



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Sécrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS)

Document de recherche 2026/065

Région du Québec

Évaluation de stock de capelan (*Mallotus villosus*) de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (4RST) en 2025

Mathieu Boudreau, Geneviève J. Parent, Christelle Leung, Nellie Gagné, Mélanie Boudreau,
Laurence Lévesque et Elisabeth Van Beveren

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

Avant-propos

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

Publié par :

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

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



© Sa Majesté le Roi du chef du Canada, représenté par le ministre du
ministère des Pêches et des Océans, 2026

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

ISSN 2292-4272

ISBN 978-1-100-00406-8 N° cat. Fs70-5/2026-065F-PDF

La présente publication doit être citée comme suit :

Boudreau, M., Parent, G.J., Leung, C., Gagné, N., Boudreau, M., Lévesque, L., et Van Beveren, E. 2026. Évaluation de stock de capelan (*Mallotus villosus*) de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (4RST) en 2025. Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2026/065. v + 108 p.

Also available in English :

Boudreau, M., Parent, G.J., Leung, C., Gagné, N., Boudreau, M., Lévesque, L. and Van Beveren, E. 2026. Capelin in the Estuary and Gulf of St. Lawrence (NAFO Divisions 4RST) in 2025. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2026/065. v + 106 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	v
1. INTRODUCTION	1
1.1. STRUCTURE DU STOCK	1
1.2. ÉCOLOGIE	2
1.3. CYCLE DE REPRODUCTION	2
1.3.1. Phénologie et répartition de la reproduction	3
1.3.2. Émergence et répartition des larves	3
1.4. PÊCHE COMMERCIALE	3
2. MÉTHODES.....	4
2.1. PÊCHE COMMERCIALES.....	4
2.1.1. Débarquements.....	4
2.2. ÉCHANTILLONNAGE DE LA PÊCHE COMMERCIALE	4
2.2.1. Distribution des longueurs.....	4
2.2.2. Indice de condition relative, ratio des sexes et indice gonado-somatique	5
2.3. INDICES DE L'ÉTAT DU STOCK	5
2.3.1. Relevés au chalut de fond.....	5
2.3.2. Indice original de biomasse mature	6
2.3.3. Indice original d'abondance à l'âge 1	8
2.3.4. Indices proposés de biomasse mature et d'abondance à l'âge 1	9
2.3.5. Biomasse mature absolue.....	11
2.4. MORTALITÉ PAR LA PÊCHE	12
2.5. ÉVALUATION DE LA FIABILITÉ DE LA DÉTECTION DU CAPELAN DANS LES RELEVÉS AU CHALUT DE FOND	13
2.5.1. Contenu stomacal des prédateurs	13
2.5.2. ADN environnemental	14
2.6. CONSIDÉRATIONS ÉCOSYSTÉMIQUES ET CHANGEMENTS CLIMATIQUES	15
3. RESULTATS ET DISCUSSION	16
3.1. DÉBARQUEMENTS COMMERCIAUX	16
3.2. ÉCHANTILLONNAGE COMMERCIAL	17
3.2.1. Longueur totale moyenne	17
3.2.2. Condition, ratio des sexes et IGS.....	17
3.3. INDICES DE L'ÉTAT DU STOCK	18
3.3.1. Indice original de biomasse mature	18
3.3.2. Indice original d'abondance à l'âge 1	19
3.3.3. Indice proposé de biomasse mature	19
3.3.4. Indice proposé d'abondance à l'âge 1	20
3.4. ÉCHELLE DE LA MORTALITÉ PAR LA PÊCHE.....	21
3.5. ÉVALUATION DE LA FIABILITÉ DE LA DÉTECTION DU CAPELAN DANS LES RELEVÉS AU CHALUT DE FOND	22

3.5.1. Estomac des prédateurs	22
3.5.2. ADN environnemental	22
3.6. CONSIDÉRATIONS ÉCOSYSTÉMIQUES ET CHANGEMENTS CLIMATIQUES	23
4. SOURCE D'INCERTITUDE	23
5. CONCLUSION	25
6. REMERCIEMENTS	25
7. RÉFÉRENCES	26
TABLEAUX	33
FIGURES	45

RÉSUMÉ

La pêche au capelan 4RST en 2024–2025 a été caractérisée par des débarquements relativement faibles comparativement à la période 2018–2021, avec moins de 50 % du total autorisé des captures récolté. Les activités de pêche se sont déroulées principalement au large de l'ouest de Terre-Neuve-et-Labrador et ont été dominées par les flottilles de senne bourse et de filets-trappes. Les caractéristiques biologiques des captures, y compris la composition en longueur, la condition, le ratio des sexes et l'indice gonadosomatique, sont demeurées cohérentes avec les observations de la dernière décennie et n'ont révélé aucune tendance temporelle nette. Les indices révisés de biomasse mature, qui tiennent compte de l'autocorrélation spatiale et spatio-temporelle ainsi que des effets de la profondeur et du cycle nyctéméral sur la disponibilité du capelan aux chaluts de fond, ont présenté une variabilité interannuelle plus faible et une incertitude réduite par rapport aux estimations précédentes. La biomasse mature dans le nord du golfe du Saint-Laurent demeure constamment faible depuis 2013, tandis que le sud du golfe maintient des niveaux plus élevés, avec des augmentations épisodiques. L'indice de mortalité par la pêche est généralement demeuré à 0,25 ou moins, soit en deçà de la mortalité naturelle attendue et des niveaux considérés comme durables pour une espèce à courte durée de vie. En l'absence de points de référence approuvés, l'état du stock en 2025 demeure incertain. Toutefois, compte tenu de la mortalité par pêche relativement faible et de l'absence de tendance à la baisse de la biomasse depuis 2013 dans le nord du golfe, combinés aux augmentations récentes dans le sud du golfe, les niveaux de prélèvements dans la plage observée depuis 2013 sont peu susceptibles de compromettre le stock au cours des saisons de pêche 2026 et 2027.

1. INTRODUCTION

Le présent document de recherche présente les indicateurs biologiques utilisés pour évaluer l'état du stock de capelan (*Mallotus villosus*) en 2025 dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent (GSL; divisions 4RST de l'OPANO; figure 1) et fournit une description de la pêche. Les résultats ont été présentés aux fins d'examen par les pairs dans le cadre d'un processus du Secrétariat canadien des avis scientifiques (SCAS) tenu par Pêches et Océans Canada (MPO) les 17 et 18 février 2026 afin de fournir un avis scientifique pour les saisons de pêche au capelan de 2026-2027 (DFO 2026). L'évaluation du stock de capelan 4RST est normalement réalisée tous les deux ans par le MPO à l'Institut Maurice-Lamontagne (IML) à Mont-Joli, au Québec. La dernière évaluation du stock a eu lieu à l'hiver 2024 et a fourni un avis pour les saisons de pêche 2024-2025 (DFO 2024). Les processus consultatifs scientifiques antérieurs ont conclu que les taux d'exploitation de la pêche étaient peu susceptibles de poser un risque pour le stock. Le total autorisé des captures (TAC) est demeuré à 10 225 t pour les saisons de pêche 2024-2025, comme en 2022 et 2023. L'évaluation du stock de capelan repose sur des indicateurs et aucun point de référence n'a été établi dans le cadre de la Politique de l'approche de précaution du MPO (DFO 2009) ni en vertu de la Loi sur les pêches récemment modifiée (projet de loi C-68). Il a été recommandé d'inclure ce stock dans les dispositions relatives aux stocks de poissons, ce qui exige l'établissement d'un point de référence limite (PRL). Pour répondre à cette exigence, des PRL candidats fondés sur un indicateur de biomasse mature ont été évalués lors de la dernière évaluation du stock (Boudreau *et al.* 2026). Toutefois, le niveau d'incertitude associé au principal indicateur de l'état du stock a retardé l'adoption d'un PRL. Dans le cadre de l'évaluation du stock de 2026, nous nous sommes concentrés sur l'amélioration du niveau de confiance à l'égard de cet indicateur principal.

1.1. STRUCTURE DU STOCK

Le capelan présente une distribution circumpolaire et se retrouve principalement dans les eaux côtières et du plateau continental, avec des populations importantes dans l'océan Atlantique Nord-Ouest, l'océan Pacifique Nord, les eaux autour de l'Islande et la mer de Barents. Bien que le capelan soit considéré comme une seule espèce, des données morphologiques, génétiques et génomiques indiquent l'existence de plusieurs écotypes parapatriques (Dodson *et al.* 2007; Kenchington *et al.* 2015; Mecklenburg et Steinke 2015; Mecklenburg *et al.* 2018; Cayuela *et al.* 2020). Les capelans présents dans les océans Arctique et Atlantique sont répartis en trois clades distincts : le clade de l'Atlantique Nord-Est/Central, le clade arctique et le clade de l'Atlantique Nord-Ouest. Au sein du clade de l'Atlantique Nord-Ouest, trois haplotypes distincts ont été identifiés, mais ceux-ci sont tous mélangés à travers le plateau de Terre-Neuve-et-Labrador, le GSL et l'estuaire du Saint-Laurent (Cayuela *et al.* 2020). Les tentatives antérieures visant à examiner la structure des stocks de capelan dans l'Atlantique Nord-Ouest, y compris dans le GSL, ont mis en évidence de multiples cas de variation phénotypique entre les sites de frai pour des traits tels que le comportement de frai, le régime alimentaire, la coloration, la morphologie, le nombre de vertèbres et d'autres caractéristiques du cycle vital (Templeman 1948; O'Boyle et Lett 1977; Sharp *et al.* 1978; Carscadden 1979; Carscadden et Misra 1979; Lambert et Bernier 1989; Dodson *et al.* 2007; Praebel *et al.* 2008; Kenchington *et al.* 2015). Des travaux récents de référence fondés sur la marge des otolithes chez les adultes (Jac *et al.* 2026), plutôt que sur la microchimie des otolithes larvaires (Coussau *et al.* 2026), indiquent un potentiel accru pour une meilleure compréhension des patrons de migration à travers le GSL.

1.2. ÉCOLOGIE

Le capelan est un petit poisson pélagique grégaire appartenant à la famille des Osmeridés (éperlans). Sa longévité peut atteindre six ans, et il atteint la maturité sexuelle entre deux et trois ans. Les sexes sont indiscernables jusqu'après leur deuxième hiver, moment à partir duquel un dimorphisme sexuel commence à se manifester. Les mâles présentent une croissance plus rapide, atteignent une taille plus grande et deviennent matures à une taille supérieure à celle des femelles. Ils développent également des caractères sexuels secondaires, tels que des nageoires pectorales hypertrophiées et deux paires de crêtes, ou carènes de frai (une dorsolatérale et une à la base des nageoires anales; Templeman 1948).

Le capelan est une espèce d'eaux froides généralement observée à des températures comprises entre -1 °C et 4 °C, mais pouvant également se retrouver dans une gamme de températures plus étendue (-2 °C à 14 °C; Carscadden 1979; Mowbray 2002; Simard, Lavoie et Saucier 2002; Rose 2005; Ingvaldsen et Gjøsæter 2013). Le capelan se nourrit presque exclusivement de zooplancton, dont la composition varie selon la saison, la distribution spatiale et la taille des individus (p. ex., Murphy *et al.* 2025). Les larves (< 71 mm) consomment principalement les stades précoces de petits copépodes calanoïdes (90–130 µm), tandis que les juvéniles et les adultes (> 75 mm) se nourrissent de proies de plus grande taille, généralement dominées par les stades avancés d'espèces du genre *Calanus*, ainsi que par des euphausiacés et des amphipodes hyperiidés (Vesin 1981; Dalpadado et Mowbray 2013). Leurs migrations verticales nycthémerales coïncident avec celles de leurs proies zooplanctoniques, et l'essentiel de l'alimentation a lieu dans la colonne d'eau durant la nuit (Templeman 1948; Vesin 1981; Courtois et Dodson 1986; Dalpadado et Mowbray 2013; Aarflot, Dalpadado et Fiksen 2020). Toutefois, ces patrons peuvent varier selon la saison et être perturbés par des modifications de l'environnement physique ou par la présence de prédateurs (Bailey *et al.* 1977; Rose 1988; Mowbray 2002).

Le capelan est largement distribué dans l'ensemble du GSL (Carscadden 1979; McQuinn *et al.* 2012) et constitue une proie importante pour plusieurs espèces de poissons, notamment le flétan du Groenland (*Reinhardtius hippoglossoides*) et la morue franche (*Gadus morhua*; Ouellette-Plante *et al.* 2020), ainsi que pour les mammifères marins et les oiseaux de mer (Buren, Koen-Alonso et Montevercchi 2012).

La prédation a été identifiée comme la principale source de mortalité du capelan dans le GSL au milieu des années 1980 et 1990, les variations de la mortalité totale étant associées à l'abondance des prédateurs (Savenkoff, Grégoire et Chabot 2004). Les variations des captures de capelan lors des relevés au chalut de fond réalisés en août dans le nord du GSL (nGSL) et en septembre dans le sud du GSL (sGSL) ont été associées à plusieurs variables environnementales et biologiques connues pour influencer la survie du capelan et la force des cohortes (Lehoux *et al.* 2022). Parmi celles-ci figurent la condition corporelle, la température de surface de la mer, le moment du retrait des glaces dans le GSL, ainsi que l'abondance et la phénologie de l'une des principales proies du capelan, soit les copépodes calanoïdes. Les résultats de Lehoux *et al.* (2022) appuient l'hypothèse selon laquelle l'abondance du capelan est régulée par des processus « bottom-up » au cours des premières années de vie (Lewis *et al.* 2019).

1.3. CYCLE DE REPRODUCTION

Les capelans sont des reproducteurs ovipares, leur fécondité est déterminée et ils ne fraient qu'une fois par année. Au printemps et en été, des bancs sexuellement ségrégués d'individus matures migrent vers les zones côtières afin de frayer sur les plages ou sur des sites démersaux présentant des substrats adéquats (sable et gravier fin) et des températures de

l'eau comprises entre 2 °C et 12 °C (Templeman 1948; de Lafontaine *et al.* 1991; Davoren et Montevecchi 2006; Purchase 2018). Le moment et l'emplacement de ces migrations reproductrices présentent une forte variabilité, tant à l'intérieur des régions qu'entre celles-ci (Penton *et al.* 2012). À l'instar des reproducteurs de plage, les reproducteurs démersaux fraient généralement sur des substrats sableux ou de gravier fin, mais ils sont exposés à des températures plus faibles et plus stables, ainsi qu'à des salinités plus élevées que sur les plages. La mortalité post-frai est importante et plus élevée chez les mâles que chez les femelles, tant pour les reproducteurs de plage que pour les reproducteurs démersaux (Penton *et al.* 2012). L'itéroparité prédomine chez les reproducteurs de plage, tandis que la sémelparité est plus fréquente chez les reproducteurs démersaux (Christiansen *et al.* 2008). La survie post-frai des femelles peut varier annuellement entre 10 % et 60 %, et une mortalité post-frai prolongée, pouvant s'étendre sur plusieurs mois, a été observée en conditions expérimentales, atteignant 80 % chez les femelles et 98,5 % chez les mâles dix mois après la reproduction (Flynn, Nakashima et Burton 2001; Christiansen *et al.* 2008). Chez les femelles, la mortalité post-frai peut se poursuivre au moins jusqu'en novembre (Burton et Flynn 1998).

1.3.1. Phénologie et répartition de la reproduction

La saison de frai débute à la fin d'avril début mai dans l'estuaire du Saint-Laurent, puis progresse vers l'est et le nord, atteignant le détroit de Belle Isle en juillet et août à mesure que les températures augmentent dans l'ensemble du GSL (Boudreau *et al.* 2026). La reproduction sur les plages a été observée le long des rives nord et sud du Québec, dans le fjord du Saguenay, dans la baie des Chaleurs, autour de l'île d'Anticosti, dans la baie St. George (Nouvelle-Écosse), ainsi qu'au large de la côte ouest de Terre-Neuve (Templeman 1948; Carscadden 1979; Courtois, Simoneau et Dodson 1982; Nakashima *et al.* 1982; Ouellet 1987; Lambert et Bernier 1989; Sirois *et al.* 2009).

1.3.2. Émergence et répartition des larves

La durée d'incubation des œufs varie en fonction de la température et de la salinité, mais elle est généralement de 15 à 20 jours à 10 °C (Frank et Leggett 1981; Penton *et al.* 2012). À l'émergence des plages ou du fond marin, les larves de capelan mesurent environ 3 à 5 mm. Dans le nord-ouest du GSL, elles peuvent atteindre 43 à 56 mm avant leur premier hiver. La métamorphose survient après ce premier hiver, à des longueurs d'environ 66 à 71 mm, puis les juvéniles atteignent généralement 80 à 110 mm avant leur deuxième hiver (Bailey *et al.* 1977; Jacquaz *et al.* 1977).

Les larves de capelan sont largement distribuées dans l'ensemble du GSL (de Lafontaine *et al.* 1991). Après leur émergence, elles montent vers les eaux de surface (0–20 m), où elles sont rapidement dispersées par les courants dominants, les marées et les vents (Bailey *et al.* 1977; Jacquaz *et al.* 1977; Fortier et Leggett 1983, 1985; Ouellet *et al.* 2013). Des zones de forte densité larvaire ont été identifiées dans le fjord du Saguenay (Sirois *et al.* 2009), dans l'estuaire et le nord-ouest du GSL (Jacquaz *et al.* 1977; Ouellet *et al.* 2013), à l'embouchure de la baie des Chaleurs et dans la vallée de Shediac (O'Boyle et Lett 1977; Grégoire et Girard 2014), le long de la Côte-Nord du Québec, dans la baie St. George (Nouvelle-Écosse) (Carscadden 1979; Lambert et Bernier 1989), ainsi que dans les grandes baies de la côte ouest de Terre-Neuve (Carscadden 1979; Grégoire *et al.* 2013).

1.4. PÊCHE COMMERCIALE

La pêche commerciale au capelan dans le GSL est cogérée par les régions de Terre-Neuve-et-Labrador, du Golfe et du Québec du MPO, dans le cadre d'un Plan de gestion intégrée des pêches ([PGIP](#)) à caractère évolutif (« evergreen »), approuvé en 2017 et mis à jour en 2021. La

majorité de la flotte commerciale est basée sur la côte ouest de Terre-Neuve (division 4R de l'OPANO). Les saisons de pêche sont généralement courtes et coïncident avec la migration printanière de frai du capelan vers les zones côtières. La date d'ouverture de la pêche commerciale est déterminée en fonction de la disponibilité du capelan pour les engins de pêche, des conditions météorologiques et des recommandations de l'industrie. Alors que les femelles et leurs œufs sont principalement destinés à la consommation humaine, les mâles ont traditionnellement été remis à l'eau, rejetés ou utilisés comme engrais. Le TAC pour le capelan dans le GSL a rarement constitué un facteur limitant, les débarquements ayant historiquement été dictés par les conditions du marché (Grégoire *et al.* 2013). Le TAC est actuellement réparti par flottille et par division de l'OPANO (tableau 1). La flottille à engins fixes de la division 4R, incluant les senneurs à senne « Tuck » détient une allocation de 37,82 % du TAC total dans le cadre d'un quota entièrement concurrentiel. La flottille à engins mobiles de 4R comprend des senneurs à la senne bourse de grande taille (navires > 19,81 m ou 65 pi) et de petite taille (navires < 19,81 m), chacun disposant d'une allocation de 24,15 % du TAC total. Les petits senneurs sont gérés au moyen de quotas individuels, tandis que les grands senneurs sont gérés selon un régime concurrentiel. L'allocation pour la division 4ST est de 13,88 % du TAC total et est gérée comme une pêche concurrentielle pour l'ensemble des types d'engins. Tous les titulaires de permis sont tenus de faire surveiller leurs captures à quai, et la remise des journaux de bord est obligatoire.

2. MÉTHODES

2.1. PÊCHE COMMERCIALES

2.1.1. Débarquements

Les données détaillées des débarquements des pêches commerciales (1985–2025) ont été extraites de la version la plus récente de la base de données au format *Zonal Interchange File Format* (ZIFF), compilée par la section de gestion des données de l'IML et les bureaux régionaux des statistiques du MPO. Au moment de la présente évaluation, les données de débarquements pour les saisons de pêche 2021 à 2025 étaient encore préliminaires.

Les données de débarquements ont été synthétisées par année, division de l'OPANO et type d'engin de pêche. La saisonnalité de la pêche au capelan a été décrite annuellement en calculant le pourcentage cumulatif quotidien des débarquements totaux annuels. La répartition spatiale des captures débarquées n'a pas été cartographiée, puisque la majorité des données ZIFF sur le capelan entre 1985 et 2025 ne comporte pas de coordonnées géographiques. Une synthèse des débarquements par division de l'OPANO a été jugée plus appropriée à cette fin.

2.2. ÉCHANTILLONNAGE DE LA PÊCHE COMMERCIALE

2.2.1. Distribution des longueurs

Le programme d'échantillonnage à quai du MPO fournit des données sur la composition en longueur et en sexe des débarquements commerciaux dans GSL (Lambert et Ménager 1998; Daigle et Benoît 2007). Chaque échantillon est constitué de mesures de longueur totale et de la détermination du sexe pour 150 poissons sélectionnés aléatoirement à partir d'une même sortie de pêche. De 1984 à 1987, les longueurs ont été mesurées avec une précision de 5 mm, puis une précision de 1 mm a été utilisée par la suite. Ces données ont servi à estimer la distribution des tailles des capelans femelles et mâles capturés dans les divisions 4R et 4ST pour la période 1984–2025.

Un sous-échantillon d'un capelan par sexe et par classe de 5 mm provenant de chaque échantillon à quai a été analysé en laboratoire à l'IML (ci-après, données biologiques commerciales). Les mesures prises comprenaient : la longueur totale (au mm près), la masse (au 0,1 g près), le sexe, la masse des gonades (au 0,1 g près) ainsi que le stade de maturité (immature, en maturation, pré-frai, en frai ou en récupération). La lecture de l'âge a été effectuée dans le passé (1976–1993), et un programme renouvelé est actuellement en cours d'élaboration.

2.2.2. Indice de condition relative, ratio des sexes et indice gonado-somatique

La condition annuelle moyenne des mâles et des femelles a été estimée en calculant le facteur de condition relative (Kn ; Le Cren 1951) à partir des échantillons biologiques de la pêche commerciale selon l'équation suivante pour chaque sexe :

$$(eq. 1) Kn_i = W_i / aL_i^b$$

où a et b sont les coefficients de la relation longueur-poids spécifiques au sexe et à la division de l'OPANO, L_i est la longueur (en millimètres) du poisson (i) et W correspond à la masse somatique (en grammes) de ce même individu. Les effets de différents facteurs sur la condition relative des deux sexes ont été évalués à l'aide de modèles linéaires généralisés (GLM) avec une fonction de lien identité, où Kn constituait la variable réponse, et l'année, le mois et le type d'engin de pêche étaient inclus comme variables indépendantes catégorielles. Des séries chronologiques standardisées de Kn ont été produites à partir des estimations du modèle en fixant le mois à juin et l'engin de pêche aux senneurs à la senne bourse, correspondant aux catégories les plus fréquemment observées.

Les ratios de sexes annuels ont été calculés pour les divisions 4R, 4S et 4T de l'OPANO à partir des données biologiques commerciales (mai à juillet). Des indices gonadosomatiques (IGS; %) ont également été calculés pour les mâles et les femelles à partir de la masse des gonades (GW) des capelans, selon l'équation suivante :

$$(eq. 2) IGS = \frac{GW}{W} * 100$$

Les individus dont le sexe n'a pas pu être déterminé, ceux ayant une masse inférieure à 5 g, ainsi que les mâles présentant un IGS supérieur à 10 % ont été considérés comme des valeurs aberrantes et exclus des analyses. Les données ont été regroupées tous engins confondus, puisque l'IGS ne variait pas de manière significative entre ceux-ci. Des moyennes annuelles et des intervalles de confiance à 95 % ont été calculés pour chaque sexe.

2.3. INDICES DE L'ÉTAT DU STOCK

2.3.1. Relevés au chalut de fond

Des relevés multispécifiques au chalut de fond sont réalisés annuellement dans le nGSL en août (1990–2025) et dans le sGSL en septembre (1971–2025). Le relevé du sGSL a utilisé un chalut de type Western IIA de 1971 à 2022, puis un chalut *Ecosystem Survey Trawl* (NEST) du Northeast Fisheries Science Center à partir de 2022 (Chadwick *et al.* 2007; Benoît et Yin 2023). Le relevé du nGSL a utilisé un chalut de l'Université du Rhode Island (URI) de 1990 à 2005, puis un chalut à crevettes Campelen à partir de 2006 (Bourdages *et al.* 2019; Chamberland *et al.* 2025). Les deux relevés suivent un plan d'échantillonnage aléatoire stratifié, avec un nombre moyen annuel de traits réussis d'environ 180 pour le nGSL et 170 pour le sGSL. L'utilisation d'engins différents ainsi que des durées standard de trait distinctes entre le nGSL (15 min) et le sGSL (20 min) ont, jusqu'à présent, limité le développement d'un indice standardisé unique pour l'ensemble du GSL.

Les données recueillies pour chaque trait dans les relevés du sGSL et du nGSL comprennent la capture totale de capelan (kg) ainsi que les caractéristiques du trait (durée, position de début et de fin, etc.). Dans le sGSL, les longueurs (longueur totale, cm) ont été mesurées pour tous les individus lorsque les captures étaient faibles, ou pour un échantillon aléatoire pouvant atteindre 200 individus pour les captures importantes. Des sous-échantillons stratifiés selon la taille ont été utilisés pour obtenir les masses individuelles (1 poisson par classe de 1 cm). Dans le nGSL, 30 individus sélectionnés aléatoirement ont été mesurés pour la longueur totale (mm) et la masse (g). Pour chaque région (sGSL et nGSL), les fréquences annuelles de longueur ont été obtenues en extrapolant les distributions de longueur à l'échelle des traits selon la taille des captures correspondantes (en nombre d'individus), puis en moyennant l'ensemble des traits au niveau régional et en convertissant les résultats en fréquences. Les résultats indiquent que les capelans capturés dans le nGSL sont en moyenne de plus grande taille que ceux du sGSL (figure 2).

Des échantillons biologiques provenant des relevés du nGSL (2018–2025) et du sGSL (2020–2025) ont également été conservés pour des mesures ultérieures de longueur et de maturité effectuées au laboratoire de l'IML. Les stades de maturité ont été attribués selon les critères établis par Winters (1970). Les individus classés comme « repos » ou « en maturation » ont été considérés comme matures.

2.3.2. Indice original de biomasse mature

Une approche basée sur le plan d'échantillonnage des relevés a été développée par Chamberland *et al.* (2022) afin d'estimer des indices relatifs de biomasse des capelans matures pour le nGSL et le sGSL, à partir des relevés au chalut de fond décrits ci-dessus (section 2.3.1). Cette méthode initiale a été appliquée et affinée lors de l'évaluation de 2024 (Boudreau *et al.* 2026). Pour l'évaluation de 2026, cette méthode est présentée en parallèle avec un nouvel indicateur développé à partir des mêmes données.

Le capelan est associé à des conditions froides et effectue des migrations verticales qui influencent sa disponibilité pour le chalut. Il existe des évidences claires que le chalut de fond présente une probabilité plus élevée de capture du capelan lorsque les échantillonnages sont réalisés dans son habitat thermique préférentiel (PTH; température de fond comprise entre -1 et $3,2$ °C dans le nGSL et entre 0 et 2 °C dans le sGSL), comparativement aux habitats thermiques défavorables (UTH). En conséquence, les strates d'échantillonnage ont d'abord été classées selon le type d'habitat. La définition des PTH et UTH repose sur les fréquences cumulatives des captures de capelan en fonction des températures de fond enregistrées lorsque l'engin touche le fond marin (Chamberland *et al.* 2022, figure 3).

L'exclusion des strates UTH en raison de leur faible capturabilité implique une extrapolation de l'abondance du capelan sur une grande superficie. Leur maintien peut toutefois être justifié si ces strates contiennent de l'information pertinente sur les tendances du stock. Ainsi, des indices d'abondance des capelans matures et des individus âgés de 1 an ont été estimés pour chaque combinaison relevé-habitat (nGSL-PTH, nGSL-UTH, sGSL-PTH et sGSL-UTH) pour la période 1995–2025 dans le nGSL et 1990–2025 dans le sGSL. Il n'a pas été possible d'estimer la biomasse mature ni l'abondance des individus de 1 an avant 1995 dans le nGSL, en raison de l'absence de mesures de capelan.

Les indices originaux étaient exprimés en nombre moyen de capelans matures capturés par trait spécifique aux relevés (MNPT; Chamberland *et al.* 2022), avant l'application d'un modèle spatial visant à imputer les strates manquantes et la conversion des indices régionaux en biomasse mature. Dans la présente analyse, le nombre de capelans capturés par trait a été directement converti en biomasse mature afin d'améliorer les propriétés statistiques (p. ex.

stabilisation de la variance interannuelle) et de travailler directement avec l'unité de gestion du stock.

La biomasse annuelle (y) de capelans matures capturés par trait t ($MB_{t,y}$) a été calculée comme suit :

$$(eq. 3) MB_{t,y} = \sum_{l=1} \frac{N_{l,t,y}^e}{\sum_{l=1} N_{l,t,y}^e} * N_{t,y}^c * M_{l,t} * W_{l,t,y}$$

Les distributions de fréquences de longueur ont d'abord été estimées pour chaque trait à partir du nombre d'individus à la longueur l dans l'échantillon aléatoire ($N_{l,t,y}^e$), divisé par la taille totale de l'échantillon. Ces fréquences ont ensuite été mises à l'échelle selon le nombre total de capelans capturés ($N_{t,y}^c$) afin d'estimer les nombres totaux à la longueur pour chaque trait. Ces abondances ont été converties en biomasse mature en appliquant les proportions de maturité spécifiques à la longueur ($M_{l,t}$) et les poids associés ($W_{l,t,y}$). Les valeurs de $M_{l,t}$ ont été dérivées des échantillons biologiques collectés entre 2018 et 2025. Étant donné l'absence de différences importantes dans les longueurs à 50 % de maturité entre les sexes (mâles : 12 cm; femelles : 10,8 cm; sexe indéterminé : 11,4 cm) et entre les années (Boudreau *et al.* 2026), l'ensemble des sexes et des années a été regroupé pour l'estimation de $M_{l,t}$ (figure 4). Les valeurs de $W_{l,t,y}$ ont été estimées annuellement à partir de relations longueur-poids (tableau 2; sGSL : 1990–2025; nGSL : 1995–2025). La biomasse totale par trait a été obtenue en sommant la biomasse mature sur toutes les classes de longueur.

Par la suite, le modèle de Chamberland *et al.* (2022) a été réappliqué pour chaque combinaison relevé-habitat, en remplaçant la distribution binomiale négative par une distribution de Tweedie, les biomasses annuelles par trait étant utilisées comme variable d'entrée. Conformément aux recommandations de l'évaluation précédente du stock (Boudreau *et al.* 2026), l'effet des migrations nycthémerales du capelan sur $MB_{t,y}$ a également été évalué en testant deux covariables : l'heure de la journée (continue) et une variable catégorielle (jour/nuite).

Pour chaque combinaison relevé-habitat (quatre modèles), la biomasse annuelle de capelan par trait et par strate ($MB_{t,s,y}$) a été modélisée selon les équations suivantes :

$$(eq. 4) MB_{t,s,y} \sim Tweedie(\mu_{s,y}, p, \phi)$$

$$(eq. 5) \log(\mu_{s,y}) = \lambda_s + \delta_{s,y} + offset + T_{t,s,y} \text{ où } \delta_{s,y} = \rho \delta_{s,y-1} + \varepsilon_{s,y} \text{ et } \varepsilon_{s,y} \sim N(0, \sigma^2)$$

où :

- $MB_{t,s,y}$ est la biomasse mature (kg) capture dans le trait t , la strate s et l'année y ;
- $\mu_{s,y}$ est la densité moyenne de biomasse (kg/km²) dans la strate s et l'année y ;
- p ϕ sont les paramètres de puissance et de dispersion de la distribution de Tweedie;
- λ_s est l'effet moyen de la strate;
- $\delta_{s,y}$ est l'effet strate-année suivant un processus autorégressif d'ordre 1 (AR(1)) avec paramètre d'autocorrélation ρ et variance σ^2 ;
- $offset$ correspond à la superficie chalutée (km²);
- $T_{t,s,y}$ correspond à l'heure de la journée (continue ou catégorielle) associée à chaque observation.

Comme dans Chamberland *et al.* (2022), la durée du trait a été incluse comme variable *offset*, étant donné que l'effort d'échantillonnage est supposé proportionnel à la biomasse totale capturée.

Pour chacun des quatre modèles, la densité moyenne estimée de biomasse par strate ($\mu_{s,y}$) a été extraite pour 10 h du matin, moment où les captures sont maximales (Chamberland *et al.* 2022). Ces densités ont ensuite été multipliées par la superficie correspondante des strates (A_s ; km²), puis sommées afin d'estimer la biomasse totale par combinaison relevé-habitat (SH) :

$$(eq. 6) MB_y^{SH} = \sum_S \mu_{s,y} * A_s$$

Les superficies associées aux différentes combinaisons relevé-habitat étaient de 41 076 km² (nGSL-PRH), 75 039 km² (nGSL-UTH), 51 502 km² (sGSL-PTH) et 15 704 km² (sGSL-UTH). Les biomasses matures estimées pour chaque combinaison relevé-habitat ont été additionnées sans correction pour la capturabilité afin d'obtenir la biomasse annuelle totale chalutable du stock :

$$(eq. 7) MB_y = \sum_{SH} MB_y^{SH}$$

2.3.3. Indice original d'abondance à l'âge 1

Un indice des nombres à l'âge 1 ($N1_{t,y}$) a été estimé en suivant les mêmes étapes que celles utilisées pour l'indice de biomasse mature (voir 2.3.2). Les nombres totaux à la longueur pour chaque trait ont été convertis en nombre à l'âge 1 en les multipliant par la proportion de poissons d'âge 1 pour chaque classe de longueur ($PA1_{l,t}$, figure 4):

$$(eq. 8) N1_{t,y} = \sum_{l=1} \frac{N_{l,t,y}^e}{\sum_{l=1} N_{l,t,y}^e} * N_{t,y}^c * PA1_{l,t}$$

La proportion d'âge 1 à la longueur des capelans ($PA1_{l,t}$) a été estimée à partir des données d'âge selon la longueur obtenues à partir d'échantillons collectés lors des relevés de 2017 et 2018. L'absence d'information sur l'âge empêche la prise en compte de la variabilité interannuelle de ce paramètre.

Lors de l'ajustement des modèles spécifiques aux SH, la distribution binomiale négative a été utilisée puisque la variable réponse est un dénombrement. L'abondance annuelle de capelan d'âge 1 pour l'année y , pour chaque combinaison relevé-habitat, a été estimée comme suit :

$$(eq. 9) N1_{t,s,y} \sim NB(\mu_{s,y}, \phi)$$

$$(eq. 10) \log(\mu_{s,y}) = \lambda_s + \delta_{s,y} + offset + T_{t,s,y} \text{ où } \delta_{a,y} = \rho \delta_{a,y-1} + \varepsilon_{a,y}$$

$$(eq. 11) MNPT_y = \frac{\sum_{a=1}^L N_y \mu_{a,y}}{N} \text{ où } N = \sum_{a=1}^L N_a$$

$$(eq. 12) R_y = MNPT_y \times SH$$

où :

- $A1_{s,a,y}$ est l'abondance des poissons d'âge 1 dans le trait t , la strate s et l'année y
- ϕ est le paramètre de dispersion de la distribution binomiale négative.

Les moyennes estimées ($\mu_{s,y}$) à 10AM ont de nouveau été multipliés par la superficie correspondante de la strate afin d'obtenir des indices spécifiques aux SH, lesquels ont ensuite été additionnés pour estimer l'abondance totale à l'âge 1. L'indice est considéré comme un indice d'abondance à l'âge 1 plutôt que comme un indice de recrutement, puisque l'estimation du recrutement nécessiterait des données issues de relevés larvaires, qui ne sont pas

disponibles à l'heure actuelle. Toutefois, l'abondance du capelan à l'âge 1 peut néanmoins fournir des indications précieuses sur les tendances générales de la population.

2.3.4. Indices proposés de biomasse mature et d'abondance à l'âge 1

Lors de l'évaluation du stock de 2024, des préoccupations ont été soulevées quant au fait que les tendances de la biomasse mature du capelan pourraient être fortement influencées par une ou quelques captures exceptionnellement élevées, associées à une forte incertitude (Boudreau *et al.* 2026). Pour y remédier, les recommandations de recherche comprenaient l'examen de la distribution spatiale de ces captures ainsi que de leur cohérence d'une année à l'autre, afin de déterminer si elles reflètent des patrons récurrents ou des événements aléatoires peu susceptibles de représenter fidèlement la biomasse locale. Dans un premier temps, les captures de capelan supérieures au 99e percentile annuel des valeurs non nulles ont été cartographiées afin d'explorer visuellement leurs patrons spatio-temporels. Dans un second temps, un nouveau modèle a été élaboré afin de mieux représenter la structure spatiale et temporelle à fine échelle. En sciences halieutiques, les modèles linéaires généralisés mixtes spatio-temporels (GLMM) sont de plus en plus utilisés pour modéliser la distribution des espèces et standardiser les indices d'abondance ou de biomasse. Un avantage clé de ces modèles est qu'ils permettent de tenir compte de l'autocorrélation spatiale et temporelle latente au moyen d'effets aléatoires, ce qui permet d'interpréter les captures importantes, mais peu fréquentes dans le contexte des patrons spatio-temporels de distribution du stock. Par exemple, ces modèles ont été utilisés pour estimer la densité, le ratio des sexes et la longueur des femelles de la crevette nordique de l'île de Baffin aux Grands Bancs de Terre-Neuve-et-Labrador (Baker *et al.* 2025), ainsi que pour intégrer des relevés au chalut et à la palangre en Colombie-Britannique afin d'améliorer les prédictions de la distribution des poissons de fond (Thompson *et al.* 2022).

Le flux de travail général pour l'ajustement de ces modèles comprend :

1. la construction d'un maillage afin de représenter la structure spatiale au moyen de matrices d'autocorrélation,
2. l'ajustement de modèles de complexité croissante,
3. l'interprétation des coefficients et des champs aléatoires, et
4. l'évaluation des prédictions et des incertitudes (Anderson *et al.* 2025).

Le package R *sdmTMB* met en œuvre des GLMM géostatistiques spatiaux et spatio-temporels en utilisant *TMB* (Kristensen *et al.* 2016) et *fmesh* (Lindgren 2026) pour construire des matrices d'équations différentielles partielles stochastiques (EDPS), une méthode efficace sur le plan computationnel pour modéliser la corrélation spatiale. Le package *sdmTMB* vise à offrir une interface rapide, flexible et conviviale, similaire à *glmmTMB* (Brooks *et al.* 2017), mais axée sur les modèles spatiaux et spatio-temporels reposant sur l'approche EDPS.

Une seule matrice de corrélation spatiale a été définie à l'aide de la fonction de maillage du package *sdmTMB*, en imposant une distance minimale de 15 km entre deux points. Cette même matrice a été utilisée pour modéliser la biomasse mature et l'abondance à l'âge 1. Des barrières spatiales, telles que l'île d'Anticosti et les îles de la Madeleine, ont été intégrées afin d'empêcher l'autocorrélation spatiale entre les côtés opposés des îles (voir figures 5 et 6). Les modèles ont été ajustés séparément pour les relevés du nGSL et du sGSL, ainsi que pour la biomasse mature et l'abondance à l'âge 1.

Nous avons ensuite utilisé la fonction *sdmTMB* pour modéliser les observations par trait en fonction de différentes covariables explicatives :

$$(eq. 13) MB_{t,y} \sim Tweedie(\mu_{t,y} \mid p, \phi) \text{ ou } N1_{t,y} \sim NB(\mu_{t,y} \mid \phi)$$

$$(eq. 14) \log(\mu_{t,y}) = X_{t,y}^{\text{main}}\beta + O_{t,y} + \omega_t + \delta_{t,y}$$

où :

- $MB_{t,y}$ est le poids de capelans matures (variable réponse) dans le trait t et au moment y ;
- $N1_{t,y}$ est le nombre de capelans d'âge 1 (variable réponse) dans le trait t et au moment y ;
- $\mu_{t,y}$ est la moyenne conditionnelle sur l'échelle de la variable réponse, à laquelle est appliquée une fonction de lien (log);
- $X_{t,y}^{\text{main}}$ est la matrice de conception des effets fixes représentant les covariables principales;
- β est un vecteur de coefficients d'effets fixes,
- $O_{t,y}$ est un offset (superficie chalutée en km²): une covariable dont le coefficient est fixé à 1 et qui entre sur l'échelle du prédicteur linéaire avant l'application de la fonction de lien inverse logarithmique;
- ω_t est une composante spatiale de champ aléatoire gaussien markovien (GMRF), $\omega_t \sim \text{MVN}(0 \mid \Sigma_\omega)$ avec une covariance de Matérn construite à partir du maillage, et
- $\delta_{t,y}$ est une composante spatio-temporelle de GMRF, $\delta_{t,y} \sim \text{MVN}(0 \mid \Sigma_\delta)$ avec une covariance de Matérn sur l'espace et le temps.

Pour prédire la variable réponse ($MB_{t,y}$ ou $N1_{t,y}$), nous avons utilisé la distribution de Tweedie (avec paramètres de puissance p et de dispersion θ) pour la biomasse mature, ainsi que la distribution binomiale négative (avec paramètre de dispersion θ) pour les nombres d'âge 1 (avec paramètre de dispersion θ), conformément aux analyses antérieures (voir section 2.3.3). L'espace (t) était défini par les coordonnées X et Y en kilomètres, et le temps (y) correspondait à des pas de temps annuels allant de 1995 à 2025 dans le nGSL et de 1990 à 2025 dans le sGSL.

Les covariables ($X_{t,y}^{\text{main}}$) incluait la profondeur du fond et le moment de l'échantillonnage, ces variables étant reconnues pour influencer les captures de capelan (Chamberland *et al.* 2022). Le type d'habitat (UTH/PTH) n'a pas été retenu, car il reflète un effet écologique similaire à celui de la profondeur du fond. La profondeur du fond associée à chaque trait de chalut a été obtenue par intersection des positions de trait avec une grille bathymétrique de 1x1 km², elle-même agrégée à partir d'une grille de 0,5x0,5 km² issue de la General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO Compilation Group 2020; disponible à <https://www.gebco.net>). Le moment de l'échantillonnage a été représenté soit comme une variable continue en heures, soit comme une variable catégorielle jour-nuit, la formulation offrant le meilleur ajustement (AIC le plus faible) ayant été retenue. L'inclusion du moment de l'échantillonnage permet de tenir compte des migrations verticales nocturnes, lesquelles réduisent la disponibilité du capelan aux chaluts de fond durant la nuit, conformément aux recommandations de l'évaluation de 2024 (Boudreau *et al.* 2026). Le moment de la journée a été calculé en arrondissant l'Heure universelle coordonnée (UTC) du trait, tandis que la catégorie jour-nuit a été déterminée à partir des heures locales de lever et de coucher du soleil selon la date et la localisation, à l'aide de la fonction *sunrise* du package R *sunttools* (Bivand et Luque 2025). Pour la profondeur et le temps (heures), nous avons évalué des modèles utilisant les valeurs brutes, les valeurs transformées logarithmiquement, ainsi que des termes polynomiaux de second ordre appliqués aux deux échelles. Des analyses futures examineront l'utilisation de transformations sinus-cosinus afin de mieux représenter la nature cyclique des déplacements verticaux du capelan.

L'identification du modèle le plus parcimonieux a été réalisée selon plusieurs critères. Dans un premier temps, une approche par étape fondée sur le critère d'information d'Akaike (AIC) a été appliquée. Les modèles candidats ont également été validés à l'aide de la fonction *sanity* du package *sdmTMB*, laquelle effectue un ensemble de vérifications diagnostiques standard de l'ajustement du modèle, incluant la convergence réussie de l'algorithme, une Hessienne définie positive, l'absence de valeurs propres extrêmes ou quasi nulles, des composantes acceptables du gradient maximal ($\geq 0,001$), l'absence d'erreurs-types des effets fixes manquants ou déraisonnablement élevés, ainsi que des estimations plausibles de la gamme et de la variance des paramètres. La dernière étape de la sélection du modèle consistait à examiner les diagnostics des résidus. Nous avons utilisé le package *DHARMa* (Hartig 2026) afin d'évaluer des résidus simulés pour des modèles de régression hiérarchique, incluant des graphiques QQ, des tests de surdispersion, d'observations aberrantes et d'inflation de zéros, ainsi que l'examen des patrons des résidus en fonction des valeurs ajustées. Les résidus quantiles ont également été examinés en fonction des covariables afin d'identifier toute structure résiduelle non capturée par le modèle. Ce n'est qu'une fois la meilleure combinaison de covariables identifiée que nous avons enrichi le modèle en ajoutant les composantes spatiale et spatio-temporelle du GMRF. Cette dernière suivait un processus AR(1) définissant la corrélation entre les déviations du champ aléatoire d'un pas de temps au suivant :

$$(eq. 15) \delta_{y=1} \sim MVN(0, \Sigma_\epsilon)$$

$$(eq. 16) \delta_{y>1} = \rho\delta_{y-1} + \sqrt{1 - \rho^2}\epsilon_y, \epsilon_y \sim MVN(0, \Sigma_\epsilon)$$

où :

- ρ représente la corrélation entre les champs aléatoires spatio-temporels successifs et est contrainte entre -1 et 1;
- $\rho\delta_{y-1} + \sqrt{1 - \rho^2}\epsilon_y$ permet de mettre à l'échelle la variance spatio-temporelle en fonction de la corrélation, de sorte qu'elle corresponde à la variance marginale à l'état stationnaire.

Ensuite, deux approches ont été testées pour intégrer l'année comme effet temporel :

1. comme effet aléatoire, en supposant que la variabilité interannuelle suit une distribution normale, et
2. comme facteur catégoriel, en estimant un effet distinct pour chaque année.

La performance des modèles a été évaluée à l'aide d'une validation croisée à 50 sous-ensembles, en comparant la somme des log-vraisemblances prédictives sur l'ensemble des observations pour chaque sous-ensemble, ainsi que l'erreur quadratique moyenne (RMSE) et l'erreur absolue moyenne (MAE).

Les indices standardisés ont été obtenus à partir des modèles sélectionnés en prédisant soit la biomasse mature, soit l'abondance des poissons d'âge 1 sur une grille bathymétrique de 1x1 km². Le moment de l'échantillonnage a été fixé à « jour ». Les indices finaux issus de *sdmTMB* ont ensuite été comparés à ceux provenant des modèles fondés sur le plan d'échantillonnage (design-based).

2.3.5. Biomasse mature absolue

Les indices de biomasse mature sont relatifs et doivent être mis à l'échelle en valeurs absolues à l'aide de coefficients de capturabilité plausibles (q), afin d'approximer les taux de mortalité par la pêche et d'évaluer si les niveaux d'exploitation sont durables. Lors de l'évaluation du stock de

2021 (Chamberland *et al.* 2022), des valeurs de q de 0,0045 et 0,00087 ont été appliquées à la somme des biomasses du nGSL et du sGSL afin d'approximer les différentes échelles de taux d'exploitation (captures débarquées sur biomasse disponible). Les valeurs de q étaient fondées sur des informations de capturabilité provenant d'autres espèces pélagiques dans les relevés au chalut de fond (Harley *et al.* 2001; Benoît et Swain 2008). À la suite de l'évaluation du stock de 2022 (Boudreau *et al.* 2023), une limite inférieure prudente pour q de 0,1 pour les relevés du sGSL et de 0,01 pour ceux du nGSL a été jugée réaliste. La différence entre les deux régions reflète la variabilité de la couverture des types d'habitat (surface des strates PTH versus UTH; figure 3) et est cohérente avec les informations présentées dans O'Driscoll, Rose et Anderson (2002). Ces auteurs ont comparé les densités de capelan estimées par acoustique et celles capturables au chalut à partir d'un relevé ciblant le capelan (Boudreau *et al.* 2026).

Pour l'évaluation de 2026, seule la biomasse mature estimée pour le nGSL à l'aide de l'approche sdmTMB a été utilisée afin de dériver les tendances de biomasse mature et d'approximer la mortalité par la pêche. Le lien entre les estimations de biomasse des deux régions demeure mal compris (p. ex., mise à l'échelle relative et connectivité). Comme la pêche cible principalement les capelans de plus grande taille dans la zone 4R, il a été jugé prudent d'approximer la biomasse mature et les taux d'exploitation correspondants en utilisant uniquement l'indice du nGSL. Les indices reflètent donc la biomasse disponible pour la pêche, plutôt que la biomasse totale du stock. Sur la base de O'Driscoll, Rose et Anderson (2002), une valeur de 0,01 a été appliquée à l'indice de biomasse mature du nGSL dérivé de la nouvelle approche sdmTMB.

