

Vers l'élimination des captures indésirables à l'aide d'une extension T90 de 100 mm et d'un cul de chalut dans les pêcheries mixtes démersales

Marianne Robert, Fabien Morandeau, Marion Scavinner, Marion Fiche, Pascal Larnaud

Publié: 8 juillet 2020 • <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235368>

Abstrait

La plupart des flottes de pêche européennes devront réduire drastiquement leurs captures indésirables pour se conformer aux nouvelles règles de la politique commune de la pêche. Un moyen plus pratique d'éviter d'augmenter le temps de tri à bord et les problèmes liés à la capacité de stockage consiste à éviter en premier lieu les captures indésirables. Nous avons évalué les propriétés de sélectivité d'un engin de pêche expérimental qui combinait un cylindre T90 de 100 mm avec 130 mailles dans le prolongement et un cul de chalut T90 de 100 mm de 33 mailles (engin expérimental) par rapport à une extension et un cul de chalut en diamant de 100 mm (engin de contrôle) lors de voyages commerciaux utilisant des chaluts jumeaux. L'analyse de la composition en taille relative des captures a indiqué une échappée significativement plus élevée de petits poissons de plusieurs espèces cibles (par exemple *Lepidorhombus whiffiagonis*, *Melanogrammus aeglefinus*, *Raja* spp et *Lophius* spp) et les espèces non cibles (par exemple *Capros aper* et *Gurnardsspp*) du chalut expérimental T90 par rapport au chalut témoin ($n = 49$ traits), ce qui entraîne une réduction significative des captures indésirables de Gadidae, Triglidae et Caproidae. En revanche, des pertes commerciales non négligeables d'espèces gadoïdes cibles de petite qualité ont été observées. Des modèles linéaires généraux mixtes ont montré que la proportion de raies, d'églefin et de baudroie conservées par classe de longueur diminuait avec l'augmentation de la durée du trait. L'engin expérimental T90 fonctionnera à un niveau commercial lorsqu'il ciblera la lotte, la mégrime, les raies et le gros haddock, mais les pêcheurs ne sont pas susceptibles d'utiliser cet engin pour cibler des espèces de plus petite taille comme les céphalopodes, le petit haddock, le merlan (*Merlangius merlangus*) et le merlu (*Merluccius merluccius*), car l'engin est susceptible de permettre à un grand nombre de s'échapper. Les études de sélectivité se concentrent souvent sur une courte liste d'espèces cibles; cependant, les captures d'espèces non ciblées sous quota peuvent être problématiques pour certaines pêcheries. Par exemple, dans le cadre de la mise en œuvre de l'obligation de débarquement, les captures de sanglier pourraient étouffer les pêcheries démersales françaises de corégone dans la mer Celtique, la France n'ayant pas de quota national pour cette espèce. Le dispositif testé constitue une solution efficace pour atténuer les captures de ces poissons scolarisés non ciblés.

Citation: Robert M, Morandeau F, Scavinner M, Fiche M, Larnaud P (2020) Vers l'élimination des captures indésirables en utilisant une extension et un cul de chalut T90 de 100 mm dans les pêcheries mixtes démersales. PLoS ONE 15 (7): e0235368. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235368>

Rédacteur: Heather M. Patterson, Département de l'agriculture, de l'eau et de l'environnement, AUSTRALIE

Reçu: 10 avril 2020; **Accepté:** 13 juin 2020; **Publié:** 8 juillet 2020

Copyright: © 2020 Robert et al. Il s'agit d'un article en libre accès distribué sous les termes de la [licence d'attribution Creative Commons](#), qui permet une utilisation, une distribution et une reproduction sans restriction sur n'importe quel support, à condition que l'auteur original et la source soient crédités.

Disponibilité des données: toutes les données pertinentes se trouvent dans le papier et ses fichiers d'informations complémentaires.

Financement: Les bailleurs de fonds France Filière Pêche et La Région Bretagne n'ont joué aucun rôle dans la conception de l'étude, la collecte et l'analyse des données, la décision de publier ou la préparation du manuscrit. Le bailleur de fonds Les Pêcheurs de Bretagne (Organisation de Producteurs) a apporté un soutien sous forme de salaires aux auteurs [MF] mais n'a joué aucun rôle dans la conception de l'étude, la collecte et l'analyse des données. Le bailleur de fonds Les Pêcheurs de Bretagne a aidé à trouver le navire de pêche volontaire «An triskell» sur lequel l'étude a été réalisée et a assuré le lien entre l'équipe scientifique de l'Ifremer, Oceanic Development (la société privée qui a été mandatée pour collecter les données à bord) et les pêcheurs tout au long du projet. Les rôles spécifiques de ces auteurs sont articulés dans la section «contributions des auteurs».

Intérêts concurrents: Nous avons confirmé que l'OP Les pêcheurs de Bretagne a accepté de rendre public le manuscrit et les données connexes. Cela ne modifie pas notre adhésion aux politiques de PLOS ONE sur le partage de données et de matériel, comme détaillé en ligne dans notre guide pour les auteurs <http://journals.plos.org/plosone/s/competing-interests>.

introduction

La politique commune de la pêche de l'Union européenne, qui régit les activités de pêche dans les eaux européennes, a été réformée en 2013, ce qui a abouti à un nouveau règlement, y compris l'article 15 sur l'obligation de débarquement [1]. Il stipule que toutes les captures des stocks soumises aux réglementations sur le total autorisé des captures (TAC) ou la taille minimale de référence de conservation (MCRS) doivent être débarquées, ce qui interdit la pratique courante de rejeter les captures indésirables à la mer. Ces pratiques de rejet représentent un important gaspillage de protéines et peuvent conduire à une gestion non durable des ressources marines [2].

