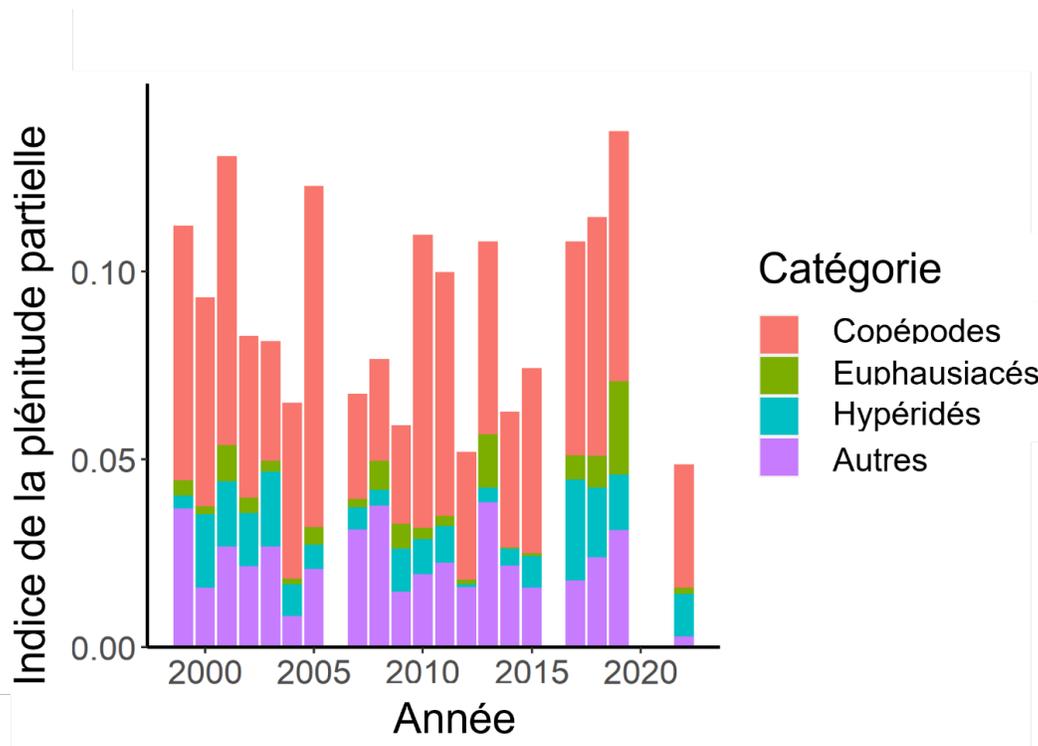


Figure 15a. Indice de la plénitude partielle du capelan des divisions 2J3KL (de 1999 à 2022). Il n'y a pas eu de relevé acoustique en 2020 en raison de la pandémie de COVID-19 et l'année 2021 a été exclue, car il n'y a eu qu'une couverture partielle de la zone du relevé en juin.

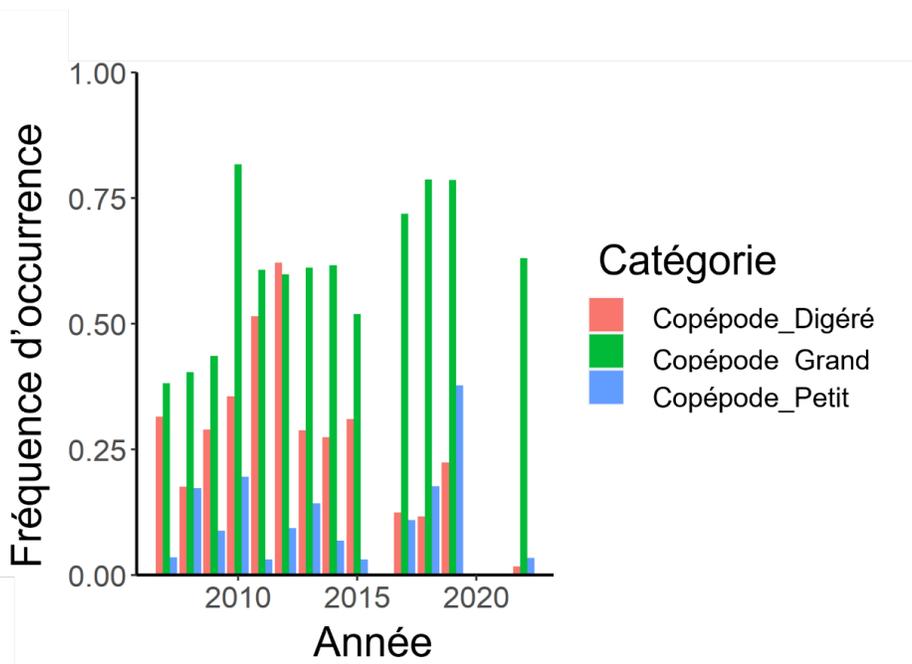


Figure 15b. Fréquence d'occurrence des copépodes de petite taille, de grande taille et digérés dans le régime alimentaire du capelan des divisions 2J3KL (de 2007 à 2022). Il n'y a pas eu de relevé acoustique en 2020 en raison de la pandémie de COVID-19 et l'année 2021 a été exclue, car il n'y a eu qu'une couverture partielle de la zone du relevé en juin.

