

Rapport technique détaillé des tests en mer TEFIBIO

Projet porté par le Parc naturel marin
des estuaires picards et de la mer d'Opale
en partenariat avec l'organisation de producteur FROM Nord,
financé par le FEAMP et France Filière Pêche
2020 – 2023



Sommaire

1. Introduction	5
2. Matériels et méthodes des tests en mer	9
2.1 Filets expérimentaux et campagnes de tests	9
2.2 Protocoles et données récoltées	12
2.3 Analyses des données	13
3. Résultats des tests en mer	16
3.1 Campagne 1 – Boulogne-sur-Mer 2021	16
3.1.1 Matériel d'essai	16
3.1.2 Intégrité des filets	16
3.1.3 Efficacités de capture	16
3.2 Campagne 2 – Le Tréport 2022	22
3.2.1 Matériel d'essai	22
3.2.2 Intégrité des filets	23
3.2.3 Efficacités de capture	23
3.3 Campagne 3 – Boulogne-sur-Mer 2022	27
3.3.1 Matériel d'essai	27
3.3.2 Intégrité des filets	27
3.3.3 Efficacités de capture	27
3.4 Campagne 4 – Fécamp 2023	29
3.4.1 Matériel d'essai	29
3.4.2 Intégrité des filets	30
3.4.3 Efficacités de capture	30
4. Discussion et conclusion	33
Bibliographie	36
Annexes	40

Remerciement

Un grand merci aux trois capitaines des navires de pêche qui ont participé à l'expérimentation ainsi qu'à leur équipage.

Citer le rapport

Solène PEUGET, 2023. Rapport technique détaillé des tests en mer du projet TEFIBIO (tests et développement de filets de pêche biodégradables). Office français de la biodiversité.

<https://parc-marin-epmo.fr/editorial/des-filets-compostables-et-biodegradables>

1. Introduction

Les écosystèmes marins sont soumis à de nombreuses pressions qui ne cessent d'augmenter en nombre et en intensité. L'accroissement des besoins en ressources marines dû à l'augmentation de la population mondiale et la dégradation des écosystèmes qui en découle met en péril les services rendus à l'Homme par ces écosystèmes au niveau planétaire. A cette surexploitation des ressources s'ajoute la dégradation de l'environnement marin induite par différentes pollutions. Le terme de pollution est défini depuis 1990 par le GESAMP (Report of the 20th Session of GESAMP, 1990) par « l'introduction par l'Homme, directement ou indirectement, dans le milieu marin (estuaires compris), de substances ou d'énergie provoquant des effets nuisibles tels que dommages aux ressources biologiques, risques pour la santé humaine, entraves aux activités maritimes, notamment à la pêche, altération de la qualité d'utilisation de l'eau de mer et réduction des agréments ». Cette définition, qui prend en compte de nombreux types de pollution tel qu'un apport en nutriments, un déversement d'huiles ou encore la pollution sonore prend également en compte la pollution par les plastiques (Clark et al., 2001). Sujet qui était encore peu étudié il y a une dizaine d'années, la pollution plastique marine connaît un intérêt grandissant et continu avec une trentaine d'articles scientifiques publiés en 2019 alors que seulement 7 ont été publiés avant 2010 (Aretoulaki et al., 2020).

La production de plastiques étant aujourd'hui plus de 2 fois plus importante qu'en 2000 avec 381 millions de tonnes produites en 2015 (Ritchie and Roser, 2018), les propriétés des matériaux plastiques et leur devenir dans l'environnement commencent à être bien renseignés (Horton, 2021).

Sources, compositions et impacts de la pollution plastique marine

La communauté scientifique s'accorde à estimer que 70 à 80 % de la pollution plastique marine proviennent de sources terrestres (Ritchie and Roser, 2018). Les 20 à 30 % restant proviennent de sources maritimes avec le trafic maritime, les bateaux de plaisance, les plateformes offshore et l'activité de pêche. Ces chiffres globaux doivent être mis en perspective en fonction de la zone géographique étudiée. En effet, la part des activités produisant cette pollution plastique marine peut varier de façon importante selon les activités présentes dans la zone, la gestion des déchets mise en place et les conditions du milieu (Jambeck et al., 2015).

La difficulté d'identification des déchets plastiques ajoute une part d'incertitude à la détermination des sources de pollution et la quantité qu'elles représentent. Il est possible d'estimer la source d'un macroplastique (déchet plastique de taille supérieur à 5 mm) retrouvé en mer dès lors qu'il n'est pas très dégradé. Ces macro déchets s'accumulent plus particulièrement sur le littoral ou dans des gyres au large dès lors que leur densité est faible (Lebreton et al., 2018 ; Lebreton et al., 2019). Sous l'effet des rayons UV, de l'abrasion et de processus de dégradation chimiques et biologiques, les macroplastiques se fragmentent en microplastiques de taille inférieure à 5 mm, appelés microplastiques secondaires. Le temps de dégradation varie en fonction des conditions du milieu mais aussi des types de plastiques et d'additifs qui les composent (Browne et al., 2011). Les granulés microplastiques produits par l'industrie dans cette gamme de taille pour leur application dans les cosmétiques, les peintures et la fabrication des objets plastiques et qui se retrouvent dans le milieu marin sont eux définis comme microplastiques primaires. La fragmentation plus importante amenant les particules de plastiques à une taille inférieure au μm , particules qualifiées de nanoplastiques, n'est encore que très peu renseignée (Ferreira et al., 2019). Les microplastiques représentent une grande partie de la pollution plastique et leur stockage dans le sédiment pourraient être une piste pour expliquer la différence entre la quantité de plastiques introduits dans le milieu marin et les quantités retrouvées dans les gyres qui étaient étudiés pour estimer la pollution plastique (Erni-Cassola et al., 2019). Ils se retrouvent d'ailleurs dans tous les compartiments du milieu

marin, de par leur capacité de dispersion, et s'accumulent dans le milieu (Thushari and Senevirathna, 2020). De la multitude de type de plastique existant, les PE et PP représentent la très grande majorité des échantillons collectés dans la colonne d'eau et les organismes marins représentant près de 67 % des plastiques présents dans ces milieux (Erni-Cassola et al., 2019).

L'ubiquité de cette pollution plastique marine est inquiétante d'autant plus en prenant en compte l'accumulation des déchets plastiques, dont la durée de vie est de l'ordre du siècle (Ali et al., 2021) et l'augmentation exponentielle de leur production. De nombreuses études référencées par Rochman et al., (2016) font état de l'impact physique des macroplastiques qui peuvent être pris pour des proies, ingérés indirectement et causer des enchevêtrements pouvant mener à la mort des organismes et de la macrofaune plus particulièrement. Les interactions avec le substrat lors de leur dépôt peuvent mener à un déséquilibre des communautés benthiques (Carson et al., 2011 ; Reichert et al., 2018 ; Valderrama Ballesteros et al., 2018). Les surfaces plastiques permettent aussi le transport d'espèces indigènes d'une zone à une autre, augmentant le risque de colonisation d'espèces invasives (Gregory, 2009). Les microplastiques représentent une menace plus insidieuse car moins visible de par la taille des particules en question. Leur ingestion indirecte ou absorption impacte le système digestif et branchial des organismes marins et peuvent entraîner des problèmes au niveau cellulaire (Alimba and Faggio, 2019). Leur seule présence dans le milieu peut également avoir un impact sur des comportements comme le montre Suwaki et al., (2020) en démontrant la perte de capacité natatoires dans un milieu pollué par les microplastiques. D'autres phénomènes de types écotoxicologiques inhérents à la composition des matériaux plastiques et aux additifs présents sont également à prendre en compte. Des substances chimiques permettant de donner certaines propriétés aux plastiques (couleur, résistance au feu, résistance aux UV, élasticité ...) sont souvent ajoutées et ces substances ne sont pas sans risques pour les organismes (Koelmans et al., 2014). L'ensemble des particules plastiques présentes peuvent aussi jouer un rôle d'accumulateur de polluants pour les substances hydrophobes qui vont se concentrer au niveau des micro et macroplastiques présents, pouvant être ingérés ou filtrés (Alimba and Faggio, 2019). Du fait de la persistance de cette pollution, l'impact sur le long terme notamment en termes de bioaccumulation et de bioamplification pose question. Les impacts sur l'Homme sont également à l'étude, la grande majorité des ressources marines étant exposée à la pollution plastique (Akhbarizadeh et al., 2019), tout en prenant en compte les dangers que ces déchets représentent pour la navigation et leur impact sur les activités de loisirs sur le littoral (FAO, 2020).

Le cas particulier des engins de pêche

Comme décrit précédemment, l'activité de pêche professionnelle est une des sources de pollution plastique. Cette dernière génère au moins 10 % de la pollution plastique marine totale (Macfadyen et al., 2009 ; Lebreton et al., 2018). Les déchets plastiques en mer provenant de l'activité de pêche sont majoritairement des engins de pêche avec près de 640 000 tonnes de matériels abandonnés par an (filets, casiers, ...) dans le milieu marin (Li et al., 2016). En parallèle, les quantités de ressources marines pêchées continuent d'augmenter et atteignent en 2018 84,4 millions de tonnes, ce chiffre étant en quasi-stagnation depuis les années 1990 (FAO, 2020). La flotte est également en augmentation au niveau mondial et les captures par unité d'effort diminuent. L'effort de pêche mondial est donc plus important, impliquant un nombre d'engins de pêche déployés de plus en plus important ou de plus en plus fréquemment depuis les années 1950 (Rousseau et al., 2019 ; Zabala, 2019) et la grande majorité des engins de pêche sont aujourd'hui élaborés à base de plastique permettant une résistance et une efficacité plus importante pour un coût plus faible (Macfadyen et al., 2009 ; Gilman et al., 2021). Le risque de perte d'engins de pêche pouvant polluer le milieu s'est donc accru avec l'évolution des pratiques de pêche. Quantifier la perte d'engin de pêche s'avère difficile au vu des différents métiers de pêche existants, de la variabilité géographique et du système de recensement, basé sur des enquêtes à petite échelle et donc purement indicatif et non systématique (Macfadyen

et al., 2009 ; Kuczynski et al., 2021). Le projet FANTARED 2 a estimé cette perte d'engin de pêche entre 1998 et 2005 à moins de 0,5 % pour les filets en Atlantique nord-est, 3 % pour les filets ciblant les poissons plats en Bretagne (5km de filet par navire par an) et 0,2 % pour les filets ciblant la sole en Manche et Mer du Nord (2,8 km de filet par navire par an) (MacMullen et al., 2004). Les causes de cette perte des engins de pêche sont également variables d'une zone à une autre et d'un métier à un autre et sont principalement le mauvais temps et les conflits non intentionnels avec d'autres engins de pêche comme c'est le cas en Manche (Brown et al., 2005 ; Macfadyen et al., 2009).

Les filets de pêche perdus, abandonnés ou jetés en mer sont communément appelés filets fantômes. De par leur composition, leur fractionnement en microplastiques est lent. Durant ce temps passé en mer, ils conservent sur une période variable leur capacité de pêche, causant notamment des enchevêtrements pour les mammifères marins, les oiseaux et les tortues et impactant les communautés benthiques (Nama and Prusty, 2021).

Bioplastique, une alternative au plastique conventionnel

Aux impacts et à la persistance du plastique conventionnel sur l'environnement, la recherche et développement cherche une solution par le développement de matières plastiques biodégradables et/ou biosourcées. Ces plastiques, appelés bioplastiques, ne répondent pas uniquement à cet enjeu environnemental mais aussi aux problématiques actuelles. En effet, la diminution des ressources pétrolières et de leur facilité d'extraction, l'amélioration technologique amenant une diminution des coûts, l'augmentation des réglementations sur les plastiques et la tendance des politiques à la transition écologique poussent fortement les structures à innover dans le domaine des bioplastiques (Vincent Mathel, communication personnelle, 2021). En termes de gestion des déchets plastiques, il est aussi recherché des alternatives à l'incinération ou à l'enfouissement, avec notamment de nombreuses filières de recyclages qui se mettent en place et le développement des plastiques compostables (ADEME., 2021).

Il existe deux définitions au terme de bioplastique. Les plastiques biosourcés, qui sont composés pour une partie définie de molécules issues de matériaux renouvelables et les plastiques biodégradables qui peuvent être dégradés par le milieu et assimilés par les organismes de ce milieu dans un laps de temps défini. Des normes catégorisent la part de composés biosourcés (norme ASTM D6866) et le temps de dégradation dans un milieu donné. Un bioplastique peut être certifié biodégradable en compost industriel, en compost domestique, en milieu aquatique ou en milieu marin.

Le Parc naturel marin des estuaires picards et de la mer d'Opale (PNM EPMO), innovations pour une activité de pêche durable

L'OFB est un établissement public de l'État à caractère administratif, créé au 1er janvier 2020 par la loi n°2019-773 du 24 juillet 2019, sous tutelle du ministère de la Transition écologique et solidaire et du ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation. L'OFB exerce des missions d'appui à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de la connaissance, la préservation, la gestion et la restauration de la biodiversité des milieux terrestres, aquatiques et marins. IL vient en appui aux acteurs publics mais travaille également en partenariat étroit avec les acteurs socio-économiques. Il a aussi vocation à aller à la rencontre du public et mobilise également les citoyens autour d'actions en faveur de la biodiversité. En matière d'aires marines protégées, l'OFB gère notamment les parcs naturels marins. Le Parc Naturel Marin des Estuaires Picards et de la Mer d'Opale (PNM EPMO), créé le 11 décembre 2012, est un carrefour biologique et économique majeur et a pour objectifs de connaître et protéger le milieu marin, tout en soutenant le développement durable des activités maritimes qui en dépendent. Son plan de gestion a été adopté en décembre 2015.

Le PNM EPMO a conduit un diagnostic complet de la gestion des déchets portuaires en 2017. Ce diagnostic a identifié l'importance de la pêche comme activité sur le Parc, avec notamment le port de Boulogne-sur-Mer qui est le premier port de pêche français pour les débarquements avec 32 000 tonnes débarquées/an et qui dispose d'une flotte de 137 bateaux de pêche. Cette flotte est notamment composée de 54 fileyeurs (39 fileyeurs purs et 15 polyvalents) et de 6 unités de pêche hauturière (chiffres de 2016). Ce diagnostic a également estimé qu'en moyenne un fileyeur (trémailleur) de 12 m produirait 8,6 tonnes de déchets/an, dont 7 tonnes de filets usagés/an. L'utilisation de filets biodégradable, recyclables et biosourcés, est une préconisation de cette étude afin de réduire l'impact environnemental de ces filets.

Dans le cadre de la mise en application de son plan de gestion et notamment des sous-finalités 4.2.1.4 : « Une présence en microparticules et en macrodéchets ne générant pas de nuisances au milieu marin, côtier et intertidal » et 6.2.6.2 : « Des projets innovants compatibles avec le milieu marin suscités, accompagnés et/ou portés par le Parc », un projet visant à concevoir et tester des filets de pêche biodégradables, biosourcés et recyclables, le projet FIBIO, est initié en 2019. Ce projet répond également aux recommandations de la FAO en termes de mesure curative dès lors qu'il y a perte de l'engin de pêche en milieu marin (FAO, 2020). Le nombre de fileyeurs ciblant la sole et pratiquant cette pêche dans la zone du PNM EPMO est de l'ordre de trente de navires (SIH IFREMER 2015-2019). La pollution plastique générée par cette flottille de par la perte d'engin de pêche pourrait être de près de 84 km de filets par an (MacMullen et al., 2004). Le Parc débute en 2020 une phase expérimentale, afin de tester l'efficacité de capture et la résistance du premier prototype en Europe de filets biodégradables pour la petite pêche côtière, en conditions réelles de pêche.

L'expérimentation est poursuivie et monte en puissance dans le cadre du projet TEFIBIO (développement et Tests de Filets Biodégradables), financé par la mesure 39 du Fonds Européens pour les Affaires Maritimes et la Pêche (FEAMP) et co-financé par France Filière Pêche. Deux finalités sont visées, utiliser et promouvoir des engins de pêche moins impactant pour le milieu en cas de perte et améliorer la gestion des déchets issus de la pêche sur le Parc. Afin de répondre à ces objectifs, le projet TEFIBIO se décline en 4 phases : la fabrication des prototypes, les tests en conditions réelles de mer, la filière de gestion de la fin de vie et l'étude de marché. Le présent rapport présente les résultats de la phase de test en conditions réelles de mer.

2. Matériels et méthodes des tests en mer

2.1 Filets expérimentaux et campagnes de tests

Pour mesurer l'efficacité de pêche et la résistance de filets biodégradables, biosourcés et compostables, il est choisi de reproduire des filets trémails monofilaments et multi-monofilaments utilisés majoritairement par les professionnels de pêche dans le périmètre du Parc naturel marin pour pêcher la sole (*Solea solea*). Ce choix est argumenté dans le rapport de fabrication de 2021.

La matière biodégradable en compost industriel et biosourcée utilisée dans la fabrication des filets tests est formulée par l'entreprise ICCI Sea qui en détient le brevet. Deux résines sont utilisées pour produire les filets tests trémails, la Sea®212, biosourcée à 35 % et la Sea®214, biosourcée à 55%. Composés de (co)polyesters et de polymère de vinyle biodégradables (Mathel and Chauvel, 2019) le Sea®214 et le Sea®212 sont biodégradables en compost selon les normes de compostage industriel NF 14995. Les filets conventionnels utilisés comme témoins sont en polyamide, couramment appelé nylon.

Les caractéristiques des filets à reproduire, la fabrication des filets biodégradables et les quantités de filets produites pour les expérimentations sont détaillées dans les rapports de fabrication de 2021 et de 2022.

4 campagnes de tests en conditions réelles de pêche sont réalisées à bord de navires de pêche professionnelle afin d'expérimenter les filets trémails dans des conditions réelles de pêche (FIGURE 1).

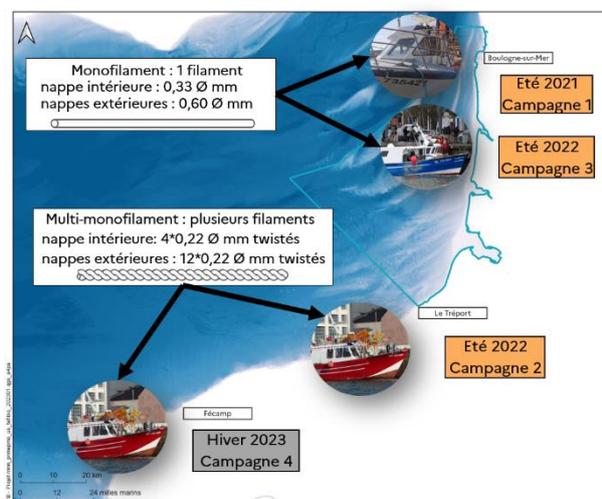


Figure 1: Détails du type de filet expérimenté en fonction des campagnes de tests, des ports d'attache et de la saison de test

La campagne 1 est réalisée de juillet 2021 à novembre 2021 sur le Néréides II pour la zone de Boulogne-sur-Mer. 2 300 m de filet test monofilament (1 800 m non colorés blancs et 500 m colorés verts) et 2 300 m de filet témoin sont mis à l'eau. 65 marées sont effectuées avec une durée moyenne de 5h, une profondeur moyenne de 35 m et sur un substrat plat sableux majoritairement (92 %, l'autre substrat étant rocheux). 7 de ces marées sont réalisées avec un observateur embarqué (marées n°1, 14, 18, 32, 35, 40 et 43). Seuls les marées 1 à 50 sont prises en compte dans l'analyse des données du suivi simplifié, les filets (tests et témoins) étant trop détériorés pour que l'analyse des marées 51 à 65 soit pertinente. La perte des 500 m de filets biodégradables colorés lors de la marée n°30 due à une interaction avec un autre engin de pêche impliquent que seules 29 marées sont réalisées pour les filets biodégradables colorés, dont 3 avec un observateur embarqué (marées n°1, 14 et 18).

