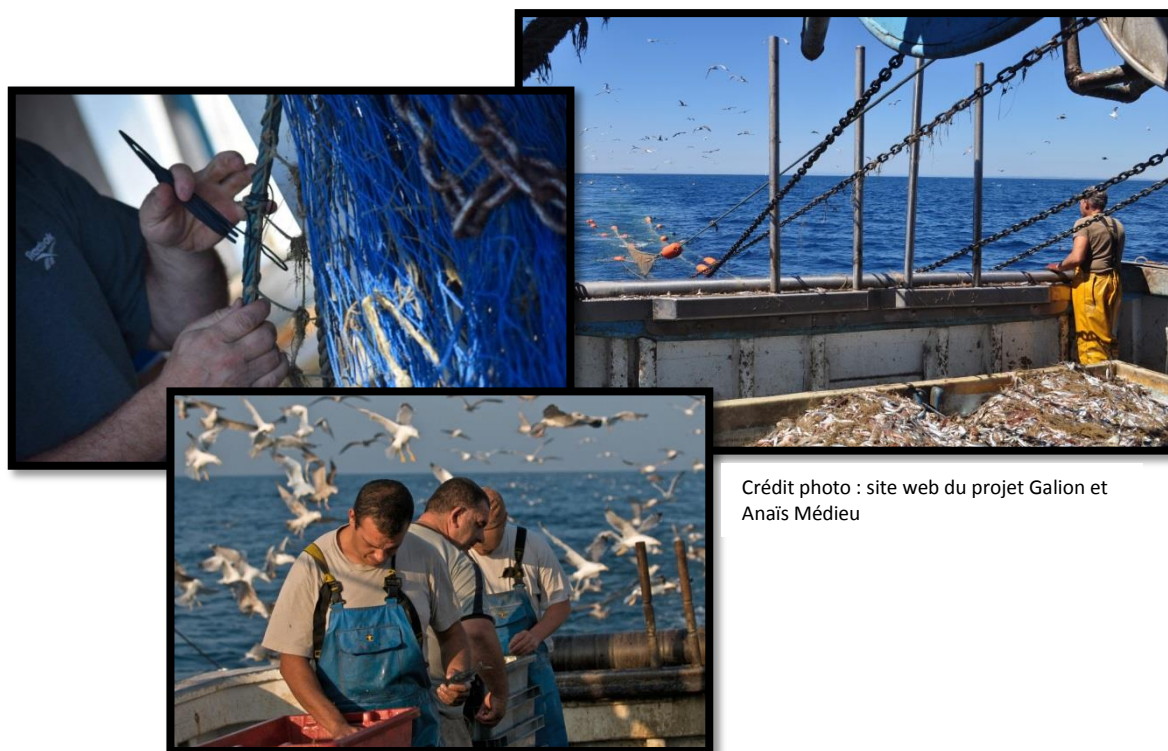


Cartographie des captures et rejets d'espèces commerciales et planification spatiale des pêcheries chalutières dans le golfe du Lion



Crédit photo : site web du projet Galion et
Anaïs Médieu

Mémoire de dominante d'approfondissement
Gestion des Milieux Naturels

Anaïs Médieu

Année 2015-2016

Table des matières

Résumé.....	2
Abstract.....	2
1. Introduction et contexte de l'étude	3
1.1. La pêche chalutière en Méditerranée française et dans le golfe du Lion.....	3
1.2. Contexte réglementaire et gestion des pêches.....	4
1.3. Surexploitation des stocks.....	4
1.4. Rejets en mer : quantification, causes et effets	5
1.5. Impact du chalutage démersal sur les fonds et les habitats benthiques.....	6
1.6. Réduction de l'effort de pêche et changement de stratégie de pêche.....	6
1.7. Planification spatiale et nouveaux modes de gestion de la pêche.....	7
1.8. Objectifs du projet Galion.....	7
1.9. Problématique et objectifs de stage.....	8
2. Matériels et méthodes.....	9
2.1. La zone d'étude.....	9
2.2. Les données issues de campagnes et de programmes de suivi halieutique	9
2.2.1. MEDITS : campagne de suivi internationale de chalutage démersal en Méditerranée	9
2.2.2. PELMED : campagne d'évaluation des ressources de petits poissons pélagiques en Méditerranée.....	10
2.2.3. OBSMER : programme d'observations à bord des navires de pêche professionnelle	10
2.2.4. Vessel Monitoring System (VMS) : programme de surveillance satellite des pêcheries	10
2.3. Les espèces cibles	11
2.4. Préparation des données d'observation pour l'analyse géostatistique	12
2.4.1. Calcul de proportion de rejets théoriques pour les données OBSMER.....	12
2.4.2. Calcul de densité de rejets théoriques à partir des campagnes scientifiques MEDITS et PELMED.....	13
2.5. Analyse et cartographie de la distribution spatio-temporelle des rejets.....	13
2.5.1. Distribution non-stationnaire et traitement statistiques des données.....	14
2.5.2. Correction des coordonnées.....	14
2.5.3. Analyse de la structure spatiale des rejets	15
2.5.4. Modélisation de la structure spatiale des rejets	16
2.5.5. Krigage : interpolation de la distribution spatiale sur l'ensemble du golfe du Lion.....	17
2.5.6. Cartographie de la distribution spatiale des rejets et mise en évidence de zones de récurrence multi-annuelle	17
2.6. Cartographie de l'effort de pêche.....	18
2.7. Optimisation des stratégies d'évitement avec Marxan.....	20
2.7.1. Marxan, logiciel d'aide à la planification spatialisée	20
2.7.2. Découpage de la zone d'étude en PUs.....	21
2.7.3. Eléments à protéger : habitats benthiques sensibles et rejets d'espèces commerciales	21
2.7.4. Prise en compte des zones protégées existantes dans l'élaboration des scénarios	22
2.7.5. Ensemble des scénarios testés	22
2.7.6. Calibration des paramètres de Marxan : SPF et BLM.....	23

3. Résultats	25
3.1. Regroupement des données par type d'engin, période et saison.....	25
3.2. Comparaison rejets théoriques et rejets effectifs observés.....	26
3.3. Distribution spatio-temporelle des rejets	28
3.3.1. Structure spatiale des rejets théoriques	28
3.3.2. Distribution spatio-temporelle des rejets échantillonnés lors des campagnes scientifiques ...	29
3.3.3. Distribution spatio-temporelle des rejets observés en mer avec OBSMER.....	32
3.4. Distribution des captures.....	33
3.5. Planification spatiale de la pêche chalutière sous Marxan.....	35
3.5.1. Paramètres SPF et BLM retenus.....	35
3.5.2. Stratégies saisonnières et annuelles d'évitement des rejets et des habitats sensibles	36
3.5.3. Prise en compte des zones protégées déjà existantes dans la planification spatiale	37
3.5.4. Apport des données de campagnes scientifiques MEDITS et PELMED dans la planification spatiale	38
4. Discussion et perspectives d'étude	41
4.1. Intérêts et limites de la spatialisation des captures et rejets	41
4.2. Perspectives d'utilisation des scénarios de planification spatiale	42
4.3. Axes de gestion durable de la pêche chalutière et enjeux inhérents à l'obligation de débarquement	43
Conclusion	47
Références	49
Index des sigles et acronymes.....	53
Petit glossaire halieutique.....	55
Annexes	57

Table des illustrations

Figure 1: Nombre de marées réalisées en Méditerranée par les chaluts de fond en une année. Source : SIH, Synthèse des flottilles de pêche 2012.....	3
Figure 2: schémas explicatifs du a. chalut de fond à panneaux (OTB), b. chalut de fond jumeaux (OTT) et c. chalut pélagique (OTM). Source : IFREMER	3
Figure 3: Histogramme de taille des rejets effectifs (bleu) et de l'ensemble des captures (jaune) du merlu (<i>M. merluccius</i>). Exemple de la flottille française, chalut de fond à panneaux (OTB). La ligne rouge représente la TMC. Source : Cornou & al. (2015)	5
Figure 4: Suivi de la biomasse débarquée (T) des principales espèces commercialisées en Méditerranée. Source: IFREMER Sète.....	6
Figure 5: Localisation des zones protégées dans le golfe du Lion.....	7
Figure 6: Carte des stations échantillonnées par MEDITS	9
Figure 7: Carte des transects échantillonnés par PELMED	10
Figure 8: Schéma explicatif du programme VMS de surveillance par satellite des pêcheries. Source : AFMA (the Australian Fisheries Management Authority).....	11
Figure 9: Agrégation des observations de rejets de merlu (<i>M. merluccius</i>) par les chaluts démersaux au cours de la 2 ^e période et la 3 ^e saison, données OBSMER.l	12
Figure 10: Distribution asymétrique de la densité de rejets. Cas du rouget barbet de vase (<i>M. barbatus</i>) en 2015, données MEDITS.	14
Figure 11: Exemple de variogramme expérimental. Cas du merlu (<i>M. merluccius</i>), données MEDITS.	15
Figure 12: Exemple de tendance linéaire (gauche) et de tendance quadratique (droite). Source: Vaz & al. (2015)	16
Figure 13: Cartographie de la distribution interpolée de rejets. Cas du rouget barbet de vase (<i>M. barbatus</i>) capturé par les chaluts démersaux durant la 1 ^e période et la 1 ^e saison, données OBSMER.	17
Figure 14: cartographie des ports du golfe du Lion. En noir: ports listés dans les données VMS. En rouge: principaux ports sélectionnés pour l'étude.	18
Figure 15: Schéma bilan des traitements réalisés sur les quatre jeux de données pour cartographier la distribution spatio-temporelle des rejets.....	19
Figure 16: PUs réservées exclusivement à la protection de la pêche (jaune). Exemple des captures réalisées par les engins démersaux, avant 2009 et pour la première saison, données VMS.....	21
Figure 17: Carte de sensibilité potentielle des habitats benthiques au chalutage démersal. Gauche : carte originelle ; droite : carte extrapolée à l'ensemble de la zone d'étude.....	22
Figure 18: Coûts relatifs à la présence ou non de zones protégées existantes	22
Figure 19: Distribution des taux de rejets en fonction des engins	25
Figure 20: Distribution des taux de rejets en fonction des périodes	25
Figure 21: Résultats de la classification des mois en saison de distribution des rejets	26
Figure 22: Distribution spatio-temporelle des rejets de merlu (<i>M. merluccius</i>), données MEDITS.....	30
Figure 23: Distribution spatiale de rejets (densité pondérée par la variance annuelle) de cinq espèces démersales, données MEDITS.	31
Figure 24: Distribution spatiale moyenne des rejets (log-densité) avant et après déplacement de l'effort de pêche, données MEDITS et PELMED..	31
Figure 25: Distribution spatio-temporelle des taux de rejets de merlu (<i>M. merluccius</i>) observés <i>in situ</i> , données OBSMER.....	32
Figure 26: Répartition spatiale des valeurs des captures réalisées par les chaluts démersaux avant 2009 et pour la première saison, données VMS.	33
Figure 27: Distribution spatio-temporelle des valeurs des captures réalisées par les navires rattachés au port de Sète, données VMS.	33
Figure 28: Comparaison des résultats Marxan en fonction du SPF. Cas des chaluts de fond, avant 2009 et pour la 1 ^e saison.	35
Figure 29: Scénarios saisonniers et annuel de planification de la pêche chalutière. Cas des chaluts de fond, après 2009.	36
Figure 30: Comparaison des scénarios de planification avec et sans prise en compte des zones protégées déjà existantes.....	37

Figure 31: Comparaison des pourcentages de cibles atteintes et des fréquences de sélection de PUs pour les scénarios avec et sans données de campagnes MEDITS et PELMED. Cas des chaluts de fond, avant 2009 et pour la 2^e saison. 38

Figure 32: Comparaison des fréquences de sélection de PUs pour les scénarios avec et sans données de campagnes scientifiques. Cas où aucune zone n'est bloquée pour la protection de la pêche. 39

Figure 33: Schéma bilan des enjeux inhérents à l'obligation de débarquement 45

Tableau 1: Détail des espèces cibles 11

Tableau 2: Taux de rejets effectifs et théoriques observés à bord des chaluts de fond et des chaluts pélagiques, données OBSMER. 27

Tableau 3: Résumé par type de campagne, engin, période et saison des espèces dont la distribution spatiale des rejets a été analysée 28

Tableau 4: Résultats des analyses géostatistiques des données de campagnes scientifiques MEDITS et PELMED 29

Tableau 5: Résultats des analyses géostatistiques pour le merlu (*M.merluccius*), données OBSMER. .. 29

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier particulièrement Sandrine Vaz pour m'avoir si bien accompagné dans la réalisation de mon travail et pour m'avoir fait confiance. Merci pour son suivi constant, ses précieux conseils et sa bonne humeur au cours de mes six mois de stage. Merci enfin de m'avoir permis d'embarquer avec elle sur la campagne vidéo des fonds marins du projet Galion.

Je remercie aussi l'équipage du Juliath, le patron Arnaud et les matelots Thomas, Johan et Samir pour leur accueil et leur bonne humeur durant les trois jours à bord pour filmer les fonds marins. Merci également à Fabien, technicien des pêches à l'IFREMER Lorient pour sa gentillesse et son partage de connaissances sur les techniques de pêche.

De plus je remercie Angélique Jadaud, responsable de la campagne océanographique MEDITS, pour ses remarques et conseils avisés concernant la pêche chalutière dans le golfe du Lion.

Je remercie également l'AMOP, particulièrement Delphine Cornella et l'observatrice Colette, ainsi que l'équipage du Nathalie Vincent II, Patrick, Ahmed et le patron Vincent, pour m'avoir permis le temps d'une journée d'embarquer à bord d'un chalutier et de jouer les apprentis pêcheurs.

Merci également aux techniciennes de l'IFREMER Blandine et Lucie de m'avoir acceptée dans leur laboratoire pour quelques manipulations sur le merlu.

Enfin je tiens à remercier toute l'équipe de stagiaires de la bibliothèque ainsi que les doctorants et le personnel de la station Marbec pour avoir contribué à la bonne ambiance générale durant ces six mois de stage. Je remercie particulièrement Margaux, ma collègue de travail sur le projet Galion, pour sa fantaisie et ses leçons de rattrapage en écologie marine. Merci également à Carlos pour sa joie de vivre et ses expressions mémorables, à Camille et son enthousiasme sans faille, à Ivano pour ses réflexions philosophiques et à Paul et ses talents pour organiser des bons moments. Merci à la pétillante Yelena, à Taha pour ses cours de marocain ainsi qu'à Pablo pour ses bons petits plats. Je remercie aussi le benjamin de l'équipe Andéol, mon voisin de bureau Guillaume, Deddah, François, Aliou et Romaric.

Résumé

Les pêcheries chalutières dans le golfe du Lion sont multi-spécifiques et très peu sélectives. La majorité des espèces cibles sont soumises à une Taille Minimale de Capture (TMC) en-deçà de laquelle il est interdit de débarquer toute capture, aboutissant à des taux de rejets importants. Depuis début 2016, la nouvelle Politique Commune de Pêche (PCP) prévoit l'obligation de débarquement de ces espèces sous TMC sans pour autant autoriser leur commercialisation à des fins de consommation humaine. Le projet Galion dans lequel s'inscrit cette étude fait réponse à cette obligation de débarquement et a pour but de limiter les captures d'espèces commerciales sous TMC afin de permettre une exploitation plus durable de ces espèces. Ce travail a eu pour premier objectif de cartographier les captures et rejets de la pêche chalutière dans le golfe du Lion. Pour cela, les données d'observations OBSMER ainsi que celles des campagnes scientifiques MEDITS et PELMED ont été analysées géostatistiquement puis interpolées par krigeage. Les cartes de distribution des individus sous TMC produites ont ensuite été utilisées pour répondre au deuxième objectif de cette étude, à savoir la planification spatiale des pêcheries. Un grand nombre de scénarios d'évitement ont été générés afin de mettre en évidence les zones stratégiques à éviter pour protéger les individus sous taille. Pour chacun des scénarios, trois degrés de protection de la pêche ont été considérés afin d'assurer un maintien de cette activité. Cette étude a permis de montrer la part importante de la côte, tant dans la pêche chalutière que dans la préservation des individus sous TMC et a ainsi souligné la nécessité de trouver des compromis de gestion dans cette zone. Les scénarios de planification saisonniers pourront servir de base à la réflexion entre scientifiques et pêcheurs dans l'élaboration de ces plans de gestion.

Mots clés : pêche chalutière, rejets, obligation de débarquement, spatialisation, planification spatiale, golfe du Lion

Abstract

Trawl fisheries in the golf of Lion are multispecies and multigear. Most of the target species are regulated by Minimum Landing Sizes (MLS) under which captures are not allowed to be landed, which brings about high levels of discards. Since the beginning of 2016, the new Common Fisheries Policy (CFP) has obliged discards landing but has not allowed their selling for human consumption though. In response to this new policy, the project Galion aims at reducing undersized commercial species in order to allow a sustainable exploitation of these fishery resources. This study takes part into that project ; its first goal is to map the captures and the undersized species distribution of trawl fisheries in the golf of Lion. Thus, observation data from OBSMER and scientific surveys MEDITS and PELMED were geostatistically analyzed and interpolated with kriging method. Distribution maps of undersized commercial species were then used to achieve the second goal, which is spatial planification. Many avoidance scenarios were produced in order to identify strategic zones that need to be avoided to protect undersized commercial species. For every scenario, three protection degrees of trawl fishery were considered to maintain this activity. This study showed that the coastal zone was the most important one for both trawl fisheries and undersized species protection, and thus underlined the necessity to find management compromise in this area. Seasonal scenarios of spatial planification represent an interesting baseline for discussion between scientists and fishermen and then could help to elaborate management plans.

Key words : trawl fisheries, discards, discard ban, spatialisation, spatial planification, golf of Lion

1. Introduction et contexte de l'étude

1.1. La pêche chalutière en Méditerranée française et dans le golfe du Lion

En Méditerranée française, la flottille chalutière est composée de 70 navires de 18 à 25 m de long, dont 61 dans la partie continentale et le restant en Corse. Elle représente ainsi 5% du nombre total de navires de la façade méditerranéenne et près de 12% des pêcheurs embarqués. Néanmoins, cette flottille fournit entre 85 et 90% des apports en produits frais de la mer en Méditerranée avec environ 10 000 tonnes débarquées par an, soit l'équivalent de 35M€ ou 75% du chiffre d'affaire des criées. L'effort de pêche est réparti sur l'ensemble du plateau continental du golfe du Lion et principalement dans les zones côtières comprises entre 3 et 12 milles nautiques (NM) (40% de l'effort de pêche) (Figure 1) [1]. Dans le golfe du Lion, les pêcheries sont organisées autour de six grands ports principalement : Sète, Le Grau-du-Roi, Port-la-Nouvelle, Agde, Port-de-Bouc et Port-Vendres.

