

L'Institut Agro Rennes-Angers

☐ Site d'Angers ☒ Site de Rennes

Année universitaire : 2024 - 2025 Spécialité : Ingénieur Agronome Spécialisation (et option éventuelle) : Sciences halieutiques et aquacoles (ECOLH'H)	Mémoire de fin d'études ☒ d'ingénieur de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement) ☐ de master de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement) ☐ de l'Institut Agro Montpellier (étudiant arrivé en M2) ☐ d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)
---	--

Évaluation de la sélectivité des engins de pêche : lien entre caractéristiques écomorphologiques, traits fonctionnels, stratégies d'échappement et types de maille

Par : Antonin GROS Y

Soutenu à Rennes le 11/09/2025

Devant le jury composé de :

Président : Pablo Brosset

Maître de stage : Maud Mouchet

Enseignant référent : Pablo Brosset

Autres membres du jury :

Olivier Le Pape, Enseignant chercheur, L' institut Agro Rennes

Anik Brind'amour, Chercheure, IFREMER Nantes

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle de l'Institut Agro Rennes-Angers

INTRODUCTION

La préservation des écosystèmes marins est un enjeu majeur face à la surexploitation, au changement climatique et à la pollution. L'Union européenne, via la Politique Commune de la Pêche, cherche à limiter l'impact des activités halieutiques, notamment grâce à l'amélioration de la sélectivité des engins. Celle-ci vise à réduire les captures non désirées (juvéniles, espèces sans valeur commerciale, protégées) tout en préservant la rentabilité des flottilles.

Les dispositifs sélectifs existants (grilles, panneaux, chaluts à grandes mailles) ont montré leur efficacité, mais leurs performances dépendent fortement du comportement des espèces et du contexte de pêche. Une simple approche basée sur la taille est donc insuffisante: l'échappement dépend aussi des traits morpho-anatomiques (forme du corps, capacités natatoires), des traits physiologiques (performance en nage anaérobie) et du comportement face au dispositif. Ces caractéristiques influencent la probabilité de détection des ouvertures, les capacités de propulsion et la facilité à franchir les mailles.

L'approche par **les** traits fonctionnels permet de dépasser la simple lecture taxonomique et d'évaluer la diversité des fonctions écologiques préservées par les dispositifs sélectifs. Elle éclaire le rôle de la sélectivité comme filtre fonctionnel pouvant modifier la structure et la résilience des communautés marines.

Dans ce cadre, le projet ESCAPE cherche à comprendre les comportements d'échappement dans les chaluts benthodémersaux. Ce stage s'inscrit dans cette démarche en comparant deux dispositifs : une maille losange classique (moins sélective) et une maille T90 pivotée (plus sélective car restant ouverte sous traction). Les fractions du chalut (rallonge, cul) permettent d'examiner les différences d'échappement actif ou passif.

Trois questions principales guident le travail :

- Les traits fonctionnels des échappés varient-ils selon la partie du chalut et le type de maille ?
- Peut-on identifier des traits prédictifs de l'échappement ?
- Le T90 modifie-t-il la structure fonctionnelle des captures et donc le profil écologique des communautés exploitées ?

L'hypothèse est que la T90 favorise l'échappement d'individus plus performants natatoirement, surtout en rallonge, tandis que le cul reflète davantage des échappements passifs. Globalement, les engins de pêche exerceraient une sélection fonctionnelle, pouvant influencer la diversité et la résilience des populations.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

1. Protocole expérimental en mer

Les données de cette étude ont été collectées au cours d'une campagne scientifique menée en juin 2023, à bord du navire océanographique Côtes de la Manche. La zone d'étude se situe dans la baie de Plymouth, au sud de l'Angleterre, en Manche Ouest. Cet espace marin, caractérisé par des eaux relativement claires et productives, abrite une forte diversité biologique, ce qui en fait un site privilégié pour évaluer l'efficacité des dispositifs de sélectivité des chaluts.

Deux configurations de chalut de fond ont été testées :

- un chalut réglementaire muni d'une maille losange standard de 100 mm, utilisée à la fois dans la rallonge et dans le cul du chalut ;
- un chalut alternatif intégrant une maille T90 de 100 mm, soit une maille losange pivotée de 90° qui reste ouverte sous traction et est réputée plus sélective.

Au total, 14 traits de chalut d'une durée de 30 minutes ont été réalisés pour chaque type de maille. Pour assurer la robustesse des analyses, certains traits ont été exclus en raison de problèmes techniques (les traits 2, 6 et 28).