La campagne 2 est réalisée d'août 2022 à décembre 2022 sur le Gauthier Lucile pour la zone du Tréport. 3 200 m de filet test multi-monofilament et 3 200 m de filet témoin sont mis à l'eau. 74 marées sont effectuées avec une durée moyenne de 22h, une profondeur moyenne de 35 m et sur des fonds durs exclusivement. 6 de ces marées sont réalisées avec un observateur embarqué (marées n°5, 6, 25, 26, 64 et 65).

La campagne 3 est réalisée d'août 2022 à décembre 2022 sur le Majeanda pour la zone de Boulogne-sur-Mer. 1 700 m de filet test monofilament et 1 700 m de filet témoin sont mis à l'eau. 53 marées sont effectuées avec une durée moyenne de 11h, une profondeur moyenne de 18 m et sur des fonds sableux majoritairement. 3 de ces marées sont réalisées avec un observateur embarqué (marées n°4, 22 et 28).

La campagne 4 est réalisée de décembre 2022 à mars 2023 sur le Gauthier Lucile pour la zone de Fécamp. 2 400 m de filet test multi-monofilament et 2 400 m de filet témoin sont mis à l'eau. 51 marées sont effectuées avec une durée moyenne de 20h, une profondeur moyenne de 36 m et sur des fonds durs exclusivement. Aucune marée n'a été réalisée avec un observateur embarqué.

La disposition dans l'eau des filets varie d'une campagne à l'autre en fonction du linéaire de filet expérimental disponible, des zones de pêche et des habitudes de pêche du patron du navire (FIGURE 2). Pour la campagne 1, les lignes de filets sont mixtes avec une partie composée du filet test et une partie composée du filet témoin. Pour les autres campagnes, les navires mettent à l'eau des lignes de filet strictement tests et des lignes de filet strictement témoins. Cette disposition permet un gain de temps pour l'équipage lors du tri du poisson et une meilleure organisation à bord. Afin de conserver les mêmes conditions de pêche entre les filets tests et les filets témoin, les lignes de filet expérimentales sont positionnées les plus proches possibles et de manière similaire au courant (FIGURE 3).

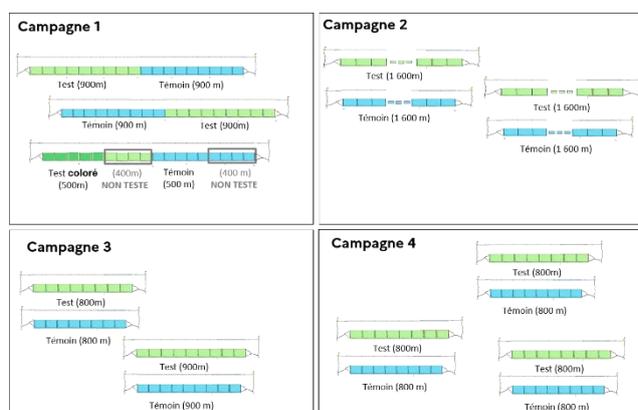


Figure 2 : Dispositions des filets tests et témoins dans l'eau durant la marée de pêche en fonction de la campagne

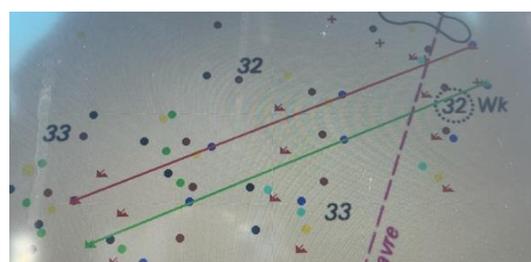


Figure 3 : Exemple de la disposition en mer d'une ligne test de 800 m (en rouge) et d'une ligne témoin de 800 m (en vert) lors de la campagne 4

L'ensemble des campagnes est mené en zones de pêche CIEM IVc et VIId. Afin d'effectuer l'expérimentation en conditions réelles de pêche, une zone précise de pêche n'est pas déterminée en amont et est restée à l'appréciation des capitaines des navires au vu de leurs habitudes de pêche et de leurs connaissances des sites. Il en est de même pour les conditions météorologiques. La localisation des marées de tests des filets monofilaments (campagnes 1 et 3) est présentée en FIGURE 4 et celle des marées de tests des filets multi-monofilaments (campagnes 2 et 4) en FIGURE 5.

PARC NATUREL MARIN DES ESTUAIRES PICARDS ET DE LA MER D'OPALE
Projet TEFIBIO - Localisation des marées tests des filets biodégradables monofilaments

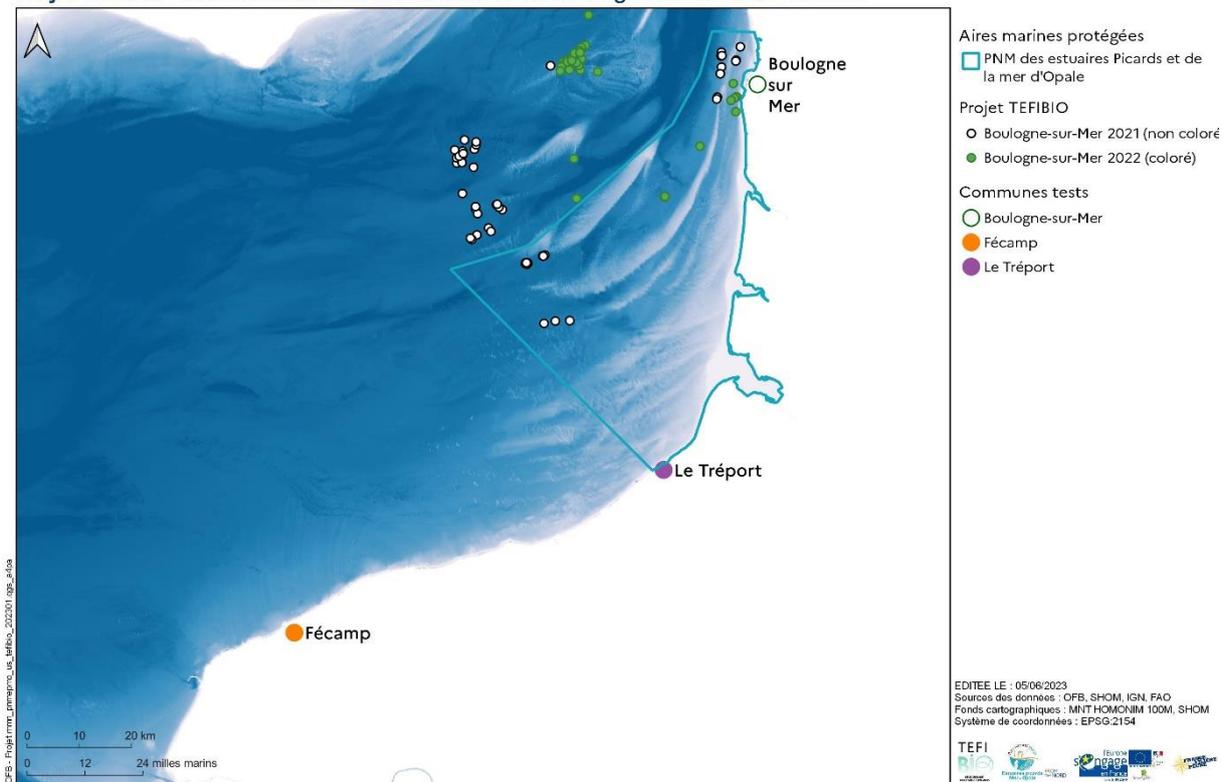


Figure 4 : Points GPS du début de la pose de la première ligne de filet (test ou témoin) lors de chaque marée des campagnes 1 (filets non colorés uniquement) et 3.

PARC NATUREL MARIN DES ESTUAIRES PICARDS ET DE LA MER D'OPALE
Projet TEFIBIO - Localisation des marées tests des filets biodégradables multi-monofilaments

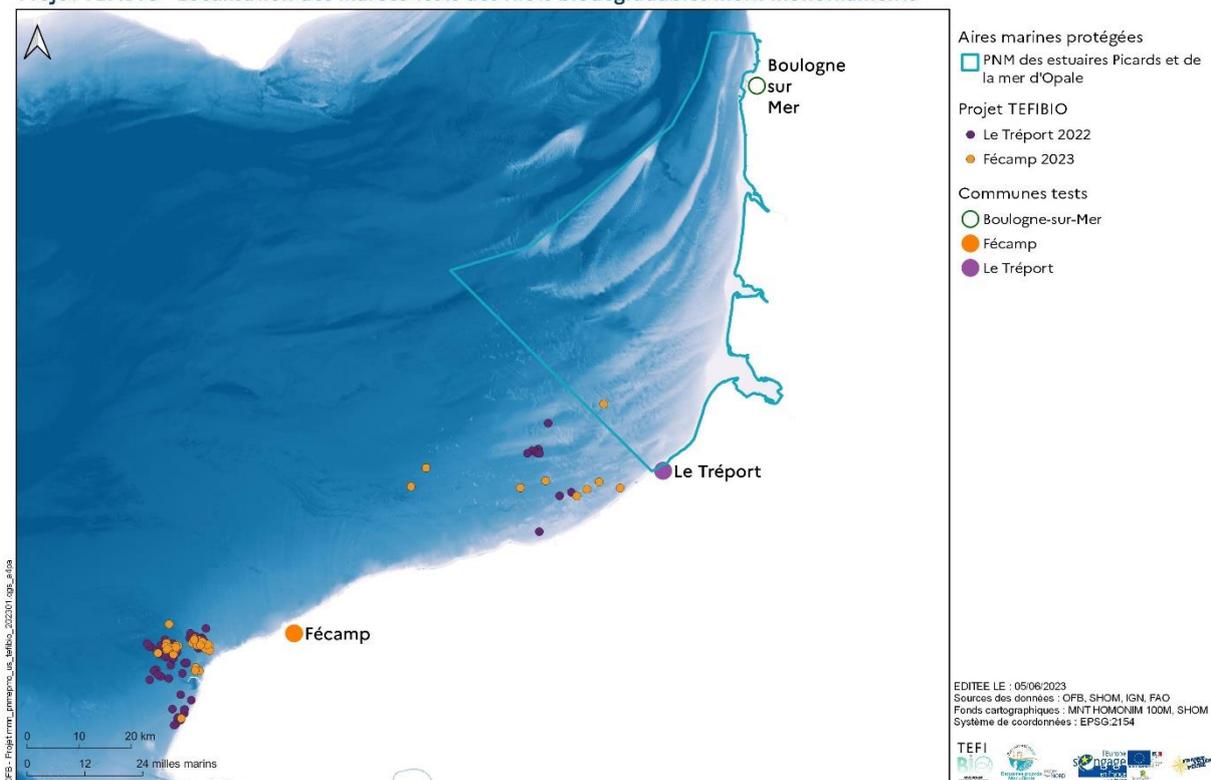


Figure 5 : Points GPS du début de la pose de la première ligne de filet (test ou témoin) lors de chaque marée des campagnes 2 et 4.

2.2 Protocoles et données récoltées

Deux types de suivi sont mis en place durant lesquelles les coordonnées et les durées de pêches, les conditions météorologiques ainsi que le type de substrat ont été renseignés. Pour les deux types de suivi, l'objectif est de déterminer d'une part l'efficacité de capture et d'autre part la résistance mécanique à l'activité de pêche et aux conditions environnementales des filets de pêche biodégradables par rapport aux filets de pêche conventionnels.

Afin de collecter les données d'un maximum de sorties en mer, un premier type de suivi est effectué par le pêcheur. Ce suivi, simplifié pour ne pas gêner l'activité de pêche, consiste à enregistrer les poids de capture (en kg) pour chaque espèce pour le paramètre d'efficacité de capture. La partie retenue (partie gardée à bord) a été différenciée de la partie rejetée (partie ne pouvant être commercialisée ou sujette aux tailles minimales de capture) (FIGURE 7). Pour la partie rejetée, seule l'espèce cible, la sole, est quantifiée. Les poids sont estimés par le capitaine du navire, les conditions à bord ne permettant pas l'installation et l'utilisation d'une balance, à l'exception de la campagne 3, avec des poids pesés en criée (habitudes du capitaine du navire). La résistance mécanique des filets est suivie au cours de la saison de pêche par l'estimation de l'intégrité général du filet de pêche en pourcentage à 5% près par le capitaine du navire. Les avaries (i.e trou dans le filet) sont référencées selon l'appréciation du capitaine.

Le second type de suivi, le suivi complet, est réalisé par un observateur embarqué au cours d'un minimum de 6 sorties en mer. L'ensemble des individus capturés est pesé par espèce à l'aide d'un peson avec une précision de 10 grammes. Chaque individu de l'espèce cible est mesuré à l'aide d'une règle au centimètre supérieur. Un sous échantillonnage est réalisé au-delà de 100 individus mesurés si le nombre d'individus est largement supérieur à 100. La mesure de l'intégrité des filets n'a pu être mis en place au vu des conditions de mesures (le filet restant sur le navire durant la période d'expérimentation) et du linéaire à échantillonner pour avoir une représentativité de l'évolution de l'intégrité. Il est donc choisi, dans le protocole détaillé, de suivre la résistance mécanique du filet en comparant l'allongement et la déformation potentiels des monofilaments de la nappe intérieure par la mesure de la taille de maille. Les mesures sont effectuées à l'aide d'une jauge Oméga (08050066), paramétrée à 10 Newton avec une précision au mm. 3 mailles sont mesurées à 3 positions différentes, en haut, au milieu et en bas. Ces mesures sont répétées aux énarcs (i.e boucles attachant le filet aux tresses flottantes et plombées) n° 1, 10 et 20, ce qui représente une longueur de filet d'environ 5 m (FIGURE 6 : Représentation schématique de la partie initiale d'un filet localisant les mesures de la taille des mailles (doubles flèches noires) en prenant pour exemple l'éncart 1.).

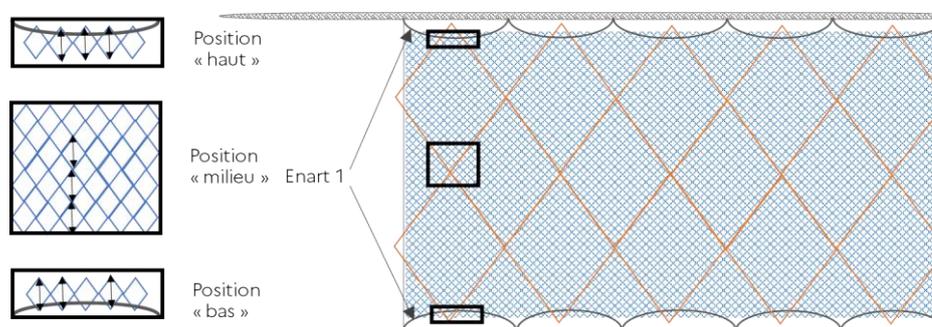


Figure 6 : Représentation schématique de la partie initiale d'un filet localisant les mesures de la taille des mailles (doubles flèches noires) en prenant pour exemple l'éncart 1.

Les mesures sont réalisées sur une extrémité de chaque type de filet du fait de son accessibilité une fois le filet lové (i.e replié sur lui-même). Cette extrémité est aléatoirement définie par le sens de virage (i.e remontée du filet), décidé par le capitaine du navire selon les conditions

météo et le sens de la marée. Un total de 27 mailles est mesuré pour chaque type de filet. Une mesure. L'ensemble du protocole du suivi observateur est consultable en annexe (Annexe 2).

Les estimations et mesures sont réalisées sur l'ensemble du linéaire en groupant les lignes témoins d'un côté et les lignes tests de l'autre. La distinction entre les lignes, permettant plusieurs mesures de captures et d'estimation de l'intégrité lors d'une seule marée n'est pas possible sans gêner la pratique de pêche à bord.

Pour le suivi des captures, les deux types de protocoles sont basés sur le protocole ObsMer élaboré par IFREMER (<https://sih.ifremer.fr/Ressources/ObsMer>) et adaptés (FIGURE 8).



Figure 7 : Photo illustrant le tri par l'équipage des captures sur une partie de filet test durant la campagne 2.

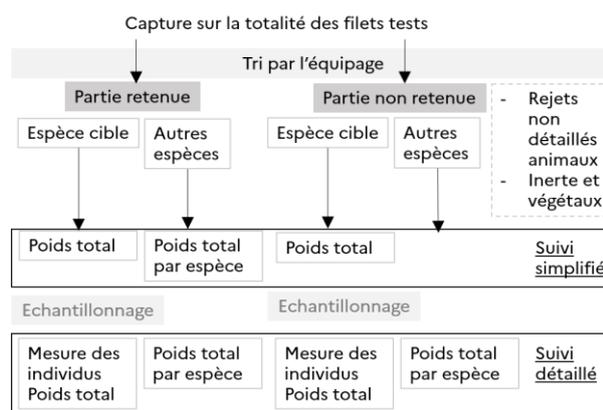


Figure 8 : Adaptation du protocole ObsMer pour le suivi de la capture des filets tests, strictement identique pour le suivi de la capture des filets témoins.

Pour chaque marée de chaque campagne, les données disponibles pour comparer les filets témoins et les filets tests sont :

- Données issues du suivi simplifié : le poids toutes espèces capturé retenu, le poids capturé retenu par espèce, le poids de l'espèce cible capturé rejeté, l'intégrité estimée.
- Données issues du suivi détaillé : le poids toutes espèces capturé retenu, le poids capturé retenu par espèces pour les espèces présentes 6 fois sur l'ensemble de la saison, le poids toutes espèces capturé rejeté, le poids de l'espèce cible capturé rejeté, la taille de l'espèce cible capturée, la taille de maille.

Des essais de tractions sont également réalisés en laboratoire sur certains filets neufs et usagés après les tests en mer pour comparer les propriétés mécaniques des matières. Les résultats de ces essais sont décrits dans le chapitre V du Rapport de fin de vie.

2.3 Analyses des données

Les données de performances mécaniques et d'efficacité de capture sont analysées statistiquement avec le logiciel R© version 4.1.0. Les données GPS sont décrites visuellement avec le logiciel QGIS version 3.10.11.

Les données issues de chacune des campagnes sont traitées séparément. De même, les données issues des deux types de suivis, simplifié et détaillé, sont traitées séparément. Les conditions environnementales (profondeur, état de la mer, force du vent, saison) et les

conditions techniques (zones de pêche, durées de pêche) sont identiques pour les deux types de filet lors de chaque marée, mais peuvent varier d'une marée à l'autre pour une même campagne. Les marées sont ici considérées comme des répliques pour chacune des 4 campagnes avec une analyse par paire de l'ensemble des données (données du filet test $\text{marée } i, \text{ campagne } j$ / données du filet témoin $\text{marée } i, \text{ campagne } j$), l'influence de ces conditions n'est pas explorée ici. Le filet témoin est appelé dans la suite du rapport filet conventionnel et le filet test filet biodégradable.

Pour le matériel d'essai

Les tailles de maille du filet biodégradable et du filet conventionnel avant le début des tests ($t=0$) pour chaque campagne sont analysées en comparant la taille moyenne des mailles sans distinction de l'écart mais uniquement en position centrale. Le test t de Student (statistique t), le test de Wilcoxon (statistique W) ou le test des signes (statistique S) est appliqué en fonction de la normalité et de la symétrie des distributions des valeurs, analysées respectivement par un test de Shapiro-Wilk et une inspection visuelle.

Pour les performances mécaniques

Les données des performances mécaniques analysées statistiquement sont les estimations de l'intégrité réalisée par le pêcheur lors de chaque marée. L'évolution de l'intégrité estimée est modélisée pour chaque campagne avec un modèle mixte linéaire généralisé (GLMM) quasi-binomial, les données étant bornées (pourcentages), temporellement auto-corrélées et appariées (la marée étant le facteur aléatoire) (Bolker et al., 2009). L'évolution de l'intégrité modélisée des deux types de filet est comparée par une anova de type I en appliquant un test de Fisher (statistique F).