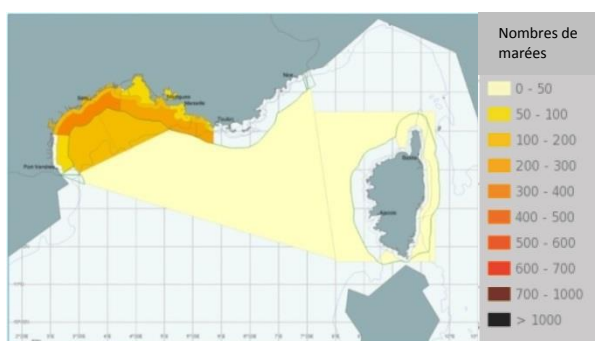


Figure 1: Nombre de marées réalisées en Méditerranée par les chaluts de fond en une année. Source : SIH, Synthèse des flottilles de pêche 2012

Le chalut de fond, ou chalut démersal, est l'engin le plus utilisé par la flottille chalutière. Il s'agit d'un filet en forme conique remorqué par un navire et traîné pendant plusieurs heures sur les fonds marins, au niveau des zones benthiques (au fond des mers) et démersales (au-dessus du fond). Le chalut est maintenu en contact avec le fond grâce à des bourrelets lesteurs, son ouverture est quant à elle assurée par des panneaux et des flotteurs situés sur sa partie supérieure. Le chalut de fond à panneaux (OTB) (Figure 2.a) est le plus utilisé en Méditerranée, suivi depuis 2010 par le chalut de fond jumeau (OTT) (Figure 2.b). De par la polyvalence des navires, le chalut pélagique à quatre panneaux (OTM) (Figure 2.c) peut aussi être utilisé. Dans ce cas, le filet est traîné dans la couche d'eau superficielle afin de capturer les poissons petits pélagiques qui s'y trouvent.

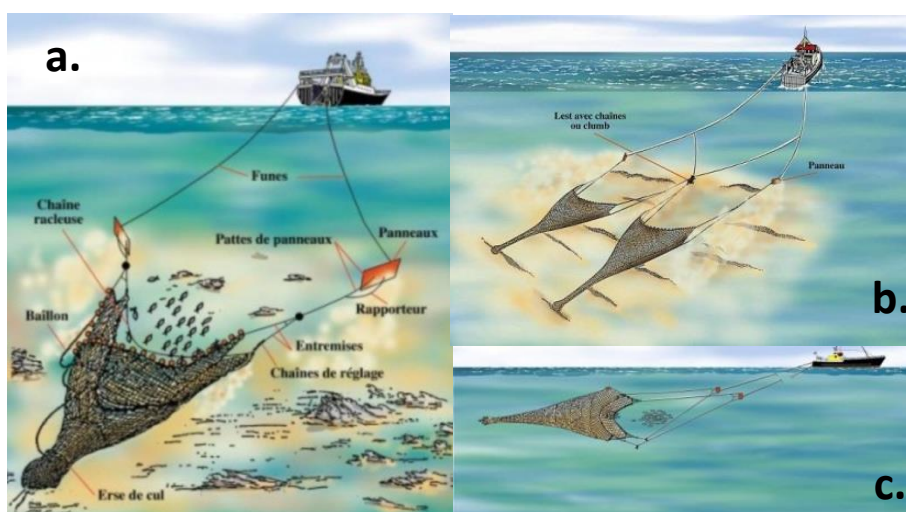


Figure 2: schémas explicatifs du a. chalut de fond à panneaux (OTB), b. chalut de fond jumeaux (OTT) et c. chalut pélagique (OTM). Source : IFREMER

Les pêcheries chalutières sont multi-spécifiques et ciblent donc un grand nombre d'espèces comme le merlu (*Merluccius merluccius* (Linnaeus, 1758)), la baudroie (*Lophius piscatorius* (Linnaeus, 1758)), les rougets (*Mullus* spp.), les chinchards (*Trachurus* spp.), les pageots (*Pagellus* spp.), le poulpe (*Octopus vulgaris* (Cuvier, 1797)), la roussette (*Scyliorhinus canicula* (Linnaeus, 1758)), l'encornet (*Loligo vulgaris* (Lamarck, 1798)), le bar (*Dicentrarchus labrax* (Linnaeus, 1758)) ou encore la sole (*Solea vulgaris* (Linnaeus, 1758)). Les petits pélagiques, appelés poissons bleus, comme l'anchois (*Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758)) et la sardine (*Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792)) sont les cibles principales capturées par les chaluts pélagiques [1].

1.2. Contexte réglementaire et gestion des pêches

En France et en Europe, les ressources halieutiques sont gérées par stock, c'est-à-dire par population d'une espèce dans une zone donnée. Contrairement à certains stocks de la façade atlantique française, et à l'exception du stock de thon rouge, les captures en Méditerranée ne sont pas limitées par des quotas ou des taux admissibles de capture (TAC). A l'inverse, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et l'UE ont instauré des tailles minimales de capture (TMC) pour la plupart des stocks exploités qui sont également reprises dans les textes européens. Ces TMC ont pour but de favoriser la survie des juvéniles (poissons sexuellement immatures) et ainsi permettre un renouvellement suffisant des stocks. Elles concernent une vingtaine d'espèces de poissons, quatre espèces de crustacés et trois espèces de mollusques [2]. Jusqu'alors, il était interdit de débarquer et de commercialiser des individus en deçà de cette TMC et ces derniers étaient alors simplement rejetés par-dessus bord. Afin de limiter cette part de rejets importante et réduire la capture d'individus trop petits, l'Union Européenne (UE) rend progressivement obligatoire, entre 2015 et 2017, le débarquement de l'ensemble des rejets issus de TAC et de TMC. De ce fait, les captures sous-taille en Méditerranée ne pourront toujours pas être commercialisées pour la consommation humaine mais devront être conservées à bord, débarquées et déclarées. En Méditerranée, cette nouvelle mesure concerne d'abord les petits pélagiques (depuis 2015), c'est-à-dire les anchois et sardines vivant dans la couche d'eau superficielle, puis les espèces démersales (à partir de 2017), celles présentes près des fonds marins, et enfin l'ensemble des espèces soumises à des TMC en 2019.

Afin par ailleurs d'augmenter la sélectivité des chaluts et ainsi de réduire la capture d'individus trop petits, les chalutiers sont réglementés sur le maillage de leurs filets. La Commission Générale des Pêches pour la Méditerranée (CGPM) a effectivement imposé depuis 2008 un maillage en cul de chalut carré de 40 mm ou losange de 50 mm sous demande de dérogation avec justification de la part de [3]. En pratique, encore beaucoup de chaluts sont équipés de filets à mailles en losange de 38 mm, filets très peu sélectifs utilisés traditionnellement par ces pêcheries avant la mise en place des réglementations.

Enfin pour éviter la surexploitation des ressources, les chalutiers sont aussi réglementés sur le nombre de jours en mer. Depuis 2013, l'effort de pêche moyen autorisé est de 200 jours par an et par navire. En pratique, parce qu'ils ne pêchent pas les week-ends ou les jours de mauvaise météo, les chalutiers dépassent rarement les 200 jours annuel ; le cas échéant, il est possible d'étendre ce quota jusqu'à 250 jours en procédant à des « échanges » de jours entre navires [4]. De plus, les marées (temps passé en mer à pêcher) des chalutiers en Méditerranée sont limitées à la journée.

1.3. Surexploitation des stocks

En Méditerranée, et particulièrement en Méditerranée Occidentale, la majorité des stocks sont dans un état critique de surexploitation. Le Conseil Scientifique Technique et Economique des Pêches (CSTEP) a effectivement estimé que sur les 44 stocks évalués, seuls quatre sont exploités avec une mortalité conforme à l'objectif du Rendement Maximal Durable (RMD), rendement à long terme qui vise à assurer une exploitation des ressources halieutiques dans des conditions économiques, environnementales et sociales durables. A l'inverse, plus de 90% des stocks évalués sont surexploités ou en déséquilibre écologique : c'est

le cas notamment des stocks de merlu, de rougets ou de sardine [5]. L'évaluation de l'ensemble de ces stocks montre par ailleurs que la pression de pêche moyenne exercée est plus de deux fois supérieure à l'objectif d'une gestion de RMD et plus de 10 fois supérieure dans le cas du merlu dans le golfe du Lion où les chalutiers français sont responsables de la très grande majorité des captures de cette espèce [6].

1.4. Rejets en mer : quantification, causes et effets

Le terme rejet désigne toute capture non débarquée et rejetée en mer, qu'elle soit morte ou vivante. La part annuelle de rejets en Méditerranée est estimée à 230 000 tonnes, soit environ 18,6% de l'ensemble des captures réalisées [7]. La pêcherie chalutière, parce qu'elle est multi-spécifique et non sélective, est en grande partie responsable de ce fort taux de rejets. Plusieurs facteurs d'ordre socio-économique, environnemental ou encore biologique sont à l'origine de cette pratique. Conformément à la réglementation tout d'abord, tout individu capturé en dessous de sa TMC doit être rejeté en mer. Pour des raisons économiques et de logistique, il peut aussi être choisi de rejeter tous les individus d'une espèce à faible valeur commerciale et ainsi garder de l'espace à bord pour les espèces intéressantes à la vente. Enfin, un individu peut être rejeté parce qu'il a été trop abîmé par le chalut et ne pourra donc être commercialisé. En pratique, et surtout en Méditerranée, les observations en mer ont révélé que beaucoup d'individus sous taille ne sont pas rejetés en mer comme le spécifie la réglementation mais sont bels et bien débarqués et commercialisés (Figure 3). La part de rejets théoriques (individus sous TMC) débarquée peut varier en fonction des saisons et des lieux. Elle dépend de la taille globale des captures, de leur abondance saisonnière mais aussi de la demande des consommateurs et du reste de la capture effectuée [7].

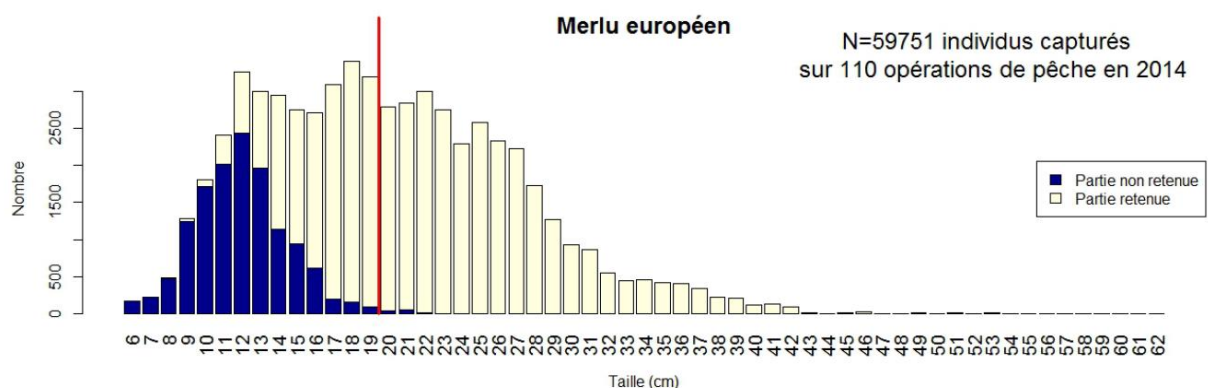


Figure 3: Histogramme de taille des rejets effectifs (bleu) et de l'ensemble des captures (jaune) du merlu (*M. merluccius*). Exemple de la flottille française, chalut de fond à panneaux (OTB). La ligne rouge représente la TMC. Source : Cornou & al. (2015)

En plus d'entraîner une surmortalité des espèces rejetées et de participer à la diminution et à la mauvaise estimation des stocks, cette pratique pourrait altérer la structure et le fonctionnement des écosystèmes. La biomasse morte rejetée peut effectivement profiter à certains charognards ou autres espèces opportunistes et ainsi perturber la chaîne trophique [8]. Elle peut aussi impacter la production primaire en étant à l'origine d'une remise en suspension de nutriments [9]. Mais ces rejets peuvent également avoir des effets positifs en tant que source de nourriture pour certaines espèces cibles de la pêche ainsi que pour plusieurs espèces d'oiseaux marins [10]. De façon générale, l'apport continu de rejets issus de la pêche a certainement entraîné des perturbations environnementales, elles-mêmes responsables de l'altération de la stabilité de chaînes trophiques et de communautés.

Plusieurs mesures, telles que l'amélioration de la sélectivité des engins ou la réduction de l'effort de pêche, ont été proposées pour réduire les rejets et éviter ce que certains qualifient de « gaspillage » de la ressource halieutique [11]. Cependant aucune de ces mesures n'est appliquée de façon stricte et homogène sur l'ensemble des pays de l'UE. Seules la Norvège, l'Islande et les îles Féroé ont depuis plusieurs années mis en place une politique d'interdiction des rejets en obligeant les navires à débarquer toutes les captures.

L'obligation de débarquement instaurée par la Commission Européenne est la première réglementation commune en termes de gestion et de réduction des rejets. Néanmoins cette nouvelle mesure fait l'objet de nombreuses interrogations, débats et oppositions, tant sur sa mise en place, ses implications (nécessité de mettre en place un suivi, création de nouvelles infrastructures pour stocker les rejets en mer et à terre, aides financières aux pêcheurs *etc.*) que sur son efficacité. Plus que jamais il apparaît nécessaire de repenser les techniques de pêche afin de réduire les captures non désirées et de « trier sur le fond plutôt que sur le pont ».

1.5. Impact du chalutage démersal sur les fonds et les habitats benthiques

Outre les forts taux de rejets, le chalutage démersal est à l'origine de perturbations sur les fonds et les habitats benthiques. En effet, de par la surface qu'il balaye et la pression appliquée sur le substrat, ce métier est considéré comme le plus impactant des arts traînants en Méditerranée. D'un point de vue physique tout d'abord, il provoque la remise en suspension des sédiments meubles, ce qui peut contribuer à accentuer la dispersion de certains matériaux lourds et de contaminants sur le plateau continental. Le chalutage de fond entraîne aussi la remise à disposition de substances nutritives et énergétique pour les êtres vivants, ce qui peut provoquer des modifications importantes de la dynamique trophique de certaines communautés benthiques (celles qui vivent uniquement sur le substrat) [12]. Par ailleurs, ces habitats benthiques servent souvent de nourriceries et de lieux de refuges pour les juvéniles d'espèces commerciales. En dégradant ces lieux privilégiés, le chalutage de fond peut limiter ainsi le recrutement de ces espèces et provoquer leur remplacement par des espèces moins commercialisables [13].

1.6. Réduction de l'effort de pêche et changement de stratégie de pêche

Associée à la chute des stocks, le nombre de captures débarquées s'est vu lui aussi fortement diminué, et ce particulièrement depuis 2008 où une chute de près de 80% de la biomasse débarquée a été enregistrée (Figure 4).

Alors que la production totale en Méditerranée s'élevait avant 2008 à environ 16 000 T (dont plus de la moitié de sardines et d'anchois), elle est aujourd'hui estimée inférieure à 10 000 T, avec moins de 30% de petits pélagiques. Suite à la diminution des stocks et des captures débarquées, une réduction de l'effort de pêche a été opérée durant ces dernières années au travers de la diminution du nombre de navires. En effet, le nombre de chalutiers a chuté de moitié en dix ans, passant de 134 navires en 2005 à 100 en 2010, puis finalement à 70 en 2014. Cette diminution de la

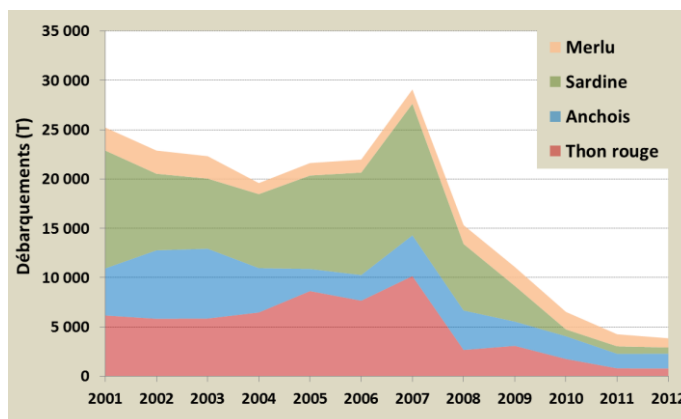


Figure 4: Suivi de la biomasse débarquée (T) des principales espèces commercialisées en Méditerranée. Source: IFREMER Sète

taille de la flottille a été rendue possible par des plans de sortie de flotte atténuant les effets socio-économique de ces cessations d'activités. Trois facteurs peuvent être soulignés pour expliquer le manque de viabilité économique de l'activité: 1) le coût du carburant qui en moyenne représente 30%, voire jusqu'à 50%, du chiffre d'affaire, 2) le renforcement des contraintes réglementaires, 3) la raréfaction du poisson bleu (anchois et sardines) en raison des modifications environnementales [14]. Ce dernier facteur a également été responsable d'une modification des stratégies de pêche à partir de 2009-2010 puisque les chalutiers qui ciblaient essentiellement ces deux poissons pélagiques (environ 80% des débarquements) ont été contraints par leur effondrement de redéployer leur effort sur les espèces démersales en changeant d'engin de pêche [15].

Par ailleurs, une fermeture temporaire des pêcheries chalutières a été mise en place entre 2011 et 2013 par les pêcheurs eux-mêmes, et ce durant un mois pendant les périodes de fort recrutement (fin de l'hiver et début de printemps) afin d'aider au rétablissement des stocks [16].

1.7. Planification spatiale et nouveaux modes de gestion de la pêche

Aux réglementations sur les TMC et la sélectivité des chaluts viennent s'ajouter depuis plusieurs années des réglementations spatiales et temporelles, c'est-à-dire des zones dites protégées où l'effort de pêche y est plus ou moins réglementé, et ce de manière saisonnière ou pérenne. Les zones de fermeture à la pêche se sont effectivement révélées être un outil de conservation pertinent pour stopper le déclin des stocks surexploités en augmentant la biomasse, l'abondance et la taille moyenne des espèces commercialisées [17, 18]. Le plus souvent il s'agit de nourriceries ou de lieux avec une forte densité de juvéniles. Ces zones de fermeture à la pêche pourraient ainsi être un outil intéressant de gestion et de planification spatiale des pêcheries, notamment pour les pêcheries multi-spécifiques [19].

Dans le golfe du Lion, il existe cinq types de zones protégées (Figure 5). La « Fishing Restricted Area (FRA) : the continental slope of the Eastern Gulf of Lion (COSEGOL) » tout d'abord, située au sud-est de la zone d'étude, est la seule où la pêche y est gelée pour les navires dont l'activité a débuté après 2008 (date de création de cette zone), et ce afin d'y limiter l'effort de pêche et d'atteindre le Rendement Maximum

Durable [20]. Le reste des zones protégées correspond aux zones Natura 2000 sous Directive Oiseaux et Directive Habitats-Faune-Flore, au Parc Naturel Marin (PNM) du golfe du Lion, à la réserve de biosphère (extension du Parc Naturel Régional de Camargue) et aux Aires Spécialement Protégées d'Importance Méditerranéenne (ASPIM) : FR3 (Parc Marin de la Côte Bleue) et ES4 (Parc Naturel de Cap de Creus) [21]. A l'heure actuelle, aucune d'entre elles ne proposent de restriction explicite d'accès aux pêcheries professionnelles.