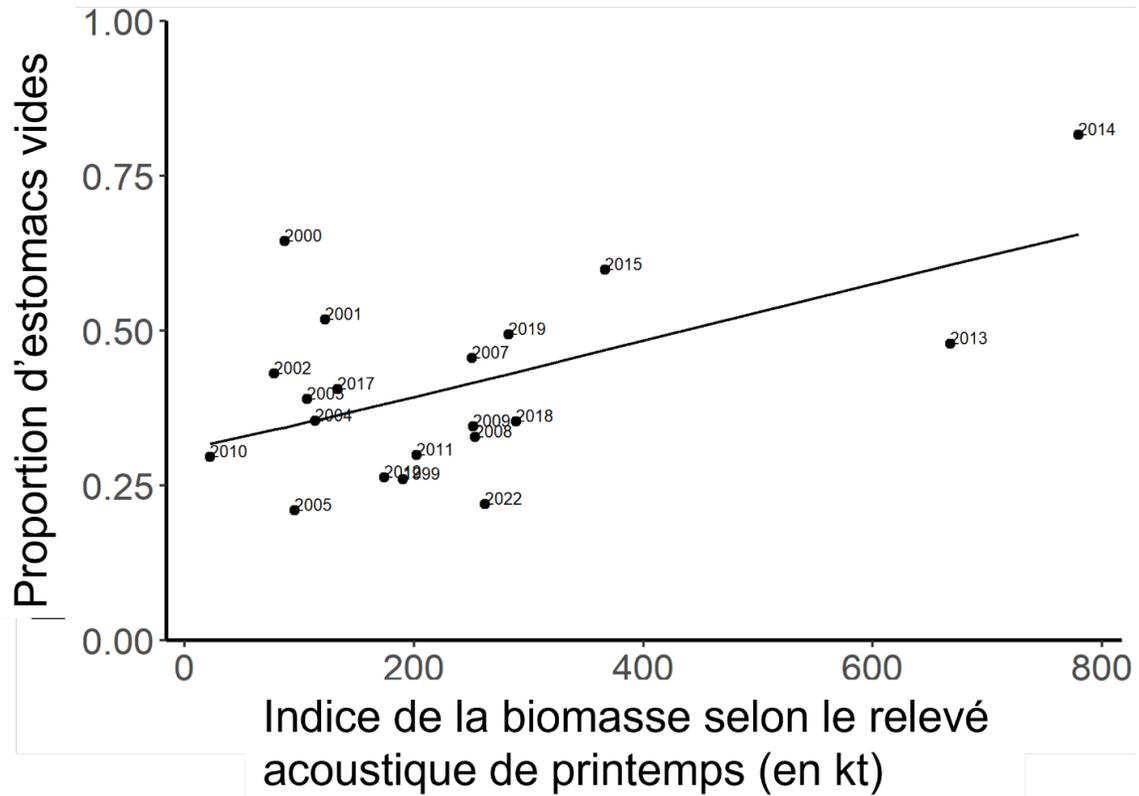


Figure 15c. Régression bêta entre la proportion d'estomacs vides au printemps (mai) et l'indice de la biomasse du capelan selon le relevé acoustique de printemps (de 1999 à 2022; régression bêta : Pseudo $R^2 = 0,31$, $p = 0,003$).

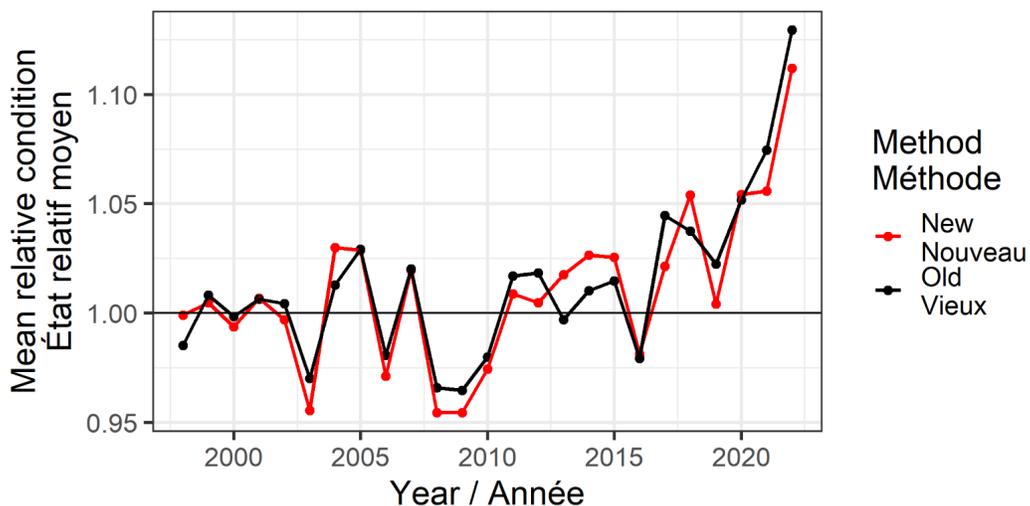


Figure 16. Comparaison de l'ancienne et de la nouvelle méthode de calcul de l'état relatif moyen des capelans mâles et femelles d'âge 1 et d'âge 2 échantillonnés lors du relevé plurispécifique d'automne au chalut de fond, par année (de 1998 à 2022), pour les divisions 2J3KL de l'OPANO. En 2021, il n'y a pas eu de relevé dans la division 3L, de sorte que la valeur de l'état repose sur l'état moyen de 2011 à 2020 dans cette division. En 2022, la couverture du relevé était atypique en raison du programme de pêche comparative.

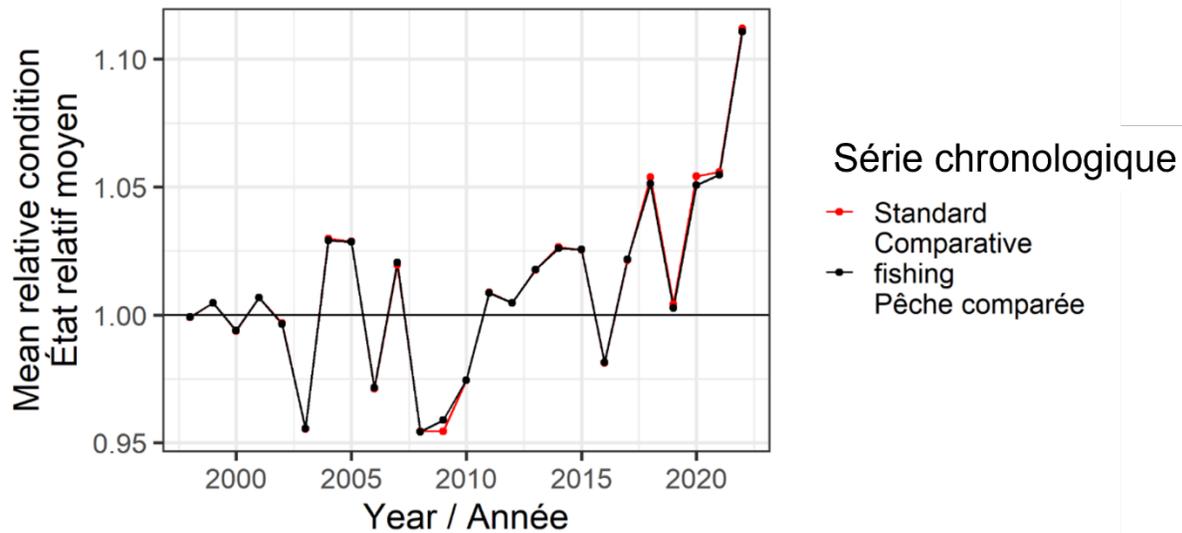


Figure 17a. Comparaison de l'état relatif à l'automne entre le plan typique du relevé d'automne au chalut de fond (Standard) de 1998 à 2022 et seulement les strates visées dans le cadre du programme de pêche comparative (Pêche comparée) à partir de 2022.