Les changements spatio-temporels des pratiques de pêche et l'amélioration de la sélection des engins sont les deux principales pratiques que les pêcheurs peuvent mettre en œuvre pour se conformer au règlement. De nombreuses études se sont concentrées sur le test de la sélectivité des engins au cours des dernières décennies (voir les critiques de [3 , 4]) en utilisant des filets avec

des mailles de différentes tailles et formes (par exemple diamant, carré, T90) à divers endroits du chalut (par exemple, extension, cul de chalut) et / ou en ajoutant des dispositifs tels que des grilles d'évacuation, des flotteurs dispersifs, des panneaux de séparation, des lumières et des pingons (voir revue [5]). Les combinaisons de modifications d'engins sont presque infinies et justifient des essais en mer pour évaluer leur efficacité. Variabilité du comportement des poissons entre les zones et les saisons [6 , 7] et dans le filet en fonction des configurations d'engins telles que les ouvertures verticales [8 , 9], empêchent une extrapolation directe des résultats à d'autres études de cas.

Il existe de nombreuses options qui augmentent la sélectivité de la taille sans augmenter la taille du maillage, et l'une des plus faciles à mettre en œuvre est de faire pivoter le maillage en losange de 90 ° (c'est-à-dire "maillage T90"). Pour un maillage nominal donné, le maillage T90 reste plus ouvert que le maillage losangé pendant le remorquage [10]. Introduit pour la première fois dans les années 1990, le maillage T90 a regagné de l'intérêt ces dernières années. Des essais utilisant un maillage T90 ont été menés dans divers endroits, y compris plusieurs eaux européennes, la mer Méditerranée [11 , 12] et aux États-Unis [13], et sur une diversité de flottilles, auprès de chalutiers ciblant les poissons [12 , 14], crevettes [11] ou langoustines norvégiennes [15] aux chalutiers à perche ciblant les poissons plats [16]. La plupart des expériences ont testé le maillage T90 dans le cul, à l'exception de Kopp et al. [14], qui a monté un cylindre de 100 mm de treillis T90 sur une sous-section de la section d'extension. Comparé au maillage en losange, le maillage T90 augmente la sélectivité de taille des espèces de poissons ronds, de crevettes et de langoustines, mais tend à diminuer la sélectivité des poissons plats [16]. Les mailles T90 de la rallonge sont obligatoires dans le cadre du plan de gestion pluriannuel des stocks de cabillaud, de hareng et de sprat de la mer Baltique afin de réduire les quantités de captures indésirables de cabillaud [17].

Dans la mer Celtique, les principales espèces cibles débarquées par la flotte de pêche au chalut français sont lotte (*baudroie commune* et *L. Budegassa*), l'églefin (*Melanogrammus aeglefinus*), rayons, merlan (*Merlangius merlangus*), cardine (*Lepidorhombus whiffiagonis*) et le merlu (*Merluccius merluccius*) [18], tous relevant de la réglementation sur les TAC. Dans ce contexte de pêche mixte, les espèces cibles pourraient avoir un MCRS incompatible, ce qui rend l'optimisation d'un dispositif sélectif assez difficile. En 2016, le taux de capture indésirable de cette flottille était estimé entre 30 et 35%, ce qui équivaut à 19565 à 22 951 t de poissons (vivants ou morts) [18]. Les principales espèces indésirables rejetées par ordre décroissant sont: l'églefin (à la fois <et> MCRS), l'aiguillat commun (*Scyliorhinus canicula*), le sanglier (*Capros aper*), le grondin (*Aspitrigla cuculus* , *Chelidonichthys lucerna* et *Eutrigla gurnardus*), les raies et le merlan sous le MCRS. Ces espèces relèvent de la réglementation du TAC, à l'exception du grondin et de l'aiguillat.

Dans cette étude, nous avons évalué la capacité d'un engin de pêche expérimental combinant un cylindre T90 de 100 mm de 130 mailles dans le prolongement et un cul de chalut T90 de 100 mm de 33 mailles à réduire les prises indésirables, pour les deux espèces cibles en dessous du MCRS et de toutes tailles. de poissons d'espèces non ciblées. Une comparaison des captures entre les engins expérimentaux et de contrôle a été réalisée pour 6 espèces à partir de données collectées en conditions commerciales sur une année entière à l'aide d'un chalut jumeau (n = 49). Nous avons testé l'effet des covariables sur la proportion retenue et discuté des résultats en termes de rentabilité pour les pêcheries.

matériaux et méthodes

Des expériences en mer ont été menées sur le navire commercial *An Triskell* (23,95m - 453 KW, 102,27 tx), qui était gréé de deux chaluts à panneaux jumelés à chaîne, d'une corde au sol de 36 m et d'une manchette de 28 m. Le chalut de contrôle correspondait à l'engin habituellement utilisé par le navire. Son cul avait une profondeur de 25 mailles, 100 mailles diamantées libres de circonférence et fait de polyéthylène à double ficelle (TPE) de 4 mm, avec une taille nominale de maille étirée de 100 mm. Son extension était de 100 mailles de diamant de profondeur et était faite de TPE simple de 5 mm, avec une taille nominale de maillage étiré de 100 mm. Le chalut expérimental était équipé d'un filet T90 avec un maillage étiré nominal de 100 mm, un cylindre de 130 mailles monté dans le prolongement (simple TPE 5 mm) et 33 mailles dans le cul (double TPE 4 mm) avec un 66- circonférence du maillage (Fig.1). Le taux d'assemblage entre le maillage diamant standard et le maillage T90 équivaut à trois mailles diamantées pour deux mailles T90. Les prolongements et les cul-de-chalut des deux chaluts avaient les mêmes longueurs (environ 10 et 2,5 m, respectivement) puisque 13 mailles en T90 équivalaient à 10 mailles losangées. La géométrie du chalut a été surveillée à l'aide des systèmes de surveillance du chalut à bord du navire pour assurer le bon fonctionnement de l'engin. Nous avons estimé la hauteur d'ouverture verticale à 2,5–3 m et l'envergure horizontale entre les portes à 79 m. Cependant, comme les données n'ont pas été stockées, l'effet de la variation de la géométrie du chalut sur les résultats est inconnu.