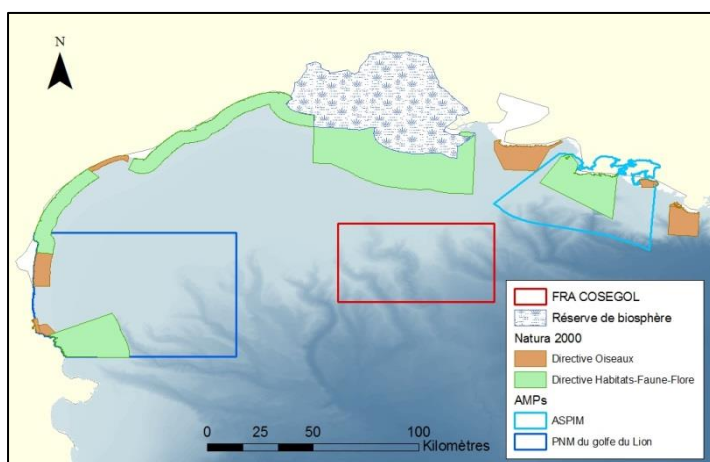


Figure 5: Localisation des zones protégées dans le golfe du Lion

1.8. Objectifs du projet Galion

C'est dans le contexte de raréfaction des ressources halieutiques, de l'implantation de la réglementation de débarquement des rejets et de la nécessité de développer une gestion spatialisée des pêcheries qu'a été mis en place le projet Galion, Gestion Alternative de la ressource du golfe du Lion. Ce projet est porté par l'Association Méditerranéenne des Organisations de Producteurs (AMOP), une association de pêcheurs fondée en 1994 dont l'un des objectifs est d'assurer une meilleure gestion et valorisation des produits de la pêche. Réalisé en partenariat avec l'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER) et financé par France Filière Pêche, ce projet de trois ans a pour but de définir de nouveaux modes de gestion pour la pêche chalutière dans le golfe du Lion. Il est intégré au projet européen Discardless (2015-2018) qui vise à évaluer les impacts des rejets sur l'environnement marin, sur l'économie et sur l'ensemble de la société. Le projet Galion repose sur plusieurs volets techniques et scientifiques. Le premier vise à utiliser la connaissance de la distribution des captures des pêcheries chalutières afin de limiter les captures d'espèces commerciales sous TMC, et donc des rejets et ainsi permettre une exploitation plus durable de ces espèces. Ce volet se décompose en quatre phases : 1) mise en place d'un suivi des captures par des observateurs à

bord des chalutiers, 2) cartographie de la distribution des captures et rejets, 3) évaluation de la sensibilité des fonds au chalutage afin de proposer des stratégies d'évitement limitant les déplacements d'effort vers des zones sensibles, et 4) proposition de stratégies de zonage et simulation des impacts de ces stratégies. Le deuxième volet quant à lui a pour but de connaître la sélectivité des chaluts en étudiant particulièrement le nombre total de poissons entrant dans le filet et celui retenu dans la poche terminale et de quantifier l'impact économique direct et à court terme d'une amélioration de la sélectivité.

1.9. Problématique et objectifs de stage

Cette étude s'intègre dans le premier volet de Galion et a pour but de réduire les captures d'individus sous TMC d'espèces commerciales. Elle se doit donc de répondre aux questions suivantes : i) où se situent dans l'espace et le temps les individus sous-taille d'espèces exploitées, ii) quelles sont les zones économiquement intéressantes pour les pêcheurs car riches en captures et, iii) quelles stratégies de zonage faudrait-il adopter pour limiter les rejets tout en assurant un maintien des pêcheries chalutières et en évitant les habitats benthiques sensibles aux chalutages. Pour ce faire, deux grands objectifs ont été définis dans cette étude :

- 1) Cartographier la distribution des captures et des rejets (individus sous TMC) des espèces commerciales et mettre en évidence de zones de récurrence multi-annuelles fortes où les espèces cibles sont dominées par des individus sous-taille.
- 2) Proposer des planifications spatiales des pêcheries chalutières en identifiant des zones d'évitement (saisonniers ou pérennes) de telle sorte que d'une part les taux de rejets et la sensibilité des habitats au chalutage soient forts, et d'autre part que l'effort de pêche soit faible.

Il est important de noter que dans cette étude, le terme rejet ou rejet théorique renvoie uniquement aux individus sous-taille qui devraient normalement faire l'objet de rejets en mer et ne pas être commercialisés. Ainsi, les espèces rejetées parce qu'elles ne sont pas rentables économiquement ou parce qu'elles ne sont pas en bon état pour être commercialisées ne sont pas étudiées ici. Ces rejets se distinguent des rejets effectivement observés (beaucoup plus bas) en ce qu'ils correspondent strictement à la fraction sous TMC.

2. Matériels et méthodes

2.1. La zone d'étude

Cette étude a été réalisée sur l'ensemble du golfe du Lion, couvrant près de 10 000 km² au Nord-Ouest de la mer Méditerranée, depuis la frontière espagnole à l'ouest jusqu'à Marseille à l'est (42°26'N, 3°00'E – 43°40'N, 5°28'E). Cette zone est caractérisée par un large plateau continental (> 60 km) de faible profondeur (< 100 m) et est bordée par des canyons sous-marins dépassant les 500 m de profondeur. Le golfe du Lion est une zone particulièrement productive en Méditerranée de par des imports rhodaniens et des upwelling locaux (phénomènes océaniques dus à de forts vents marins qui font remonter les eaux du fond et une quantité importante de nutriments) [22] et d'une grande richesse spécifique. Le plateau continental est principalement composé de fonds meubles sableux et vaseux [23].

2.2. Les données issues de campagnes et de programmes de suivi halieutique

Quatre jeux de données ont été utilisés pour cartographier la distribution spatio-temporelle des captures et des rejets dans le golfe du Lion.

2.2.1. MEDITS : campagne de suivi internationale de chalutage démersal en Méditerranée

Les données utilisées pour représenter les rejets d'espèces démersales proviennent de la campagne internationale d'évaluation des ressources démersales en mer Méditerranée, également appelée campagne MEDITS. Le projet MEDITS, à l'origine de cette campagne, a été créé en 1994 dans le but de définir un protocole de suivi uniforme (méthodologie, protocole d'échantillonnage, taille et forme de la maille du filet *etc.*) entre plusieurs centres de recherche en Méditerranée issus des pays membres de l'Union Européenne [24]. Dans le golfe du Lion, 74 stations fixes sont chalutées chaque année de mai à juin. Ces stations ont préalablement été déterminées de telle sorte à représenter les cinq classes de profondeur présentes dans la zone d'étude (10–50 m, 50–100 m, 100–200 m, 200–500 m et 500–800 m) (Figure 6). Les coups de chalut réalisés se font à vitesse constante de trois nœuds et durent trente minutes sur les stations les moins profondes (10–200 m) et soixante minutes pour les plus profondes (> 200 m) de sorte à compenser la plus faible capturabilité (capacité à capturer des individus) de certaines espèces sur de tels substrats. Le filet utilisé est volontairement sélectif (maillage losange de 10 mm en fin de chalut) pour échantillonner un maximum d'espèces démersales. Pour chaque trait, c'est-à-dire coup de chalut, la localisation, la distance parcourue ainsi que l'ouverture entre les ailes du chalut sont enregistrées. De plus, les espèces contenues dans chaque capture sont triées, comptées, mesurées et pesées [24]. C'est ainsi qu'il est possible de discriminer les individus sous-taille, qualifiés de rejets théoriques dans cette étude, du reste de la capture qui est commercialisable. Finalement, en considérant que la capturabilité du chalut expérimental est constante sur l'ensemble des observations, il est possible de déterminer une abondance, totale ou de rejets, en divisant le nombre d'individus par la surface chalutée, et ce pour chaque points fixes échantillonnés.

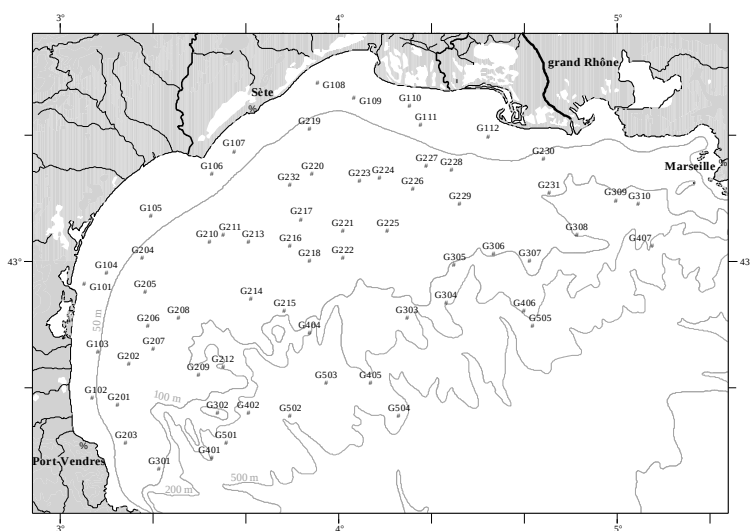


Figure 6: Carte des stations échantillonnées par MEDITS

2.2.2. PELMED : campagne d'évaluation des ressources de petits poissons pélagiques en Méditerranée

Afin de cartographier les rejets de petits poissons pélagiques, les données de la campagne scientifique PELMED ont également été utilisées dans cette étude. Réalisée en juillet depuis 2003 par l'IFREMER, il s'agit d'un suivi acoustique couplé à des chalutages d'identification, l'ensemble ayant pour but d'évaluer en Méditerranée les ressources de petits poissons pélagiques, principalement d'anchois et de sardines. L'échantillonnage se fait le long de neuf transects parallèles séparés entre eux d'une distance de 12 NM ; sur chaque transect cinquante points distants d'1 NM sont échantillonnés (Figure 7). Les données acoustiques sont enregistrées tous les 1 NM à l'aide d'échosondeurs multifréquence (Simrad EK500 et ER60) : quatre fréquences sont utilisées pour repérer les bancs de petits pélagiques mais seules les écoutes réalisées à 38 Hz servent au calcul de densité. Comme pour la campagne MEDITS, les poissons capturés sont mesurés, ce qui permet de discriminer les individus sous-taille du reste de la capture.

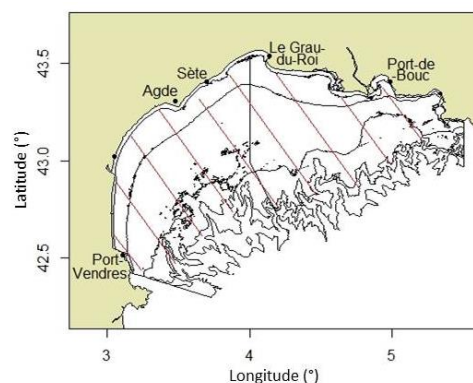


Figure 7: Carte des transects échantillonnés par PELMED

2.2.3. OBSMER : programme d'observations à bord des navires de pêche professionnelle

Pour compléter les abondances de rejets issues des campagnes scientifiques, des données d'observation *in situ* de l'activité de pêche ont également été utilisées. Ces données sont issues du programme ObsMer, une action menée en partenariat par le Comité National des Pêches Maritimes et des Elevages Marins (CNPME), la Direction des Pêches Maritimes et de l'Aquaculture (DPMA), le Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer et l'IFREMER, et s'inscrivent dans le Plan gouvernemental pour une Pêche Durable et Responsable (PPDR). En effet, ces observations ont pour but de calculer des indicateurs de capture aux échelles régionales, nationales et européennes et ainsi d'aider à l'évaluation des stocks. Chaque année, les observations sont réalisées tous les mois sur l'ensemble des façades maritimes de France par des dizaines d'observateurs embarqués sur des navires de pêche professionnelle. Pour une fraction seulement des opérations de pêche (calée et remontée du chalut) (un à deux tiers), la partie retenue, dite débarquée, et la partie non retenue, dite rejetée, sont analysées par l'observateur : celui-ci identifie les espèces puis compte, pèse, mesure et, si besoin, détermine le sexe pour chacun des individus. De plus, tous les débarquements, même ceux qui ne font pas l'objet d'une observation détaillée (sexe et classes de taille non identifiées), sont pesés et dénombrés. Dans le golfe du Lion, trois types d'engins de chalutage sont échantillonnés tous les mois par un même observateur : le chalut de fond à panneaux (OTM), le chalut de fond jumeaux (OTT) ciblant tous deux les espèces démersales, et le chalut pélagique à panneaux (OTM) ciblant les petits pélagiques. Pour chacun de ces métiers et pour chacune des parties observées, qu'elle soit débarquée ou rejetée, il est possible d'avoir par mois le nombre total et la taille des individus échantillonnés.

2.2.4. Vessel Monitoring System (VMS) : programme de surveillance satellite des pêcheries

Le dernier jeu de données utilisé dans cette étude est issu du programme VMS de surveillance satellite des pêcheries (Figure 8). Ce programme mis en place depuis 2005 en Europe renseigne pour chaque navire (> 15 m depuis 2005 et > 12 m depuis 2012) sa position, sa vitesse et son activité à intervalles réguliers [25]. Ces données sont ensuite traitées pour détecter en fonction de la vitesse, du métier pratiqué et de la position du port le plus proche, si les navires sont en pêche ou en transit. A partir de ces données, et en les croisant avec les données de production déclarées par chaque navire par les halls de vente, il est possible de calculer et de localiser l'effort de pêche (en nombre d'heure de pêche) et de géoréférencer les captures a posteriori (hypothèse de répartition homogène de la capture totale débarquée sur toutes les zones de pêche de la période

correspondante. Ici les données VMS ont été agrégées sur un pas de temps mensuel par navire et métier ; de plus la valeur en euros de l'ensemble des captures effectuées par navire et type d'engin durant un mois et sur une zone donnée a été calculée à partir du prix de vente déclaré. Elles ont ensuite été regroupées sur une grille régulière de 3' (équivalent à 0,05° décimal). Ainsi pour un navire, un engin et un mois donnés, chaque cellule de 3' de côté contient la valeur en euros associée aux captures réalisées durant un mois au sein de cette cellule.

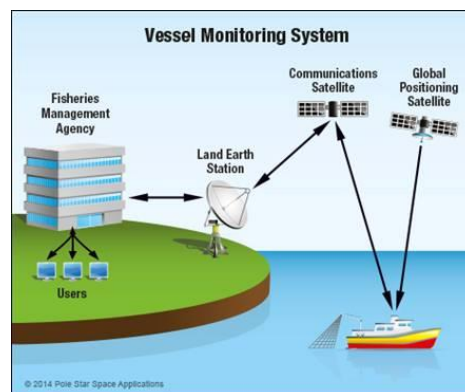


Figure 8: Schéma explicatif du programme VMS de surveillance par satellite des pêcheries. Source : AFMA (the Australian Fisheries Management Authority)

2.3. Les espèces cibles

L'objectif du projet Galion étant de limiter les rejets des espèces commerciales sous-taille, il a été choisi de ne travailler que sur les espèces de poissons, crustacés et mollusques pour lesquelles la FAO et l'UE ont fixé une taille minimale de capture (TMC) [2]. Dans le golfe du Lion, cela concerne 24 espèces de poissons et deux espèces de crustacés. Néanmoins, parce les campagnes et les programmes de suivi présentés précédemment ne sont pas adaptés pour la capture de l'ensemble de ces 26 espèces, il n'a pas été possible d'obtenir des données de captures pour chacune d'entre elles. Au total 19 espèces démersales, dont deux crustacés, et deux espèces de poissons pélagiques ont donc été ciblées pour cette étude pélagiques (Tableau 1).

Tableau 1: Détail des espèces cibles

PROFONDEUR	NOM SCIENTIFIQUE	NOM VERNACULAIRE	TMC (cm)
	1. Poissons		
Démersal	<i>Dicentrarchus labrax</i>	Loup (Bar)	25
	<i>Diplodus annularis</i>	Sparaillon	12
	<i>Diplodus sargus</i>	Sar à museau	23
	<i>Diplodus vulgaris</i>	Sar à tête noire	18
	<i>Lithognathus mormyrus</i>	Marbré	20
	<i>Merluccius merluccius</i>	Merlu	20
	<i>Mullus barbatus</i>	Rouget barbet de vase	11
	<i>Mullus surmuletus</i>	Rouget barbet de roche	11
	<i>Pagellus acarne</i>	Pageot acarne	17
	<i>Pagellus bogaraveo</i>	Dorade rose	33
	<i>Pagellus erythrinus</i>	Pageot commun	15
	<i>Scomber colias</i>	Maquereau blanc d'Atlantique	18
	<i>Scomber scombrus</i>	Maquereau commun	18
	<i>Solea vulgaris</i>	Sole commune	20
	<i>Sparus aurata</i>	Dorade royale	20
	<i>Trachurus mediterraneus</i>	Chinchard de Méditerranée	15
	<i>Trachurus trachurus</i>	Chinchard commun	15
Pélagique	<i>Engraulis encrasicolus</i>	Anchois	9
	<i>Sardina pilchardus</i>	Sardine	11
	2. Crustacés		
Démersal	<i>Nephrops norvegicus</i>	Langoustine	20 mm CL
	<i>Parapenaeus longirostris</i>	Crevette rose du large	20 mm CL

CL : Carapace Lengh

2.4. Préparation des données d'observation pour l'analyse géostatistique

2.4.1. Calcul de proportion de rejets théoriques pour les données OBSMER

Pour chaque trait de chalut observé par la campagne OBSMER, la proportion de rejets théoriques est donnée par la partie échantillonnée, qu'elle soit débarquée ou rejetée. En effet jusqu'alors, même si en théorie tous les individus sous-taille doivent être rejetés, il apparaît que certains d'entre eux sont bien débarqués et commercialisés avec le reste de la capture (Figure 3). Il a ainsi fallu reconstituer la proportion de rejets théoriques totale pour chaque trait avant de pouvoir en analyser la distribution spatio-temporelle et la cartographier sur l'ensemble du golfe du Lion. Pour chaque espèce et chaque trait échantillonné, cette proportion a été obtenue de la façon suivante :

- Calcul du pourcentage d'individus P_k pour chaque classe de taille k :

$$P_k = \frac{\sum_i N_{i,k}}{\sum_{i,k} N_{i,k}}$$

où $N_{i,k}$ est le nombre d'individus i dans la classe de taille k

- Calcul de taux de rejets théoriques P_j total par trait échantillonné :

$$P_j = \sum_k P_k \times C_k$$

Avec $C_k = 1$ quand la classe de taille k est inférieure à la TMC de l'espèce considérée ; 0 sinon.

Ces taux de rejets théoriques ont alors pu être comparés aux taux de rejets effectifs observés *in situ*.