Les mesures de la taille des mailles réalisées dans le suivi détaillé ne sont pas analysées pour décrire les performances mécaniques. Les mesures étaient réalisées sur une nappe aléatoire lors des tests en mer or il est constaté pour la campagne 3, lors d'un contrôle de l'ensemble des nappes à $t=0$, des tailles de mailles non homogènes sur les nappes biodégradables avant la mise à l'eau des filets (FIGURE 9). Les mesures des tailles de maille ne sont donc pas représentatives de l'évolution de la taille de la maille au cours de la saison de pêche comme souhaité lors de la mise en place du protocole.

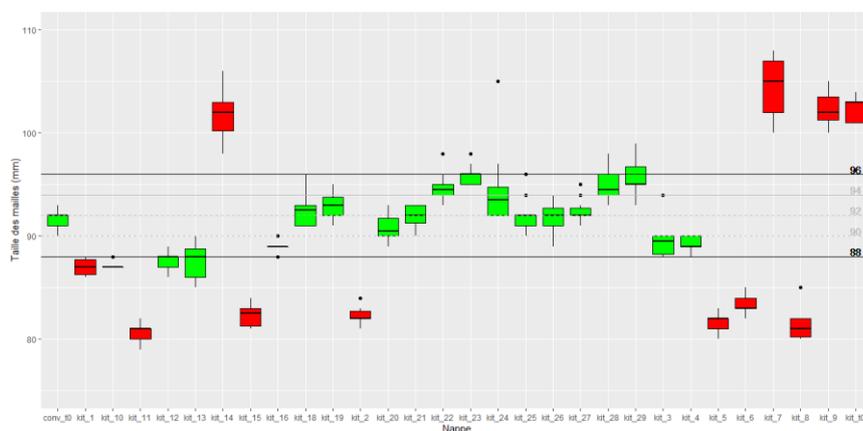


Figure 9 : Représentation en boxplots des tailles de mailles non homogènes des 29 kits de nappe (100 m) devant être normalement testés pour la campagne 3 avec 17 kits réellement testés (en vert) et 12 kits non testés car non équivalents à la taille des mailles d'un kit conventionnel conv_t0 (en rouge)

Pour l'efficacité de capture

L'hypothèse est faite que les espèces qui n'ont pas été capturées par aucun des deux types de filets lors d'une marée ne sont pas présentes. La sole, qui est l'espèce cible, est en revanche considérée comme présente pour toutes les marées avec une capture nulle si elle n'est pas pêchée, en partie retenue comme en rejet.

L'ensemble des données de poids sont analysées pour chaque campagne en comparant la médiane des différences de chaque paire à 0 par des tests *t* appariés de Student (statistique *t*), des tests de Wilcoxon appariés (statistique *V*) ou des tests des signes appariés (statistique *S*). Le test appliqué est défini en fonction de la normalité et de la symétrie de la distribution des différences, analysées respectivement par un test de Shapiro-Wilk et une inspection visuelle. L'analyse des données de poids par espèce n'est réalisée que pour les espèces où $n \geq 6$ (capturées au moins 6 lors de 6 marées durant la campagne), $n=6$ étant la taille minimale de l'échantillon à partir de laquelle il existe une valeur critique de la statistique de test (Wilcoxon et al., 1970). Le traitement des données de poids issues du suivi simplifié et du suivi détaillé est identique. Pour les données de poids de rejets, le pourcentage de rejet sur la capture totale (rejet et partie retenue) est comparé avec la même méthode. Pour les données de rejets par espèce issues du suivi détaillé, seules sont donc comparées les rejets pour les espèces capturées également en partie retenue.

La différence d'efficacité de capture est calculée en pourcentage avec la formule suivante :

$$\Delta_{\text{efficacité}} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (C_{\text{test}_i})}{\sum_{i=1}^n (C_{\text{témoin}_i})} - 1 \right) \times 100$$

Avec C_{test} et $C_{\text{témoin}}$ les captures du filet

Pour les données de taille issues du suivi détaillé, la taille moyenne de l'espèce cible est comparée par des tests *t* appariés de Student (statistique *t*), des tests de Wilcoxon appariés (statistique *V*) ou des tests des signes appariés (statistique *S*). Le test appliqué est défini en fonction de la normalité et de la symétrie de la distribution des différences, analysées respectivement par un test de Shapiro-Wilk et une inspection visuelle. L'analyse de la distribution de la capture en fonction de la taille des individus est réalisée par des tests de Kuiper (statistique *V*) en comparant la fréquence cumulée par classe de taille entre les deux types de filets sur l'ensemble de la campagne et sur l'ensemble des individus de l'espèce cible : le rejet (taille minimale réglementaire de capture) ainsi que la partie commercialisée (partie retenue).

L'évolution, au cours de la saison de pêche, du poids capturé retenu total et pour la sole est représentée au titre de tendance par des régressions linéaires non paramétriques, de types « loess » uniquement pour le suivi simplifié, pour lequel le nombre de marées est plus important.

Les intervalles de confiance des tests sont fixés à 95 % et le mode de dispersion indiqué dans le texte (\pm) est l'écart type.

La représentation des données et des résultats statistiques est réalisée à l'aide du package *ggplot2* de R©.

3. Résultats des tests en mer

3.1 Campagne 1 – Boulogne-sur-Mer 2021

3.1.1 Matériel d'essai

Pour la campagne 1, le prototype 2 est expérimenté (trémail monofilament). Les nappes intérieures des filets biodégradables non colorés et conventionnels ne présentent pas de différence de taille de maille avec une taille moyenne de 95.1 mm (± 1.7) et 93.9 mm (± 0.9) respectivement ($t = 1.9$, $p=0.08$). Il en est de même pour les nappes intérieures des filets biodégradables colorés par rapport aux filets conventionnels avec une taille moyenne de maille de 93.8 mm (± 1.2) et 93.9 mm (± 0.9) respectivement ($t = -0.22$, $p=0.8$).

3.1.2 Intégrité des filets

Sur l'ensemble de la campagne, il est estimé par le pêcheur pour le test du filet biodégradable non coloré, une perte d'intégrité moyenne par marées de 1,3 % pour les nappes biodégradables non colorées et de 1,0 % pour les nappes conventionnelles. Pour le test du filet biodégradable coloré, la perte d'intégrité moyenne est de 1,4 % et de 0,9 % pour les nappes biodégradables et conventionnelles respectivement.

La perte d'intégrité est estimée plus rapide pour les nappes biodégradables par rapport aux nappes conventionnelles pour le test du filet biodégradable non coloré (FIGURE 10, $F = 5.68$, $p = *$). Pour le test du filet biodégradable coloré, il n'y a pas de différence dans la baisse d'intégrité en fonction du temps entre les deux types de nappe (FIGURE 11, $F = 2.89$, $p = 0.10$).

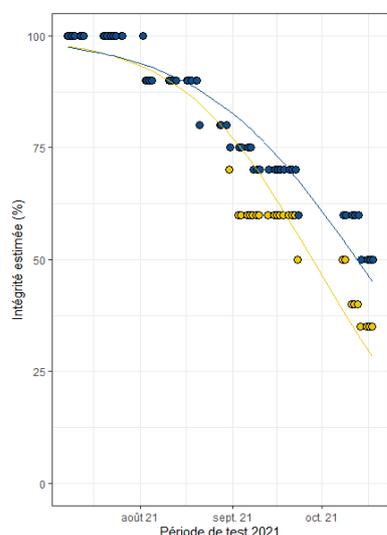


Figure 10 : Modélisation (lignes) de la baisse d'intégrité estimée dans le suivi simplifié (points) des nappes biodégradables non colorées (en jaune) et des nappes conventionnelles (en bleu)

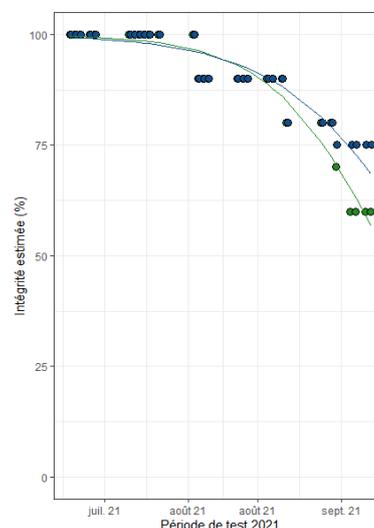


Figure 11 : Modélisation (lignes) de la baisse d'intégrité estimée dans le suivi simplifié (points) des nappes biodégradables colorées (en vert) et des nappes conventionnelles (en bleu)

3.1.3 Efficacités de capture

Sur les 43 marées sans observateur, 16 espèces sont identifiées dans les captures d'au moins 1 marée pour le test des filets biodégradables blancs réalisés sur 1800 m. Lors du suivi observateur sur 7 marées, 22 espèces sont enregistrés dans les captures. Sur l'ensemble de la saison, les captures sont présentées en ANNEXE 1 et en ANNEXE 2 pour le suivi simplifié et le suivi détaillé respectivement.

Pour les tests des filets biodégradables verts sur 500 m de filet, 26 marées sont réalisées sans observateur avec la capture de 17 espèces et 3 marées sont réalisées avec observateur pendant lesquelles 14 espèces sont capturées. Les captures sur l'ensemble de la saison sont présentées en ANNEXE 3 et en ANNEXE 4 pour le suivi simplifié et le suivi détaillé respectivement.

3.1.3.1 Partie retenue - Test du filet biodégradable blanc

Le poids moyen de capture, toutes espèces confondues, estimé par le capitaine est plus important avec le filet conventionnel (65,7 kg ± 27,8) qu'avec le filet biodégradable (42,0 kg ± 19,5). L'efficacité de capture est significativement différente ($S = 5$, $p=***$), avec -36 % de capture pour le filet biodégradable. Le poids moyen de capture mesuré par l'observateur embarqué n'est pas différent entre le filet conventionnel (44,0 kg ± 14,1) et le filet biodégradable (34,5 kg ± 8,7) ($t = -1.3$, $p=0.24$) (FIGURE 12).

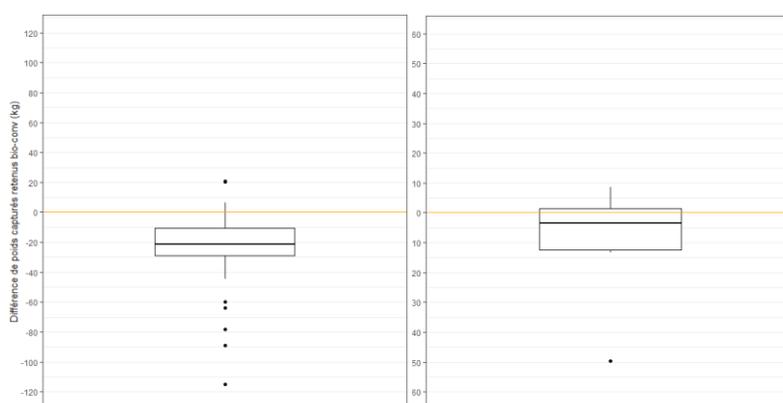


Figure 12 : Médiane et répartition des différences des poids capturés par le filet biodégradable moins ceux capturés par le filet conventionnel par marées par rapport à zéro (en orange) issues du suivi simplifié (à gauche) et du suivi détaillé (à droite)

Lors du suivi simplifié, une différence significative de poids moyens capturés est observée pour 8 espèces : la barbue ($t = -3.47$), la limande ($t = -5.48$), la plie ($t = -2.48$), le rouget ($S = 0$), la roussette ($V = 85$), la sole ($V = 68.5$), la sole-pôle ($S = 0$), et le tacaud ($S = 0$) (

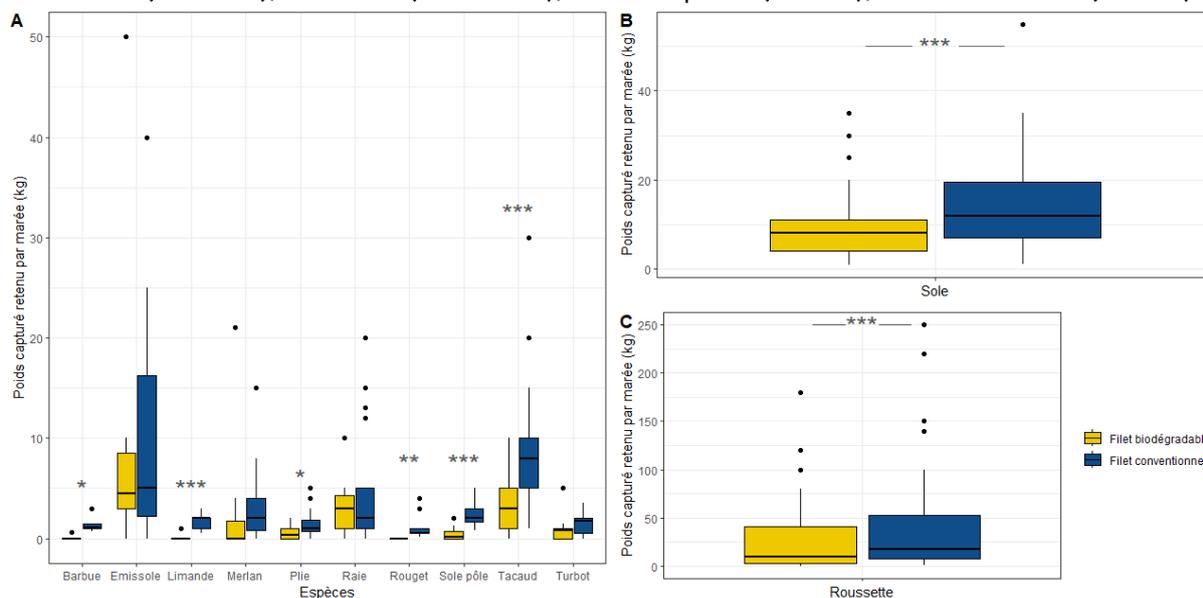


FIGURE 13). Les tests de significativité de différence de poids moyens capturés ne sont pas

effectués pour le bar, la limande sole, la seiche et la vive (ANNEXE 5). Pour la sole, qui est l'espèce cible, l'efficacité de capture du filet biodégradable est significativement moins importante de 37 %.

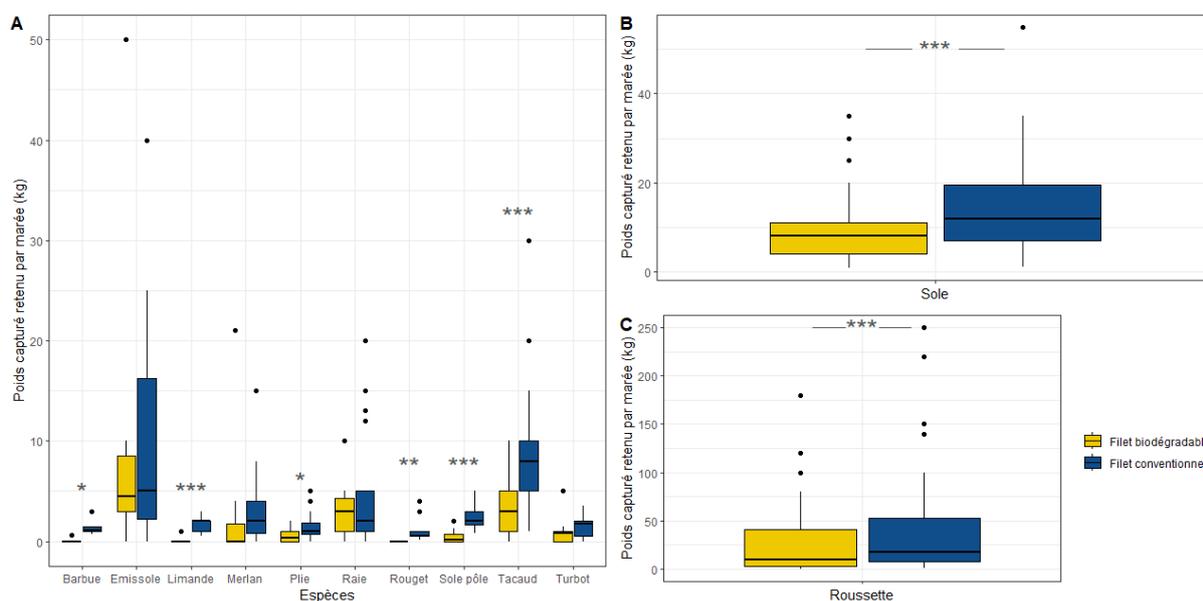


Figure 13 : Poids capturés estimés pour les espèces ayant été capturées au cours de 6 marées et plus ; avec différents ordres de grandeur de capture (A), (B) et (C) pour le filet test biodégradable blanc (jaune) et le filet témoin conventionnel (bleu)

Pour le suivi détaillé, l'efficacité de capture n'a pu être analysée statistiquement que pour 4 espèces sur les 20 espèces capturées en partie retenue (ANNEXE 6) : la roussette ($V = 12$, $p = 0.84$), la sole ($t = 1.71$, $p = 0.14$), la sole-pôle ($t = 0.75$, $p = 0.49$) et le tacaud ($t = -0.48$, $p = 0.65$). Les poids moyens par espèces ne montrent pas de différences significatives d'efficacité de capture entre les deux types de filets (FIGURE 14).

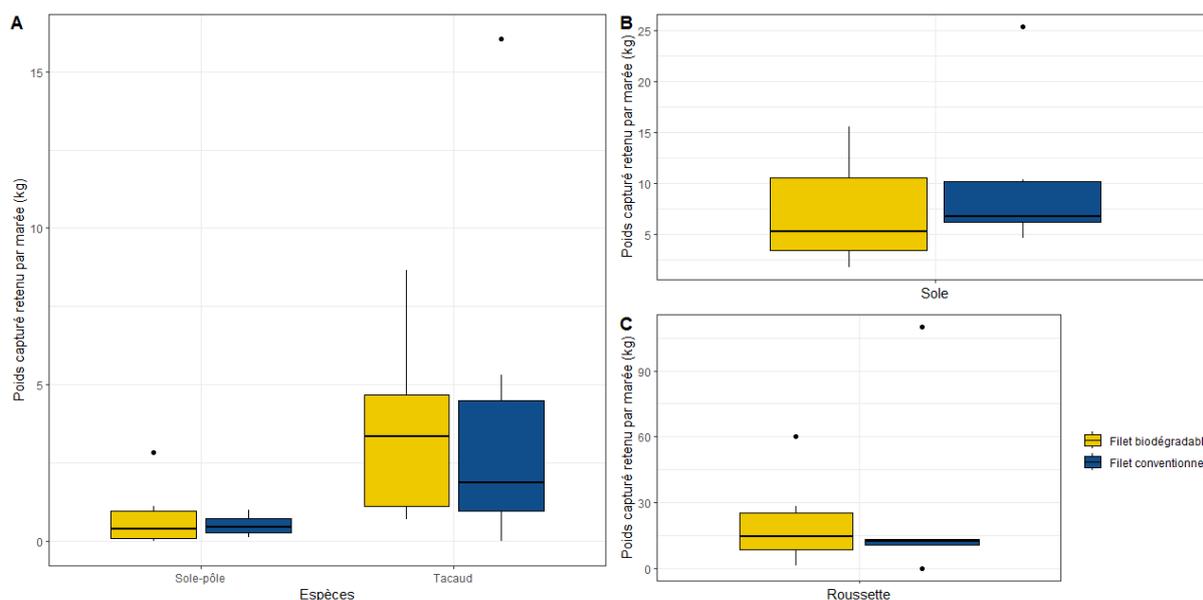


Figure 14 : Poids capturés mesurés pour les espèces ayant été capturées au cours de 6 marées et plus ; avec différents ordres de grandeur (A), (B) et (C) pour le filet test biodégradable blanc (jaune) et le filet témoin conventionnel (bleu)

3.1.3.2 Partie retenue - Test du filet biodégradable vert

Le poids moyen de capture, toutes espèces confondues, estimé par le capitaine est plus important avec le filet conventionnel (45,1 kg ± 20,1) qu'avec le filet biodégradable (27,7 kg ± 17,1). L'efficacité de capture est significativement différente ($S=1$, $p=***$), avec -38 % de capture pour le filet biodégradable (FIGURE 15). Les données issues du suivi détaillé indiquent une capture retenue moyenne de 16,8 kg (±4,8) avec le filet biodégradable vert et 28,0 kg (±11,9) avec le filet conventionnel. Le nombre de marée pendant lesquelles le suivi détaillé a été réalisé (< 6) ne permet pas de comparer statistiquement les données de captures.