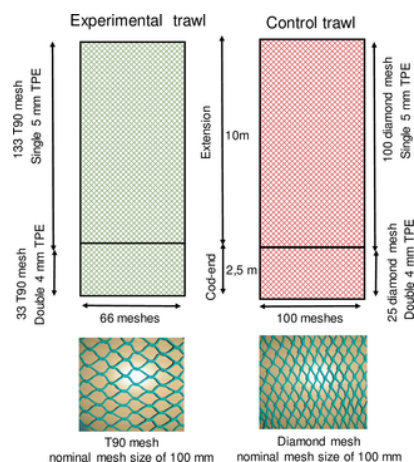


Fig 1. Schéma du chalut expérimental (avec le dispositif sélectif) et du chalut témoin.

TPE signifie ficelle de polyéthylène.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235368.g001>

Cinq sorties de pêche ont été menées entre septembre 2014 et octobre 2015 dans la partie sud de la mer Celtique (Fig.2). La durée moyenne (\pm écart type) du remorquage était de 3,4 (\pm 0,2) h et la profondeur moyenne de pêche était de 219 (\pm 108 m (tableau S1)). Pour 49 traits, les captures recherchées et les captures non désirées (généralement triées par l'équipage) ont été pesées (kg) par espèce, et la longueur des poissons individuels a été mesurée (à 1 cm près). Lorsque la capture totale était trop importante pour permettre la mesure de chaque individu, un sous-échantillonnage aléatoire a été effectué et le rapport de poids entre la capture totale et le sous-échantillon a été utilisé pour recueillir les données. En raison de problèmes d'identification, les données de certaines espèces individuelles ont été combinées en groupes taxonomiques: *Lophius* spp (*Lophius piscatorius* et *L. budegassa*), *Loligo* spp (*Loligo forbesii* et *L. vulgaris*), les rayons, gurnard et *Trisopterus* spp (*Trisopterus luscus* , *T. minutus* et *T. esmarkii*).

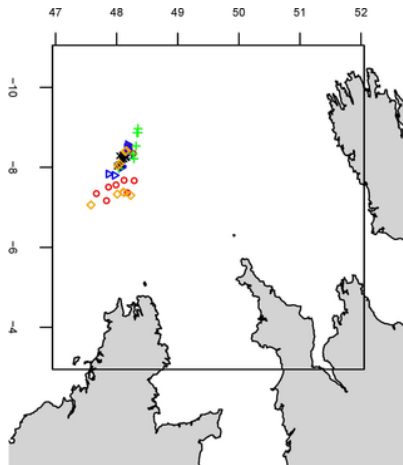


Fig 2. Carte de l'étude montrant l'emplacement des 49 traits échantillonnés.

Les différents symboles illustrent les quatre voyages.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235368.g002>

La sélectivité de taille relative en fonction de la longueur entre les chaluts expérimentaux et témoins a été analysée. La régression logistique dans le cadre du modèle linéaire généralisé mixte a été ajustée pour 6 espèces selon les méthodes utilisées par Holst et Revill [19] et Vogel et al. [20]. La variabilité inter-trait a été intégrée en testant l'importance des effets fixes: profondeur, durée du trait et capture. Y compris le tirage comme effet aléatoire, a permis de tenir compte d'une variabilité supplémentaire entre les traits, non expliquée par les effets fixes, et qui peut être interprétée comme l'effet des conditions environnementales et / ou externes (par exemple, courant, heure de la journée, comportement et physiologie des poissons, composition des espèces de poissons et saison) sur les captures. La variabilité intra-trait a été prise en compte au niveau individuel, avec l'effet de la taille sur la probabilité de rétention. Pour chaque espèce, les observations en dehors des quantiles de 0,025 et 0,975 de la distribution des longueurs (qui représentent 5% de l'ensemble de données) ont été exclues afin de réduire l'influence des valeurs aberrantes sur les ajustements. La proportion de poissons conservés par classe de longueur, $P(l)$, a été calculée et modélisée comme suit:

$$\begin{aligned} \text{Logit}(P_h(l)) &= \text{logit}\left(\frac{N_{t,h}(l)}{N_{t,h}(l) + N_{c,h}(l)}\right) \\ &= \beta_0 + \sum_{i=1}^m \beta_i l^i + \beta_5 W_h + \beta_6 TD_h + \beta_7 D_h + S_h + \delta_h, \text{ with } \delta_h \sim N(0, \sigma^2) \end{aligned}$$

où $N_{t,h}(l)$ est le nombre de poissons de longueur l dans le chalut d'essai; $N_{c,h}(l)$ est le nombre de poissons de longueur l dans le chalut témoin; m est le degré de fonction polynomiale qui modélise l'effet de la taille ($m = 0-3$); W_h la prise totale pèse en kg, TD_h la durée du remorquage en heure, D_h la profondeur de pêche en mètres, S_h le rapport de sous-échantillonnage et δ_h est l'effet aléatoire sur le trait. Le rapport de sous-échantillonnage est modélisé comme un décalage [19]: $S_h = \log\left(\frac{q_t(h)}{q_c(h)}\right)$ avec $q_t(h)$ et $q_c(h)$ les proportions prélevées pour les mesures du volume de capture de l'engin expérimental et de l'engin de contrôle, respectivement. L'ensemble de données minimal est fourni sous forme de fichier d'informations complémentaires.