Puis après avoir été reconstitués pour chaque espèce, trait échantillonné, engin, mois et année, ces taux de rejets théoriques ont été moyennés entre eux sur une résolution de 0,05° décimal (Figure 9), et ce afin de faciliter l'analyse géostatistique par la suite.

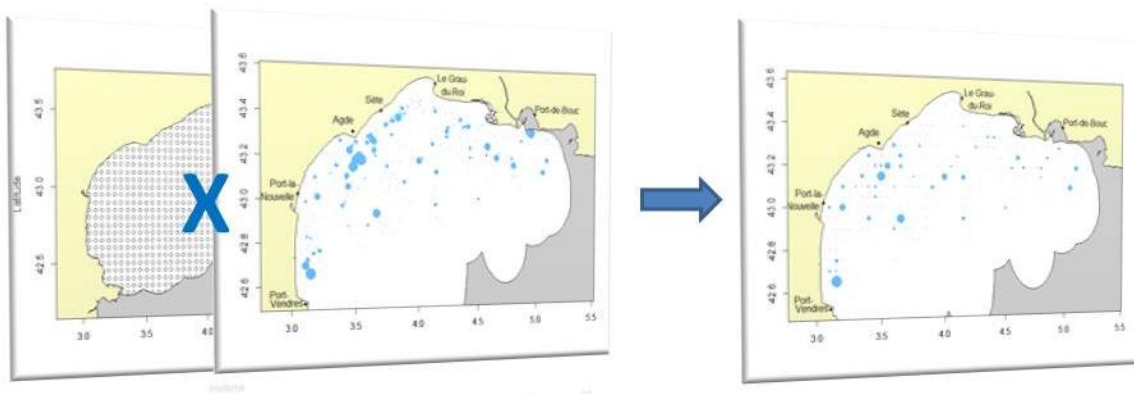


Figure 9: Agrégation des observations de rejets de merlu (*M. merluccius*) par les chaluts démersaux au cours de la 2^e période et la 3^e saison, données OBSMER. Gauche : proportions de rejets non agrégées. Droite : proportions de rejets agrégées sur une résolution de 0,05° décimal

Pour ce faire, des tests statistiques sur les engins, les mois et les années ont été réalisés afin de dégager des regroupements entre traits de chalut échantillonnés. En effet, parce que les deux chaluts de fond (OTB et OTT) ciblent les espèces démersales et que le chalut pélagique (OTM) cible surtout la sardine et l'anchois, il a été choisi de faire un test sur les engins afin de ne travailler par la suite qu'avec deux types d'engins. Des boxplots sur les trois engins et un test d'analyse de la variance sur OTT et OTB ont ainsi été réalisés sur les proportions de rejets issues du suivi OBSMER pour mettre en évidence un possible regroupement sur les engins. De plus, puisque les pêcheries chalutières du golfe du Lion ont dû changer d'espèces cibles suite à l'effondrement du stock de sardines en 2009, concentrant les stratégies de pêche vers quasi exclusivement les

espèces démersales, deux périodes ont été définies pour le reste des analyses : la première période regroupe les années jusqu'en 2009 et la deuxième s'étend de 2010 à 2015. Des boxplots et un test d'analyse de la variance sur ce découpage des années a aussi été réalisé afin de voir si statistiquement ces deux périodes sont significativement différentes. Enfin, des tests sur les mois ont été réalisés afin de mettre en évidence des saisons, c'est-à-dire des groupements de mois durant lesquels la distribution des taux de rejets issus d'OBSMER est semblable. Pour ce faire, un modèle linéaire généralisé (glm) a d'abord été réalisé pour montrer comment évoluent les taux de rejets théoriques en fonction des mois. Un coefficient a ainsi été attribué à chacun des mois de l'année en fonction de sa contribution au taux de rejets. Une analyse en composante principale (ACP) et une classification hiérarchique en composantes principales (HCPH) ont ensuite été faites sur ces coefficients pour classer les mois en fonction des taux de rejets théoriques associés.

2.4.2. Calcul de densité de rejets théoriques à partir des campagnes scientifiques MEDITS et PELMED

Parce que les données des campagnes scientifiques sont issues d'un protocole d'échantillonnage régulier, aucune agrégation n'a été réalisée. La résolution de traitement de ces données correspond donc à celle de l'échantillonnage, à savoir 0,1° décimal pour les observations de MEDITS et 1 NM pour celles de PELMED.

Pour ces données, contrairement à celles d'OBSMER, il a été possible de calculer par espèce et par trait de chalut une densité de rejets théoriques.

- Calcul du nombre d'individus N_i et de rejets N_{ri} par fraction i (échantillon de la capture totale):

$$N_i = \frac{[\text{Poids de la fraction}]}{[\text{Poids total de la capture}]} \times \sum_k N_{i,k}$$

$$N_{ri} = \frac{[\text{Poids de la fraction}]}{[\text{Poids total de la capture}]} \times \sum_k N_{i,k} \times C_k$$

Où $N_{i,k}$ est le nombre d'individus échantillonnés par classe de taille k au sein de la fraction i . $C_k = 1$ quand la classe de taille k est inférieure à la taille minimale de capture de l'espèce considérée ; 0 sinon.

- Calcul de la densité de rejets D par trait de chalut au km²:

$$D = \frac{\sum_i N_{ri}}{[\text{distance chalutée}] \times [\text{ouverture des ailes du chalut}]}$$

2.5. Analyse et cartographie de la distribution spatio-temporelle des rejets

L'un des objectifs de cette étude étant de décrire la distribution spatiale des rejets des espèces cibles, la structure spatiale des observations pour chacune de ces espèces a donc été analysée puis interpolée par krigeage avant d'être finalement cartographiée. Le traitement des données a été réalisé grâce à des méthodes de géostatistique, particulièrement adaptées aux espèces marines qui peuvent avoir des comportements grégaires mais variables au cours de l'année.

Il est vrai que les espèces marines ont tendance à s'agréger entre elles, et ce parce qu'elles sont soumises soit à des interactions sociales, soit à des facteurs externes de l'environnement (proies, variables physiques etc.) [26]. Ainsi, deux observations proches l'une de l'autre sont supposées se ressembler davantage que deux observations éloignées. Ceci constitue la base de la description géostatistique d'un ensemble d'observations. Dans ce sens, il est possible d'attribuer à cet ensemble d'observations une structure spatiale, c'est-à-dire une corrélation entre des observations séparées d'une certaine distance. En d'autres termes, la structure spatiale renseigne si la corrélation entre deux observations dépend de la distance séparant ces

observations. Elle a été modélisée grâce à un variogramme, une fonction qui mesure des semi-variances, soit des relations entre des paires d'observations séparées par une certaine distance [27].

2.5.1. Distribution non-stationnaire et traitement statistiques des données

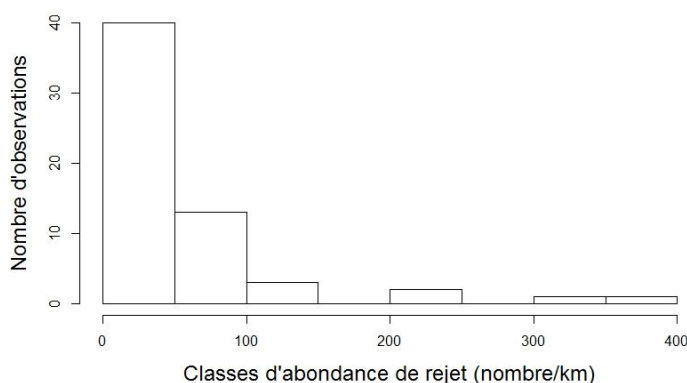


Figure 10: Distribution asymétrique de la densité de rejets. Cas du rouget barbet de vase (*M. barbatus*) en 2015, données MEDITS.

important de vérifier la stationnarité de second ordre des variables, c'est-à-dire vérifier si la moyenne et la covariance restent les mêmes sur toute la zone échantillonnée. Or un examen de la distribution des variables a révélé que cette hypothèse n'était pas vérifiée pour deux conditions. Tout d'abord, comme c'est souvent le cas, les densités ou proportions de rejets étudiées pour chacune des espèces ne sont pas réparties uniformément, ce qui se traduit par une importante proportion de zéros ou de petites valeurs contre une faible proportion de grandes valeurs (Figure 10). De plus, les coefficients d'asymétrie positifs pour la majorité des espèces révèlent un effet de proportion, c'est-à-dire que la variance augmente proportionnellement avec la moyenne localement, et a fortiori sur l'ensemble des observations [28].

En ce qui concerne les données de campagnes scientifiques, les valeurs de densité ont été transformées en utilisant la transformation $\log_{10}(z + 1)$ (où z est la valeur de densité de l'espèce étudiée). Ceci a permis de fixer la variance et donc d'écarter l'effet de proportion. Néanmoins cela n'a pas résolu totalement le problème de non-stationnarité des données puisque la grande proportion de valeurs nulles prises par les variables de densité subsiste. La présence de zéro en un point peut s'expliquer de deux façons : soit l'espèce étudiée est effectivement absente en ce point, soit la technique de pêche utilisée, ici le chalutage ou la détection acoustique, n'est pas adaptée à sa capture de par le comportement même de cette espèce. C'est dans ce dernier cas que l'hypothèse de non-stationnarité n'est pas respectée. D'après un examen trait par trait de l'ensemble des observations, il n'apparaît aucune zone échantillonnée sans aucune observation de quelque espèce que ce soit. De ce fait, la structure spatiale des observations peut être considérée comme quasi-stationnaire sur toute la zone d'étude et l'analyse géostatistique a pu y être menée pour chacune des espèces, à l'exception de la sole. En effet pour cette espèce, parce que les observations de rejets sont très sporadiques, il a été choisi de coder les observations en présence/absence (1 : un ou des rejets ont été observés sur le trait échantillonné / 0 : aucun rejet n'a été observé). Dans ce dernier cas, l'effet de proportion est supprimé et les résultats seront des prédictions spatiales de la probabilité de présence d'avoir au moins un rejet en un lieu donné.

Concernant les données OBSMER enfin, parce qu'il s'agit de taux de rejets compris entre 0 et 1 et que la normalité est globalement respectée, aucune transformation de ces données n'a été réalisée.

2.5.2. Correction des coordonnées

En fonction de l'origine des données, deux types de coordonnées sont utilisées : les degrés décimaux pour la campagne MEDITS et le programme OBSMER, et les milles nautiques (NM) pour le suivi

PELMED. Il est possible de passer d'une unité à l'autre, voire de les transformer en distance métrique avec les conversions suivantes :

$$1 \text{ NM} = 1852 \text{ m}$$

$$1^\circ \text{ latitude} = 60 \text{ NM} = 60 \times 1852 \text{ m}$$

Dans les deux cas, parce que l'analyse de la structure spatiale doit être faite dans un système orthonormé, les coordonnées de longitude ont été corrigées et exprimées dans la même distance métrique que la longitude, et ce en suivant la transformation suivante :

$$\text{longitude corrigée} = \text{longitude} \times \cos\left(\text{latitude} \times \frac{\pi}{180}\right)$$

Une fois l'analyse de la structure spatiale et l'interpolation par krigeage réalisées, les coordonnées ont été retransformées dans leur unité d'origine pour la cartographie.

2.5.3. Analyse de la structure spatiale des rejets

La structure spatiale des espèces cibles a été représentée grâce à un variogramme, une fonction qui résume comment la variance d'une variable évolue quand la distance et la direction d'un couple de points changent (Figure 11). L'analyse géostatistique s'est faite sous R avec le package geoR [29] pour les données MEDITS et OBSMER et avec RGeostats [30] pour les données PELMED. Les données de densité ou de taux de rejets n'étant pas obtenues de la même façon, il a été choisi d'analyser la structure spatiale et de calculer les variogrammes de deux façons. En effet, les taux de rejets issus des observations mensuelles sur les navires de pêche ont été analysés par espèce, type d'engin de chalutage, période et saison.

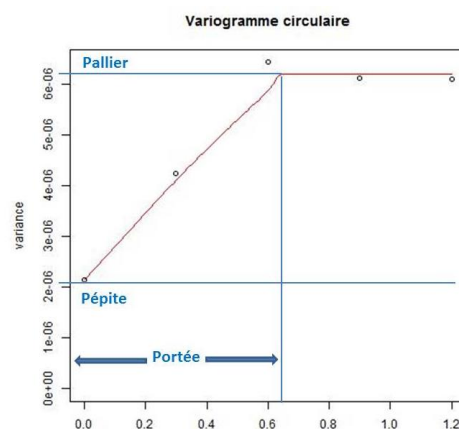


Figure 11: Exemple de variogramme expérimental. Cas du merlu (*M. merluccius*), données MEDITS

A l'inverse, les densités de rejets obtenues annuellement lors des campagnes scientifiques MEDITS et PELMED ont été analysées sur l'ensemble des années. Parce que la structure spatiale des espèces étudiées est relativement stable aux cours des années [31], ces valeurs de densité ont été moyennées sur l'ensemble des années et un seul variogramme, le variogramme moyen, a été calculé pour cette moyenne. L'étude de la structure spatiale des petits poissons pélagiques, pour lesquels la campagne de suivi est assez riche en données, s'est faite directement sur la moyenne des rejets. A l'inverse, pour les espèces démersales, parce que les observations de rejets par trait étaient moins abondantes, le variogramme moyen a été calculé sur l'ensemble des observations (rejets et individus suffisamment grands pour être commercialisés). Ce regroupement des individus n'est pas censé modifier la structure spatiale des rejets puisque les adultes ont généralement des comportements plus grégaires que les juvéniles et que leur aire de distribution a tendance à être incluse dans celle des juvéniles [31]. De plus, à cause de la surexploitation des espèces commercialisées en Méditerranée, les individus sont souvent pêchés avant d'avoir atteint leur taille maximale, ce qui donne des populations dont le spectre de taille est tronqué.

Parce que la structure spatiale peut varier en fonction de la direction considérée pour sélectionner les paires de points - on parle alors d'anisotropie - deux méthodes ont été utilisées suivant l'origine des données étudiées. Pour les données issues de MEDITS et d'OBSMER, cette anisotropie a été évaluée à l'aide de variogrammes directionnels, calculés avec des couples de points sélectionnés dans quatre directions (0°, 90°, 180° et 270°). Pour l'ensemble de ces données, la variation de structure spatiale s'est révélée isotropique, c'est-à-dire qu'elle ne dépend pas de la direction des paires de points, et le variogramme moyen a donc été

calculé en utilisant tous les couples possibles. En ce qui concerne les petits pélagiques étudiés via la campagne PELMED, parce que l'échantillonnage est par nature bidirectionnel, l'anisotropie a été prise en compte en calculant des variogrammes bidirectionnels (dans la direction des transects et perpendiculairement à ces transects).

Le dernier paramètre à prendre en compte pour le calcul du variogramme est la tendance spatiale, également appelée dérive. Ce paramètre traduit le fait que les densités ou taux de rejets peuvent changer de façon graduelle et prévisible, devenant ainsi déterministes et non aléatoires [32]. Afin d'analyser cette tendance, deux polynômes (régression linéaire ou quadratique) sont ajustés aux données brutes de densité ou de taux de rejets. La fonction linéaire simule une variation le long d'un plan incliné (gradient géographique par exemple) ; la fonction quadratique quant à elle sert à modéliser un effet de bord (baie fermée ou détroit entourés de côtes par exemple) (Figure 12).

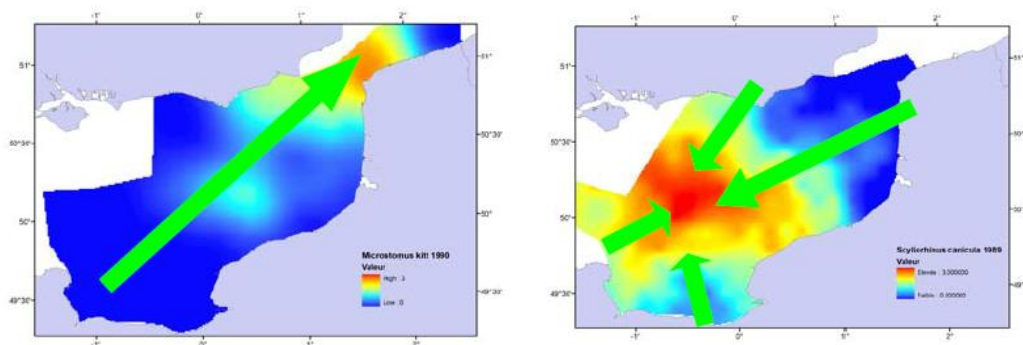


Figure 12: Exemple de tendance linéaire (gauche) et de tendance quadratique (droite). Source: Vaz & al. (2015)

Les ajustements linéaire et quadratique ont été testés systématiquement pour l'ensemble des données de densité et de taux de rejets. Néanmoins, comme il n'expliquait pas plus de 20% de la variance, il a été choisi de ne pas les prendre en compte et de réaliser le reste de l'analyse géostatistique sur les données brutes. Une cross-validation a également été réalisée et a montré que l'estimation géostatistique n'est pas améliorée par la prise en compte de la tendance, ce qui a confirmé le fait de ne pas travailler avec les ajustements.

2.5.4. Modélisation de la structure spatiale des rejets

Une fois les variogrammes obtenus, la structure spatiale a été modélisée pour être ensuite interpolée par krigeage, le tout sur R. Pour les données issues de MEDITS et d'OBSMER, trois modèles simples ont été testés : le sphérique, le circulaire et l'exponentiel. Un quatrième modèle, appelé « pure pépite » a également été testé, il correspond à des situations où les données n'ont pas de structure spatiale apparente. Les variogrammes des deux espèces pélagiques ont quant à eux été testés avec deux types de modèles : l'un comprenant un effet « pure pépite » cumulé à un effet sphérique, l'autre un effet « pure pépite » cumulé à deux effets sphériques. Ce deuxième modèle est utilisé pour modéliser les deux niveaux de structure spatiale, l'un très local ou intra-transect et l'autre à plus grande échelle ou encore inter-transect. Que ce soit pour les pélagiques ou les démersaux, le modèle retenu doit au maximum décrire les principales caractéristiques du variogramme (pépite, forme de l'accroissement monotonique et palier) (Figure 11). Ici, c'est la méthode d'approximation par les moindres carrés qui a permis de choisir le meilleur modèle.

2.5.5. Krigeage : interpolation de la distribution spatiale sur l'ensemble du golfe du Lion

A partir des modèles de variogramme moyen, il a été possible d'interpoler les observations à l'ensemble du golfe du Lion par krigeage. Cette méthode de prédiction se base sur la façon dont varie localement une variable dans l'espace pour prédire des valeurs de cette même variable en des points non échantillonnés, et ce en minimisant au maximum la variance estimée. Pour ce faire, il est nécessaire de définir une résolution de prédiction ; ici il s'agit de la résolution des campagnes scientifiques, à savoir 1 NM pour les pélagiques échantillonnés avec PELMED et 0,1° latitude pour les espèces démersales issues de MEDITS. Pour le krigeage des proportions de rejets d'OBSMER, la résolution a également été fixée à 0,1° latitude. De plus, un nombre de voisins les plus proches sur lesquels baser la prédiction doit être défini : cinq voisins sont utilisés pour données de PELMED contre quatre pour celles issues de MEDITS et d'OBSMER où les observations sont plus éloignées et donc moins abondantes.