Pour distinguer les individus capturés de ceux échappés, une poche couvrante en filet très fin a été installée autour du cul et de la rallonge du chalut. Un filet de séparation interne a permis de différencier les individus échappés par la rallonge de ceux échappés par le cul. L'ensemble des poissons entrés dans le chalut a donc pu être classé en trois fractions (cf Fig. 1) :

- Fraction A : individus capturés, restés dans le chalut
- Fraction B : individus échappés par le cul
- Fraction C : individus échappés par la rallonge.

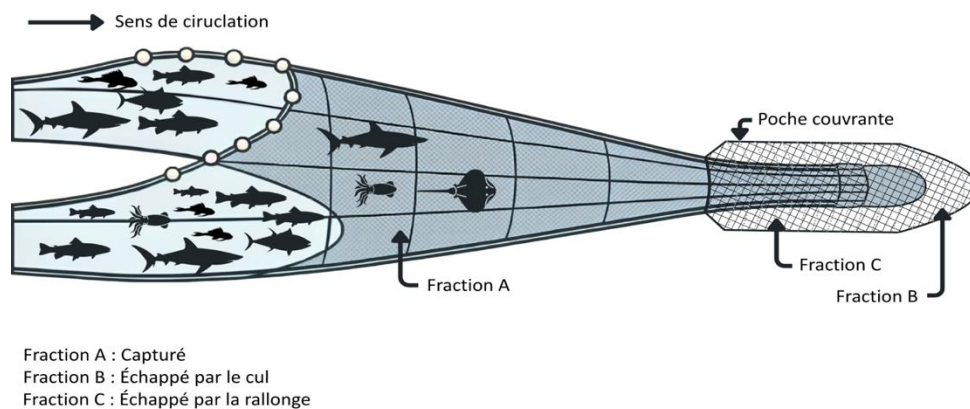


Figure 1 : Schéma du dispositif utilisé pendant la campagne ESCAPE montrant la répartition des poissons dans les différentes fractions du chalut

Ce protocole permet d'identifier à la fois le niveau global de sélectivité de chaque dispositif et la localisation des échappements, qui peut renseigner sur la nature du comportement d'évasion (actif ou passif).

2. Traits écomorphologiques et fonctionnels

a. Cas des poissons

Un échantillon représentatif d'individus a été constitué à bord : jusqu'à 20 poissons par espèce, répartis selon leur taille (petit ou grand individu), leur fraction (A, B ou C) et le type de maille. Ces individus ont ensuite été congelés, photographiés et analysés en laboratoire.

Un total de 13 traits écomorphologiques a été mesuré sur chaque individu, principalement liés aux capacités visuelles (taille et position des yeux) et natatoires (formes et surfaces des nageoires, pédoncule caudal, profil du corps). Ces mesures ont été réalisées avec le logiciel ImageJ (Fig. 2).

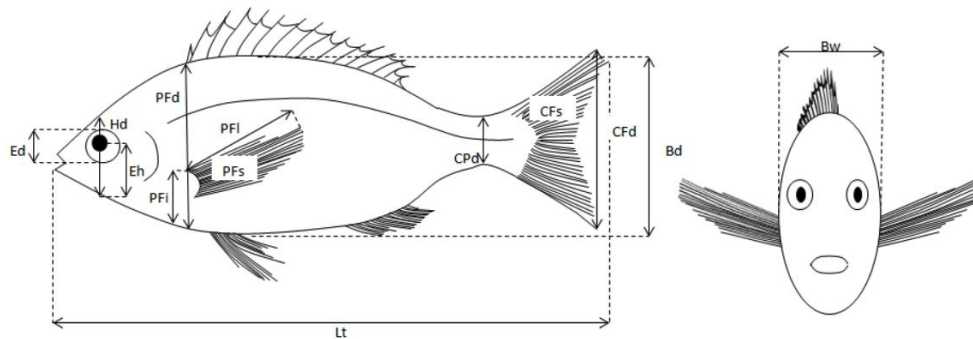


Figure 2 : Schéma général des traits écomorphologiques liés aux capacités visuelles et natatoires mesurés sur les individus

À partir de ces traits bruts, 12 traits fonctionnels ont été calculés, pour la plupart sous forme de ratios sans unité afin de neutraliser l'effet de la taille corporelle. Ils permettent de caractériser :

- la perception visuelle (ex. diamètre et position relative de l'œil)
- la locomotion (aspect des nageoires pectorales et caudales, pédoncule caudal)
- l'hydrodynamisme (forme transversale et surface du corps)
- la condition corporelle (indice de Fulton, basé sur le rapport masse/longueur)

Ces traits traduisent des fonctions écologiques majeures : la capacité à détecter une ouverture, la puissance de propulsion, la maniabilité et la facilité mécanique à franchir une maille.