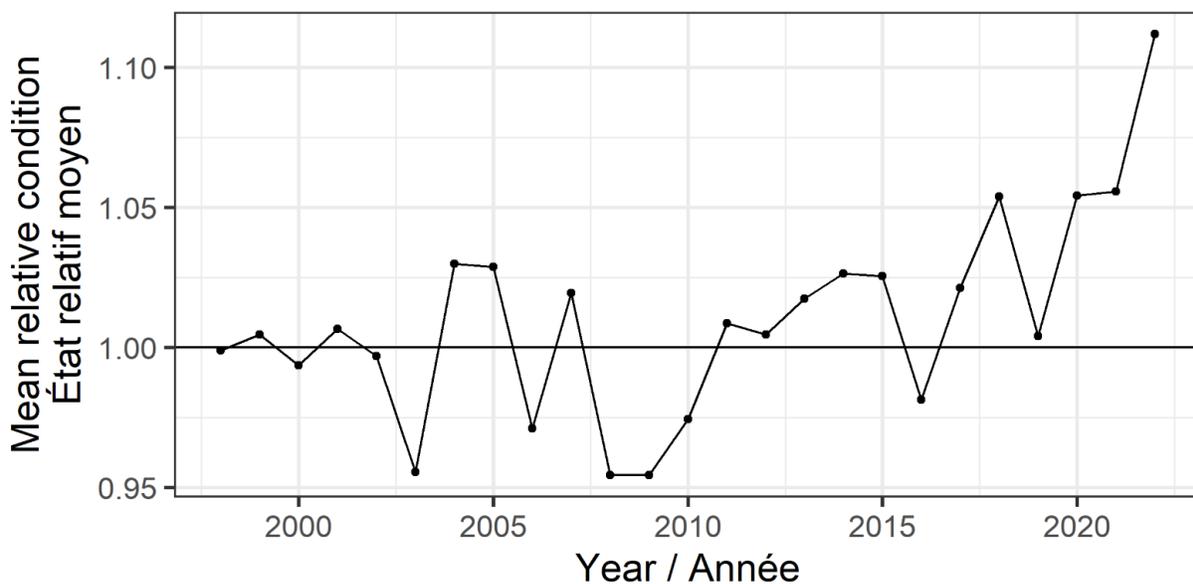


Figure 17b. État relatif à l'automne des capelans mâles et femelles d'âge 1 et d'âge 2 dans la division 3K seulement de 1999 à 2022.

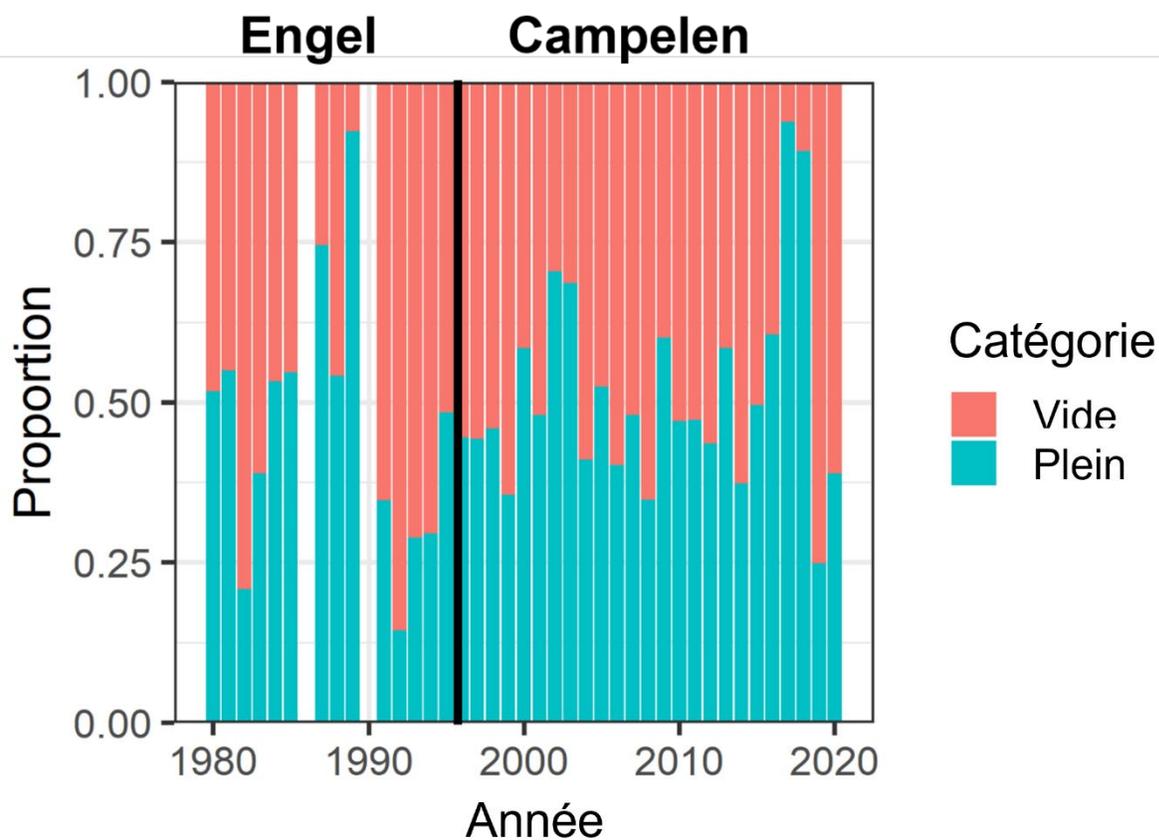


Figure 18. Proportion d'estomacs vides (catégorie 0) et pleins (catégories 1 à 4 sur l'échelle de plénitude de l'estomac, regroupées) chez les capelans « échantillonnés » non disséqués lors du relevé plurispécifique d'automne au chalut de fond dans les divisions 2J3KL (de 1980 à 2020). Les données de 2021 et de 2022 ne sont pas incluses en raison des changements dans la couverture du relevé ces deux années. La ligne verticale noire délimite les périodes où on a utilisé les chaluts de fond Engel et Campelen.

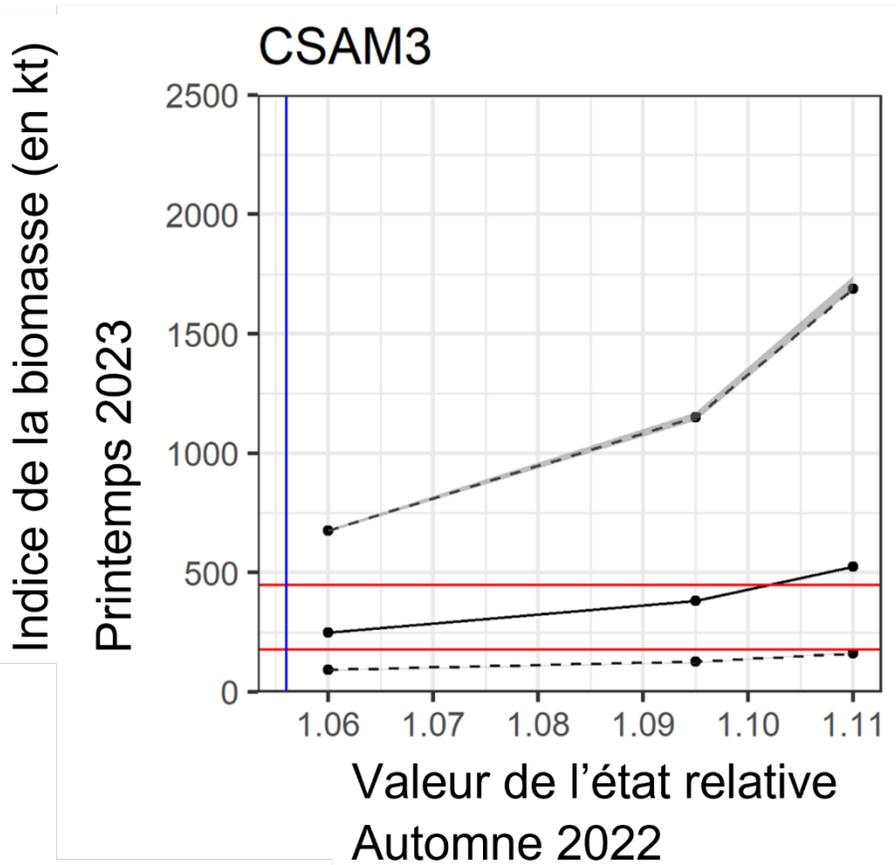


Figure 19. Comparaison des valeurs de l'indice de la biomasse prédites pour le printemps 2023 selon une plage de valeurs de l'état relatif de l'automne 2022 à l'aide du modèle de prévision CSAM3. La ligne verticale bleue indique la valeur de l'état la plus élevée utilisée pour ajuster le modèle de prévision. Les deux lignes horizontales rouges montrent les 5^e et 90^e centiles de l'indice de la biomasse pour le printemps 2022. Les lignes tiretées noires montrent les 10^e et 90^e centiles de l'intervalle de prévision pour le modèle de prévision, tandis que les zones ombrées montrent la plage entre les limites inférieure et supérieure des 10^e et 90^e centiles lorsqu'on tient compte de la sensibilité du modèle à la période du retrait de la glace de mer. La petitesse des zones ombrées indique que les prévisions du modèle n'ont été que légèrement influencées par la période du retrait de la glace de mer.