Comme pour l'analyse de la distribution spatiale, le krigeage des proportions de rejets issues d'OBSMER s'est fait par espèce, type d'engin, période et saison. En ce qui concerne les densités de rejets obtenues avec les deux campagnes de suivi scientifique, le krigeage s'est fait de trois façons distinctes. Pour la majorité des espèces cibles, les densités ont été krigées annuellement en se basant sur le modèle multi-annuel établi auparavant. A l'inverse pour certaines espèces, parce qu'il n'y avait moins de dix traits avec rejets observés par année, il a été choisi de faire un krigeage multi-annuel, donnant ainsi une prédiction globale de la distribution spatiale des rejets sur l'ensemble des années échantillonnées. Pour cela, les observations de rejets ont été au préalable pondérées par la variance annuelle avant d'être moyennées sur l'ensemble des années, et ceci afin de ne pas donner davantage de poids à une année en particulier. Cela concerne le pageot blanc, le pageot commun, la langoustine et la crevette rose. Encore une fois, le fait de travailler sur plusieurs années se justifie par le fait que la structure des espèces concernées est généralement stable au cours du temps [31]. Pour la sole enfin, dont les observations de rejets ont été codées de façon binaire, un krigeage indicatif a été réalisé aboutissant à une prédiction de la probabilité de présence sur tout le golfe du Lion. Pour cette espèce aussi, la distribution spatiale a été krigée sur l'ensemble des années échantillonnées et non pas année par année.

2.5.6. Cartographie de la distribution spatiale des rejets et mise en évidence de zones de récurrence multi-annuelle

Une fois interpolées sur l'ensemble du golfe du Lion, les distributions de rejets pour chaque espèce et chaque jeu de données ont été cartographiées avec une résolution de 0,05° décimal, et ce grâce au package raster sous R [33]. Comme précédemment, parce que les données de densité et de taux de rejets sont issues de campagnes différentes, leur cartographie s'est faite selon deux méthodes.

Pour ce qui est des données OBSMER, les cartes ont été produites par espèce, type d'engin, période et saison. De plus, parce que les observations ne sont pas réparties uniformément sur l'ensemble du golfe du Lion, un seuil de distance a été utilisé pour cartographier la distribution des rejets issus des données OBSMER. Ce seuil a été fixé à 0,35° décimal des points d'observations et a pour but d'éviter des extrapolations excessives dans des zones où la donnée est absente et où il est donc impossible de prévoir la répartition des rejets (Figure 13).

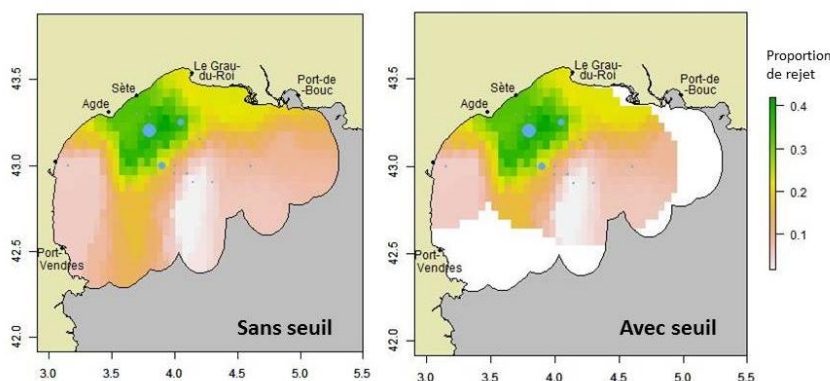


Figure 13: Cartographie de la distribution interpolée de rejets. Cas du rouget barbet de vase (*M. barbatus*) capturé par les chaluts démersaux durant la 1^{re} période et la 1^{re} saison, données OBSMER. Gauche: sans seuil de distance. Droite: avec seuil de distance de 0,35° décimal

En ce qui concerne les densités de rejets issues de MEDITS et de PELMED, les distributions de rejets ont été cartographiées de deux façons. Tout d'abord, pour les quelques espèces démersales dont le krigeage avait été fait sur l'ensemble des années par manque de données, la représentation s'est aussi faite sur l'ensemble des années étudiées, aboutissant à une carte par espèce. Pour le reste des espèces démersales et les petits pélagiques, la distribution des rejets a d'abord été cartographiée annuellement. Les 22 rasters produits ont ensuite été moyennés sur les deux périodes (avant et après changement de stratégie de pêche en 2009) afin d'une part, d'être comparés aux rasters issus des données OBSMER et d'autre part, de mettre en évidence des zones de récurrence multi-annuelle. Contrairement aux données OBSMER, aucun seuil de distance n'a été nécessaire pour la rastérisation des données de campagne scientifique puisque les protocoles de ces campagnes sont établis de telle sorte à échantillonner l'ensemble du golfe du Lion.

2.6. Cartographie de l'effort de pêche

Pour pouvoir ensuite proposer des zones d'évitement à la pêche et ainsi limiter les rejets, il a été nécessaire, en plus d'identifier les zones où les taux de rejets sont forts, de cartographier l'effort de pêche réalisé par la pêcherie chalutière dans le golfe du Lion. En effet, il est important de connaître les zones rentables économiquement, avec des valeurs de captures importantes, pour ne pas concentrer toutes les stratégies d'évitement dans ces mêmes zones.

Pour ce faire, les statistiques de pêche VMS ont été agrégées comme les données OBSMER par type d'engin, période et saison. De plus, pour que l'effort de limiter les rejets soit réalisé par tous et pas seulement restreint à certains ports de la zone, les valeurs des captures ont été représentées par port, en affectant à chaque navire un lieu de débarquement en particulier. En réalité, un navire débarque rarement toutes ses captures dans un seul port durant le même mois où il est en mer ; un port principal a donc été défini qui était celui dans lequel le navire a le plus fréquemment débarqué dans le mois. Dans les données brutes de statistiques de pêche, près de quarante ports sont recensés dans le golfe du Lion. Pour plus de clarté dans les résultats, il a été choisi d'agréger ces ports entre eux en les regroupant géographiquement à l'un des sept principaux, à savoir : Port-Vendres, Port-la-Nouvelle, Agde, Sète, le Grau-du-Roi, Port-de-Bouc et Marseille (Figure 14). Les données étant déjà fournies avec une résolution de 3x3' (ou 0,05 x 0,05° décimal), aucune analyse de la structure spatiale ni interpolation n'a été nécessaire et seule une rastérisation de ces données a été réalisée sur R. De façon à déterminer les mêmes poids à chaque port quelques soit la valeur qui y est débarquée, ces cartes ont toutes été recalées entre 0 et 1.

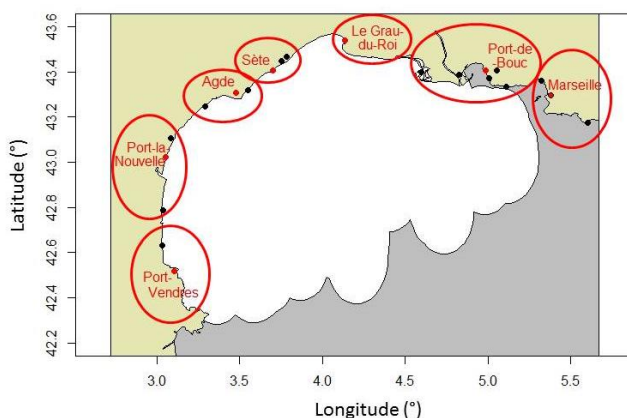


Figure 14: cartographie des ports du golfe du Lion. En noir: ports listés dans les données VMS. En rouge: principaux ports sélectionnés pour l'étude.

L'ensemble de la méthodologie pour analyser et cartographier la distribution des captures et individus sous TMC a été résumé dans la figure 15.

Analyse et cartographie de la distribution spatio-temporelle des rejets et captures

		Données	Analyse de la structure spatiale	Interpolation par krigeage	Cartographie
Campagnes scientifiques	MEDITS Espèces démersales	Densité de rejets (nombre.km ⁻¹) espèce / trait / année	Calcul d'un variogramme moyen sur l'ensemble des captures 4 modèles testés	Trois types selon les espèces : - Par espèce et année - Par espèce et sur l'ensemble des années - Présence/absence pour la sole Résolution : 0,1 x 0,1° latitude	Deux types selon les espèces : - Moyenne par période - Sur l'ensemble des années Résolution : 0,05 x 0,05° décimal
	PELMED Espèces pélagiques	Densité de rejets (nombre.NM ⁻¹) espèce / trait / année	Calcul de 2 variogrammes directionnels moyens sur l'ensemble des rejets 2 modèles testés	Par espèce et année Résolution: 1 x 1 NM	Par espèce et période Résolution: 0,05 x 0,05° décimal
Programmes de suivi	OBSMER Observations à bord	Taux de rejets espèce / trait / type d'engin / période / saison	Calcul d'un variogramme par type d'engin, période et saison sur les rejets 4 modèles testés	Par espèce, type d'engin, période et saison Résolution: 0,1 x 0,1° latitude	Par espèce, type d'engin, période et saison Résolution: 0,05 x 0,05° décimal
	VMS Suivi satellite des pêcheries	Valeur de captures en € (recalées entre 0 et 1) port / type d'engin / période / saison	-	-	Par port, type d'engin, période et saison Résolution: 0,05 x 0,05° décimal

Figure 15: Schéma bilan des traitements réalisés sur les quatre jeux de données pour cartographier la distribution spatio-temporelle des rejets

2.7. Optimisation des stratégies d'évitement avec Marxan

2.7.1. Marxan, logiciel d'aide à la planification spatialisée

L'identification des zones de fermetures saisonnières ou pérennes aux pêcheries chalutières s'est faite grâce au logiciel Marxan [34, 35], un logiciel d'aide à la décision très utilisé pour la création de zones protégées. L'idée première sur laquelle repose ce logiciel est que la zone d'étude est découpée en un grand nombre d'unités, appelées « unités de planification » (PUs) ; celles qui sont sélectionnées par Marxan constituent le réseau de zones protégées, soit dans ce cas l'ensemble des zones où il est recommandé de ne pas aller pêcher parce que les individus sous-taille y sont prédominants. Parce que toutes les PUs n'ont pas la même importance sociale, économique ou environnementale – les zones côtières par exemple sont souvent plus prisées que celles au large – il est possible de définir pour chacune d'entre elles un coût. De cette façon le logiciel choisit préférentiellement les PUs peu coûteuses pour constituer son réseau de zones protégées et peut ainsi prendre en compte les enjeux socio-économiques et environnementaux de la zone d'étude. L'utilisateur peut même décider de bloquer des PUs afin que Marxan ne puisse jamais les sélectionner ; ceci est utile quand certaines zones ne peuvent être utilisées dans la planification spatiale pour des raisons économiques ou sociales. La deuxième idée sur laquelle est fondée Marxan est qu'il existe au sein de la zone d'étude des éléments à protéger pour lesquels une cible de protection est au préalable fixée par l'utilisateur du logiciel. Plus la cible d'un élément est élevée, plus Marxan devra faire en sorte de protéger cet élément dans ses solutions de sortie.

En plus des coûts et des éléments à protéger, l'utilisateur a la possibilité de modifier plusieurs paramètres de l'algorithme d'optimisation sur lequel repose Marxan. Dans cette étude, seuls deux paramètres ont été retenus et testés pour l'élaboration des différents scénarios : le SPF (« Species Penalty Factor ») et le BLM (« Boundary Length Modifier »). Le SPF est un coefficient qui peut être fixé pour chaque élément à protéger et qui est multiplié à la pénalité de chacun de ces éléments si leur cible n'est pas atteinte dans la solution proposée en sortie. Ainsi plus le SPF d'un élément est élevé, plus l'algorithme de Marxan va tendre à protéger cet élément de sorte à minimiser la pénalité associée. Le BLM sert quant à lui à renseigner le degré d'agrégation des PUs souhaité : plus il est élevé, plus le périmètre total du réseau de zones protégées est petit et donc moins ce réseau est fragmenté. En d'autre terme, fixer un BLM élevé signifie avoir en solution de sortie des zones protégées moins nombreuses mais plus étendues, et donc bien souvent plus coûteuses, pour atteindre les cibles de protection préalablement fixées.

Pour sélectionner les PUs qui constitueront les zones à protéger, Marxan compare un grand nombre d'agrégations de PUs, chacune de ces agrégations étant une solution, et sélectionne celle qui possède le plus petit score. Ce score correspond à la valeur de la fonction d'optimisation de l'algorithme et est calculé de la façon suivante :

$$Score\ total = \sum_{PUs} \textcircled{1} Coût + \left(BLM * \sum_{PUs} \textcircled{2} Périmètre\ du\ réseau \right) + \sum_{Eléments} \textcircled{3} SPF * Pénalité$$

1. Le coût total associé à la sélection des PUs
2. Le périmètre total du réseau de zones protégées (dit « boundary length »), multiplié par le coefficient BLM préalablement choisi
3. La pénalité attribuée pour ne pas avoir atteint la cible fixée pour chacun des éléments à protéger.

Avec Marxan, il est possible d'utiliser plusieurs types d'algorithme pour trouver la meilleure solution de protection ; ici il s'agit de l'algorithme recuit simulé (simulated annealing). Pour chacun des scénarios, il a été choisi de tester cent solutions, sachant que pour chaque solution, le nombre d'itérations de l'algorithme a été fixé à 100000.

2.7.2. Découpage de la zone d'étude en PUs

Comme dans l'analyse de la structure spatio-temporelle des rejets, la zone du golfe du Lion a été découpée selon une grille carrée de résolution 0,05° décimal, aboutissant à la création de 764 PUs, chacune de 5,6 km de côté.

Parce que l'objectif de cette étude est de minimiser les rejets en fermant certaines zones à la pêche mais aussi d'assurer la pérennité économique des pêcheries chalutières, il a été choisi de prendre en compte les données spatialisées des valeurs de captures VMS. En effet pour chaque combinaison engin, période et saison, il a été choisi de bloquer pour la pêche 0, 20 ou 40% de la surface totale du golfe du Lion afin de contraindre Marxan à ne pas sélectionner les PUs où les captures réalisées sont importantes. Pour ce faire, les rasters de captures de chacun des sept ports ont d'abord été sommés puis recalés entre 0 et 1 afin d'obtenir une proportion de captures globale pour l'ensemble du golfe du Lion. Les quantiles de ces rasters ont ensuite été calculés de sorte à ce que les 20 ou 40% des PUs bloqués pour la pêche correspondent aux zones les plus intéressantes en termes de valeurs de captures réalisées. La figure 16 illustre comment sont obtenues les PUs bloquées pour la pêche à partir des valeurs de captures.

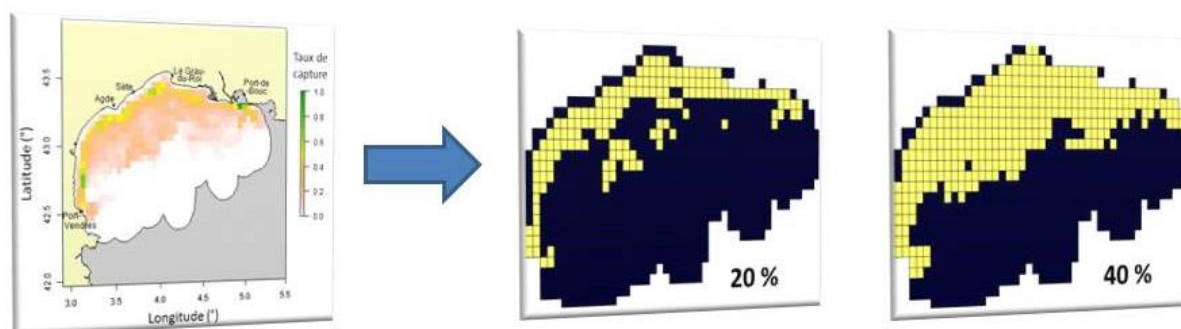


Figure 16: PUs réservées exclusivement à la protection de la pêche (jaune). Exemple des captures réalisées par les engins démersaux, avant 2009 et pour la première saison, données VMS.

2.7.3. Éléments à protéger : habitats benthiques sensibles et rejets d'espèces commerciales

Dans le but d'éviter les zones où les individus sous-taille sont potentiellement prédominants, l'ensemble des rejets étudiés au travers des campagnes scientifiques et du programme OBSMER ont été considérés comme éléments à protéger, et ce dans tous les scénarios de planification testés. Puisque les rasters ont été produits avec une résolution de 0,05° décimal, aucune transformation de la donnée krigée n'a été nécessaire et chaque PU s'est vu attribuée la valeur moyenne de rejets contenue dans une cellule de 0,05° décimal. Plus précisément, les cartes de taux de rejets par type d'engin, période et saison ont été utilisées pour représenter l'abondance de rejets dans les données OBSMER. Pour ce qui est des campagnes scientifiques, deux types de cartes ont été utilisées : pour les cinq espèces traitées en multi-annuel, la carte de densité issue du krigeage a été utilisée indifféremment pour les deux périodes d'étude ; à l'inverse pour les sept espèces pour lesquelles le krigeage s'est fait annuellement, c'est la densité moyenne de rejets sur chacune des périodes qui a été utilisée.

Par ailleurs, afin d'éviter une dégradation des fonds, liée à un report d'effort de pêche dans des zones jusque-là préservées, les habitats benthiques sensibles du golfe du Lion ont également été considérés comme éléments à préserver. La carte des habitats à risque (Figure 17) résulte d'une étude menée en parallèle au sein

du projet Galion et est issue du modèle de prédiction de Kostylev, un modèle conceptuel mis au point pour décrire la sensibilité des fonds marins aux paramètres environnementaux [36]. Ce modèle est globalement basé sur deux indices : la « perturbation » et la « portée de croissance ». Le premier indice reflète le degré de destruction d'un habitat du aux seuls processus naturels. Il est calculé à partir de la taille des grains de sédiments et du degré de cisaillement, lui-même étant une combinaison de la profondeur, de la houle et des courants. La portée de croissance quant à elle prend en compte les facteurs de stress environnementaux qui induisent des coûts physiologiques pour les organismes et limitent ainsi leur croissance ou leur potentiel de reproduction. Les facteurs utilisés pour calculer ce second indice sont la disponibilité en nourriture (quantité de chlorophylle disponible), les moyennes mensuelles et les variations inter- et intra-annuelles de température ainsi que la concentration d'oxygène dissous [37,38]. La sensibilité potentielle des habitats benthiques au chalutage démersal a été calculée sur tout le plateau continental jusqu'à 160m de profondeur avec une résolution de 0,05° décimal. Chaque PU s'est vue attribuer la valeur moyenne de risque contenue dans la cellule de 0,05° correspondante. Pour les zones où la sensibilité n'a pas été calculée, au large et dans la bande des 3NM près des côtes, le risque a été fixé à 1 par principe de précaution.