Les hypothèses associées étaient que :

- les individus à grandes capacités visuelles s'échapperaient plus facilement,
- les morphologies hydrodynamiques et fuselées favoriseraient le passage au travers des mailles,
- les individus avec une meilleure propulsion (pédoncule resserré, nageoires développées) réussiraient davantage leur fuite,

- au contraire, une condition corporelle élevée limiterait l'échappement du fait d'un volume plus important à faire passer.

Enfin, certaines mesures ont été impossibles pour quelques espèces (ex. congre, raies, roussettes, aiguillats), en raison de l'absence de repères anatomiques nets ou de dégradations d'individus. Dans ces cas, les valeurs ont été laissées manquantes (NA) pour ne pas biaiser les analyses.

b. Cas des céphalopodes

Les céphalopodes, dont l'anatomie diffère fortement de celle des poissons, ont nécessité une adaptation méthodologique. Une nouvelle grille de treize traits fonctionnels a été développée afin de traduire leurs capacités visuelles, locomotrices et hydrodynamiques. Les individus ont été photographiés et mesurés via ImageJ, en relevant la longueur du manteau et des tentacules, la taille et la position de l'œil, ainsi que la surface et la forme des ailettes.

Ces traits, exprimés pour la plupart sous forme de ratios, décrivent les mêmes grandes fonctions que chez les poissons. L'hypothèse est que les individus dotés d'une meilleure acuité visuelle, d'ailettes développées et de tentacules fins présentent une plus grande capacité d'échappement, tandis qu'un volume corporel élevé peut constituer une contrainte mécanique.

Cette proposition constitue une première formalisation standardisée des traits fonctionnels chez les céphalopodes, réutilisable dans d'autres études sur la sélectivité des engins de pêche.

3. Analyse et préparation des données

Un travail rigoureux de préparation et de structuration des données a été mené avant analyse. Les mesures morphométriques individuelles ont été extraites automatiquement via un script R, consolidées dans une base unique puis converties en traits fonctionnels selon les formules établies. Un nettoyage approfondi a permis d'éliminer les erreurs et valeurs aberrantes, détectées par inspection graphique, et de corriger les anomalies de formatage. Des analyses de corrélation (corrplot) ont ensuite permis d'identifier les redondances entre variables et de vérifier l'indépendance des traits vis-à-vis de la taille corporelle.

Les profils fonctionnels associés aux fractions de capture (A, B, C) ont été caractérisés par une Analyse en Composantes Principales (ACP), après imputation des valeurs manquantes (missMDA). Les coordonnées factorielles obtenues ont servi à une classification hiérarchique et à un regroupement par K-means, permettant d'identifier des ensembles d'espèces ou de fractions partageant des profils similaires. Des analyses distinctes ont été menées pour les mailles T90 et losange, les proportions de fractions étant pondérées par la biomasse.

Enfin, les variations de traits entre fractions ont été évaluées par des modèles linéaires mixtes (lme4), considérant la fraction comme effet fixe et l'espèce comme effet aléatoire. Des comparaisons post hoc (emmeans, méthode de Tukey) ont permis de déterminer les différences significatives entre fractions. Cette approche combinée a permis de relier les profils fonctionnels

observés aux capacités d'échappement et d'évaluer l'influence respective des deux types de mailles.

4. Analyses statistiques

Deux matrices ont été construites pour chaque type de maille (T90 et losange) :

- une matrice de traits fonctionnels moyens par unité statistique (espèce_fraction), après imputation des valeurs manquantes
- une matrice d'abondances agrégées par fraction

À partir de ces matrices, un espace fonctionnel a été défini par Analyse en Composantes Principales (ACP), servant de base au calcul de cinq indices de diversité fonctionnelle (*package mFD*) :

- FRic : richesse fonctionnelle, reflétant l'étendue de l'espace des niches
- FEve : équité fonctionnelle, mesurant la régularité de la distribution des espèces
- FDiv : divergence fonctionnelle, indiquant la répartition des biomasses vers les extrémités de l'espace des traits
- FDis : dispersion fonctionnelle, évaluant la variabilité des traits et la redondance des fonctions écologiques
- Fori : originalité fonctionnelle moyenne, mesurant la singularité des combinaisons de traits

En complément, la diversité fonctionnelle de Rao (RaoQ) a été calculée à partir des distances de Gower, ainsi que l'indice de Simpson (D) basé sur les abondances relatives. Leur rapport a permis d'estimer la redondance fonctionnelle (FRed), indicateur du degré de chevauchement des fonctions écologiques entre espèces.