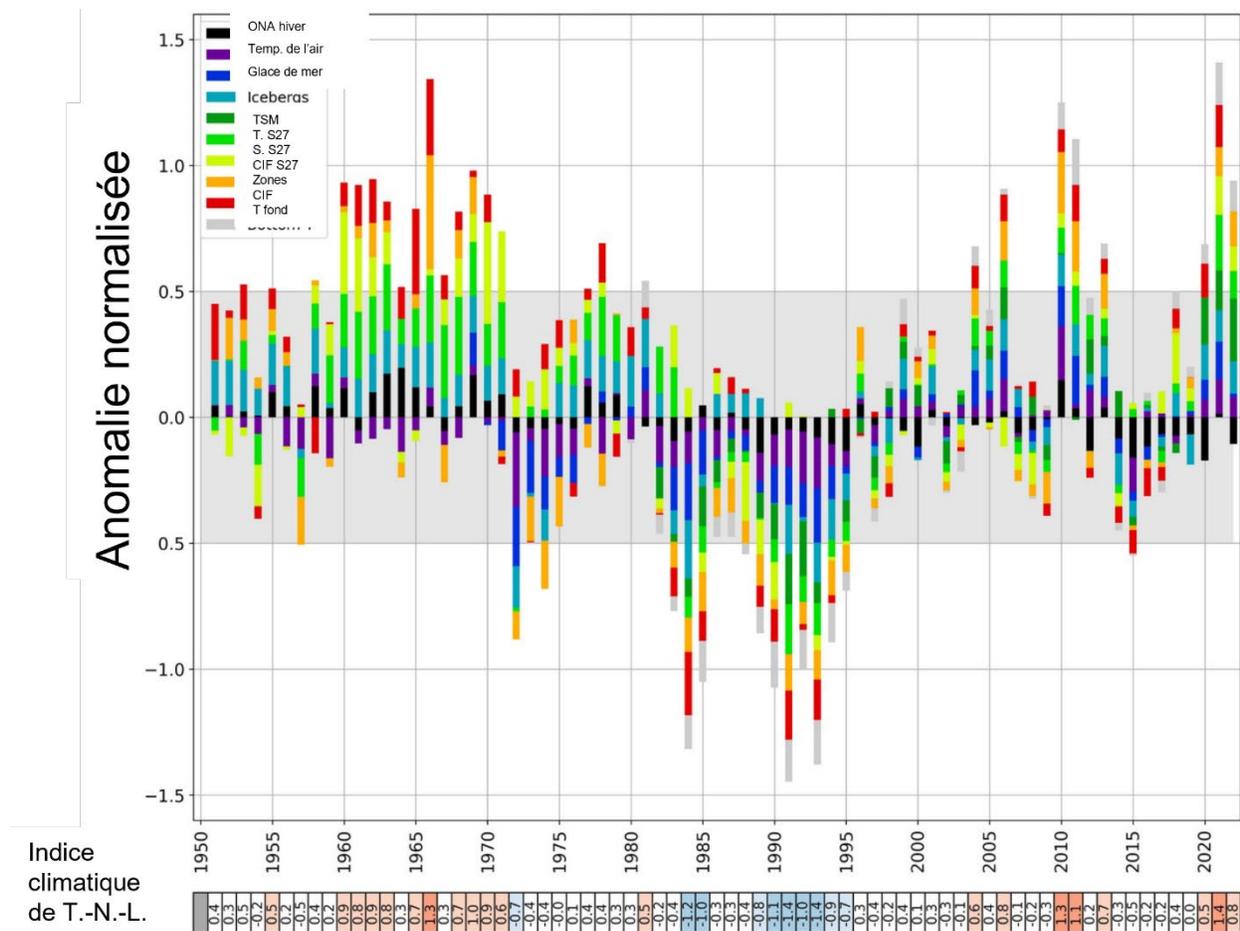


Figure 20. L'indice climatique de Terre-Neuve-et-Labrador est composé de 10 sous-indices : l'indice de l'oscillation nord-atlantique (ONA) d'hiver; la température de l'air à cinq sites; la durée de la saison et la superficie maximale de la glace de mer pour le nord et le sud des plateaux du Labrador et de Terre-Neuve; le nombre d'icebergs; la température de la surface de la mer (TSM) dans les divisions 2GHJ3KLNOP de l'OPANO; la moyenne verticale de la température et de la salinité à la station 27; la température au centre de la couche intermédiaire froide (CIF) à la station 27; les zones de la CIF en été dans les sections hydrographiques de l'île Seal, de la baie Bonavista et du bonnet Flamand; les températures au fond au printemps et à l'automne dans les divisions 3LNOPs et 2HJ3KLNO de l'OPANO, respectivement. La longueur de la barre empilée est la moyenne des sous-indices respectifs dans lesquels leur contribution relative à la moyenne est ajustée proportionnellement. Le tableau de bord au bas de la figure montre les valeurs numériques codées par couleur de l'indice climatique (bleu pour négatif, rouge pour positif et blanc pour neutre).