2.4. MORTALITÉ PAR LA PÊCHE

Les taux annuels d'exploitation (E_y) et de mortalité par la pêche (F_y) pour le stock de capelan 4RST ont été calculé selon :

$$\text{(eq. 17 and 18)} \quad E_y = \frac{L_y q}{B_{y-1}} \text{ et } F_y = -\ln(1 - E_y)$$

où :

- L_y sont les débarquements totaux annuels dans les OPANO 4RST lors de l'année y (1996-2025);
- B_{y-1} est l'indice de biomasse mature dans le nGSL (1995-2024); et
- q est le coefficient de capturabilité (0.01).

Lors de l'évaluation de stock précédente, les taux d'exploitation ont été calculés à partir des biomasses combinées du nGSL et du sGSL. Toutefois, la même valeur de q a été appliquée à la série de biomasse du nGSL. La biomasse totale disponible a ensuite été réduite d'un taux constant de mortalité naturelle (M) afin de tenir compte du décalage temporel entre les relevés (fin de l'été au début de l'automne) et la pêche (début de l'été de l'année suivante; Boudreau *et al.* 2023, 2026). Compte tenu des incertitudes importantes associées à M , aucune telle correction n'a été appliquée dans la présente évaluation. Il est à noter que cette décision n'affecte que l'échelle de la série de biomasse et non sa tendance.

L'échelle de F_y demeure incertaine. Par exemple, l'omission de M peut entraîner une sous-estimation de F_y (d'un facteur pouvant atteindre environ 0,6; voir l'estimation de M ci-dessous), alors que des hypothèses prudentes concernant la biomasse (p. ex., q , biomasse restreinte au nGSL) peuvent conduire à une surestimation. Dans l'ensemble, les estimations sont plus susceptibles d'être biaisées à la hausse, mais demeurent informatives quant à l'ordre de grandeur global. Les intervalles et les valeurs moyennes estimés de E et de F ont donc été

comparés à des références de durabilité rapportées pour d'autres stocks de petits poissons pélagiques (Patterson *et al.* 1992). Patterson *et al.* (1992) ont analysé 28 stocks appartenant à 11 espèces de petits pélagiques et ont montré que les stocks peuvent croître sous certaines conditions lorsque F est inférieur à la moitié de la mortalité naturelle, ou lorsque E est inférieur à 30 %. Afin de définir le seuil de F , une valeur de M de 0,85 a été utilisée, correspondant à la moyenne de M estimée à l'aide de la fonction *metaM* du package FSA (Ogle *et al.* 2026). Cette estimation repose sur des traits d'histoire de vie et des caractéristiques environnementales propres au capelan du 4RST (voir tableaux 7 et 8 dans Boudreau *et al.* 2026).

2.5. ÉVALUATION DE LA FIABILITÉ DE LA DÉTECTION DU CAPELAN DANS LES RELEVÉS AU CHALUT DE FOND

Contrairement à d'autres principaux stocks, il n'existe pas de relevé dirigé du capelan dans la zone 4RST permettant d'estimer directement la biomasse du stock. L'indice présenté ici est issu de données de capelan collectées de façon opportuniste dans deux relevés au chalut de fond et comporte donc un niveau d'incertitude relativement élevé. Une partie de cette incertitude peut être réduite en validant les observations au chalut à l'aide de données indépendantes. Deux sources de données recueillies simultanément sont disponibles : la présence de capelan dans les contenus stomacaux de prédateurs et l'ADN environnemental (ADNe). En effet, les abondances de proies dans les estomacs de prédateurs ont déjà été utilisées pour estimer des indices basés sur le régime alimentaire pour des poissons pélagiques (Ng *et al.*, 2021) et sont particulièrement utiles lorsque les relevés ne sont pas conçus pour échantillonner les espèces fourragères (Gaichas *et al.* 2024). De plus, l'ADNe peut notamment améliorer la modélisation de la distribution des espèces lorsqu'il est intégré aux captures au chalut (Chevrin *et al.* 2025).

2.5.1. Contenu stomacal des prédateurs

Le capelan est considéré comme une espèce clé de l'écosystème du golfe du Saint-Laurent (GSL), facilitant le transfert d'énergie entre les niveaux trophiques inférieurs et supérieurs (Savenkoff *et al.* 2004). Il peut constituer une composante importante du régime alimentaire de poissons démersaux, tels que le flétan du Groenland et la morue franche. Les contenus stomacaux de ces deux prédateurs sont échantillonnés régulièrement lors du relevé au chalut de fond du nGSL depuis 1993 (Ouellette-Plante *et al.* 2022), à l'exception de la morue franche entre 2009 et 2014, et du flétan du Groenland en 2000 ainsi que de 2009 à 2014 (figure 7). La méthodologie d'échantillonnage des contenus stomacaux des prédateurs est décrite à la section 2.1 de Ouellette-Plante *et al.* (2020, 2022). Les données d'estomacs ne sont pas distribuées de manière uniforme à travers la zone d'étude. Afin de maximiser la couverture spatiale, l'information provenant des deux prédateurs (figure 8) a été regroupée pour les analyses subséquentes, et les occurrences de capelan ont été interpolées statistiquement sur l'ensemble de la zone. Afin de faciliter la comparaison avec les cartes de biomasse mature, nous avons modélisé la probabilité d'occurrence du capelan dans les contenus stomacaux des deux principaux prédateurs à l'aide de sdmTMB en utilisant le même maillage, selon :

$$(eq. 19) Y_{t,y} = NB(\mu_{t,y}, \phi)$$

$$(eq. 20) \text{logit}(\mu_{t,y}) = X_{t,y}^{\text{main}}\beta + O_{t,y} + \omega_t$$

où :

- $Y_{t,y}$ correspond à la présence (1) ou l'absence (0) observée de capelan dans chaque estomac de prédateur disponible pour le trait t et l'année y ,

- μ_{ty} est la probabilité moyenne attendue d'occurrence du capelan dans le trait t et l'année y conditionnelle aux covariables, auxquelles sont appliquée une fonction de lien logit, et
- X_{ty}^{main} , β , O_{ty} , ω_t sont décrits à la section 2.3.1.

Un modèle unique a été ajusté en utilisant la présence (1) ou l'absence (0) de capelan par trait comme variable réponse, basée sur l'ensemble des estomacs échantillonnés pour chaque espèce de prédateur et toutes les classes de taille des prédateurs. Le modèle supposait une distribution binomiale négative avec une fonction de lien logit. Les variables explicatives (X_{ty}^{main}), incluant la profondeur et le moment de l'échantillonnage (jour vs nuit), étaient similaires à celles utilisées pour les modèles de biomasse mature et d'abondance des individus d'âge 1. Le type de prédateur (flétan du Groenland vs morue franche) a toutefois été ajouté comme covariable afin de tenir compte des différences alimentaires, le flétan du Groenland présentant un régime plus spécialisé centré sur le capelan (DFO 2023), tandis que la morue franche a un régime plus généraliste (Ouellette-Plante *et al.* 2020). De plus, les deux espèces peuvent différer dans leurs taux de rencontre avec le capelan. Le nombre d'estomacs échantillonnés pour chaque prédateur dans un trait donné a été inclus comme offset (O_{ty}), puisque la probabilité de détecter le capelan augmente avec le nombre d'estomacs examinés. Un champ aléatoire spatial a été inclus afin de tenir compte de la structure spatiale, plutôt qu'un champ spatio-temporel, conformément aux pratiques courantes pour la modélisation de données de présence-absence dans sdmTMB (Thompson *et al.* 2022; Nephin *et al.* 2023). La sélection du modèle a suivi la procédure par étape décrite à la section 2.3.4, en utilisant l'AIC, des vérifications diagnostiques et des analyses de résidus afin d'identifier le modèle le plus parcimonieux.

Le modèle final a été utilisé pour prédire et cartographier la probabilité d'occurrence du capelan dans les contenus stomacaux du flétan du Groenland et de la morue franche sur une grille bathymétrique de 1x1 km². L'accord entre les occurrences stomacales prédites et les estimations de biomasse de capelan mature issues des relevés au chalut a été évalué de façon visuelle à l'aide de cartes et de diagrammes en boîtes, en comparant les probabilités d'occurrence stomacale prédites entre les traits présentant une présence observée et une absence observée de capelan dans les chaluts de fond.

2.5.2. ADN environnemental

L'ADN environnemental constitue une approche complémentaire aux relevés traditionnels au chalut pour inférer la présence des espèces (p. ex., Chevrin *et al.* 2025). Étant donné que la distribution de l'ADNe dans la colonne d'eau est hétérogène et influencée par une forte stratification horizontale, les données de présence basées sur l'ADNe peuvent appuyer la modélisation de la distribution des espèces à des résolutions spatiales potentiellement supérieures à celles obtenues à partir des captures au chalut (p. ex., Jeunen *et al.* 2020). De telles données ont été utilisées pour affiner des modèles historiques de distribution des espèces à partir d'ADN sédimentaire et ancien, ainsi que des modèles contemporains basés sur l'ADNe échantillonné dans l'eau (p. ex., Fordham *et al.* 2024; Guri *et al.* 2025). Dans la présente étude, des échantillons d'ADNe en eau ont d'abord été collectés de manière indépendante entre 2019 et 2021 par deux régions du MPO (Québec et Golfe), puis dans le cadre d'un effort conjoint et standardisé depuis 2022. Les méthodes détaillées d'échantillonnage et d'analyse de ces jeux de données sont décrites dans Leung *et al.* (2026). En résumé, les échantillons collectés en 2020, 2021 et 2022 dans le nGSL, ainsi qu'en 2019, 2021 et 2022 dans le sGSL, ont été utilisés pour ajuster le modèle. Les prédictions du modèle ont été générées uniquement pour les années où un échantillonnage simultané était disponible dans les deux régions, soit 2021 et 2022. L'échantillonnage de l'ADNe a été réalisé dans la colonne d'eau (principalement entre 15

et 25 m; voir Leung *et al.* 2026) et la filtration de 1 à 2 L a été effectuée sur des filtres en nylon (0,8 µm, 47 mm) ou en fibre de verre (1,5 µm, 47 mm). L'ADN a été extrait à l'aide d'une méthode de purification sur colonne à base de silice. L'ADN des poissons a été ciblé par amplification du gène mitochondrial 12S à l'aide de deux essais (MiFish-U, Miya *et al.* 2015; et 12S160, Saunders *et al.* 2024). L'amplification a été réalisée par une première qPCR suivie d'une seconde qPCR pour le double indexage. Le séquençage a été effectué sur une plateforme Illumina NovaSeq6000 PE 250. Le traitement bioinformatique a été réalisé à l'aide d'un pipeline R interne (v0.2.3), disponible sur GitHub (https://github.com/GenomicsMLI-DFO/MLI_metabar_pipeline), et des étapes de filtrage supplémentaires ont été appliquées afin d'améliorer la qualité des données, incluant une sélection normalisée de la taille des amplicons (<130 pb pour 12S160; 150–200 pb pour MiFishU), l'élimination des ESV assignés à l'humain et aux mammifères terrestres, ainsi que la conservation des échantillons présentant <10 % de lectures contaminantes, <50 % de taxons de mammifères terrestres et >10 000 lectures finales (détaillé dans Leung *et al.* 2026). La présence du capelan a été inférée à l'aide d'un seuil de détection de >1000 lectures afin de minimiser les faux positifs. Ce seuil a été défini de manière arbitraire, le capelan étant considéré comme une espèce abondante. De plus, seul un faible nombre d'échantillons présentant des détections sous ce seuil (n = 13) ont été exclus de l'analyse, laquelle comprenait au total 1 039 échantillons. À titre de comparaison, des études portant sur le thon rouge de l'Atlantique, une espèce plus grande et de plus faible abondance numérique, ont utilisé un seuil de 100 lectures (Leung *et al.*, 2026).

De façon analogue à l'approche utilisée pour le capelan dans les contenus stomacaux des prédateurs, nous avons modélisé la probabilité d'occurrence de l'ADNe de capelan dans les échantillons d'eau collectés dans le nGSL (2020–2022) et le sGSL (2019, 2021 et 2022). Les données du nGSL et du sGSL ont été combinées, aucune différence de capturabilité de l'ADNe n'étant attendue entre les régions. Le maillage de prédiction était identique à celui utilisé pour les prédateurs et les traits de chalut; les configurations des modèles étaient similaires à celles utilisées pour les données de prédateurs (distribution binomiale négative, fonction de lien logit, seule la profondeur d'échantillonnage comme covariable et un offset égal à la profondeur de séquençage de chaque échantillon d'ADNe afin de tenir compte des différences de profondeur de séquençage et d'effort d'échantillonnage global entre les échantillons, ainsi qu'un champ aléatoire spatial), et la procédure de sélection du modèle a également été reproduite. Les probabilités d'occurrence ont de nouveau été cartographiées à l'aide de la grille bathymétrique de 1x1 km² et comparées visuellement aux captures de capelan dans les relevés au chalut de fond. Des modèles distincts ont été ajustés pour chaque habitat vertical (fond et colonne d'eau; figure 9). L'ajustement d'un modèle par habitat vertical visait à mieux comprendre la disponibilité du capelan pour le chalut de fond. Dans les strates favorables (PTH), le capelan était attendu près du fond et donc disponible pour le chalut. À l'inverse, dans les habitats moins favorables (UTH), le capelan était attendu dans la colonne d'eau, mais non disponible pour le chalut. Ainsi, les occurrences prédites d'ADNe au fond et dans la colonne d'eau devraient s'aligner avec les observations au chalut dans les strates PTH, alors qu'aucune concordance n'est attendue dans les strates UTH.

2.6. CONSIDÉRATIONS ÉCOSYSTÉMIQUES ET CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Le capelan est une espèce d'eaux froides étroitement associée à la couche intermédiaire froide (CIF) dans le GSL (Chamberland *et al.* 2022). Une réduction de l'épaisseur de la CIF ou une augmentation de sa température pourrait diminuer la productivité du stock en réduisant la disponibilité d'habitats thermiques favorables. Le moment du retrait des glaces est également un facteur important, puisqu'il influence la condition corporelle post-hivernale et la survie (Lewis *et al.* 2019; Lehoux *et al.* 2022).

Afin d'examiner les conditions thermiques auxquelles le capelan est exposé lors des relevés au chalut de fond, les températures moyennes annuelles du fond ont été calculées à partir des traits individuels réalisés dans les strates PTH et UTH du nord et du sud du GSL. Les conditions d'habitat et environnementales plus larges ont été évaluées à l'aide du package *gs/ea* (Duplisea *et al.* 2020), qui regroupe des données écosystémiques du GSL. Les indicateurs considérés incluaient le volume de la CIF, la date de la dernière occurrence de glace de mer et la température de surface de la mer (SST) de mai à novembre à travers les écorégions du GSL. Les températures de fond ont été comparées à l'aide de moyennes annuelles, tandis que le volume de la CIF, la date de la glace et la SST ont été analysés sous forme d'anomalies annuelles standardisées (moyenne = 0, variance = 1). Les anomalies de SST et de glace ont été multipliées par -1 afin de refléter leurs effets positifs sur le capelan lorsque les eaux de surface sont plus froides et que la débâcle survient plus tôt. Étant donné que ces variables peuvent avoir un effet cumulatif sur la survie et la productivité du capelan, la somme des anomalies annuelles a également été calculée.

Le capelan constitue également une espèce fourragère clé dans le GSL. Ouellette-Plante *et al.* (2022) ont analysé les contenus stomacaux issus du relevé multispécifique du nGSL, en supposant que la proportion de capelan dans le régime alimentaire des prédateurs pouvait être liée à la présence et à l'état de la population de capelan dans l'écosystème du GSL. La morue franche et le flétan du Groenland ont de nouveau été retenus comme prédateurs les plus informatifs, puisqu'ils consomment des quantités importantes de capelan, sont largement distribués dans le nGSL et effectuent des migrations verticales pour s'alimenter, ce qui augmente la probabilité de détection du capelan dans leurs estomacs. Conformément à Ouellette-Plante *et al.* (2022), la proportion annuelle moyenne (en poids) de capelan dans les contenus stomacaux de ces deux prédateurs a été estimée pour la période 1993–2024.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. DÉBARQUEMENTS COMMERCIAUX

De 1985 à 2025, les débarquements annuels de la pêche dirigée et des prises accessoires ont varié de façon importante, allant d'un minimum de 152 t en 1995 à un maximum de 12 314 t en 2011 (tableau 3). Au cours de certaines années, peu ou aucun débarquement n'a été observé, en partie en raison de conditions de marché et météorologiques défavorables. Le TAC a été dépassé pour la dernière fois en 2020 et en 2021. Le capelan a été principalement débarqué dans la division 4R de l'OPANO par la flottille d'engins mobiles (senneurs de petite et grande taille) (tableau 3, figure 10). La flottille de senneurs a capturé la majeure partie du TAC dans 4RST, bien que les débarquements par engins fixes aient augmenté depuis le milieu des années 2000, principalement en raison de l'introduction de la senne « tuck » (figure 10B). Les débarquements préliminaires pour les divisions 4R, 4S et 4T de l'OPANO étaient respectivement de 1 773 t, 582 t et 1 t, pour un total annuel de 2 357 t en 2024, et de 1 089 t, 131 t et 4 t, pour un total de 1 224 t en 2025. Comparativement aux années précédentes, une proportion plus élevée des captures totales a été débarquée par la flottille d'engins fixes (senne tuck et piège-trappe), soit 1 671 t en 2024 et 669 t en 2025, par rapport à la flottille mobile composée de grands et petits senneurs (683 t en 2024 et 489 t en 2025) (figure 10B).

Les débarquements totaux de 4R en 2024 (1 773 t) étaient principalement concentrés dans l'unité 4Ra (1 667 t), tandis qu'en 2025 (1 089 t), ils étaient répartis entre 4Ra (509 t) et 4Rc (445 t) (figure 11A, tableau 4). Au cours de la période 2018–2025, les senneurs et les sennes tuck ont capturé des proportions similaires du TAC et des quantités débarquées, alors que les pièges-trappes représentaient une proportion plus faible des captures annuelles dans cette division, sauf en 2024 (figure 11B). Dans 4ST, la majorité des débarquements depuis 2005 a eu

lieu dans les unités 4Sw (Basse-Côte-Nord du Québec) et 4Tn (embouchure de la baie des Chaleurs), principalement à l'aide de sennes et de fascines (figure 12). En 2024 et 2025, les débarquements annuels dans 4ST ont été plus élevés que lors des deux années précédentes et étaient concentrés principalement dans l'unité 4Sw en 2024, puis dans 4Sw et 4Sx en 2025. Les débarquements de 4ST en 2024 et 2025 étaient largement attribuables aux senneurs (figure 12B).

La pêche au capelan dans la division 4R se déroule généralement en juin et juillet, et la période des débarquements a peu varié depuis que des données détaillées sont disponibles (figure 13). La pêche dans 4ST débute habituellement plus tôt que dans 4R et présente une variabilité interannuelle plus importante, probablement en partie en raison du plus faible nombre de sorties de pêche (figure 14). La large distribution spatiale de l'activité de pêche ainsi que la variabilité associée au moment et à la localisation de l'arrivée côtière du capelan peuvent également contribuer aux patrons spatiaux observés.

3.2. ÉCHANTILLONNAGE COMMERCIAL

Le nombre d'échantillons commerciaux de fréquences de tailles et le nombre d'individus mesurés dans le cadre du programme d'échantillonnage à quai du MPO sont présentés au tableau 5. En moyenne, 24 échantillons étaient mesurés annuellement et étaient généralement répartis de façon homogène entre les divisions de l'OPANO (7 à 8 échantillons par division et par année). Cela correspond à une moyenne de 5 493 individus mesurés par année et d'environ 1 200 à 2 000 poissons par division de l'OPANO selon l'année. En 2024 et 2025, 19 et 6 échantillons ont été prélevés, comprenant respectivement 3 249 et 1 179 poissons. Cette réduction de l'effort d'échantillonnage par rapport à la période précédente reflète directement la diminution des débarquements observée au cours des deux dernières années. Le nombre d'échantillons biologiques (sous-échantillons des précédents, ainsi que certains échantillons opportunistes) analysés est présenté au tableau 6. En moyenne, un total de 515 individus étaient disséqués annuellement pour analyses biologiques. Au total, 22 échantillons (439 poissons) ont été collectés en 2024, mais seulement 4 échantillons (141 poissons) en 2025.

3.2.1. Longueur totale moyenne

Les longueurs totales moyennes de la série temporelle ($\pm$ écart-type) pour les femelles et les mâles capturés par la flottille de senneurs de 4R étaient respectivement de 147 ± 7 mm et de 165 ± 6 mm (figure 15). Du milieu des années 1980 au début des années 1990, les longueurs des capelans, tant mâles que femelles, étaient supérieures à la moyenne. Cette période a été suivie d'un déclin de la longueur moyenne annuelle, qui s'est maintenu jusqu'en 2003, moment où ces valeurs sont revenues près des moyennes de la série temporelle. La longueur moyenne historiquement élevée observée pour les deux sexes en 2014 coïncidait avec une pêche plus tardive que la normale (figure 13) ainsi qu'un effort d'échantillonnage réduit (tableau 5). De 2015 à 2024, les longueurs du capelan ont généralement fluctué autour de la moyenne historique.

3.2.2. Condition, ratio des sexes et IGS

Les relations longueur-poids des capelans mâles et femelles capturés en juin par les senneurs sont présentées à la figure 16. Les variations interannuelles de la condition corporelle des mâles et des femelles, basées sur ces relations, étaient similaires dans les divisions 4R, 4S et 4T (figure 17). Toutefois, la condition corporelle standardisée du capelan en 4T était généralement inférieure à celle observée dans les deux autres divisions. Les conditions relatives étaient généralement supérieures à la moyenne à la fin des années 1980 dans toutes

les divisions de l'OPANO, près de la moyenne de la série temporelle entre 1990 et 2000, puis supérieures à la moyenne de 2000 à 2014 dans 4RS. La condition relative dans 4T est demeurée près de la moyenne de la série temporelle au cours de cette période. Depuis 2015, la condition relative s'est maintenue près de la moyenne de la série temporelle dans 4RS, tout en demeurant légèrement inférieure à la moyenne dans 4T. En 2022 et 2023, une diminution de la condition corporelle du capelan a été observée dans 4S, les valeurs se rapprochant de la moyenne de la série temporelle, tandis que l'indice de condition a augmenté dans 4R en 2023 après une légère diminution observée en 2022. Un plus grand nombre d'années sans données de longueur est observé dans 4S (figure 17) comparativement au nombre d'années avec des données d'indice de condition standardisé pour cette division (figure 12), puisque les sennes de plage, filets maillants, filets-trappes, fascines et autres engins artisanaux ont été exclus des analyses.

Les ratios des sexes du capelan dans la pêche commerciale sont généralement biaisés en faveur des femelles dans les échantillons provenant de 4R (figure 18), ce qui est cohérent avec le fait que cette pêche cible spécifiquement les femelles matures. Les échantillons prélevés dans 4ST présentent des proportions plus élevées de mâles, ce qui pourrait s'expliquer par une plus grande proportion d'échantillons opportunistes (épuisette) et d'échantillons provenant d'engins fixes dans ces secteurs, ainsi que par une plus grande vulnérabilité des mâles à ces types d'engins, ceux-ci ayant tendance à demeurer plus longtemps en agrégations dans les eaux côtières que les femelles (Templeman 1948; Friis Rodel et Kannevorff 2002; Maxner *et al.* 2016).

L'IGS annuel moyen des femelles variait entre 20 % et 30 % (figure 19). La masse des gonades des mâles représentait en moyenne moins de 1,5 % de la masse totale. Aucune tendance temporelle marquée n'était apparente dans les deux séries chronologiques. L'IGS des femelles était généralement près ou sous la moyenne de la série temporelle du milieu des années 1980 jusqu'au milieu des années 1990, puis a augmenté et est demeuré la plupart du temps au-dessus de la moyenne jusqu'à une diminution importante observée à partir de 2015. Aucune tendance temporelle n'a été observée pour l'IGS des mâles, celui-ci étant demeuré relativement proche de la moyenne de la série temporelle.

3.3. INDICES DE L'ÉTAT DU STOCK

3.3.1. Indice original de biomasse mature

Les quatre indices de biomasse mature ont fluctué de manière indépendante, bien que certains pics communs aient été observés dans les strates PTH du sGSL et du nGSL, notamment en 2011, 2017 et 2021 (figure 20). La biomasse de capelan mature dans le nGSL-PTH a fortement varié entre le début de la série temporelle (1995) et 2011. Depuis, l'indice est demeuré en moyenne à de faibles niveaux. La biomasse mature dans le nGSL-UTH est demeurée faible tout au long de la série temporelle, à l'exception d'une période de pointe autour de 2010–2013. L'indice du sGSL-PTH a suivi un patron inverse à celui du nGSL, avec des valeurs inférieures à la moyenne avant environ 2009 et des biomasses fréquemment élevées par la suite. L'indice du sGSL-UTH était le plus faible des quatre et présentait peu de variabilité, sauf pour des valeurs élevées observées entre 2008 et 2015. La standardisation de la biomasse mature relative pour tenir compte d'un effet diurne, que ce soit par l'inclusion d'une variable temporelle numérique ou catégorielle, n'a pas entraîné de différences significatives dans les tendances ni dans les intervalles de confiance (figure 20).

3.3.2. Indice original d'abondance à l'âge 1

Les indices d'abondance des individus d'âge 1 dans le nGSL-PTH et le nGSL-UTH ont varié sans tendance apparente (figure 21). Le nombre de capelans d'âge 1 dans le sGSL-PTH est demeuré stable à de faibles niveaux au cours des 15 premières années, mais a été, en moyenne, plus élevé depuis 2009. Dans le sGSL-UTH, aucune tendance similaire n'était visible et la série temporelle était principalement caractérisée par deux pics distincts (2015 et 2023; figure 21). La standardisation de l'indice afin de tenir compte d'un effet diurne n'a pas entraîné de différences significatives dans les tendances ni dans les intervalles de confiance (figure 21).

3.3.3. Indice proposé de biomasse mature

L'examen de la distribution spatiale des captures importantes de capelan a révélé des concentrations récurrentes autour de l'île d'Anticosti et dans le détroit de Belle Isle dans le nGSL, ainsi que de la pointe de la péninsule gaspésienne jusqu'au Cap-Breton dans le sGSL (figure 22). La persistance de ces patrons spatiaux indique que les grosses captures sont vraisemblablement biologiquement significatives et ne devraient pas être exclues.

Parmi les modèles candidats ajustés aux observations de biomasse mature dans le nGSL, le modèle le plus parcimonieux incluait la profondeur transformée logarithmiquement, le moment de la journée comme variable catégorielle, ainsi que leur interaction (tableau 7). Ce modèle présentait la plus faible valeur d'AIC et satisfaisait les critères de validation de la fonction *sanity*. Deux formulations alternatives de l'effet temporel de l'année ont ensuite été évaluées : l'année traitée comme facteur indépendant et l'année modélisée comme effet aléatoire. Les vérifications diagnostiques fondées sur les résidus DHARMA indiquaient une performance satisfaisante pour les deux modèles (figures 23 et 24). Les tests de Kolmogorov–Smirnov (KS) et de dispersion des résidus n'étaient pas significatifs, suggérant l'absence de violations majeures des hypothèses du modèle. Toutefois, le test des valeurs aberrantes était significatif pour les deux modèles, reflétant la faible fréquence de captures extrêmes de capelan, difficiles à modéliser. Les résidus quantiles ne montraient aucun patron systématique en fonction des variables prédictives (figure 25). Les résultats de la validation croisée à 50 sous-ensembles indiquaient une performance prédictive légèrement supérieure pour le modèle avec l'année comme effet aléatoire, lequel produisait des valeurs plus faibles de RMSE et de MAE (tableau 8). Ce modèle a donc été retenu pour les analyses subséquentes.

Le modèle final du nGSL indiquait que la biomasse mature était significativement plus faible à de plus grandes profondeurs et lors des échantillonnages nocturnes (tableau 9, figure 26), les deux variables présentant des tailles d'effet similaires. Tous les paramètres d'effets aléatoires associés aux champs spatiaux et spatio-temporels, ainsi qu'à la distribution d'erreur, étaient significativement différents de zéro et estimés avec une incertitude acceptable (tableau 9). Les prédictions de biomasse mature par km² révélaient des patrons spatiaux récurrents entre les années (figure 27), avec des densités particulièrement élevées autour de l'île d'Anticosti (nord, nord-ouest et sud-ouest), le long de la Côte-Nord du Québec et dans le détroit de Belle Isle. L'indice de biomasse mature pour l'ensemble du nGSL était fortement corrélé ($R^2 = 0,83$) avec l'indice original, qui additionnait les biomasses des strates UTH et PTH sans ajustement pour les différences de capturabilité (figure 28). Toutefois, plusieurs divergences entre les deux séries temporelles mettent en évidence la sensibilité de l'indice aux choix méthodologiques. Par exemple, la biomasse était élevée en 1999 selon l'approche originale, mais pratiquement absente dans le nouvel indice. Ces différences reflètent en partie le fait que le modèle sdmTMB pondère les zones UTH et PTH selon la profondeur, alors que l'approche originale reposait sur des hypothèses de mise à l'échelle subjectives. Les estimations d'incertitude du nouvel indice étaient généralement plus faibles et suivaient un patron différent, reflétant les différences fondamentales entre les méthodes utilisées pour estimer l'incertitude. L'analyse des tendances

basée sur le nouvel indice indique que, malgré d'importantes fluctuations historiques, la biomasse mature du nGSL est demeurée constamment faible depuis 2013.

Le modèle le plus parcimonieux expliquant la biomasse mature dans le sGSL incluait la profondeur transformée logarithmiquement (modélisée à l'aide d'un polynôme du second degré), le moment de la journée comme variable catégorielle, ainsi que leur interaction (tableaux 7 et 9). Les deux formulations de l'effet temporel de l'année ont bien performé selon les diagnostics DHARMA (figures 29 et 30), ainsi que selon les diagnostics des résidus quantiles (figure 31). Sur la base de la validation croisée à 50 sous-ensembles, le modèle avec l'année comme facteur catégoriel produisait la plus faible somme de log-vraisemblance, ainsi que les plus faibles RMSE et MAE, et a donc été retenu pour les analyses subséquentes (tableau 8).

La profondeur présentait une relation non linéaire avec la biomasse mature (polynôme du second degré), avec un effet positif et croissant jusqu'à environ 130 m, suivi d'un effet négatif à des profondeurs plus importantes (figure 32). Contrairement au nGSL, les échantillonnages nocturnes dans le sGSL étaient associés à une biomasse mature estimée plus élevée. Toutefois, comme dans le nGSL, l'interaction entre la profondeur et le moment de la journée était positive, indiquant que l'effet de la profondeur différait entre les échantillonnages diurnes et nocturnes. L'effet de l'année, modélisé comme facteur catégoriel, demeurait systématiquement supérieur à zéro et relativement stable après une augmentation initiale durant les années 1990 (figure 33). Les estimations des effets aléatoires étaient également similaires à celles du modèle du nGSL (tableau 9).

Les prédictions de biomasse mature par km² révélaient des changements marqués dans la distribution spatiale au fil du temps (figure 34). De 1990 à 1998, le capelan était principalement observé dans un nombre limité de zones de forte densité à travers le sGSL. À partir de 2009, des densités élevées ont été observées sur une zone plus étendue, avec des pics fréquents près de la péninsule gaspésienne, du centre du sGSL et de l'ouest du Cap-Breton (figure 34). Comme dans le nGSL, l'indice de biomasse mature dérivé du modèle sdmTMB était fortement corrélé ($R^2 = 0,95$) avec l'indice original (figure 35). Les deux indices relatifs diffèrent en échelle en raison de la manière dont la profondeur (ou les strates UTH/PTH) est traitée. Toutefois, la conversion de la biomasse relative en biomasse absolue demeure déjà hautement incertaine, et cette différence d'échelle n'affecte pas les conclusions relatives à l'état du stock (figure 35). Il est également à noter que les estimations d'incertitude étaient encore une fois substantiellement plus faibles pour le nouvel indice proposé.

3.3.4. Indice proposé d'abondance à l'âge 1

Le modèle le plus parcimonieux expliquant l'abondance des individus d'âge 1 dans le nGSL incluait les mêmes variables explicatives que le modèle de biomasse mature pour cette région, soit la profondeur transformée logarithmiquement, le moment de l'échantillonnage (variable catégorielle) et leur interaction (tableau 7). Les diagnostics des deux formulations de l'effet de l'année étaient satisfaisants (figures 36, 37 et 38). Comme pour le modèle de biomasse, la configuration traitant l'année comme effet aléatoire a été privilégiée sur la base de la validation croisée à 50 replis (tableau 8), et les effets fixes comme les effets aléatoires de ce modèle étaient significatifs avec une incertitude raisonnable (tableau 9). La profondeur et les échantillonnages nocturnes avaient des effets négatifs significatifs sur les capelans d'âge 1 dans le nGSL (figure 39), tandis que leur interaction était positive. Les cartes de densité prédite montraient des zones récurrentes de fortes densités d'individus d'âge 1 au nord de l'île d'Anticosti, similaires aux patrons spatiaux observés pour la biomasse mature (figure 40). Au cours de plusieurs années (1997, 1998, 2003, 2004, 2013 et 2022–2025), le nombre d'individus d'âge 1 était également élevé le long de la côte ouest de Terre-Neuve, parfois concentré près

de certaines baies et, dans d'autres cas, réparti plus largement le long de la côte. Les nouveaux indices et les indices originaux d'abondance des individus d'âge 1 étaient encore une fois fortement corrélés ($R^2 = 0,83$), ce qui est attendu puisqu'ils reposent sur les mêmes données sous-jacentes (figure 41). Toutefois, des différences importantes observées certaines années, ainsi qu'une incertitude généralement réduite dans le nouvel indice, suggèrent que les variations de faible amplitude dans la série temporelle doivent être interprétées avec prudence.

Le modèle le plus parcimonieux expliquant l'abondance des individus d'âge 1 dans le sGSL présentait la même structure que le modèle de biomasse mature pour cette région (tableau 7), et les diagnostics du modèle étaient satisfaisants (figures 42, 43 et 44). Encore une fois, le modèle traitant l'année comme facteur catégoriel a été retenu à la suite de la validation croisée à 50 sous-ensembles (tableau 8). Les effets fixes et aléatoires étaient significatifs avec une incertitude acceptable (tableau 10). La direction des effets des covariables était similaire à celle observée pour la biomasse mature. L'abondance des individus d'âge 1 tendait à être plus élevée dans les eaux plus profondes et lors des échantillonnages nocturnes. L'effet de la profondeur se stabilisait à environ 100 m et plus, et devenait légèrement plus négatif durant le jour et dans les secteurs les plus profonds de la zone d'étude (figure 45). Les effets annuels augmentaient au début de la série temporelle puis fluctuaient sans tendance claire à long terme (figure 46). Les patrons spatiaux prédits des capelans d'âge 1 dans le sGSL montraient de petites zones de forte densité avant 1999 et une distribution plus étendue durant la plupart des années de relevé par la suite (figure 47). À partir de 1999, les fortes abondances d'individus d'âge 1 étaient le plus souvent prédites entre la baie des Chaleurs et les îles de la Madeleine. La corrélation entre les indices originaux et les nouveaux indices du sGSL était très élevée ($R^2 = 0,98$; figure 48).

Il demeure actuellement incertain dans quelle mesure les indices d'abondance des individus d'âge 1 sont informatifs, et dans quelle proportion le signal observé reflète un changement biologique réel plutôt qu'une erreur d'observation. Les sources potentielles de biais incluent notamment l'estimation de la proportion des individus d'âge 1 selon la longueur à partir de seulement deux années de données, ainsi que la sélectivité en taille du chalut de fond utilisé.

3.4. ÉCHELLE DE LA MORTALITÉ PAR LA PÊCHE

Bien que les débarquements de capelan du 4RST aient varié considérablement entre 1998 et 2025 (figure 10), E et F sont demeurés relativement faibles ($F < 0,25$) pendant la majeure partie de la série temporelle (tableau 11, figure 49). De tels niveaux sont peu susceptibles de représenter un risque pour une espèce pélagique de petite taille et à courte durée de vie comme le capelan (Patterson, 1992), puisque F est demeuré inférieur au seuil de référence de 0,43. De plus, certaines données indiquent que les débarquements sont inférieurs à la consommation estimée de capelan, ce qui suggère que la mortalité par la pêche est considérablement plus faible que la mortalité naturelle attribuable à la prédation (Savenkoff *et al.* 2004; Ouellette-Plante *et al.* 2022). Les niveaux de prélèvement observés en 2025 ont également été considérés comme non préjudiciables. Toutefois, l'indice de mortalité par pêche a atteint en 2024 la valeur la plus élevée de la série temporelle (figure 49B) et a dépassé le seuil jugé acceptable, malgré des débarquements significativement inférieurs à ceux observés entre 2018 et 2021, période durant laquelle la biomasse mature du nGSL était également faible. Cette valeur élevée pourrait être liée à une couverture incomplète du relevé en 2023 (c.-à-d. la biomasse disponible à la pêche en 2024), particulièrement dans l'estuaire du Saint-Laurent et le détroit de Belle Isle, des secteurs historiquement associés à de fortes densités de capelan selon la modélisation sdmTMB. De plus, l'exclusion de la contribution du sGSL à la biomasse mature utilisée pour calculer l'indice de mortalité pourrait également avoir contribué à ce résultat, particulièrement compte tenu du pic observé en 2023 (figure 49A).

3.5. ÉVALUATION DE LA FIABILITÉ DE LA DÉTECTION DU CAPELAN DANS LES RELEVÉS AU CHALUT DE FOND

3.5.1. Estomac des prédateurs

Le modèle le plus parcimonieux pour prédire la présence du capelan dans les contenus stomacaux des prédateurs incluait la profondeur transformée logarithmiquement ainsi que l'espèce prédatrice (morue franche ou flétan du Groenland) comme variables explicatives (tableau 12). L'ajout d'un effet de l'année, modélisé soit comme effet aléatoire soit comme facteur catégoriel, améliorait l'ajustement du modèle (AIC plus faible). Les diagnostics du modèle (figures 50, 51 et 52) n'ont révélé aucun signe de mauvaise spécification. La formulation dans laquelle l'année était modélisée comme facteur catégoriel a été retenue sur la base de la validation croisée à 50 sous-ensembles (tableau 12). La profondeur ainsi que l'espèce prédatrice avaient des effets significatifs, avec des termes du premier et du second ordre négatifs pour le polynôme de profondeur transformée logarithmiquement et un effet positif associé au flétan du Groenland (tableau 13; figure 53). L'effet spatial aléatoire était également significatif, bien que son incertitude soit relativement élevée comparativement aux modèles précédents, ce qui reflète probablement le plus faible nombre d'observations dans la matrice spatiale. Les cartes de probabilité prédite indiquaient que le capelan était le plus fréquemment observé le long de la Côte-Nord du Québec (figure 54), un patron demeuré constant au fil du temps et cohérent avec la biomasse mature prédite à partir du relevé au chalut de fond, laquelle atteignait souvent un maximum au nord de l'île d'Anticosti. En revanche, le secteur du chenal Laurentien présentait systématiquement de faibles probabilités tant dans les données des prédateurs que dans celles des relevés au chalut. Dans l'ensemble, la probabilité de présence du capelan dans les contenus stomacaux des prédateurs était plus élevée lorsque le capelan était également capturé dans les relevés au chalut de fond (figure 55). Ces similitudes à grande échelle entre des indicateurs indépendants suggèrent que les relevés au chalut de fond représentent raisonnablement bien les patrons spatiaux à grande échelle de la distribution du capelan. Toutefois, certaines divergences à plus fine échelle méritent des analyses supplémentaires. Les données de chalut reflètent la biomasse locale, tandis que le capelan retrouvé dans les régimes alimentaires des prédateurs peut être spatialement déplacé en raison des mouvements des prédateurs, ce qui complique les comparaisons directes. Des travaux futurs pourraient permettre d'affiner cette comparaison.

3.5.2. ADN environnemental

Les modèles présentant les plus faibles valeurs d'AIC pour prédire l'occurrence de l'ADNe de capelan dans la colonne d'eau et au fond à l'échelle du golfe du Saint-Laurent incluaient uniquement la profondeur du fond transformée logarithmiquement (polynôme du second degré) ainsi que l'année comme facteur catégoriel (tableau 14). Les diagnostics DHARMA (figure 56) ainsi que les graphiques des résidus en fonction des variables prédictives (figure 57) n'ont révélé aucun problème de modélisation. Dans les deux modèles, le terme de premier degré associé à la profondeur ainsi que l'effet de l'année étaient négatifs mais non significatifs, tandis que le terme de second degré de la profondeur était significatif (tableau 15, figure 58). Les champs spatiaux aléatoires étaient significatifs dans les deux cas, mais présentaient une incertitude plus élevée pour le modèle d'ADNe de la colonne d'eau que pour le modèle d'ADNe de fond. Les probabilités prédites d'occurrence de l'ADNe dans le golfe du Saint-Laurent correspondaient bien aux secteurs présentant de fortes captures de capelan dans les relevés au chalut de fond (figure 59), ce qui est cohérent avec les résultats fondés sur les données des prédateurs (figure 54). Les patrons spatiaux prédits par les modèles d'ADNe de la colonne d'eau et du fond étaient généralement similaires, sauf dans le détroit d'Honguedo. Il est à noter que les prédictions issues du modèle d'ADNe de fond correspondaient davantage à la

distribution spatiale des strates d'habitat thermique du capelan, particulièrement dans le nGSL. Comme pour les données des prédateurs, la présence d'ADNe de capelan, tant au fond que dans la colonne d'eau, était plus probable lorsque le capelan était également capturé dans les relevés au chalut de fond, bien que les patrons variaient selon les strates d'habitat thermique (figure 60).

3.6. CONSIDÉRATIONS ÉCOSYSTÉMIQUES ET CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Les températures moyennes annuelles du fond enregistrées lors du relevé au chalut de fond du nGSL sont demeurées relativement stables de 1990 à 2010 dans les strates UTH et de 1990 à 2019 dans les strates PTH (figure 61A). Après ces périodes, les deux catégories d'habitat ont connu une augmentation marquée jusqu'en 2023, suivie d'une diminution en 2024 et 2025. Le seuil de 3,3 °C associé à un changement majeur dans la distribution de fréquence cumulative des captures de capelan (Chamberland *et al.* 2022) a été dépassé en 2022 et 2023. Dans le relevé du sGSL, les variations de la température moyenne annuelle du fond étaient moins prononcées (figure 61B). Néanmoins, les strates PTH ont connu une augmentation de 2018 à 2021, suivie d'une diminution. Le seuil de 2,2 °C identifié pour le sGSL, correspondant à un changement dans la distribution de fréquence cumulative des captures de capelan (Chamberland *et al.* 2022), a été dépassé en 2019 ainsi que de 2021 à 2023. L'analyse des tendances des anomalies annuelles cumulées du volume de la CIF, de la date de la dernière occurrence de glace de mer et de la température de surface de la mer (SST) a révélé des patrons généralement similaires dans la plupart des écorégions (figure 62). Les anomalies cumulées les plus élevées ont été observées en 1990–1992, puis de nouveau en 2010, 2013 et 2016. Avant 2010, les anomalies étaient principalement positives dans l'ensemble des écorégions, tandis que plusieurs années consécutives d'anomalies négatives ont été observées par la suite, notamment de 2012 à 2014 et de 2021 à 2024. La proportion de capelan dans l'alimentation de la morue franche et du flétan du Groenland a montré une forte variabilité interannuelle entre 1993 et 2020 (figure 63). Malgré cette variabilité, les deux prédateurs présentaient une certaine cohérence dans les tendances observées. La composition alimentaire en capelan était généralement plus faible au début des années 2000, suivie d'une augmentation jusqu'à l'interruption de la série temporelle en 2010. Entre 2015 et 2021, le capelan représentait une proportion élevée du régime alimentaire de la morue franche et du flétan du Groenland au cours de plusieurs années.

4. SOURCE D'INCERTITUDE

Le capelan est une espèce hautement migratrice et largement distribuée, caractérisée par d'importantes fluctuations annuelles de l'abondance du stock et de sa structure en taille. Ses caractéristiques d'histoire de vie, combinées à l'absence d'un relevé dirigé, compliquent son évaluation et génèrent plusieurs sources d'incertitude :

- Indicateurs principaux de l'état du stock
 - Les indicateurs de l'état du stock sont dérivés de relevés au chalut de fond dont la capturabilité des poissons pélagiques est non spécifiée et potentiellement variable dans l'espace et le temps. Les chaluts de fond n'échantillonnent qu'une partie de la couche intermédiaire froide (CIF) où réside le capelan, et les déplacements verticaux du capelan par rapport au chalut peuvent modifier la capturabilité. Les variations de l'épaisseur ou de la température de la CIF peuvent également influencer l'abondance observée. L'incertitude pourrait être réduite par l'intégration de sources de données indépendantes, mais concomitantes, telles que les enregistrements acoustiques, la disponibilité des proies, les régimes alimentaires des prédateurs et l'ADN environnemental. Bien que

l'indice de mortalité par la pêche utilise l'indice de biomasse mature dans son calcul, il est peu probable que la pêche commerciale représente un risque pour le stock, à condition que les hypothèses sous-jacentes à l'indice de biomasse absolue soient valides.

- Biomasse mature disponible à la pêche
 - Les indices représentent l'état du stock en août-septembre, alors que la pêche débute au moins six mois plus tard. La mortalité survenant entre la fin de l'automne et la saison de pêche peut entraîner des écarts entre l'état estimé du stock et la biomasse mature réellement disponible à la pêche. La mise en œuvre d'un relevé dirigé sur le capelan avant le début de la pêche dans les principales zones exploitées (4R–4Sw) permettrait d'améliorer les estimations de biomasse vulnérable et la compréhension de la distribution spatio-temporelle.
- Absence de données d'âge
 - Les données d'âge ne sont pas disponibles en raison de la difficulté à distinguer les véritables annuli de croissance des faux annuli. Cette limitation réduit la capacité d'évaluer la contribution des cohortes à la biomasse mature et empêche la réalisation d'analyses de cohortes pour les relevés au chalut, diminuant ainsi la confiance dans la détermination de l'état du stock. Les données d'âge permettraient également une meilleure estimation de la mortalité par le suivi des cohortes entre la fin de l'été et la saison de pêche.
- Couverture incomplète des relevés au chalut
 - La couverture incomplète du relevé au chalut de fond dans le nord du GSL en 2023, particulièrement dans les secteurs historiquement associés à de fortes densités, a été proposée comme une des explications possibles de l'indice élevé de mortalité par la pêche observé en 2024. Bien que le modèle spatio-temporel utilisé pour estimer la biomasse mature puisse compenser les zones non échantillonnées, sa performance dans ces secteurs devrait être évaluée afin de mieux cerner ses limites potentielles.
- Structure de stock et déplacements
 - Le capelan 4RST est géré comme un seul stock, bien que l'activité de pêche soit concentrée dans le nord-est du GSL et que l'indice de mortalité par la pêche soit calculé uniquement à partir de l'indice de biomasse mature du nord du golfe. Compte tenu des migrations à grande distance du capelan, les déplacements entre les différentes régions du golfe peuvent influencer la biomasse mature disponible à la pêche. La microchimie des otolithes (composition du noyau et de la marge) pourrait contribuer à identifier les patrons de connectivité entre régions.
- ADNe du capelan
 - L'occurrence du capelan inférée à partir du métabarcodage de l'ADNe est sujette à des incertitudes méthodologiques, puisque cette approche peut être influencée par des biais d'amplification, la spécificité des amorces et les variations de profondeur de séquençage. Par conséquent, les nombres de lectures (read counts) peuvent ne pas refléter fidèlement l'occurrence ou l'abondance réelles aux sites d'échantillonnage. Afin d'améliorer les inférences quantitatives, des travaux futurs devraient intégrer un test qPCR ciblé et spécifique au capelan en réanalysant les extraits d'ADNe existants. Cette approche permettrait d'obtenir des estimations plus précises et quantitatives de l'occurrence et de l'abondance du capelan, tout en contribuant à valider les patrons observés à l'aide du métabarcodage.