Enfin, un modèle nul de type "taxa shuffle" (1000 permutations) a été appliqué pour tester la significativité des valeurs observées, en comparant les indices mesurés à ceux attendus sous une distribution aléatoire des traits. Ce protocole a permis d'évaluer l'impact réel des dispositifs de sélectivité sur la diversité et la redondance fonctionnelles des communautés capturées, bien qu'aucune comparaison statistique directe entre mailles et fractions n'ait pu être finalisée.

RÉSULTATS

1. Composition et répartition des captures

Un total de 1830 individus, répartis entre 38 espèces, a été analysé. Les compositions spécifiques et la répartition en biomasse sont comparables entre les deux types de mailles (losange et T90), garantissant une bonne base de comparaison.

La maille T90 montre une rétention moyenne beaucoup plus faible (4,6 %) que la maille losange (52,7 %), confirmant sa plus forte sélectivité. De plus, la localisation des échappements diffère selon la configuration : la losange favorise les échappements en amont (rallonge), tandis que la T90 les concentre en aval (cul du chalut), révélant l'influence de la géométrie du filet sur les mécanismes d'échappement.

2. Profils fonctionnels des poissons

L'analyse en composantes principales (ACP), combinée à une classification hiérarchique, a permis d'identifier plusieurs groupes fonctionnels cohérents. Quatre clusters ont été retenus pour la maille T90 et cinq pour la losange, expliquant plus de 70 % de la variance.

Ces groupes se structurent autour de profils morphologiques contrastés :

- Poissons plats (soles, limandes, arnoglosses) : surface transversale élevée, petits yeux, faible mobilité verticale.
- Poissons longiformes (lançons, sprats, sardines) : nageoires fines, faible biomasse, grande maniabilité.
- Poissons manœuvrants (dragonnets, blennies, grondins) : profils intermédiaires, forte variabilité selon la maille.
- Poissons massifs ou allongés (congres, roussettes, aiguillats) : grande taille, forte masse, faible hydrodynamisme.

La structure fonctionnelle observée reste majoritairement interspécifique, indiquant que les différences entre espèces pèsent davantage que celles liées aux fractions de capture.

La comparaison des fractions révèle des tendances marquées : sous maille losange, les individus massifs et plats sont surtout capturés, tandis que les longiformes s'échappent préférentiellement. La maille T90, au contraire, favorise un échappement généralisé à travers l'ensemble des profils fonctionnels, notamment pour les poissons allongés et rapides.

3. Profils fonctionnels des céphalopodes

Chez les céphalopodes, le faible nombre d'individus a conduit à une ACP unique, expliquant 78 % de la variance et identifiant trois clusters principaux :

- Grands céphalopodes à larges ailettes (toutenon, seiche, encornet rouge) = grande taille, appendices développés, faible acuité visuelle.
- Petits céphalopodes hydrodynamiques (encornet veiné, encornet rouge) = corps fuselé, grandes performances locomotrices et visuelles.
- Seiches = corps compact, manteau dominant, tentacules effilés.

Contrairement aux poissons, la distribution fonctionnelle des céphalopodes dépend davantage de la fraction d'échappement que de l'espèce, suggérant que le processus de capture modifie leur

structuration fonctionnelle. Les échappements par le cul sont notamment plus fréquents chez les individus hydrodynamiques ou dotés d'aillettes développées.

4. Traits déterminants de l'échappement

L'analyse des distributions de traits fonctionnels montre que la taille et la biomasse sont les principaux déterminants de la capture : les individus plus petits s'échappent davantage, surtout sous maille losange. Sous T90, les différences suivent un gradient régulier entre fractions ($A > B > C$), traduisant un échappement progressif au fil du chalut.

Les traits visuels (position de l'œil) apparaissent discriminants uniquement sous T90, les individus échappés par la rallonge ayant les yeux plus hauts, ce qui favorise la détection des ouvertures. Cela suggère un échappement actif, dépendant de la perception visuelle, absent sous losange où les mailles sont moins visibles.

Les traits locomoteurs (forme du pédoncule, aspect des nageoires, ratio propulsion/contrôle) différencient clairement les fractions sous T90 : les échappés présentent des nageoires caudales effilées, un pédoncule resserré et une meilleure capacité de manœuvre, facilitant la fuite rapide. Ces différences sont plus faibles mais présentes sous losange.