Pour chaque espèce, le modèle le plus ajusté a été choisi en fonction du critère d'information Akaike (AIC) compte tenu de l'amélioration entre les deux modèles significatives lorsque les différences entre les valeurs AIC ont dépassé 5. Lorsque deux modèles avaient en outre « bonnes » valeurs AIC ($c. -\Delta_{AIC} < 5$) le plus parcimonieux a été sélectionné. Les 32 modèles testés sont résumés dans le tableau 1. Des analyses statistiques ont été effectuées en utilisant R 3.5.3 [21].

Model	Length	Length ²	Length ³	WEIGHT	ENDING_DURATION	DEPTH	df
M1							7
M2	*						7
M3		*					7
M4			*				7
M5				*			7
M6	*	*		*			7
M7		*	*	*			7
M8		*	*	*	*		7
M9	*	*	*	*	*	*	7
M10	*	*	*	*	*	*	7
M11	*	*	*	*	*	*	7
M12	*	*	*	*	*	*	7
M13	*	*	*	*	*	*	7
M14	*	*	*	*	*	*	7
M15	*	*	*	*	*	*	7
M16	*	*	*	*	*	*	7
M17	*	*	*	*	*	*	7
M18	*	*	*	*	*	*	7
M19	*	*	*	*	*	*	7
M20	*	*	*	*	*	*	7
M21	*	*	*	*	*	*	7
M22	*	*	*	*	*	*	7
M23	*	*	*	*	*	*	7
M24	*	*	*	*	*	*	7
M25	*	*	*	*	*	*	7
M26	*	*	*	*	*	*	7
M27	*	*	*	*	*	*	7
M28	*	*	*	*	*	*	7
M29	*	*	*	*	*	*	7
M30	*	*	*	*	*	*	7
M31	*	*	*	*	*	*	7
M32	*	*	*	*	*	*	7

All model included as random effect and subsampling as an effect. The superscripts refer to the degree of polynomial function that models the effect of size.

Tableau 1. Description du modèle du modèle nul au modèle complet (M1 à M32).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235368.t001>

Déclaration d'éthique

Des essais en mer ont été réalisés à bord du navire An Triskell conformément à l'autorisation de pêche scientifique européenne délivrée par la direction française de la pêche maritime et de l'aquaculture (n ° 2014/730412 / SELECMCTrawl / 0006 et 2015/730412 / SELECMCTrawl / 0001). Les animaux n'ont pas été exposés à un stress supplémentaire autre que celui impliqué dans la pratique de la pêche commerciale. Ainsi, aucune autorisation ou approbation éthique supplémentaire n'était requise pour réaliser l'étude. Cette étude ne concernait pas d'espèces menacées ou protégées.

Résultats

Espèces cibles

Lepidorhombus whiffiagonis.

Le modèle le mieux adapté ([tableau 2](#)) a indiqué que les mégrim plus courts que le MCRS (20 cm) étaient presque absents des deux chaluts, ceux de 20 à 30 cm de long étaient plus retenus par le témoin que le chalut d'essai et ceux de plus de 30 cm. une probabilité de rétention égale pour les deux chaluts ([Fig.3](#)). Aucune des covariables testées n'a été retenue lors de la procédure de sélection du modèle ([tableau 2](#)).

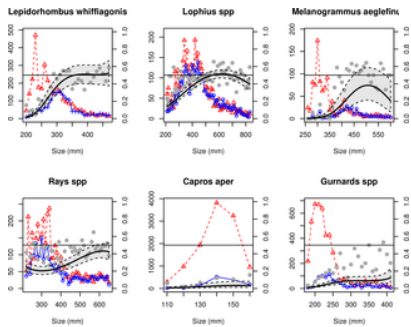


Fig 3. Analyses des données de taille.
 Pour chaque groupe taxonomique: nombre de poissons capturés en fonction de la longueur dans le chalut témoin (ligne rouge en pointillés et triangles) et chalut d'essai (ligne et cercles bleus pleins) (axes de gauche) et proportions moyennes retenues (cercles gris), avec les prédictions de la marge de rétention en longueur pour le modèle le mieux ajusté (ligne noire) et son intervalle de confiance à 95% associé (polygone en pointillés noir) (axes de droite). Les autres covariables ont été fixées à leurs moyennes lors de la réalisation des prédictions.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235368.g003>