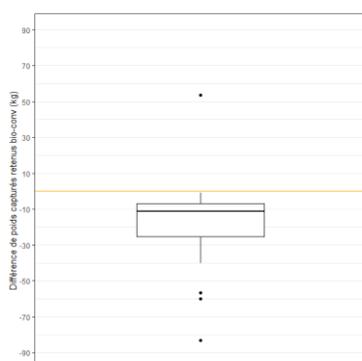


Figure 15 : Médiane et répartition des différences des poids capturés par le filet biodégradable moins ceux capturés par le filet conventionnel par marées par rapport à zéro (en orange) issues du suivi simplifié

Une différence significative de poids moyens capturés est observée pour 6 espèces : la limande ($t = 8.74$), la plie ($t = -3.34$), la roussette ($V = 27.5$), la sole ($S = 0$), la sole-pôle ($S = 0$) et le tacaud ($t = -4.16$) (FIGURE 16). Les tests de significativité de différence de poids moyens capturés ne sont pas effectués pour le bar, la barbue, le homard, la limande sole, le merlan, le rouget barbet, la seiche et la vive, (ANNEXE 7). Pour la sole, qui est l'espèce cible, l'efficacité de capture du filet biodégradable est moins importante de 50 %.

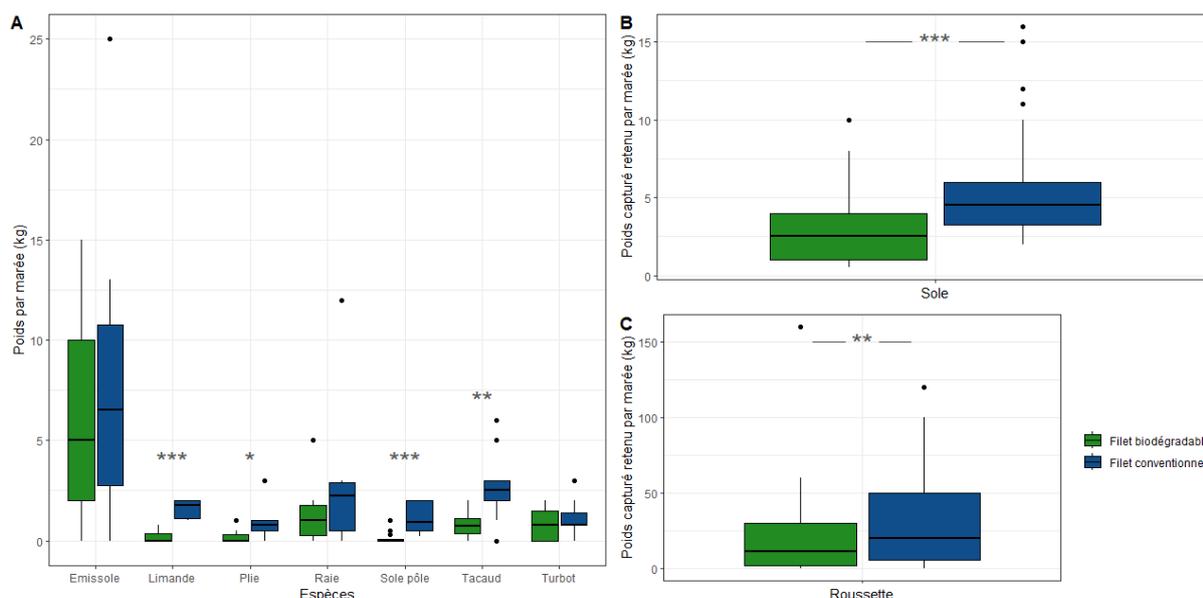


Figure 16 : Poids capturés estimés pour les espèces ayant été capturées au cours de 6 marées et plus ; avec différents ordres de grandeur de capture (A), (B) et (C) pour le filet test biodégradable vert (vert) et le filet témoin conventionnel (bleu)

3.1.3.3 Partie non retenue – Test du filet biodégradable blanc

Les estimations de poids de la partie non retenue n'étant effectuées que sur l'espèce cible pour le suivi simplifié, seuls les rejets de sole sont analysés. Ils représentent 8,2 % ($\pm 9,0$) et 7,3 % ($\pm 8,3$) de la capture de sole avec le filet biodégradable et le filet conventionnel respectivement. Les pourcentages de rejet ne présentent pas de différence significative pour le test du filet biodégradable blanc ($V=360$, $p=0.16$).

Le suivi détaillé précise le rejet pour l'ensemble de la capture. Pour le test du filet biodégradable blanc, 52,5 % ($\pm 20,1$) du poids capturé est en moyenne rejeté avec le filet biodégradable et 55,2 % ($\pm 19,3$) avec le filet conventionnel. Les pourcentages de rejet des deux types de filet ne présentent pas de différence significative ($t = -0.73$, $p = 0.49$). Pour la sole, les pourcentages moyens de rejet sont de 7,8 % ($\pm 3,6$) avec le filet biodégradable et de 10,4 % ($\pm 4,3$) avec le filet conventionnel. Tout comme lors du suivi simplifié, les pourcentages de rejet de sole ne présentent pas de différence significative ($t = -1.36$, $p = 0.22$).

3.1.3.4 Partie non retenue – Test du filet biodégradable vert

Les estimations de poids de la partie non retenue n'étant effectuées que sur l'espèce cible pour le suivi simplifié, seuls les rejets de sole sont analysés. Ils représentent en moyenne 10,5 % ($\pm 13,7$) de la capture de sole du filet biodégradable et 8,7 % ($\pm 8,4$) de la capture de sole du filet conventionnel. Le pourcentage de rejet du filet biodégradable ne présente pas de différence significative avec celui du filet conventionnel ($V=74$, $p=0.44$).

Le suivi détaillé précise le rejet pour l'ensemble de la capture avec 35,4 % ($\pm 19,7$) du poids capturé rejeté pour le filet biodégradable et 40 % ($\pm 20,8$) pour le filet conventionnel. Concernant l'espèce cible, les rejets représentent 3,4 % ($\pm 0,5$) de la capture de sole du filet biodégradable et 6,0 % ($\pm 8,5$) de la capture de sole du filet conventionnel. Le nombre de marées ne permet pas d'analyses statistiques.

3.1.3.5 Evolution de la capture au cours de la campagne

Les poids capturés sont très variables d'une marée à une autre, comme le montre la dispersion des poids autour des courbes de régression pour le test du filet biodégradable blanc (FIGURE 17 A, FIGURE 17 B) et pour celui du filet biodégradable vert (FIGURE 18 A, FIGURE 18 B). Les différences de poids capturés retenus toutes espèces et de poids capturés retenus de sole au cours de la campagne semblent stables, malgré une augmentation de l'écart entre les courbes de régression entre les marées 20 à 30. Cette tendance se retrouve pour le test du filet biodégradable blanc ainsi que pour le test du filet biodégradable vert.

L'évolution au cours des marées montre que le pourcentage de rejet ne connaît pas de variation importante avec une fluctuation sans tendance à la diminution ou à l'augmentation nette pour le test de filet biodégradable blanc (FIGURE 17 C). Pour le test de filet biodégradable vert, une augmentation de la différence de pourcentage de rejet est observée lors des trois dernières marées entre le filet biodégradable et le filet conventionnel (FIGURE 18 C).

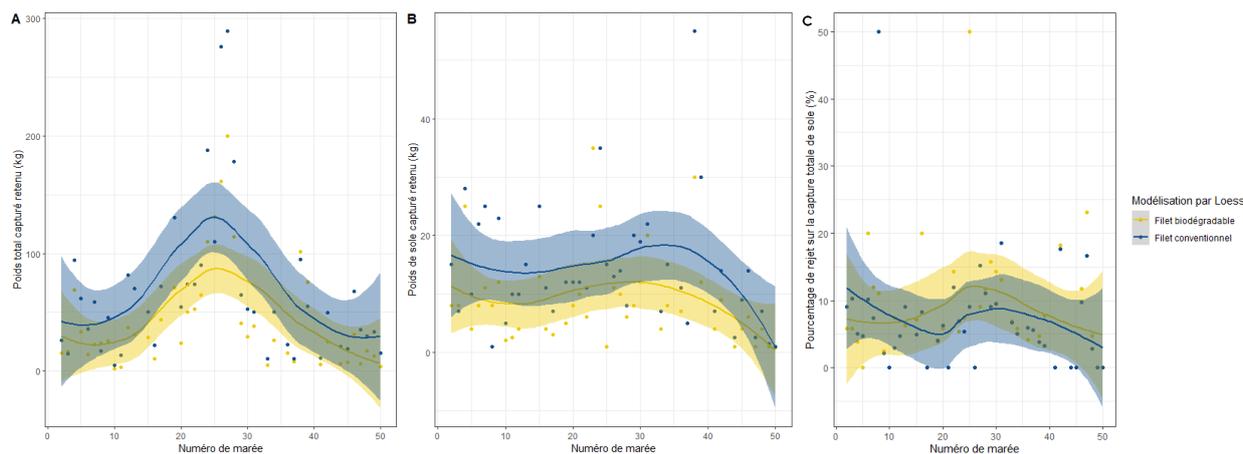


Figure 17 : Evolutions du poids retenu toutes espèces (A), du poids retenu de sole (B) et du taux de rejet de sole (C) issus du suivi simplifié au cours de la campagne de test du filet biodégradable blanc (points), lissées par une régression non paramétrique loess ($\alpha = 0,75$, $se = 0,95\%$)

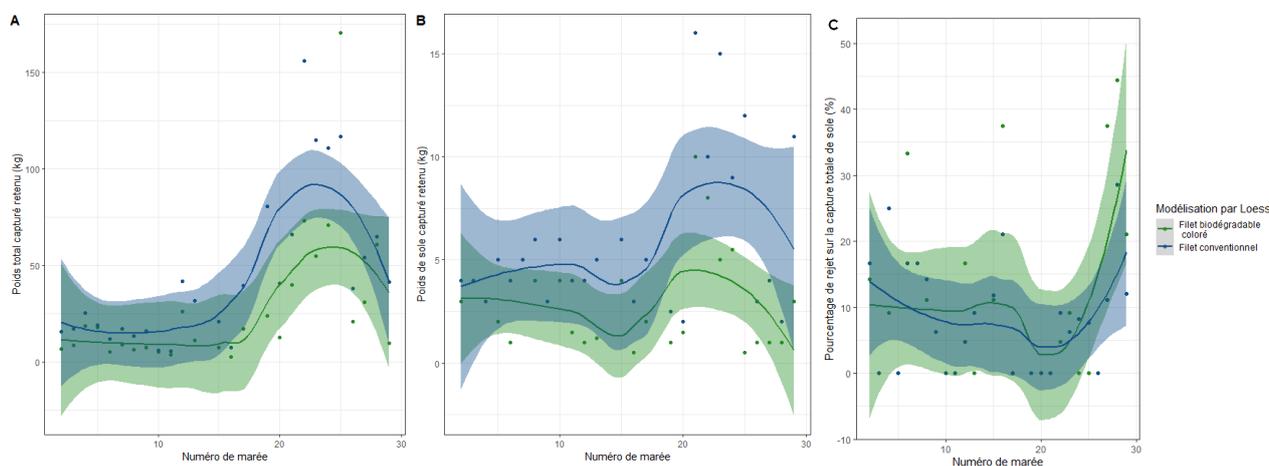


Figure 18 : Evolutions du poids retenu toutes espèces (A), du poids retenu de sole (B) et du taux de rejet de sole (C) issus du suivi simplifié au cours de la campagne de test du filet biodégradable vert (points), lissées par une régression non paramétrique loess ($\alpha = 0,75$, $se = 0,95\%$)

3.1.3.6 Taille des individus de l'espèce cible : la sole – Test du filet biodégradable blanc

Pour l'ensemble des 7 marées réalisées, un total de 260 soles mesurant en moyenne 28,2 cm ($\pm 3,3$) est capturé par le filet biodégradable, avec 213 soles capturées retenues (> 25 cm taille minimale réglementaire) mesurant en moyenne 29,1 cm ($\pm 2,6$). Pour le filet conventionnel, 355 soles mesurant en moyenne 27,2 cm ($\pm 2,9$) sont capturées par le filet biodégradable dont 278 capturées retenues avec une taille moyenne de 28,2 cm ($\pm 2,3$). Il n'y a pas de différence de taille moyenne de sole sur la capture totale entre les deux types de filet ($t = 2.36$, $p = 0,06$). En revanche, pour la partie retenue, les soles sont en moyennes significativement plus grandes lorsqu'elles sont capturées avec le filet biodégradable ($t = 2.88$, $p = *$) (FIGURE 19).

La distribution de la taille des soles pour la capture totale n'est pas significativement différente entre les deux types de filet ($V = 0.45$, $p = 0.21$) (FIGURE 20).

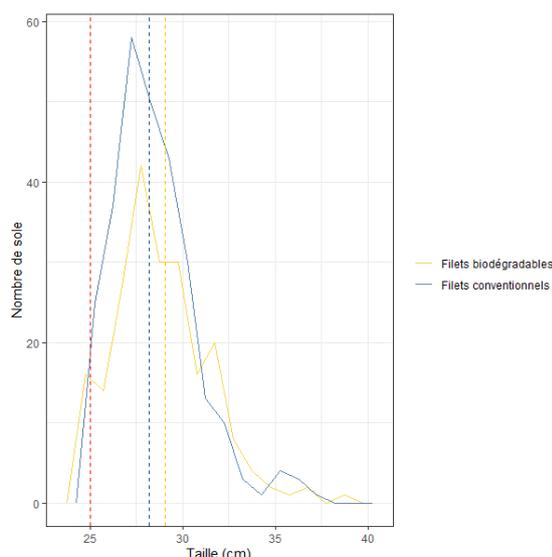


Figure 19 : Distribution de la taille des soles retenues issues du suivi détaillé sur l'ensemble des marées en nombre de sole par classe de taille de 1 cm (traits pleins) avec en pointillé la taille minimale de capture (rouge) et la moyenne de la taille pour le filet biodégradable (en jaune) et le filet conventionnel (en bleu)

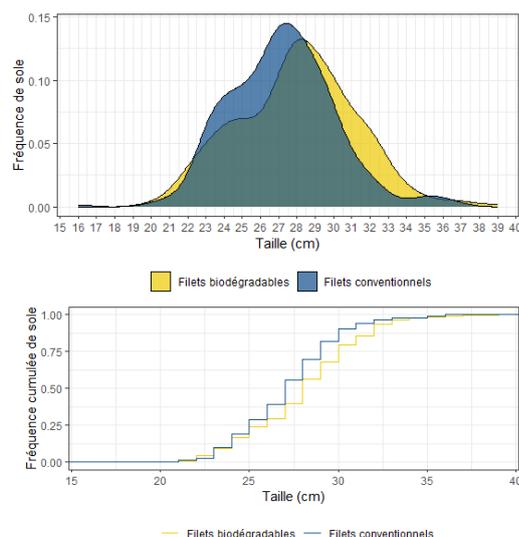


Figure 20 : Distribution de la taille des soles issues du suivi détaillé sur l'ensemble des marées en fréquence (en haut) et en fréquence cumulée (en bas) par classe de taille de 1 cm pour le filet biodégradable (en jaune) et le filet conventionnel (en bleu)

3.1.3.1 Taille des individus de l'espèce cible : la sole – Test du filet biodégradable vert

Sur les 3 marées réalisées, la sole est capturée au cours de 2 marées avec un total de 29 soles mesurant en moyenne 28,5 cm ($\pm 2,3$) capturées par le filet biodégradable dont 27 soles capturées retenues (> 25 cm taille minimale réglementaire) mesurant en moyenne 28,8 cm ($\pm 2,1$). Pour le filet conventionnel, 45 soles mesurant en moyenne 27,7 cm ($\pm 2,9$) sont capturées par le filet biodégradable dont 40 capturées retenues avec une taille moyenne de 28,2 cm ($\pm 2,6$). Le nombre de marée ne permet pas d'analyses statistiques.

3.2 Campagne 2 – Le Tréport 2022

3.2.1 Matériel d'essai

Pour la campagne 2, le prototype 4 est expérimenté (premier trémail multi-monofilament). Les nappes intérieures des filets biodégradables et conventionnels ne présentent pas de différence de taille de maille avec une taille moyenne de 96 mm ($\pm 1,2$) et 95,9 mm ($\pm 3,7$) respectivement ($t=0.09$, $p=0.9$).

3.2.2 Intégrité des filets

Il est estimé par le pêcheur que sur l'ensemble de la saison, le filet biodégradable et le filet conventionnel perdent en moyenne 1,0 % d'intégrité par marées. Le type de filet n'a pas d'influence significative sur la perte d'intégrité au cours du temps (FIGURE 21, $F=1.47$, $p=0.23$).

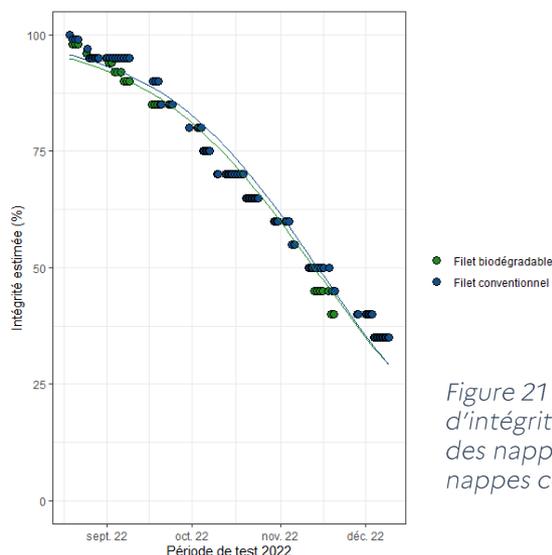


Figure 21 : Modélisation (lignes) de la baisse d'intégrité estimée dans le suivi simplifié (points) des nappes biodégradables (en vert) et des nappes conventionnelles (en bleu)

3.2.3 Efficacités de capture

Sur les 68 marées sans observateur, 18 espèces sont identifiées dans les captures d'au moins 1 marée. Lors du suivi observateur sur 6 marées, 27 espèces sont enregistrés dans les captures. Sur l'ensemble de la saison, les captures sont présentées en ANNEXE 8 et en ANNEXE 9 pour le suivi simplifié et le suivi détaillé respectivement.

3.2.3.1 Partie retenue

Le poids moyen de capture, toutes espèces confondues, estimé par le capitaine est plus important avec le filet conventionnel ($38,9 \text{ kg} \pm 12,5$) qu'avec le filet biodégradable ($35,3 \text{ kg} \pm 14,2$). L'efficacité de capture est significativement différente ($V=360$, $p=**$), avec -9,4 % de capture pour le filet biodégradable. Le poids moyen de capture mesuré par l'observateur embarqué n'est pas différent entre le filet conventionnel ($44,7 \text{ kg} \pm 10,0$) et le filet biodégradable ($44,3 \text{ kg} \pm 10,9$) ($V=10$, $p=1$) (FIGURE 22).

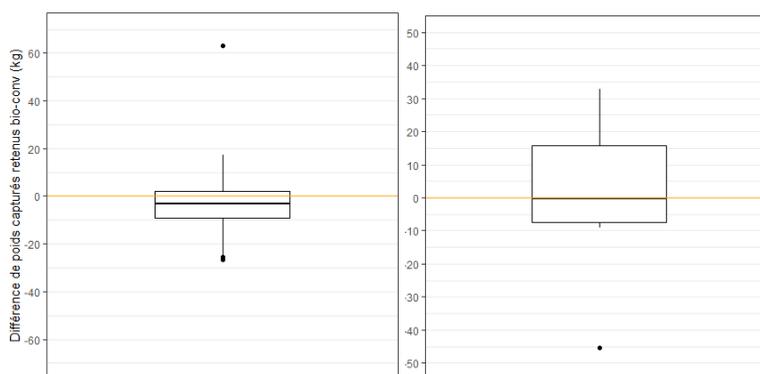


Figure 22 : Médiane et répartition des différences des poids capturés par le filet biodégradable moins ceux capturés par le filet conventionnel par marées par rapport à zéro (en orange) issues du suivi simplifié (à gauche) et du suivi détaillé (à droite)

Lors du suivi simplifié, une différence significative de poids moyens capturés est observée pour 3 espèces : l'émissolle ($V=177$), la plie ($t=-3.66$) et la rousette ($V=261$) (FIGURE 23). Les tests de significativité de différence de poids moyens capturés ne sont pas effectués pour 12 espèces sur les 18 capturées (ANNEXE 10). Pour la sole, l'efficacité de capture n'est pas différente entre le filet biodégradable et le filet conventionnel.