Enfin, les individus à forte condition corporelle (K), donc plus massifs, sont plus souvent capturés, confirmant que le volume corporel constitue une contrainte mécanique à l'échappement.

5. Effets écologiques sur les communautés

Les analyses de diversité fonctionnelle, comparées à un modèle nul "taxa shuffle", montrent que la majorité des indices (FRic, FEve, FDiv, FDis, Fori) ne diffèrent pas significativement des valeurs attendues aléatoirement, sauf la redondance fonctionnelle (FRed) de la fraction échappée C sous maille losange, significativement plus élevée ($p = 0,04$).

Malgré l'absence de tests comparatifs complets, certaines tendances se dégagent :

- Sous T90, la richesse et la divergence fonctionnelle sont plus fortes chez les échappés par le cul (B), traduisant un échappement sélectif d'un spectre de traits plus large.
- Sous losange, la distribution des indices est plus homogène, suggérant une sélectivité plus uniforme.
- La T90 favorise une plus forte redondance et une moindre équité fonctionnelle, indiquant un filtrage plus structuré des profils écologiques.

Les représentations dans l'espace fonctionnel confirment ces tendances : les fractions T90 sont bien séparées, notamment la fraction B, qui occupe un espace plus large, tandis que sous losange, les ellipsoïdes se chevauchent largement. Cela traduit que la T90 exerce une sélectivité fonctionnelle marquée, filtrant certains profils morphologiques et comportementaux, alors que la maille losange agit plus uniformément sur la communauté.

DISCUSSION

Les analyses montrent que la maille losange retient surtout les morphotypes massifs et manœuvrants, tandis que la T90 favorise un échappement généralisé, sauf pour les poissons plats. La forme des mailles influence fortement la sélectivité et la localisation des échappements : la losange provoque davantage d'échappements dans la rallonge, tandis que la T90 concentre les échappements au cul du chalut. Bien que la T90 réduise fortement les captures, elle améliore la sélectivité en permettant à davantage d'individus de s'échapper, surtout chez les poissons ronds et longiformes. Cependant, sa faible rétention limite son intérêt économique. Les performances du T90 varient selon le contexte halieutique, la taille de maille et la morphologie des espèces ciblées.

Les traits fonctionnels révèlent différents mécanismes d'échappement :

- Condition corporelle : la taille et la biomasse influencent l'échappement, mais pas l'état corporel. Les individus plus grands s'échappent surtout par le cul dans la T90.
- Perception visuelle : joue un rôle clé dans la T90, suggérant des échappements actifs guidés par la vision. Ce rôle varie selon la morphologie et le comportement des espèces (poissons plats, longiformes, manœuvrables).
- Locomotion et hydrodynamisme : les espèces fusiformes et manœuvrables s'échappent mieux, grâce à leur vitesse et leur maniabilité, alors que les poissons plats et massifs restent plus capturés.

Sur le plan écologique, la T90 semble préserver davantage la diversité fonctionnelle, en permettant l'échappement d'un large éventail de morphotypes, tandis que la losange exerce une pression sélective plus forte et augmente la redondance fonctionnelle. Toutefois, les différences statistiques entre dispositifs restent faibles, suggérant que les patterns observés pourraient résulter du hasard. Le manque de données sur la communauté naturelle limite l'interprétation des effets réels sur la diversité fonctionnelle. L'intégration future de nouveaux traits physiologiques, comportementaux et d'histoire de vie permettrait d'affiner la compréhension des stratégies écologiques et de la résilience des communautés exploitées.

CONCLUSION

Ce travail évalue l'effet des mailles losange et T90 sur la sélectivité fonctionnelle des captures au chalut. Les échappements diffèrent selon la zone : actifs et liés aux capacités locomotrices et sensorielles dans la rallonge, plus passifs dans le cul. Des traits comme la vision, l'hydrodynamisme et la locomotion se révèlent prédictifs de l'échappement, avec une influence variable selon la maille. Le T90 favorise l'échappement d'individus redondants, limitant l'impact sur la diversité fonctionnelle et maintenant potentiellement la résilience des communautés, mais sa faible rétention soulève un enjeu économique. L'approche par les traits biologiques apparaît essentielle pour concevoir des engins conciliant sélectivité écologique et viabilité halieutique. Enfin, le projet ESCAPE, combinant analyses fonctionnelles, vidéos et intelligence artificielle, ouvre des perspectives pour optimiser durablement les dispositifs de sélectivité.