Rays spp	Melanogrammus aeglefinus		Lepidion		Lepidorhombus whiffiagonis		Gurnards spp		Capros aper		
	Model	AIC	Model	AIC	Model	AIC	Model	AIC	Model	AIC	
M13	4843.9	3179	796.3	3212	7111.4	364	3096.6	3628	2307.6	3517	1543.8
M28	4843.6	3220	793.9	3811	7111.4	364	3096.6	3612	2308.5	3511	1543.3
M29	4843.2	3051	792.4	3699	7111.4	362	3097.7	3612	2304.5	3528	1543.9
M32	4842.9	3819	788.8	3679	7111.5	3620	3097.7	3629	2304.7	3520	1543.9
M27	4849.9	3612	793.9	3627	7113.3	3614	3098.2	360	2304.3	3527	1544.1
M11	4850.8	3618	794.3	3628	7113.3	3618	3098.2	3628	2305.4	3519	1544.3
M21	4850.6	3621	794.9	3631	7113.6	3622	3098.8	3627	2305.5	3518	1544.4
M24	4850.3	3621	796.1	3631	7113.6	3628	3098.8	3611	2304.5	3518	1544.4
M8	4850.8	3611	799.3	3616	7120.2	3623	3097.9	364	2307.6	3522	1545.9
M8	4851.3	3612	798.9	3616	7120.2	3613	3098.2	3618	2308.1	3516	1546.8
M8	4851.8	3627	798.4	3616	7120.5	3611	3098.1	3611	2317.3	3518	1546.8
M24	4852.4	3617	799.9	3615	7120.5	3618	3098.2	3618	2317.1	3516	1546.8
M3	4850.8	3628	792.9	367	7127.9	367	3098.6	367	2317.7	357	1547.3
M18	4858.2	366	793.2	368	7127.9	3623	3098.7	3623	2317.3	3615	1547.3
M26	4858.3	367	793.6	3628	7128.9	3611	3098.6	361	2317.5	3628	1548.8
M15	4858.3	368	794.9	3629	7128.4	3627	3098.7	3615	2317.6	3623	1548.5
M18	4858.3	3619	812.3	3619	7288.7	362	3173.8	3628	2304.1	3619	1548.3
M18	4858.4	3614	815.9	3626	7288.8	3618	3173.9	3628	2303.1	3626	1548.4
M7	4858.9	3621	808	3618	7289.9	3619	3173.6	3619	2308.4	3618	1548.6
M23	4859.4	3622	821.9	3619	7291.8	361	3176.5	3618	2308.4	3617	1548.6
M2	4861.7	3619	825.2	362	7292.4	3622	3176.9	366	2309.4	3626	1548.5
M14	4866.3	362	848.4	3614	7298.7	3618	3176.8	3622	2302.4	361	1548.3
M8	4866.8	3626	827.3	366	7297.1	3626	3177.6	362	2302.8	3614	1548.7
M22	4867.4	368	826.7	3622	7298.4	3616	3177.7	3614	2302.1	3622	1548.8
M28	4856.3	3617	877.3	369	7401.8	3629	4073.8	3625	2317.5	369	1583.3
M25	4857.9	3613	879.9	3625	7402.1	3617	4074.8	3628	2308.4	3625	1584.3
M27	4857.7	3629	879.3	3627	7402.7	3619	4074.8	369	2304.7	3617	1584.4
M8	4858.3	3623	881.9	3629	7403.2	3613	4074.8	365	2305.9	361	1584.8
M12	4866.3	368	886.9	361	7468.9	361	4074.8	362	2304.1	3628	1584.1
M1	4866.4	361	886.2	3613	7470.2	369	4076.9	3617	2307.1	365	1587.8
M23	4866.8	3622	881	7470.8	3622	4076.8	361	2317.5	3613	1587.9	
M3	4866.9	367	888.2	3621	7471.8	361	4076.7	3613	2312.8	3621	1588.7

Selected models are in bold.

Tableau 2. Valeurs du critère d'information Akaike (AIC) des modèles ajustés pour chaque espèce.

Lophius spp.

L'analyse de la longueur a montré qu'une probabilité de rétention égale était atteinte à env. 40 cm ([Fig 3](#)) et que la différence de probabilité de rétention entre les deux chaluts était faible pour les poissons plus petits. La durée du remorquage a eu un effet significatif ([tableau 2](#) , valeur $p < 0,001$), la proportion de baudroie conservée par classe de longueur diminuant avec l'augmentation de la durée du remorquage.

Melanogrammus aeglefinus.

Le modèle le mieux ajusté ([tableau 2](#)) a indiqué que l'églefin de moins de 30 à 35 cm, bien que présent dans le chalut témoin, était presque absent du chalut d'essai, et la taille à laquelle la probabilité de rétention était égale était d'environ. 40–45 cm ([Fig 3](#)). Cette taille est bien supérieure au MCRS de 30 cm. La profondeur de pêche a été retenue dans la procédure de sélection du modèle ([tableau 2](#) , valeur $p < 0,001$), ce qui indique que la proportion d'églefin conservé par classe de longueur augmente avec l'augmentation de la profondeur.

Des rayons

Malgré une grande variabilité dans l'ensemble de données, le modèle le mieux ajusté ([tableau 2](#)) avait tendance à indiquer une probabilité de rétention légèrement plus faible pour le chalut d'essai que le chalut témoin pour les raies de moins de 45 cm ([figure 3](#)). La proportion de rayons retenus par classe de longueur diminuait avec l'augmentation de la durée du trait ([tableau 2](#) , valeur $p < 0,001$).

Espèces non ciblées

Capros aper.

Les sangliers de 11 à 16 cm de long, abondants dans le chalut témoin, étaient presque absents du chalut d'essai ([Fig 3](#)). Aucune des covariables mesurées n'a affecté la probabilité de rétention du sanglier ([tableau 2](#)).

Grondin.

L'analyse de la longueur a montré une probabilité de rétention plus élevée pour les individus de moins de 25 à 27 cm pour le chalut témoin. Le modèle le mieux ajusté ([tableau 2](#)) a eu des difficultés à estimer la taille à laquelle la probabilité de rétention était égale car le chalut témoin semblait avoir systématiquement plus de grondin de 30 à 40 cm de long ([figure 3](#)). La durée du remorquage et le poids total des captures ont été retenus dans la procédure de sélection du modèle (valeur $p = 0,002$ et valeur $p = 0,003$, respectivement), ce qui indique que la proportion de grondin conservé par classe de longueur diminue avec l'augmentation de la durée du remorquage et du poids des captures.

Discussion

À notre connaissance, c'était la première fois qu'une configuration de maille T90 de 100 mm était testée simultanément dans l'extension et le cul de chalut, bien que la maille T90 ait été testée individuellement dans le cul de chalut [[10](#) , [16](#) , [22](#)] ou l'extension [[14](#)]. Au vu des résultats précédents, le dispositif testé dans cette étude est intéressant en termes de forme, longueur, type de maillage et maillage pour les pêcheries mixtes demersales de la mer Celtique. Le dispositif vise à réduire autant que possible les captures d'espèces cibles sous le MCRS et toutes tailles d'espèces non ciblées. Dans la pratique, il devrait réduire considérablement le volume global de captures indésirables que les pêcheurs rejetaient auparavant et devrait désormais stocker à bord et débarquer dans le port pour se conformer au nouveau règlement de politique commune de la pêche.