5. CONCLUSION

Les pêches au capelan du 4RST en 2024–2025 ont été caractérisées par des débarquements demeurés faibles comparativement à la période 2018–2021, avec moins de 50 % du total autorisé des captures (TAC) récolté. Les activités de pêche se sont déroulées principalement au large de la côte ouest de Terre-Neuve-et-Labrador et ont été effectuées majoritairement par les flottilles utilisant la senne tuck et les filets-trappes. Le moment des activités de pêche ainsi que les caractéristiques biologiques des captures commerciales, incluant la composition en longueur, la longueur moyenne, la condition corporelle, le ratio sexuel et l'indice gonadosomatique, étaient cohérents avec les observations de la dernière décennie et ne présentaient aucune tendance temporelle apparente. Les indices de biomasse développés dans la présente évaluation tiennent compte de l'autocorrélation spatiale et spatio-temporelle, ainsi que des effets de la profondeur et du cycle nycthéral sur la disponibilité du capelan aux chaluts de fond. Ces révisions réduisent la variabilité interannuelle et l'incertitude par rapport aux approches précédentes et répondent aux recommandations de recherche formulées lors des évaluations antérieures. Les résultats indiquent que la biomasse mature du nGSL est demeurée constamment faible depuis 2013, tandis que le sud du golfe a présenté des niveaux de biomasse plus élevés accompagnés d'augmentations épisodiques. Les estimations de mortalité par la pêche, calculées comme le ratio entre les débarquements et l'indice de biomasse mature du nord du golfe, sont généralement demeurées égales ou inférieures à 0,25. Ces niveaux sont inférieurs à la mortalité naturelle attendue attribuable à la prédation ainsi qu'aux valeurs considérées durables pour une espèce à courte durée de vie. En l'absence de points de référence approuvés, l'état du stock en 2025 demeure incertain. Toutefois, compte tenu de la mortalité par pêche relativement faible et de l'absence de tendance à la baisse de la biomasse dans le nord du golfe depuis 2013, combinées aux augmentations récentes observées dans le sud du golfe, les niveaux de prélèvements se situant dans l'intervalle observé depuis 2013 (1 224–11 825 t) sont peu susceptibles de représenter un risque pour le stock durant les saisons de pêche 2026–2027.

6. REMERCIEMENTS

L'évaluation du capelan du 4RST nécessite la collaboration et la coordination de nombreuses personnes et ressources provenant des régions du Québec, du Golfe ainsi que de Terre-Neuve-et-Labrador. Nous souhaitons remercier toutes les personnes ayant participé au processus d'examen par les pairs et y ayant contribué, le président de la réunion (Jordan Ouellette-Plante), l'équipe de gestion des données et le personnel de soutien technique de l'IML, le réseau d'échantillonneurs aux débarquements du MPO, les divisions des statistiques du MPO, les gestionnaires régionaux des pêches du MPO, ainsi que tous les intervenants ayant fourni leurs connaissances et leurs échantillons. Nous souhaitons également souligner les contributions de la Garde côtière canadienne ainsi que des équipages des NGCC Cabot et Cartier (relevés multispécifiques au chalut de fond du MPO réalisés en août et septembre). Enfin, nous remercions sincèrement Hannah Murphy et François-Étienne Sylvain pour la révision d'une version antérieure du présent document.

7. RÉFÉRENCES

- Aarflot, J.M., Dalpadado, P. and Fiksen, Ø. 2020. Foraging success in planktivorous fish increases with topographic blockage of prey distributions. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 644: 129–142.
- Anderson, S.C., Ward, E.J., English, P.A., Barnett, L.A.K. and Thorson, J.T. 2025. sdmTMB: an R package for fast, flexible, and user-friendly generalized linear mixed effects models with spatial and spatiotemporal random fields. *Journal of Statistical Software* 115, 2: 1–46.
- Bailey, R.F.J., Able, K.W. and Leggett, W.C. 1977. Seasonal and Vertical Distribution and Growth of Juvenile and Adult Capelin (*Mallotus villosus*) in the St. Lawrence Estuary and Western Gulf of St. Lawrence. *J. Fish. Res. Board Can.* 34: 2015–2029.
- Baker, K.D., Le Corre, N., Bourret, A., Parent, G., Fulton, S., Duprey, N. M., and Cox, S. 2025. Spatial stock structure of northern shrimp *Pandalus borealis* Krøyer, 1838 (Decapoda: Caridea: Pandalidae) in Canada's Northwest Atlantic. *Journal of Crustacean Biology* 45, 2
- Benoît, H.P. and Swain, D.P. 2008. Impacts of environmental change and direct and indirect harvesting effects on the dynamics of a marine fish community. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 65: 2088–2104.
- Benoît, H.P., and Yin, Y. 2023. [Results of Comparative Fishing Between the CCGS Teleost Fishing the Western IIA Trawl and CCGS Capt. Jacques Cartier Fishing the NEST Trawl in the Southern Gulf of St. Lawrence in 2021 and 2022.](#) DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2023/083. xiii + 183 p.
- Bill C-68: [An Act to amend the Fisheries Act and other Acts in consequence.](#) 2019. 1st Reading Feb. 6, 2018, 42nd Parliament, 2nd session. Retrieved from the Parliament of Canada website.
- Bivand, R. and Luque, S. 2025. suntools: Calculate Sun Position, Sunrise, Sunset, Solar Noon and Twilight. R package version 1.1.0, <https://github.com/adokter/suntools>.
- Boudreau, M., Chamberland, J.M., Girard, L., Boudreau, M., Benoît, H., Lehoux, C., Smith, A., Galbraith, P. and Plourde, S. 2023. [Capelin in the Estuary and Gulf of St. Lawrence \(NAFO Divs. 4RST\) in 2021.](#) DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2023/018. v + 51 p.
- Boudreau, M., Van Beveren, E., Lévesque, L., et Plourde, S. 2026. [Le capelan dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent \(OPANO 4RST\) en 2022 et 2023.](#) Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2026/007. v + 78 p.
- Bourdages, H., Brassard, C., Desgagnés, M., Galbraith, P., Gauthier, J., Nozères, C., Scallon-Chouinard, P.-M., et Senay, C. 2019. [Résultats préliminaires du relevé multidisciplinaire de poissons de fond et de crevette d'août 2018 dans l'estuaire et le nord du golfe du Saint-Laurent.](#) Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2019/037. iv + 87 p.
- Brooks, M.E., Kristensen, K., van Benthem, K.J., Magnusson, A., Berg, C.W., Nielsen, A., Skaug, H.J., Maechler, M. and Bolker, B.M. 2017. glmmTMB Balances Speed and Flexibility Among Packages for Zero-inflated Generalized Linear Mixed Modeling. *The R Journal* 9, 2: 378–400.
- Buren, A. D., Koen-Alonso, M. and Montevercchi, W. A. 2012. Linking predator diet and prey availability: common murre and Capelin in the Northwest Atlantic. *Marine Ecology Progress Series*, 445: 25-35.

-
- Burton M.P.M and Flynn, S.R. 1998. Differential postspawning mortality among male and female capelin (*Mallotus villosus* Müller) in captivity. Canadian Journal of Zoology 76, 3: 588-592.
- Carscadden, J.E. 1979. [Capelin \(*Mallotus villosus*\) in the Gulf of St. Lawrence](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 1979/24. 13 p.
- Carscadden, J.E. and Misra, R.K. 1979. Multivariate Analysis of Meristic Characters of Capelin (*Mallotus villosus*) in the Northwest Atlantic. ICNAF Res. Doc. 79/II/29. Serial No. 5355.
- Cayuela, H., Rougemont, Q., Laporte, M., Mérot, C., Normandeau, E., Dorant, Y., Tørresen, O.K., Hoff, S.N.K., Jentoft, S., Sirois, P., Castonguay, M., Jansen, T., Præbel, K., Clément, M. and Bernatchez, L. 2020. Shared ancestral polymorphisms and chromosomal rearrangements as potential drivers of local adaptation in a marine fish. Mol. Ecol. 29(13): 2379–2398.
- Chadwick, E., Brodie, W., Colbourne, E., Clark, D., Gascon, D and Hurlbut, T. 2007. [History of annual multi-species trawl surveys on the Atlantic coast of Canada](#). Atlantic Zonal Monitoring Program Bulletin 6:25-42.
- Chamberland, J.-M., Plourde, S. and Benoît, H.B. 2022. [Biological characteristics, factors affecting catchability, and abundances indices of Capelin in the southern and northern Gulf of St Lawrence multi species bottom trawl surveys](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2021/77. iv + 41 p.
- Chamberland, J.-M., Bourdages, H., Desgagnés, M., Galbraith, P., Isabel, L., Ouellette-Plante, J., Roux, M.-J., Scallon-Chouinard, P.-M., et Senay, C. 2025. [Résultats préliminaires du relevé écosystémique d'août 2024 dans l'estuaire et le nord du golfe du Saint-Laurent](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Doc. de rech. 2025/032. iv + 102 p.
- Chevris, M., Bourret, A., Côté, G., Faille, G., Gagné, N. and Parent, G.J. 2025. Improving an endangered marine species distribution using reliable and localized environmental DNA detections combined with trawl captures. Sci Rep 15, 11926. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-95358-3>
- Christiansen, J. S., Præbel, K., Siikavuopio, S. I., and Carscadden, J. E. 2008. Facultative semelparity in Capelin *Mallotus villosus* (Osmeridae)-an experimental test of a life history phenomenon in a sub-arctic fish. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 360(1): 47-55.
- Courtois, R. and Dodson, J.J. 1986. Régime alimentaire et principaux facteurs influençant l'alimentation des larves de capelan (*Mallotus villosus*), d'éperlan (*Osmerus mordax*) et de hareng (*Clupea harengus harengus*) dans un estuaire partiellement mélangé. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 43: 968–979.
- Courtois, R., Simoneau, M. and Dodson, J.J. 1982. Interactions multispécifiques: répartition spatio-temporelle des larves de capelan (*Mallotus villosus*), d'éperlan (*Osmerus mordax*) et de hareng de l'Atlantique (*Clupea harengus harengus*) au sein de la communauté planctonique de l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 39: 1164–1174.
- Coussau, L., Van Beveren, E., Boudreau, M., and Jac, R. 2026. Preliminary results for the investigation of natal origin in capelin (*Mallotus villosus*) from the Gulf of St. Lawrence using otolith chemistry. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3762: vii + 40 p. <https://doi.org/10.60825/97zm-6s40>
-

-
- Daigle, D., and Benoît, H.P. 2007. Procedures for commercial catch sampling of finfish and shrimp in the southern Gulf of St. Lawrence (Fisheries and Oceans Canada, Gulf Region). Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2833: iv + 63 pp.
- Dalpadado, P. and Mowbray, F. 2013. Comparative analysis of feeding ecology of Capelin from two shelf ecosystems, off Newfoundland and in the Barents Sea. Prog. Oceanogr. 114: 97–105.
- Davoren, G.K. and Montevecchi, W.A. 2006. Shoal behaviour and maturity relations of spawning Capelin (*Mallotus villosus*) off Newfoundland: demersal spawning and diel vertical movement patterns. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 63: 268–284.
- de Lafontaine, Y. Demers, S. and Runge, J. 1991. Pelagic Food Web Interactions and Productivity in the Gulf of St. Lawrence: A perspective. In The Gulf of St. Lawrence: Small Ocean or Big Estuary? Edited by J.-C. Therriault. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 113: 350 p.
- DFO. 2009. [A fishery decision-making framework incorporating the precautionary approach](#). Last updated 2009-03-23.
- Dodson, J.J., Tremblay, S., Colombani, F., Carscadden, J.E. and Lecomte, F. 2007. Trans-Arctic dispersals and the evolution of a circumpolar marine fish species complex, the Capelin (*Mallotus villosus*). Mol. Ecol. 16: 5030–5043.
- Duplisea, D.E., Merette, D., Roux, M.-J., Benoît, H.P., Blais, M., Galbraith, P. and Plourde, S. 2020. gslea: the Gulf of St Lawrence ecosystem approach data matrix R-package. R package version 0.1 <https://github.com/duplisea/gslea>.
- Flynn, S.R., Nakashima, B.S. and Burton, M.P.M. 2001. Direct assessment of post-spawning survival of female capelin, *Mallotus villosus*. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 81, 2: 307–312.
- Fordham, D.A., Brown, S.C., Canteri, E., Austin, J.J., Lomolino, M.V., Haythorne, S., Armstrong, E., Bocherens, H., Manica, A., Rey-Iglesia, A., Rahbek, C., Nogués-Bravo, D. and Lorenzen, E.D. 2024. 52,000 years of woolly rhinoceros population dynamics reveal extinction mechanisms, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 121 (24) e2316419121, <https://doi.org/10.1073/pnas.2316419121>
- Fortier, L. and Leggett, W.C. 1983. Vertical migrations and transport of larval fish in a partially mixed estuary. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 40: 1543–1555.
- Fortier, L. and Leggett, W.C. 1985. A drift study of larval fish survival. Mar. Ecol. Prog. Ser. 25: 245–257.
- Frank, K.T. and Leggett, W.C. 1981. Prediction of egg development and mortality rates in Capelin (*Mallotus villosus*) from meteorological, hydrographic, and biological factors. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 38: 1327–1338.
- Friis-Rodel, E. and Kannevorf, P. 2002. A review of capelin (*Mallotus villosus*) in Greenland waters. ICES Journal of Marine Science 59(5): 890–896.
- Gaichas, S.R., Gartland, J., Smith, B.E., Wood, A.D., Ng, E.L., Celestino, M., Drew, K., Tyrell, A.S. and Thorson, J.T. 2024. Assessing small pelagic fish trends in space and time using piscivore stomach contents. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 81, 8 : 990-1012.
- GEBCO Compilation Group 2020. GEBCO 2020 Grid.

-
- Grégoire, F. and Girard, L. 2014. Abondance et distribution des œufs et des larves de poissons autres que le maquereau bleu (*Scomber scombrus* L.) récoltés dans le sud du golfe du Saint-Laurent entre 1983 et 2013. Rapp. stat. can. sci. halieut. aquat. 1256. ix + 218 p.
- Grégoire, F., Girard, L., Beaulieu, J.-L., Lussier, J.-F. and Bruneau, B. 2013. [Capelin \(*Mallotus villosus*\) in the Estuary and Gulf of St. Lawrence \(NAFO Divisions 4RST\) in 2012](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2013/023. vi + 90 p.
- Guri, G., Liu, O.R., Kelly, R.P., Shaffer, M.R., Parsons, K.M., Ramón-Laca, A., Nichols, K.M., Brandao-Dias, P.F.P. and Shelton, A.O. 2025. Quantitative, Multispecies Monitoring at a Continental Scale. bioRxiv, 2025-10.
- Harley, S.J., Myers, R.A., Barrowman, N.J., Bowen, K. and Amiro, R. 2001. [Estimation of research trawl survey catchability for biomass reconstruction of the eastern Scotian Shelf](#). Can. Stock Ass. Sec. Res. Doc. 2001/084.
- Hartig, F. 2026. DHARMA: Residual Diagnostics for Hierarchical (Multi-Level / Mixed) Regression Models. R package version 0.5.0, <https://github.com/florianhartig/dharma>.
- Ingvaldsen, R.B. and Gjøsæter, H. 2013. Responses in spatial distribution of Barents Sea Capelin to changes in stock size, ocean temperature and ice cover. Mar. Biol. Res. 9(9): 867–877.
- Jac, R., Coussau, L., van Beveren, E., Boudreau, M., Le Pape, O., Robert, D., Brosset, P. and Sirois, P. 2026. Multi-year stability of spatial patterns in capelin otolith-edge chemical fingerprints in the Gulf of St. Lawrence, Canada. Fisheries Research 295: 107671.
- Jacquaz, B., Able, K.W. and Leggett, W.C. 1977. Seasonal distribution, abundance, and growth of larval Capelin (*Mallotus villosus*) in the St. Lawrence Estuary and Northwestern Gulf of St. Lawrence. J. Fish. Res. Board Can. 34: 2008–2014.
- Jeunen, G.J., Lamare, M.D., Knapp, M., Spencer, H.G., Taylor, H.R., Stat, M., Bunce, M. and Gemmell, N.J. 2020. Water stratification in the marine biome restricts vertical environmental DNA (eDNA) signal dispersal. Environmental DNA 2, 1: 99-111.
- Kennington, E.L., Nakashima, B.S., Taggart, C.T. and Hamilton, L.C. 2015. Genetic structure of Capelin (*Mallotus villosus*) in the Northwest Atlantic Ocean. PLoS ONE. 10(3): e0122315. doi:10.1371/journal.pone.0122315
- Kristensen, K., Nielsen, A., Berg, C.W., Skaug, H. and Bell, B.M. 2016. TMB: Automatic Differentiation and Laplace Approximation. Journal of Statistical Software 70,5: 1–21.
- Lambert, J.-D. and Bernier, B. 1989. [Observations on 4RST Capelin in the Gulf of St. Lawrence \(A retrospective, 1984–1987\)](#). CAFSAC Res. Doc. 1989/008. 33 p.
- Lambert, J.-D. and B. Ménager. 1998. Protocoles d'échantillonnage des captures commerciales de poissons et d'invertébrés marins du golfe du Saint-Laurent. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2208. x + 246 p.
- Le Cren, E.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.
- Lehoux, C., Plourde, S., Chamberland, J.-M. and Benoît, H. 2022. [Linking interannual variations of Capelin abundance indices in the Gulf of St. Lawrence to environmental proxies of bottom-up regulation of cohort strength](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2021/068. iv + 51 p.
-

-
- Leung, C., Chevrinai, M., Druon, J.-N., Bowlby, H.D., Turcotte, F., Gagné, N., Parent, G.J. and Benoît, H.P. 2026. Advancing species distribution modeling with multispecies eDNA metabarcoding: the case of the Atlantic bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) in the Gulf of St. Lawrence (Canada). *Ecological Indicators* 183, 114677, ISSN 1470-160X.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2026.114677>.
- 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.
- Lindgren, F. 2026. fmesher: Triangle Meshes and Related Geometry Tools. R package version 0.6.1.9006
- Maxner, E., Halden, N.M., Roth, J.D. and Davoren, G.K. 2016. Intrinsic factors influence the timing of arrival of Capelin (*Mallotus villosus*) to spawning grounds in coastal Newfoundland. *Fish. Res.* 179: 202–212.
- McQuinn, I.H., Bourassa, M.-N., Tournois, C., Grégoire, F. and Baril, D. 2012. [Ecologically and biologically significant areas in the Estuary and Gulf of St. Lawrence: small pelagic fishes](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2012/087. iii + 76 p.
- Mecklenburg, C.W. and D. Steinke. 2015. [Ichthyofaunal baselines in the Pacific Arctic region and RUSALCA study area](#). *Oceanography* 28(3): 158–189.
- Mecklenburg, C.W., Lynghammar, A., Johannesen, E., Byrkjedal, I., Christiansen, J.S., Dolgov, A.V., Karamushko, O.V., Mecklenburg, T.A., Møller, P.R., Steinke, D. and Wienerroither, R.M. 2018. Marine Fishes of the Arctic Region. Conservation of Arctic Flora and Fauna, Akureyri, Iceland. 1. 454 p.
- Miya, M., Sato, Y., Fukunaga, T., Sado, T., Poulsen, J.Y., Sato, K., Minamoto, T., Yamamoto, S., Yamanaka, H., Araki, H., Kondoh, M. and Iwasaki, W. 2015. MiFish, a set of universal PCR primers for metabarcoding environmental DNA from fishes: detection of more than 230 subtropical marine species. *R Soc Open Sci.* 2, 7: 150088.
<https://doi.org/10.1098/rsos.150088>
- Mowbray, F.K. 2002. Changes in the vertical distribution of Capelin (*Mallotus villosus*) off Newfoundland. *ICES J. Mar. Sci.* 59: 942–949.
- MPO. 2023. [Évaluation du stock de flétan du Groenland du golfe du Saint-Laurent \(4RST\) en 2022](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Avis sci. 2023/022.
- MPO. 2024. [Évaluation du stock de capelan \(*Mallotus villosus*\) de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent \(divisions 4RST\) en 2022 et 2023](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Avis sci. 2024/021.
- MPO. 2026. [Évaluation du stock de capelan \(*Mallotus villosus*\) de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent \(divisions 4RST\) en 2025](#). Secr. can. des avis sci. du MPO. Avis sci. 2026/014.
- Murphy, H. M., Adamack, A. T., Koen-Alonso, M., Lundrigan, P., and Mowbray, F. K. 2025. Running on empty: capelin diet after stock collapse. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 35,3: 1465-1485.
- Nakashima, B.S., Carscadden, J.E., and Lilly, G.R. 1982. [Capelin \(*Mallotus villosus*\) Biology and History of the Fishery in the Northern Gulf of St. Lawrence, Div. 4RS](#). CAFSAC Res. Doc. 82/29. 11 p.
-

-
- Nephin, J., Thompson, P.L., Anderson, S.C., Park, A.E., Rooper, C.N., Aulthouse, B. and Watson, J. 2023. Integrating disparate survey data in species distribution models demonstrate the need for robust model evaluation. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 80, 12: 1869-1889.
- Ng, E.L., Deroba, J.J., Essington, T.E., Grüss, A., Smith, B.E. and Thorson, J.T. 2021. Predator stomach contents can provide accurate indices of prey biomass. *ICES Journal of Marine Science* 78, 3: 1146-1159.
- O'Boyle, R.N. and Lett, P.F.K. 1977. [Status of Capelin \(*Mallotus villosus*\) stocks in the Gulf of St. Lawrence](#). CAFSAC Res. Doc. 1977/004. 18 p.
- O'Driscoll, R.L., Rose, G.A. and Anderson, J.T. 2002. Counting Capelin: a comparison of acoustic density and trawl catchability. *ICES Journal of Marine Science* 59(5): 1062–1071.
- Ogle, D.H., Doll, J.C., Wheeler, A.P. and Dinno, A. 2026. FSA: Simple Fisheries Stock Assessment Methods. [doi:10.32614/CRAN.package.FSA](#), R package version 0.10.1, <https://CRAN.R-project.org/package=FSA>.
- Ouellet, P. 1987. Distribution automnale des stades larvaires de capelan (*Mallotus villosus*) et de hareng (*Clupea harengus*) dans le nord du golfe Saint-Laurent en Octobre 1985. *Rapp. tech. Can. sci. halieut. aquat.* 1583 : 27 p.
- Ouellet, P., Bui, A.O.V., Lavoie, D., Chassé, J., Lambert, N., Ménard, N. and Sirois, P. 2013. Seasonal distribution, abundance, and growth of larval Capelin (*Mallotus villosus*) and the role of the Lower Estuary (Gulf of St. Lawrence, Canada) as a nursery area. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 70: 1508–1530.
- Ouellette-Plante, J., Chabot, D., Nozères, C. and Bourdages, H. 2020. Diets of demersal fish from the CCGS Teleost ecosystemic surveys in the estuary and northern Gulf of St. Lawrence, August 2015–2017. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 3383. v + 121 p.
- Ouellette-Plante, J., Benoît, H., Plourde, S. and Chabot, D. 2022. [Preliminary estimates of annual Capelin consumption by Atlantic Cod and Greenland Halibut](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2022/013. iv + 48 p.
- Patterson, K. 1992. Fisheries for small pelagic species: an empirical approach to management targets. *Rev. Fish Biol. Fish.* 2(4): 321–338.
- Penton, P.M., Davoren, G.K., Montevecchi, W.A. and Andrews, D.W. 2012. Beach and demersal spawning in Capelin (*Mallotus villosus*) on the northeast Newfoundland coast: Egg developmental rates and mortality. *Can. J. Zool.* 90: 248-256.
- Præbel K., Westgaard, J.I., Fevolden, S.E., and Christiansen, J.S. 2008. [Circumpolar genetic population structure of Capelin *Mallotus villosus*](#). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 360: 189–199.
- Purchase, C.F. 2018. Low tolerance of salt water in a marine fish: new and historical evidence for surprising local adaption in the well-studied commercially exploited Capelin. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 75: 673–681.
- Rose, G.A. 1988. Temporal and spatial variability in onshore Cod (*Gadus morhua*) migrations: Associations with atmosphere-ocean dynamics and Capelin (*Mallotus villosus*) distributions (PhD Thesis). McGill University. Montreal, Quebec, Canada. 307 p.
- Rose, G.A. 2005. Capelin (*Mallotus villosus*) distribution and climate: a sea “canary” for marine ecosystem change. *ICES J. Mar. Sci.* 62: 1524–1530.

-
- Saunders, M.D., Steeves, R., MacIntyre, L.P., Knysh, K.M., Coffin, M.R.S., Boudreau, M., Pater, C.C., van den Heuvel, M.R. and Courtenay, S.C. 2024. Monitoring estuarine fish communities: environmental DNA (eDNA) metabarcoding as a complement to beach seining. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 81, 10: 1344-1357.
<https://doi.org/10.1139/cjfas-2023-0227>
- Savenkoff, C., Grégoire, F. and Chabot, D. 2004. Main prey and predators of Capelin (*Mallotus villosus*) in the northern and southern Gulf of St. Lawrence during the mid-1980s and mid-1990s. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2551: vi + 30 p.
- Sharp, J.C., Able, K.W., Leggett, W.C. and Carscadden, J.E. 1978. The utility of meristic and morphometric characters in the identification of Capelin (*Mallotus villosus*) stocks in Canadian Atlantic waters. *J. Fish. Res. Board Can.* 35: 124–130.
- Simard, Y., Lavoie, D. and Saucier, F.J. 2002. Channel head dynamics: Capelin (*Mallotus villosus*) aggregation in the tidally driven upwelling system of the Saguenay-St. Lawrence Marine Parks's whale feeding ground. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 59: 197–210.
doi:10.1139/F01-210
- Sirois, P., Diab, G., Fortin, A.-L., Plourde, S., Gagné, J.A. and Ménard, N. 2009. Recrutement des poissons dans le fjord du Saguenay. *Rev. Sci. Eau*, 22(2): 341–352.
doi:10.7202/037488ar
- Templeman, W. 1948. The life history of the Capelin (*Mallotus villosus* O.F. Müller) in Newfoundland waters. St-John's NFLD: Newfoundland Government Laboratory. 151 p.
- Thompson, P.L., Anderson, S. C., Nephin, J., Robb, C. K., Proudfoot, B., Park, A.E., Haggarty D.R. and Rubidge, E. M. 2022. Integrating trawl and longline surveys across British Columbia improves groundfish distribution predictions. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 80, 1: 195-210.
- Vesin, J.-P. 1981. The Feeding Ecology of Capelin (*Mallotus villosus*) in the Estuary and Western Gulf of St. Lawrence (PhD Thesis). McGill University. Montreal, Quebec, Canada. 33 p.
- Winters, G.H. 1970. Biological changes in coastal capelin from the over-wintering to the spawning condition. *Journal of the Fisheries Board of Canada* 27: 2215-2224.

TABLEAUX

Tableau 1: Récapitulatif de la répartition du quota de pêche au capelan de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent, par division de l'OPANO et type d'engin. Les zones de pêche du capelan (ZPC) sont indiquées entre parenthèses.

Division OPANO	Type d'engin	Type de Quota	Allocation (%)
4R (12*–14)	Engin fixe	Compétitif	37,82
	Engin mobile < 65'	Quota individuel	24,15
	Engin mobile ≥ 65'	Compétitif	24,15
4ST (15–16)	Tous les types d'engin	Compétitif	13,88

* La ZPC 12 inclut la sous-division 3Pn de l'OPANO et des parties de la sous-division 3Ps.

Tableau 2: Coefficient de la relation longueur (mm) – poids (g) ajustée annuelle ($Poids = a \times Longueur^b$) estimés à partir des échantillons de capelan dans le golfe du Saint-Laurent nord (nGSL) et sud (sGSL).

Year	sGSL		nGSL	
	a	b	a	b
1990	0,00432	3,121	-	-
1991	0,00469	3,073	-	-
1992	0,00301	3,212	-	-
1993	0,01245	2,648	-	-
1994	0,00534	2,994	-	-
1995	0,003	3,208	0,00081	3,671
1996	0,00412	3,076	-	-
1997	0,00295	3,209	0,00009	4,597
1998	0,00342	3,146	0,00145	3,467
1999	0,00341	3,157	0,00094	3,57
2000	0,00495	3,015	0,05966	2,089
2001	0,00228	3,338	0,00169	3,381
2002	0,00681	2,912	0,00358	3,089
2003	-	-	0,00182	3,31
2004	0,00354	3,158	0,00163	3,38
2005	0,0011	3,605	0,00267	3,187
2006	0,00215	3,331	0,00262	3,199
2007	0,00506	3,000	0,00173	3,342
2008	0,00301	3,206	0,00282	3,154
2009	0,00337	3,181	0,00336	3,087
2010	0,0034	3,134	0,00192	3,317
2011	0,00432	3,052	0,00216	3,253
2012	0,00319	3,202	0,00106	3,509
2013	0,00465	3,041	0,00239	3,207
2014	0,00329	3,158	0,00185	3,312
2015	0,00269	3,231	0,00040	3,676
2016	0,0032	3,176	0,00203	3,272
2017	0,00267	3,25	0,00098	3,562
2018	0,00319	3,184	0,00040	3,899
2019	0,00304	3,21	0,00123	3,461
2020	0,00156	3,479	0,0011	3,52
2021	0,0026	3,275	0,00153	3,362
2022	0,00322	3,158	0,00661	2,815
2023	0,00323	3,186	0,00253	3,214
2024	0,00444	3,082	0,00284	3,153
2025	0,0035	3,175	0,00151	3,413

Tableau 3: Débarquements commerciaux du capelan du 4RST^{1,2} (t) par division de l'OPANO depuis 1960, incluant les débarquements totaux annuels, les TAC (t) et le pourcentage (%) du TAC atteint.

Année	Division			Total	TAC	%
	4R	4S	4T			
1960	600	46	32	678	-	-
1961	424	50	90	564	-	-
1962	514	4	143	661	-	-
1963	444	13	94	551	-	-
1964	563	33	101	697	-	-
1965	755	50	100	905	-	-
1966	735	88	43	866	-	-
1967	724	39	150	913	-	-
1968	734	30	32	796	-	-
1969	1 394	92	82	1 568	-	-
1970	339	75	42	456	-	-
1971	403	15	46	464	-	-
1972	370	41	126	537	-	-
1973	270	84	75	429	-	-
1974	180	113	128	421	-	-
1975	68	94	105	267	-	-
1976	92	48	336	476	-	-
1977	1 514	69	318	1 901	-	-
1978	8 341	37	1 323	9 701	-	-
1979	5 737	1 132	2 163	9 032	-	-
1980	1 939	15	1 566	3 520	-	-
1981	2 164	1	237	2 402	25 000	10
1982	156	2	235	393	25 000	2
1983	920	-	104	1 024	25 000	4
1984	1 907	-	180	2 087	25 000	8
1985	2 573	-	545	3 118	25 000	12
1986	3 721	-	226	3 948	25 000	16
1987	906	-	67	973	25 000	4
1988	4 386	129	248	4 763	25 000	19
1989	5 257	1 078	444	6 779	25 000	27
1990	6 105	164	153	6 422	25 000	26
1991	7 166	59	247	7 472	21 300	35
1992	7 851	856	56	8 763	5 750	152
1993	9 398	1 262	237	10 897	10 750	101
1994	592	208	165	966	11 725	8
1995	15	90	47	152	11 725	1
1996	6 265	461	172	6 898	9 850	70
1997	7 399	252	238	7 889	11 725	67
1998	8 749	126	776	9 652	11 725	82
1999	4 735	10	166	4 911	12 425	40
2000	5 129	-	-	5 129	12 425	41

Année	Division			Total	TAC	%
	4R	4S	4T			
2001	741	-	-	741	12 425	6
2002	3 295	77	20	3 392	12 425	27
2003	5 032	-	-	5 032	7 455	68
2004	6 521	-	-	6 521	7 455	87
2005	8 659	305	34	8 998	13 000	69
2006	9 322	2 039	518	11 880	13 000	91
2007	6 097	1 344	471	7 911	13 000	61
2008	7 846	2 126	99	10 071	13 000	77
2009	10 147	527	1 405	12 080	13 000	93
2010	-	795	1 258	10 822	13 000	83
2011	9 890	974	1 449	12 314	13 000	95
2012	8 914	478	147	9 539	13 000	73
2013	6 350	236	-	6 587	14 300	46
2014	5 683	20	-	5 703	14 300	40
2015	11 361	107	357	11 825	14 300	83
2016	9 326	78	373	9 777	14 300	68
2017	1 945	19	1	1 965	14 300	14
2018	8 141	356	6	8 503	9 295	91
2019	7 575	427	484	8 486	9 295	91
2020	7 972	1 858	547	10 341	9 295	111
2021³	8 013	1 841	186	9 977	9 295	107
2022³	4 953	117	10	5 079	10 225	50
2023³	1 141	12	2	1 155	10 225	11
2024³	1 773	582	1	2 357	10 225	23
2025³	1 089	131	4	1 224	10 225	12

¹De 1960 à 1978, ICNAF Statistical Bulletins Vol. 10 à 28; De 1979 à 1984 : NAFO Statistical Bulletins Vol. 29 à 34

²Fichier ZIFF depuis 1985

³Données préliminaires

Tableau 4: Débarquements commerciaux (t) de capelan par zone unitaire des divisions OPANO 4R, 4S et 4T depuis 1985. NK = inconnue.

Année	4RA	4RB	4RC	4RD	NK	TOTAL 4R	4SI	4SS	4SV	4SW	4SX	4SY	4SZ	NK	TOTAL 4S	4TF	4TG	4TJ	4TK	4TM	4TN	4TO	4TP	4TQ	NK	TOTAL 4T
1987	624	96	146	1	40	906	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	67	-	-	67
1988	1 429	18	20	12	2 907	4 386	-	-	-	124	-	5	-	-	129	-	-	-	-	-	-	-	248	-	-	248
1989	1 897	47	585	76	2 652	5 257	-	-	2	1 075	-	1	-	-	1 078	-	-	-	-	-	-	-	402	7	35	444
1990	1 959	479	925	104	2 639	6 105	-	-	9	155	-	-	-	-	164	-	-	-	-	-	-	-	141	11	-	153
1991	154	82	4 907	2 023	-	7 166	-	-	-	7	-	-	51	-	59	-	-	-	-	65	-	-	160	23	-	247
1992	1 554	1 506	4 675	117	-	7 851	-	-	-	855	-	-	1	-	856	-	-	-	-	-	-	-	56	-	-	56
1993	791	1 543	5 142	1 922	-	9 398	-	-	-	1 262	-	-	-	-	1 262	-	-	-	-	-	108	-	129	-	-	237
1994	10	265	245	72	-	592	-	-	2	205	-	-	-	-	208	-	-	-	-	47	22	-	96	-	-	165
1995	15	-	-	-	-	15	-	-	-	90	-	-	-	-	90	-	-	-	-	-	-	3	39	5	-	47
1996	630	1 841	3 364	430	-	6 265	-	-	-	415	-	-	46	-	461	-	-	-	-	-	5	5	152	10	-	172
1997	734	2 480	4 171	14	-	7 399	4	-	-	202	-	30	16	-	252	2	5	-	-	7	2	2	214	5	-	238
1998	1 827	3 791	2 550	581	-	8 749	-	-	-	126	-	-	-	-	126	-	-	-	-	-	697	-	-	-	79	776
1999	29	1 675	3 031	-	-	4 735	-	-	-	10	-	-	-	-	10	-	-	-	-	70	77	-	-	-	19	166
2000	-	356	4 773	-	-	5 129	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	605	136	-	741	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	115	856	2 323	-	-	3 295	-	-	-	7	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	2
2003	513	1 070	3 450	-	-	5 032	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2004	3 630	645	2 185	61	-	6 521	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2005	5 025	1 028	2 260	346	-	8 659	-	-	-	305	-	-	-	-	305	-	-	-	-	-	-	-	34	-	-	34
2006	6 027	9	2 530	756	-	9 322	66	149	-	1 317	507	-	-	-	2 039	-	-	-	-	-	474	-	43	-	-	518
2007	5 326	6	691	73	-	6 097	-	-	-	1 344	-	-	-	-	1 344	-	-	-	-	-	430	-	41	-	-	471
2008	883	188	2 692	4 083	-	7 846	-	-	-	1 420	-	-	-	706	2 126	-	-	-	-	-	66	-	33	-	-	99
2009	2 570	2 929	4 116	531	-	10 147	-	-	-	527	-	-	-	-	527	-	-	-	-	-	1 367	-	39	-	-	1 405
2010	2 409	4 785	1 442	133	-	8 769	-	-	-	795	-	-	-	-	795	-	-	-	-	-	1 258	-	-	-	-	1 258
2011	3 378	507	4 021	1 985	-	9 890	-	-	-	974	-	-	-	-	974	24	-	-	16	-	1 409	-	-	-	-	1 449
2012	1 418	1 759	5 590	147	-	8 914	-	-	-	478	-	-	-	-	478	-	-	-	-	-	147	-	-	-	-	147
2013	5 557	344	16	378	54	6 350	-	-	-	236	-	-	-	-	236	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2014	5 197	322	10	154	-	5 683	-	-	-	20	-	-	-	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2015	8 048	1 746	1 309	258	-	11 361	-	-	-	107	-	-	-	-	107	-	-	-	-	-	357	-	-	-	-	357
2016	6 026	2 425	811	65	-	9 326	-	78	-	-	-	-	-	-	78	-	-	-	-	-	373	-	-	-	-	373
2017	223	1 481	240	0	-	1 945	-	-	-	19	-	-	-	-	19	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1
2018	2 375	2 633	2 988	145	-	8 141	-	-	-	356	-	-	-	-	356	-	-	-	-	-	-	-	3	-	2	6
2019	3 029	2 500	1 598	442	-	7 569	-	-	-	427	-	-	-	-	427	-	-	-	-	-	480	-	10	-	-	490
2020*	2 358	2 751	2 588	179	-	7 876	-	-	-	1 856	-	1	-	-	1 858	-	-	-	-	-	490	-	53	-	4	547
2021*	2 101	2 443	3 112	357	-	8 013	-	-	-	1 688	45	-	-	-	1 733	155	-	-	-	-	-	-	33	-	-	188
2022*	3 730	565	612	28	-	4 935	-	-	-	117	-	-	-	-	117	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	10
2023*	1 054	-	74	-	-	1 128	-	-	-	12	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	2
2024*	1 667	36	70	-	-	1 773	-	-	-	582	-	-	-	-	582	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1
2025*	509	41	445	95	-	1 090	-	-	-	52	79	-	-	-	131	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	4

*Preliminary data

Tableau 5: Nombre (#) d'échantillons récoltés et de capelans mesurés par les échantillonneurs à quai dans les divisions OPANO 4RST depuis 1984.

Année	# échantillons			# de poissons			# total d'échantillons	# total de poissons
	4R	4T	4S	4R	4T	4S	4RST	4RST
1984	6	-	1	1,193	-	351	7	1,544
1985	7	-	1	1,954	-	375	8	2,329
1986	12	5	9	3,072	1,163	2,077	26	6,312
1987	3	3	7	826	740	1,766	13	3,332
1988	17	9	17	4,484	2,078	4,405	43	10,967
1989	10	5	6	2,470	1,331	1,506	21	5,307
1990	10	17	28	2,585	4,469	7,448	55	14,502
1991	8	14	11	2,036	3,517	2,826	33	8,379
1992	9	12	10	2,302	3,130	2,555	31	7,987
1993	12	10	5	3,141	2,626	1,247	27	7,014
1994	1	10	7	256	2,616	1,657	18	4,529
1995	6	15	11	1,606	4,333	2,986	32	8,925
1996	13	15	15	3,479	6,200	3,811	43	13,490
1997	10	29	25	2,575	7,322	6,433	64	16,330
1998	9	8	5	2,245	2,080	1,359	22	5,684
1999	9	2	8	2,448	515	2,212	19	5,175
2000	6	-	3	1,553	-	553	9	2,106
2001	2	-	-	478	-	-	2	478
2002	7	-	-	1,974	-	-	7	1,974
2003	9	5	12	2,367	1,177	3,270	26	6,814
2004	8	6	4	2,070	1,524	1,015	18	4,609
2005	7	10	9	1,053	1,523	1,702	26	4,278
2006	10	3	4	1,980	542	1,019	17	3,541
2007	7	3	4	1,959	570	981	14	3,510
2008	7	4	2	1,360	770	517	13	2,647
2009	15	4	5	2,640	733	819	24	4,192
2010	6	8	17	1,032	1,317	3,261	31	5,610
2011	4	7	7	722	1,189	1,277	18	3,188
2012	10	3	9	1,941	486	1,507	22	3,934
2013	7	3	13	1,333	504	2,137	23	3,974
2014	4	4	8	783	717	1,240	16	2,740
2015	7	9	11	1,752	1,512	1,810	27	5,074
2016	6	4	19	1,047	627	3,433	29	5,107
2017	4	5	5	723	871	923	14	2,517
2018	9	19	19	1,620	3,144	3,403	47	8,167
2019	7	12	11	1,189	1,895	1,744	30	4,828
2020	-	8	5	-	1,355	780	13	2,135
2021	11	10	8	1,991	1,597	1,221	29	4,809
2022	8	9	5	1,341	1,359	788	22	3,488
2023	3	-	1	650	-	173	4	823
2024	3	10	6	546	1,704	999	19	3,249
2025	-	5	1	-	1,018	161	6	1,179

Tableau 6: Nombre (#) de capelans récoltés par les échantillonneurs à quai et analysés en laboratoire depuis 1984.

Année	# échantillons			# de poissons			# total d'échantillons	# total de poissons
	4R	4T	4S	4R	4T	4S	4RST	4RST
1984	6	-	1	191	-	50	7	241
1985	7	-	1	235	-	31	8	266
1986	12	5	9	164	62	98	26	324
1987	3	3	7	114	80	172	13	366
1988	17	9	17	513	188	376	43	1077
1989	10	5	6	208	401	204	21	813
1990	10	17	27	177	222	207	54	606
1991	8	14	11	129	173	157	33	459
1992	9	12	10	169	85	113	31	367
1993	12	10	5	202	157	67	27	426
1994	1	10	8	17	509	306	19	832
1995	6	15	11	202	148	127	32	477
1996	13	15	15	169	162	170	43	501
1997	10	29	25	169	339	343	64	851
1998	9	8	5	139	120	52	22	311
1999	9	2	8	241	36	100	19	377
2000	8	-	3	661	-	58	11	719
2001	2	-	-	54	-	-	2	54
2002	7	-	-	204	-	-	7	204
2003	9	5	12	159	77	135	26	371
2004	8	6	4	238	107	95	18	440
2005	7	10	9	211	176	226	26	613
2006	10	3	4	302	50	94	17	446
2007	7	3	4	218	49	72	14	339
2008	7	4	2	211	60	40	13	311
2009	15	4	5	237	70	66	24	373
2010	6	8	17	157	128	243	31	528
2011	4	7	7	158	148	258	18	564
2012	10	3	9	252	52	109	22	413
2013	7	5	13	204	77	166	25	447
2014	4	6	8	170	61	90	18	321
2015	7	9	11	217	132	141	27	490
2016	6	4	20	177	60	280	30	517
2017	4	5	5	144	71	55	14	270
2018	9	19	19	238	220	365	47	823
2019	7	12	11	209	162	131	30	502
2020	-	8	5	-	134	51	13	185
2021	11	10	8	258	113	97	29	468
2022	8	5	9	245	75	119	22	439
2023	3	-	1	121	-	20	4	141
2024	3	10	6	123	13	186	19	322
2025	-	5	1	-	105	73	6	178

Tableau 7: Résumé des différentes configurations de modèles et de leur critère d'information d'Akaike (AIC) associé, utilisés pour ajuster la biomasse mature du capelan (biomasse) et l'abondance des individus d'âge 1 à l'aide de sdmTMB pour les relevés du nord (nGSL) et du sud (sGSL) du golfe du Saint-Laurent. Dans le cas du nGSL, la profondeur a été transformée logarithmiquement, tandis que dans le sGSL elle a été modélisée à l'aide d'un polynôme du second degré appliqué à la profondeur transformée logarithmiquement. Le tiret (–) indique que le modèle n'a pas convergé ou que les tests de validation (sanity checks) n'ont pas été satisfaits. (Temps.R = temps en heures; Temps.C = temps en catégories jour et nuit).

Modèle	nGSL		sGSL	
	Biomasse AIC	Âge-1 AIC	Biomasse AIC	Âge-1 AIC
~ 1	6 504	13 971	8 549	27 790
~ Profondeur	6 389	13 877	8 455	27 481
~ Profondeur + Temps.R	-	-	8 431	27 483
~ Profondeur + Temps.C	6 390	13 876	8 426	27 480
~ Profondeur + Temps.C + Profondeur * Temps.C	6 385	13 861	8 380	27 424

Tableau 8: Somme des log-vraisemblances (LL), erreur quadratique moyenne (RMSE) et erreur absolue moyenne (MAE) estimées à partir de la validation croisée à 50 sous-ensemble pour les différentes configurations de modèles utilisées pour ajuster la biomasse mature (biomasse) et le nombre de capelans d'âge 1, en considérant l'effet de l'année soit comme facteur catégoriel (FC), soit comme effet aléatoire tiré d'une distribution normale (RE) et suivant un processus autorégressif d'ordre 1 (AR(1)). (FE = combinaison des variables prédictives à effets fixes sélectionnées selon le plus faible AIC du tableau 7).

Modèle	LL	nGSL			sGSL		
		LL	RMSE	MAE	LL	RMSE	MAE
Biomasse ~ FE + RE + AR(1)	-22 336	55,43	3,90	-17 209	86,23	4,21	
Biomasse ~ FE + FC + AR(1)	-23 189	62,48	4,12	-16 884	77,18	3,78	
Âge-1 ~ FE + RE + AR(1)	-35 406	993,78	55,73	-25 712	1 584,16	241,14	
Âge-1 ~ FE + FC + AR(1)	-35 786	992,87	55,34	-25 895	1 549,38	236,54	

Tableau 9: Coefficients des effets fixes et aléatoires ainsi que des paramètres de distribution, avec leurs incertitudes [intervalle de confiance à 95 %], des modèles sdmTMB sélectionnés pour la biomasse mature (biomasse) et l'abondance des individus d'âge 1 (âge 1) dans le cadre du relevé du nord du golfe du Saint-Laurent (nGSL). Le temps est traité comme variable catégorielle (jour/nuit). Le tiret (–) indique que le modèle n'a pas convergé ou que les tests de validation (sanity checks) n'ont pas été satisfaits.

Paramètres fixes		Définition	Biomasse	Âge-1
Effets principaux (β)	β_0	intercepte	9,66 [8,01;11,32]	15,29 [12,78;17,81]
	β_1	log(profondeur)	-1,77 [-2,06;-1,48]	-2,59 [-3,06;-2,13]
	β_2	temps	-1,68 [-3,04;-0,32]	-5,08 [-7,37;-2,80]
	β_3	profondeur*temps	0,31 [0,06;0,57]	0,93 [0,50;1,37]
Paramètres de distribution (Tweedie)	ϕ	Paramètre de dispersion	0,82 [0,76;0,89]	0,37 [0,33;0,42]
	p	Puissance de la distribution de Tweedie	1,61 [1,60;1,63]	-
Paramètres contrôlant les champs aléatoires spatial (ω_t) et ($\delta_{t,y}$)	κ	Gamme du paramètre de Matérn partagé entre ω_t et $\delta_{t,y}$	93,20 [83,81;103,64]	121,80 [106,16;139,72]
	σ_ω^2	Variance marginale de la matrice de précision de ω_t	35,14 [27,65;44,66]	42,81 [32,09;57,11]
	σ_δ^2	Variance marginale de la matrice de précision de $\delta_{t,y}$	40,66 [34,98;47,26]	52,12 [43,60;62,30]
	ρ	Corrélation entre champs aléatoires spatio-temporels successifs $\delta_{t,y}$	0,41 [0,31;0,50]	0,47 [0,35;0,57]

Tableau 10: Coefficients des effets fixes et aléatoires ainsi que des paramètres de distribution, avec leurs incertitudes [intervalle de confiance à 95 %], des modèles sdmTMB sélectionnés pour la biomasse mature (biomasse) et l'abondance des individus d'âge 1 (âge 1) dans le cadre du relevé du sud du golfe du Saint-Laurent (sGSL). Le temps est traité comme variable catégorielle (jour/nuit). Le tiret (–) indique que le modèle n'a pas convergé ou que les tests de validation (sanity checks) n'ont pas été satisfaits. Les estimations des coefficients de l'effet fixe de l'année (traîtée comme facteur) sont présentées aux figures 34 et 47 pour la biomasse mature et l'abondance du capelan d'âge 1, respectivement.

Paramètres fixes		Définition	Biomasse	Âge-1
Effets principaux (β)	β_0	intercepte	-8,74 [-11,03;-6,45]	-5,15 [-7,85;-2,46]
	β_1	poly(log(profondeur,1))	101,09 [76,20;125,97]	104,60 [74,33;134,88]
	β_2	poly(log(profondeur,2))	-80,49, [-99,87;-61,11]	-108,70 [-131,67;-85,74]
	β_3	temps	0,35 [0,15;0,55]	-0,25 [-0,49;0]
	β_4	poly(log(profondeur,1))*temps	34,28 [17,63;50,93]	53,61 [33,14;74,07]
	β_4	poly(log(profondeur,2))*temps	20,23 [3,97;36,49]	31,88 [11,26;52,50]
Paramètres de distribution (Tweedie)	ϕ	Paramètre de dispersion	1,16 [1,06;1,28]	0,31 [0,28;0,33]
	p	Puissance de la distribution de Tweedie	1,61 [1,60;1,63]	-
Paramètres contrôlant les champs aléatoires spatial (ω_t) et ($\delta_{t,y}$)	κ	Gamme du paramètre de Matérn partagé entre ω_t et $\delta_{t,y}$	67,54 [60,03;76,00]	86,70 [76,69;98,03]
	σ_ω^2	Variance marginale de la matrice de précision de ω_t	21,62 [16,99;27,53]	34,09 [26,36;44,08]
	σ_δ^2	Variance marginale de la matrice de précision de $\delta_{t,y}$	29,97 [25,84;34,76]	37,04 [31,50;43,56]
	ρ	Corrélation entre champs aléatoires spatio-temporels successifs $\delta_{t,y}$	0,44 [0,35;0,52]	0,43 [0,32;0,54]

Tableau 11: Résumé des valeurs des indicateurs de niveau de prélèvements estimés de 1996 à 2023 (moyenne, minimum et maximum) ainsi que pour 2024 et 2025. (IC = intervalle de confiance).