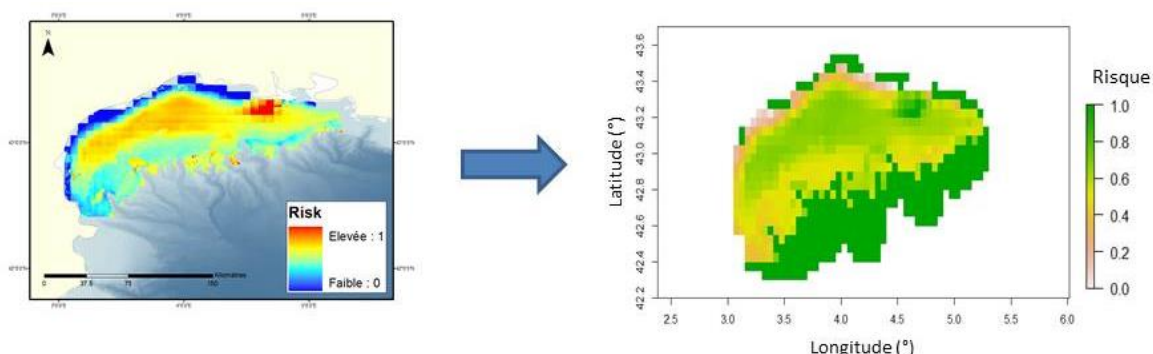


Figure 17: Carte de sensibilité potentielle des habitats benthiques au chalutage démersal. Gauche : carte originelle ; droite : carte extrapolée à l'ensemble de la zone d'étude

2.7.4. Prise en compte des zones protégées existantes dans l'élaboration des scénarios

Pour certains scénarios, l'ensemble des zones protégées présentes au sein du golfe du Lion ont également été prises en compte, à l'exception des zones Natura 2000 sous la Directive Oiseaux. En effet, parce que les chalutiers capturent très l'avifaune, contrairement aux fileyeurs et aux palangriers, seules les zones Natura 2000 sous la Directive Habitat-Faune-Flore ont été retenues dans cette étude. Pour chacune de ces zones protégées, un coût a été attribué en fonction du degré de restriction de la pêche chalutière en leur sein. Ainsi les PUs au sein de la FRA se sont vues attribuées un coût de 0,25, celles dans les zones Natura 2000 sous la Directive Habitat-Faune-Flore, un coût de 0,5 et celles au sein des trois dernières zones protégées (PNMs et réserve de biosphère) un coût de 0,75 (Figure 18). De cette façon, une PU présente au sein d'une zone déjà protégée telle que la FRA aura un coût plus faible qu'une PU voisine hors zone protégée, et devrait donc être choisie préférentiellement par Marxan pour faire partie des zones de fermeture à la pêche.

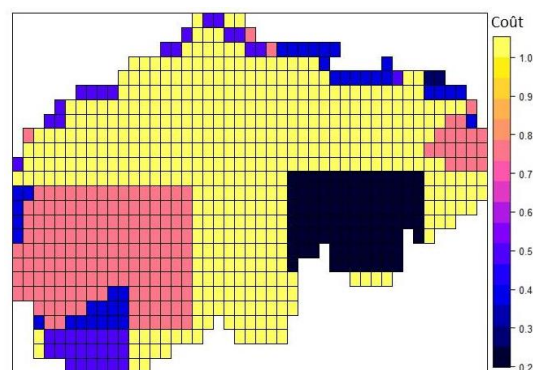


Figure 18: Coûts relatifs à la présence ou non de zones protégées existantes

2.7.5. Ensemble des scénarios testés

Pour la planification spatiale, deux approches ont été envisagées. La première correspond à la situation actuelle et ne prend en compte que les données relatives au chalut de fond et pour la période après 2009. La

deuxième concerne les données pour les deux types d'engin (démersaux et pélagiques) de la période avant 2009, lorsque le stock de sardine était encore en suffisamment bon état pour être exploité. Il a été choisi d'intégrer cette deuxième approche dans le cas d'un éventuel rétablissement du stock de sardines et d'une reprise de l'activité chalutière pélagique au cours des prochaines années.

Ainsi les scénarios de planification spatiale sous Marxan ont été réalisés par combinaison d'engin (démersal et pélagique), de période (avant et après 2009) et de saison (1, 2 et 3). A ces combinaisons viennent s'ajouter en parallèle des cas annuels issus de l'agrégation des trois résultats saisonniers. Pour chacune de ces combinaisons, la carte de sensibilité potentielle des habitats et l'ensemble des distributions de rejets observés par OBSMER ont été utilisées. Les distributions de rejets échantillonnées par MEDITS et PELMED n'ont quant à elles pu être considérées comme élément à protéger que pour la deuxième saison puisqu'elles sont issues de campagnes scientifiques réalisées en juin et juillet (saison 2) et qu'il n'a pas été possible de les extrapoler à l'ensemble des trois saisons. De ce fait, deux cas ont été examinés pour cette saison : le premier prend en compte l'ensemble des données krigées disponibles (OBSMER, MEDITS et PELMED), l'autre uniquement les taux de rejets issus des données OBSMER. Ce sont donc au total quinze combinaisons qui ont été analysées.

Pour chacune d'entre elles, trois niveaux de protection de la pêche ont été considérés : 0, 20 et 40% de la surface totale du golfe du Lion. La cible des espèces et des habitats à protéger a quant à elle toujours été fixée à 30%. Enfin pour chacune des combinaisons, deux points de vue ont été envisagés : le premier ne prend pas en compte les zones protégées existantes et toutes les PUs ont un coût identique fixé à 1 ; le deuxième intègre ces zones protégées et les coûts sont ceux présentés en figure 18. Au total, 90 scénarios de planification spatiale ont donc été réalisés sous R grâce au package marxan [39].

Pour chacun de ces scénarios, la fréquence de sélection des PUs parmi les cent solutions, le pourcentage de cibles atteintes et le périmètre de l'ensemble du réseau de PUs sélectionnées ont été étudiés.

2.7.6. Calibration des paramètres de Marxan : SPF et BLM

Avant d'analyser les différents scénarios, les paramètres SPF et BLM ont été testés afin de garantir le meilleur degré de protection et la meilleure agrégation possibles dans les solutions de sortie. Ainsi pour trois cibles de protection des individus sous-taille et des habitats (10%, 30% et 50%), deux niveaux de SPF (1 et 100) et sept niveaux de BLM (0, 0,0001, 0,01, 1, 100, 10000 et 1000000), ont été analysés le coût moyen, le score moyen, le nombre de PUs sélectionnées et le périmètre total du réseau de zones protégées.

3. Résultats

3.1. Regroupement des données par type d'engin, période et saison

Dans les données OBSMER, seules cinq espèces démersales ont été échantillonnées à la fois par les deux chaluts de fond (OTB et OTT) et le chalut pélagique (OTM). Le test d'analyse de la variance réalisé sur les deux engins de fond a révélé que pour trois de ces cinq espèces, il n'y avait pas de différence significative entre OTB et OTT en termes de taux de rejets capturés (Annexe 1). La figure 19 illustre, pour chacune de ces cinq espèces, ces différences de capturabilité (capacité de capture) en fonction des engins. Au vu de ces résultats, il a été choisi de regrouper les deux chaluts démersaux et de n'avoir ainsi que deux types d'engin pour le reste des analyses : démersaux et pélagique.

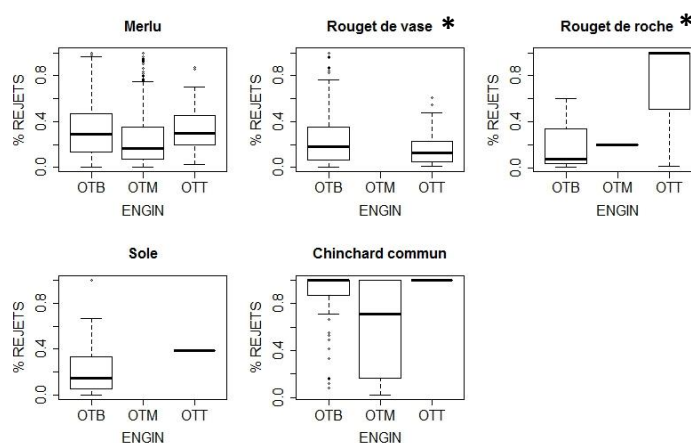


Figure 19: Distribution des taux de rejets en fonction des engins

* Différence significative dans l'ANOVA

Des tests d'analyse de la variance et des boxplots ont également été réalisés sur les années et pour chaque type d'engin afin de montrer s'il existe vraiment dans les données une différence significative avant et après modification des stratégies de pêche en 2009 (Figure 20). Parmi les dix espèces démersales testées sur les engins de fond (DEM), seule la moitié a révélé effectivement une différence significative en termes de pourcentage de rejets capturés. Pour ce qui est des cinq espèces testées pour le chalut pélagique (PEL), deux d'entre elles présentent une différence significative (Annexe 2). Malgré ces résultats, les deux périodes, avant et après 2009, ont été conservées pour les analyses géostatistiques et la planification spatialisée des pêcheries sous Marxan, puisque les chaluts pélagiques sont réellement moins utilisés que les démersaux depuis la chute du stock des sardines.

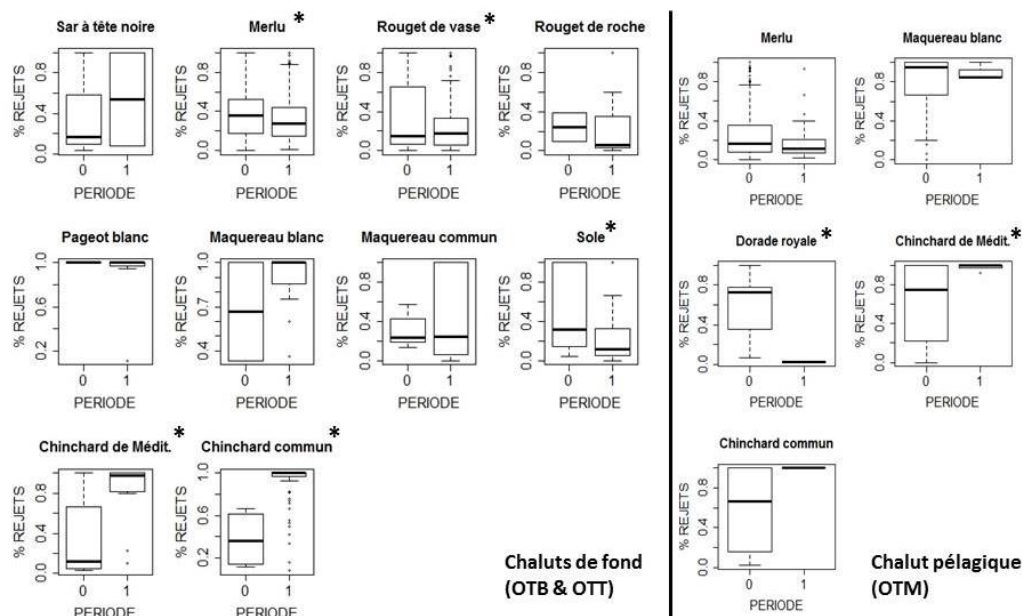


Figure 20: Distribution des taux de rejets en fonction des périodes. 0 : avant 2009 ; 1 : à partir de 2010

* Différence significative dans l'ANOVA

Les tests de regroupement en saison ont par ailleurs été réalisés sur cinq espèces démersales, celles qui présentaient des données d'observation sur les douze mois de l'année afin d'y pouvoir ajusté des modèles linéaires généralisés (glm) (Annexe 3). Ces glms, associés à une ACP et une HCPH, ont permis de mettre en exergue trois « saisons » ou groupements de mois durant lesquels la distribution spatiale des rejets observés est semblable (Figure 21). La première saison regroupe les mois de novembre, janvier, février et mars, la seconde va d'avril à août et la troisième réunit les mois de septembre, octobre et décembre.

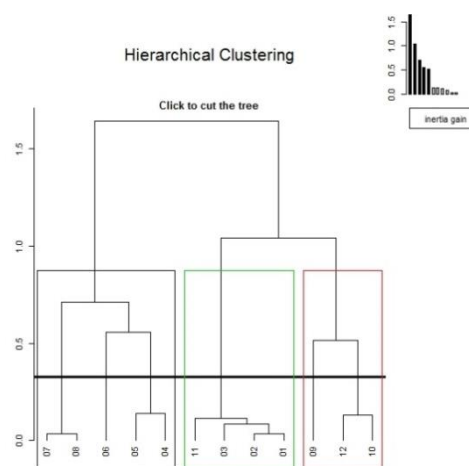


Figure 21: Résultats de la classification des mois en saison de distribution des rejets

3.2. Comparaison rejets théoriques et rejets effectifs observés

Le calcul des taux annuels de rejets théoriques et de rejets effectifs à partir des données OBSMER (Tableau 2) a permis de mettre en évidence que pour certaines espèces, les TMC ne sont pas bien respectées dans le golfe du Lion. C'est particulièrement le cas du merlu, pour lequel il apparaît qu'en moyenne près de 10% des captures réalisées par les chalutiers démersaux sont rejetées quand la part de rejets devrait s'élever à 30 voire 40% selon les observations de données de taille. Même les chaluts pélagiques, pour lesquels le merlu n'est pas une espèce cible, ont des taux de rejets effectifs plus bas que ceux théoriquement attendus. Pour les rougets à l'inverse, autres espèces emblématiques de la pêche chalutière dans la zone d'étude, les données OBSMER présentent des taux de rejets effectifs et de rejets théoriques relativement semblables, variant de 10 à 20% dans les dernières années. Les petits pélagiques quant à eux présentent toujours des rejets effectifs plus élevés que ceux théoriques. Pour les chaluts pélagiques qui ciblent ces espèces, les proportions d'anchois et de sardines rejetés en mer sont très variables au cours du temps, allant de 20 à parfois 90% voire 100% dans les dernières années, alors qu'elles sont en théorie estimées à moins de 10%. Pour les chaluts démersaux qui ne ciblent pas ces deux espèces, cette différence entre rejets effectifs et rejets théoriques est d'autant plus importante puisque la grande majorité des captures de petits pélagiques est presque systématiquement rejetés (90% en moyenne), et ce même quand les individus sont au-dessus de la TMC. Ces derniers points révèlent tout d'abord que les chalutiers démersaux ne valorisent pas du tout les petits pélagiques, même s'ils font la taille réglementaire. En effet, comparativement aux espèces démersales, ces petits pélagiques sont de mauvaise qualité car ce sont des espèces fragiles qui se retrouvent abimées par le chalut. De plus, les volumes trop bas de captures et la faible valeur commerciale de ces espèces n'invitent pas les chalutiers démersaux à les commercialiser. D'autre part, il apparaît avec cette comparaison que le comportement de rejet des chalutiers pélagiques varie en fonction du marché : lorsque que le prix de l'anchois ou de la sardine n'est pas avantageux et que le tri des captures en fonction de leur taille est laborieux, les pêcheurs peuvent être amenés à rejeter des grande proportions de poissons, même s'ils sont au-dessus de la TMC.

Tableau 2: Taux de rejets effectifs et théoriques observés à bord des chaluts de fond et des chaluts pélagiques, données OBSMER.

Chaluts démersaux (OTB & OTT)																							
Espèce	Taux de rejets effectifs											Taux de rejets théoriques											
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
DIPLVUL	NA	NA	NA	NA	0,22	0,08	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,31	0,15	NA	NA	NA	NA	NA	
ENGRENC	0,98	1,00	0,73	0,57	1,00	1,00	1,00	1,00	0,96	0,99	0,97	0,06	0,00	0,05	0,08	0,01	0,31	0,29	0,23	0,18	0,21	0,18	
MERLMER	0,17	0,48	0,03	0,12	0,29	0,20	0,02	0,05	0,05	0,21	0,10	0,43	0,39	0,28	0,28	0,39	0,43	0,34	0,24	0,21	0,40	0,26	
MULLBAR	0,39	0,31	0,01	0,02	0,11	0,21	0,12	0,09	0,12	0,12	0,15	0,33	0,37	0,05	0,05	0,23	0,23	0,23	0,15	0,19	0,14	0,13	
MULLSUR	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	NA	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,06	0,01	0,04	0,00	0,04	NA	
PAGEACA	NA	1,00	NA	NA	0,00	0,53	1,00	NA	NA	NA	NA	NA	1,00	NA	NA	0,00	0,42	1,00	NA	NA	NA	NA	
PAGEBOG	NA	NA	NA	NA	1,00	1,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1,00	1,00	NA	NA	NA	NA	NA	
PAGEERY	NA	NA	NA	NA	0,00	0,11	0,25	1,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,00	0,08	0,27	1,00	0,00	NA	NA	
PAPELON	NA	NA	NA	NA	NA	1,00	NA	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,00	NA	1,00	NA	NA	NA	
SARDPIL	0,76	1,00	0,90	0,96	0,90	0,75	0,53	0,78	0,84	0,89	0,98	0,01	0,00	0,00	0,17	0,16	0,21	0,16	0,33	0,40	0,26	0,41	
SCOMPNE	NA	NA	NA	NA	0,33	0,30	1,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,10	0,31	0,83	NA	NA	NA	NA	
SCOMSCO	NA	0,96	NA	0,00	0,22	0,11	0,39	1,00	NA	NA	NA	NA	0,18	NA	0,00	0,22	0,11	0,73	0,71	NA	NA	NA	
SOLEVUL	1,00	0,00	NA	0,00	0,00	0,02	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	NA	0,01	0,06	0,03	0,15	0,04	0,03	0,00	0,01	
SPARAUR	NA	NA	NA	NA	0,00	0,18	0,04	0,02	0,09	0,01	0,19	NA	NA	NA	NA	0,00	0,18	0,40	0,28	0,22	0,17	0,34	
TRACMED	0,06	1,00	NA	NA	0,00	0,20	1,00	1,00	NA	NA	NA	0,06	0,76	NA	NA	0,08	0,39	0,95	1,00	NA	NA	NA	
TRACTRA	0,10	1,00	NA	0,00	NA	0,64	0,67	0,79	NA	NA	NA	0,10	0,47	NA	0,00	NA	0,69	0,83	0,96	NA	NA	NA	

Chaluts pélagiques (OTM)																
Espèce	Taux de rejets effectifs								Taux de rejets théoriques							
	2007	2008	2009	2010	2012	2013	2014	2015	2007	2008	2009	2010	2012	2013	2014	2015
DICELAB	0,00	0,01	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	0,00	0,01	0,02	0,00	NA	NA	NA	NA
DIPLPUN	NA	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,75	NA	NA	NA	NA	NA	NA
DIPLSAR	NA	0,72	0,15	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,88	0,46	NA	NA	NA	NA	NA
DIPLVUL	NA	NA	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,02	NA	NA	NA	NA	NA
ENGRENC	0,25	0,22	0,28	0,12	0,00	1,00	1,00	1,00	0,09	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
LITHMOR	NA	1,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,37	NA	NA	NA	NA	NA	NA
MERLMER	0,03	0,16	0,10	0,09	NA	0,02	0,00	0,00	0,18	0,23	0,16	0,20	NA	0,13	0,08	0,15
MULLSUR	NA	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,00	0,15	NA	NA	NA	NA	NA
PAGEACA	NA	0,41	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,47	0,11	NA	NA	NA	NA	NA
PAGEBOG	1,00	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	1,00	1,00	0,83	NA	NA	NA	NA	NA
PAGEERY	1,00	0,43	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	0,33	0,00	0,00	NA	NA	NA	NA	NA
SARDPIL	0,20	0,24	0,26	0,44	1,00	0,80	1,00	0,94	0,06	0,06	0,04	0,04	0,00	0,00	0,06	0,00
SCOMPNE	0,17	0,75	0,58	1,00	NA	NA	NA	NA	0,17	0,55	0,56	0,89	NA	NA	NA	NA
SCOMSCO	0,08	0,31	0,14	0,00	NA	NA	NA	NA	0,07	0,19	0,21	0,00	NA	NA	NA	NA
SPARAUR	NA	0,05	0,09	NA	NA	0,00	0,00	0,00	NA	0,39	0,26	NA	NA	0,00	0,01	0,01
TRACMED	0,85	0,56	0,40	1,00	NA	NA	NA	NA	0,10	0,35	0,37	0,90	NA	NA	NA	NA
TRACTRA	0,60	0,49	0,63	1,00	0,00	NA	NA	NA	0,36	0,24	0,62	1,00	0,00	NA	NA	NA

DICELAB : loup (*Dicentrarchus labrax*), DIPLPUN : sar à museau (*Diplodus puntazzo*), DIPLSAR : sar commun (*Diplodus sargus*), DIPLVUL : sar à tête noire (*Diplodus vulgaris*), ENGRENC : anchois (*Engraulis encrasicolus*), LITHMOR : marbré (*Lithognathus mormyrus*), MERLMER : merlu (*Merluccius merluccius*), MULLBAR : rouget barbet de vase (*Mullus barbatus*), MULLSUR : rouget barbet de roche (*Mullus surmuletus*), PAGEACA : pageot acarne (*Pagellus acarne*), PAGEBOG : dorade rose (*Pagellus bogaraveo*), PAGEERY : pageot commun (*Pagellus erythrinus*), PAPELON : crevette rose du large (*Parapenaeus longirostris*), SARDPIL : sardine (*Sardina pilchardus*), SCOMPNE : maquereau espagnol (*Scomber colias*), SCOMSCO : maquereau commun (*Scomber scombrus*), SPARAUR : dorade royale (*Sparus aurata*), TRACMED : chinchard de Méditerranée (*Trachurus mediterraneus*) et TRACTRA : chinchard commun (*Trachurus trachurus*).