Le maillage T90 est connu pour augmenter le taux de fuite d'un large éventail d'espèces, des poissons plats aux poissons ronds et des espèces demersales aux espèces pélagiques [[10](#) - [16](#)], qui est particulièrement utile pour les pêcheries mixtes. La maille T90 reste ouverte pendant le remorquage et, pour une taille étirée donnée, offre un plus grand espace pour que les poissons s'échappent que la maille diamantée. Par rapport au panneau supérieur obligatoire conçu pour améliorer l'échappement des espèces qui présentent un comportement d'échappement «ascendant», l'utilisation d'un cylindre fournit une zone d'échappement sur le dessus, les côtés et le bas de l'engin. Cela devrait profiter à un plus large éventail d'espèces qui ont d'autres comportements et stratégies de fuite comme le naufrage ou le comportement d'échappée horizontale. À plus de 160 mailles et 12,5 m de long, le cylindre sélectif est plus long que ceux utilisés dans d'autres essais avec une extension et un cul de chalut T90. De plus, comme expliqué par Kopp et al. [[14](#)] et Digre et al. [[22](#)], un panneau sélectif monté sur l'extension est conçu pour augmenter le potentiel de survie d'un évadé en ne l'endommageant pas et en lui permettant d'éviter la compression dans le cul.

Dans cette étude, l'utilisation de la maille T90 a augmenté la sélectivité de taille des poissons ronds communément rencontrés, comme précédemment souligné pour le chalutage à perche [[16](#)] et le chalutage de fond [[13](#)]. Nos résultats confirment les résultats antérieurs pour l'églefin et les étendent à d'autres espèces comme le sanglier, le grondin, la lotte et les raies. Les captures d'églefin sous le MCRS ont été réduites à presque zéro ([tableau S3](#)). Cependant, on a estimé que la taille à laquelle la probabilité de rétention était égale entre les deux engins était beaucoup plus élevée que le MCRS, ce qui augmenterait les pertes commerciales non négligeables. Par extension, encore plus d'individus d'autres espèces de gadoïdes, comme le merlan et le merlu, avec une section transversale plus mince que l'églefin pour une longueur donnée, s'échapperaient par ce dispositif. Pour les flottes qui dépendent de l'aiglefin et du merlan de petite qualité, le dispositif d'extension et de cul de chalut T90 de 100 mm pourrait entraîner des pertes commerciales trop importantes pour rester rentables. Dans de tels cas, la diminution du maillage [[23](#)] ou le montage du T90 uniquement dans le prolongement ou le cul de chalut pourraient être des alternatives utiles.

Le grondin et le sanglier, espèces non ciblées qui pourraient être capturées en grande quantité en un seul trait, ont des écailles et des épines grossières qui endommagent d'autres espèces du chalut. Les pêcheurs sont donc très intéressés par la diminution des captures de grondin et de sanglier. Plus généralement, le capitaine et l'équipage de pêche signalent une qualité de capture considérablement améliorée lors de l'utilisation d'engins T90, ce qui constitue un avantage supplémentaire [[22](#) , [24](#)]. Fait intéressant, même si le TAC du sanglier dépasse 100 000 t, la France n'a pas de quota pour cette espèce. Ainsi, l'obligation de débarquement posera de sérieux problèmes aux pêcheurs français, car cette espèce non ciblée pourrait étouffer l'ensemble des pêcheries demersales dirigées vers le corégone. Un résultat important est que l'appareil testé a presque éliminé la capture de sangliers. La forme de la maille T90 convenait parfaitement à la forme du sanglier, facilitant probablement son évadement. Le sanglier

est généralement capturé dans de grands bancs qui ont tendance à obstruer le cul de chalut. La grande surface du maillage T90 augmentait la probabilité que l'école entière s'échappe de l'extension et du cul de chalut. Les quelques chinchards de l'Atlantique (*Trachurus trachurus*) observées n'étaient pas représentatives des grandes captures. Cependant, nos résultats sont cohérents avec ceux de Kopp et al. [14], qui ont signalé la forte capacité du maillage T90 à éliminer les captures indésirables d'espèces pélagiques de petite et moyenne taille, pour lesquelles les flottilles démersales ont un quota faible ou nul au niveau des navires.

Les petites mégrim (plus petites que le MCRS de 20 cm) ont rarement été capturées, même avec le chalut témoin, mais il n'a pas été possible de déterminer à partir de notre jeu de données si de petites mégrim se sont échappées du chalut témoin ou si elles n'étaient pas présentes dans l'environnement. Seule une expérience de sélectivité de taille absolue pourrait résoudre ce problème. Notre résultat a montré une réduction importante des mégrimes commercialisables de 20 à 30 cm de long. Kopp et coll. [14] ont observé une sélectivité accrue pour la semelle (*Solea solea*) en utilisant une extension T90 de 100 mm. Poids de capture cible moyennes des autres poissons plats, tels que *M. kitt* étaient similaires entre les deux chaluts, ce qui diffère des résultats de Bayse et al. [16], qui a utilisé des chaluts à perche et a constaté qu'un cul de chalut T90 diminuait la sélectivité pour les poissons plats. De même, Lomeli et al. [13] ont suggéré que, par rapport au maillage en losange, le maillage T90 réduisait la longueur de rétention de 50% pour les poissons plats. Cependant, la sélectivité relative pour la lotte et les raies a légèrement augmenté, ce qui a entraîné une diminution significative des poids de capture indésirables pour les raies mais pas pour la lotte. Nos résultats s'appuient sur un vaste ensemble de données collectées pendant une année entière pour évaluer les impacts sur le plus grand nombre d'espèces possible. Ils soulignent que l'appareil ne doit pas être utilisé lors de voyages saisonniers ciblant le rouget ou les céphalopodes. Une sélectivité de taille croissante pour le rouget en mer Méditerranée en utilisant un maillage T90 plus petit a déjà été observée [12].