Indicateur	Moyenne [IC 95%]	Minimum	Maximum	2024	2025
Taux d'exploitation	0,068 [0,046; 0,091]	0,003	0,219	0,783	0,031
Mortalité par la pêche	0,073 [0,048; 0,099]	0,003	0,248	1,529	0,031

Tableau 12: Résumé des différentes configurations de modèles, de leur critère d'information d'Akaike (AIC) associé et des résultats de la validation croisée à 50 sous-ensembles utilisés pour ajuster la présence et l'absence (PA) du capelan dans les contenus stomacaux combinés du flétan du Groenland et de la morue franche dans le nord du golfe du Saint-Laurent. La variable Profondeur suivait une fonction polynomiale de second degré appliquée à la profondeur du fond transformée en logarithme. Le tiret (-) indique qu'aucune validation croisée n'a été effectuée. (Pred = morue franche ou flétan du Groenland comme facteur, RE = année comme effet aléatoire, FC = année comme facteur, LL = somme des log-vraisemblances, RMSE = racine de l'erreur quadratique moyenne, MAE = erreur absolue moyenne).

Modèle	AIC	LL	RMSE	MAE
PA ~ 1	3 384	-	-	-
PA ~ Profondeur	3 354	-	-	-
PA ~ Profondeur + Pred	3 349	-	-	-
PA ~ Profondeur + Pred + RE	3 198	-1 546	0 345	0 236
PA ~ Profondeur + Pred + FC	3 157	-1 563	0 345	0 234

Tableau 13: Coefficients des effets fixes et aléatoires, ainsi que leurs incertitudes [intervalle de confiance à 95 %], de la configuration de modèle retenue pour ajuster la présence et l'absence du capelan dans les contenus stomacaux combinés du flétan du Groenland et de la morue franche dans le nord du golfe du Saint-Laurent.

Paramètres fixes		Définition	Estimés
	β_0	intercepte	-2,36 [-3,22; -1,50]
Effets principaux (β)	β_1	poly(log(prodondeur,1))	-33,53 [-44,99; -22,08]
	β_2	poly(log(prodondeur,2))	-25,96 [-34,65; -17,26]
	β_3	prédateur(flétan du Groenland)	0,40 [0,17;0,64]
Paramètres contrôlant les champs aléatoires spatial (ω_t)	κ	Gamme du paramètre de Matérn partagé entre ω_t	178,29 [95,60; 332,52]
	σ_ω^2	Variance marginale de la matrice de précision de ω_t	32,02 [13,92; 73,67]

Tableau 14: Résumé des différentes configurations de modèles et de leur critère d'information d'Akaike (AIC) associé utilisés pour ajuster la présence et l'absence (PA) de l'ADN environnemental du capelan dans la colonne d'eau (ADNe-WC) et au fond (ADNe-BD) pour le nord et le sud du golfe du Saint-Laurent combinés. La variable Profondeur suivait une fonction polynomiale de second degré appliquée à la profondeur du fond transformée en logarithme. Le tiret (-) indique que le modèle n'a pas convergé ou que les tests de validation n'ont pas été satisfaits. (Loci = 12s160 ou MiFishU comme facteur, RE = année comme effet aléatoire, FC = année comme facteur).

Modèle	ADNe-WC	ADNe-BD
	AIC	AIC
PA ~ 1	547	562
PA ~ Profondeur	546	529
PA ~ Profondeur + Loci	549	531
PA ~ Profondeur + RE	539	-
PA ~ Profondeur + FC	536	531

Tableau 15: Coefficients des effets fixes et aléatoires, ainsi que leurs incertitudes [intervalle de confiance à 95 %], de la configuration de modèle retenue pour ajuster la présence et l'absence de l'ADN environnemental du capelan dans la colonne d'eau (ADNe-WC) et au fond (ADNe-BD) pour le nord et le sud du golfe du Saint-Laurent combinés.

Paramètres fixes		Définition	ADNe-WC	ADNe-BD
Effets principaux (β)	β_0	intercepte	0,34 [-1,37; 2,05]	-1,02 [-2,31; 0,26]
	β_1	poly(log(profondeur,1))	-2,35 [-10,67; 5,97]	-8,45 [-22,09; 5,19]
	β_2	poly(log(profondeur,2))	-7,22 [-13,70; -0,75]	-33,24 [-44,77; -21,72]
	β_3	année(2020)	-0,34 [-1,40; 0,71]	0,24 [-0,97; 1,46]
	β_4	année(2021)	-0,58 [-1,54; 0,39]	0,20 [-0,90; 1,31]
Paramètres contrôlant les champs aléatoires spatial (ω_t)	β_5	année(2022)	-1,29 [-2,19; -0,38]	-0,29 [-1,27; 0,68]
Paramètres fixes	κ	Gamme du paramètre de Matérn partagé entre ω_t	542,49 [169,9; 1732,12]	125,85 [66,76; 237,25]
	σ_ω^2	Variance marginale de la matrice de précision de ω_t	80,18 [21,13; 7304,24]	1,75 [1,18; 2,60]

FIGURES

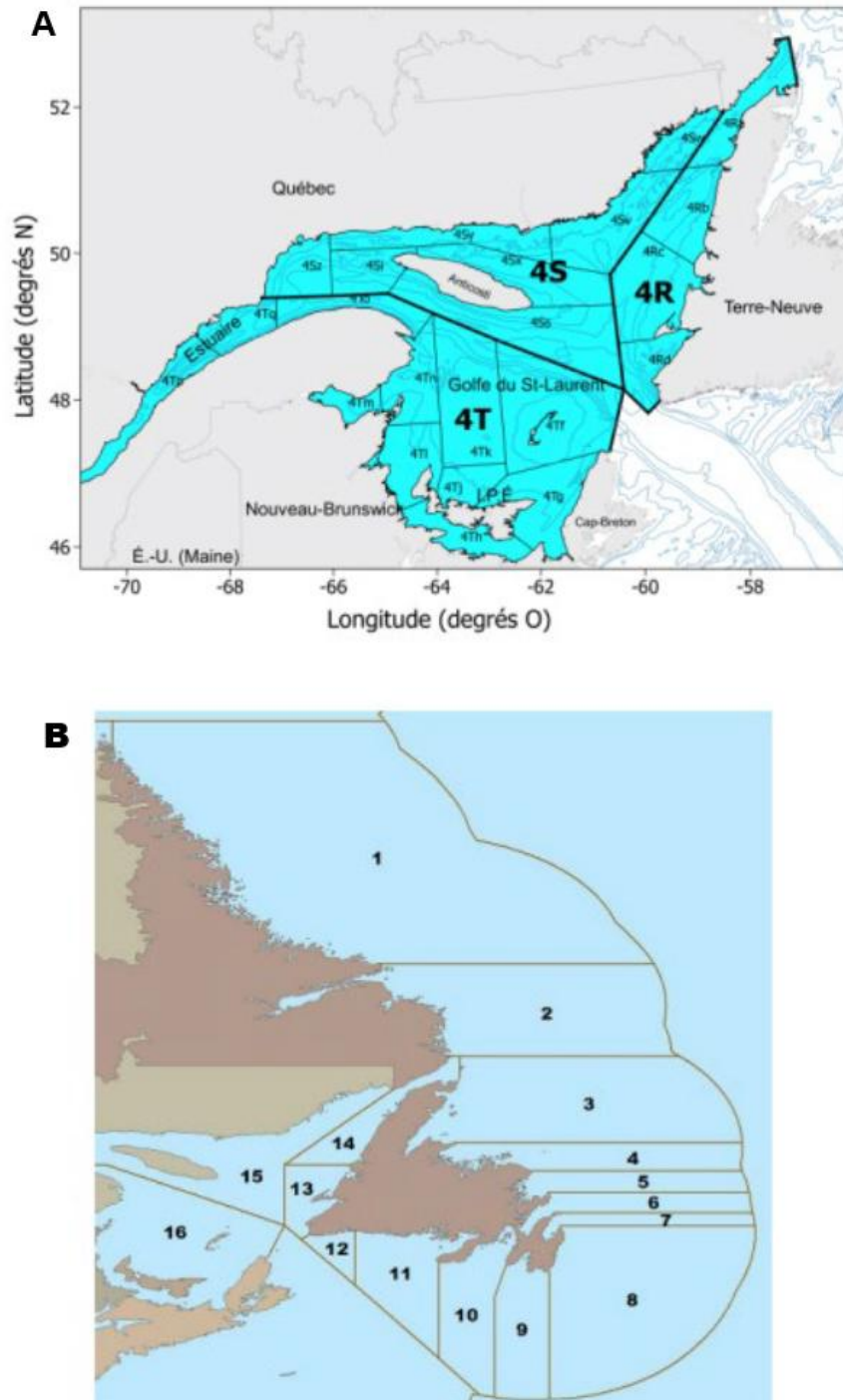


Figure 1: Cartes des divisions de l'OPANO et des unités de gestion de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent (A). Les zones de pêche du capelan définies par le MPO sont présentées en B.

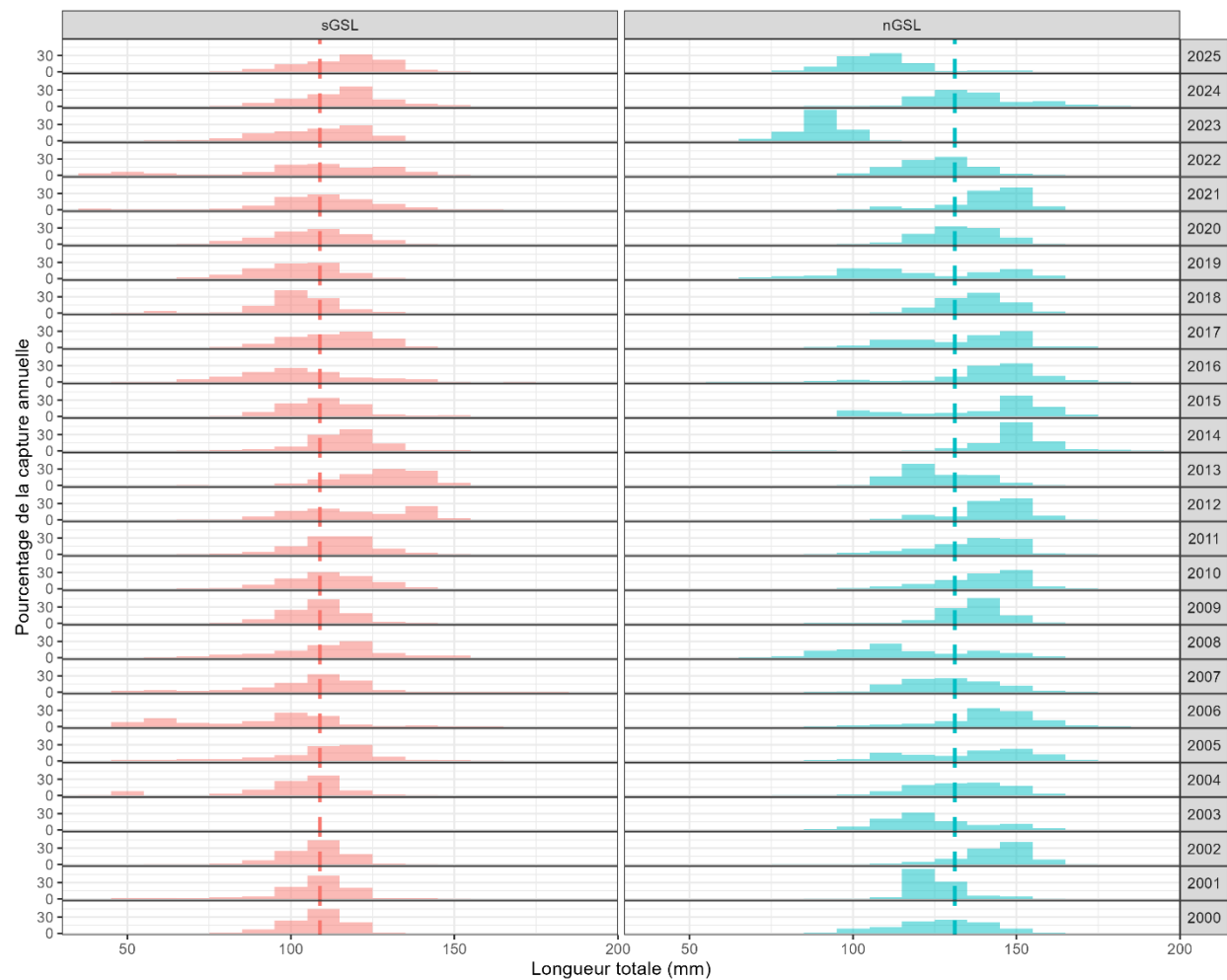


Figure 2: Comparaison des distributions annuelles des fréquences relatives de longueur issues des relevés au chalut de fond dans le nord et le sud du golfe du Saint-Laurent de 2000 à 2025. La ligne verticale pointillée représente la longueur moyenne pour la période 2000–2025.

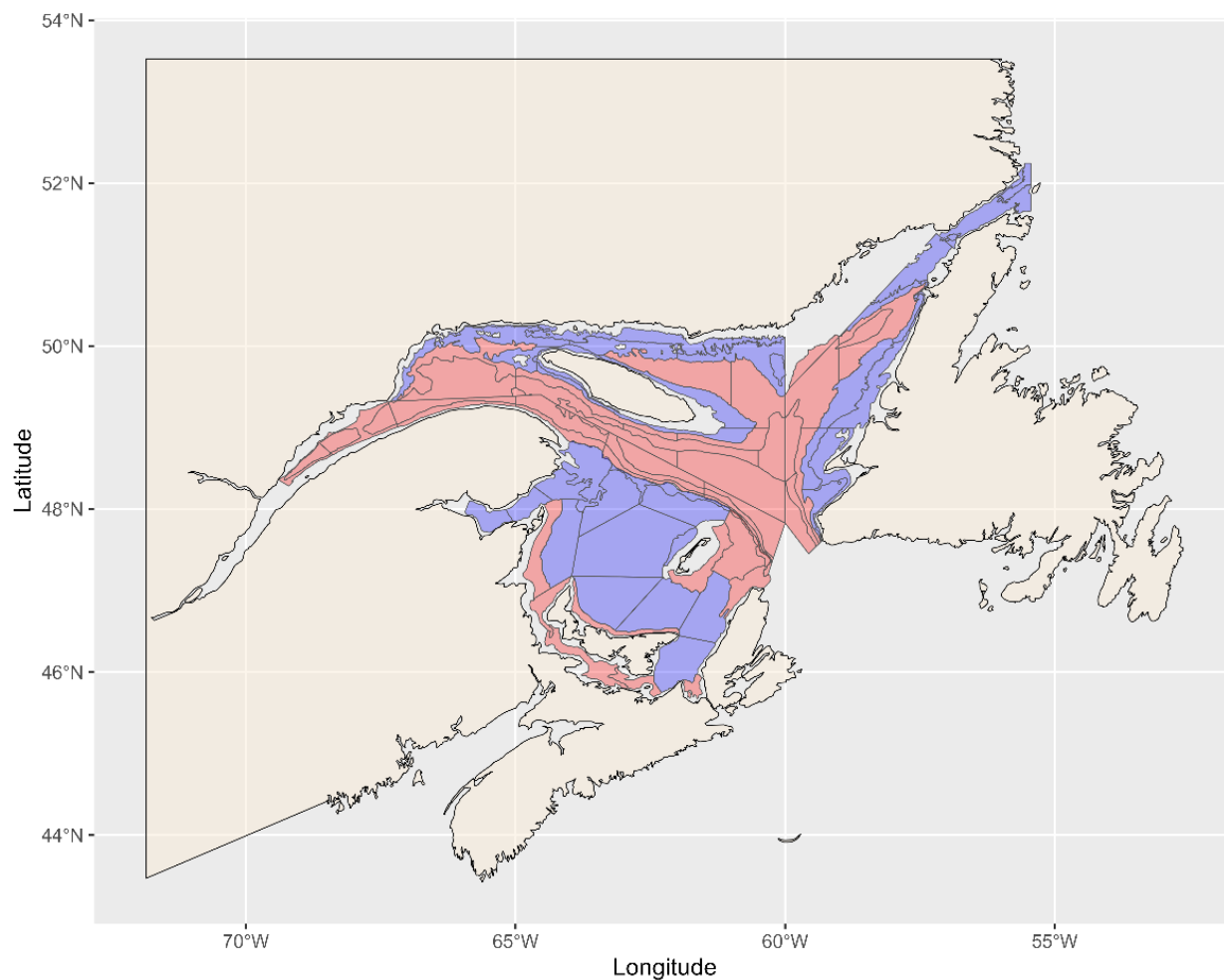


Figure 3: Carte des strates du nord et du sud du golfe du Saint-Laurent identifiées comme habitat thermique préférentiel (bleu) et défavorable (rouge) pour le capelan.

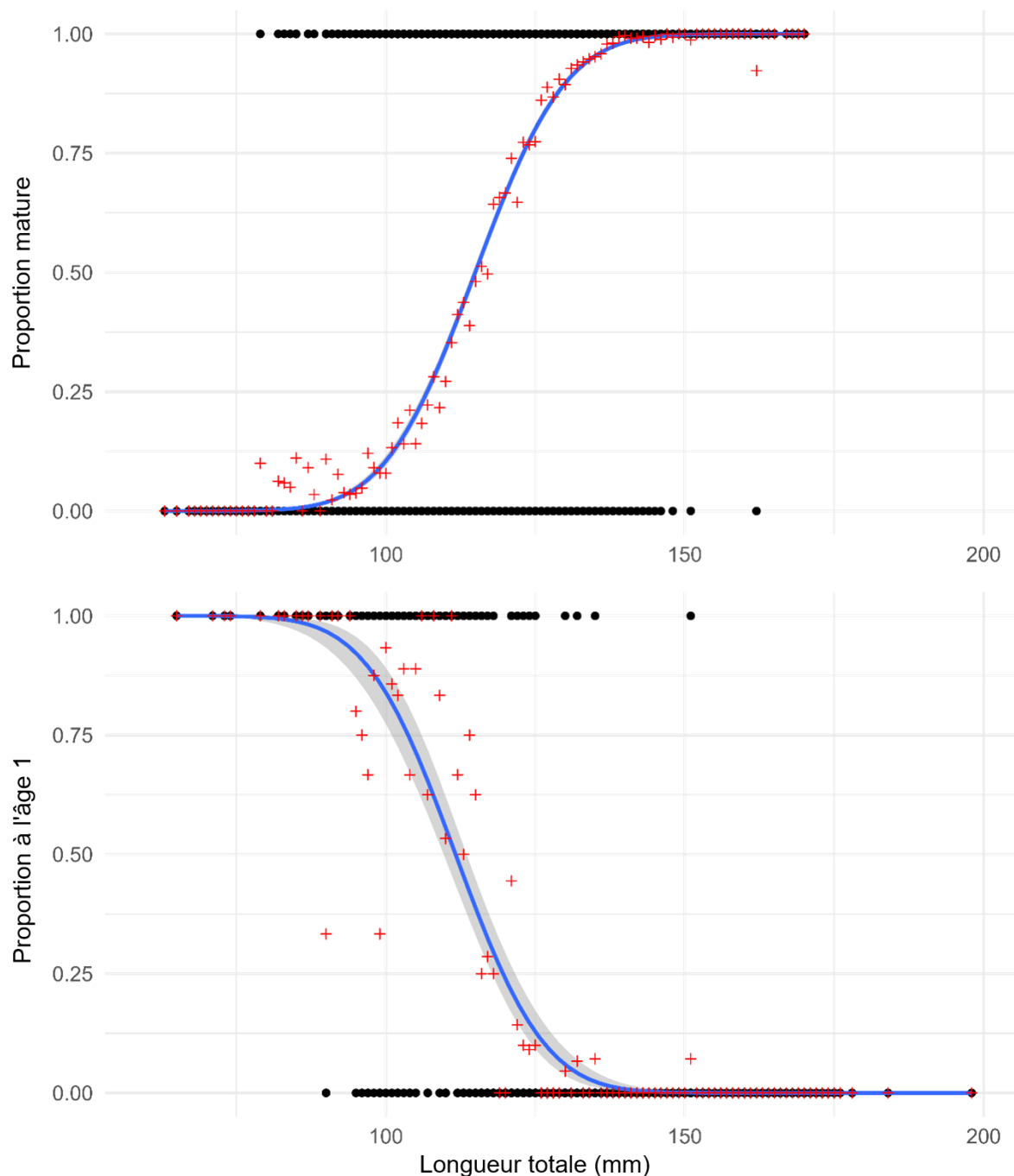


Figure 4: Proportions estimées (lignes bleues) et observées (points noirs) selon la longueur des capelans matures (panneau supérieur) et des capelans âgés de 1 an (panneau inférieur) échantillonnés lors des relevés au chalut de fond dans le nord et le sud du golfe du Saint-Laurent (2018–2025). Les points noirs représentent soit un capelan mature (1) ou immature (0) (panneau supérieur), soit un capelan âgé de 1 an (1) ou non (0) (panneau inférieur). Les croix rouges représentent la proportion moyenne selon la longueur des capelans matures ou âgés de 1 an pour une catégorie de longueur donnée en mm.

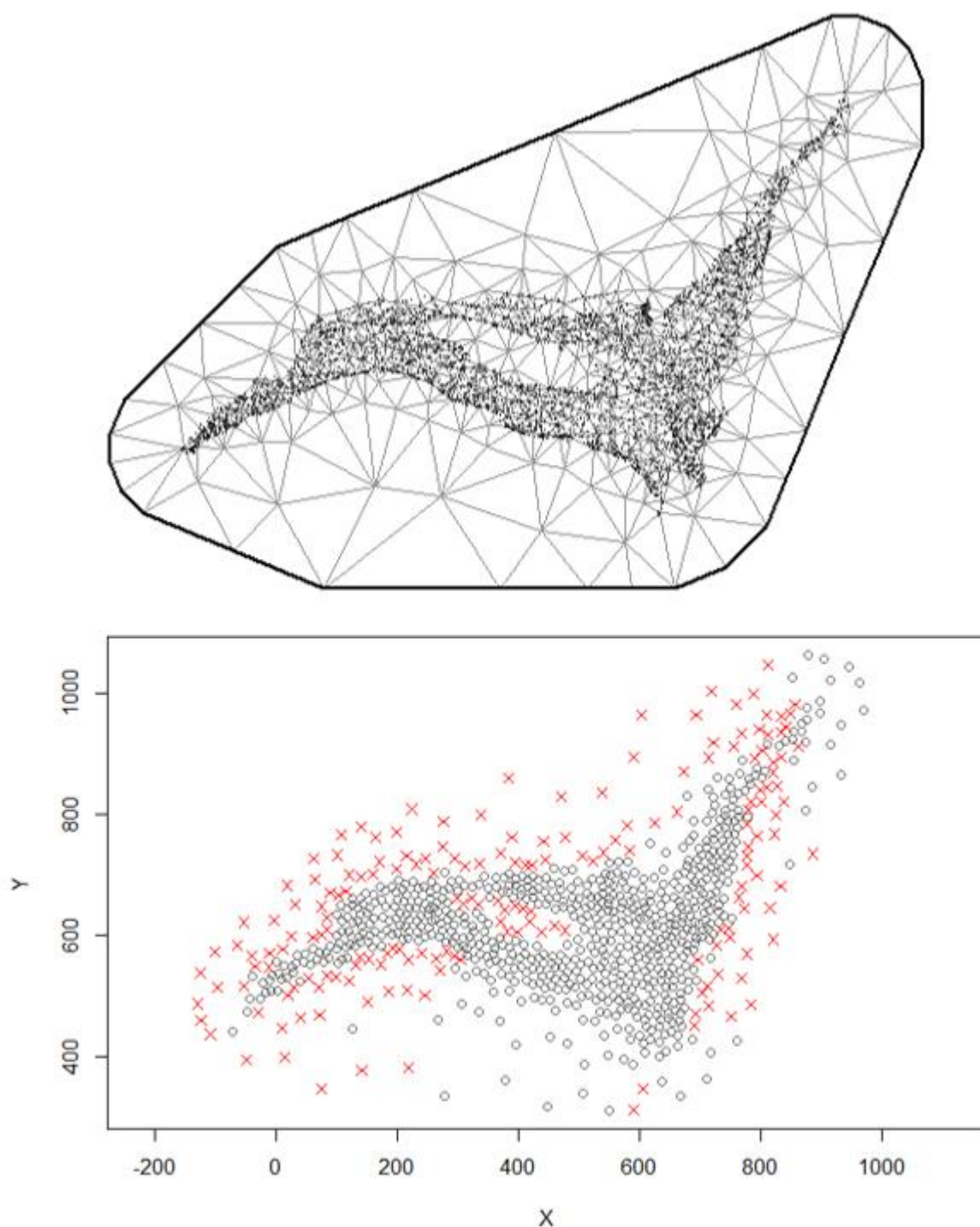


Figure 5: Grille triangulée constituée de sommets (lignes) utilisée pour représenter le processus spatial continu des captures de capelan lors des relevés au chalut de fond du nGSL, en considérant une longueur minimale de sommet de 15 km (panneau supérieur), ainsi que les intersections des sommets (panneau inférieur) qui sont connectées (point) ou non (croix rouges).

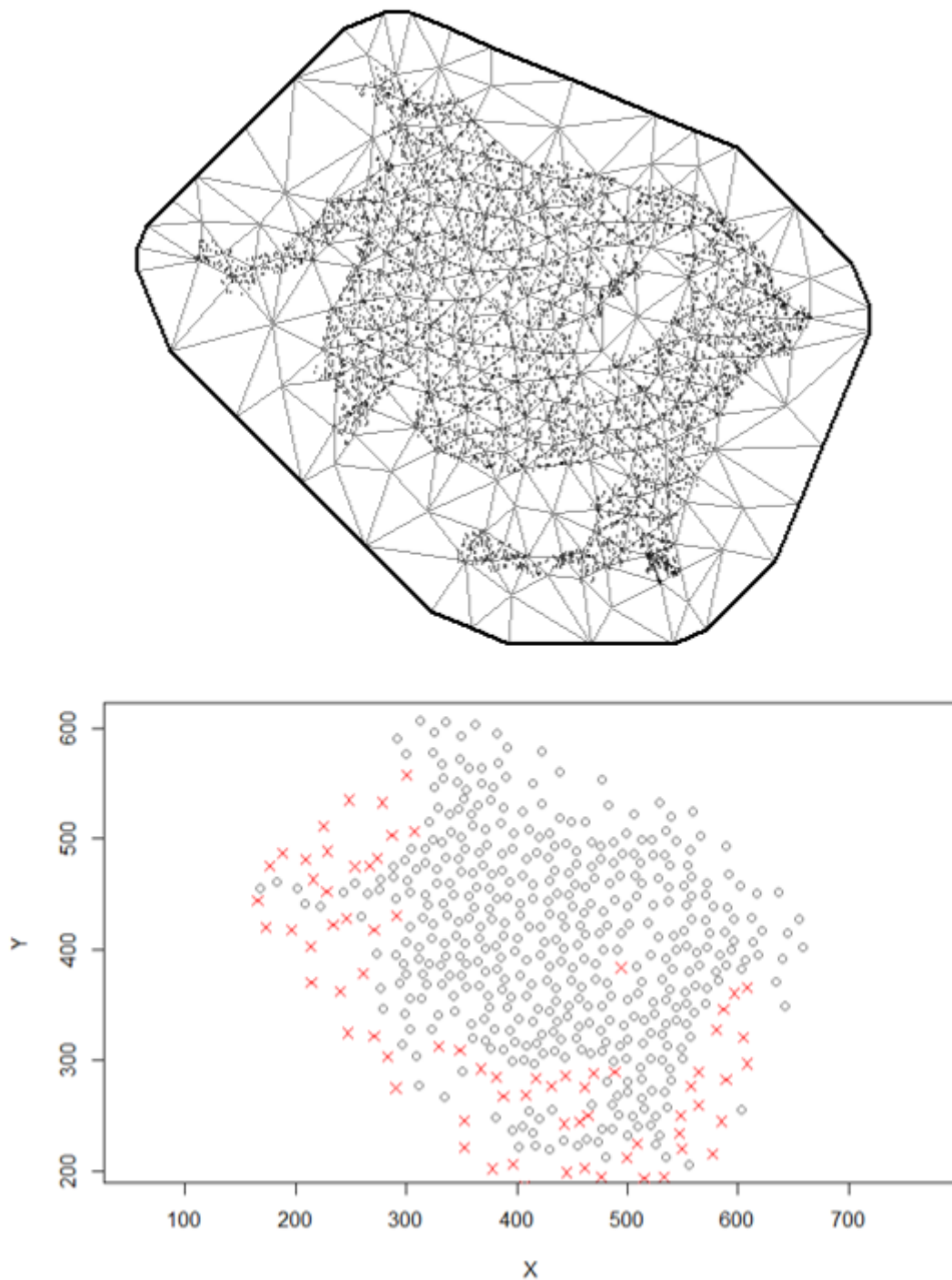


Figure 6: Grille triangulée constituée de sommets (lignes) utilisée pour représenter le processus spatial continu des captures de capelan lors des relevés au chalut de fond du sGSL, en considérant une longueur minimale de sommet de 15 km (panneau supérieur), ainsi que les intersections des sommets (panneau inférieur) qui sont connectées (point) ou non (croix rouges).

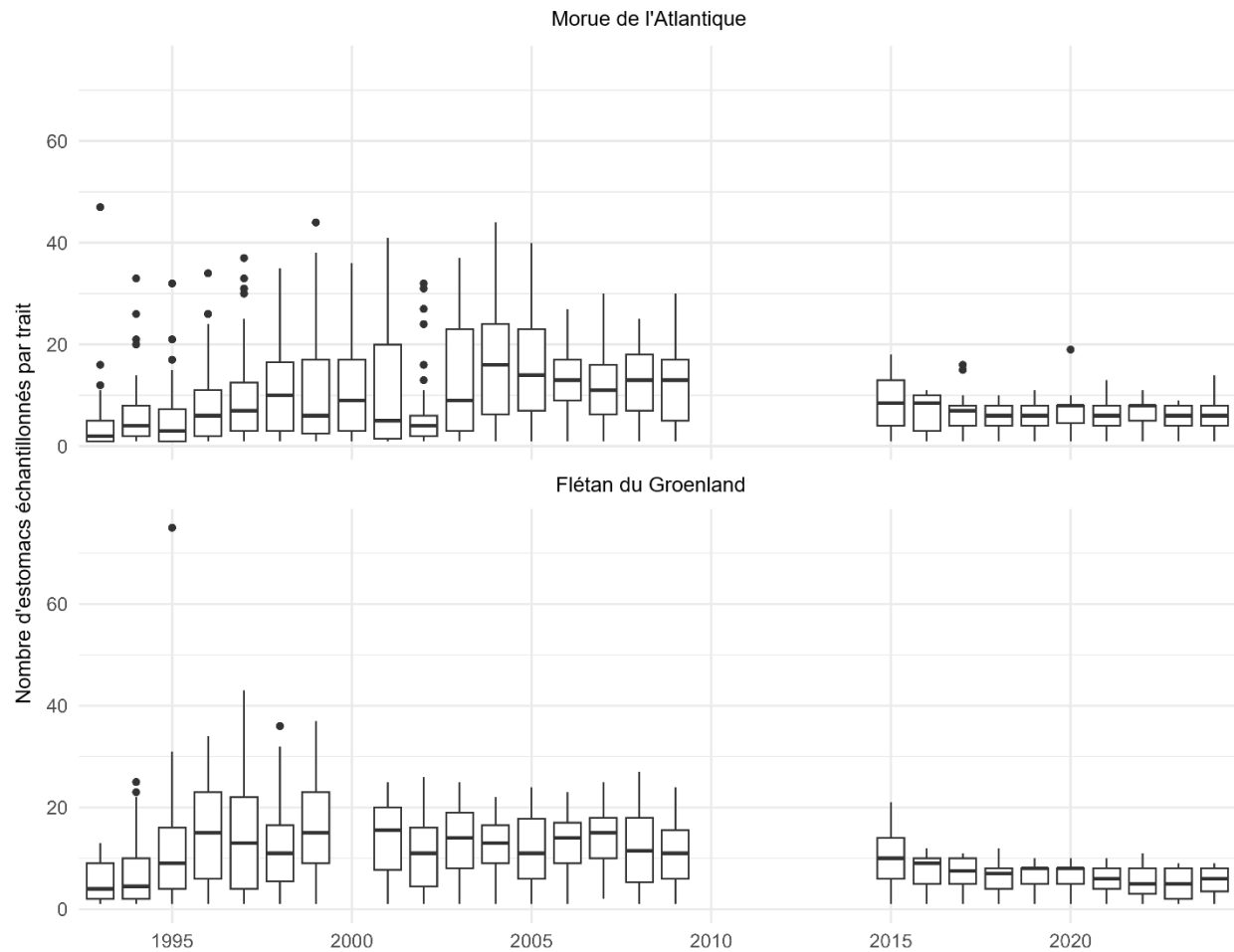


Figure 7: Boîtes à moustaches du nombre d'estomacs de flétan du Groenland et de morue franche par trait de chalut échantillonnés lors des relevés au chalut de fond dans le nord du golfe du Saint-Laurent.

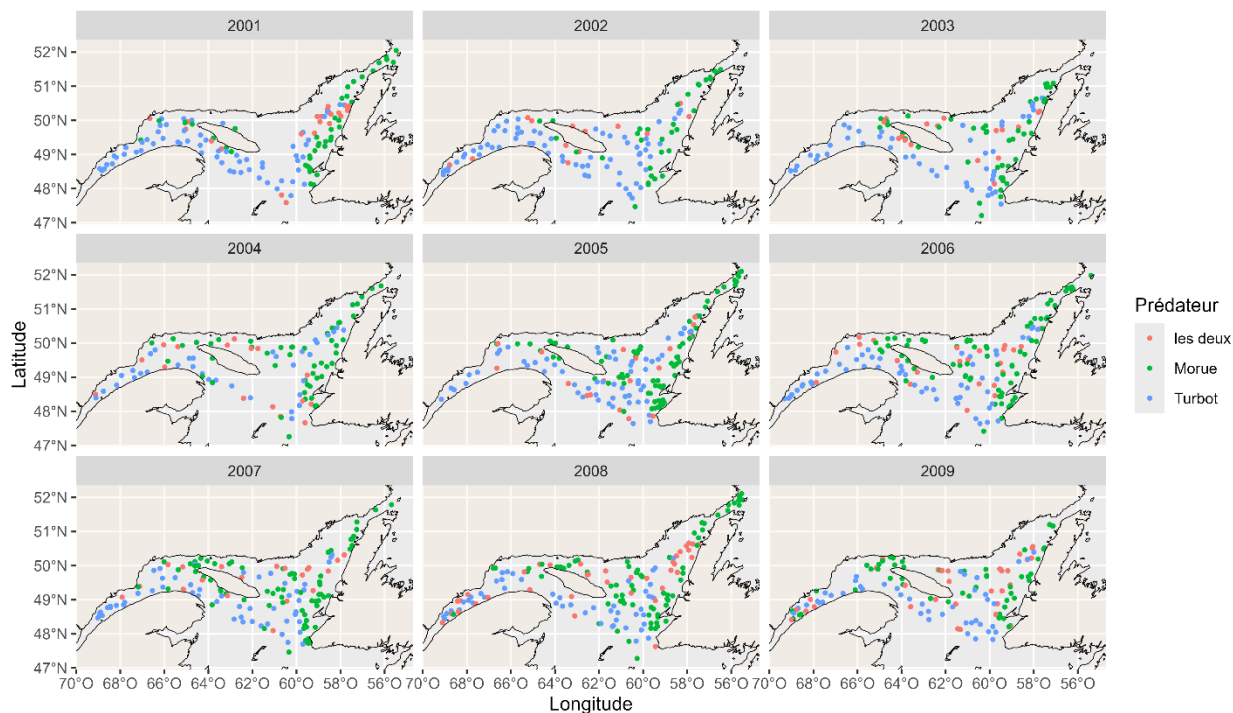


Figure 8: Cartes des traits de chalut de fond du relevé du nord du golfe du Saint-Laurent où les estomacs de flétan du Groenland, de morue franche ou des deux espèces ont été échantillonnés de 2001 à 2009.

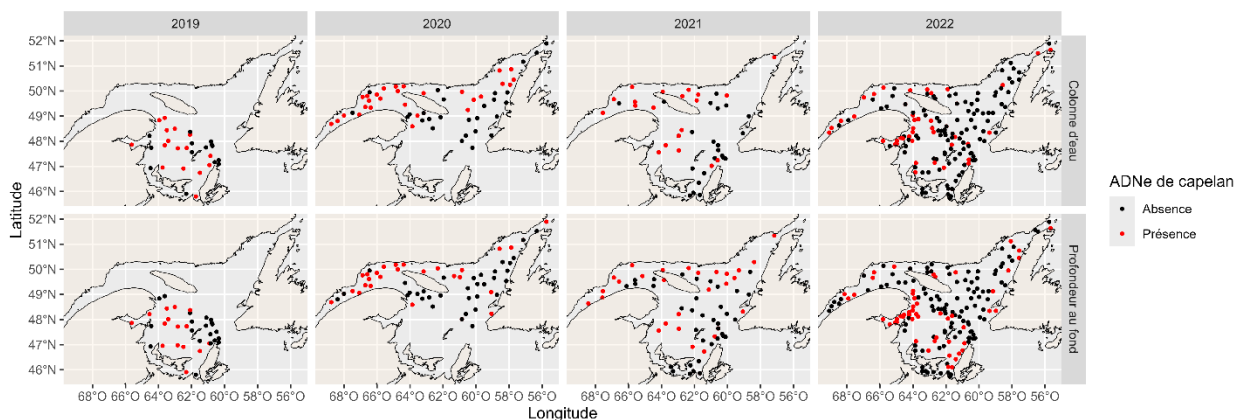


Figure 9: Cartes montrant la présence ou l'absence de l'ADN environnemental du capelan dans des échantillons d'eau prélevés dans le nord et le sud du golfe du Saint-Laurent, au fond et dans la colonne d'eau.

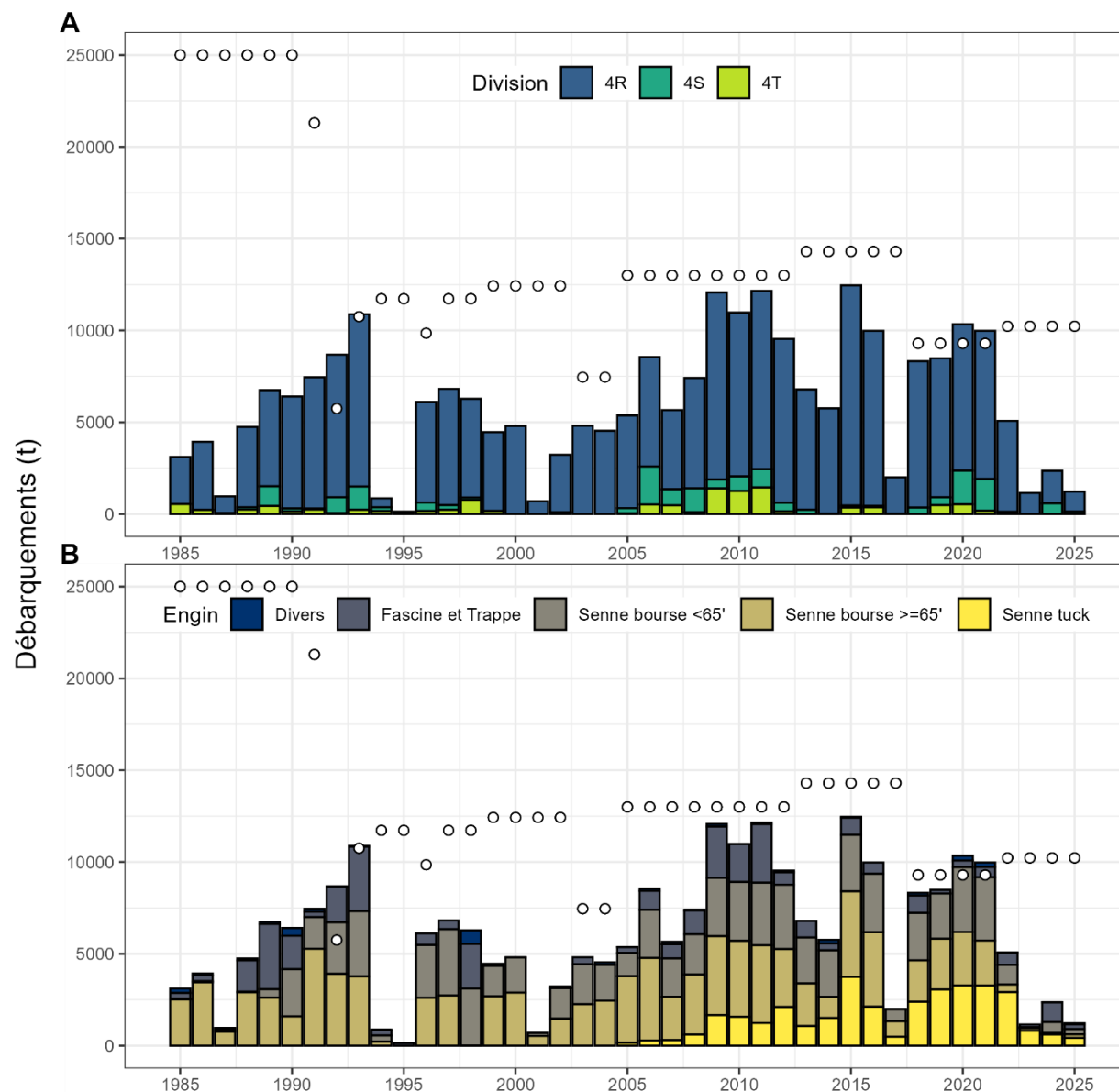


Figure 10: Débarquements de capelan (t) dans les divisions 4RST selon A) l'OPANO et B) les principaux engins de pêche pour la période 1985–2025. Les cercles blancs représentent les TAC annuels. Les débarquements de 2021 à 2025 sont préliminaires. Divers = engins divers et inconnus.



Figure 11: Débarquements commerciaux annuels (t) de capelan dans la division 4R de l'OPANO pour la période 1985–2025. A) Débarquements par unité de zone de l'OPANO. B) Débarquements selon les principaux types d'engins de pêche. C) Débarquements selon les allocations existantes. Les débarquements de 2021 à 2025 sont préliminaires. L'unité de zone 4Ru correspond aux débarquements enregistrés dans la division 4R, mais pour lesquels l'unité de zone exacte est inconnue. Divers = divers et inconnus.

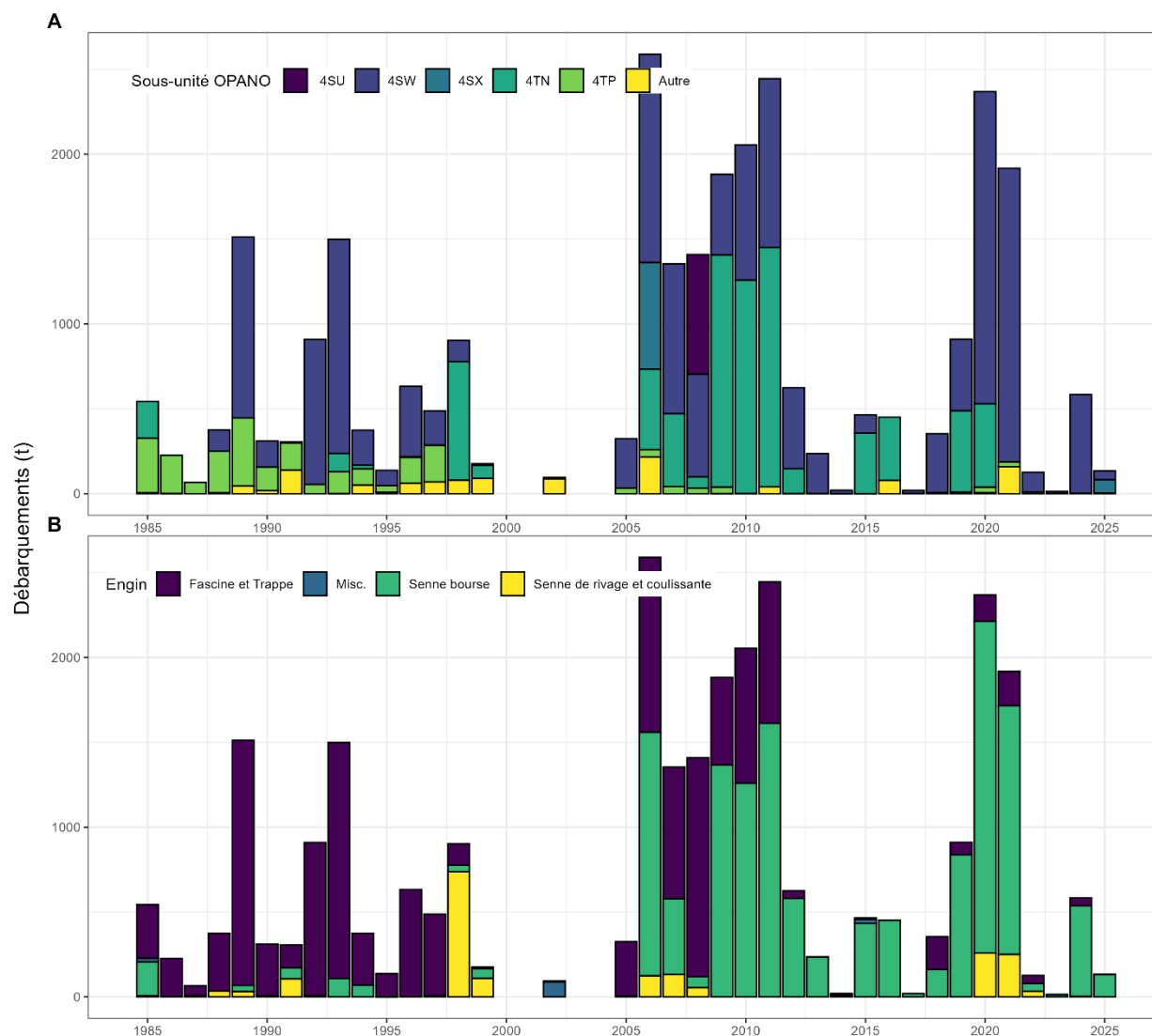


Figure 12: Débarquements commerciaux (t) de capelan dans les divisions 4ST de l'OPANO pour la période 1985–2025. A) Débarquements par unité de zone de l'OPANO. B) Débarquements selon les principaux types d'engins de pêche. Les débarquements de 2021 à 2025 sont préliminaires. L'unité de zone 4Su correspond aux débarquements enregistrés dans la division 4R, mais pour lesquels l'unité de zone exacte est inconnue.