3.3. Distribution spatio-temporelle des rejets

Parmi les 19 espèces démersales cibles de cette étude, il a été possible de distinguer des individus sous-taille pour dix d'entre elles avec MEDITS et pour 18 d'entre elles avec OBSMER. Des rejets d'anchois et de sardines ont quant à eux été échantillonnés systématiquement par PELMED et de façon plus hétérogène par OBSMER à bord des chalutiers. Le tableau 3 résume, pour chaque espèce et chaque campagne de suivi, les types d'engins, périodes et saisons pour lesquels il a été possible d'analyser, extrapoler et cartographier la distribution spatiale des rejets théoriques.

Tableau 3: Résumé par type de campagne, engin, période et saison des espèces dont la distribution spatiale des rejets a été analysée

Espèces	MEDITS	PELMED	OBSMER											
	/		Chaluts démersaux						Chalut pélagique					
	Avant et après 2009		Avant 2009			Après 2009			Avant 2009			Après 2009		
	S2 (juin)	S2 (juillet)	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Loup (bar)						X			X					
Sar à museau									X					
Sar commun									X	X	X			
Sar à tête noire										X				
Anchois		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
Marbré										X				
Merlu	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Rouget barbet de vase	X		X	X	X	X	X	X						
Rouget barbet de roche			X	X	X	X	X	X	X					
Pageot blanc	X*		X			X		X	X		X			
Dorade rose	X			X		X		X	X		X			
Pageot commun	X*					X	X		X					
Sardine		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
Maquereau blanc				X		X	X	X	X	X	X	X		
Maquereau commun			X	X		X	X	X	X	X	X			
Sole	X ^p		X	X	X	X	X	X						
Daurade royale						X								
Chinchard de Med.	X		X	X	X	X		X	X	X	X	X		
Chinchard commun	X		X		X	X	X	X	X	X	X			X
Langoustine	X*													
Crevette rose du large	X*					X								

NB : S1, S2 et S3 font respectivement référence aux saisons 1, 2 et 3 définies précédemment. * Analyse et cartographie faites en multi-annuel. ^p Analyse et cartographie sur les présences/absences

3.3.1. Structure spatiale des rejets théoriques

Pour chacune des analyses géostatistiques réalisées, les paramètres du variogramme et du modèle ont été relevés. Le tableau 4 illustre les résultats pour l'analyse géostatistique des données de campagnes scientifiques MEDITS et PELMED ; l'ensemble des résultats de l'analyse des données OBSMER est quant à lui présenté en annexe 4, seul l'exemple du merlu est donné dans le tableau 5.

Tableau 4: Résultats des analyses géostatistiques des données de campagnes scientifiques MEDITS et PELMED

Espèce	Traitement en amont des données				Résultats de l'analyse géostatistique			
	Donnée	Log	Pas de temps	Tendance	Modèle ajusté	Pépite	Pallier	Portée
Merlu	Densité de rejets théoriques	oui	annuel	constante	circulaire	2,1E-06	4,1E-06	6,3E-01
Rouget barbet de vase			annuel		sphérique	2,6E-06	3,5E-06	2,2E-01
Pageot blanc			multi-annuel		pépitique	5,9E-06	0,0E+00	0,0E+00
Dorade rose			annuel		circulaire	3,2E-04	2,6E-04	6,3E-01
Pageot commun			multi-annuel		circulaire	2,7E-04	1,6E-04	1,1E+00
Sole			multi-annuel		circulaire	1,7E-04	3,5E-04	1,0E+00
Chinchard de Méditerranée			annuel		sphérique	6,0E-06	7,2E-06	1,6E-01
Chinchard commun			annuel		circulaire	2,9E-07	6,4E-06	6,8E-01
Langoustine			multi-annuel		circulaire	1,1E-06	1,3E-06	1,0E+00
Crevette rose			multi-annuel		pépitique	4,8E-02	0,0E+00	0,0E+00
Anchois	Densité de rejets théoriques	oui	annuel		pépitique + sphérique			
Sardine			annuel		pépitique + sphérique			

Pour la majorité des espèces démersales échantillonnées par MEDITS, les modèles sphériques et circulaires ont été utilisés, ce qui traduit une distribution assez structurée géographiquement des individus sous-taille de ces espèces. Seuls le pageot blanc et la crevette rose se distinguent avec des modèles pépitiques et une absence de structure spatiale apparente. Quant aux individus sous-taille de sardines et d'anchois, les modèles sphériques et pépitiques ont été utilisés ce qui traduit une distribution assez structurée intra-transects et sans structure spatiale apparente inter- transects.

Tableau 5: Résultats des analyses géostatistiques pour le merlu (*M.merluccius*), données OBSMER.

Engin	Période	Saison	Traitement en amont des données			Résultats de l'analyse géostatistique			
			Donnée	Log	Tendance	Modèle	Pépite	Pallier	Portée
DEM	Avant 2009	1	Taux de rejets théoriques	non	constante	pépitique	0,028	0,000	0,000
		2				pépitique	0,079	0,000	0,000
		3				sphérique	0,020	0,065	0,614
	Après 2009	1				pépitique	0,018	0,000	0,000
		2				pépitique	0,030	0,000	0,000
		3				sphérique	0,023	0,004	0,388
PEL	Avant 2009	1				pépitique	0,008	0,000	0,000
		2				sphérique	0,016	0,008	0,242
		3				sphérique	0,010	0,012	0,169
	Après 2009	1				pépitique	0,011	0,000	0,000
		2				pépitique	0,018	0,000	0,000
		3				pépitique	0,013	0,000	0,000

Concernant les espèces échantillonnées par OBSMER, plus de la moitié des modèles utilisés ont été pépitiques, illustrant le manque de structuration spatiale dans les données d'observations.

3.3.2. Distribution spatio-temporelle des rejets échantillonnés lors des campagnes scientifiques

Parmi les douze espèces échantillonnées par les campagnes MEDITS et PELMED, il a été possible de cartographier par année la distribution spatio-temporelle des rejets de sept d'entre elles, et d'en faire la moyenne pour les deux périodes d'étude. La figure 22 montre l'exemple du merlu sur l'ensemble des années, seules les moyennes sur les deux périodes des six autres espèces étant illustrées en figure 23 ; la figure 24 quant à elle présente les résultats pour les cinq espèces traitées en multi-annuel. Il apparaît avec ces cartes que les rejets théoriques de merlu et de chinchard commun sont échantillonnés de façon homogène sur l'ensemble du golfe du Lion, excepté dans la partie la plus au large, au-delà de la ligne des 200 m de profondeur. Les individus sous-taille de sardine sont également répartis de façon homogène sur une large bande allant de la

côte à la limite des 50 m, voire des 100 m de profondeur. Pour d'autres espèces à l'inverse, la présence des rejets se cantonne davantage en patchs près des côtes et autour des principaux ports ; c'est le cas notamment de l'anchois, du chinchard de Méditerranée, du pageot commun et de la sole présents principalement autour du Grau-du-Roi et de Port-de-Bouc. Enfin pour certaines espèces la concentration des rejets se fait en points isolés, près des ports mais aussi au large, comme l'illustrent les exemples de la dorade rose, du rouget barbet de vase et des deux espèces de crustacés, la langoustine et la crevette.

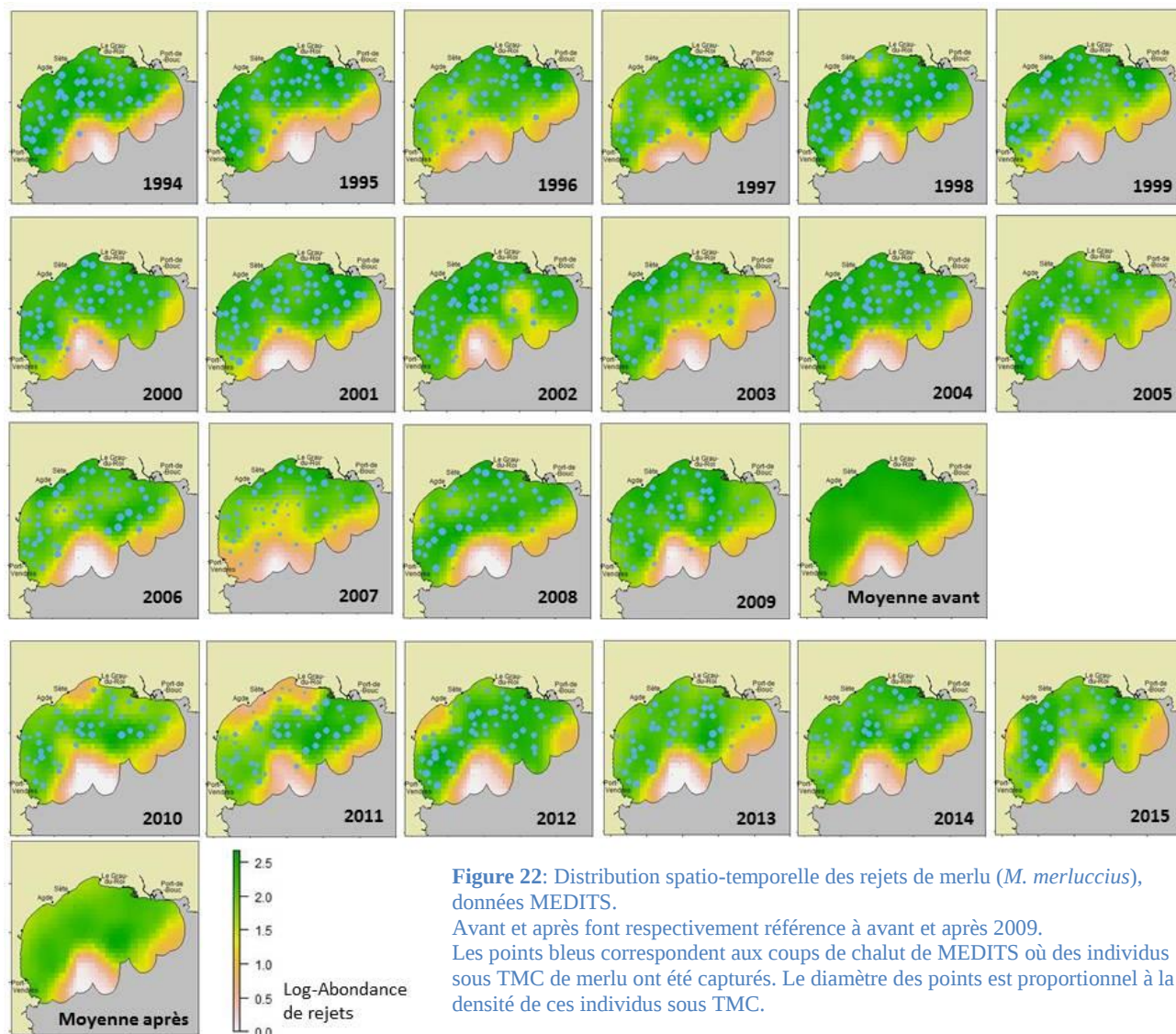


Figure 22: Distribution spatio-temporelle des rejets de merlu (*M. merluccius*), données MEDITS.
 Avant et après font respectivement référence à avant et après 2009.
 Les points bleus correspondent aux coups de chalut de MEDITS où des individus sous TMC de merlu ont été capturés. Le diamètre des points est proportionnel à la densité de ces individus sous TMC.

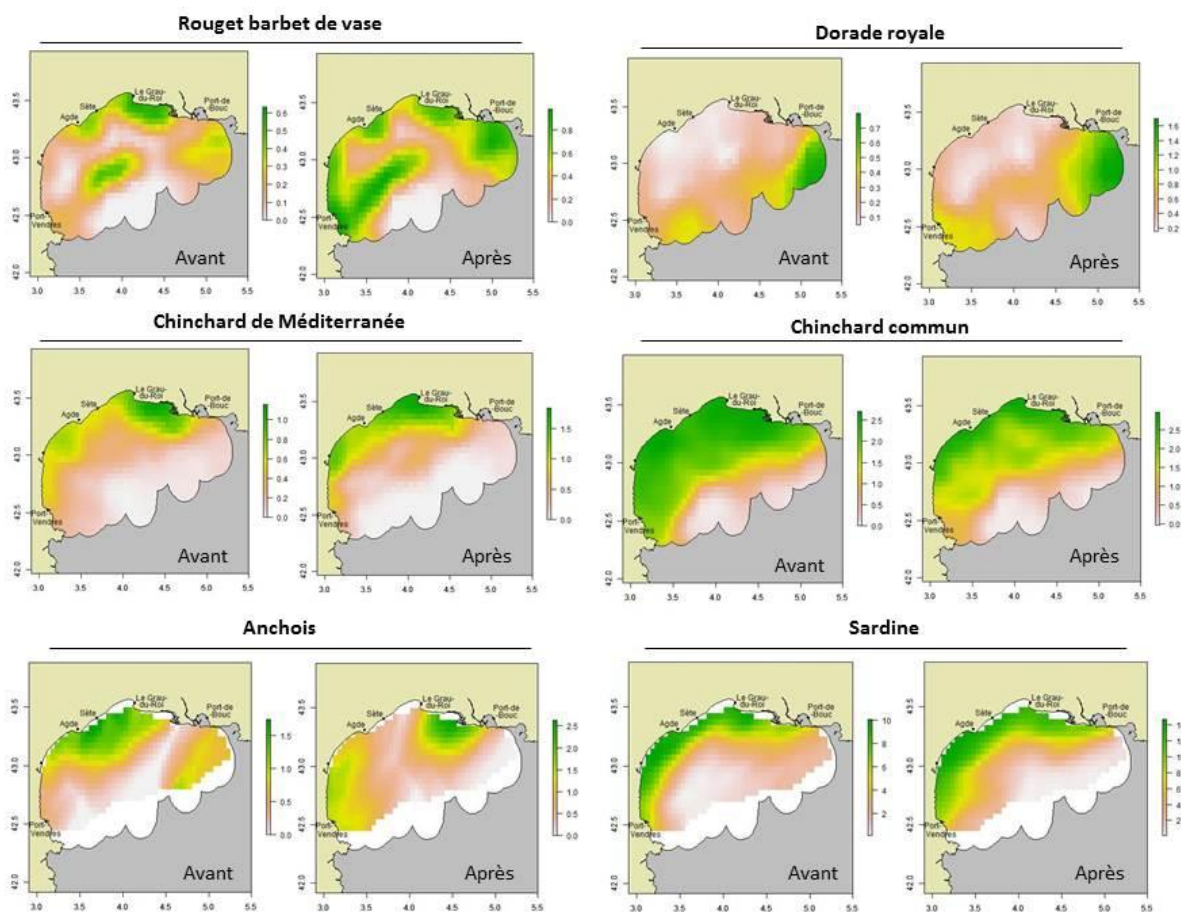


Figure 24: Distribution spatiale moyenne des rejets (log-densité) avant et après déplacement de l'effort de pêche, données MEDITS et PELMED. Avant et après font respectivement référence aux périodes avant et après 2009.

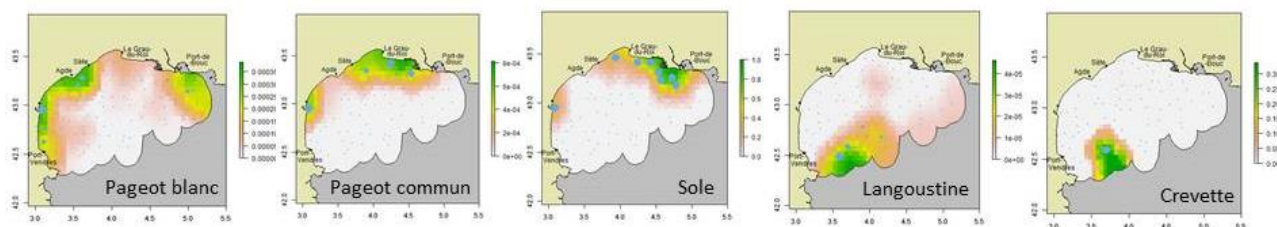


Figure 23: Distribution spatiale de rejets (densité pondérée par la variance annuelle) de cinq espèces démersales, données MEDITS.

Les points bleus correspondent aux coups de chalut de MEDITS où des individus sous TMC de merlu ont été capturés. Le diamètre des points est proportionnel à la densité de ces individus sous TMC.