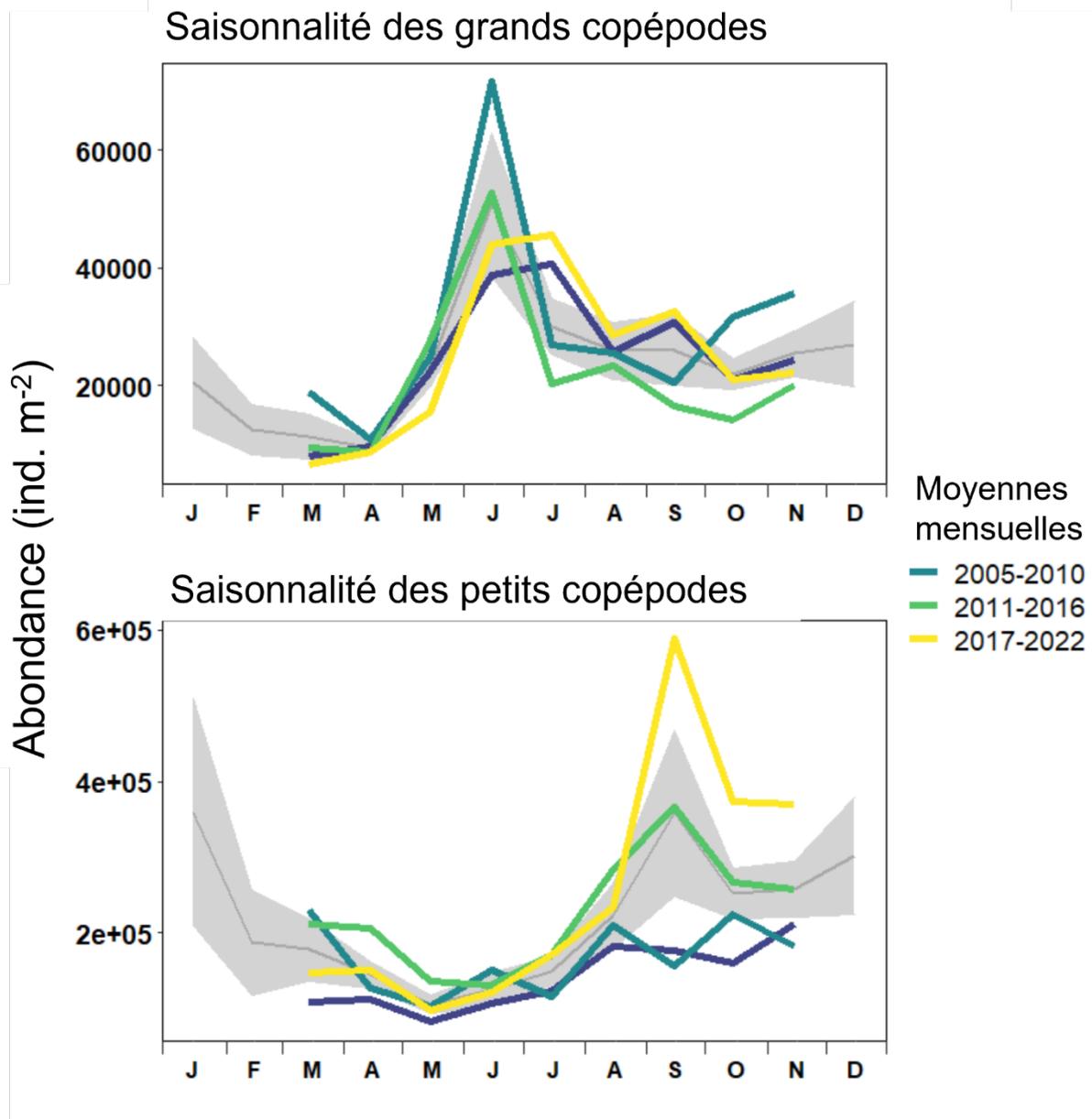


Figure 21. Données saisonnières sur l'abondance des grands et des petits copépodes échantillonnés à la station 27. Les moyennes mensuelles ont été calculées par tranches de six ans (de 1999 à 2004). La ligne et le ruban gris représentent les intervalles de confiance moyens et à 95 % pour l'ensemble de la série de données (de 1999 à 2022). Les mois sans données ont été interpolés (décembre, janvier, février).

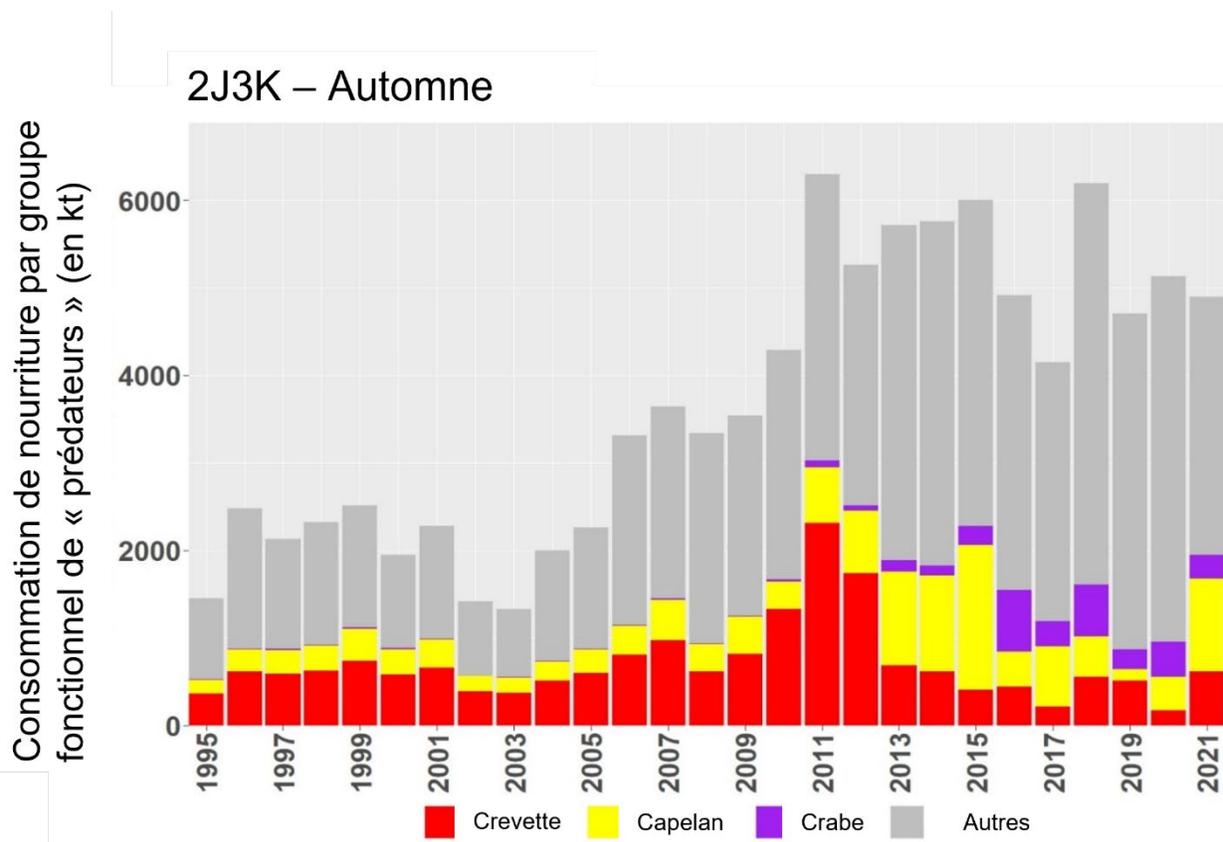


Figure 23. Consommation de crevettes, de capelans et de crabes par les poissons prédateurs dans les divisions 2J3K de l'OPANO uniquement (de 1995 à 2021; les données sur la division 3L sont exclues en raison de l'absence de couverture dans le relevé en 2021). Voir plus de détails dans MPO (2023a).