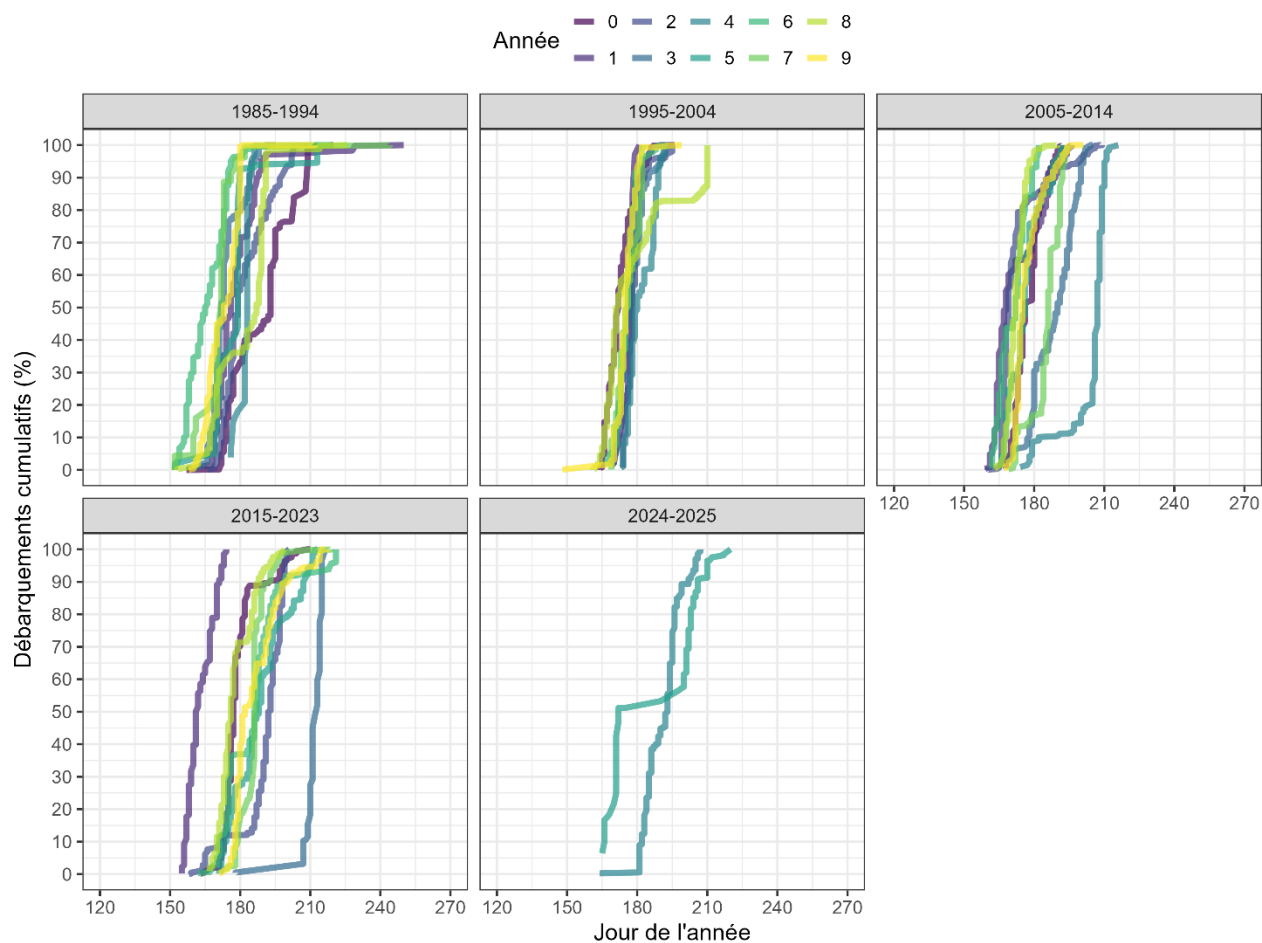


Figure 13: Fonctions de distribution cumulative des débarquements de capelan (%) en fonction du jour de l'année, pour la division 4R de l'OPANO. Les couleurs des lignes progressent du violet au jaune selon le dernier chiffre de l'année (0–9).

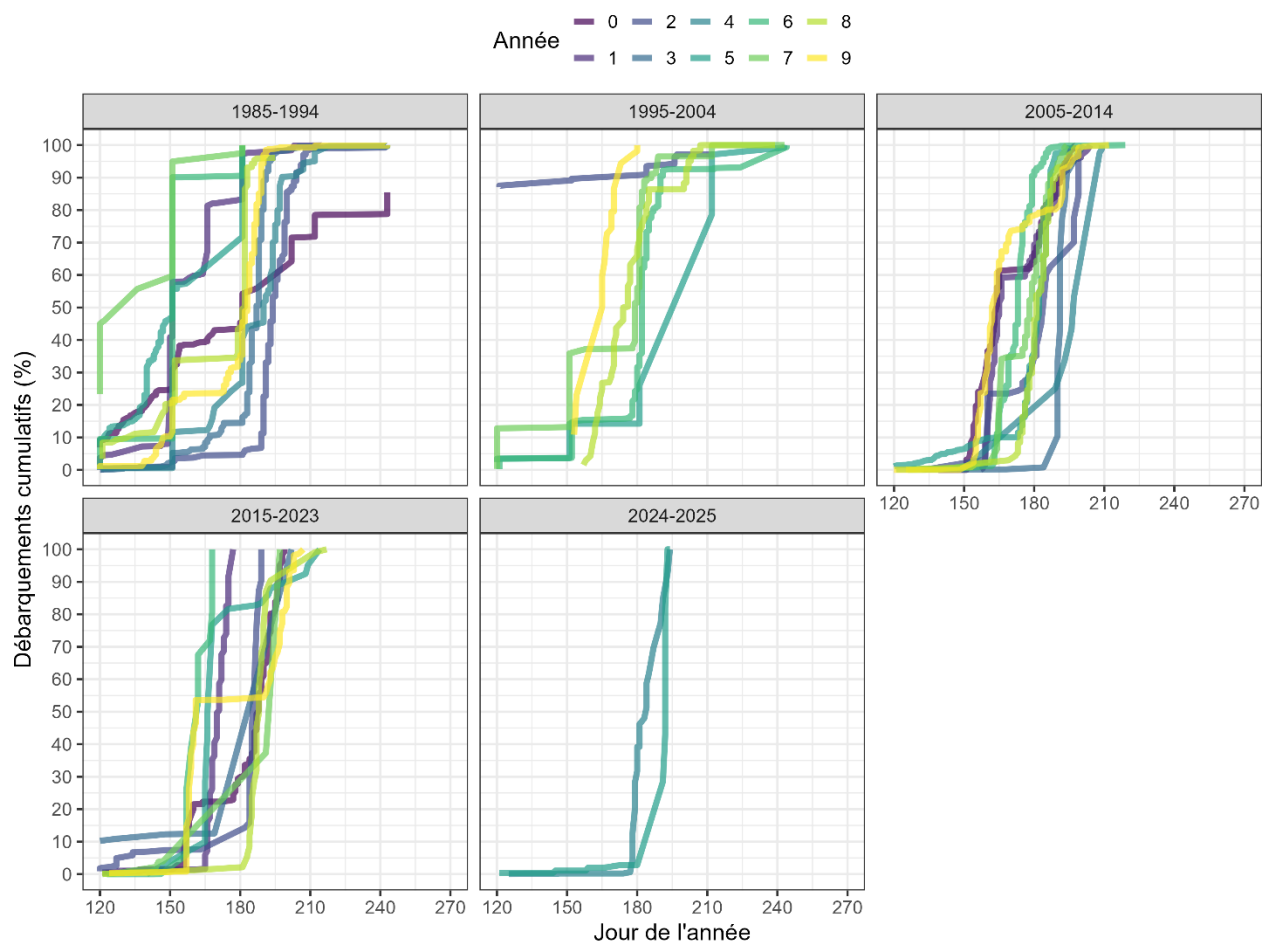


Figure 14: Fonctions de distribution cumulative des débarquements de capelan (%) en fonction du jour de l'année, pour la division 4ST de l'OPANO. Les couleurs des lignes progressent du violet au jaune selon le dernier chiffre de l'année (0–9).

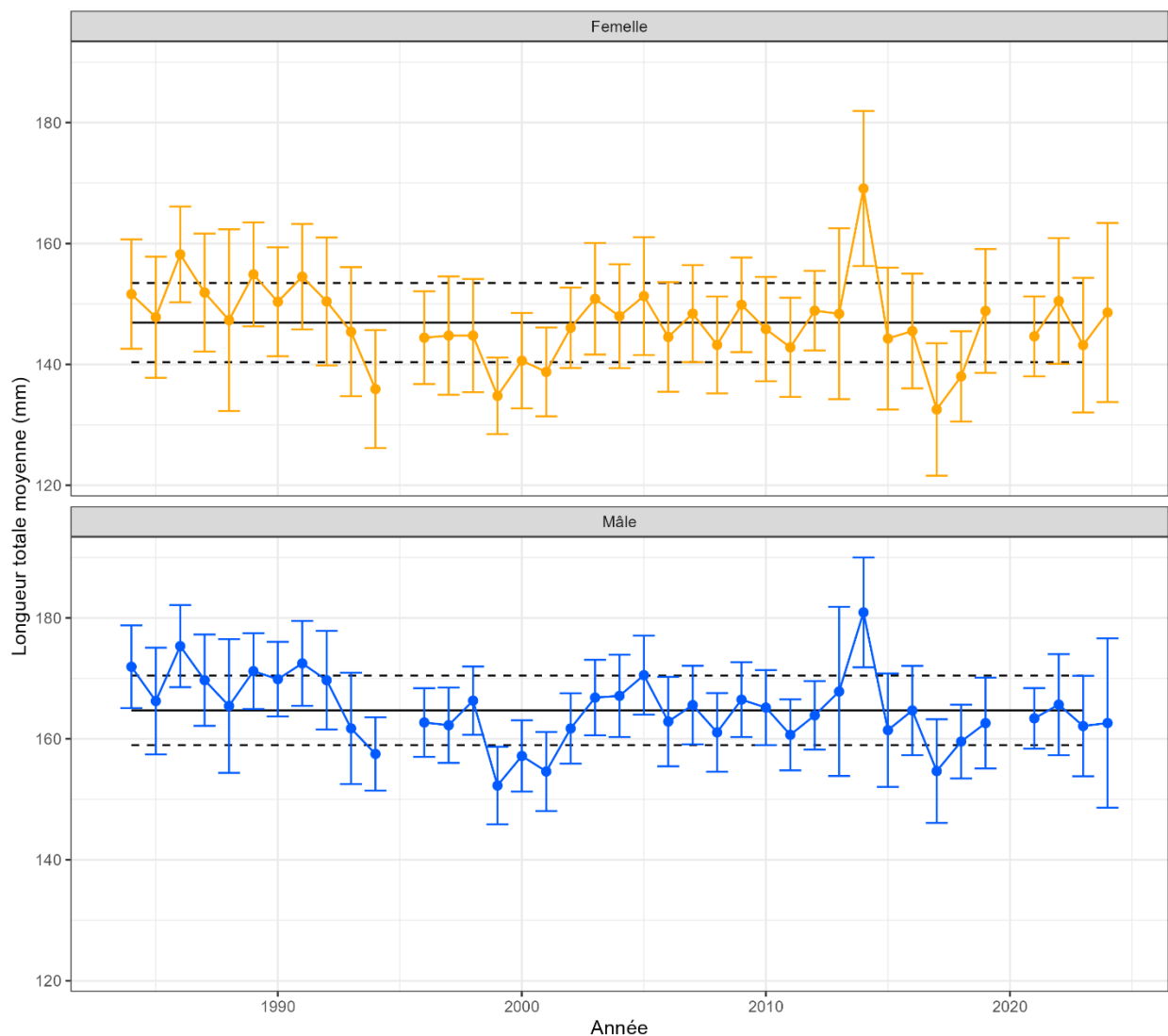


Figure 15: Longueurs totales moyennes annuelles (mm) des capelans femelles et mâles échantillonnés à l'aide de senne bourse et senne tuck dans la division 4R de l'OPANO depuis 1984, dans le cadre du programme d'échantillonnage à quai du MPO. Les lignes horizontales représentent la moyenne de 1984 à 2024 ± 1 écart-type. Les barres d'erreur représentent l'écart-type annuel. Aucun échantillon n'a été prélevé dans la division 4R en 2025.

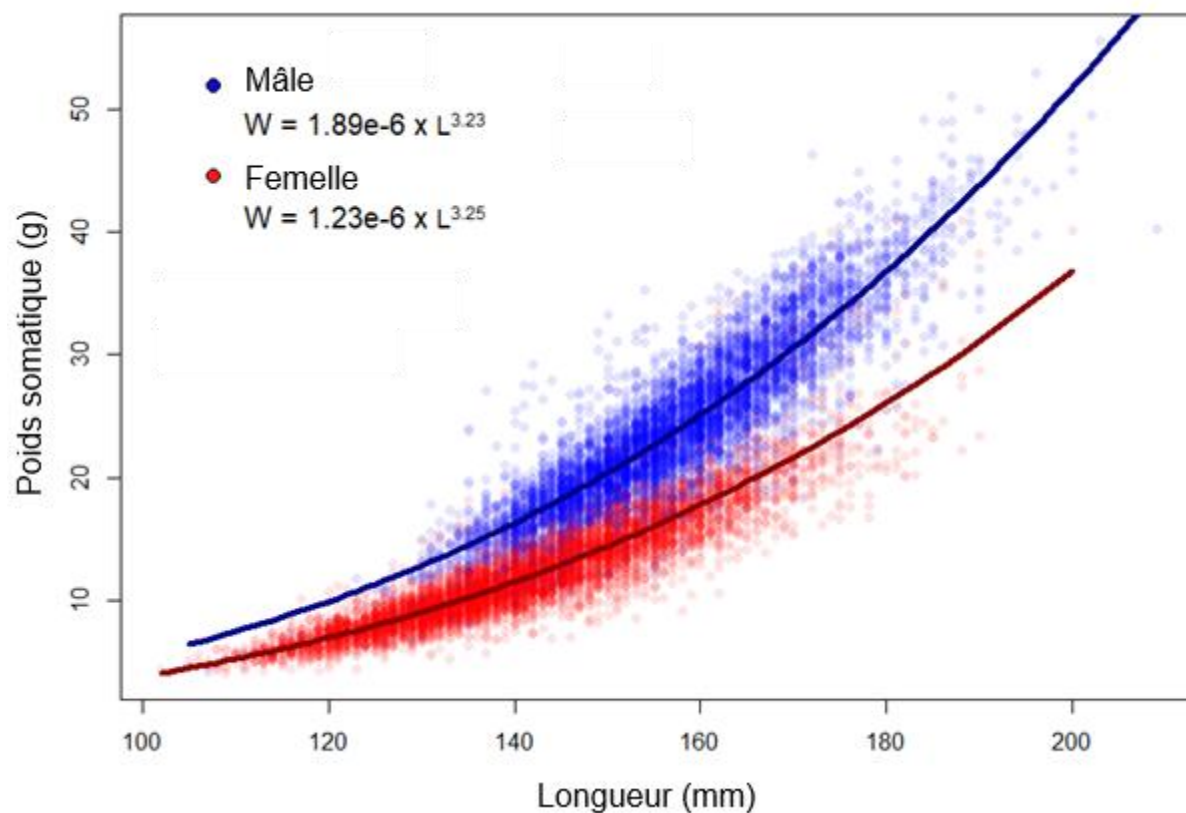


Figure 16: Relations longueur(L)-poids(W) des capelans mâles et femelles capturés dans la pêche commerciale des divisions 4RST de l'OPANO de 1984 à 2025. Chaque point représente un spécimen pour lequel les trois mesures (sexe, longueur et poids) ont été consignées.

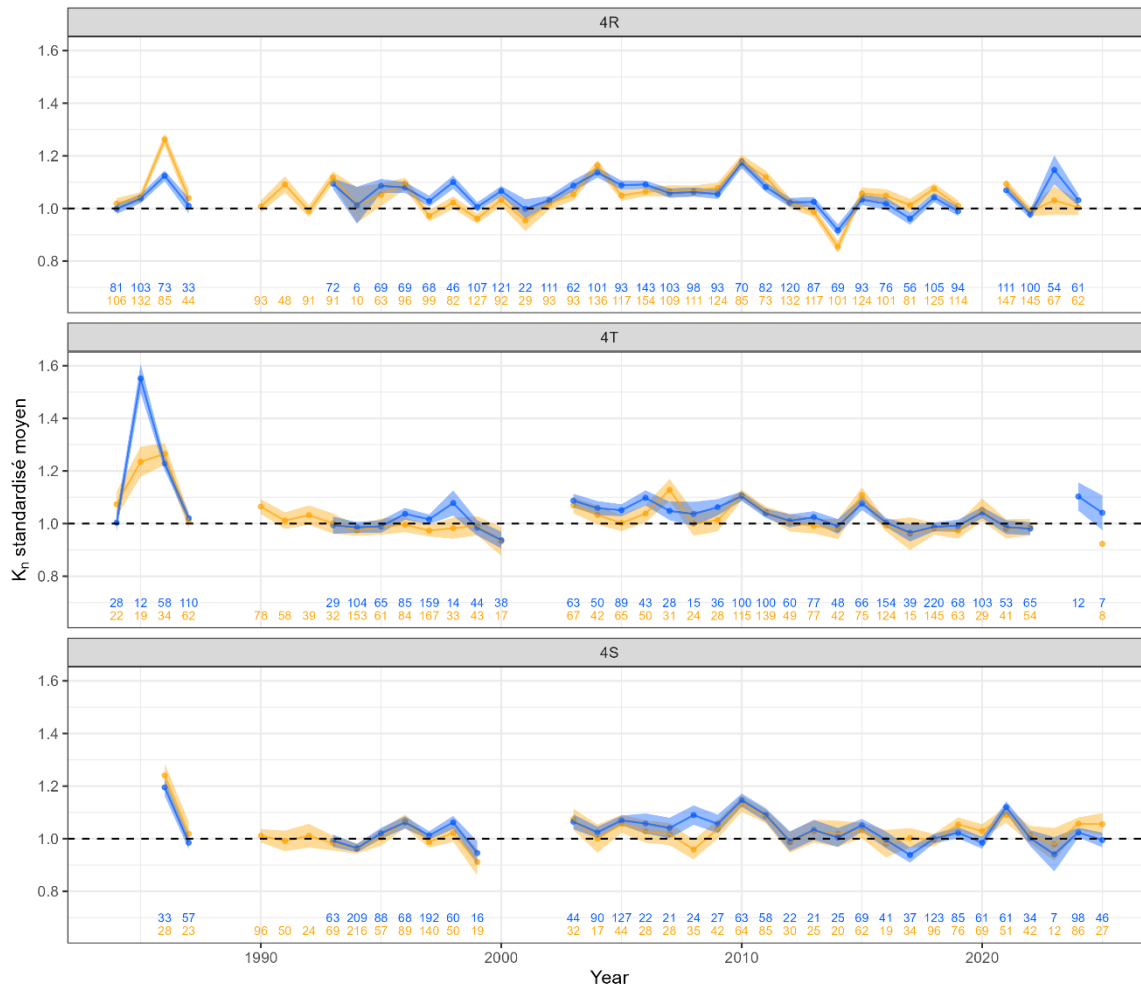


Figure 17: Condition corporelle relative annuelle (K_n) des capelans mâles (bleu) et femelles (jaune) par division de l'OPANO, à partir d'échantillons biologiques provenant de la pêche commerciale. Le K_n a été standardisé selon le type d'engin de pêche (senne, tous types confondus) et le mois (juin). Les zones ombragées représentent les intervalles de confiance à 95 %. Le nombre de poissons par sexe utilisés dans l'analyse est indiqué sur l'axe des x.

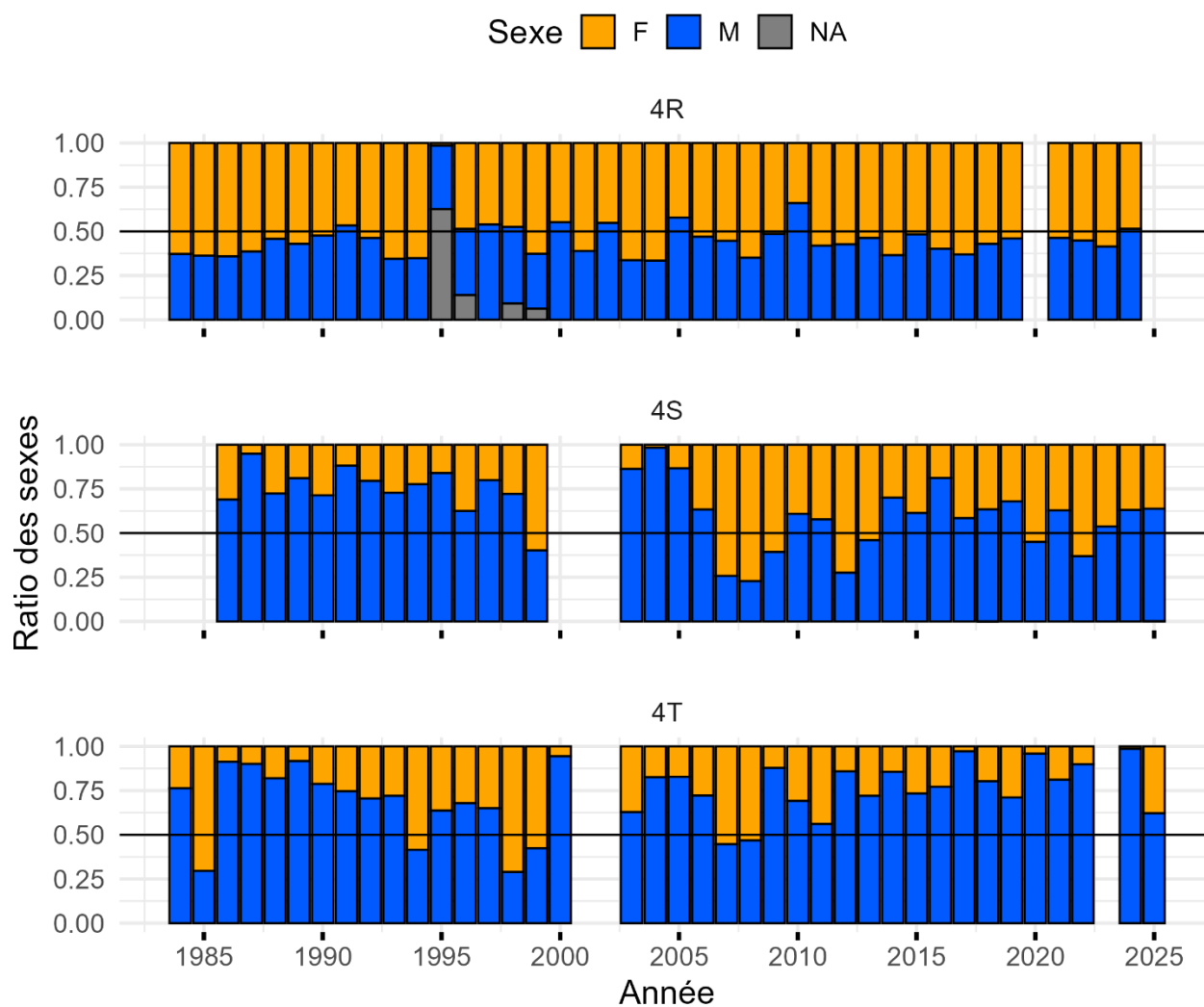


Figure 18: Ratios annuels des sexes du capelan dans la pêche commerciale, par division de l'OPANO. (NA : sexe indéterminé).

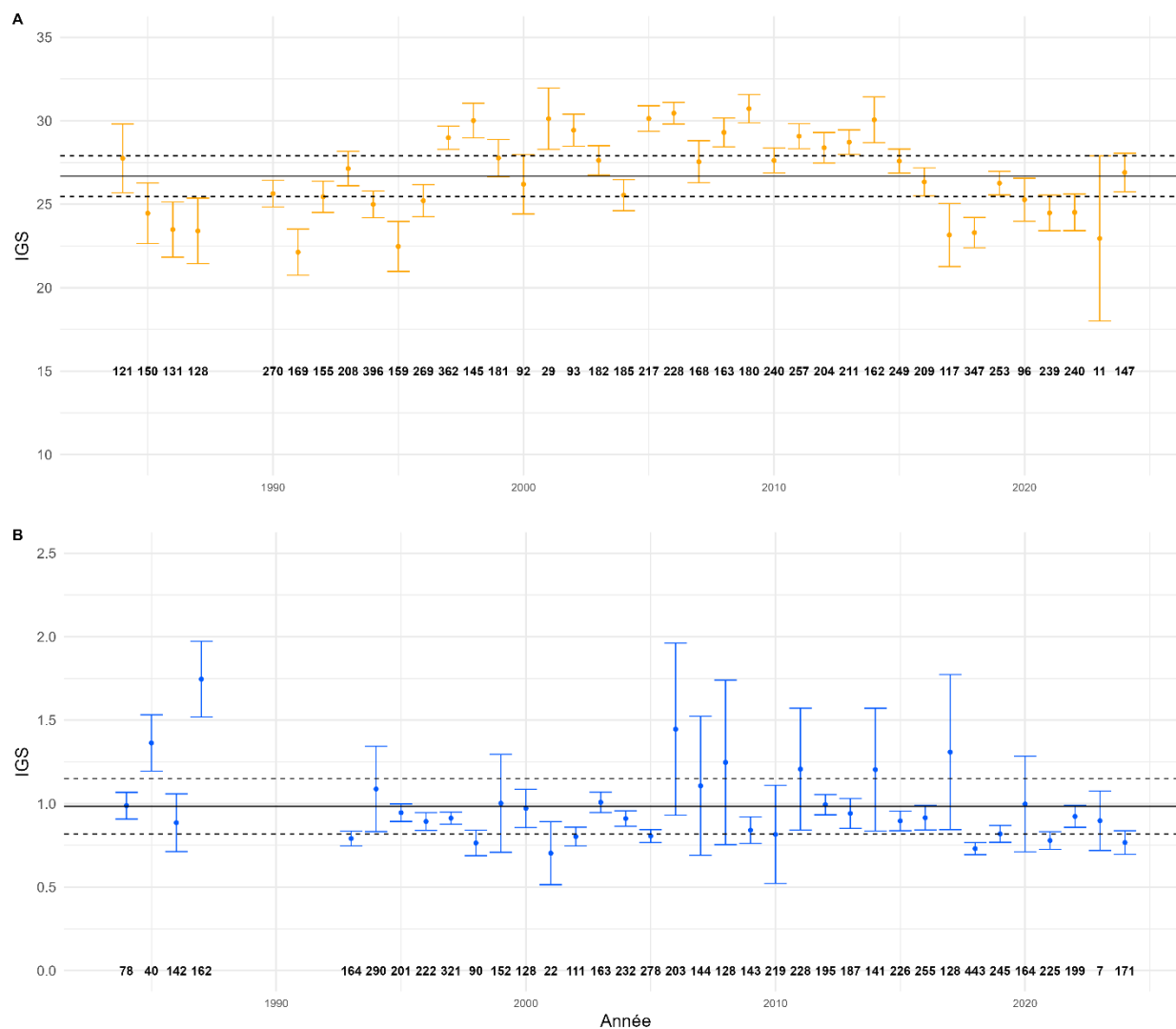


Figure 19: Indices gonadosomatiques (IGS) moyens annuels ($\pm$ intervalles de confiance à 95 %) des capelans femelles (A) et mâles (B). Les lignes horizontales pleines et pointillées représentent respectivement la moyenne de 1984 à 2025 et l'intervalle de confiance à 95 %.

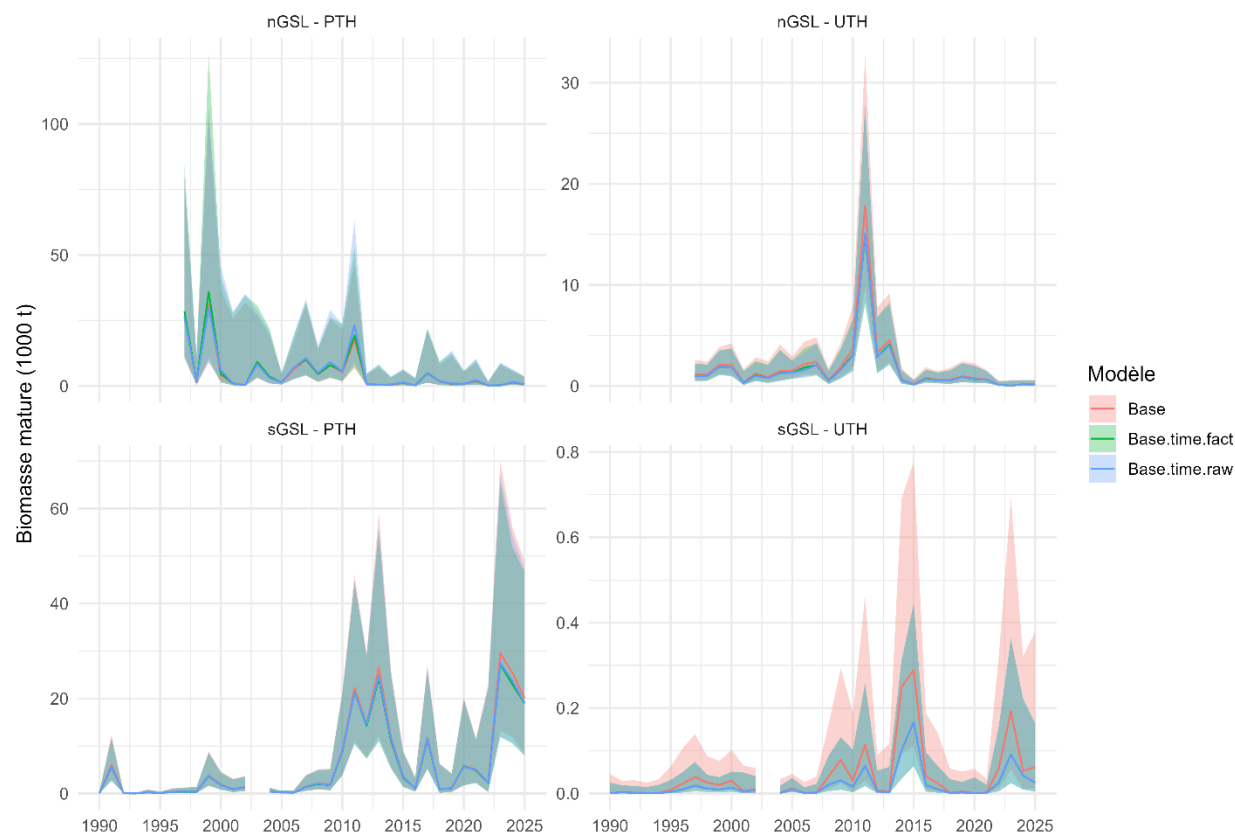


Figure 20: Biomasse de capelans matures estimée à l'aide de l'approche fondée sur le plan d'échantillonnage dans l'habitat thermique préférentiel (PTH) et l'habitat thermique défavorable (UTH) du nord (nGSL) et du sud (sGSL) du golfe du Saint-Laurent, en utilisant la configuration initiale du modèle (Base) décrite dans Chamberland et al. (2022), ainsi qu'en standardisant les captures selon l'heure de la journée à 10 h (Base.time.raw) et selon la catégorie « jour » (Base.time.fact). Les zones ombragées représentent les intervalles de confiance à 95 %.



Figure 21: Abondance de capelans de 1 an estimée à l'aide de l'approche fondée sur le plan d'échantillonnage dans l'habitat thermique préférentiel (PTH) et l'habitat thermique défavorable (UTH) du nord (nGSL) et du sud (sGSL) du golfe du Saint-Laurent, en utilisant la configuration initiale du modèle (Base) décrite dans Chamberland et al. (2022), ainsi qu'en standardisant les captures selon l'heure de la journée à 10 h (Base.time.raw) et selon la catégorie « jour » (Base.time.fact). Les zones ombragées représentent les intervalles de confiance à 95 %.

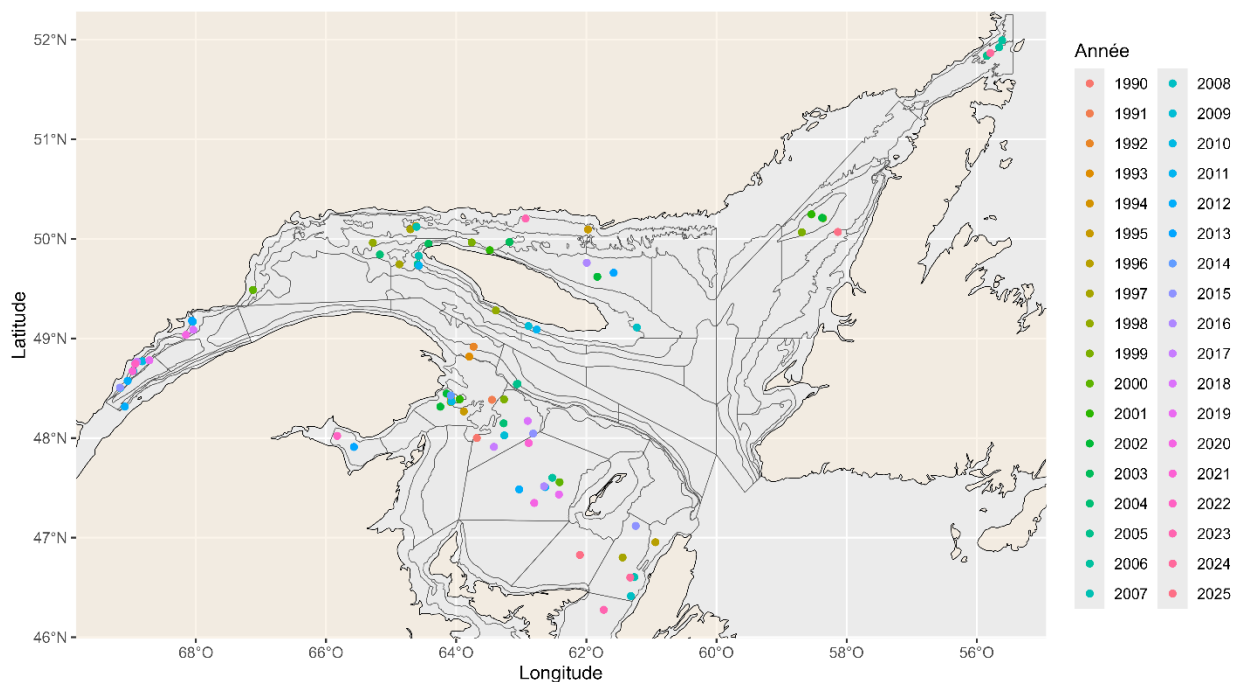


Figure 22: Localisation des poids de captures de capelans matures supérieurs au 99e percentile des captures positives annuelles lors des relevés au chalut de fond dans le nord et le sud du golfe du Saint-Laurent. Les polygones délimités par des lignes noires pleines représentent les différentes strates échantillonnées lors des relevés au chalut de fond dans le nord et le sud du golfe du Saint-Laurent.

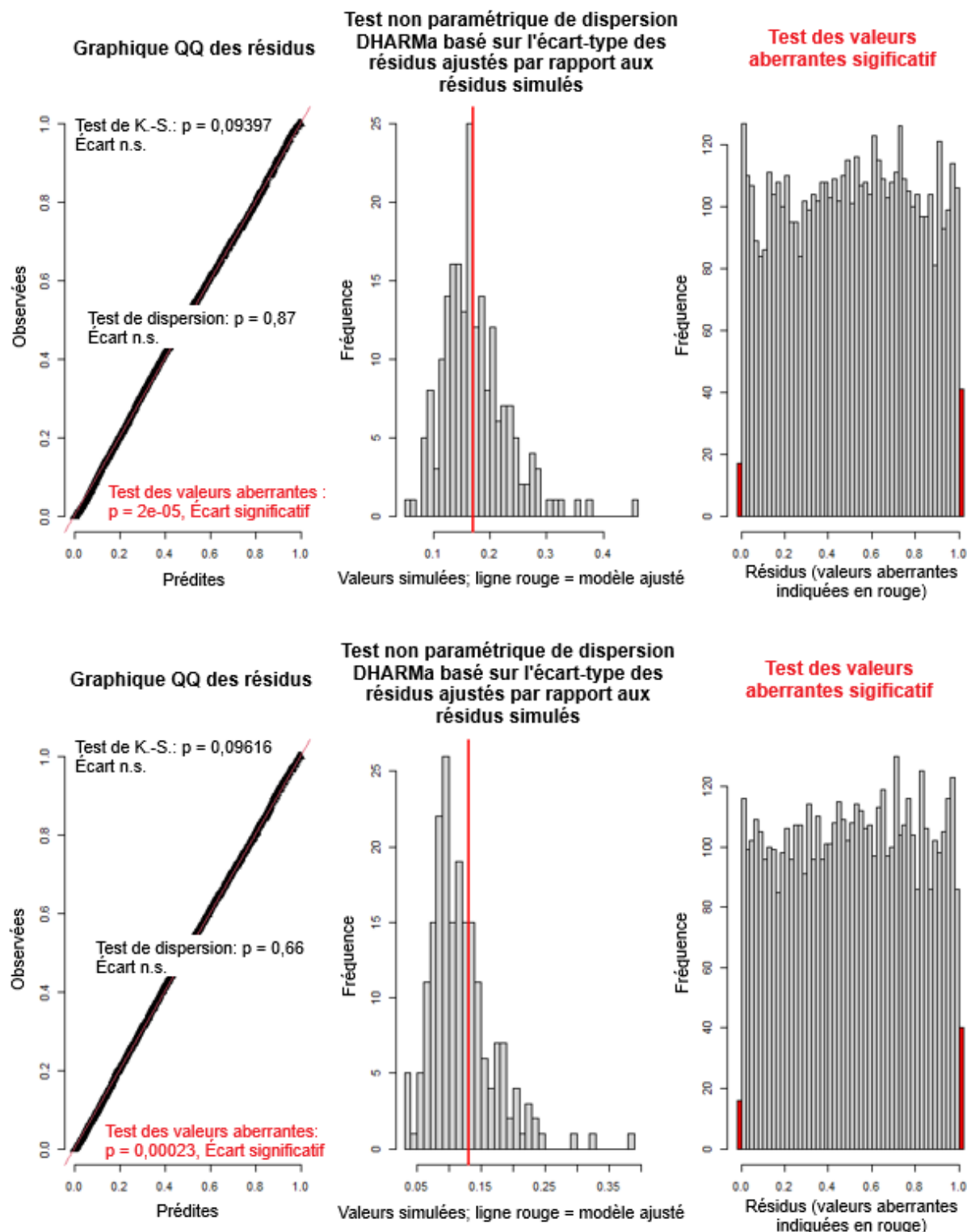


Figure 23: Graphiques diagnostiques DHARMA des modèles utilisés pour ajuster la biomasse de capelans matures dans le nord du golfe du Saint-Laurent, en considérant l'effet temporel de l'année comme un effet aléatoire tiré d'une distribution normale (panneaux supérieurs) ou comme un facteur indépendant (panneaux inférieurs).

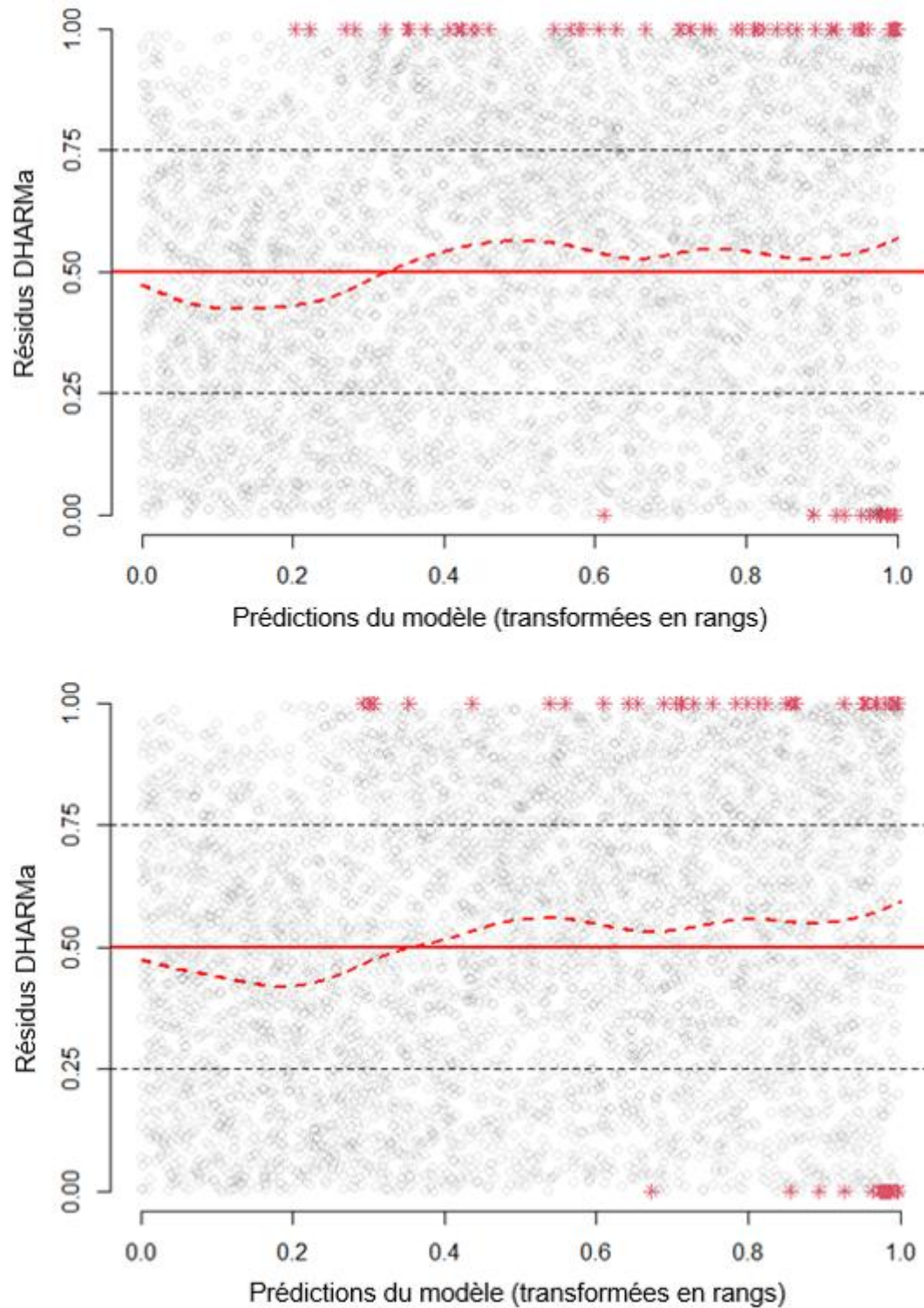


Figure 24: Graphiques des résidus DHARMA pour les modèles utilisés afin d'ajuster la biomasse de capelans matures dans le nord du golfe du Saint-Laurent, en considérant l'effet temporel de l'année comme un effet aléatoire tiré d'une distribution normale (panneau supérieur) ou comme un facteur catégoriel (panneau inférieur).

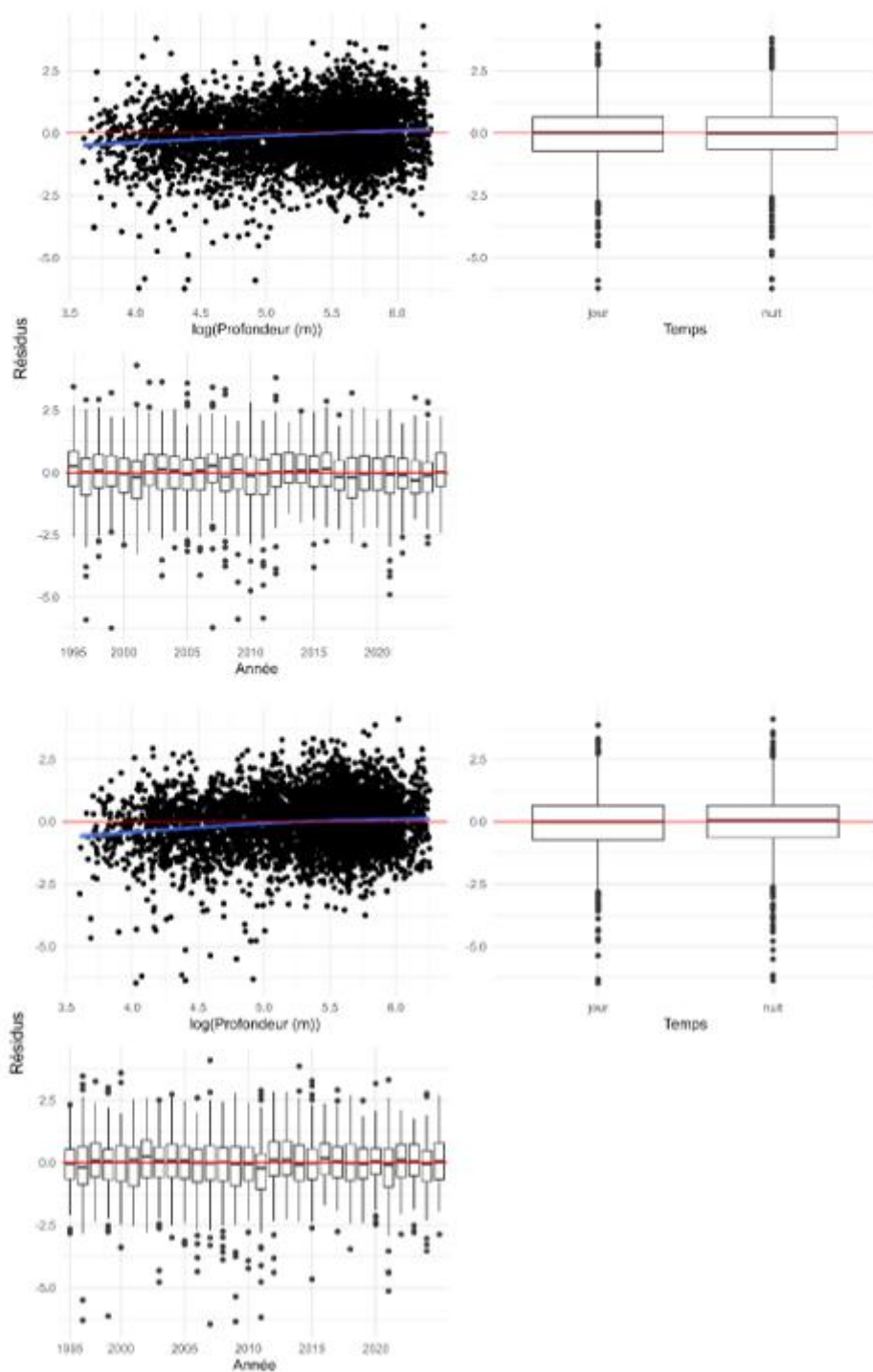


Figure 25: Résidus quantiles en relation avec les différentes variables prédictives (profondeur transformée logarithmiquement, heure de la journée en catégories et année) utilisées pour ajuster la biomasse de capelans matures dans le nord du golfe du Saint-Laurent, en considérant l'effet temporel de l'année comme un effet aléatoire tiré d'une distribution normale (panneaux supérieurs) ou comme un facteur catégoriel (panneaux inférieurs). La ligne horizontale rouge indique une valeur de 0, et la ligne bleue représente une courbe lissée des valeurs résiduelles.

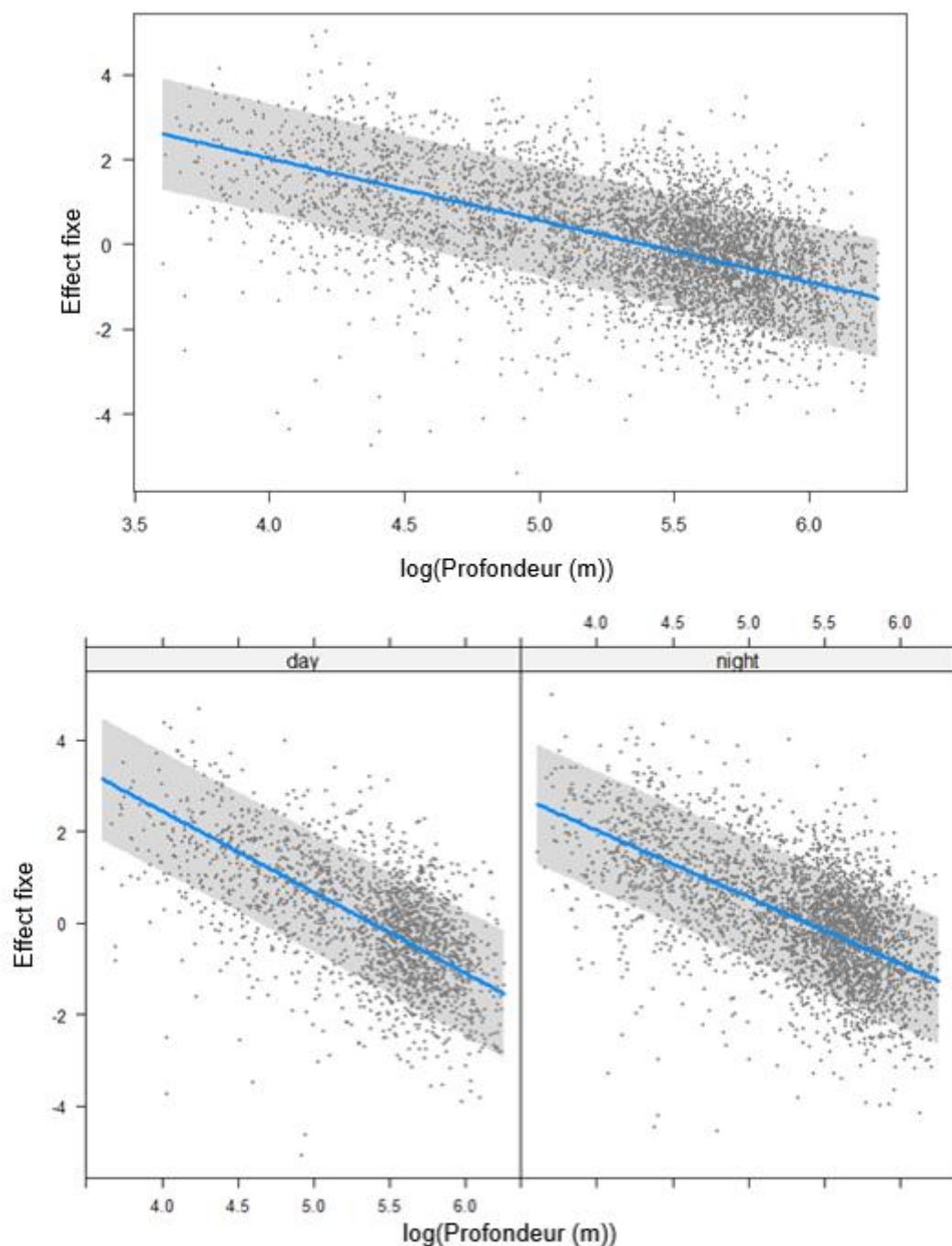


Figure 26: Moyenne conditionnelle (ligne bleue) et intervalle de confiance à 95 % (zone ombragée) des effets de la profondeur transformée logarithmiquement (panneau supérieur) et de l'interaction entre la profondeur transformée logarithmiquement et l'heure de la journée (panneaux inférieurs) sur le poids des capelans matures capturés lors du relevé au chalut de fond dans le nord du golfe du Saint-Laurent, estimés à l'aide du modèle sélectionné avec sdmTMB. (day = jour, night = nuit).