L'effet de la taille des captures sur la sélectivité du cul a été abordé dans de nombreuses études, avec des résultats contradictoires [25 - 28]. En effet, le processus sous-jacent semble non linéaire, alors que des prises modérées pourraient augmenter l'ouverture de taille et améliorer l'échappée dans le cul de chalut, de très grandes tailles de prises peuvent obstruer les mailles du cul de chalut et ainsi réduire le potentiel de fuite des poissons. L'effet du poids de capture sur la capture à la longueur n'a pas été retenu par la sélection du modèle pour les 6 espèces étudiées. La seule espèce pour laquelle les captures pèsent peut avoir un faible impact est le grondin, avec un effet négatif significatif sur la capture totale. D'autres conditions environnementales telles que la durée du remorquage et la profondeur de pêche ont été intégrées aux modèles. L'hypothèse selon laquelle la capture est proportionnelle à la durée du remorquage a été testée dans plusieurs études [29 , 30]. L'effet négatif de la durée du remorquage sur les différentes phases du trait (remorquage, remontée, surface) a déjà été mis en évidence pour l'églefin, le merlan et la langoustine par Madsen et al. [31]. Dans cette analyse, la durée du trait semble diminuer la probabilité de rétention en longueur pour les raies, la lotte et les grondins. Les différences observées sont souvent associées aux capacités de nage liées à la taille, les plus gros poissons ayant une plus grande capacité de nage que les petits poissons [32]. L'heure du jour (jour / nuit), la saison ou l'état du poisson ont des impacts non négligeables sur l'efficacité de l'engin d'essai. Le plan d'échantillonnage ne nous a pas permis d'évaluer formellement leur effet respectif; cependant, cette variabilité restante a été gérée en mettant en œuvre le terme «transport» comme terme aléatoire dans le processus de modélisation.

Les engins de pêche expérimentaux évalués dans cette étude donneront de bons résultats au niveau commercial lorsqu'ils cibleront la lotte, la mégrime, les raies et le gros aiglefin, mais les pêcheurs n'utiliseront probablement pas cet engin pour cibler des espèces de plus petite taille comme les céphalopodes, le petit aiglefin, le merlan et merlu. Les études de sélectivité se concentrent souvent sur une courte liste d'espèces cibles; cependant, les captures d'espèces non ciblées sous TAC et pour lesquelles la disponibilité des quotas est faible (voire nulle) peuvent être problématiques pour certaines pêcheries. Les engins de pêche expérimentaux constituent une solution efficace pour atténuer les captures de poissons non ciblés en bancs comme le sanglier.

Renseignements à l'appui

Tableau S1. Caractéristiques du trait en profondeur moyenne, durée, quart et poids total de capture.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235368.s001>
(DOCX)

Tableau S2. Caractéristique de capture par trait.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235368.s002>
(DOCX)

Tableau S3. Poids moyen observé (en kg) par espèce dans les captures désirées (LAN) et non désirées (DIS).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235368.s003>
(DOCX)

Jeu de données S1.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235368.s004>
(CSV)

Remerciements

Les données présentées dans ce manuscrit ont été collectées lors du projet CELSELECT. Les auteurs tiennent à remercier les partenaires de ce projet, à savoir les skippers et équipages de pêche qui ont accueilli et participé aux essais en mer ainsi que le personnel d'Océanik développement (observateurs en mer et coordinateur des programmes). Les auteurs tiennent également à remercier le Système d'information halieutique français qui a stocké et validé les données.

Les références

1. UE. Règlement (UE) n° 1380/2013 du Parlement européen et du Conseil du 11 décembre 2013 relatif à la politique commune de la pêche, modifiant les règlements (CE) n° 1954/2003 et (CE) n° 1224/2009 du Conseil et abrogeant les règlements (CE) No 2371/2002 et (CE) no 639/2004 et décision 2004/585 / CE du Conseil. 2013. Disponible: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2013/1380/oj> . Consulté le 19 septembre 2018.
2. Sarda F, Coll M, Heymans JJ, Stergiou KI. Impacts et défis négligés de la nouvelle interdiction européenne des rejets. Poisson poisson. 2015; 16: 175-180.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)