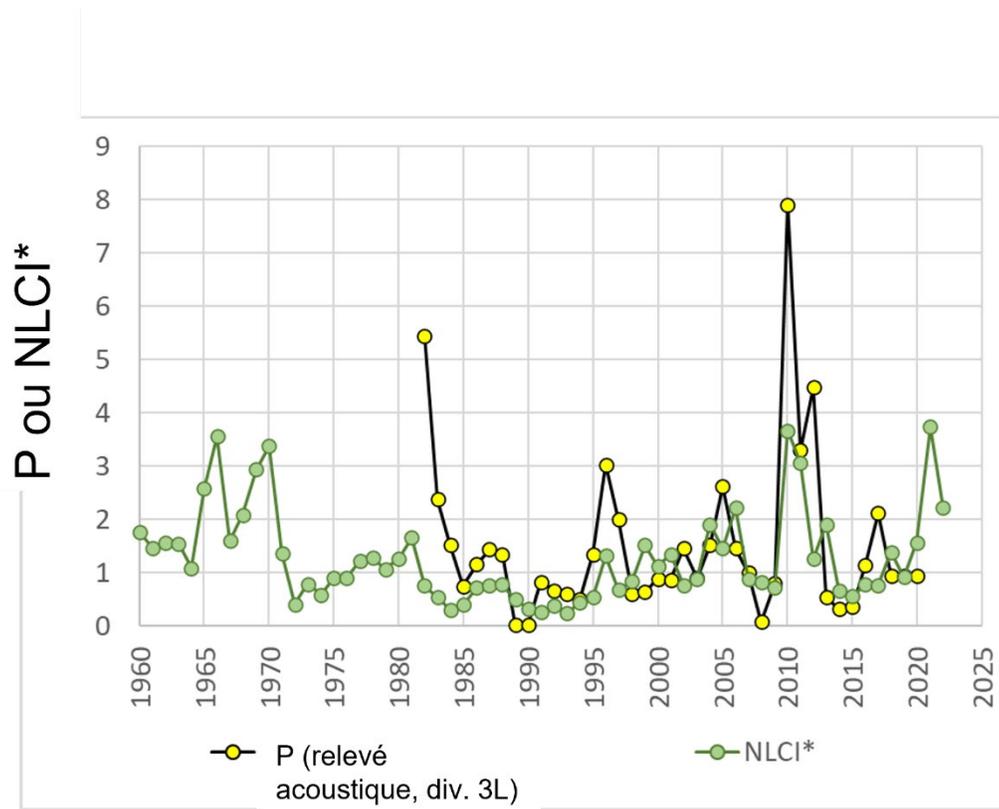


Figure 24. Le recrutement par tête du capelan (P) est lié à l'indice climatique de Terre-Neuve-et-Labrador ($NLCI^* = \exp[NLCI]$; rho de Spearman = 0,38, $p = 0,016$). P a été calculé à l'aide des valeurs interpolées linéaires pour l'indice tiré du relevé acoustique de printemps ciblant le capelan, au besoin.

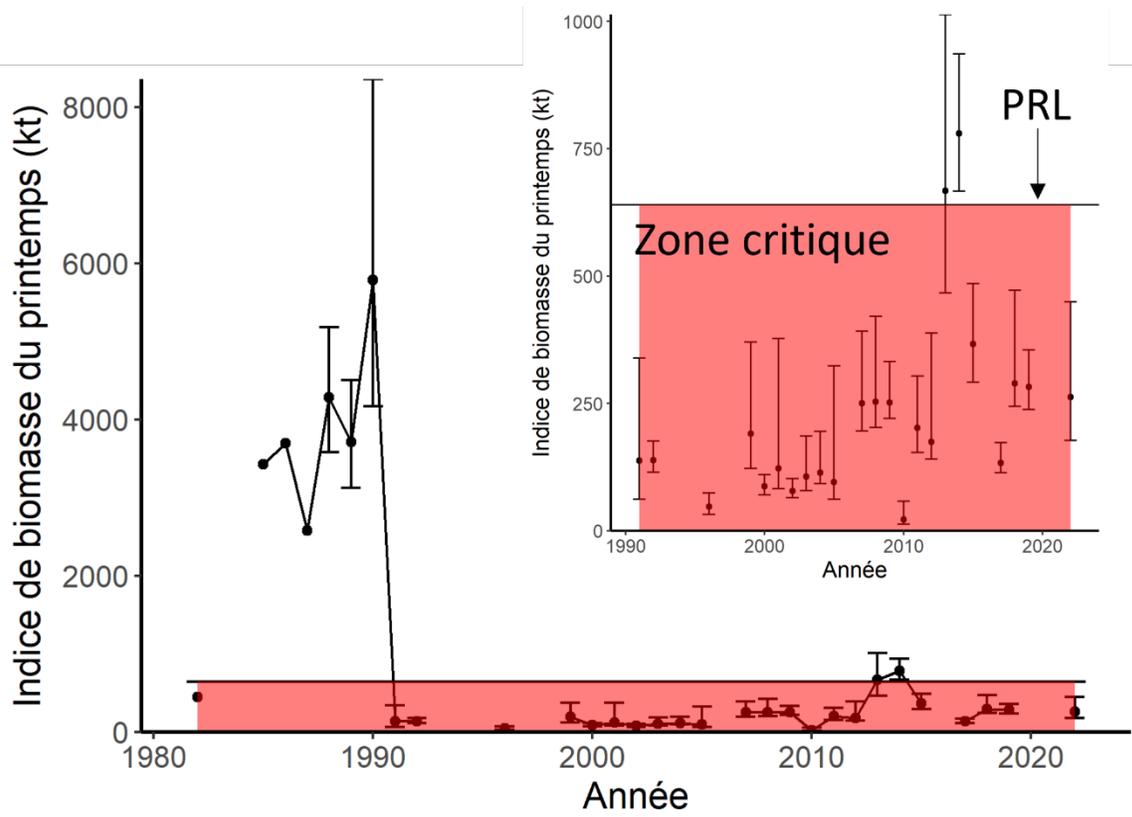


Figure 25. Le PRL du capelan a été établi en fonction de son importance pour l'écosystème. Un indice de la biomasse du capelan selon le relevé acoustique de 640 kt a été retenu comme PRL en deçà duquel le stock de capelan et la communauté de poissons à nageoires subiront probablement des dommages graves. La figure en médaillon montre les années postérieures à l'effondrement seulement (de 1991 à 2022).

ANNEXE

PROGRAMME DE RECHERCHE DANS LA BAIE TRINITY

Le relevé des larves de capelan dans la baie Trinity a commencé en 2002, en s'appuyant sur des travaux antérieurs menés dans la baie de 1982 à 1986 dans lesquels 52 stations étaient échantillonnées en juillet et août (Dalley *et al.* 2002). Les objectifs du relevé actuel sont de suivre la production larvaire à l'échelle de la baie et d'étudier l'influence de la période de fraie plus tardive sur la survie et la croissance des larves. En 2002, 52 stations ont été échantillonnées dans toute la baie, et 19 stations l'ont été au centre de la baie de 2003 à 2018. Entre 2019 et 2022, l'effort d'échantillonnage a de nouveau augmenté et 36 stations ont été échantillonnées dans toute la baie. Ce programme d'échantillonnage a lieu à une date fixe pendant une semaine en août, septembre ou octobre. Les années où un seul relevé a été effectué, il l'a été en septembre. Les stations d'échantillonnage sont fixées le long de quatre à sept lignes de transect nord-ouest, espacées de six milles marins, et sont placées à trois milles marins d'intervalle le long de chacune des lignes. Les méthodes d'échantillonnage sont les mêmes que celles décrites dans Dalley *et al.* (2002). On maintient un taux constant de descente et de remontée de filets Bongo (maillage de 333 µm) à chaque station en surveillant en temps réel la profondeur des engins à l'aide d'un appareil CTP (conductivité, température, profondeur) monté sur chacun. La vitesse de descente cible est de 20 m/min et la vitesse de remontée est de 10 m/min. Le volume filtré de chaque filet est contrôlé à l'aide d'un débitmètre mécanique (General Oceanics série 2030). Les filets Bongo sont remorqués à une vitesse de 2 à 2,5 nœuds. À chaque station, on conserve l'échantillon d'un filet Bongo dans une solution tamponnée de formaldéhyde à 2 % et l'échantillon de l'autre filet est conservé dans de l'éthanol à 99 % ou congelé. On utilise ces différentes méthodes de conservation pour faciliter différents types d'analyses (p. ex., dénombrements contre études du régime alimentaire et de la croissance).