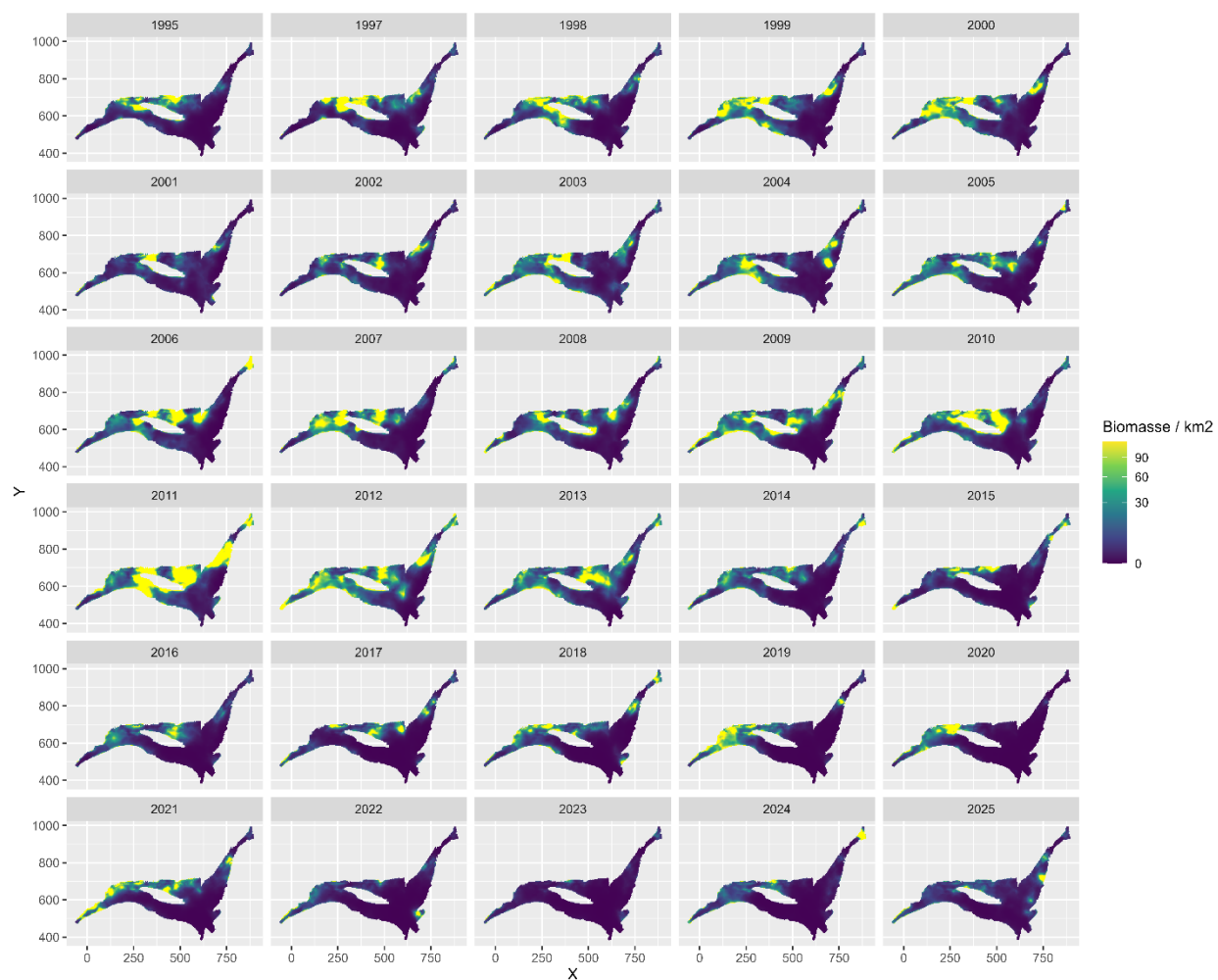


Figure 27: Cartes annuelles de la biomasse de capelans matures (kg) dans le nord du golfe du Saint-Laurent, prédite à l'aide du modèle sdmTMB sélectionné.

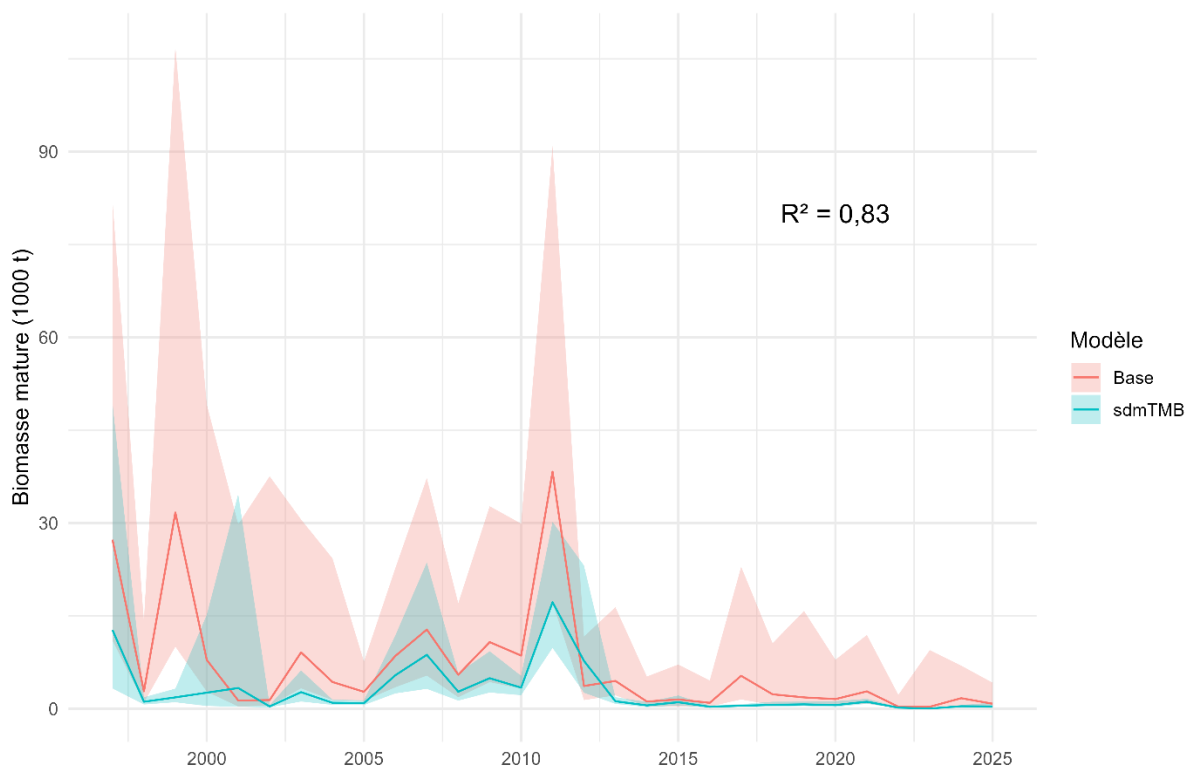


Figure 28: Biomasse de capelans matures estimée à l'aide des approches fondée sur le plan d'échantillonnage (rouge) et sdmTMB (bleu) dans le nord du golfe du Saint-Laurent, avec les valeurs de R^2 issues des corrélations de Pearson basées sur des comparaisons annuelles. Les zones ombragées représentent les intervalles de confiance à 95 %.

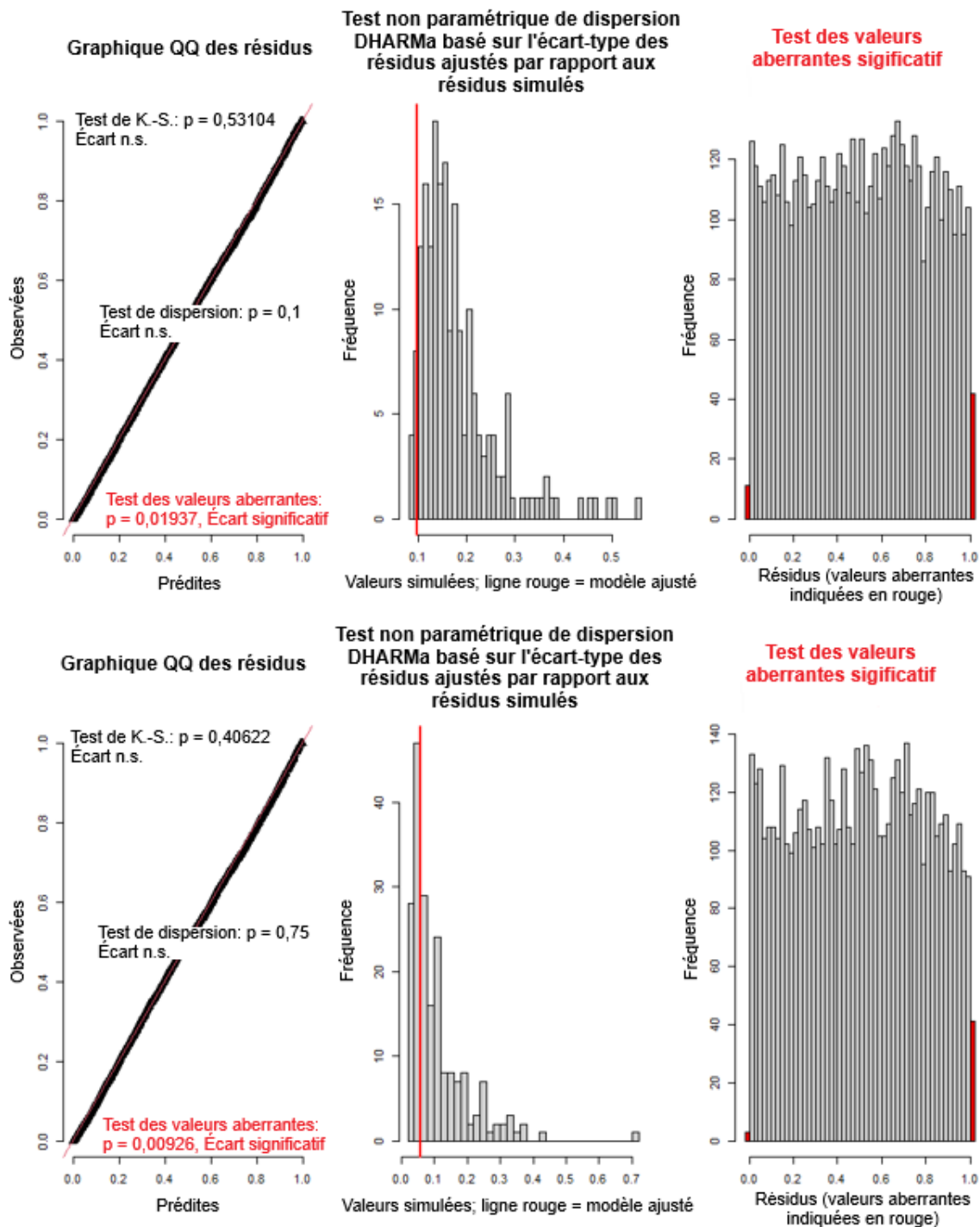


Figure 29: Graphiques diagnostiques DHARMA des modèles utilisés pour ajuster la biomasse de capelans matures dans le sud du golfe du Saint-Laurent, en considérant l'effet temporel de l'année comme un effet aléatoire tiré d'une distribution normale (panneaux supérieurs) ou comme un facteur indépendant (panneaux inférieurs).

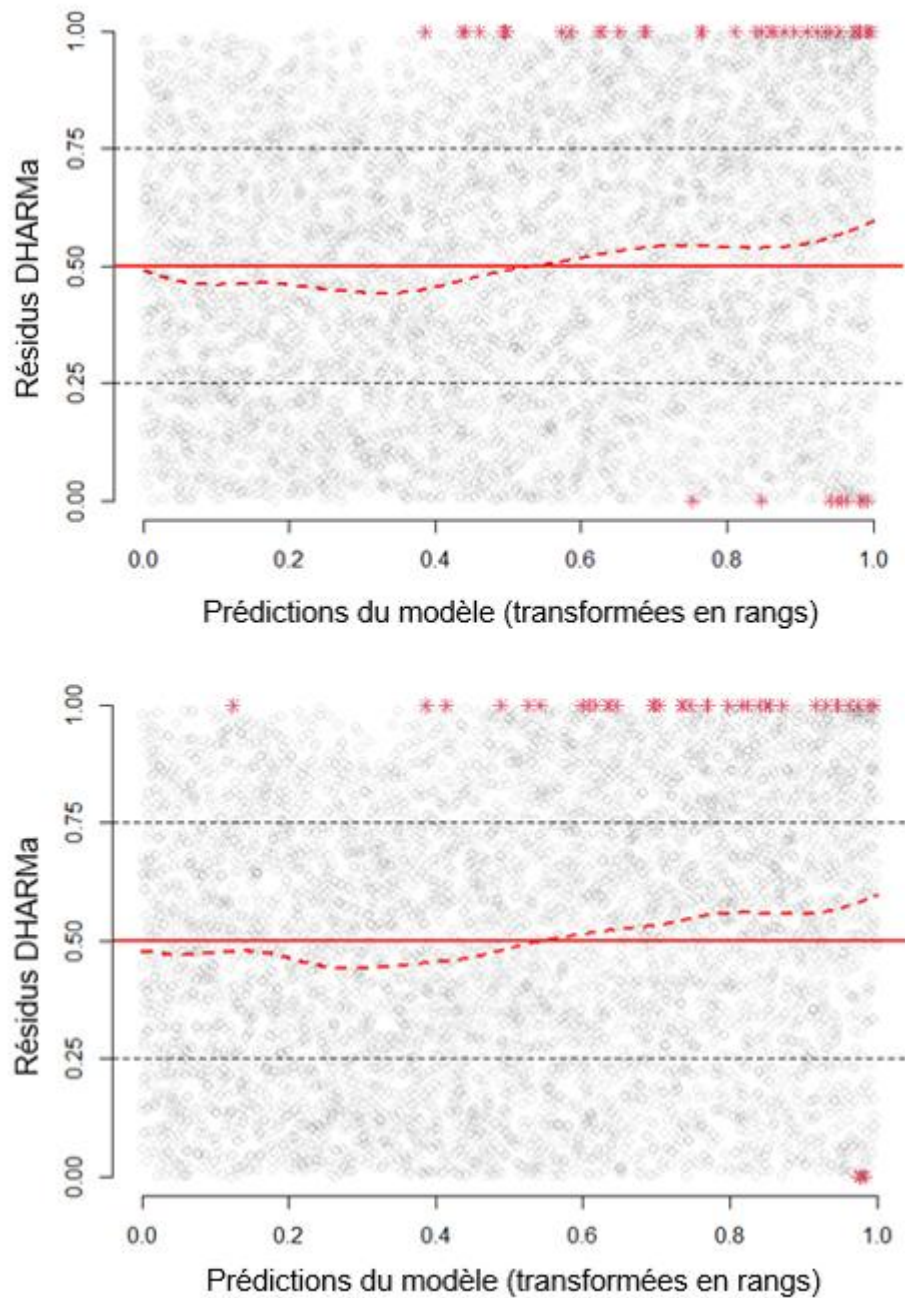


Figure 30: Graphiques des résidus DHARMa pour les modèles utilisés afin d'ajuster la biomasse de capelans matures dans le sud du golfe du Saint-Laurent, en considérant l'effet temporel de l'année comme un effet aléatoire tiré d'une distribution normale (panneau supérieur) ou comme un facteur catégoriel (panneau inférieur).

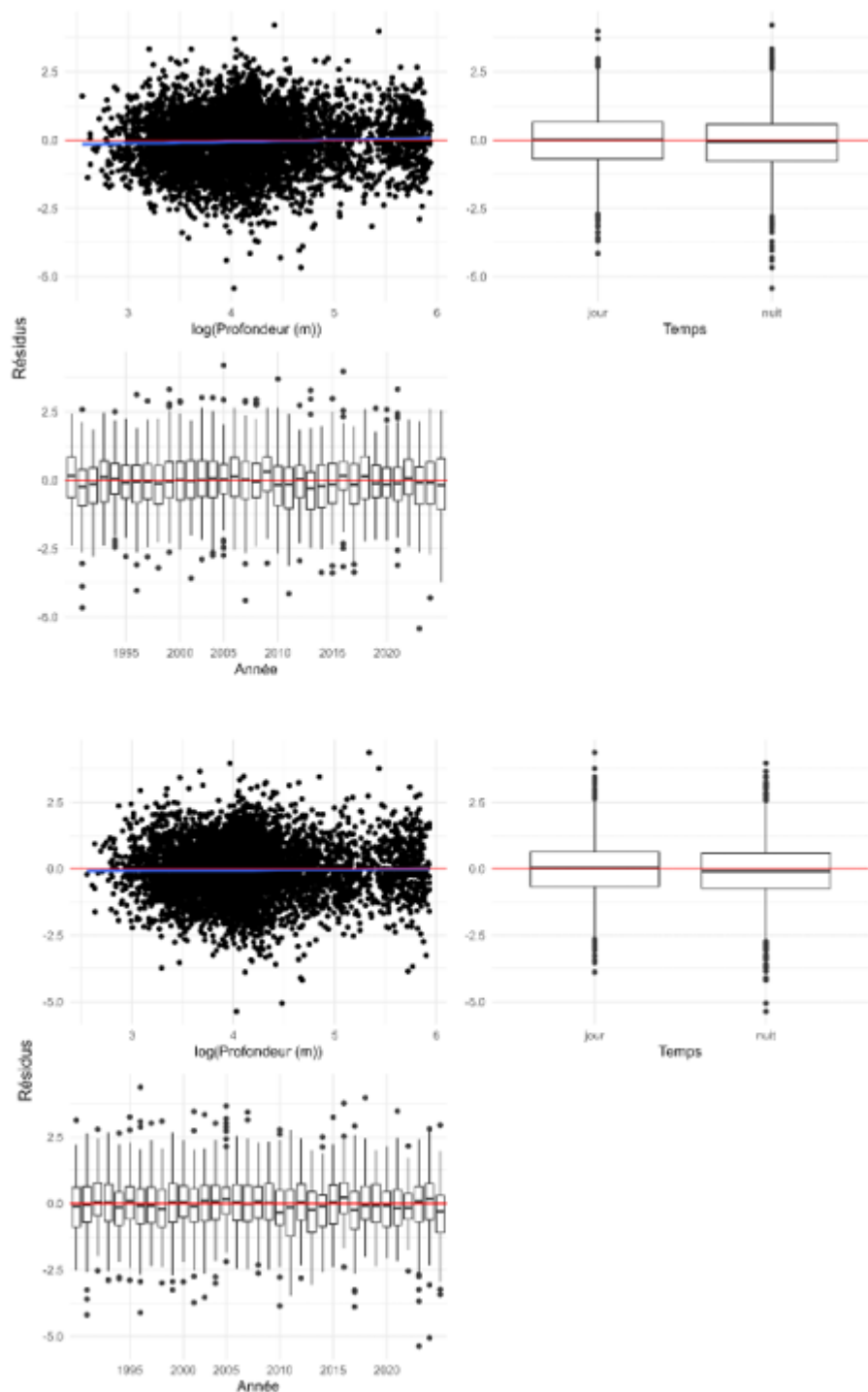


Figure 31: Résidus quantiles en relation avec les différentes variables prédictives (profondeur transformée logarithmiquement, heure de la journée en catégories et année) utilisées pour ajuster la biomasse de capelans matures dans le sud du golfe du Saint-Laurent, en considérant l'effet temporel de l'année comme un effet aléatoire tiré d'une distribution normale (panneaux supérieurs) ou comme un facteur catégoriel (panneaux inférieurs). La ligne horizontale rouge indique une valeur de 0, et la ligne bleue représente une courbe lissée des valeurs résiduelles.

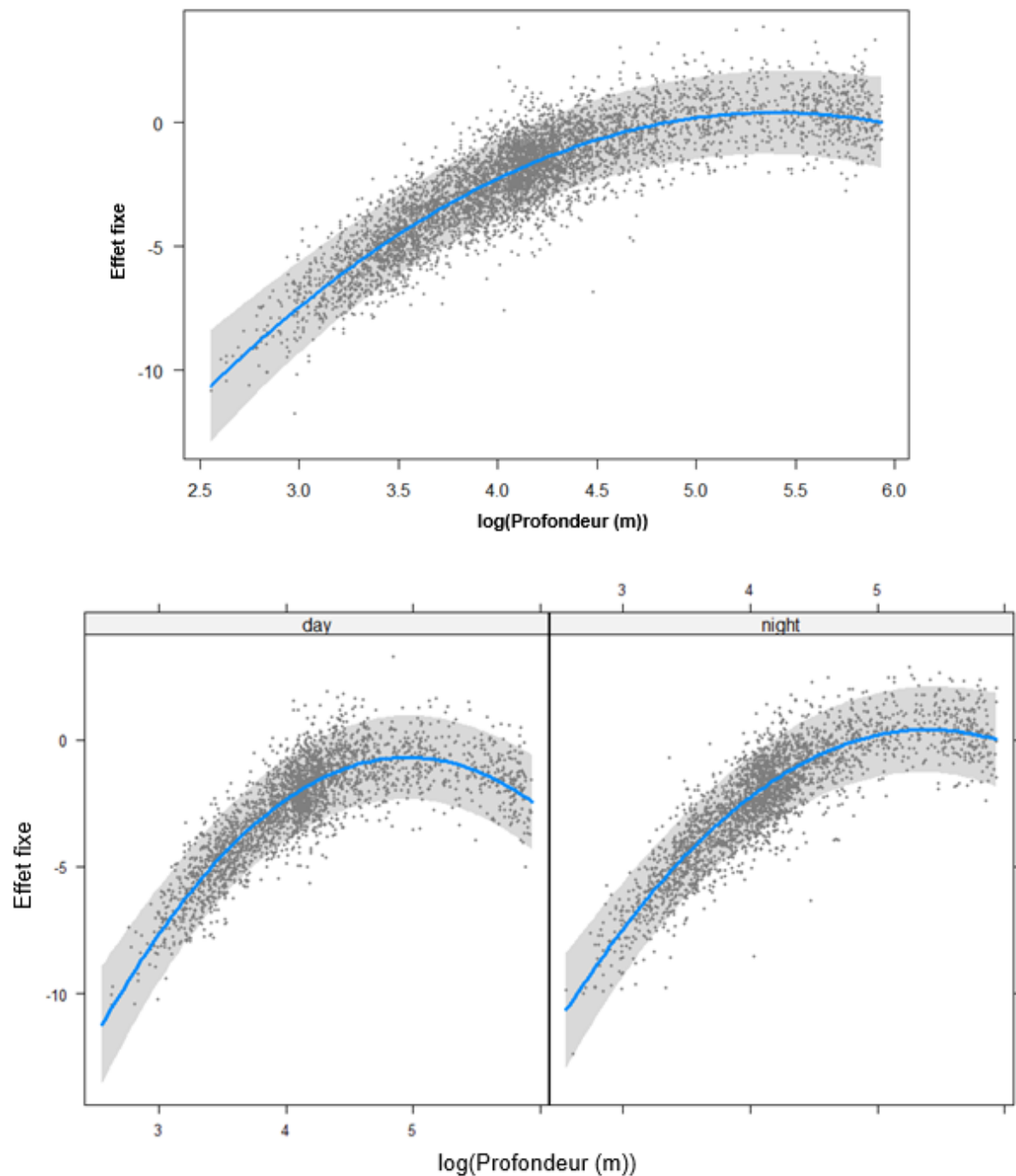


Figure 32: Moyenne conditionnelle (ligne bleue) et intervalle de confiance à 95 % (zone ombragée) des effets de la profondeur transformée logarithmiquement (panneau supérieur) et de l'interaction entre la profondeur transformée logarithmiquement et l'heure de la journée (panneaux inférieurs) sur le poids des capelans matures capturés lors du relevé au chalut de fond dans le sud du golfe du Saint-Laurent, estimés à l'aide du modèle sélectionné avec sdmTMB. (day = jour, night = nuit).

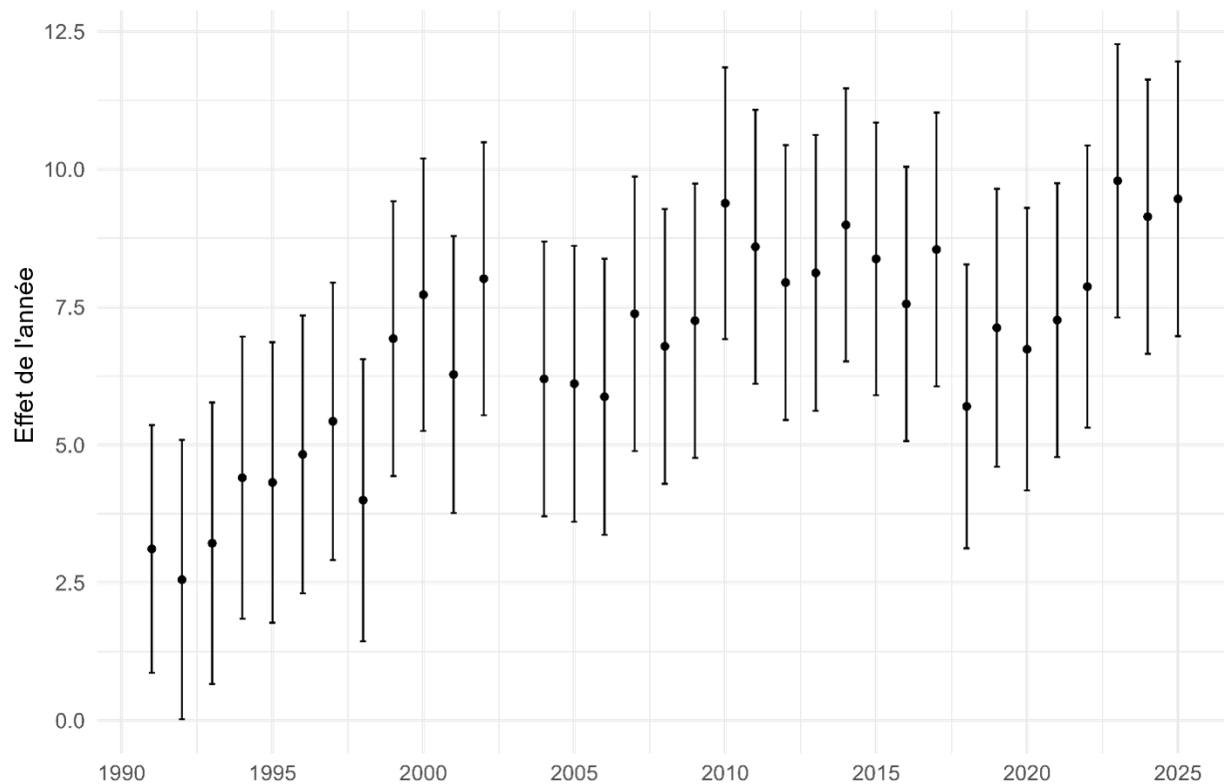


Figure 33: Coefficients (points) et intervalles de confiance (lignes verticales) de l'effet temporel de l'année comme facteur catégoriel dans le modèle sélectionné utilisé pour ajuster la biomasse de capelans matures dans le sud du golfe du Saint-Laurent.



Figure 34 : Cartes annuelles de la biomasse de capelans matures (kg) dans le sud du golfe du Saint-Laurent, prédite à l'aide du modèle sdmTMB sélectionné.

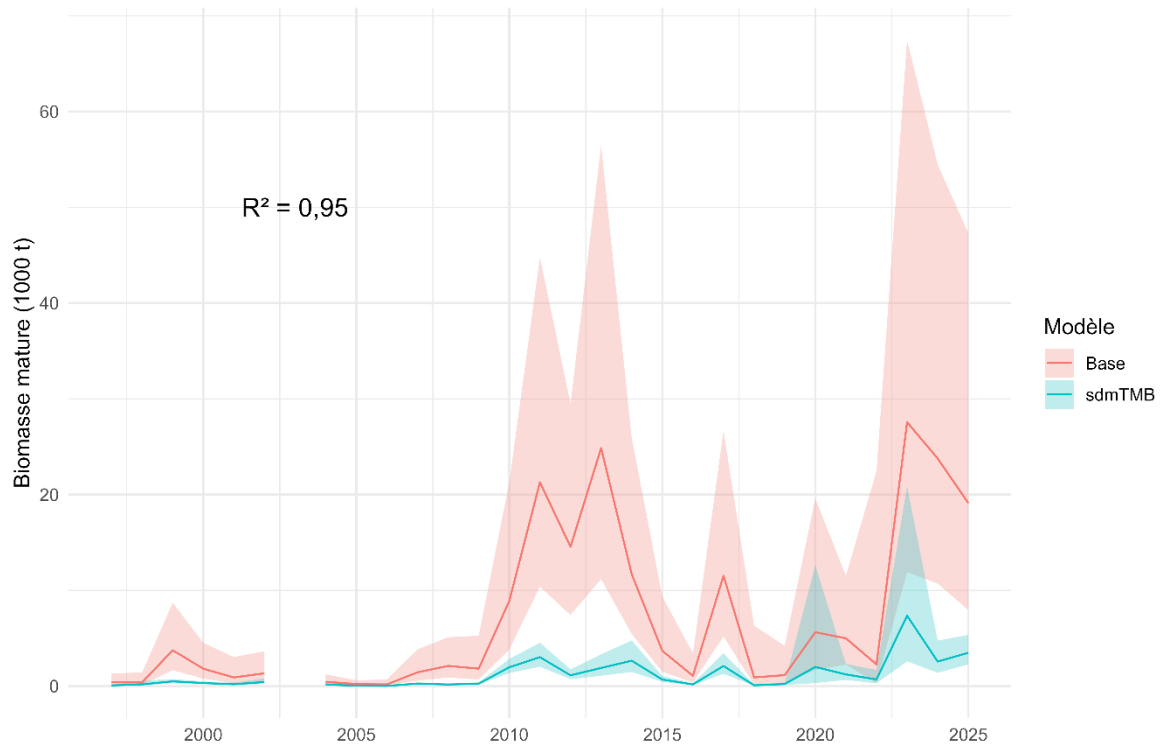


Figure 35: Biomasse de capelans matures estimée à l'aide des approches fondée sur le plan d'échantillonnage (rouge) et sdmTMB (bleu) dans le sud du golfe du Saint-Laurent, avec les valeurs de R^2 issues des corrélations de Pearson basées sur des comparaisons annuelles. Les zones ombragées représentent les intervalles de confiance à 95 %.

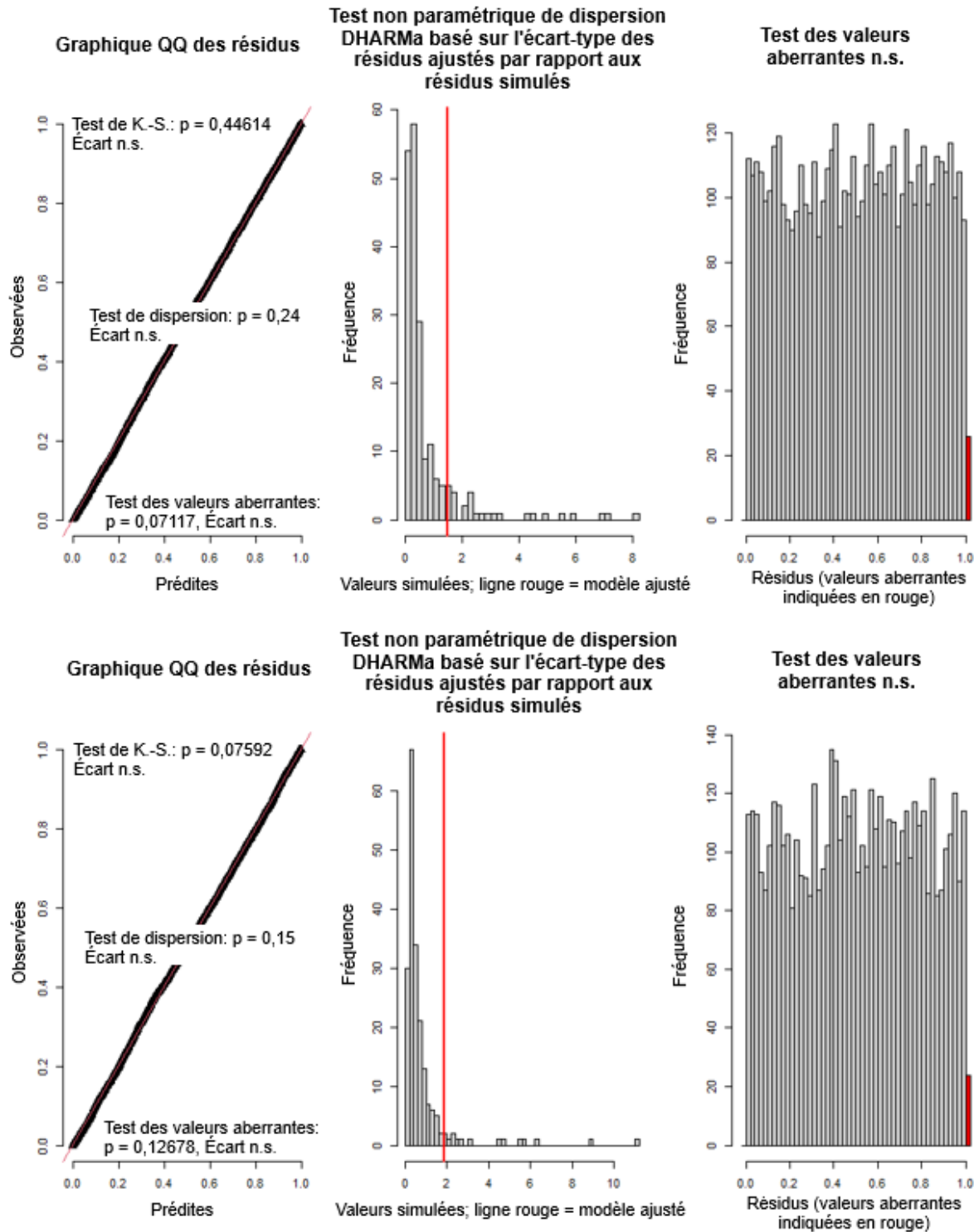


Figure 36: Graphiques diagnostiques DHARMA des modèles utilisés pour ajuster les capelans d'âge 1 dans le nord du golfe du Saint-Laurent, en considérant l'effet temporel de l'année comme un effet aléatoire tiré d'une distribution normale (panneaux supérieurs) ou comme un facteur indépendant (panneaux inférieurs).

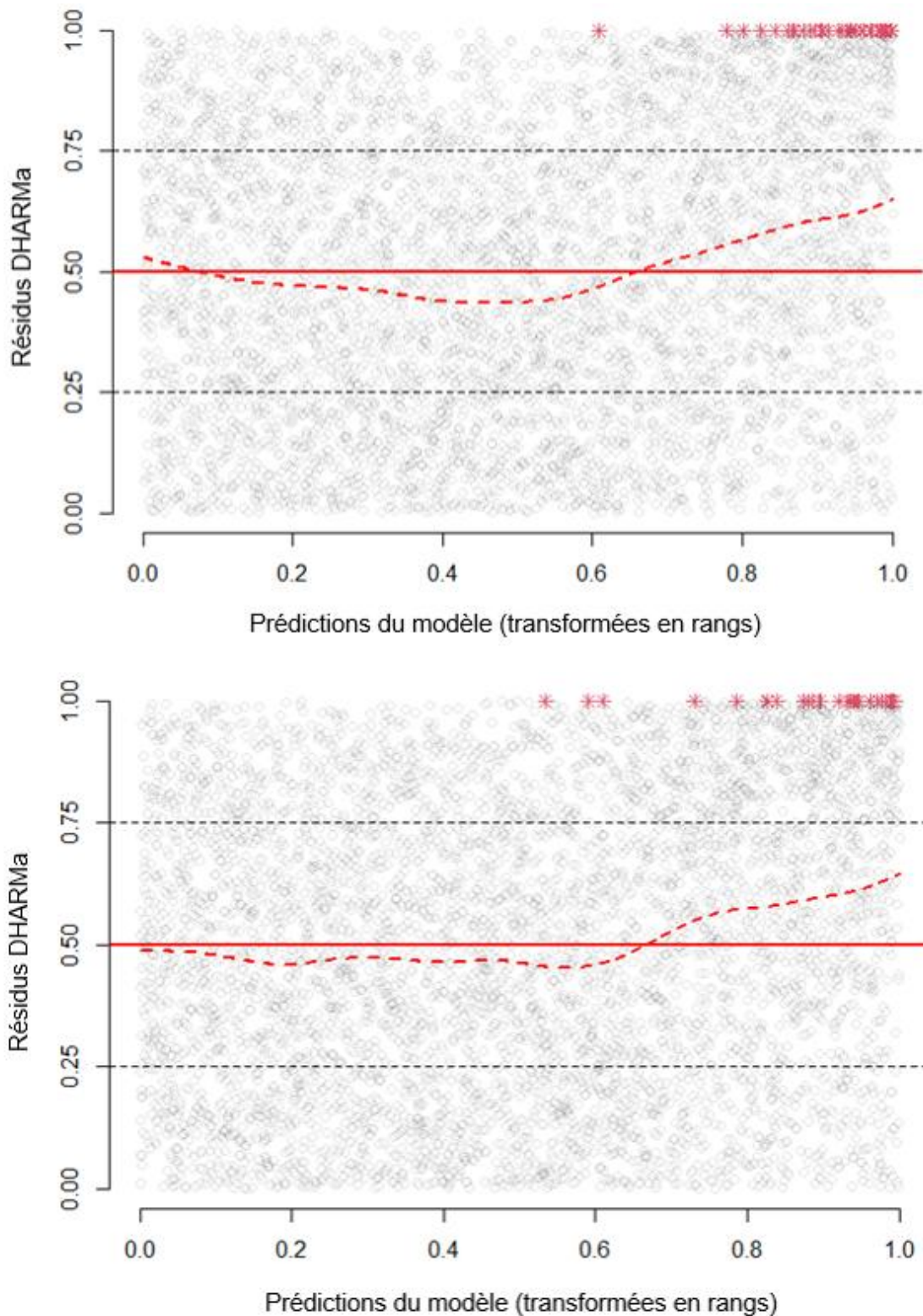


Figure 37: Graphiques des résidus DHARMa pour les modèles utilisés afin d'ajuster les capelans d'âge 1 dans le nord du golfe du Saint-Laurent, en considérant l'effet temporel de l'année comme un effet aléatoire tiré d'une distribution normale (panneau supérieur) ou comme un facteur catégoriel (panneau inférieur).

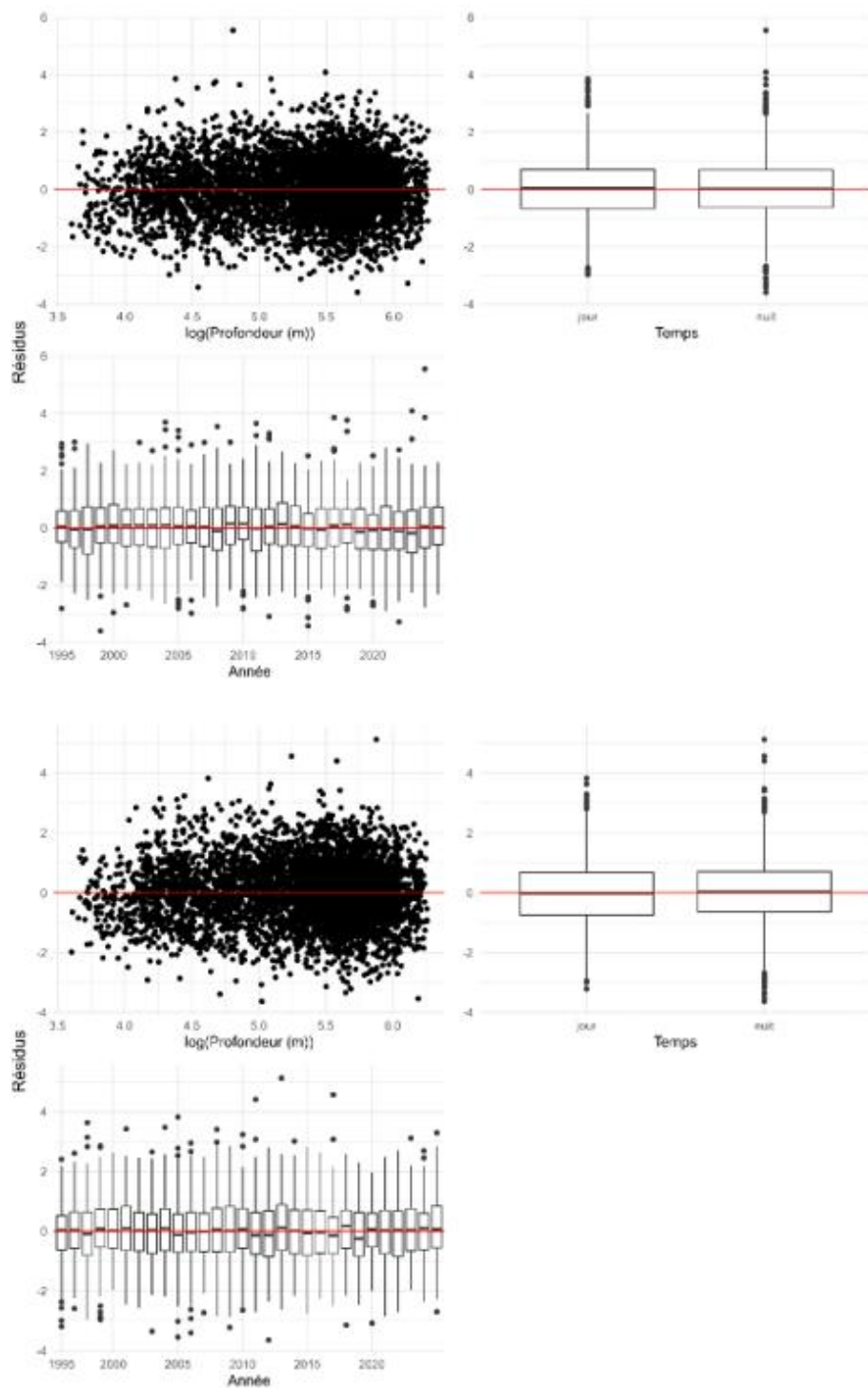


Figure 38: Résidus quantiles en relation avec les différentes variables prédictives (profondeur transformée logarithmiquement, heure de la journée en catégories et année) utilisées pour ajuster les capelans d'âge 1 dans le nord du golfe du Saint-Laurent, en considérant l'effet temporel de l'année comme un effet aléatoire tiré d'une distribution normale (panneaux supérieurs) ou comme un facteur catégoriel (panneaux inférieurs). La ligne horizontale rouge indique une valeur de 0, et la ligne bleue représente une courbe lissée des valeurs résiduelles.

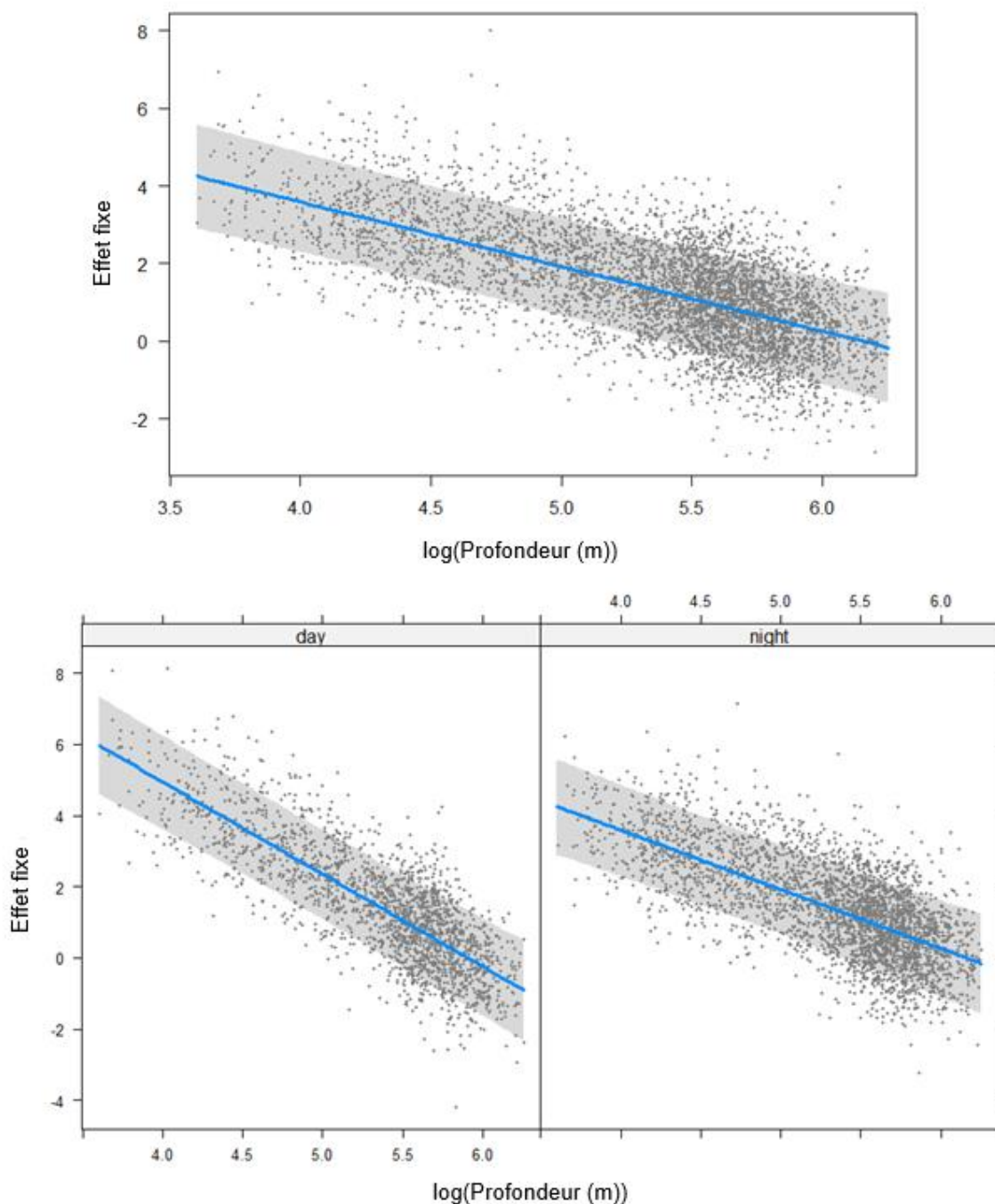


Figure 39: Moyenne conditionnelle (ligne bleue) et intervalle de confiance à 95 % (zone ombragée) des effets de la profondeur transformée logarithmiquement (panneau supérieur) et de l'interaction entre la profondeur transformée logarithmiquement et l'heure de la journée (panneaux inférieurs) sur le nombre de capelans d'âge 1 capturés lors du relevé au chalut de fond dans le nord du golfe du Saint-Laurent, estimés à l'aide du modèle sélectionné avec sdmTMB. (day = jour, night = nuit).