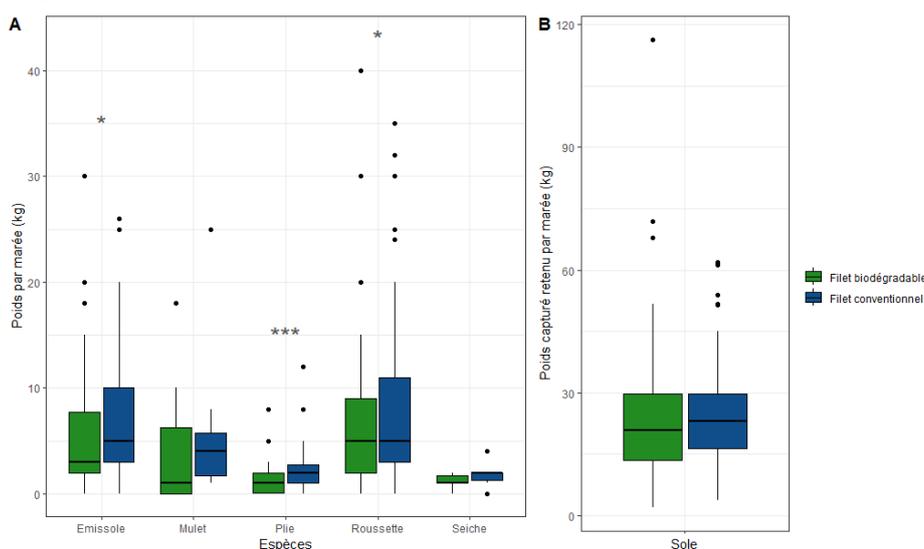


Figure 23 : Poids capturés estimés pour les espèces ayant été capturées au cours de 6 marées et plus ; avec différents ordres de grandeur de capture (A) et (B) pour le filet test biodégradable blanc (jaune) et le filet témoin conventionnel (bleu)

Pour le suivi détaillé, l'efficacité de capture n'a pu être analysée statistiquement que pour 2 espèces sur les 27 espèces capturées en partie retenue (ANNEXE 11). Les poids de captures du filet biodégradable et conventionnel ne montrent pas de différence significative d'efficacité de capture pour la sole ($t=0.12$, $p=0.91$) et la plie ($t=-2,17$, $p=0.08$) (FIGURE 24).

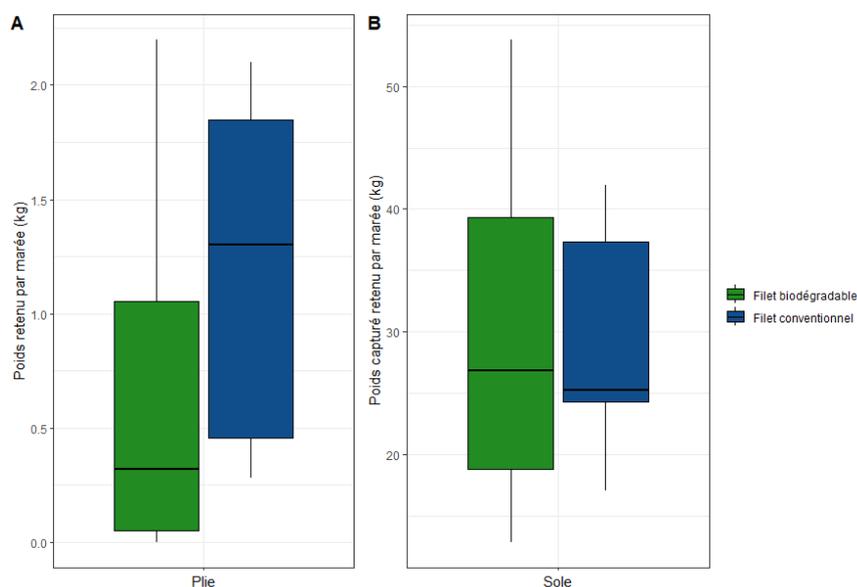


Figure 24 : Poids capturés mesurés pour les espèces ayant été capturées au cours de 6 marées et plus ; avec différents ordres de grandeur (A) et (B) pour le filet test biodégradable (vert) et le filet témoin conventionnel (bleu)

3.2.3.2 Partie non retenue

Lors du suivi simplifié, les rejets de sole représentent 1,1 % ($\pm 2,5$) et 0,9 % ($\pm 2,3$) de la capture de sole avec le filet biodégradable et le filet conventionnel respectivement. Le pourcentage de rejet ne présente pas de différence significative ($V=318$, $p = 0.32$).

Le suivi détaillé précise le rejet pour l'ensemble de la capture avec 9,6 % ($\pm 8,7$) du poids capturé en moyenne rejeté avec le filet biodégradable et 12,5 % ($\pm 12,9$) avec le filet conventionnel. Les pourcentages de rejet des deux types de filet ne présentent pas de différence significative ($V=5$, $p = 0.31$). Pour la sole, les pourcentages moyens de rejet sont de 1,0 % ($\pm 1,9$) avec le filet biodégradable et de 1,7 % ($\pm 3,1$) avec le filet conventionnel. Tout comme lors du suivi simplifié, les pourcentages de rejet de sole ne présentent pas de différence significative ($S=0$, $p = 0.13$).

3.2.3.3 Evolution de la capture au cours de la campagne

Les poids capturés sont très variables d'une marée à une autre, entre 10 et 75 kg. Les différences de poids capturés retenus toutes espèces et de poids capturés retenus de sole au cours de la campagne semblent stables, les deux courbes de régression montrent la même tendance pour le filet biodégradable et le filet conventionnel (FIGURE 25A, FIGURE 25B).

L'évolution au cours des marées montre que la différence de pourcentage de rejet ne connaît pas de variation importante avec une fluctuation sans tendance à la diminution ou à l'augmentation nette (FIGURE 25C).

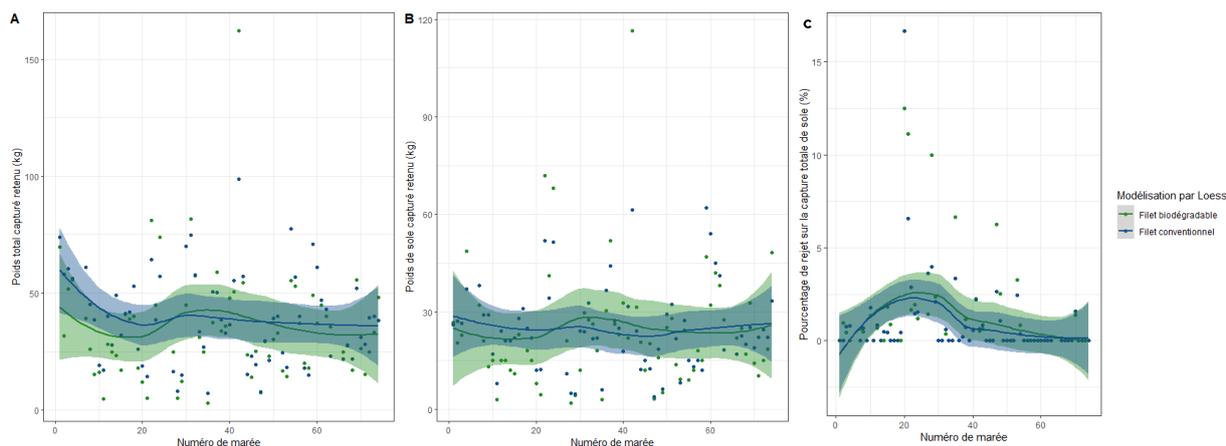


Figure 25 : Evolutions du poids retenu toutes espèces (A), du poids retenu de sole (B) et du taux de rejet de sole (C) issus du suivi simplifié au cours de la campagne de test du filet biodégradable (points), lissées par une régression non paramétrique loess ($\alpha = 0,75$, $se = 0,95\%$)

3.2.3.4 Taille des individus de l'espèce cible : la sole

Pour l'ensemble des 6 marées réalisées, un total de 486 soles mesurant en moyenne 30,6 cm ($\pm 3,7$) est capturé par le filet biodégradable, avec 463 soles capturées retenues (> 24 cm taille minimale réglementaire) mesurant en moyenne 31,0 cm ($\pm 3,7$). Pour le filet conventionnel, 580 soles mesurant en moyenne 30,8 cm ($\pm 3,7$) sont capturées par le filet biodégradable dont 560 capturées retenues avec une taille moyenne de 31,1 cm ($\pm 3,4$). Il n'y a pas de différence de taille moyenne de sole sur la capture totale ($t=0.60$, $p = 0.57$) ni sur la partie retenue de sole ($t = 0.32$, $p = 0.76$) entre les deux types de filet (FIGURE 26).

La distribution de la taille des soles pour la capture totale n'est pas significativement différente entre les deux types de filet ($V=0.29$, $p = 0.77$) (FIGURE 27).

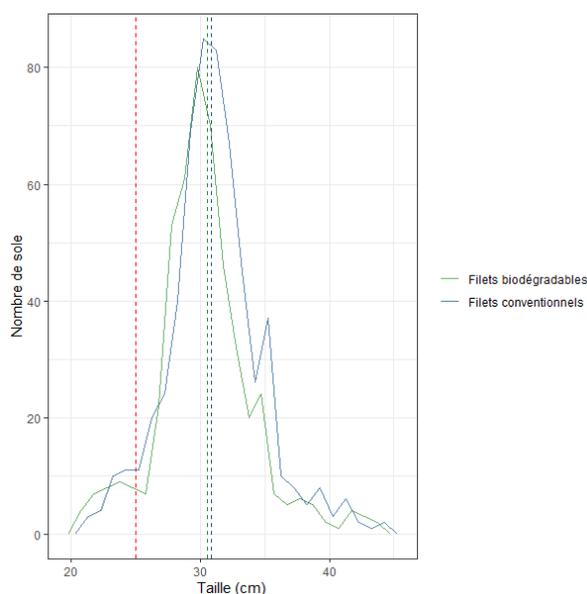


Figure 26 : Distribution de la taille des soles issues du suivi détaillé sur l'ensemble des marées en nombre de sole par classe de taille de 1 cm (traits pleins) avec en pointillé la taille minimale de capture (rouge) et la moyenne de la taille pour le filet biodégradable (en vert) et le filet conventionnel (en bleu)

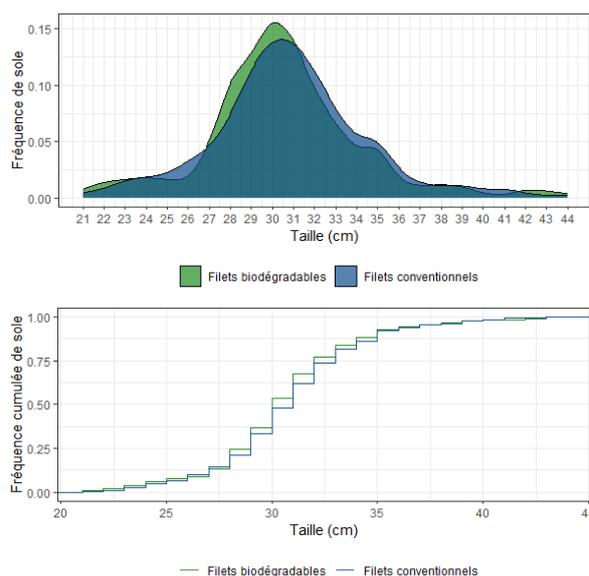


Figure 27 : Distribution de la taille des soles issues du suivi détaillé sur l'ensemble des marées en fréquence (en haut) et en fréquence cumulée (en bas) par classe de taille de 1 cm pour le filet biodégradable (vert) et le filet conventionnel (en bleu)

3.3 Campagne 3 – Boulogne-sur-Mer 2022

3.3.1 Matériel d'essai

Pour la campagne 3, le prototype 3 est expérimenté (trémail monofilament). Les nappes intérieures des filets biodégradables et conventionnels présentent une différence de taille de maille avec une taille moyenne de 89,8 mm ($\pm 1,1$) et 91,8 mm ($\pm 1,0$) respectivement ($W = 6.5$, $p = **$).

3.3.2 Intégrité des filets

Il est estimé par le pêcheur que les filets biodégradables perdent en moyenne 1,3 % d'intégrité par marée et les filets conventionnels 1,1 %. La perte d'intégrité estimée au cours du temps n'est pas significativement différente en fonction du type de filet (FIGURE 28, $F = 1.08$, $p = 0.30$).

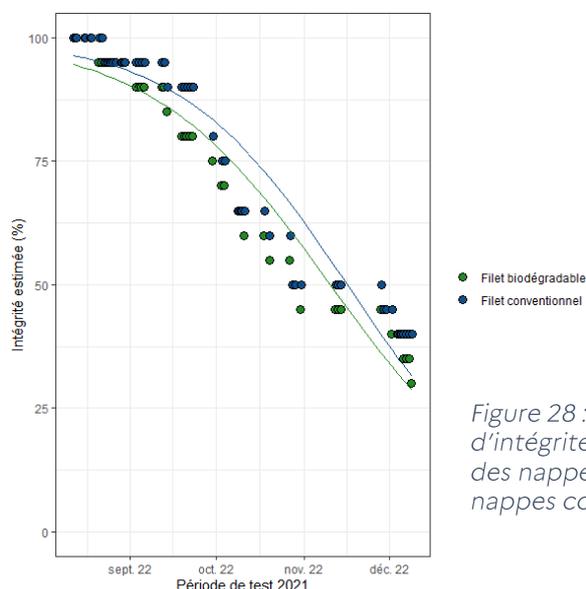


Figure 28 : Modélisation (lignes) de la baisse d'intégrité estimée dans le suivi simplifié (points) des nappes biodégradables (en vert) et des nappes conventionnelles (en bleu)

3.3.3 Efficacités de capture

Sur les 53 marées sans observateur, 25 espèces sont identifiées dans les captures d'au moins 1 marée. Le suivi observateur n'est pas décrit ni analysé, le nombre de marées durant lequel celui-ci a eu lieu n'étant pas assez important (3 marées). Sur l'ensemble de la saison, les captures sont présentées en ANNEXE 12 pour le suivi simplifié. Il est rappelé que les poids sont pesés en criée par l'équipage et ne sont pas estimés.

3.3.3.1 Partie retenue

Le poids moyen de capture, toutes espèces confondues, est similaire avec le filet conventionnel (66,6 kg \pm 27,5) et avec le filet biodégradable (64,3 kg \pm 30,4). L'efficacité de capture n'est significativement pas différente ($V = 590$, $p = 0.37$) (FIGURE 29).

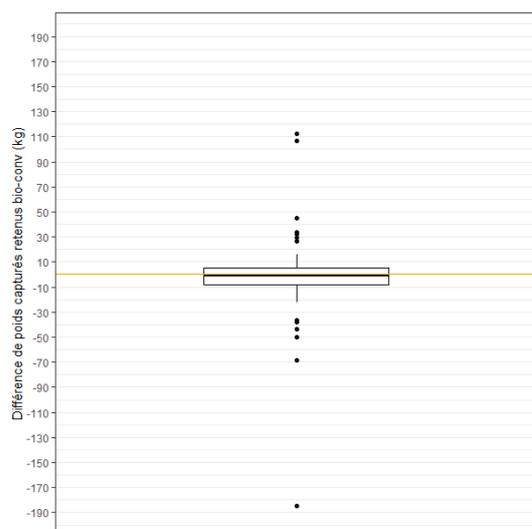


Figure 29 : Médiane et répartition des différences des poids capturés par le filet biodégradable moins ceux capturés par le filet conventionnel par marées par rapport à zéro (en orange)

Une différence significative de poids moyens capturés est observée pour 2 espèces : le homard ($t = -3.35$) et la sole ($V = 360$) (FIGURE 30). Les tests de significativité de différence de poids moyens capturés ne sont pas effectués pour le conge, le flet, le grondin rouge et la morue, ce qui représente 4 espèces sur 25 (ANNEXE 13). Pour la sole, qui est l'espèce cible, l'efficacité de capture du filet biodégradable est significativement moins importante de 17 %.

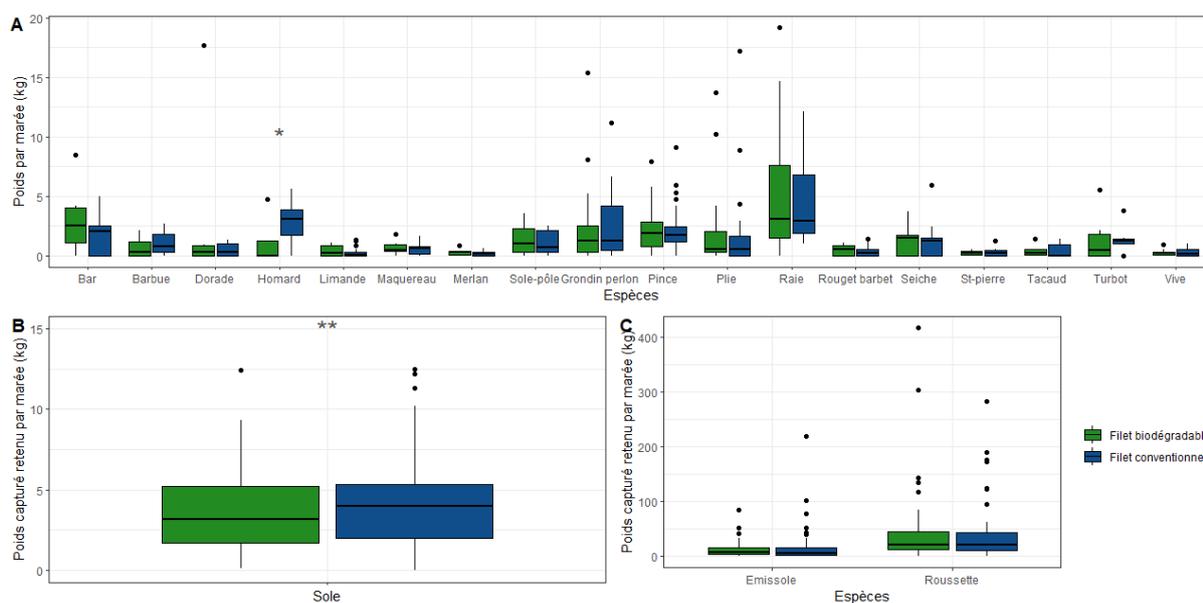


Figure 30 : Poids capturés pesés pour les espèces ayant été capturées au cours de 6 marées et plus ; avec différents ordres de grandeur de capture (A), (B) et (C) pour le filet test biodégradable (vert) et le filet témoin conventionnel (bleu)

3.3.3.2 Partie non retenue

Les rejets de sole représentent 7,8 % ($\pm 16,8$) et 5,6 % ($\pm 8,6$) de la capture de sole avec le filet biodégradable et le filet conventionnel respectivement. Le pourcentage de rejet ne présente pas de différence significative ($V = 336$, $p = 0.74$) entre les deux types de filet.

3.3.3.3 Evolution de la capture au cours de la campagne

Les poids capturés sont très variables d'une marée à une autre, compris majoritairement entre 10 et 150 kg. La différence de poids capturés retenus toutes espèces entre le filet biodégradable et le filet conventionnel est stable au cours de la campagne. Pour la sole, cette différence semble varier entre les 15 premières marées et le reste des marées. Les deux courbes de régression montrent tout de même une tendance similaire pour le filet biodégradable et le filet conventionnel (FIGURE 31A, FIGURE 31B).