On réalise des profils CTP dans toute la colonne d'eau à la tête, au centre et à l'embouchure de la baie lorsque le temps et les conditions météorologiques le permettent (figure A1). Depuis 2013, des échantillons de zooplancton sont prélevés à chaque station à l'aide d'un filet à maillage de 50 µm installé à l'intérieur de l'un des filets Bongo et on conserve les échantillons de zooplancton dans du formol tamponné à 2 %. De 2017 à 2019, des échantillons de zooplancton frais ont été analysés à bord du navire de la Garde côtière canadienne (NGCC) *Vladykov* à l'aide d'un appareil FlowCam. Depuis 2020, les échantillons de zooplancton sont de nouveau conservés dans du formol tamponné à 2 % ou congelés.

Après le relevé, les échantillons de larves conservés dans une solution tamponnée de formaldéhyde à 2 % sont filtrés, immergés dans de l'eau douce, puis reconstitués à un volume de 1 L. Des aliquotes successives de 50 ml de l'échantillon reconstitué sont triées et toutes les larves de poissons sont identifiées au niveau de l'espèce. Le nombre d'individus de chaque espèce est enregistré et on mesure la longueur standard de toutes les larves de capelan et de hareng. Les aliquotes sont analysées jusqu'à ce qu'au moins 50 capelans soient comptés ou que la moitié du volume (500 mL) soit triée. En 2022, tout l'échantillon larvaire a été trié et c'est la nouvelle approche pour l'avenir. On a calculé la densité du capelan par mètre carré pour chaque station à l'aide de l'équation S1 :

$\rho_i = C_i * D_i / V_i$	S1
----------------------------	-----------

où ρ est la densité des larves de capelan par mètre carré, i est la station, C est le nombre de capelans capturés, D est la profondeur maximale du trait à la station i en mètres et V est le

volume filtré en m³. On utilise uniquement les 19 stations principales pour calculer les densités annuelles moyennes.

Le deuxième échantillon prélevé par filet Bongo conservé dans de l'éthanol a été utilisé pour des études de trophodynamique et de croissance des larves de capelan afin de déterminer les mécanismes de la variabilité du recrutement chez l'espèce. Des larves de capelan conservées dans de l'éthanol en 2002, 2006 et 2013 étaient âgées de moins de 30 jours et leurs taux de croissance affichaient une variabilité interannuelle, qui pourrait être liée à la disponibilité des proies (Murphy *et al.* 2018).

En 2022, l'indice larvaire de la baie Trinity (regroupé par mois) était de 28,4 ind. m⁻² (figure A2). La majorité des années où il y a eu un relevé en août et en septembre, la densité larvaire dans la baie Trinity était plus élevée en août qu'en septembre (12 ans sur 15), ce qui peut être le reflet de la période de la fraie et de la rétention dans la baie Trinity (augmentation de la mortalité et advection de la baie entre août et septembre; figure A3). Comme l'indice larvaire de la plage Bellevue, l'indice larvaire de la baie Trinity a été inférieur à la moyenne (32,4 ind. m⁻²; de 2002 à 2012) pendant une période prolongée (de 2015 à 2020; figure A2). En 2021, l'indice larvaire de la baie Trinity était supérieur à la moyenne, mais celui de la plage Bellevue était inférieur à la moyenne, donnant à penser que la survie larvaire était plus élevée que prévu en 2021 ou que la plage Bellevue n'était pas représentative de la productivité aux autres plages de la baie Trinity en 2021. La fraie a eu lieu tôt en 2021, ce qui a pu offrir une période environnementale idéale pour la survie des larves de capelan par rapport à une saison de fraie typique de la période après l'effondrement. Cependant, ces deux indices larvaires ne sont pas corrélés, et l'indice larvaire de la baie Trinity n'est pas lié à l'indice des recrues d'âge 2 (Murphy *et al.* 2018). L'absence de relation statistique significative est probablement due aux limites spatiales et temporelles de ce relevé par rapport au protocole d'échantillonnage étendu du relevé à la plage Bellevue qui reflète le début et la fin de l'émergence larvaire.