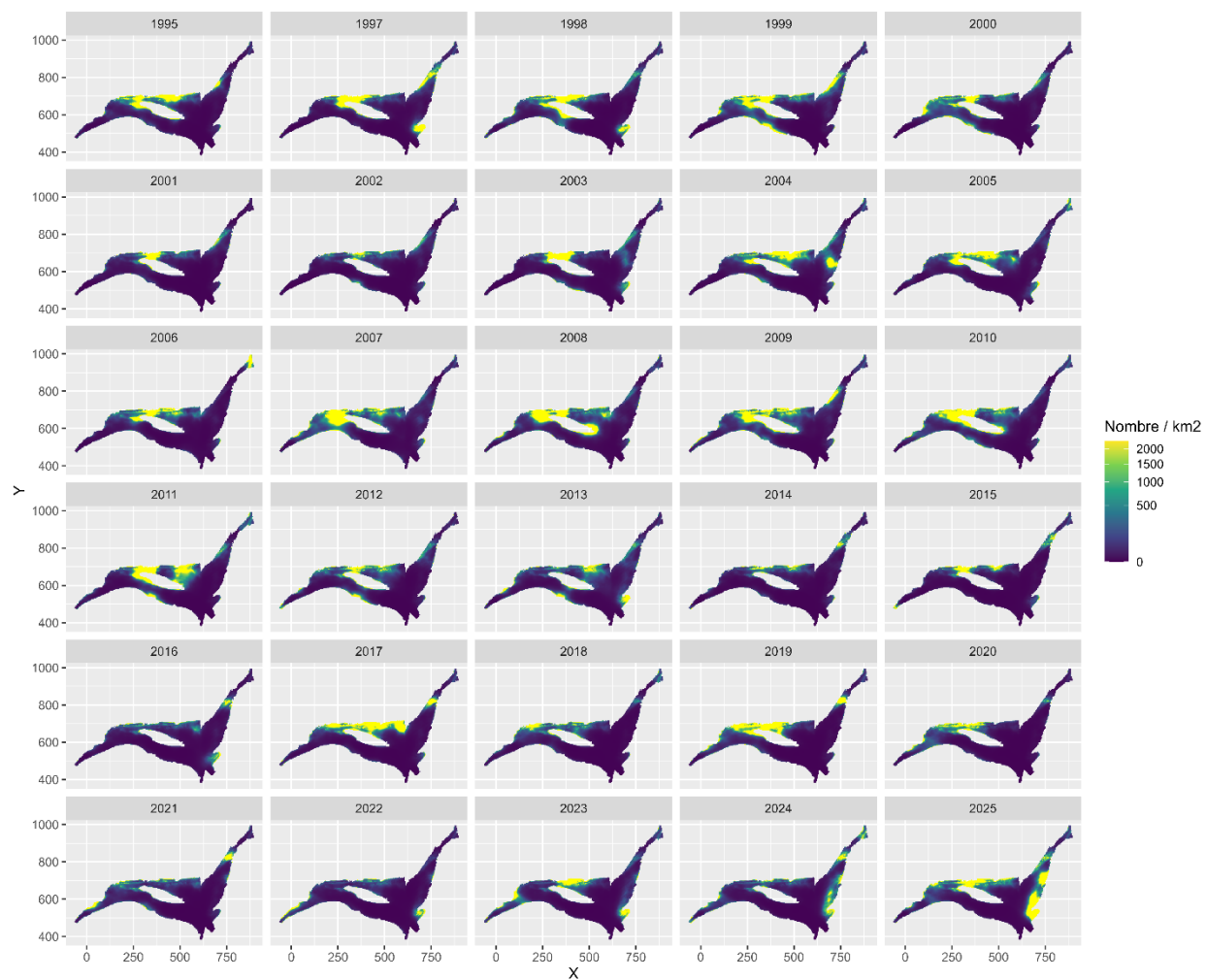


Figure 40: Cartes annuelles du nombre de capelans d'âge 1 dans le nord du golfe du Saint-Laurent, prédit à l'aide du modèle sdmTMB sélectionné.

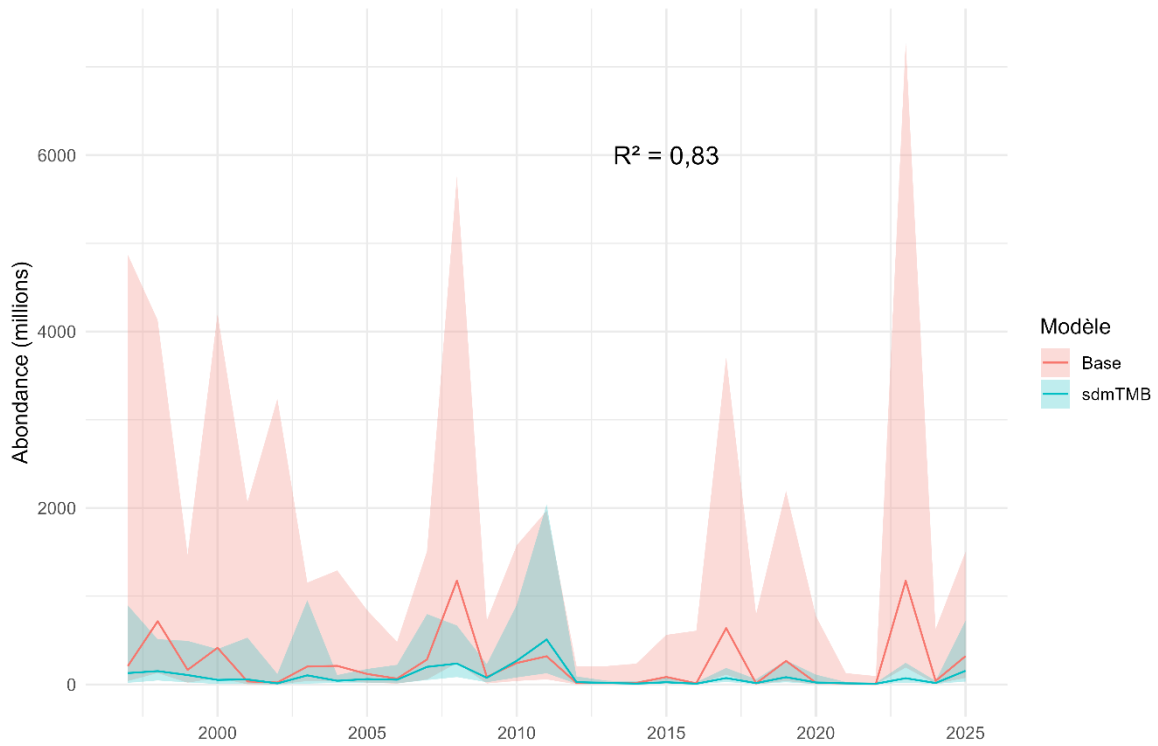


Figure 41: Abondance des capelans d'âge 1 estimée à l'aide des approches fondées sur le plan d'échantillonnage (rouge) et sdmTMB (bleu) dans le nord du golfe du Saint-Laurent, avec les valeurs de R^2 issues des corrélations de Pearson basées sur des comparaisons annuelles. Les zones ombragées représentent les intervalles de confiance à 95 %.

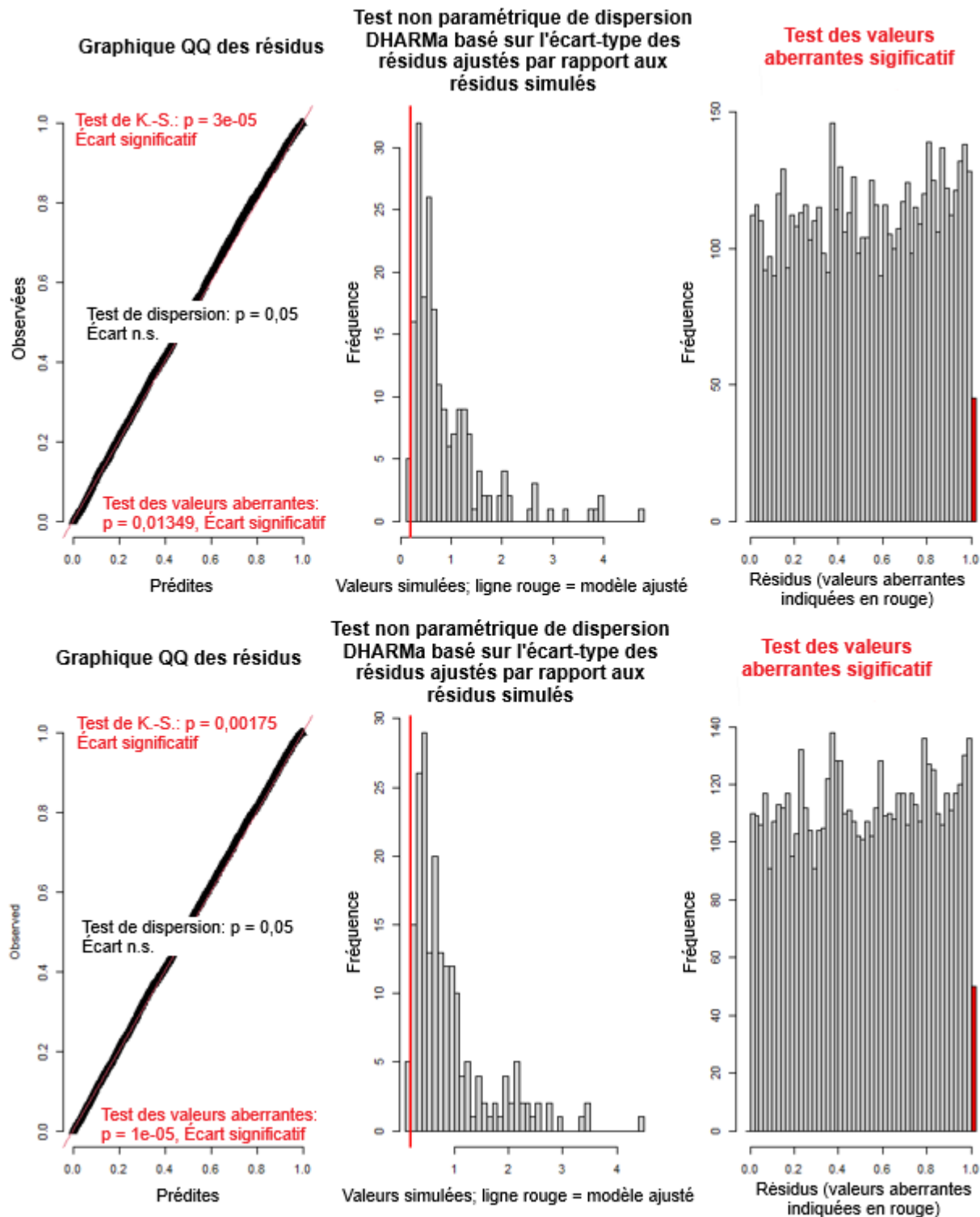


Figure 42: Graphiques diagnostiques DHARMA des modèles utilisés pour ajuster les capelans d'âge 1 dans le sud du golfe du Saint-Laurent, en considérant l'effet temporel de l'année comme un effet aléatoire tiré d'une distribution normale (panneaux supérieurs) ou comme un facteur indépendant (panneaux inférieurs).

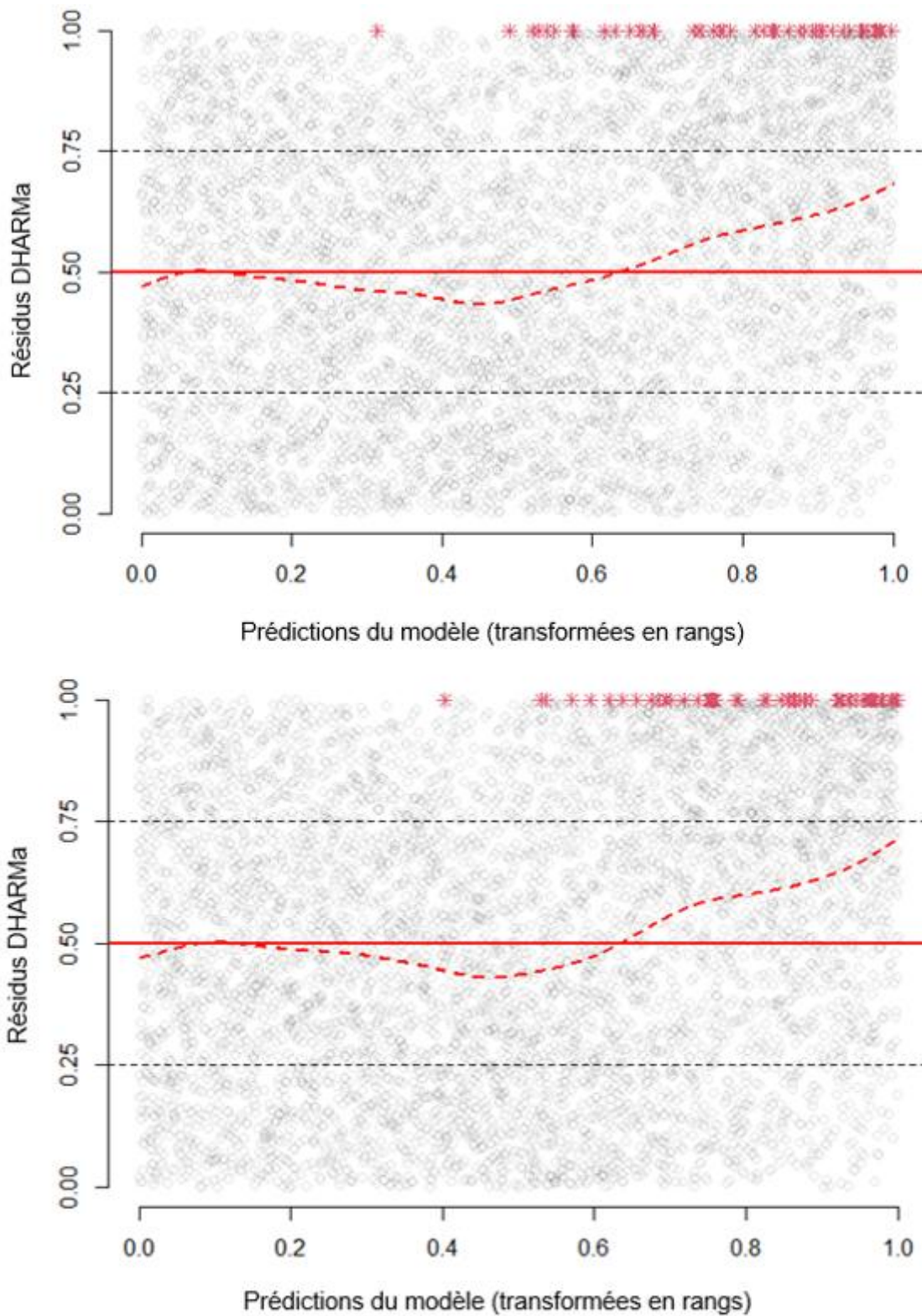


Figure 43: Graphiques des résidus DHARMa pour les modèles utilisés afin d'ajuster les capelans d'âge 1 dans le sud du golfe du Saint-Laurent, en considérant l'effet temporel de l'année comme un effet aléatoire tiré d'une distribution normale (panneau supérieur) ou comme un facteur catégoriel (panneau inférieur).

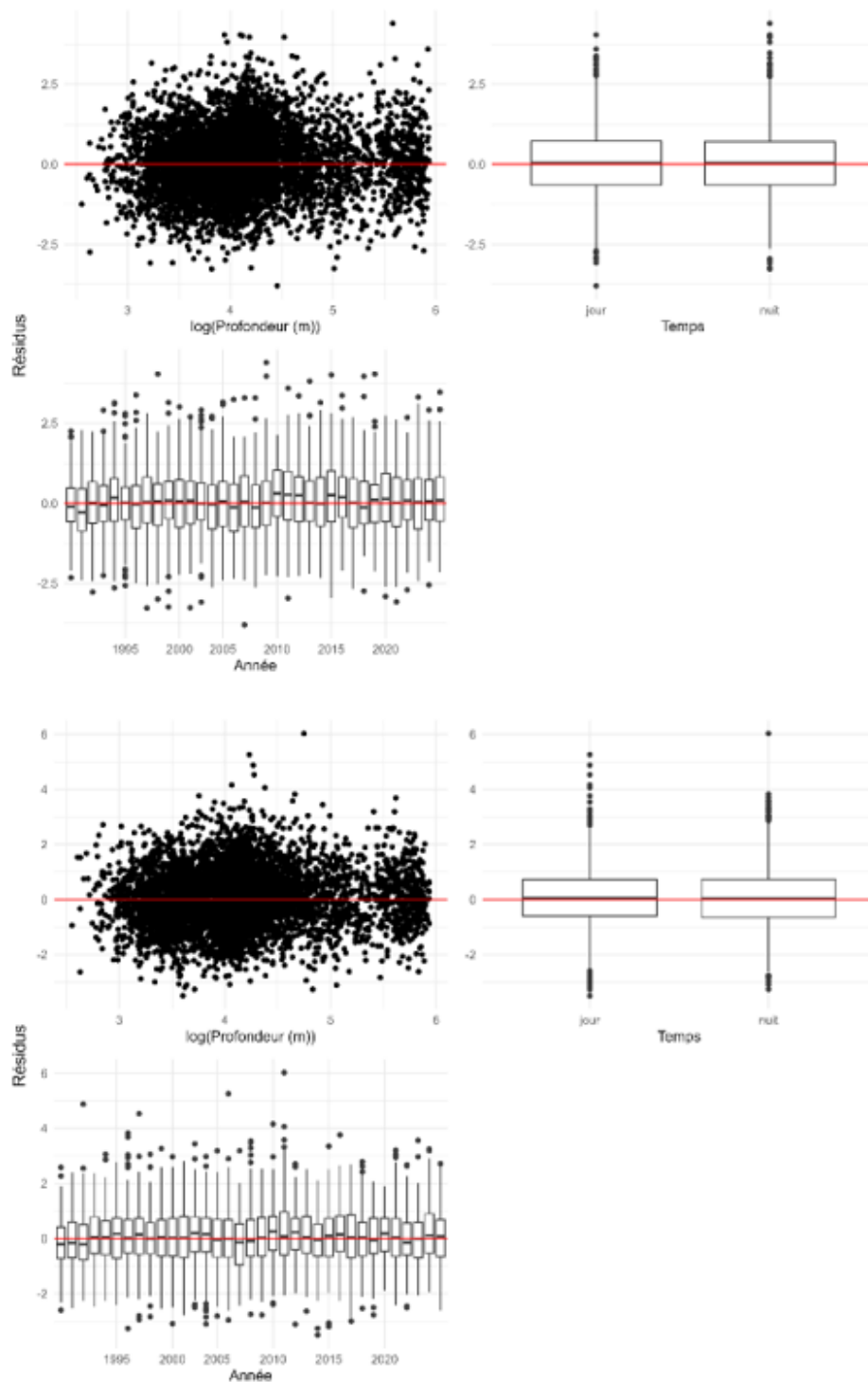


Figure 44: Résidus quantiles en relation avec les différentes variables prédictives (profondeur transformée logarithmiquement, heure de la journée en catégories et année) utilisées pour ajuster les capelans d'âge 1 dans le sud du golfe du Saint-Laurent, en considérant l'effet temporel de l'année comme un effet aléatoire tiré d'une distribution normale (panneaux supérieurs) ou comme un facteur catégoriel (panneaux inférieurs). La ligne horizontale rouge indique une valeur de 0, et la ligne bleue représente une courbe lissée des valeurs résiduelles.

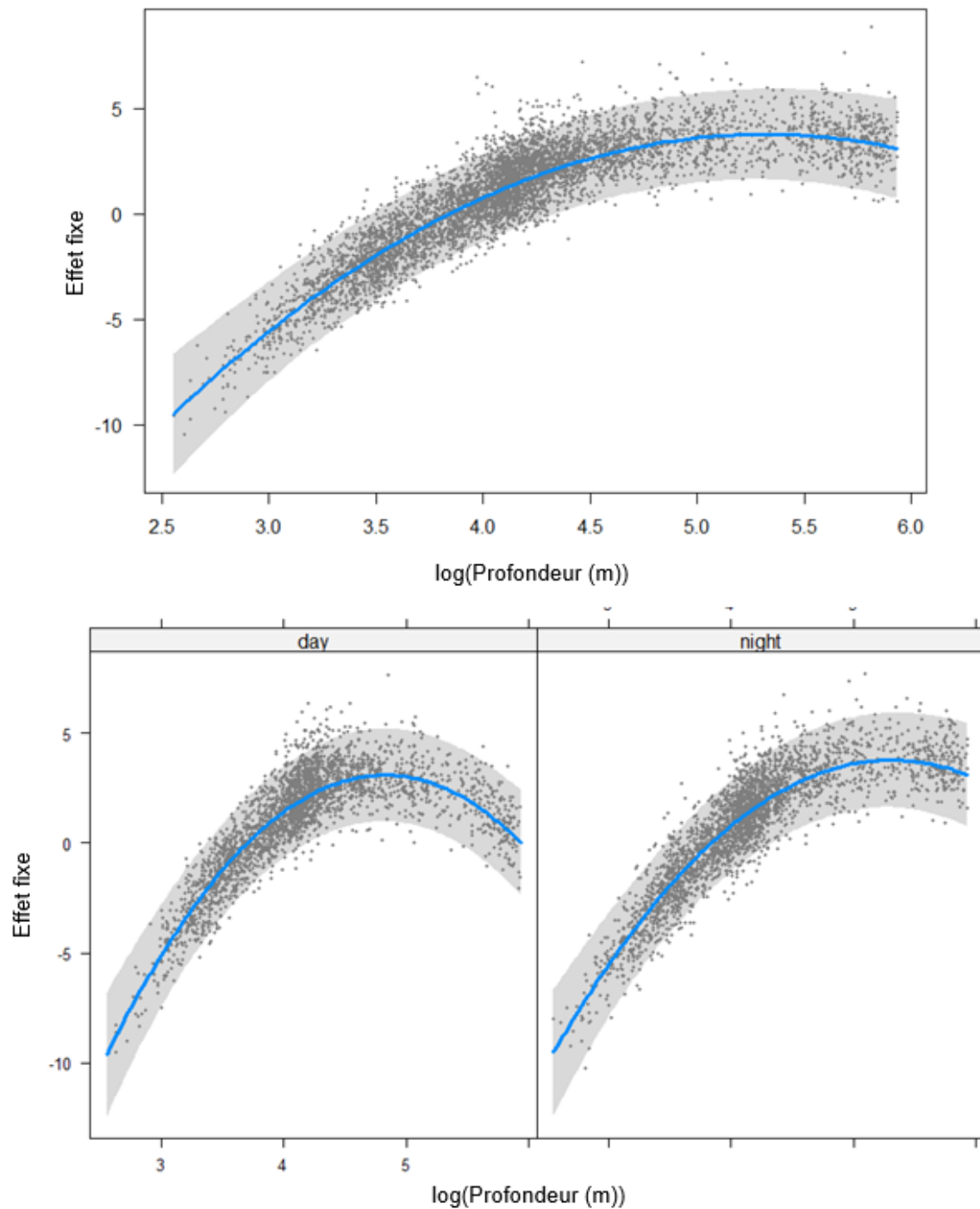


Figure 45: Moyenne conditionnelle (ligne bleue) et intervalle de confiance à 95 % (zone ombragée) des effets de la profondeur transformée logarithmiquement (panneau supérieur) et de l'interaction entre la profondeur transformée logarithmiquement et l'heure de la journée (panneaux inférieurs) sur le nombre de capelans d'âge 1 capturés lors du relevé au chalut de fond dans le nord du golfe du Saint-Laurent, estimés à l'aide du modèle sélectionné avec sdmTMB. (day = jour, night = nuit).

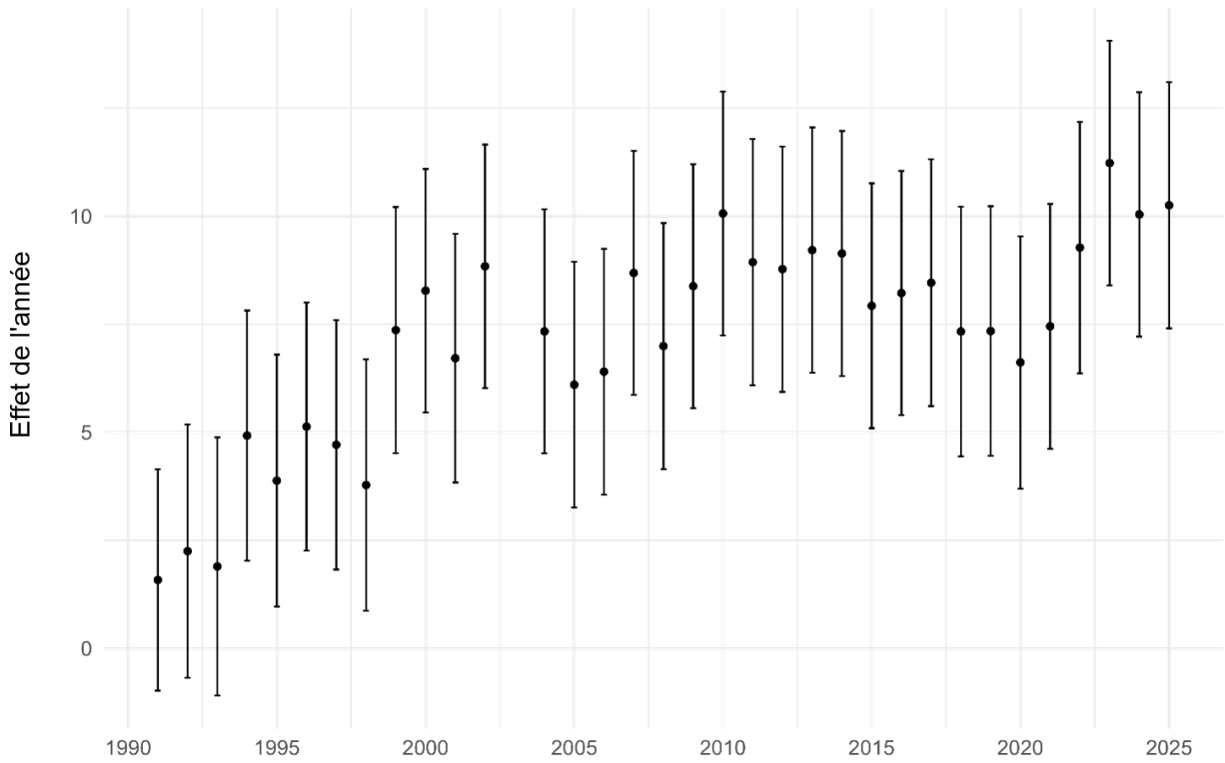


Figure 46: Coefficients (points) et intervalles de confiance (lignes verticales) de l'effet temporel de l'année comme facteur catégoriel dans le modèle sélectionné utilisé pour ajuster l'abondance des capelans d'âge 1 dans le sud du golfe du Saint-Laurent.



Figure 47: Cartes annuelles du nombre de capelans d'âge 1 dans le sud du golfe du Saint-Laurent, prédit à l'aide du modèle sdmTMB sélectionné.

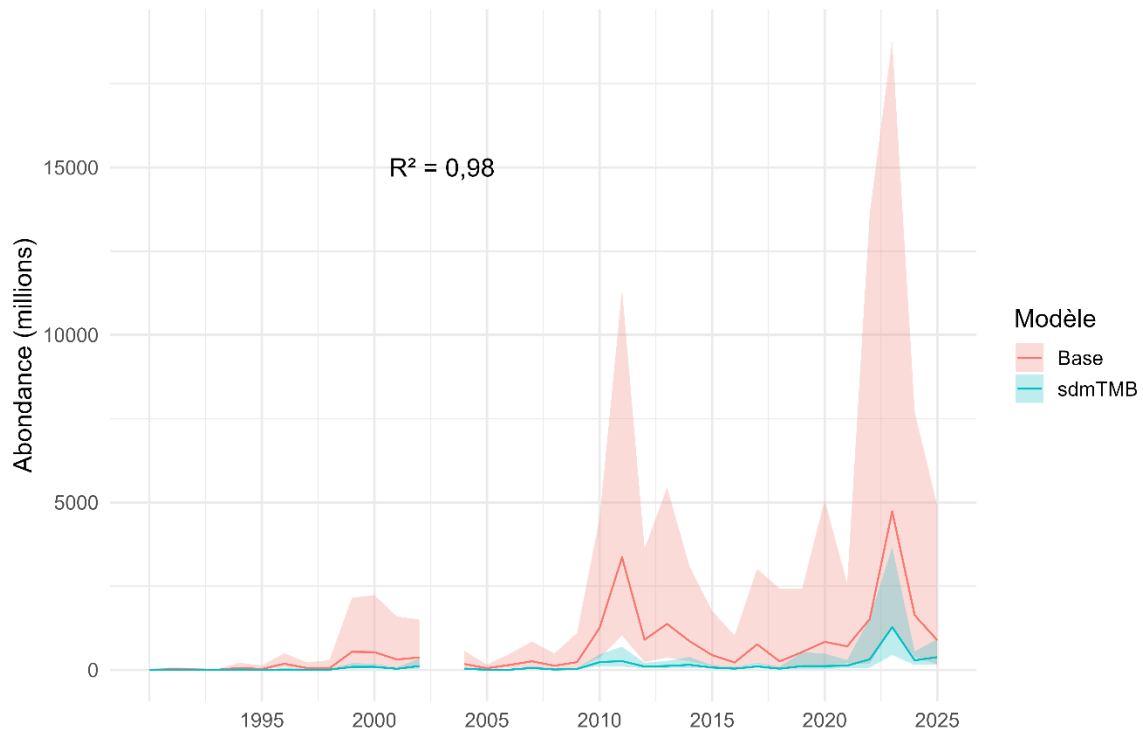


Figure 48: Abondance des capelans d'âge 1 estimée à l'aide des approches fondées sur le plan d'échantillonnage (rouge) et sdmTMB (bleu) dans le sud du golfe du Saint-Laurent, avec les valeurs de R^2 issues des corrélations de Pearson basées sur des comparaisons annuelles. Les zones ombragées représentent les intervalles de confiance à 95 %.

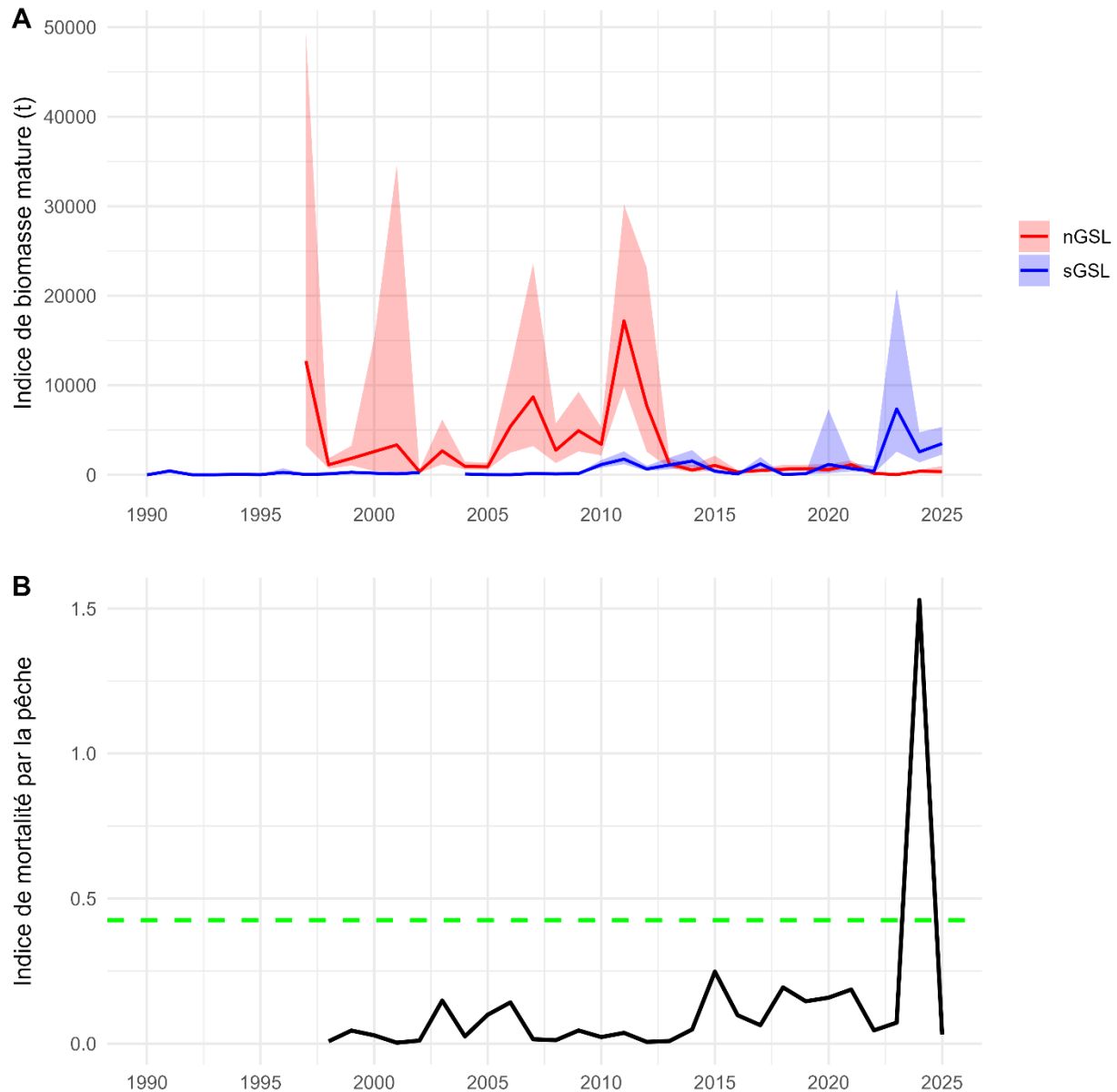


Figure 49: Séries chronologiques des (A) indices de biomasse mature estimés avec sdmTMB dans le nord (nGSL) et le sud (sGSL) du golfe du Saint-Laurent et (B) de l'indice de mortalité par la pêche estimé à partir du ratio des débarquements totaux sur la biomasse mature mise à l'échelle du nGSL de l'année précédente. Les zones ombragées dans le panneau supérieur représentent les intervalles de confiance à 95 %. La ligne horizontale pointillée dans le panneau inférieur représente les niveaux au-delà desquels les prélèvements causent des dommages importants aux petits pélagiques selon Patterson (1992) (c.-à-d. mortalité par la pêche = $\frac{1}{2}$ de la mortalité naturelle).

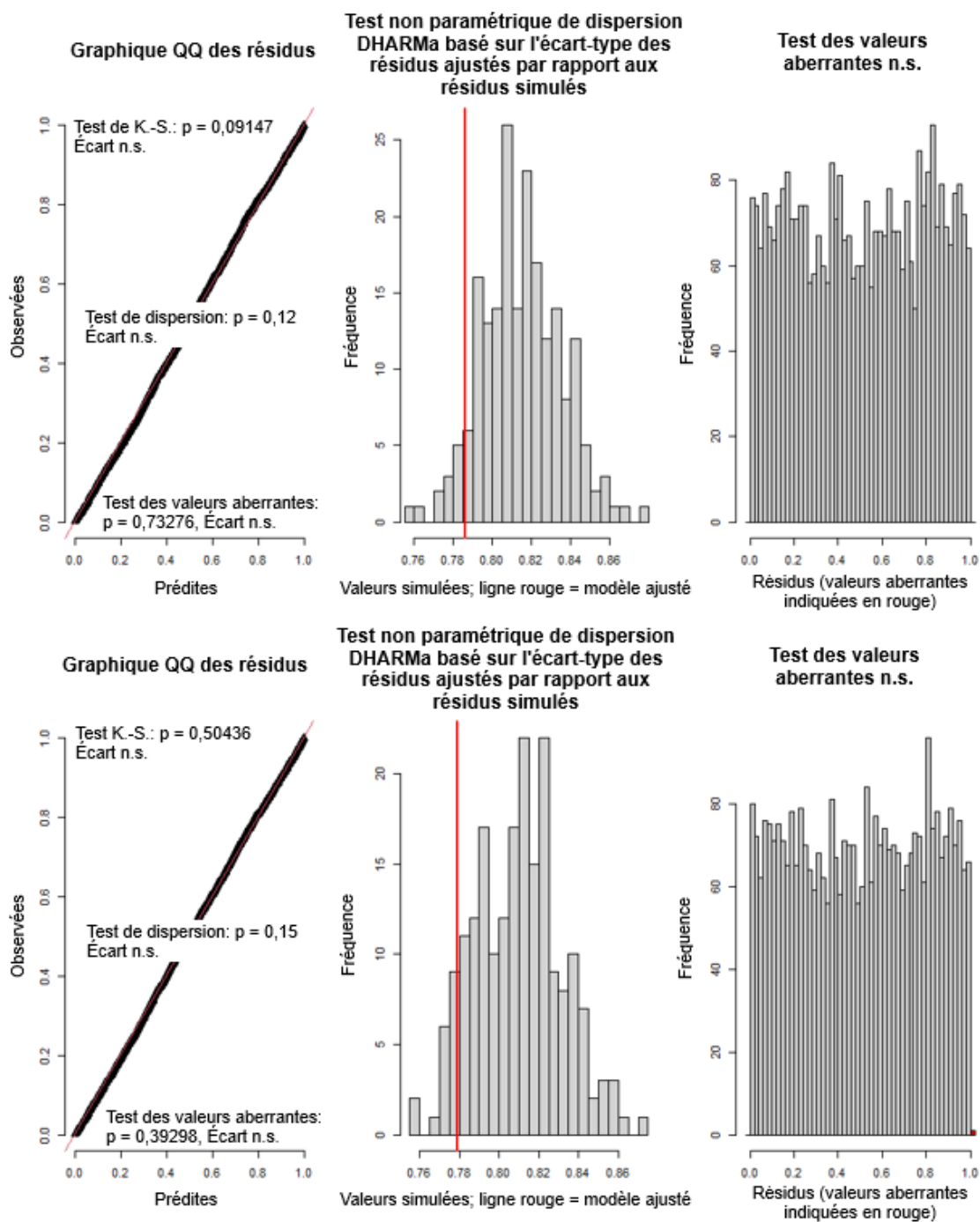


Figure 50: Graphiques diagnostiques DHARMA des modèles utilisés pour ajuster la présence et l'absence du capelan dans les estomacs du flétan du Groenland et de la morue franche dans le nord du golfe du Saint-Laurent, en considérant l'effet temporel de l'année comme un effet aléatoire tiré d'une distribution normale (panneaux supérieurs) ou comme un facteur indépendant (panneaux inférieurs).

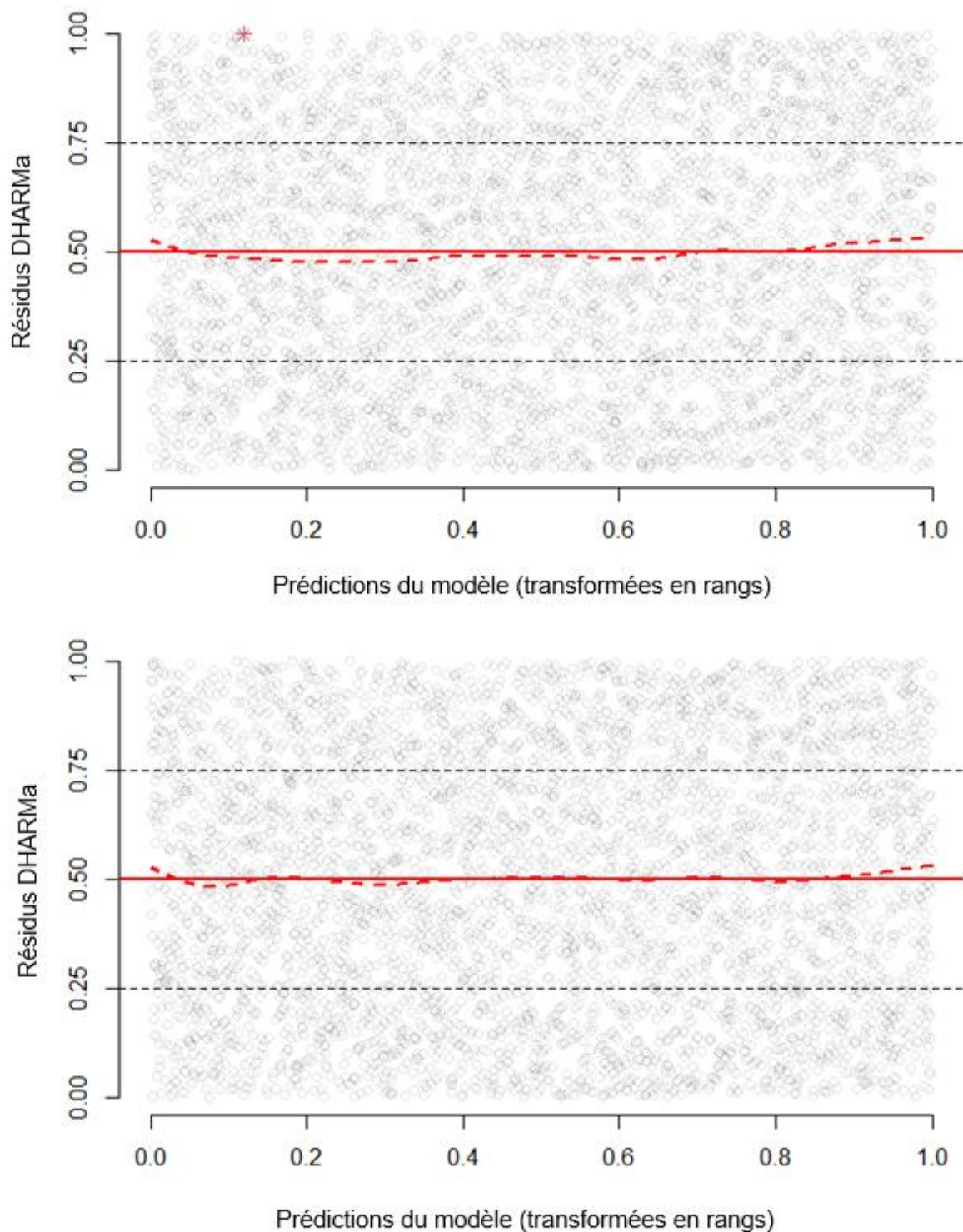


Figure 51: Graphiques des résidus DHARMA pour les modèles utilisés afin d'ajuster la présence et l'absence du capelan dans les estomacs du flétan du Groenland et de la morue franche dans le nord du golfe du Saint-Laurent, en considérant l'effet temporel de l'année comme un effet aléatoire tiré d'une distribution normale (panneau supérieur) ou comme un facteur catégoriel (panneau inférieur).

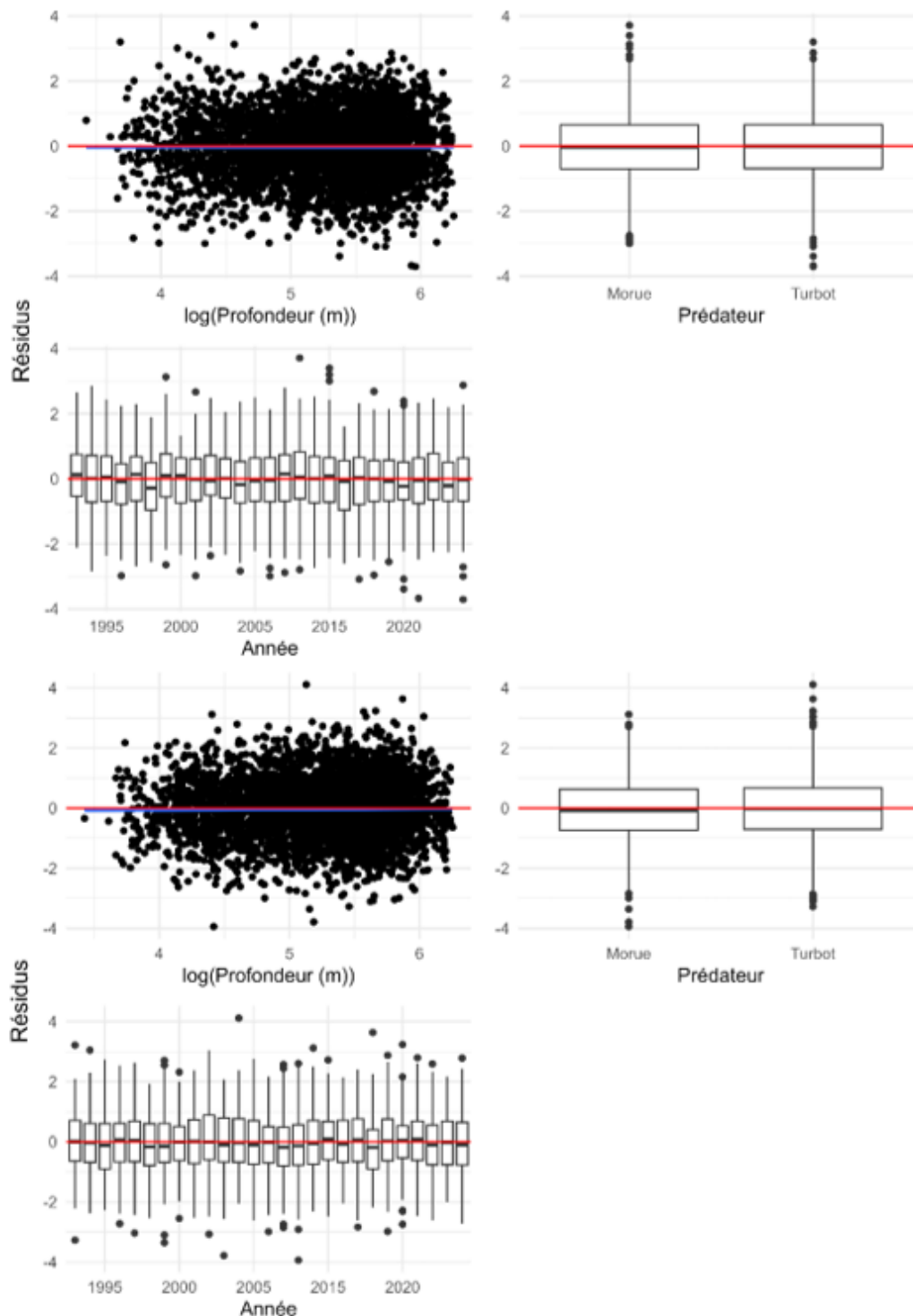


Figure 52: Résidus quantiles en relation avec les différentes variables prédictives (profondeur transformée logarithmiquement, prédateurs et année) utilisées pour ajuster la présence et l'absence du capelan dans les estomacs du flétan du Groenland et de la morue franche, en considérant l'effet temporel de l'année comme un effet aléatoire tiré d'une distribution normale (panneaux supérieurs) ou comme un facteur catégoriel (panneaux inférieurs). La ligne horizontale rouge indique une valeur de 0, et la ligne bleue représente une courbe lissée des valeurs résiduelles.

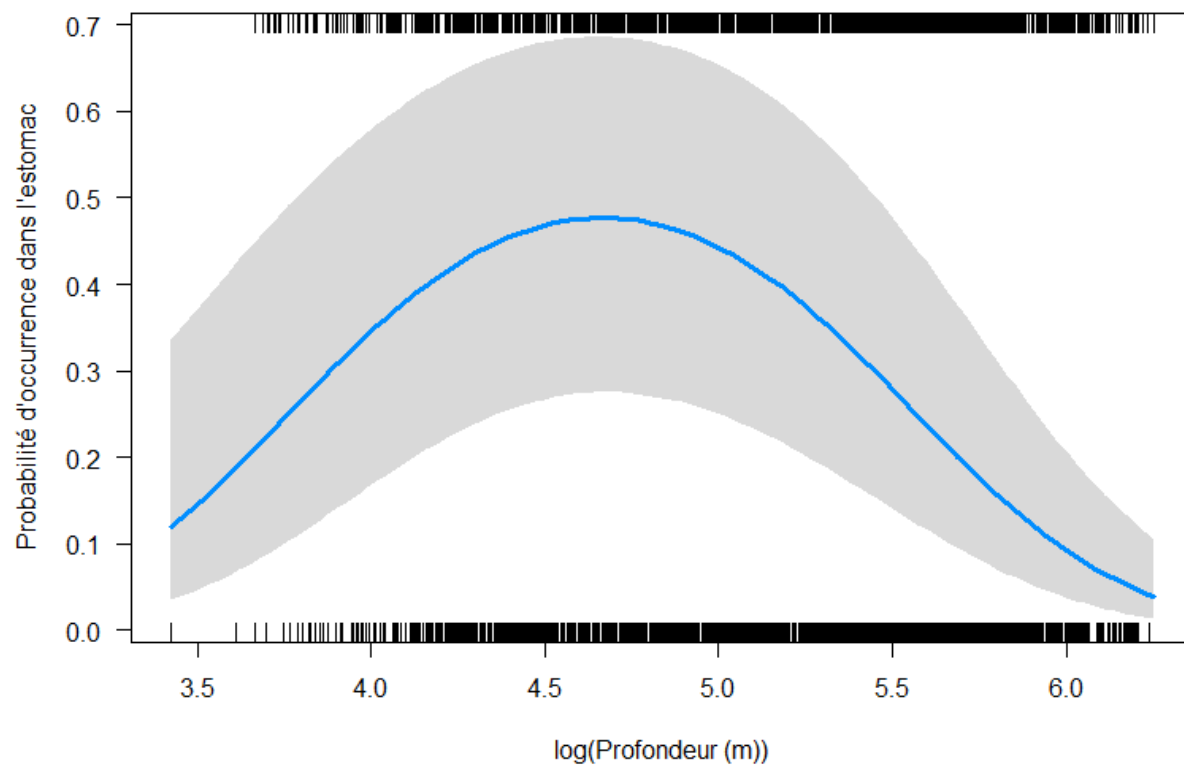


Figure 53: Moyenne conditionnelle (ligne bleue) et intervalle de confiance à 95 % (zone ombrée) de l'effet de la profondeur transformée logarithmiquement sur la probabilité d'occurrence du Capelan dans les estomacs de prédateurs, estimés à l'aide du modèle sélectionné avec sdmTMB.