L'évolution au cours des marées montre que la différence de pourcentage de rejet semble connaître également une variation au cours des 15 premières marées, puis une fluctuation sans tendance à la diminution ou à l'augmentation nette (FIGURE 31C).

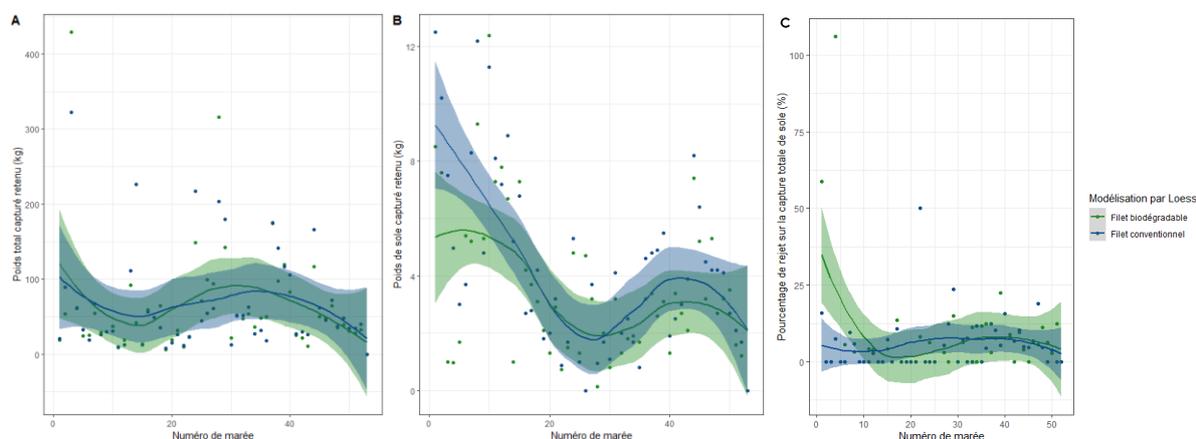


Figure 31 : Evolutions du poids retenu toutes espèces (A), du poids retenu de sole (B) et du taux de rejet de sole (C) issus du suivi du pêcheur au cours de la campagne de test du filet biodégradable (points verts) et du filet conventionnel (points bleus), lissées par une régression non paramétrique loess ($\alpha = 0,75$, $se = 0,95\%$)

3.4 Campagne 4 – Fécamp 2023

3.4.1 Matériel d'essai

Pour la campagne 4, le prototype 4 est expérimenté (premier trémail multi-monofilament). Les nappes intérieures des filets biodégradables et conventionnels présentent une différence significative de taille de maille avec une taille moyenne de 102,2 mm ($\pm 0,8$) et 97,7 mm ($\pm 1,5$) respectivement ($W = 81$, $p\text{-value} = ***$).

3.4.2 Intégrité des filets

Il est estimé par le pêcheur que sur l'ensemble de la saison, l'intégrité moyenne des filets présente est strictement identique avec 1,2% de baisse d'intégrité par marée. La perte d'intégrité estimée est donc la même pour les deux types de filets (FIGURE 32).

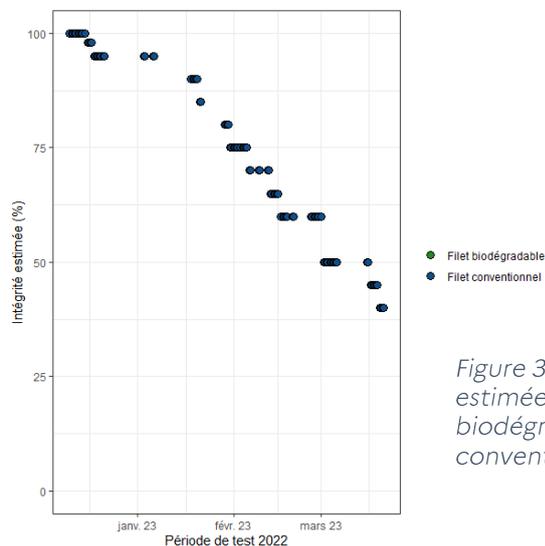


Figure 32 : Représentation de la baisse d'intégrité estimée dans le suivi simplifié (points) des nappes biodégradables (en vert) et des nappes conventionnelles (en bleu)

3.4.3 Efficacités de capture

Sur les 51 marées effectuées, 14 espèces sont identifiées dans les captures d'au moins 1 marée par le capitaine du navire. Sur l'ensemble de la saison, les captures sont présentées en ANNEXE 14.

3.4.3.1 Partie retenue

Le poids moyen de capture, toutes espèces confondues, est estimé à 24,6 kg ± 14.2 pour le filet biodégradable et à 46.5 kg ± 28.7 pour le filet conventionnel. L'efficacité de capture est significativement différente ($S = 0$, $p = ***$) avec -47.05 % de capture pour le filet biodégradable par rapport au filet conventionnel (FIGURE 33).

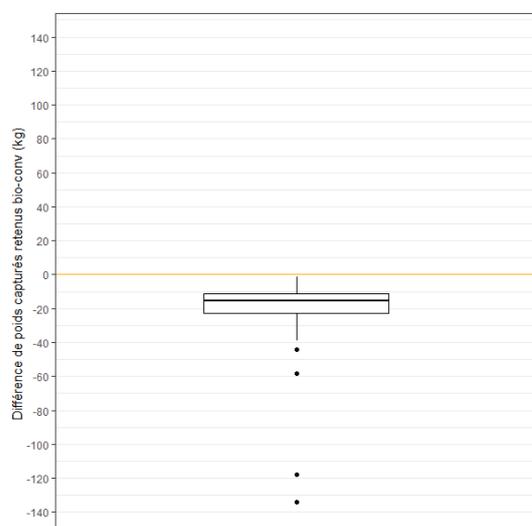


Figure 33 : Médiane et répartition des différences des poids capturés par le filet biodégradable moins ceux capturés par le filet conventionnel par marées par rapport à zéro (en orange)

Les tests de significativité de différence de poids moyens capturés ne sont pas effectués pour la barbue, l'émissole, le flet, le grondin perlou, le maquereau, le merlan, la raie et le turbot (ANNEXE 15). Une différence significative de poids moyens capturés est observée pour 4 espèces : la plie ($t = -5,15$), la roussette ($S=4$), la sole ($S=1$) et la sole-pôle ($t = -2,63$) (FIGURE 34). Pour la sole, qui est l'espèce cible, l'efficacité de capture du filet biodégradable est significativement moins importante de 47 %.

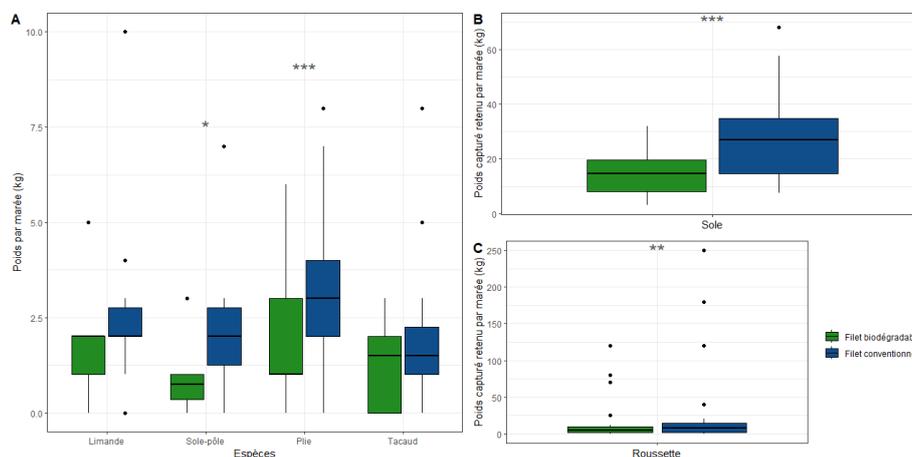


Figure 34 : Poids capturés estimés pour les espèces ayant été capturées au cours de 6 marées et plus ; avec différents ordres de grandeur de capture (A), (B) et (C) pour le filet biodégradable (vert) et le filet témoin conventionnel (bleu)

3.4.3.2 Partie non retenue

Les rejets de sole représentent 0,9 % ($\pm 2,1$) et 0,5 % ($\pm 1,4$) de la capture de sole avec le filet biodégradable et le filet conventionnel respectivement. Le pourcentage de rejet présente une différence significative ($V = 121$, $p = **$), il est plus important avec le filet biodégradable qu'avec le filet conventionnel.

3.4.3.3 Evolution de la capture au cours de la campagne

Les poids capturés varient majoritairement entre 5 et 100 kg d'une marée à une autre. La différence de poids capturés retenus toutes espèces entre le filet biodégradable et le filet conventionnel semble varier pour les marées 30 à 45 par rapport aux autres marées de la campagne. Pour la sole, cette différence paraît constante. Les deux courbes de régression montrent une tendance assez similaire entre les deux types de filet (FIGURE 35A, FIGURE 35B).

L'évolution au cours des marées montre que la différence de pourcentage de rejet semble connaître une augmentation pour les marées 30 à 51 par rapport aux autres marées. La fluctuation du pourcentage de rejet semble suivre la même tendance pour les deux types de filet (FIGURE 35C).

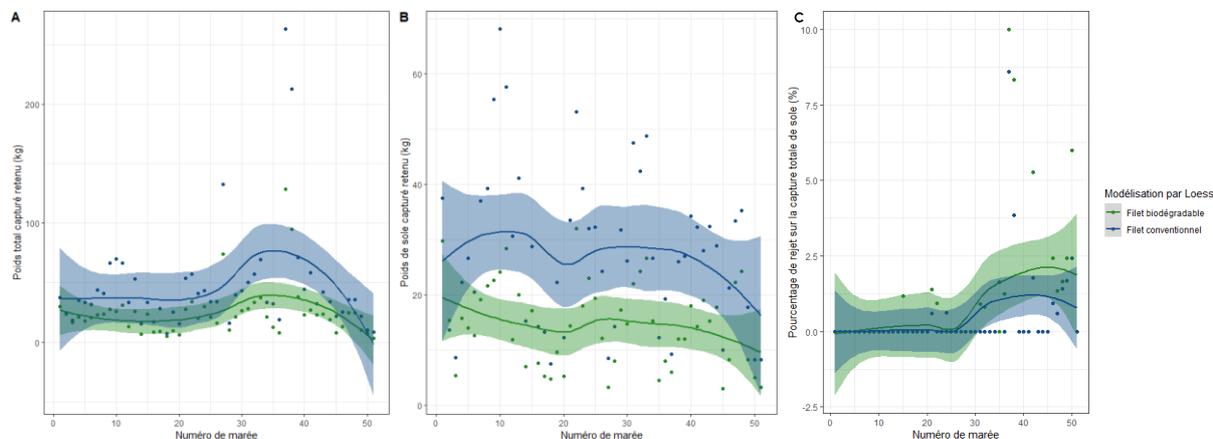


Figure 35 : Evolutions du poids retenu toutes espèces (A), du poids retenu de sole (B) et du taux de rejet de sole (C) issus du suivi du pêcheur au cours de la campagne de test du filet biodégradable (points verts) et du filet conventionnel (points bleus), lissées par une régression non paramétrique loess ($\alpha = 0,75$, $se = 0,95\%$)

4. Discussion et conclusion

Amélioration des prototypes

Les tests du tout premier prototype FIBIO en 2020 avaient permis d'identifier des marges de progression sur la phase de fabrication avec des tailles de mailles plus importantes et un sens inversé du tissage des mailles (Rapport du suivi des essais en mer juin-novembre 2020). La différence de couleur avait été aussi mise en avant par le pêcheur pour expliquer les écarts de pêchabilité de - 45 % en moyenne pour la capture commercialisée et -33 % pour la sole. La comparaison statistique des prototypes en termes de pêchabilité et de perte d'intégrité par une standardisation des données n'est pas explorée dans ce rapport mais une tendance à l'amélioration est notée en corrélation avec l'amélioration des processus de fabrication et des propriétés de la matière.

La campagne de 2021 montre une efficacité de capture moins importante pour les filets biodégradables de - 36 % sur la capture commercialisée et -37 % sur la sole. Lors des campagnes de 2022, une différence moins importante d'efficacité de pêche est observée. En effet, les différences sont encore présentes uniquement sur certaines modalités de la capture. Pour la capture commercialisée, il est observé un maximum de -9,4 % de kg de différence pour Le Tréport. A Boulogne-sur-Mer, c'est la capture de la sole qui présente une différence de -17 % avec l'utilisation des filets biodégradables. En revanche, les résultats de la campagne 4 mettent en évidence - 47.05 % d'efficacité de pêche en moyenne sur la capture commercialisée et - 47 % d'efficacité de pêche pour la sole, le prototype biodégradable étant pourtant le même que celui déployé pour la campagne 2 en termes de type de filet et de matière. Grimaldo et al., (2020) et Bae et al., (2012) présentent des résultats plus proches des campagnes 1 et 4, avec une efficacité de capture moins importante pour les filets biodégradables avec une réduction de 50 à 22,5 % selon les espèces et l'expérimentation et de 31.3 % d'efficacité sur toute la capture respectivement ; tandis que Kim et al., (2016) présente des résultats plus proches des campagnes 2 et 3, avec une efficacité de capture similaire de *Larimichthys polyactis*. L'ensemble de la capture n'a pu être recensée et ne permet pas ici d'appliquer la méthodologie décrite par Cerbule et al., (2022), qui identifie l'ensemble des différences de capture entre deux techniques de pêche et permet ainsi d'en évaluer l'impact écologique.

Influence des propriétés de la matière biodégradable sur la capture

Comme le montre He (2006), la taille des mailles est un paramètre important du design du filet dans l'efficacité de capture. Lors de ces tests, aucune différence de taille de maille n'est observée avant la mise à l'eau. Le suivi de la taille des mailles au cours de l'expérimentation n'étant pas exploitable, il est possible qu'une différence de taille des mailles au cours des marées apparaisse entre le filet biodégradable et le filet conventionnel. Les soles capturées lors de la campagne 1 étant en moyennes plus grandes. La moins bonne efficacité de capture des filets biodégradables lors de cette campagne pourrait être dû à une potentielle différence de taille de maille. La couleur et transparence du fil pourrait également avoir des conséquences sur l'efficacité de capture, paramètre important selon Balik and Çubuk (2000) pour des espèces d'eau douce avec une différence selon l'espèce. Cette meilleure efficacité de pêche avec une couleur différente est dû à la visibilité du filet par les espèces ciblées, ce qui est également valable pour les autres engins de pêche (Herrmann et al., 2017) et pour des espèces subissant des captures accidentelles tels que les oiseaux marins (Hanamseth et al., 2018). L'opacité plus importante du filament conventionnel lors de cette expérimentation peut être alors un des paramètres expliquant ces résultats. Malgré un nombre important de paramètres rentrant en compte dans l'efficacité de capture, d'autres études soulignent un effet matière important dans des essais de pêche avec des filets en bioplastiques qui présentent une plus faible résistance et une élasticité moindre (Kim et al., 2016 ; Grimaldo et al., 2018 ; Grimaldo et al., 2019).

La perte d'intégrité des filets biodégradables, estimateur de la résistance des filets par le pêcheur, bien que différente de celle des filets conventionnels pour le prototype 1 de 2020 n'était pas un point bloquant. Ce paramètre ne s'est pas détérioré entre les deux premiers prototypes. Pour les campagnes 2, 3 et 4, cette résistance estimée des filets biodégradables est similaire à celle des filets conventionnels. Les mesures en laboratoire de la résistance des filaments avant utilisation en mer (détaillées dans le Rapport de fabrication 2022) montrent une différence de résistance importante entre les filaments conventionnels et biodégradables importante et également entre les filets noués. Bae et al (2013) et Grimaldo et al (2020) observent également une différence et relient ces plus faibles performances mécaniques aux plus faibles performances de pêche. Cette hypothèse pourrait expliquer les plus faibles capacités de capture lors de la campagne 4. Le Rapport de fin de vie indique en effet des performances moins importantes pour le filet utilisé lors de la campagne 4 par rapport à celui de la campagne 2, le filet de la campagne 4 étant le premier à avoir été fabriqué.

Les propriétés de souplesse du filet n'ont pas été mesurées dans le protocole de test des propriétés mécaniques, mais de par la manipulation des filets et les connaissances empiriques des professionnels de pêche, la souplesse des filets biodégradables semble être inférieure. Une mer agitée (état de la mer > 4) est deux fois plus souvent rencontrée lors des sorties lors de la campagne 4 par rapport à la campagne 2 avec des vents plus forts (1,7 fois plus souvent supérieurs à 4.5). La campagne 4 étant une campagne similaire à la campagne 2 (même navire et zones de pêche similaires) excepté pour la saison, les conditions en mer pourraient également être un facteur influant des différences d'efficacité de pêche comme l'avance Bae et al, 2012. La hauteur des vagues, lié à l'état de la mer, pourrait rendre le filet biodégradable plus perceptible, ce dernier étant moins souple. Une analyse statistique prenant en compte ce paramètre ainsi que de l'état de la mer n'a pas pu être effectuée mais serait pertinente pour conclure sur l'importance de ces facteurs.

Données issues de deux protocoles

La collecte des données par le biais de deux protocoles distincts met aussi en évidence des résultats différents en fonction de la méthode de suivi. En effet, l'analyse des données issus du suivi détaillé ne montre aucune différence d'efficacité de capture entre le filet biodégradable et le filet conventionnel pour l'ensemble des campagnes. La méthode de collecte des données de poids de capture pourrait expliquer les différences entre les deux types de suivis avec une estimation pour le suivi simplifié (excepté pour la campagne 3) et une mesure pour le suivi détaillé. Les sorties en mer de l'observateur se déroule durant des marées permettant l'embarquement de personnel spécial avec donc des bonnes conditions d'état de la mer (0 à 4). Comme avancé précédemment, ce choix non aléatoire des sorties en mer pourrait conduire à une sous-estimation des différences de pêche entre les deux types de filet lors de l'analyse des résultats du suivi détaillé. Le plus faible nombre de données issues du suivi détaillé pourrait également expliquer les différences entre les résultats du suivi détaillé et simplifié. En effet la puissance des tests statistiques appliqués étant corrélée avec le nombre de données, les tests appliqués sur les données issues du suivi détaillé pourraient ne pas détecter des différences significatives (Hervé, 2016). Au vu des obligations réglementaires des capitaines des navires à avoir la capacité d'estimer de manière fiable les captures (Arrêté du 18 mars 2015 relatif aux obligations déclaratives en matière de pêche maritime) et par principe de précaution, il est choisi de se référer aux résultats des suivis simplifiés pour conclure sur ces tests. Le suivi détaillé permet néanmoins de confirmer que la capture avec les filets biodégradables s'applique à la même population de sole sans augmentation du rejet pour les campagnes 1 et 2. Il aurait été intéressant d'explorer les potentiels ratio de capture en fonction de la taille (Hermann et al, 2012) sur la campagne 4, les données issues du suivi simplifié montrant un écart important de poids avec une différence également en termes de rejets.

Cette expérimentation démontre avant tout la possibilité de fabrication et d'utilisation en conditions réelles de pêche de filets de pêche biosourcés et biodégradables. Avec une efficacité de capture tendant vers celle des filets conventionnels et une utilisation similaire en termes de temps et de manipulation, les prototypes améliorés testés lors des campagnes 2 et 3 sont très encourageants. Les autres étapes du projet TEFIBIO permettent de répondre aux autres problématiques telles que la dégradation de la matière sous certaines conditions (Rapport de fin de vie) et la viabilité économique de cette alternative aux filets conventionnels en nylon (Etude de marché).

Bibliographie

ADEME, Devauze, C., Koite, A., Chretien, A., Monier, V., 2021. Bilan National du Recyclage 2010-2019 - Évolutions du recyclage en France de différents matériaux : métaux ferreux et non ferreux, papiers-cartons, verre, plastiques, inertes du BTP et bois. ADEME.