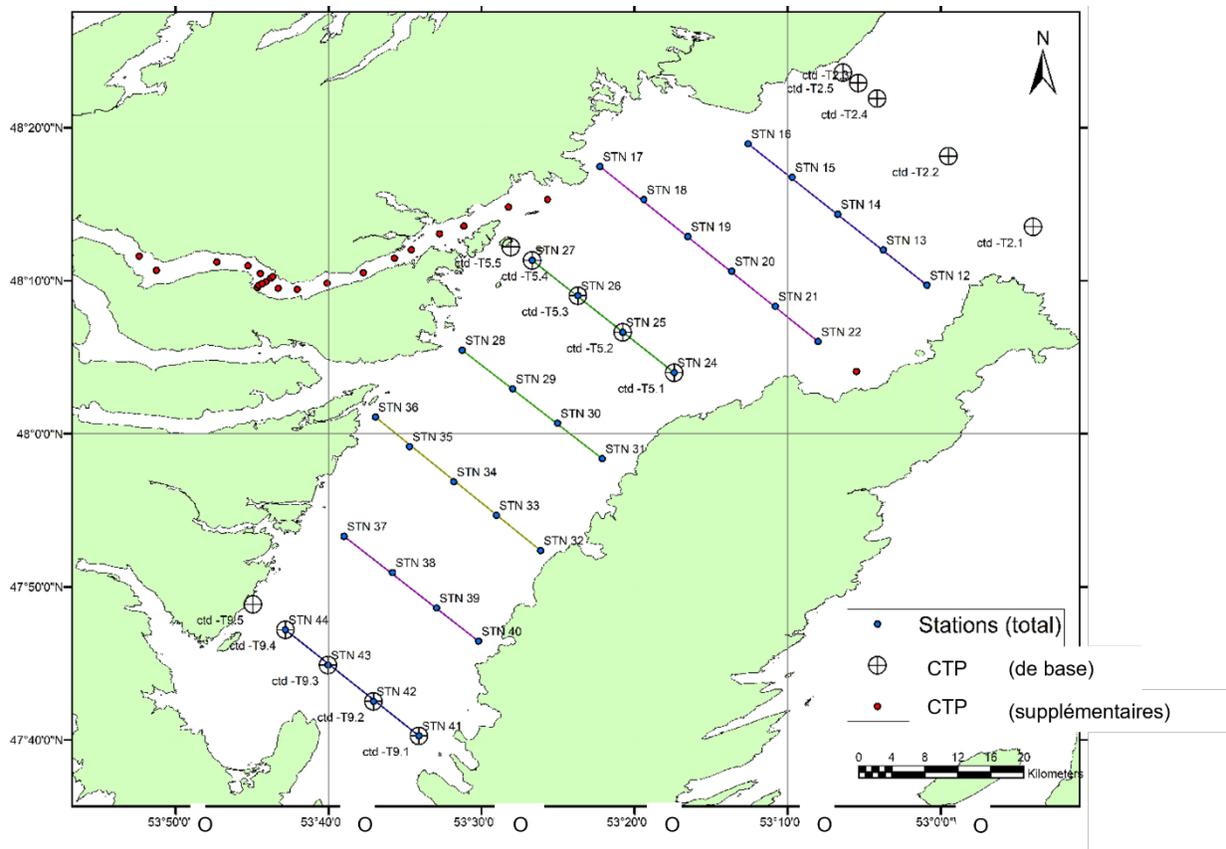


Figure A1. Relevé larvaire dans la baie Trinity. Les stations principales échantillonnées se trouvent au centre de la baie (stations 17 à 36).

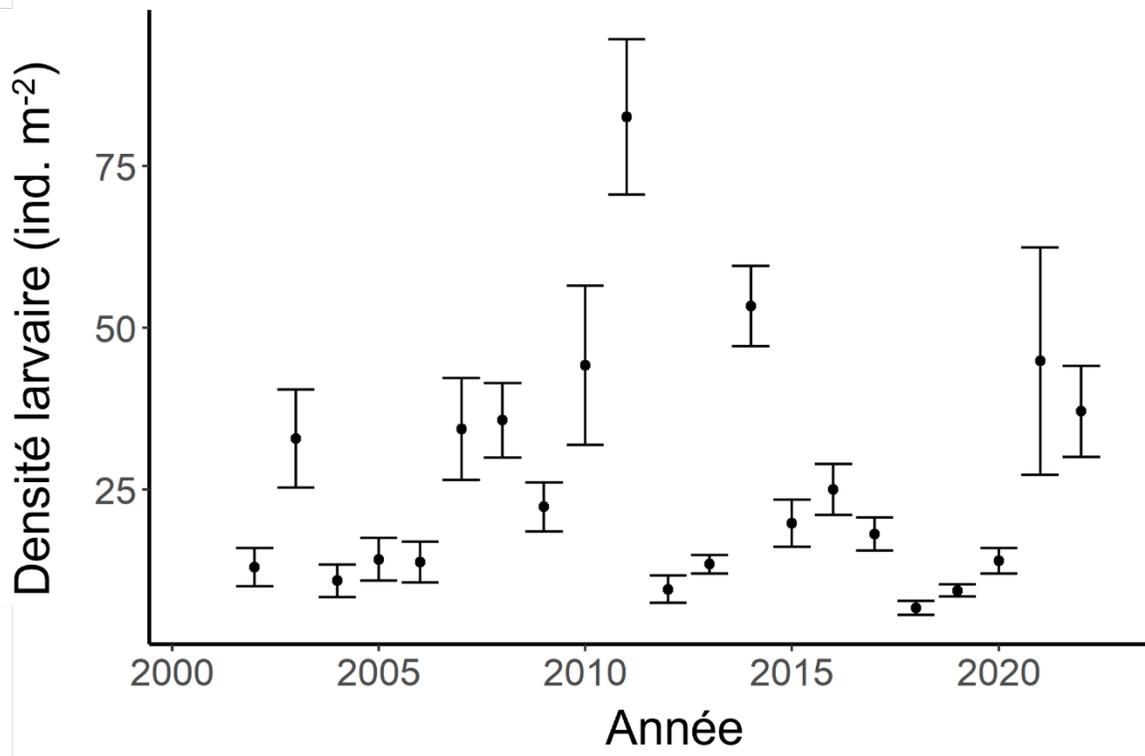


Figure A2. Indice larvaire de la baie Trinity (les barres d'erreur correspondent à \pm ET), regroupé par mois (août et septembre). De 2002 à 2007, ce relevé n'a été mené qu'en septembre.

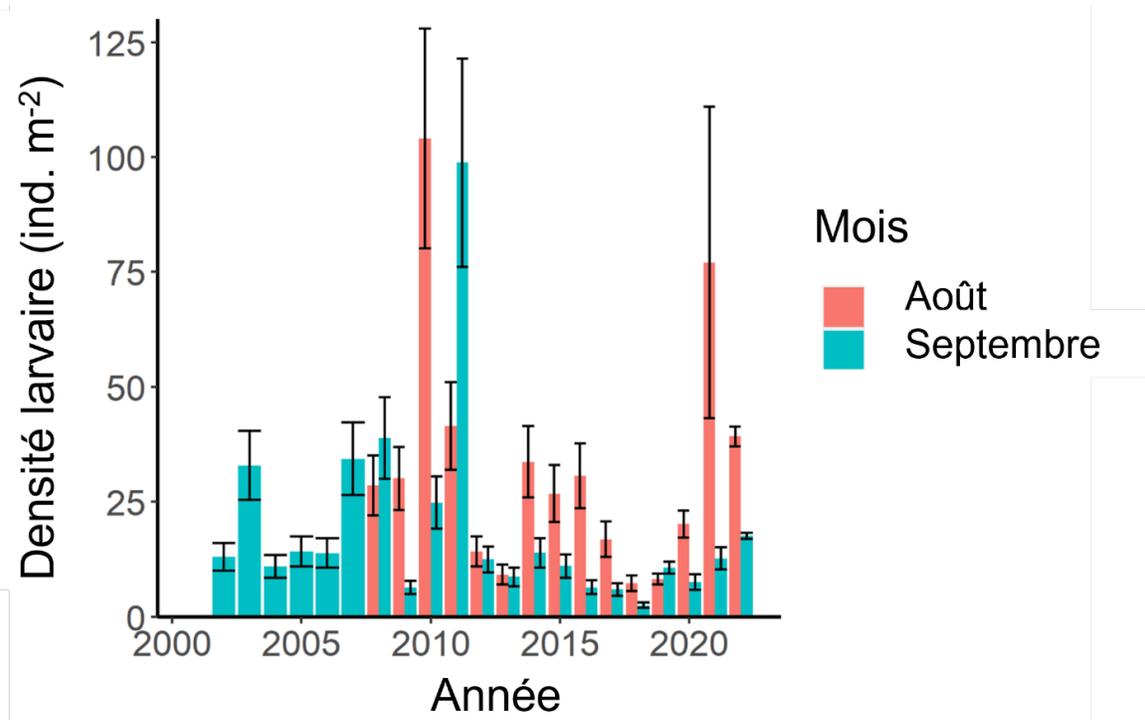


Figure A3. Densité larvaire dans la baie Trinity selon l'échantillonnage aux 19 stations fixes de base dans le centre de la baie Trinity en août et septembre. Les barres d'erreur correspondent à \pm ET.