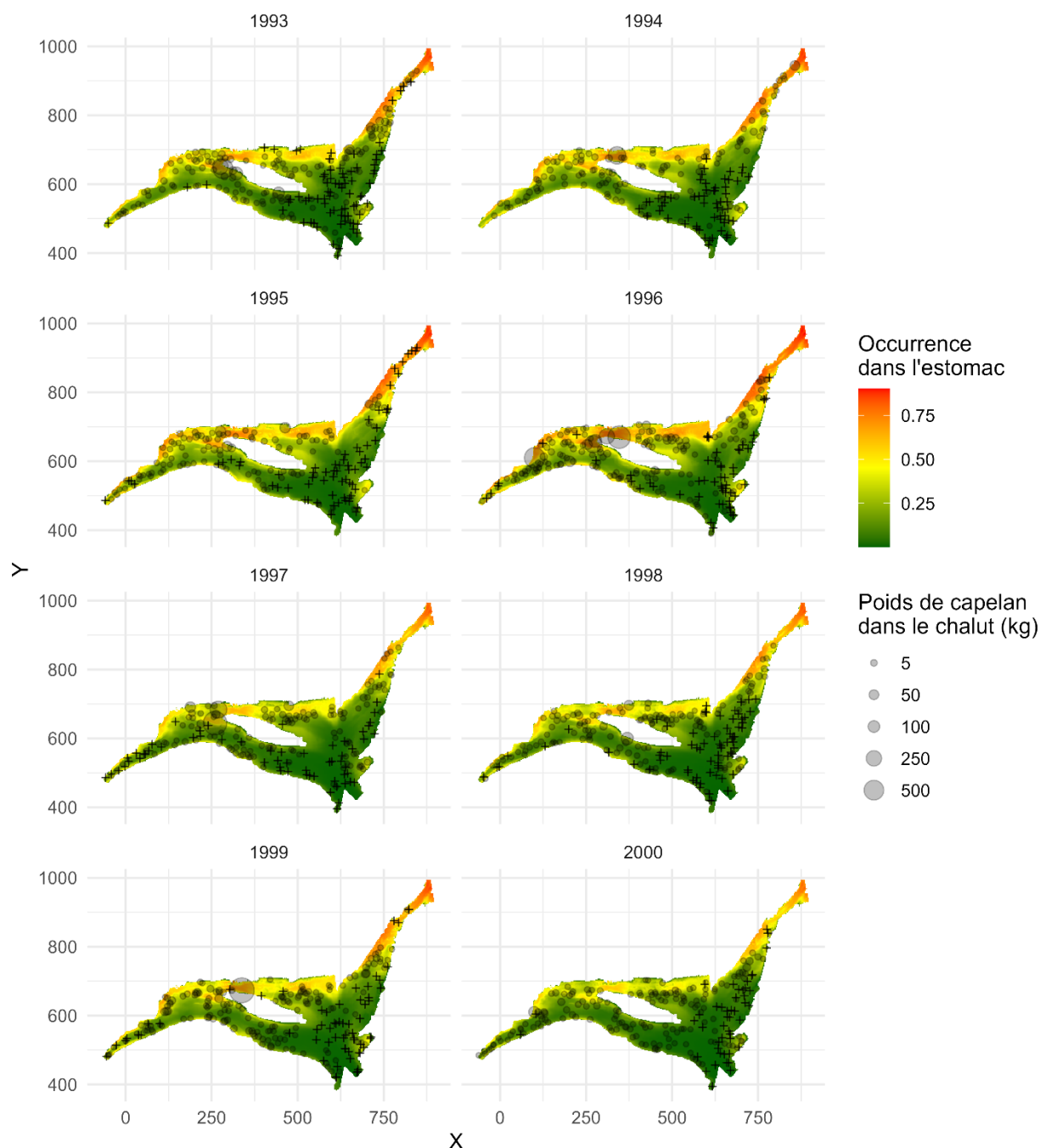


Figure 54: Cartes de la probabilité d'occurrence du capelan dans les estomacs du flétan du Groenland et de la morue franche, estimée à l'aide de sdmTMB dans le nord du golfe du Saint-Laurent, ainsi que du poids des captures (taille des bulles) et des absences de capelan (croix noires) observés lors du relevé au chalut de fond.

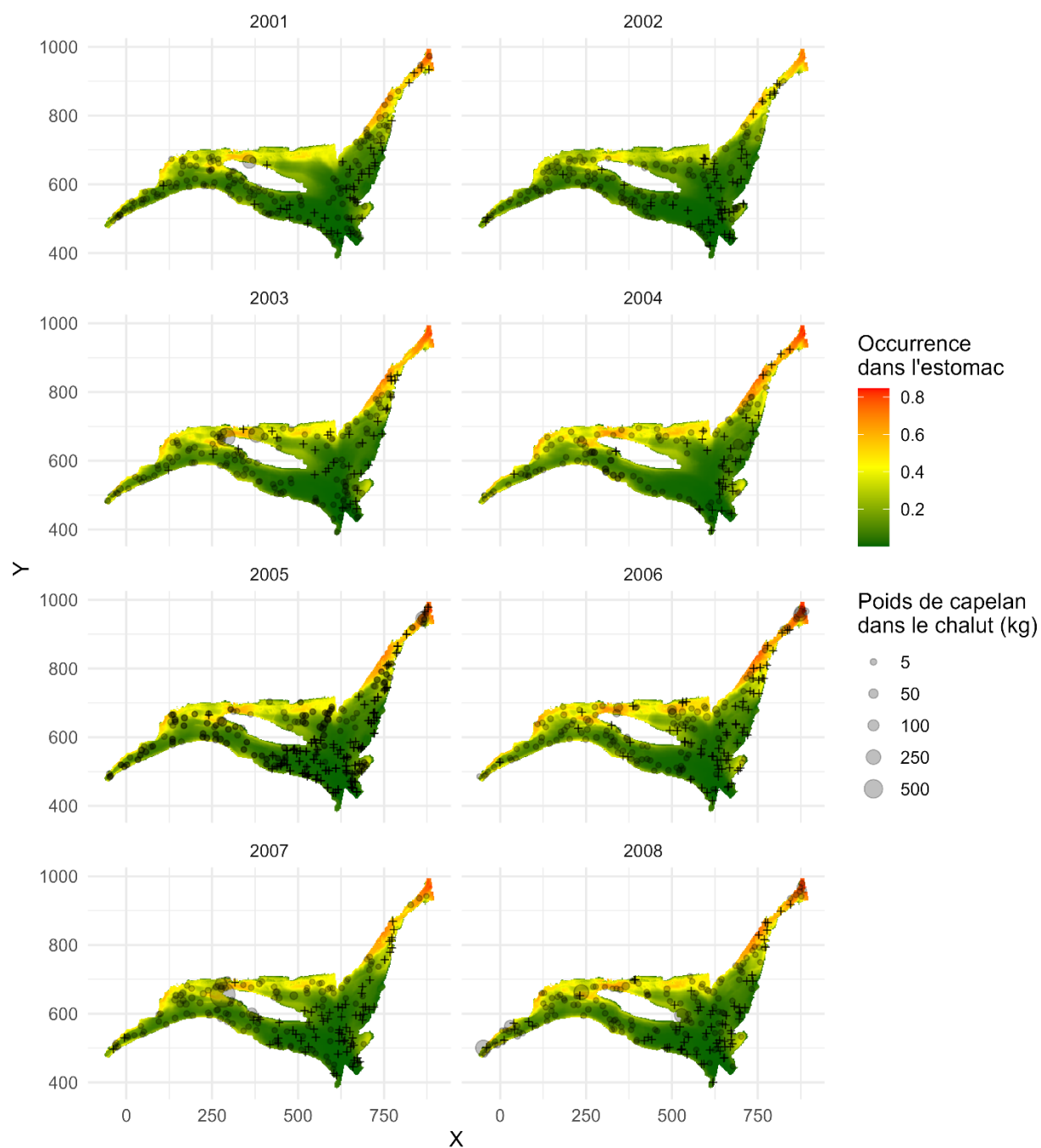


Figure 54: (suite)

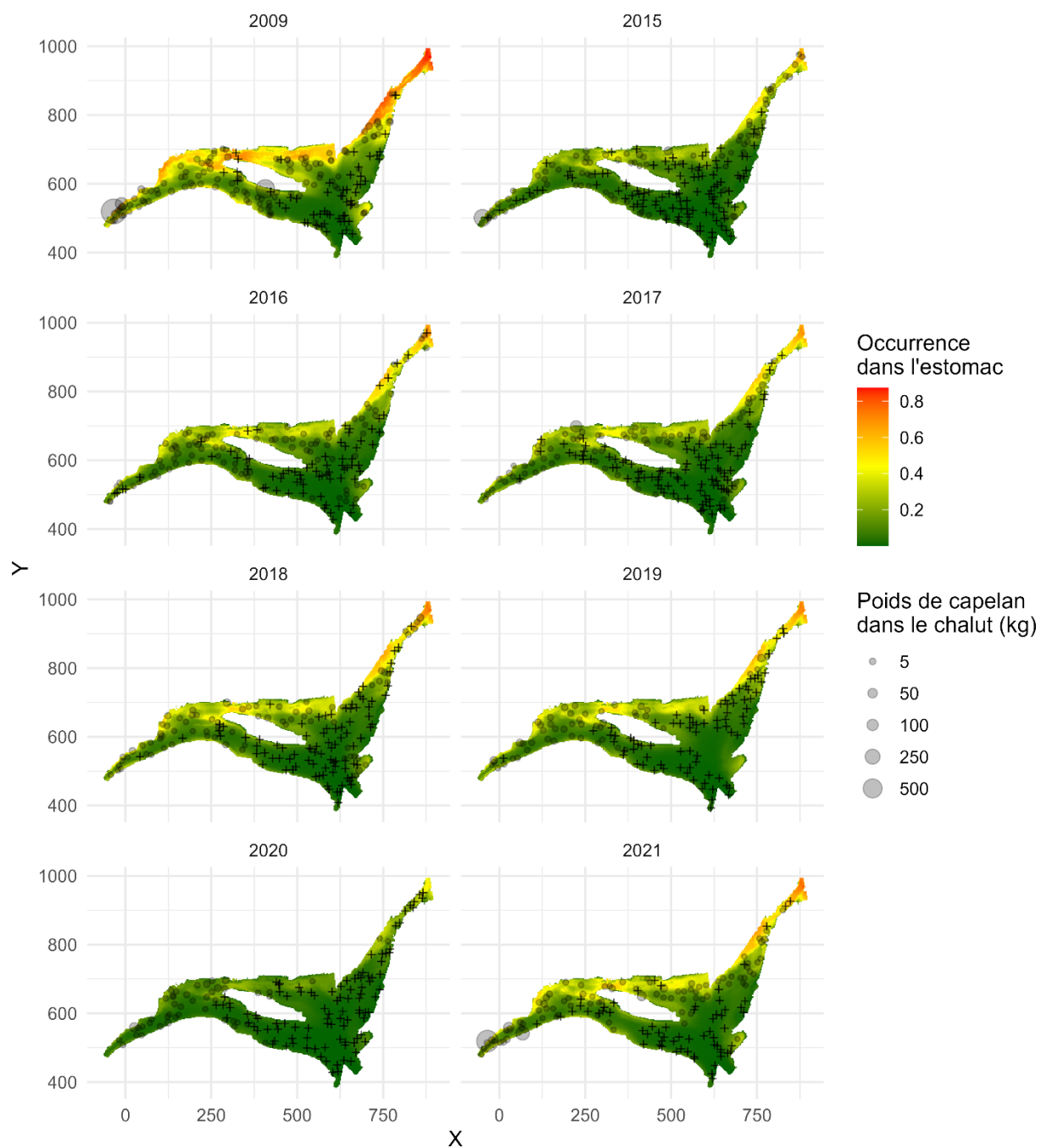


Figure 54: (suite)

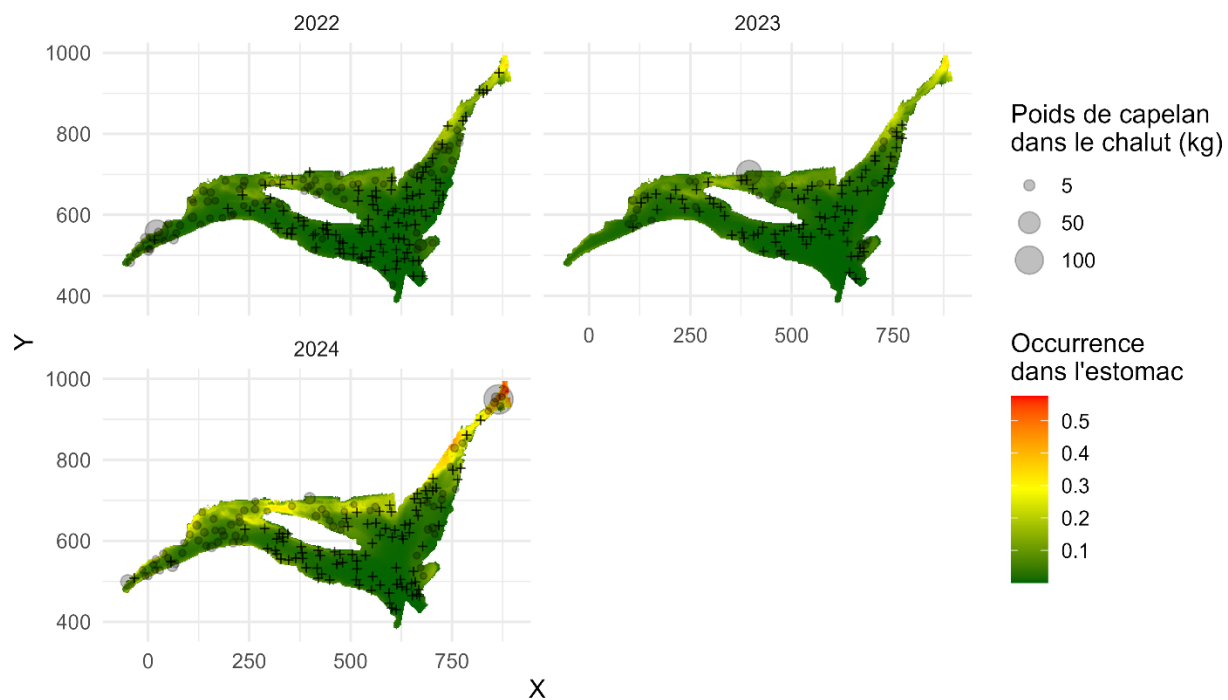


Figure 54: (suite)

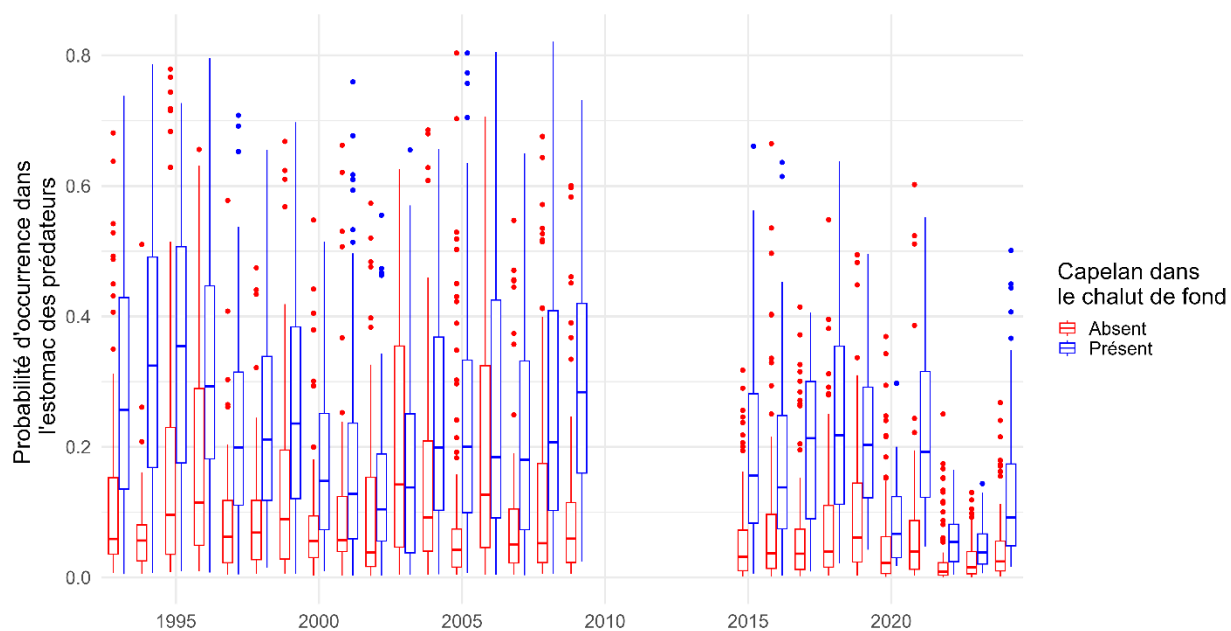


Figure 55: Probabilité annuelle d'occurrence du capelan dans les estomacs du flétan du Groenland et de la morue franche, prédite à l'aide de sdmTMB et de la grille bathymétrique de 1x1 km², dans les cellules où le relevé au chalut de fond du nord du golfe du Saint-Laurent a enregistré une présence ou une absence de capelan.

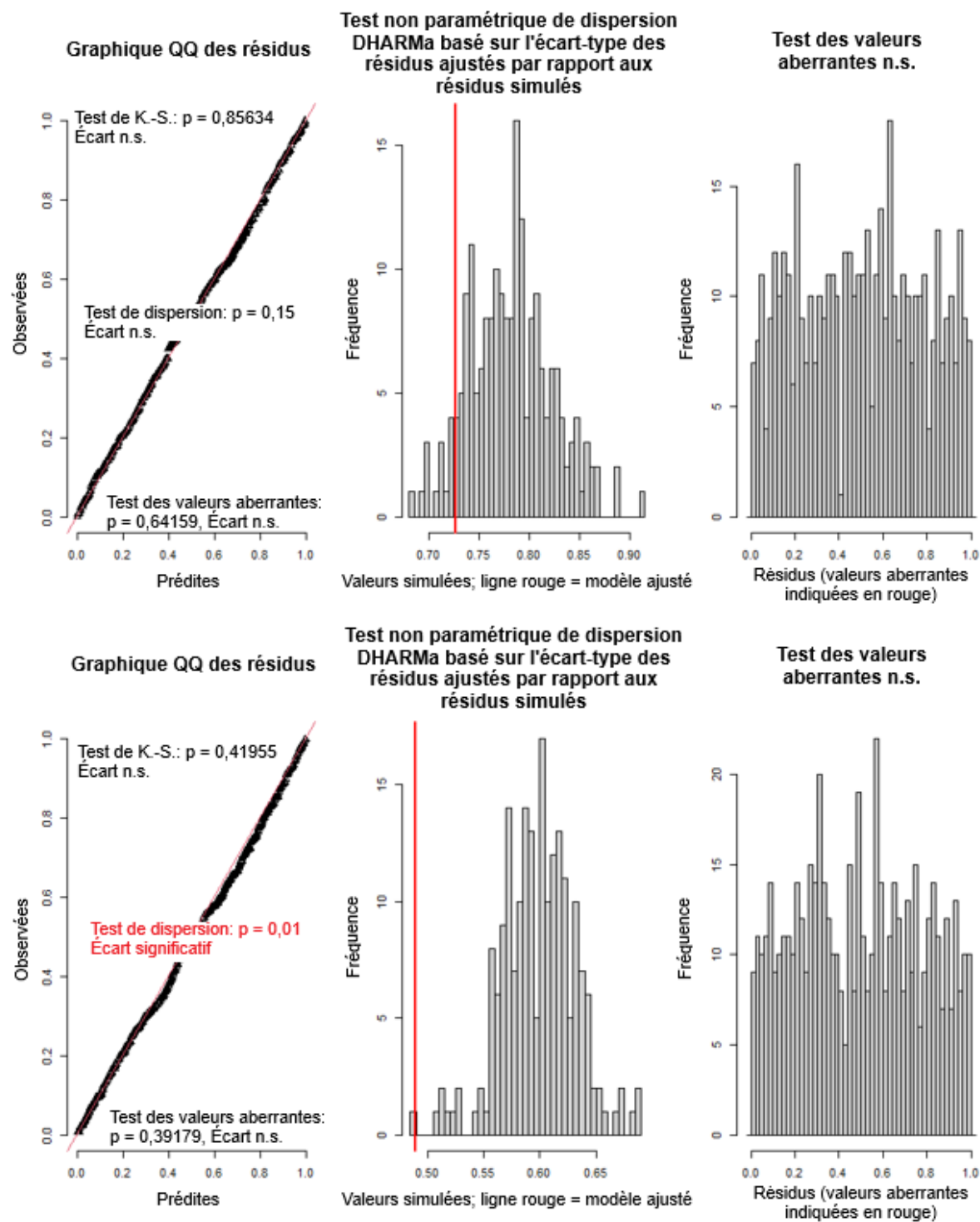


Figure 56: Graphiques diagnostiques DHARMA des modèles utilisés pour ajuster la présence et l'absence du capelan dans la colonne d'eau (panneaux supérieurs) et la profondeur du fond (panneaux inférieurs), dans le nord et le sud du golfe du Saint-Laurent.

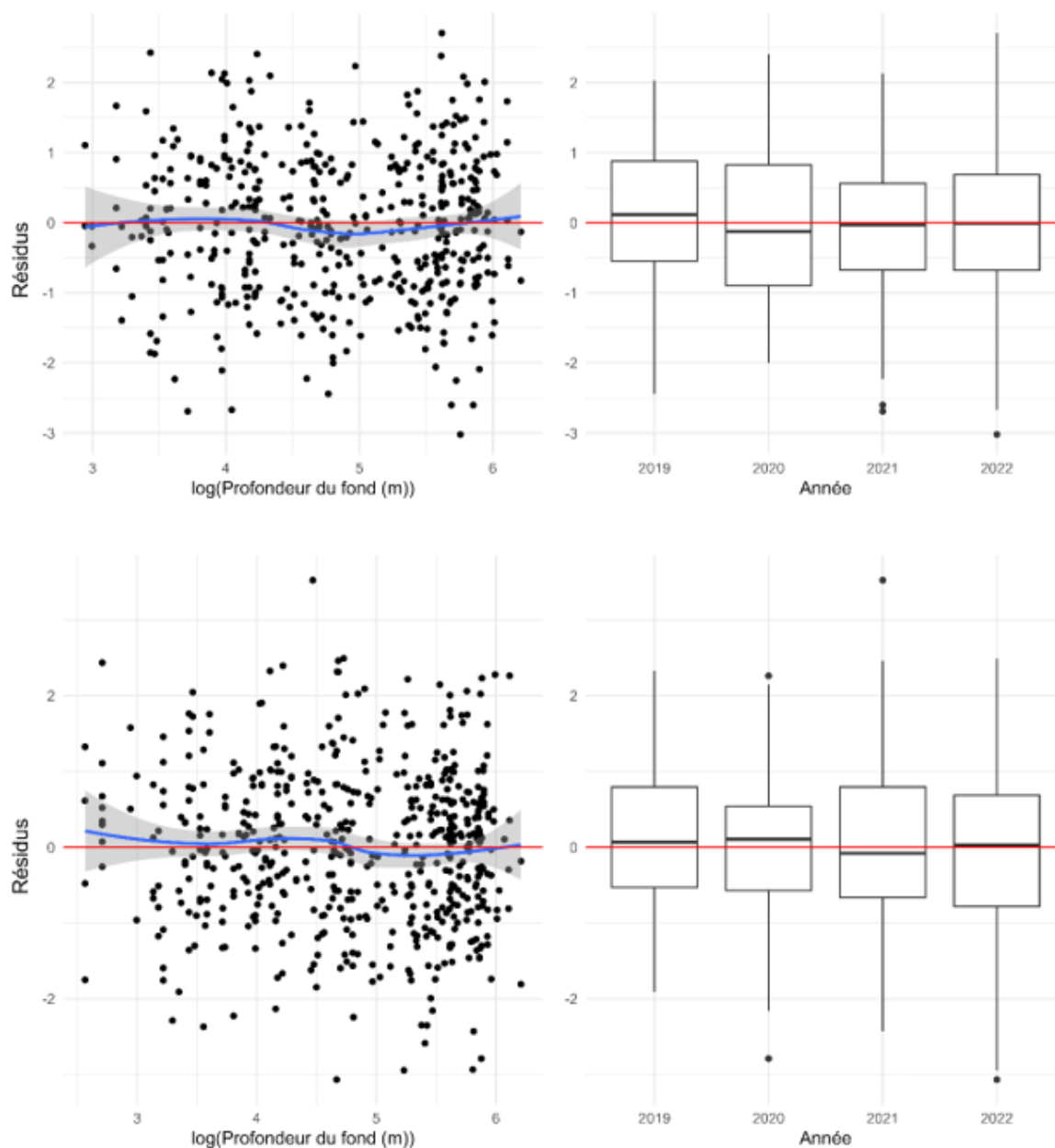


Figure 57: Résidus quantiles en fonction des différentes variables prédictives (profondeur et année) utilisées pour ajuster la présence et l'absence d'ADNe de capelan dans la colonne d'eau (panneaux supérieurs) et au fond (panneaux inférieurs) du nord et du sud du golfe du Saint-Laurent. La ligne horizontale rouge indique une valeur de 0, tandis que la ligne bleue représente une distribution lissée des valeurs résiduelles.

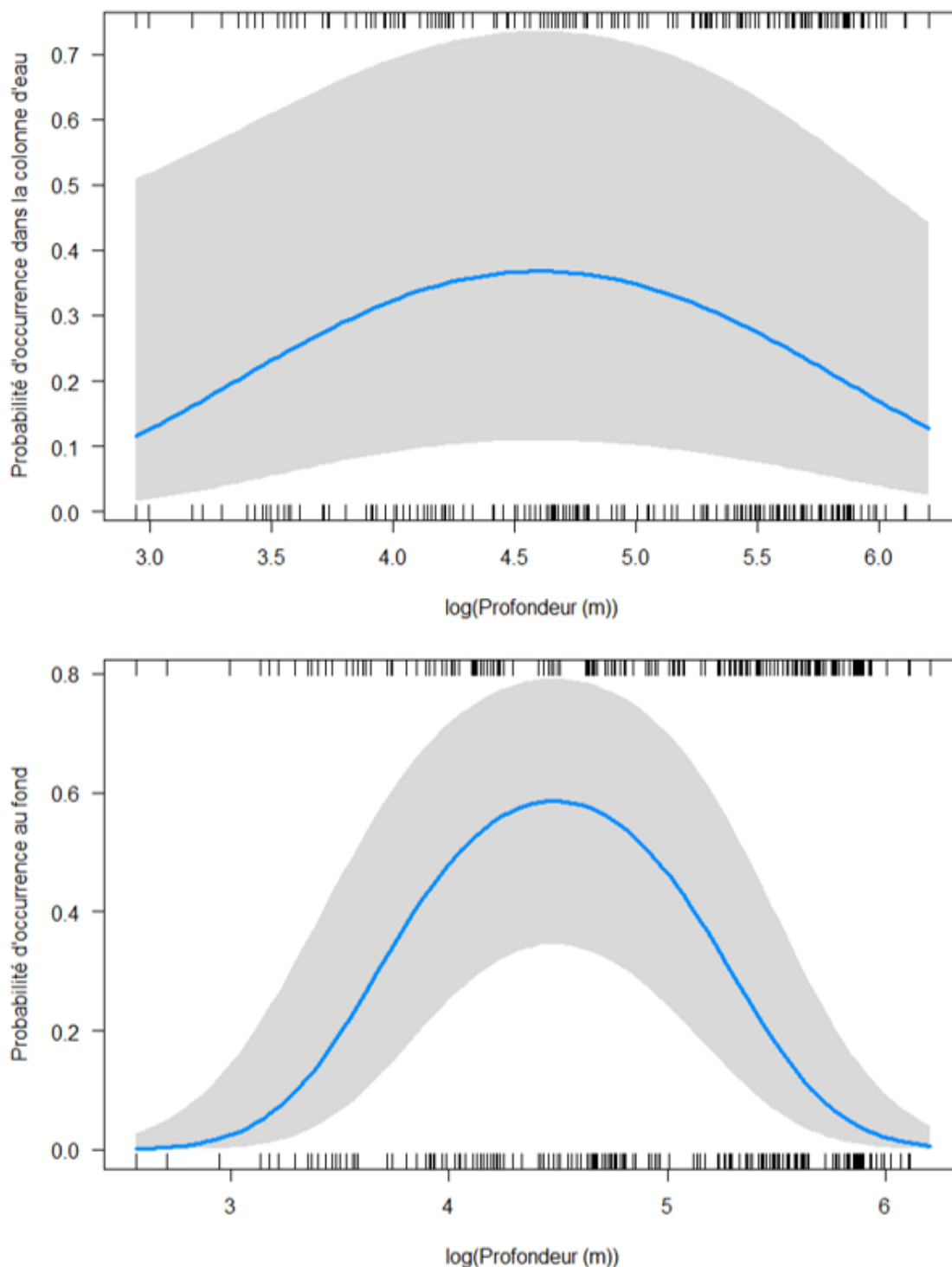


Figure 58: Moyenne conditionnelle (ligne bleue) et intervalle de confiance à 95 % (zone ombrée) de l'effet de la profondeur transformée logarithmiquement sur la probabilité d'occurrence du capelan dans la colonne d'eau (panneau supérieur) et au fond (panneau inférieur), estimés à l'aide des modèles sélectionnés avec sdmTMB.

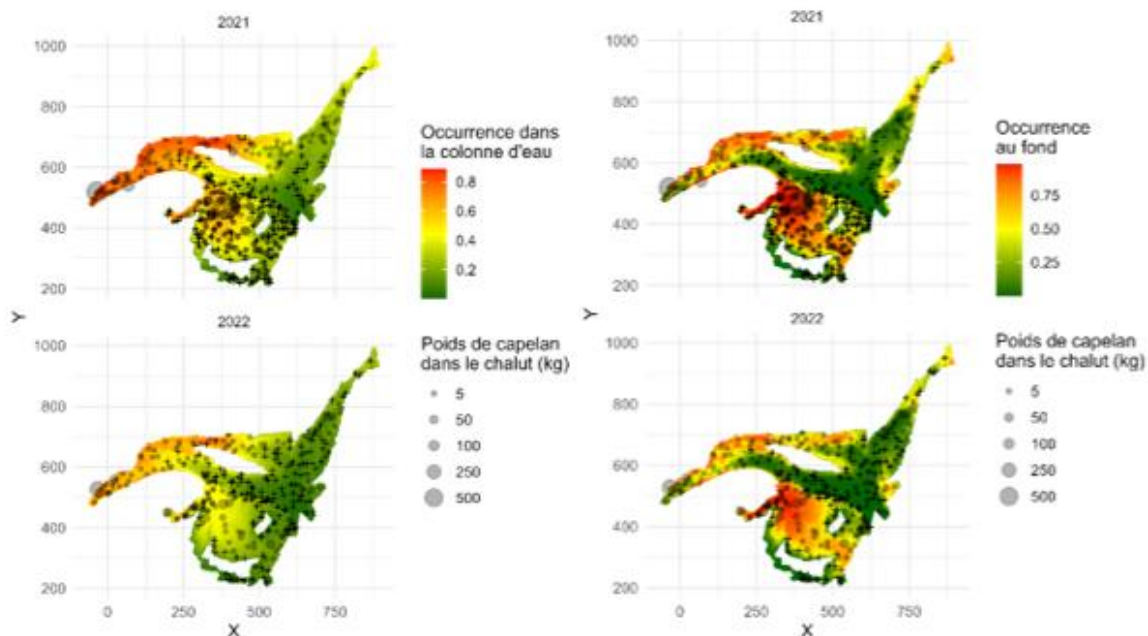


Figure 59: Cartes annuelles de la probabilité d'occurrence d'ADNe de capelan dans la colonne d'eau (panneaux de gauche) et au fond (panneaux de droite), estimée à l'aide de sdmTMB dans le nord et le sud du golfe du Saint-Laurent, ainsi que du poids des captures (taille des bulles) et des absences de capelan (croix noires) observés lors des relevés au chalut de fond.

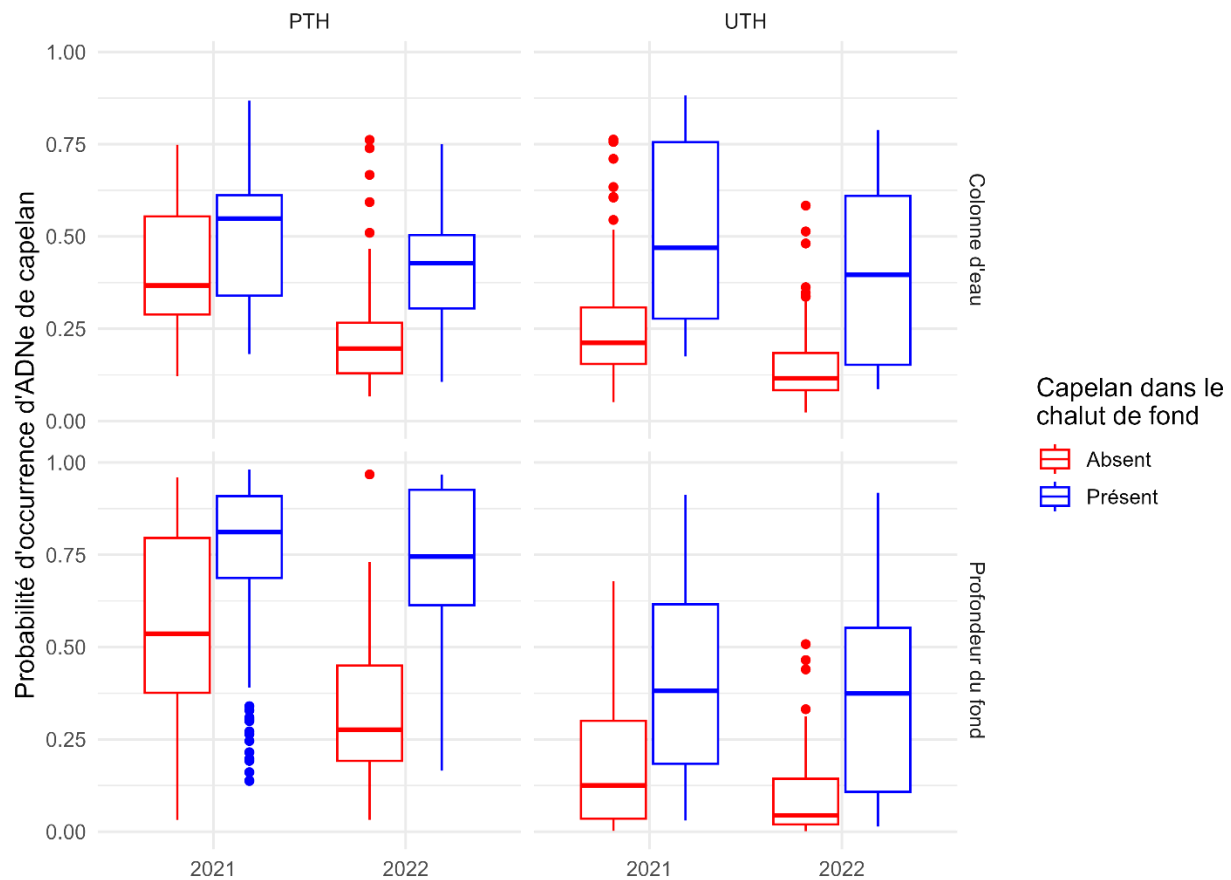


Figure 60: Probabilité annuelle d'occurrence d'ADNe de capelan au fond et dans la colonne d'eau, prédite à l'aide de sdmTMB et de la grille bathymétrique de 1x1 km², dans les cellules où les relevés du nord et du sud du golfe du Saint-Laurent ont enregistré une présence ou une absence de capelan au chalut de fond, dans l'habitat thermique préférentiel (PTH) et l'habitat thermique défavorable (UTH).

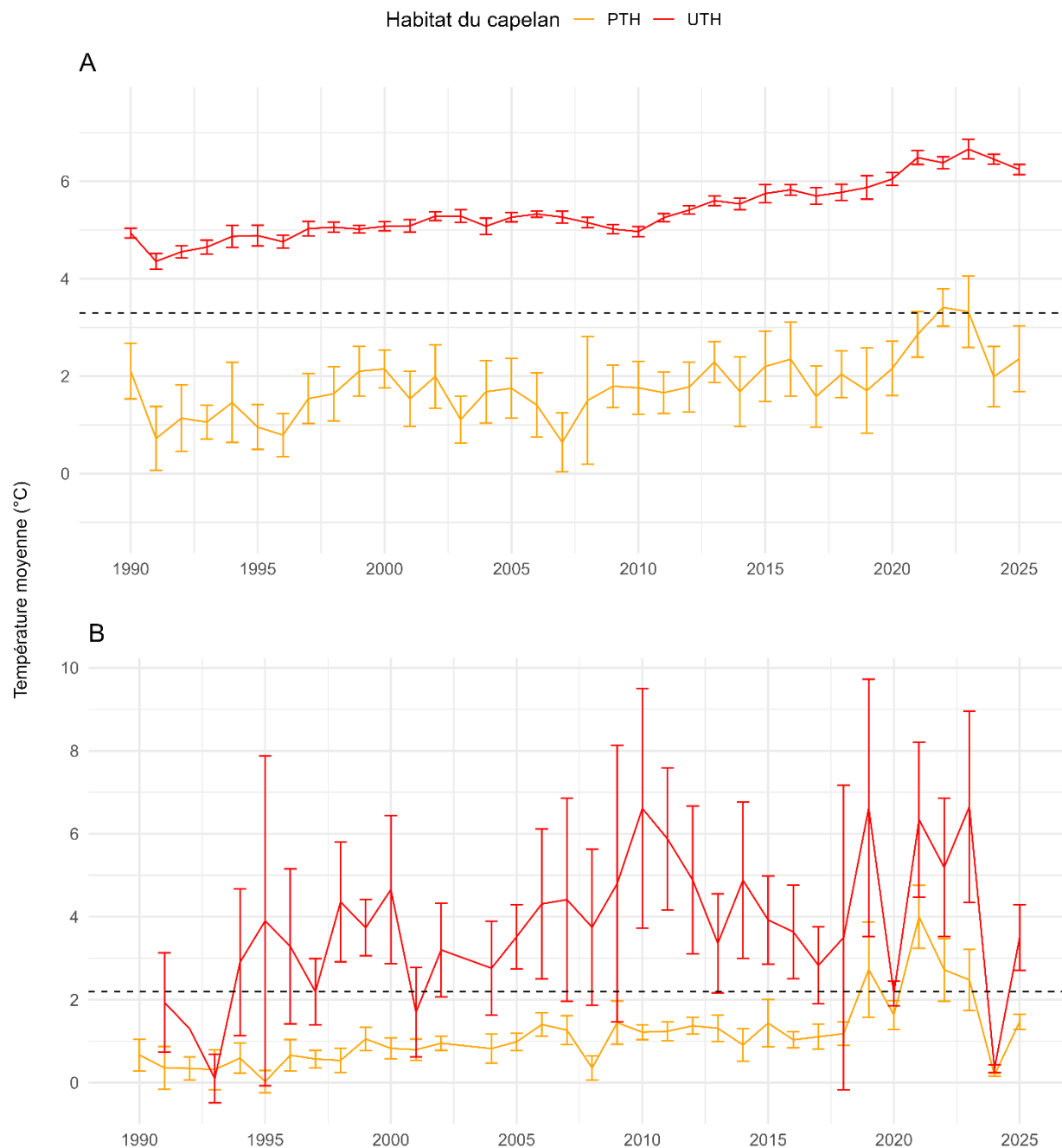


Figure 61: Température moyenne au fond enregistrée lors des traits de chalut où du capelan a été capturé durant les relevés au chalut de fond du A) nord et du B) sud du golfe du Saint-Laurent, à l'intérieur de l'habitat thermique préférentiel (PTH) et de l'habitat thermique défavorable (UTH) du capelan. Les lignes verticales représentent les intervalles de confiance à 95 %. La ligne horizontale pointillée représente le seuil de température au fond associé à un changement majeur dans la distribution de fréquence cumulée des captures de capelan (3,3 et 2,2 °C dans le nord et le sud du golfe, respectivement), selon Chamberland et al. (2022).

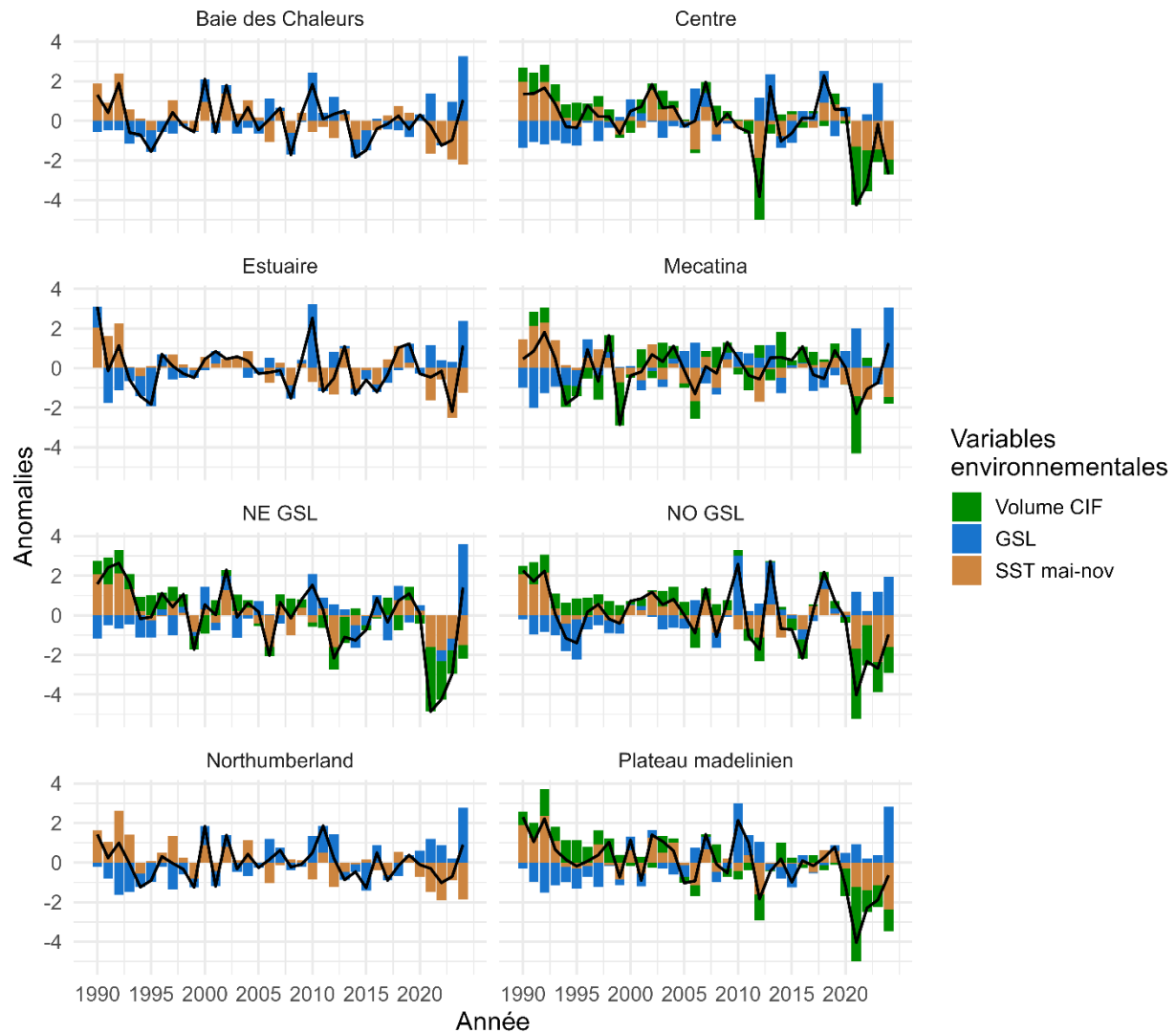


Figure 62: Valeurs annuelles (barres) et somme cumulative (ligne noire) des anomalies du volume de la couche intermédiaire froide (CIF), de la date de la dernière présence de glace de mer et de la température de surface de la mer (SST) de mai à novembre dans les régions écosystémiques du golfe du Saint-Laurent définies par Duplisea et al. (2020).

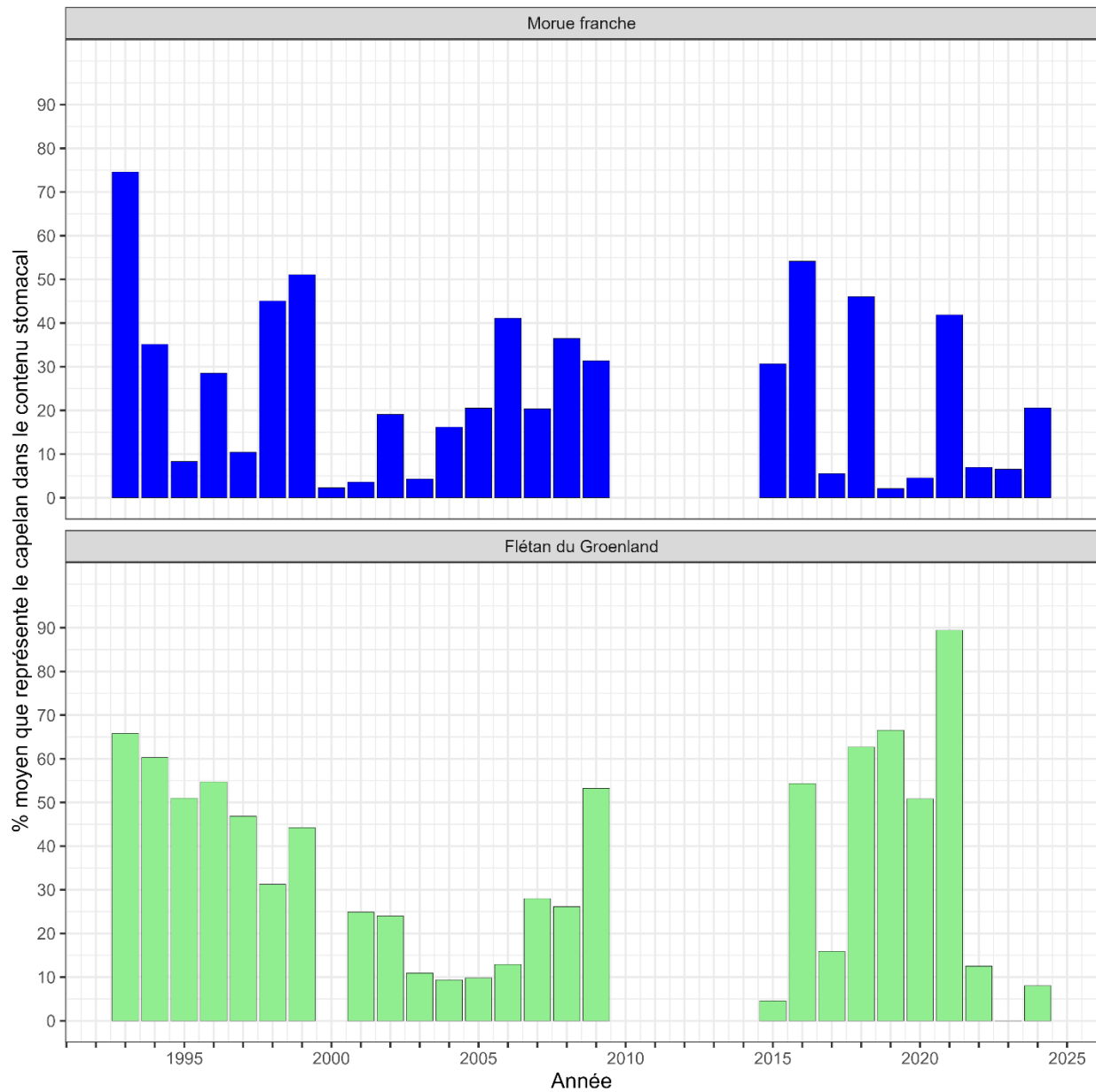


Figure 63: Pourcentage du contenu stomacal de la morue franche et du flétan du Groenland composé de capelan, toutes classes de longueur des prédateurs confondues. Aucun estomac n'a été échantillonné durant la période 2010–2014 (pour les deux prédateurs) et en 2000 (flétan du Groenland).