Akhbarizadeh, R., Moore, F., Keshavarzi, B., 2019. Investigating microplastics bioaccumulation and biomagnification in seafood from the Persian Gulf: a threat to human health? *Food Additives & Contaminants: Part A* 36, 1696–1708. <https://doi.org/10.1080/19440049.2019.1649473>

Ali, S.S., Elsamahy, T., Koutra, E., Kornaros, M., El-Sheekh, M., Abdelkarim, E.A., Zhu, D., Sun, J., 2021. Degradation of conventional plastic wastes in the environment: A review on current status of knowledge and future perspectives of disposal. *Science of The Total Environment* 771, 144719. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144719>

Alimba, C.G., Faggio, C., 2019. Microplastics in the marine environment: Current trends in environmental pollution and mechanisms of toxicological profile. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 68, 61–74. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.03.001>

Aretoulaki, E., Ponis, S., Plakas, G., Agalinos, K., 2020. A systematic meta-review analysis of review papers in the marine plastic pollution literature. *Marine Pollution Bulletin* 161, 111690. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111690>

Bae, B.-S., Cho, S.-K., Park, S.-W., Kim, S.-H., 2012. Catch characteristics of the biodegradable gill net for flounder. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology* 48, 310–321.

Bae, B.-S., Lim, J.-H., Park, S.-W., Kim, S.-H., Cho, S.-K., 2013. Catch characteristics of the gill nets for flounder by the physical property of net filament in the East Sea. *Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology* 49, 95–105. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2013.49.2.095>

Balık, İ., Çubuk, H., 2000. Effect of Net Colours on Efficiency of Monofilament Gillnets for Catching Some Fish Species in Lake Beyşehir. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 1.

Bolker, B.M., Brooks, M.E., Clark, C.J., Geange, S.W., Poulsen, J.R., Stevens, M.H.H., White, J.-S.S., 2009. Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. *Trends in Ecology & Evolution* 24, 127–135. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.10.008>

Brown, J., Macfadyen, G., Huntington, T., Magnus, J., Tumilty, J., 2005. Ghost Fishing by Lost Fishing Gear. (Final Report to DG Fisheries and Maritime Affairs of the European Commission. No. Fish/2004/20). Institute for European Environmental Policy / Poseidon Aquatic Resource Management Ltd joint report.

Browne, M.A., Crump, P., Niven, S.J., Teuten, E., Tonkin, A., Galloway, T., Thompson, R., 2011. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environ Sci Technol* 45, 9175–9179. <https://doi.org/10.1021/es201811s>

Carson, H.S., Colbert, S.L., Kaylor, M.J., McDermid, K.J., 2011. Small plastic debris changes water movement and heat transfer through beach sediments. *Marine Pollution Bulletin* 62, 1708–1713. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.032>

Cerbule, K., Savina, E., Herrmann, B., Larsen, R., Feekings, J., Krag, L., Pelegrinelli, A., 2022. Quantification of catch composition in fisheries: A methodology and its application to compare biodegradable and nylon gillnets. *Journal for Nature Conservation* 70, 126298. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2022.126298>

Clark, R.B., Frid, C., Attrill, M., 2001. *Marine pollution*. Oxford university press Oxford.

Erni-Cassola, G., Zadjelovic, V., Gibson, M.I., Christie-Oleza, J.A., 2019. Distribution of plastic polymer types in the marine environment; A meta-analysis. *Journal of Hazardous Materials* 369, 691–698. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.02.067>

FAO, 2020. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020: Sustainability in action*, The State of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA). FAO, Rome, Italy. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>

Ferreira, I., Venâncio, C., Lopes, I., Oliveira, M., 2019. Nanoplastics and marine organisms: What has been studied? *Environmental Toxicology and Pharmacology* 67, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.01.006>

Gilman, E., Musyl, M., Suuronen, P., Chaloupka, M., Gorgin, S., Wilson, J., Kuczenski, B., 2021. Highest risk abandoned, lost and discarded fishing gear. *Sci Rep* 11, 7195. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86123-3>

Gregory, M.R., 2009. Environmental implications of plastic debris in marine settings—entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 364, 2013–2025. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0265>

Grimaldo, E., Herrmann, B., Jacques, N., Kubowicz, S., Cerbule, K., Su, B., Larsen, R., Vollstad, J., 2020a. The effect of long-term use on the catch efficiency of biodegradable gillnets. *Marine Pollution Bulletin* 161, 111823. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111823>

Grimaldo, E., Herrmann, B., Jacques, N., Vollstad, J., Su, B., 2020b. Effect of mechanical properties of monofilament twines on the catch efficiency of biodegradable gillnets. *PLOS ONE* 15, e0234224. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234224>

Grimaldo, E., Herrmann, B., Su, B., Føre, H.M., Vollstad, J., Olsen, L., Larsen, R.B., Tatone, I., 2019. Comparison of fishing efficiency between biodegradable gillnets and conventional nylon gillnets. *Fisheries Research* 213, 67–74. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2019.01.003>

Grimaldo, E., Herrmann, B., Vollstad, J., Su, B., Moe Føre, H., Larsen, R.B., Tatone, I., 2018. Fishing efficiency of biodegradable PBSAT gillnets and conventional nylon gillnets used in Norwegian cod (*Gadus morhua*) and saithe (*Pollachius virens*) fisheries. *ICES Journal of Marine Science* 75, 2245–2256. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy108>

Hanamseth, R., Barry Baker, G., Sherwen, S., Hindell, M., Lea, M.-A., 2018. Assessing the importance of net colour as a seabird bycatch mitigation measure in gillnet fishing. *Aquatic Conservation : Marine and Freshwater Ecosystems* 28, 175–181. <https://doi.org/10.1002/aqc.2805>

He, P., 2006. Gillnets: Gear Design, Fishing Performance and Conservation Challenges. *Marine Technology Society Journal* 40, 12–19. <https://doi.org/10.4031/002533206787353187>

Herrmann, B., Sistiaga, M., Rindahl, L., Tatone, I., 2017. Estimation of the effect of gear design changes on catch efficiency: Methodology and a case study for a Spanish longline fishery targeting hake (*Merluccius merluccius*). *Fisheries Research* 185, 153–160. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2016.09.013>

Herrmann, B., Sistiaga, M.B., Nielsen, K.N., Larsen, R.B., 2012. Understanding the Size Selectivity of Redfish (*Sebastes* spp.) in North Atlantic Trawl Codends. <https://doi.org/10.2960/J.v44.m680>

Hervé, M., 2016. *Aide-mémoire de statistique appliquée à la biologie*.

Horton, A.A., 2021. Plastic pollution: when do we know enough? *Journal of Hazardous Materials* 126885. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126885>

Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K.L., 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347, 768. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>

Kim, S., Kim, P., Lim, J., An, H., Suuronen, P., 2016. Use of biodegradable driftnets to prevent ghost fishing: physical properties and fishing performance for yellow croaker. *Animal Conservation* 19, 309–319. <https://doi.org/10.1111/acv.12256>

Koelmans, A.A., Besseling, E., Foekema, E.M., 2014. Leaching of plastic additives to marine organisms. *Environmental Pollution* 187, 49–54. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.12.013>

Kuczynski, B., Poulsen, C.V., Gilman, E.L., Musyl, M., Geyer, R., Wilson, J., 2021. Plastic gear loss estimates from remote observation of industrial fishing activity. *Fish and Fisheries* 00, 1–12. <https://doi.org/10.1111/faf.12596>

Lebreton, L., Egger, M., Slat, B., 2019. A global mass budget for positively buoyant macroplastic debris in the ocean. *Scientific Reports* 9, 12922. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49413-5>

Lebreton, L., Slat, B., Ferrari, F., Sainte-Rose, B., Aitken, J., Marthouse, R., Hajbane, S., Cunsolo, S., Schwarz, A., Levivier, A., Noble, K., Debeljak, P., Maral, H., Schoeneich-Argent, R., Brambini, R., Reisser, J., 2018. Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Sci Rep* 8, 4666. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22939-w>

Li, W.C., Tse, H.F., Fok, L., 2016. Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. *Science of The Total Environment* 566–567, 333–349. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.084>

Macfadyen, G., Huntington, T., Cappell, R., 2009. Abandoned, lost or otherwise discarded fishing gear [WWW Document]. URL <http://www.fao.org/3/i0620e/i0620e00.htm> (accessed 8.17.21).

MacMullen, P., Hareide, N.-R., Furevik, D.M., Larsson, P.-O., Tschernij, V., Dunlin, G., Reville, A., Pawson, M.G., Puente, E., Uriarte, A., Sancho, G., Santos, M.N., Gaspar, M., Erzini, K., Lino, P., Ribeiro, J., Sacchi, J., 2004. FANTARED 2 - A study to identify, quantify and ameliorate the impacts of static gear lost at sea [WWW Document]. *Seafish*. URL <https://www.seafish.org/document/?id=55615b7b-bfee-40f5-8f64-29529b12bfb6> (accessed 8.23.21).

Mathel, V., Chauvel, M., 05/04. Composition comprenant un (co)polyester rigide et un (co)polyester flexible, procédé de préparation et utilisation en géotextile et pour engins de pêche. EP3560996.

Mathel, V., Chauvel, M., 15/05. Composition comprenant un (co)polyester rigide et un (co)polyester flexible, procédé de préparation et utilisation en géotextile et pour engins de pêche. FR3080626.

Nama, S., Prusty, S., 2021. Ghost gear: The most dangerous marine litter endangering our ocean 2, 34–38.

Reichert, J., Schellenberg, J., Schubert, P., Wilke, T., 2018. Responses of reef building corals to microplastic exposure. *Environmental Pollution* 237, 955–960. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.006>

Report of the 20th Session of GESAMP, 1990 <http://www.gesamp.org/publications/report-of-the-20th-session> (accessed 8.15.21).

Ritchie, H., Roser, M., 2018. Plastic Pollution. *Our World in Data*.

Rochman, C.M., Browne, M.A., Underwood, A.J., van Franeker, J.A., Thompson, R.C., Amaral-Zettler, L.A., 2016. The ecological impacts of marine debris: unraveling the demonstrated evidence from what is perceived. *Ecology* 97, 302–312.

Rousseau, Y., Watson, R.A., Blanchard, J.L., Fulton, E.A., 2019. Evolution of global marine fishing fleets and the response of fished resources. *PNAS* 116, 12238–12243. <https://doi.org/10.1073/pnas.1820344116>

Suwaki, C.H., De-La-Cruz, L.T., Lopes, R.M., 2020. Impacts of Microplastics on the Swimming Behavior of the Copepod *Temora turbinata* (Dana, 1849). *Fluids* 5, 103. <https://doi.org/10.3390/fluids5030103>

Thushari, G.G.N., Senevirathna, J.D.M., 2020. Plastic pollution in the marine environment. *Heliyon* 6, e04709. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04709>

Valderrama Ballesteros, L., Matthews, J.L., Hoeksema, B.W., 2018. Pollution and coral damage caused by derelict fishing gear on coral reefs around Koh Tao, Gulf of Thailand. *Marine Pollution Bulletin* 135, 1107–1116. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.08.033>

Wilcoxon, F., Katti, S.K., Wilcox, R.A., 1970. Critical values and probability levels for the Wilcoxon rank sum test and the Wilcoxon signed rank test. *Selected tables in mathematical statistics* 1, 171–259. Zabala, A., 2019. Fishing-fleet evolution. *Nat Sustain* 2, 540–540. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0343-x>

Zabala, A., 2019. Fishing-fleet evolution. *Nat Sustain* 2, 540–540. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0343-x>

Annexes

Annexe 1 : Estimations du capitaine du navire des poids capturés par espèce sur l'ensemble de la saison de test du filet biodégradable blanc (43 marées) pour la campagne 1

Espèces	Nom commun	Poids total des captures (kg) 1 800 m				Total PR
		Filet biodégradable		Filet conventionnel		
		PR	PNR	PR	PNR	
<i>Dicentrarchus labrax</i>	Bar commun	1,5		3,8		5,3
<i>Scophthalmus rhombus</i>	Barbue	0,6		8,4		9,0
<i>Mustelus asterias</i>	Emissole tachetée	102,0		126,00		228,0
<i>Limanda limanda</i>	Limande	2,0		15,3		17,3
<i>Microstomus kitt</i>	Limande sole	0,0		0,3		0,3
<i>Merlangius merlangus</i>	Merlan	29,0		38,2		67,2
<i>Pleuronectes platessa</i>	Plie	9,0		24,6		33,6
<i>Raja clavata</i>	Raie	68,5		94,0		162,5
<i>Raja brachyura</i>						
<i>Mullus surmuletus</i>	Rouget barbet	0,0		11,1		11,1
<i>Scyliorhinus canicula</i>	Petite roussette	1092,3		1573,0		2665,3
<i>Sepia officinalis</i>	Seiche commune	1,8		5		6,8
<i>Solea solea</i>	Sole commune	381,3	32,5	608,5	45,9	989,8
<i>Pegusa lascaris</i>	Sole pôle	12,6		61,3		73,9
<i>Trisopterus luscus</i>	Tacaud	92,3		236,0		328,3
<i>Scophthalmus maximus</i>	Turbot	13,2		20,0		33,2
<i>Trachinus draco</i>	Vive	0,0		1,0		1,0
Total		1806,1		2826,5		4632,6

Annexe 2 : Mesures de l'observateur embarqué des poids capturés par espèce sur l'ensemble de la saison de test du filet biodégradable blanc (7 marées) pour la campagne 1

Espèces	Nom commun	Poids total des captures (kg) 1 800 m				Total
		Filet biodégradable		Filet conventionnel		
		PR	PNR	PR	PNR	
<i>Maja brachydactyla</i>	Araignée		305,36		350,45	655,81
<i>Scophthalmus rhombus</i>	Barbue	1,10		0,50		1,60
<i>Mustelus asterias</i>	Emissole tachetée	13,30	10,15	15,35	7,50	46,30
<i>Chelidonichthys lucerna</i> , <i>Chelidonichthys cuculus</i>	Grondin	0,12		1,56		1,68
<i>Homarus gammarus</i>	Homard	0,80				0,80
<i>Platichthys flesus</i>	Flet				0,08	0,08
<i>Limanda limanda</i>	Limande	2,27	2,35	2,31	3,20	10,13
<i>Microstomus kitt</i>	Limande sole			0,12		0,12
<i>Merlangius merlangus</i>	Merlan	0,34	0,90	2,84	2,80	6,88
<i>Maja brachydactyla</i>	Pince crustacés	6,87		10,42		17,29
<i>Cancer pagurus</i>						
<i>Pleuronectes platessa</i>	Plie	2,34	0,86	2,79	2,40	8,39
<i>Raja clavata</i>	Raie	4,20		14,42	0,55	19,17
<i>Raja brachyura</i>						
<i>Mullus surmuletus</i>	Rouget barbet	0,16		0,17		0,33
<i>Scyliorhinus canicula</i>	Petite roussette	125,56	1,00	158,39	2,17	287,12
<i>Sepia officinalis</i>	Seiche commune	0,85		0,35		1,20
<i>Solea solea</i>	Sole commune	50,27	4,27	69,44	7,46	131,44
<i>Pegusa lascaris</i>	Sole pôle	4,67		2,95		7,62
<i>Zeus faber</i>	Saint Pierre			0,35		0,35
<i>Trisopterus luscus</i>	Tacaud	21,47	2,09	25,78	6,85	56,19
<i>Cancer pagurus</i>	Tourteau		3,50		12,50	16,00
<i>Scophthalmus maximus</i>	Turbot	7,00			0,85	7,85
<i>Trachinus draco</i>	Vive	0,34		0,42		0,76
Total		241,66	330,48	308,16	396,81	1277,11

Annexe 3 : Estimations du capitaine du navire des poids capturés par espèce sur l'intégrité de la saison de test du filet biodégradable vert (26 marées) pour la campagne 1

Espèces	Nom commun	Poids total des captures (kg) 500 m				Total PR
		Filet biodégradable		Filet conventionnel		
		PR	PNR	PR	PNR	
<i>Dicentrarchus labrax</i>	Bar commun	0,0		1,0		1,0
<i>Scophthalmus rhombus</i>	Barbue	0,0		5,6		5,6
<i>Mustelus asterias</i>	Emissole tachetée	49,0		66,0		115,0
<i>Homarus gammarus</i>	Homard	1,5		0,0		1,5
<i>Limanda limanda</i>	Limande	1,3		9,5		10,8
<i>Microstomus kitt</i>	Limande sole	0,0		2,0		2,0
<i>Merlangius merlangus</i>	Merlan	3,0		16,8		19,8
<i>Pleuronectes platessa</i>	Plie	1,8		8,1		9,9
<i>Raja clavata</i> <i>Raja brachyura</i>	Raie	9,0		19,5		28,5
<i>Mullus surmuletus</i>	Rouget barbet	0,2		3,0		3,2
<i>Scyliorhinus canicula</i>	Petite roussette	560,0		833,5		1393,5
<i>Sepia officinalis</i>	Seiche commune	0,7		0,0		0,7
<i>Solea solea</i>	Sole commune	76,7	7,6	153,5	13,7	230,2
<i>Pegusa lascaris</i>	Sole pôle	1,8		13,3		15,1
<i>Trisopterus luscus</i>	Tacaud	10,0		32,0		42,0
<i>Scophthalmus maximus</i>	Turbot	5,8		8,2		14,0
<i>Trachinus draco</i>	Vive	0,0		0,5		0,5
Total		720,8		1172,5		1893,3

Annexe 4 : Mesures de l'observateur embarqué des poids capturés par espèce sur l'ensemble de la saison de test du filet biodégradable vert (3 marées) pour la campagne 1

Espèces	Nom commun	Poids total des captures (kg) 500 m				Total
		Filet biodégradable		Filet conventionnel		
		PR	PNR	PR	PNR	
<i>Maja brachydactyla</i>	Araignée		14,70		30,75	45,45
<i>Mustelus asterias</i>	Emissole tachetée	10,30		8,70	0,50	19,50
<i>Chelidonichthys lucerna</i> , <i>Chelidonichthys cuculus</i>	Grondin			0,60		0,60
<i>Limanda limanda</i>	Limande	0,60	1,20	1,70	0,78	4,28
<i>Merlangius merlangus</i>	Merlan	0,50	0,20			0,70
<i>Maja brachydactyla</i> <i>Cancer pagurus</i>	Pince crustacés	1,10		0,45		1,55
<i>Pleuronectes platessa</i>	Plie		0,10	1,10	0,63	1,83
<i>Raja clavata</i> <i>Raja brachyura</i>	Raie	2,50	2,85	8,80	0,65	14,80
<i>Scyliorhinus canicula</i>	Petite roussette	28,70	1,20	54,35	1,75	86,00
<i>Solea solea</i>	Sole commune	5,46	0,19	7,20	0,60	13,45
<i>Pegusa lascaris</i>	Sole pôle	0,15		0,60		0,75
<i>Trisopterus luscus</i>	Tacaud	0,40	1,45	0,38	4,56	6,79
<i>Cancer pagurus</i>	Tourteau		0,70		1,10	1,80
<i>Scophthalmus maximus</i>	Turbot	0,55				0,55
Total		50,26	22,6	83,88	41,3	198,05

Annexe 5 : Médiane ou moyenne des différences par paire et statistiques du test appliqué par espèce pour celles ayant été capturées au cours de 6 marées ou plus issus du suivi simplifié du filet biodégradable blanc (1 800 m) pour la campagne 1