3. Herrmann B, Wienbeck H, Moderhak W, Stepputtis D, Krag LA. L'influence de l'épaisseur de la ficelle, du nombre de ficelle et de l'orientation du filet sur la sélectivité du cul de chalut. *Fish Res.* 2013; 145: 22–36.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
4. MacLennan DN. Sélectivité des engins de pêche: un aperçu. *Fish Res.* 1992; 13: 201-204.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
5. O'Neill FG, Mutch K. Sélectivité dans les engins de pêche au chalut. *Scott Mar Freshw Sci.* 2017; Vol 8 No 01.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
6. Feekings J, Bartolino V, Madsen N, Catchpole T. Rejets de la pêche: facteurs affectant leur variabilité dans une pêcherie au chalut démersal. *Plos One.* 2012; 7: e36409. pmid: 22558463
[Voir l'article](#) • [PubMed / NCBI](#) • [Google Scholar](#)
7. Sajdlova Z, Drastik V, Juza T, Riha M, Frouzova J, Cech M, et al. Comportement des poissons en réponse à une corde de chalut pélagique dans les réservoirs tempérés. *Fish Res.* 2015; 172: 105-113.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
8. Krag LA, Herrmann B, Karlsen JD. Inferring Fish Escape Behavior in Challs Based on Catch Comparison Data: Model Development and Evaluation Based on Data from Skagerrak, Danemark (vol 9, e88819, 2014). *Plos One.* 2014; 9: e100605.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
9. Ryer CH. Un examen du comportement des poissons plats par rapport aux chaluts. *Fish Res.* 2008; 90: 138-146.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
- dix. Herrmann B, Priour D, Krag LA. Étude basée sur la simulation de l'effet combiné sur la sélection de la taille de la morue des mailles tournantes de 90 degrés et la réduction du nombre de mailles dans la circonférence pour les poissons ronds. *Fish Res.* 2007; 84: 222-232.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
11. Deval MC, Ozgen G, Ozbilgin H. Sélectivité des culs de chalut de 50 mm T0 et T90 pour les espèces de crevettes commerciales de la pêcherie turque au chalut en eaux profondes, Méditerranée orientale. *J Appl Ichthyol.* 2016; 32: 1041-1057.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
12. Tokac A, Herrmann B, Aydin C, Kaykac H, Unluler A, Gokce G. *Fish Res.* 2014; 150: 76–88.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
13. Lomeli MJM, Hamel OS, Wakefield WW, Erickson DL. Amélioration de l'utilisation des prises dans la pêche au chalut de fond du poisson de fond sur la côte ouest des États-Unis: une évaluation des extrémités de morue à mailles T90 et à mailles diamantées. *Mar Coast Fish.* 2017; 9: 149-160.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
14. Kopp D, Morandeau F, Mouchet M, Vogel C, Mehault S. Que peut-on attendre d'une rallonge T90 pour améliorer la sélectivité des pêcheries multispécifiques au chalut de fond dans le golfe de Gascogne? *Fish Sci.* 2018; 84: 597–604.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
15. Madsen N, Herrmann B, Frandsen RP, Krag LA. Comparaison de la sélectivité d'un cul de chalut T90 standard et à mailles tournées pendant le remorquage et le retour. *Aquat Living Resour.* 2012; 25: 231-240.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
16. Bayse SM, Herrmann B, Lenoir H, Depestele J, Polet H, Vanderperren E, et al. Un cul de chalut à mailles T90 pourrait-il améliorer la sélectivité de la pêcherie belge au chalut à perche? *Fish Res.* 2016; 174: 201-209.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
17. UE. Règlement délégué (UE) 2018/47 de la Commission du 30 octobre 2017 - autorisant l'utilisation de chaluts T90 alternatifs dans les pêcheries de la mer Baltique, par dérogation au règlement (CE) n ° 2187 / 2005. 2018 du Conseil; 2.
18. Cornou AS, Goascoz N, Scavinner M, Chassanite A, Dubroca L, Rochet MJ. Captures et rejets des métiers de pêche français. Résultats des observations à bord des navires de pêche professionnelle en 2016. 2017. Disponible: <http://archimer.ifremer.fr/doc/00353/46441/>
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
19. Holst R, Revill A. Une méthode statistique simple pour les études de comparaison des captures. *Fish Res.* 2009; 95: 254–259.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
20. Vogel C, Kopp D, Morandeau F, Morfin M, Mehault S. Amélioration de la sélectivité des engins du merlan (*Merlangius merlangus*) à bord des chalutiers démersaux français dans la Manche et la mer du Nord. *Fish Res.* 2017; 193: 207-216.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
21. Équipe de base R. R: Un langage et un environnement pour le calcul statistique. <https://www.R-project.org/>. 2017.
22. Digre H, Hansen UJ, Erikson U. Effet du chalutage au chalut traditionnel et au chalut «T90» sur la taille des poissons et sur différents paramètres de qualité de la morue *Gadus morhua* et de l'églefin *Melanogrammus aeglefinus*. *Fish Sci.* 2010; 76: 549–559.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)

23. Browne D, Cosgrove R, Tyndall P. Évaluation du maillage T90 dans une pêcherie ciblant le merlan dans la mer Celtique. Conseil des pêches de la mer d'Irlande (BIM); 2016 p. 8. Disponible: <http://www.bim.ie/media/bim/content/publications/5536> , BIM, Assessment, -, T90, mesh, -, Whiting, -, Celtic, Sea, -, ONLINE.pdf
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
24. Lamothe J, Larnaud P, Fiche M, Robert M, Morandea F, Vacherot JP, et al. Projet CELSELEC. Amélioration de la sélectivité des chalutiers hauturiers en mer Celtique. 2017. Disponible: <http://doi.org/10.13155/51488>
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
25. Erickson DL, Perez-Comas JA, Pikitch EK, Wallace JR. Effets de la taille des prises et du type de cul sur l'échappée de la goberge du doré jaune (*Theragra chalcogramma*) des chaluts pélagiques. *Fish Res.* 1996; 28: 179–196.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
26. Herrmann B. Effet de la taille et de la forme des captures sur la sélectivité des morues à mailles losangées: II. Etude théorique de la sélection de l'églefin. *Fish Res.* 2005; 71: 15–26.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
27. O'Neill FG, Kynoch RJ. L'effet de la taille du maillage de couverture et de la taille des prises de morue sur la sélectivité des morues. *Fish Res.* 1996; 28: 291-303.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
28. Sala A, Herrmann B, De Carlo F, Lucchetti A, Brcic J. Effet de la circonférence du cul de chalut sur le choix de la taille des cul de chalut à mailles carrées dans les pêcheries au chalut. *Plos One.* 2016; 11: e0160354. pmid: 27472058
[Voir l'article](#) • [PubMed / NCBI](#) • [Google Scholar](#)
29. Godø OR, Pennington M, Vølstad JH. Effet de la durée du remorquage sur la composition en longueur des prises au chalut. *Fish Res.* 1990; 9: 165-179.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
30. Sala A. Influence de la durée du remorquage sur les performances de capture des relevés au chalut en mer Méditerranée. *Plos One.* 2018; e0191662. pmid: 29357381
[Voir l'article](#) • [PubMed / NCBI](#) • [Google Scholar](#)
31. Madsen N, Skeide R, Breen M, Krag LA, Huse I, Soldal AV. Sélectivité dans un cul de chalut pendant l'opération de remontage - Un phénomène négligé. *Fish Res.* 2008; 91: 168-174.
[Voir l'article](#) • [Google Scholar](#)
32. He P. Comportement des poissons marins: processus de capture et défis de conservation. Blackwell Publishing. 2010.