Espèces	Nombre de marées de captures	Médiane/moyenne des différences par paire (bio-conv) (kg)	Intervalle de confiance à 95% de la médiane/moyenne	Test statistique
Bar commun	2	Echantillon <6		
Barbue	6	-1,30	[-2.26 ; -0.34]	t = -3.47, df = 5, p-value = 0.017
Emissole tachetée	12	-2,00	[-6.42 ; 2.42]	t = -1.00, df = 11, p-value = 0.34
Limande	9	-1,48	[-2.10 ; -0.86]	t = -5.48, df = 8, p-value < 0.001
Limande sole	1	Echantillon <6		
Merlan	11	-1,25	[-2.35 ; 1.00]	V = 12.5, p-value = 0.07
Plie	16	-0,98	[-1.81 ; -0.14]	t = -2.48, df = 15, p-value = 0.03
Raie	20	-1,00	[-2.50 ; 1.00]	V = 83, p-value = 0.42
Rouget barbet	9	-0,5	[-2.85 ; -0.41]	S = 0, p-value = 0.004
Petite roussette	36	-10,50	[-20.50 ; -4.50]	V = 85, p-value < 0.001
Seiche commune	4	Echantillon <6		
Sole commune	43	-5,00	[-7.00 ; -3.50]	V = 68.5, p-value = 2.75e-06
Sole pôle	26	-2,00	[-2.00 ; -1.39]	S = 0, p-value = 2.98e-08
Tacaud	27	-4,00	[-5.14 ; -3.00]	S = 0, p-value = 2.98e-08
Turbot	14	-1,00	[-2.00 ; 0.83]	S = 4, p-value = 0.18
Vive	1	Echantillon <6		

Annexe 6 : Médiane ou moyenne des différences par paire et statistiques du test appliqué par espèce pour celles ayant été capturées au cours de 6 marées ou plus issus du suivi détaillé du filet biodégradable blanc (1 800 m) pour la campagne 1

Espèces	Nombre de marées de capture	Médiane/moyenne des différences par paire (bio-conv) (kg)	Intervalle de confiance à 95% de la médiane/moyenne	Test statistique
Barbue	2	Echantillon <6		
Emissole tachetée	5	Echantillon <6		
Grondin	3	Echantillon <6		
Homard	1	Echantillon <6		
Limande	1	Echantillon <6		
Limande sole	1	Echantillon <6		
Merlan	2	Echantillon <6		
Pince de crustacés	5	Echantillon <6		
Plie	4	Echantillon <6		
Raie	4	Echantillon <6		
Rouget barbet	2	Echantillon <6		
Petite roussette	6	0,30	[-50.00 ; 15.00]	V = 12, p-value = 0.8438
Seiche commune	3	Echantillon <6		
Sole commune	7	-2,74	[-6.66 ; 1.18]	t = 1.71, df = 6, p-value = 0.14
Sole pôle	6	0,29	[-0.70 ; 1.27]	t = 0.75, df = 5, p-value = 0.49
Saint Pierre	2	Echantillon <6		
Tacaud	6	-0,72	[-4.53 ; 3.10]	t = -0.48, df = 5, p-value = 0.65
Turbot	1	Echantillon <6		
Vive	4	Echantillon <6		

Annexe 7 : Médiane ou moyenne des différences par paire et statistiques du test appliqué par espèce pour celles ayant été capturées au cours de 6 marées ou plus issus du suivi simplifié du filet biodégradable vert (500 m) pour la campagne 1

Espèces	Nombre de marées de captures	Médiane/moyenne des différences par paire (bio-conv) (kg)	Intervalle de confiance à 95% de la médiane/moyenn	Test statistique
Bar commun	1			Echantillon <6
Barbue	4			Echantillon <6
Emissole tachetée	8	-2,13	[-6.42 ; 2.17]	t = -1.17, df = 7, p-value = 0.28
Homard	1			Echantillon <6
Limande	6	-1,37	[-1.77 ; -0.96]	t = 8.74, df = 5, p-value < 0.001
Limande sole	3			Echantillon <6
Merlan	5			Echantillon <6
Plie	9	-0,70	[-1.18 ; -0.22]	t = -3.34, df = 8, p-value = 0.0101
Raie	6	-1,75	[-5.10 ; 1.60]	t = -1.34, df = 5, p-value = 0.24
Rouget barbet	3			Echantillon <6
Petite roussette	24	-10,00	[-22.50 ; -4.50]	V = 27.5, p-value = 0.0014
Seiche commune	1			Echantillon <6
Sole commune	26	-2,25	[-3.00 ; -1.7]	S = 0, p-value = 4.768e-07
Sole pôle	12	-0,80	[-1.62 ; -0.50]	S = 0, p-value < 0.001
Tacaud	12	-1,83	[-2.80 ; -0.86]	t = -4.16, df = 11, p-value = 0.0016
Turbot	7	-0,34	[-1.67 ; 0.99]	t = -0.63, df = 6, p-value = 0.55
Vive	1			Echantillon <6

Annexe 8 : Estimations du capitaine du navire des poids capturés par espèce sur l'ensemble de la campagne 2 (68 marées)

Espèces	Nom commun	Poids total des captures (kg)				Total PR
		Filet biodégradable		Filet conventionnel		
		PR	PNR	PR	PNR	
<i>Scophthalmus rhombus</i>	Barbue	0,0		1,0		1,0
<i>Sparus aurata</i>	Dorade royale	3,0		5,0		8,0
<i>Mustelus asterias</i>	Emissole tachetée	229,0		265,0		494,0
<i>Scyliorhinus stellaris</i>	Grande roussette	19,0		8,0		27,0
<i>Chelidonichthys lucerna</i>	Grondin perlon	0,0		2,0		2,0
<i>Homarus gammarus</i>	Homard européen	4,0		10,0		14,0
<i>Scomber scombrus</i>	Maquereau	8,0		9,0		17,0
<i>Mugilidae</i>	Mulet	35,0		50,0		85,0
<i>Pleuronectes platessa</i>	Plie	46,0		82,3		128,3
<i>Raja clavata</i>	Raie	5,0		7,0		12,0
<i>Raja brachyura</i>						
<i>Scyliorhinus canicula</i>	Petite roussette	370,0		464,0		834,0
<i>Sepia officinalis</i>	Seiche commune	7,0		11,0		18,0
<i>Solea solea</i>	Sole commune	1634,4	9,7	1680,0	10,8	3314,4
<i>Pegusa lascaris</i>	Sole pôle	7,0		9,0		16,0
<i>Pecten maximus</i>	Coquille saint-jacques	4,0		4,0		8,0
<i>Trisopterus luscus</i>	Tacaud commun	0,0		3,0		3,0
<i>Scophthalmus maximus</i>	Turbot	1,0		0,0		1,0
<i>Labrus bergylta</i>	Vieille commune	26,0		37,0		63,0
Total		2398,4		2647,3		5045,7

Annexe 9 : Mesures de l'observateur embarqué des poids capturés par espèce sur l'ensemble de la campagne 2 (6 marées)

Espèces	Nom commun	Poids total des captures (kg)				Total
		Filet biodégradable		Filet conventionnel		
		PR	PNR	PR	PNR	
<i>Dicentrarchus labrax</i>	Bar européen	2,15	0,00	2,04	1,93	6,12
<i>Scophthalmus rhombus</i>	Barbue	0,42	0,15	0,22	0,36	1,15
<i>Conger conger</i>	Congre		0,00		0,08	0,08
<i>Sparus aurata</i>	Dorade royale	0,27		0,90		1,17
<i>Callionymus lyra</i>	Dragonnet		0,10		0,00	0,10
<i>Mustelus asterias</i>	Emissole tachetée	3,86	4,30	10,24	3,98	22,38
<i>Chelidonichthys lucerna</i>	Grondin perlon	0,69	0,00	0,84	0,24	1,77
<i>Chelidonichthys cuculus</i>	Grondin rouge	0,70	0,99	1,65	3,18	6,52
<i>Clupea harengus</i>	Hareng	0,10		0,09		0,19
<i>Homarus gammarus</i>	Homard	1,40	0,00	5,50	0,06	6,96
<i>Platichthys flesus</i>	Flet		0,25		0,00	0,25
<i>Limanda limanda</i>	Limande	0,00	0,74	0,27	0,14	1,15
<i>Scomber scombrus</i>	Maquereau atlantique	8,79	0,00	28,42	0,07	37,28
<i>Merlangius merlangus</i>	Merlan	0,00		0,53		0,53
<i>Mugilidae</i>	Mulet	4,88		6,54		11,42
<i>Trisopterus minutus</i>	Petit tcaud		0,00		0,40	0,40
<i>Pleuronectes platessa</i>	Plie	4,10	1,14	7,19	3,27	15,70
<i>Raja clavata</i>	Raie	2,82	2,50	3,01	2,82	11,15
<i>Mullus surmuletus</i>	Rouget barbet	0,29	0,12	0,43	0,00	0,84
<i>Scyliorhinus canicula</i>	Petite roussette	43,49	0,99	14,78	0,00	59,26
<i>Sepia officinalis</i>	Seiche commune	2,95		5,25		8,20
<i>Solea solea</i>	Sole commune	179,94	2,22	174,79	2,28	359,23
<i>Pegusa lascaris</i>	Sole pôle	6,34	0,10	3,74	0,00	10,18
<i>Pecten maximus</i>	Coquille Saint-jacques	0,00	3,52	0,00	15,43	18,95
<i>Trisopterus luscus</i>	Tcaud commun	1,98	2,41	1,25	3,50	9,14
<i>Scophthalmus maximus</i>	Turbot	0,00	3,13	0,25	0,32	3,70
<i>Labrus bergylta</i>	Vieille commune	0,65	0,11	0,00	0,00	0,76
Total		265,82	22,77	267,93	38,06	594,58

Annexe 10 : Médiane ou moyenne des différences par paire et statistiques du test appliqué par espèce pour celles ayant été capturées au cours de 6 marées ou plus issus du suivi simplifié pour la campagne 2

Espèces	Nombre de marées de capture	Médiane/moyenne des différences par paire (bio-conv) (kg)	Intervalle de confiance à 95% de la médiane/moyenne	Test statistique
Barbue	1			Echantillon <6
Dorade	2			Echantillon <6
Emissole	38	-2,00	[-3,00 ; -1,57e-5]	V = 177, p-value = 0.04
Grande roussette	2			Echantillon <6
Homard	5			Echantillon <6
Maquereau	4			Echantillon <6
Mulet	8	-1,88	[-6,17 ; 2,42]	t = -1.03, df = 7, p-value = 0.34
Sole pôle	2			Echantillon <6
Grondin perlon	1			Echantillon <6
Plie	34	-1,07	[-1,66 ; -0,47]	$\chi^2 = -3.66$, $df = 33$, p-value = 0.0000
Raies	3			Echantillon <6
Roussette	51	-2,00	[-3,00 ; -3,89e-5]	V = 261, p-value = 0.03
Seiche	6	-0,67	[-2,62 ; 1,29]	t = -0.88, df = 5, p-value = 0.42
Sole commune	68	-2,00	[-3,85 ; 0,5]	V = 885, p-value = 0,11
Saint-Jacques	2			Echantillon <6
Tcaud	1			Echantillon <6
Turbot	1			Echantillon <6
Vieille	3			Echantillon <6

Annexe 11 : Médiane ou moyenne des différences par paire et statistiques du test appliqué par espèce pour celles ayant été capturées au cours de 6 marées ou plus issus du suivi détaillé pour la campagne 2

Espèces	Nombre de marées de capture	Médiane/moyenne des différences par paire (bio-conv) (kg)	Intervalle de confiance à 95% de la médiane/moyenne	Test statistique
Bar	2			Echantillon <6
Barbue	2			Echantillon <6
Dorade	2			Echantillon <6
Emissole	2			Echantillon <6
Grondin rouge	1			Echantillon <6
Hareng	2			Echantillon <6
Homard	2			Echantillon <6
Limande	1			Echantillon <6
Maquereau	3			Echantillon <6
Merlan	1			Echantillon <6
Mulet	1			Echantillon <6
Sole pôle	3			Echantillon <6
Grondin perlon	3			Echantillon <6
Plie	6	-0,51	[-1,13 ; 0,10]	t = -2,17, df = 5, p-value = 0,08
Raies	2			Echantillon <6
Rouget	2			Echantillon <6
Roussette	4			Echantillon <6
Seiche	4			Echantillon <6
Sole	6	0,86	[-17,50 ; 19,21]	t = 0,12, df = 5, p-value = 0,91
Tacaud	2			Echantillon <6
Turbot	1			Echantillon <6
Vieille	1			Echantillon <6

Annexe 12 : Mesures du capitaine du navire des poids capturés par espèce sur l'ensemble de la campagne 3 (53 marées)

Espèces	Nom commun	Poids total des captures (kg)				Total PR
		Filet biodégradable		Filet conventionnel		
		PR	PNR	PR	PNR	
<i>Dicentrarchus labrax</i>	Bar commun	25,81		16,10		41,91
<i>Scophthalmus rhombus</i>	Barbue	4,90		8,77		13,67
<i>Conger conger</i>	Congre	0,00		2,20		2,20
<i>Spondyliosoma cantharus</i>	Dorade grise	19,10		3,00		22,10
<i>Mustelus asterias</i>	Emissole tachetée	590,50		830,44		1420,94
<i>Platichthys flesus</i>	Flet	3,71		1,24		4,95
<i>Chelidonichthys lucerna</i>	Grondin perlon	46,71		53,94		100,65
<i>Chelidonichthys cuculus</i>	Grondin rouge	0,00		0,09		0,09
<i>Homarus gammarus</i>	Homard européen	7,10		22,60		29,70
<i>Limanda limanda</i>	Limande	6,09		4,50		10,59
<i>Scomber scombrus</i>	Maquereau atlantique	4,04		3,56		7,60
<i>Merlangius merlangus</i>	Merlan	1,84		1,30		3,14
<i>Gadus morhua</i>	Morue atlantique	1,91		0,70		2,61
<i>Maja brachydactyla</i>	Pince crustacées	78,95		76,01		154,96
<i>Cancer pagurus</i>						
<i>Pleuronectes platessa</i>	Plie	51,98		48,65		100,63
<i>Raja clavata</i>	Raie	98,66		92,79		191,45
<i>Raja brachyura</i>						
<i>Mullus surmuletus</i>	Rouget barbet	5,20		5,07		10,27
<i>Scyliorhinus canicula</i>	Petite roussette	2155,83		2012,49		4168,32
<i>Sepia officinalis</i>	Seiche commune	15,95		17,30		33,25
<i>Solea solea</i>	Sole commune	188,95	13,9	228,00	11,83	416,95
<i>Pegusa lascaris</i>	Sole pôle	21,47		18,46		39,93
<i>Zeus faber</i>	Saint-pierre	1,30		2,10		3,40
<i>Trisopterus luscus</i>	Tacaud commun	2,76		3,30		6,06
<i>Scophthalmus maximus</i>	Turbot	8,40		8,60		17,00
<i>Trachinus draco</i>	Vive	2,33		3,10		5,43
	Total	3343,49		3464,31		6807,80

Annexe 13 : Médiane ou moyenne des différences par paire et statistiques du test appliqué par espèce pour celles ayant été capturées au cours de 6 marées ou plus issus du suivi simplifié pour la campagne 3

Espèces	Nombre de marées de capture	Médiane/moyenne des différences par paire (bio-conv) (kg)	Intervalle de confiance à 95% de la médiane/moyenne	Test statistique
Bar commun	9	1.08	[-0.90 ; 3.06]	t = 1.25, df = 8, p-value = 0.2
Barbue	8	-0.48	[-1.76 ; 0.79]	t = -0.90, df = 7, p-value = 0.40
Congre	1		Echantillon <6	
Dorade grise	6	0.00	[-1.29 ; 16.02]	S = 3, p-value = 1
Emissole tachetée	47	-0.70	[-3.99 ; 1.95]	S = 23, p-value = 1
Flet	2		Echantillon <6	
Grondin perlon	20	-0.36	[-1.24 ; 0.52]	t = -0.86, df = 19, p-value = 0.40
Grondin rouge	1		Echantillon <6	
Homard européen	8	-1.94	[-3.31 ; -0.57]	t = -3.35, df = 7, p-value = 0.012
Limande	16	0.10	[-0.30 ; 0.50]	t = 0.52, df = 15, p-value = 0.61
Maquereau atlantique	6	0.08	[-0.89 ; 1.05]	t = 0.21, df = 5, p-value = 0.84
Merlan	7	0.08	[-0.30 ; 0.46]	t = 0.50, df = 6, p-value = 0.64
Morue atlantique	4		Echantillon <6	
Pince crustacées	35	0.05	[-0.35 ; 0.55]	V = 326, p-value = 0.86
Plie	30	0.11	[-0.38 ; 0.60]	t = 0.46, df = 29, p-value = 0.65
Raie	19	0.31	[-1.90 ; 2.52]	t = 0.29, df = 18, p-value = 0.77
Rouget barbet	13	0.01	[-0.35 ; 0.37]	t = 0.06, df = 12, p-value = 0.95
Petite roussette	47	-1.01	[-3.80 ; 2.62]	V = 500.5, p-value = 0.51
Seiche commune	13	-0.10	[-0.85 ; 0.64]	t = -0.30, df = 12, p-value = 0.77
Sole commune	53	-0.65	[-1.05 ; -0.25]	V = 360, p-value = 0.003
Sole pôle	17	0.18	[-0.38 ; 0.74]	t = 0.67, df = 16, p-value = 0.51
Saint-pierre	6	-0.13	[-0.81 ; 0.54]	t = -0.51, df = 5, p-value = 0.63
Tacaud commun	7	-0.08	[-0.66 ; 0.50]	t = -0.32, df = 6, p-value = 0.76
Turbot	6	-0.03	[-1.66 ; 1.59]	t = -0.05, df = 5, p-value = 0.96
Vive	10	-0.08	[-0.51 ; 0.35]	t = -0.41, df = 9, p-value = 0.69

Annexe 14 : Estimations du capitaine du navire des poids capturés par espèce sur l'ensemble de la campagne 4 (51 marées)

Espèces	Nom commun	Poids total des captures (kg)				Total PR
		Filet biodégradable		Filet conventionnel		
		PR	PNR	PR	PNR	
<i>Scophthalmus rhombus</i>	Barbue	1,0		7,0		8,0
<i>Mustelus asterias</i>	Emissole tachetée	3,0		3,0		6,0
<i>Platichthys flesus</i>	Flet	7,0		9,0		16,0
<i>Chelidonichthys lucerna</i>	Grondin perlon	1,0		4,0		5,0
<i>Limanda limanda</i>	Limande	24,0		35,0		59,0
<i>Scomber scombrus</i>	Maquereau	0,0		2,0		2,0
<i>Merlangius merlangus</i>	Merlan	1,0		0,0		1,0
<i>Pleuronectes platessa</i>	Plie	50,0		87,0		137,0
<i>Raja clavata</i> <i>Raja brachyura</i>	Raie	9,0		24,0		33,0
<i>Scyliorhinus canicula</i>	Petite roussette	389,0		740,0		1129,0
<i>Solea solea</i>	Sole commune	748,3	5,2	1415,6	4,3	2163,9
<i>Pegusa lascaris</i>	Sole pôle	5,8		15,0		20,8
<i>Trisopterus luscus</i>	Tacaud commun	16,0		26,0		42,0
<i>Scophthalmus maximus</i>	Turbot	0,0		3,0		3,0
Total		1255,1		2370,6		3625,7

Annexe 15 : Médiane ou moyenne des différences par paire et statistiques du test appliqué par espèce pour celles ayant été capturées au cours de 6 marées ou plus issus du suivi simplifié pour la campagne 4

Espèces	Nombre de marées de capture	Médiane/moyenne des différences par paire (bio-conv) (kg)	Intervalle de confiance à 95% de la médiane/moyenne	Test statistique
Barbue	4			Echantillon <6
Emissole tachetée	2			Echantillon <6
Flet	2			Echantillon <6
Grondin perlon	3			Echantillon <6
Limande	14	-0.79	[-1.78 ; 0.21]	t = -1.7, df = 13, p-value = 0.11
Maquereau	1			Echantillon <6
Merlan	1			Echantillon <6
Plie	29	-1.28	[-1.78 ; -0.77]	t = -5.15, df = 28, p-value = 1.83e-05
Raie	2			Echantillon <6
Petite roussette	25	-3.00	[-5.00 ; -1.10]	S = 4, p-value = 0.003
Sole commune	51	-11.40	[-13.98 ; -9.02]	S = 1, p-value = 4.62e-14
Sole pôle	6	-1.53	[-3.03 ; -0.03]	t = -2.63, df = 5, p-value = 0.046
Tacaud commun	12	-1.28	[-2.37 ; 0.57]	t = -1.31, df = 11, p-value = 0.22
Turbot	3			Echantillon <6