L'étude de ces cartes révèle par ailleurs que la structure spatiale des rejets pour les espèces analysées annuellement paraît globalement stable au cours des années, même si quelques années se distinguent avec des log-densités légèrement plus importantes et plus étendues dans l'espace ; cela confirme les résultats publiés jusqu'alors à ce sujet [31, 40]. Pour l'ensemble de ces espèces échantillonnées, à l'exception du merlu et du chinchard commun, les densités de rejets sont légèrement plus importantes après la modification des stratégies de pêche en 2009.

3.3.3. Distribution spatio-temporelle des rejets observés en mer avec OBSMER

Parce que les rejets des diverses espèces cibles ne sont pas observés systématiquement par saison, période et engin *in situ* par OBSMER (Tableau 3), il est difficile de dégager des tendances spatio-temporelles de leur distribution comme cela a été fait précédemment avec les données de campagnes scientifiques. La figure 25 présente l'exemple du merlu, seule espèce dont des rejets ont été observés sur les deux types d'engin, durant les trois saisons et pour les deux périodes considérées. Sur ces cartes, il apparaît bien que la structure spatiale des rejets échantillonnés de merlu n'est pas stable au cours du temps comme elle peut l'être au travers des données MEDITS. En effet les rejets apparaissent présents sur la quasi-totalité de la zone d'étude, mais tantôt en bande près des côtes, tantôt en points près de certains ports et au large. Ce type de résultats se retrouve pour le rouget barbet de vase, autre espèce emblématique de la pêche chalutière du golfe du Lion. Pour la majorité des espèces observées en mer, les rejets sont échantillonnés sur seulement quelques coups de chaluts, voire parfois sur un seul, ce qui donne après interpolation une distribution de rejets très localisée. Ces points sont principalement côtiers et très souvent près des grands ports. Pour certaines espèces enfin, des rejets peuvent être observés plus au large, surtout lorsqu'ils sont capturés par les chaluts pélagiques ; c'est le cas par exemple de la dorade rose, du chinchard de Méditerranée et des deux espèces de maquereau. Même s'il est difficile de comparer la distribution des rejets avec le jeu de données OBSMER du fait des séries spatio-temporelles interrompues, il est néanmoins possible de mettre en évidence la modification des stratégies de pêche et la baisse de l'activité de la pêcherie chalutière pélagique depuis 2009. En effet, le nombre d'espèces avec individus sous taille diminue fortement entre les deux périodes d'étude pour l'activité chalutière pélagique (quatorze espèces échantillonnées avec rejets avant 2009 contre quatre après 2009) alors qu'il a tendance à légèrement augmenter pour les pêcheries chalutières de fond (11 contre 15).

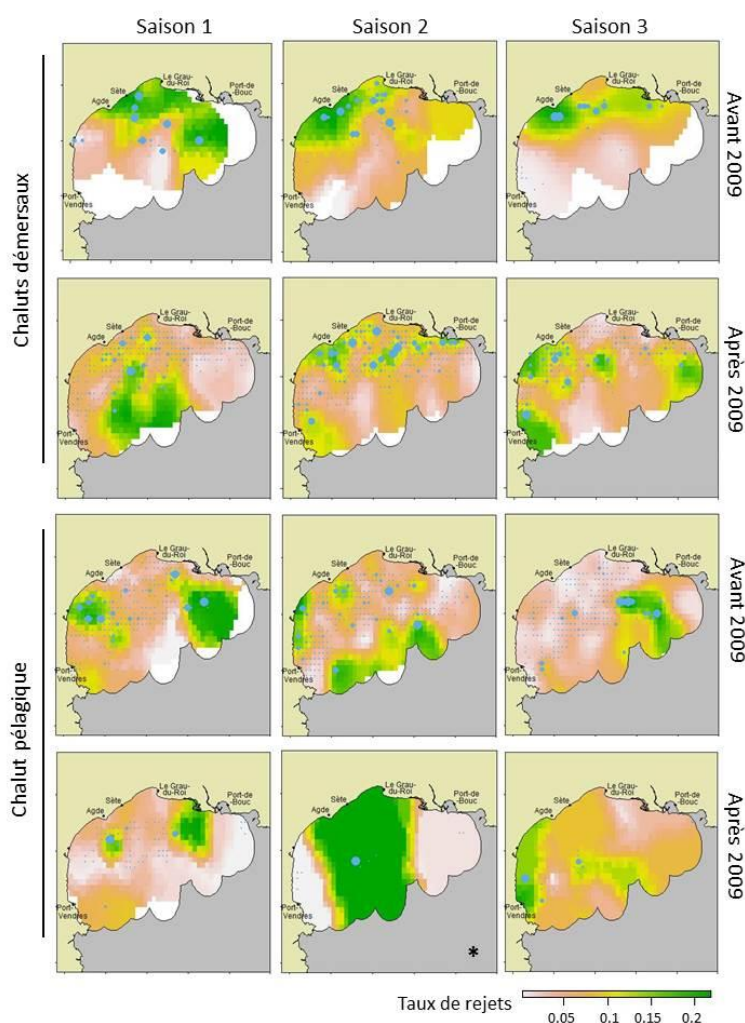


Figure 25: Distribution spatio-temporelle des taux de rejets de merlu (*M. merluccius*) observés *in situ*, données OBSMER.

NB : * signifie que l'échelle de distribution n'est pas applicable à cette figure, les taux de rejets y sont compris entre 0 et 0,1.

Les points bleus correspondent aux observations d'individus sous TMC de merlu. Le diamètre des points est proportionnel au taux d'individus sous TMC.

3.4. Distribution des captures

Pour chacun des sept principaux ports du golfe du Lion, les valeurs des captures ont été cartographiées par période et saison. La figure 26 montre la distribution spatio-temporelle des valeurs des capture du port de Sète en exemple, le reste des cartes étant présenté en annexe 5. Il apparaît sur ces cartes qu'effectivement à partir de 2010, l'activité des chaluts pélagiques a fortement diminué, voire parfois disparu dans certains ports, et qu'à l'inverse, celle des métiers ciblant les espèces démersales a eu tendance à se développer. En plus d'être représentées dans le temps, les valeurs des captures ont été comparées dans l'espace, la figure 27 illustre cette comparaison pour l'exemple des chaluts ciblant les espèces démersales, avant 2009 et pour la première saison. Il ressort de ces comparaisons que les navires sont fortement attachés à leur port principal et restent globalement près des côtes pour capturer les espèces qu'ils ciblent. Enfin, la cartographie de la valeur des captures a permis de mettre en exergue que l'interdiction de pêche dans la zone des 3 NM, c'est-à-dire le long des côtes, n'est pas toujours respectée par les chalutiers dans la partie est du Golfe du Lion, entre le Grau-du-Roi et Marseille, puisque des captures sont enregistrées dans cette zone.

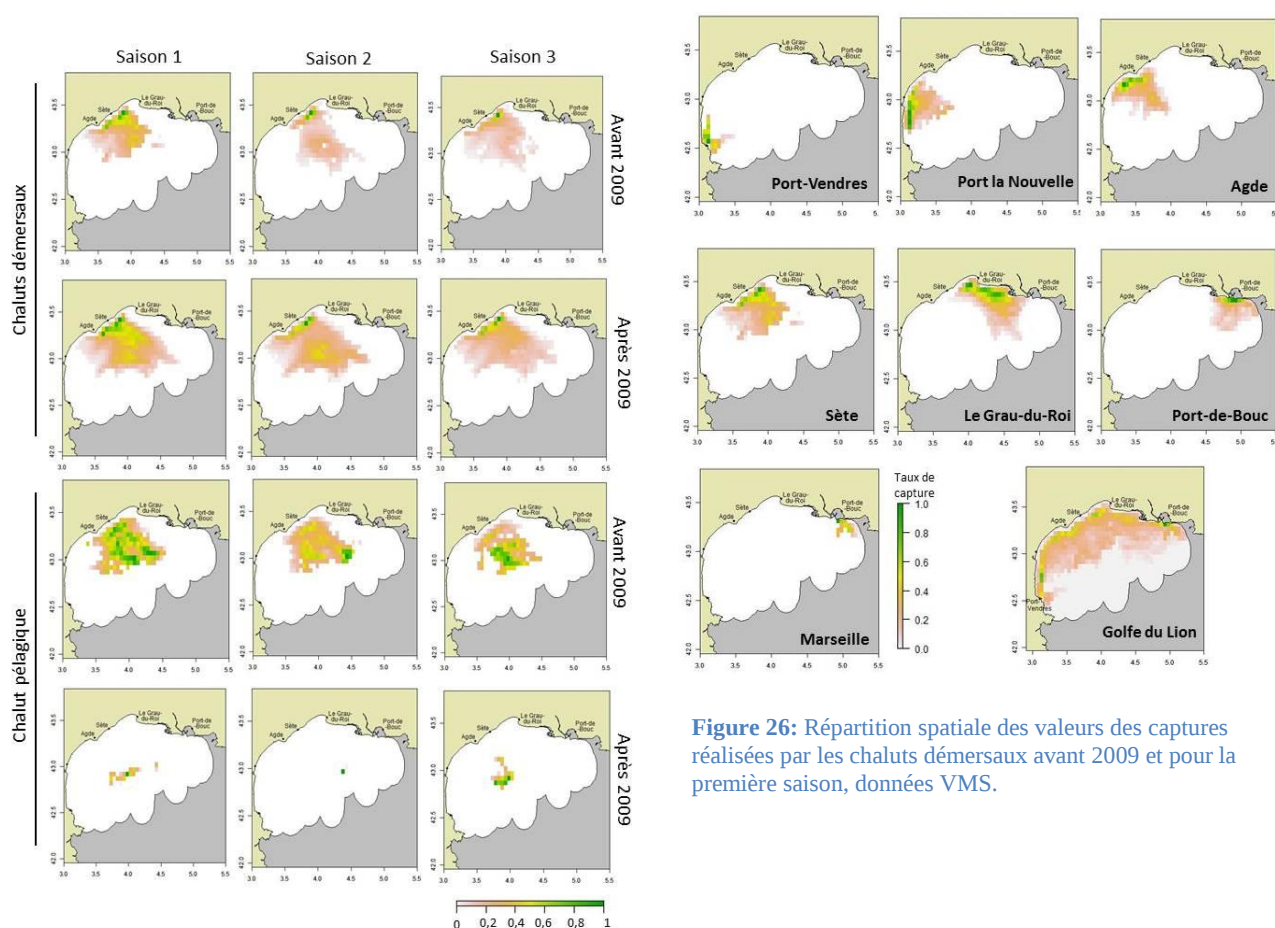


Figure 26: Répartition spatiale des valeurs des captures réalisées par les chaluts démersaux avant 2009 et pour la première saison, données VMS.

Figure 27: Distribution spatio-temporelle des valeurs des captures réalisées par les navires rattachés au port de Sète, données VMS.

Ce qu'il faut retenir de la distribution spatio-temporelle des captures et des rejets

- Les captures des chalutiers sont essentiellement localisées près des côtes et autour des ports principaux.
- L'activité chalutière pélagique a fortement diminué, voire a été supprimée dans certains ports, suite à l'effondrement du stock de sardines en 2009. En parallèle, l'activité des chaluts de fond s'est développée.
- Les TMC ne sont pas toujours bien respectées par les pêcheurs puisque les taux de rejets théoriques sont parfois supérieurs aux taux de rejets effectifs (notamment pour le merlu).
- Pour certaines espèces, les rejets sont présents de façon homogène sur une large bande côtière (sardine), voire sur l'ensemble de la zone (merlu, chinchard commun). Pour d'autres, les rejets sont plus dispersés en patch près des côtes et autour des ports (anchois, pageot commun, sole) ou au large (rouget barbet de vase, langoustine, crevette rose).
- Les données OBSMER sont beaucoup moins précises que celles des campagnes scientifiques, surtout en ce qui concerne les espèces les moins intéressantes économiquement. Néanmoins, elles permettent d'avoir accès à la distribution spatiale des rejets sur toute l'année quand les données MEDITS et PELMED ne concernent respectivement que juin et juillet.

3.5. Planification spatiale de la pêche chalutière sous Marxan

3.5.1. Paramètres SPF et BLM retenus

Les tests réalisés sur les sept niveaux de BLM (0, 0,0001, 0,01, 1, 100, 10000 et 1000000) ont montré que fixer un BLM différent de 0 permettait d'améliorer légèrement le degré d'agrégation des PUs sélectionnées. Néanmoins très peu de différence en termes d'agrégation a été notée entre les six niveaux non nuls testés (0,0001, 0,01, 1, 100, 10000 et 1000000). Le BLM a donc été fixé à 0,0001.

Les tests sur le SPF ont quant à eux révélé des différences tant sur le degré d'agrégation des PUs sélectionnées que sur le pourcentage de cibles atteintes. En effet, les scénarios avec un SPF fixé à 1 sont apparus avec un pourcentage de cibles atteintes plus faible, témoignant d'une moins bonne protection des zones avec rejets théoriques et des habitats sensibles au chalutage. Dans le même temps il s'est révélé qu'un SPF de 1 entraînait un meilleur niveau d'agrégation des PUs dans le sens où Marxan sélectionnait globalement les mêmes PUs parmi les 100 solutions testées (Figure 28). Parce que l'objectif de cette étude est avant tout de proposer des scénarios de planification de la pêche réalisables et non des scénarios de conservation de la biodiversité, il a été choisi de privilégier l'agrégation des zones d'évitement et ainsi de fixer le SPF à 1.

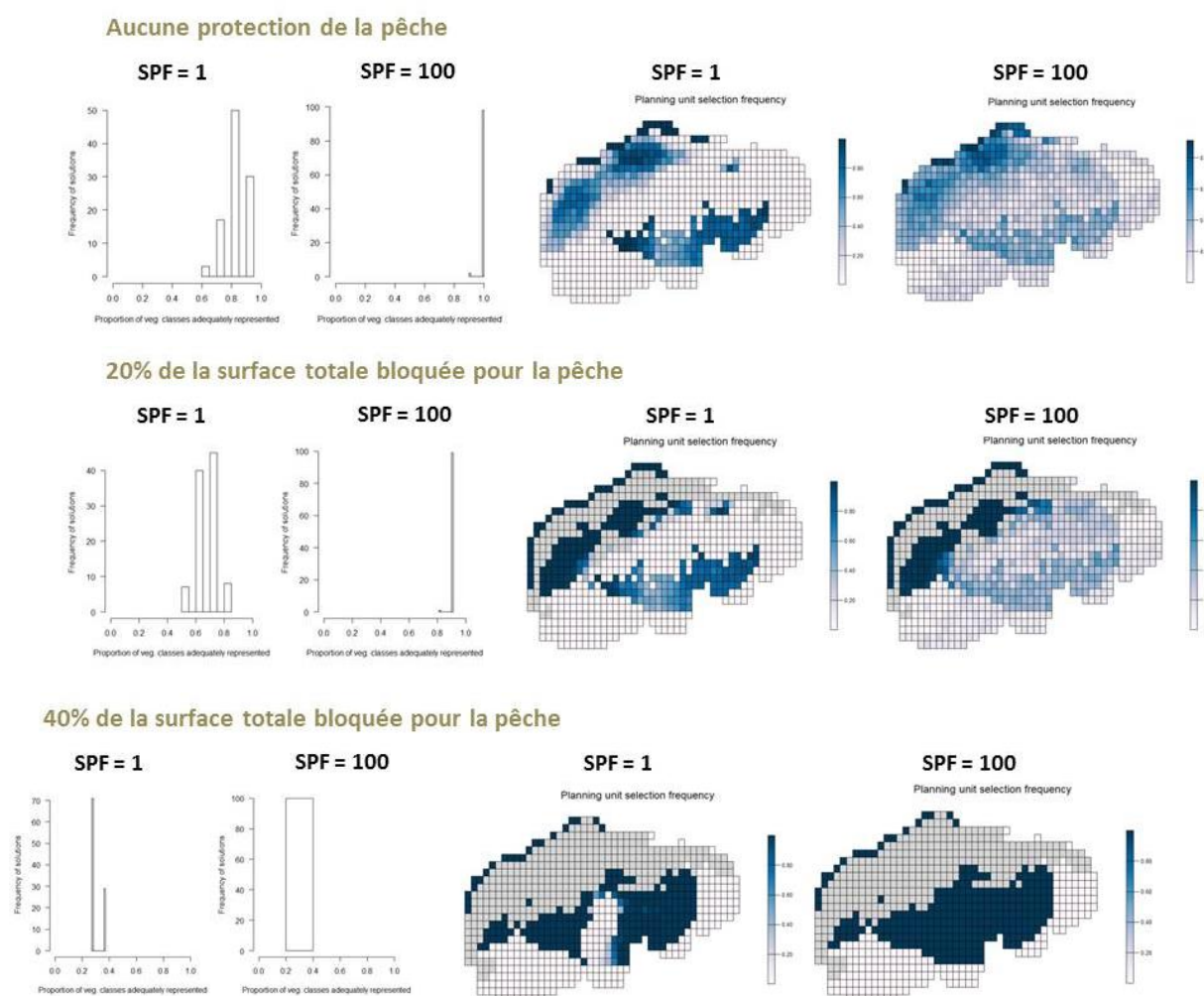


Figure 28: Comparaison des résultats Marxan en fonction du SPF. Cas des chaluts de fond, avant 2009 et pour la 1^{re} saison. Gauche : proportion de cibles atteintes ; droite : fréquence de sélection des PUs sur l'ensemble des 100 scénarios testés.

3.5.2. Stratégies saisonnières et annuelles d'évitement des rejets et des habitats sensibles

Pour rappel, deux approches ont été envisagées dans la planification spatiale sous Marxan. La première correspond à la situation actuelle (période après 2009) et considère que seuls les chaluts démersaux sont actifs dans le golfe du Lion. La deuxième quant à elle prend aussi en compte les chaluts pélagiques, comme c'était le cas avant la chute du stock de sardines (période avant 2009). Cette deuxième approche a été étudiée dans l'éventualité d'un futur rétablissement de ce stock de sardines et d'une reprise de l'activité chalutière pélagique dans le golfe du Lion. Pour chacune des deux approches, quatre pas de temps (saison 1, 2, 3 et cas annuel) et trois degrés de protection de la pêche (0, 20% et 40% de la surface totale d'étude bloquée pour le maintien de l'activité chalutière) ont été considérés. La cible de protection des zones avec individus sous TMC et des habitats sensibles a quant à elle été fixée à 30%. La figure 29 illustre comme exemple les scénarios obtenus pour la première approche, c'est-à-dire pour les chaluts démersaux et la période après 2009. Les résultats de la seconde approche sont présentés en annexe 6. Pour chacun des scénarios présentés, la carte représente la fréquence de sélection des PUs sélectionnées par Marxan parmi les 100 solutions testées pour chacun de ces scénarios. Plus une PU a une fréquence de sélection élevée, plus elle est intéressante pour la préservation des rejets et des habitats sensibles au chalutage.

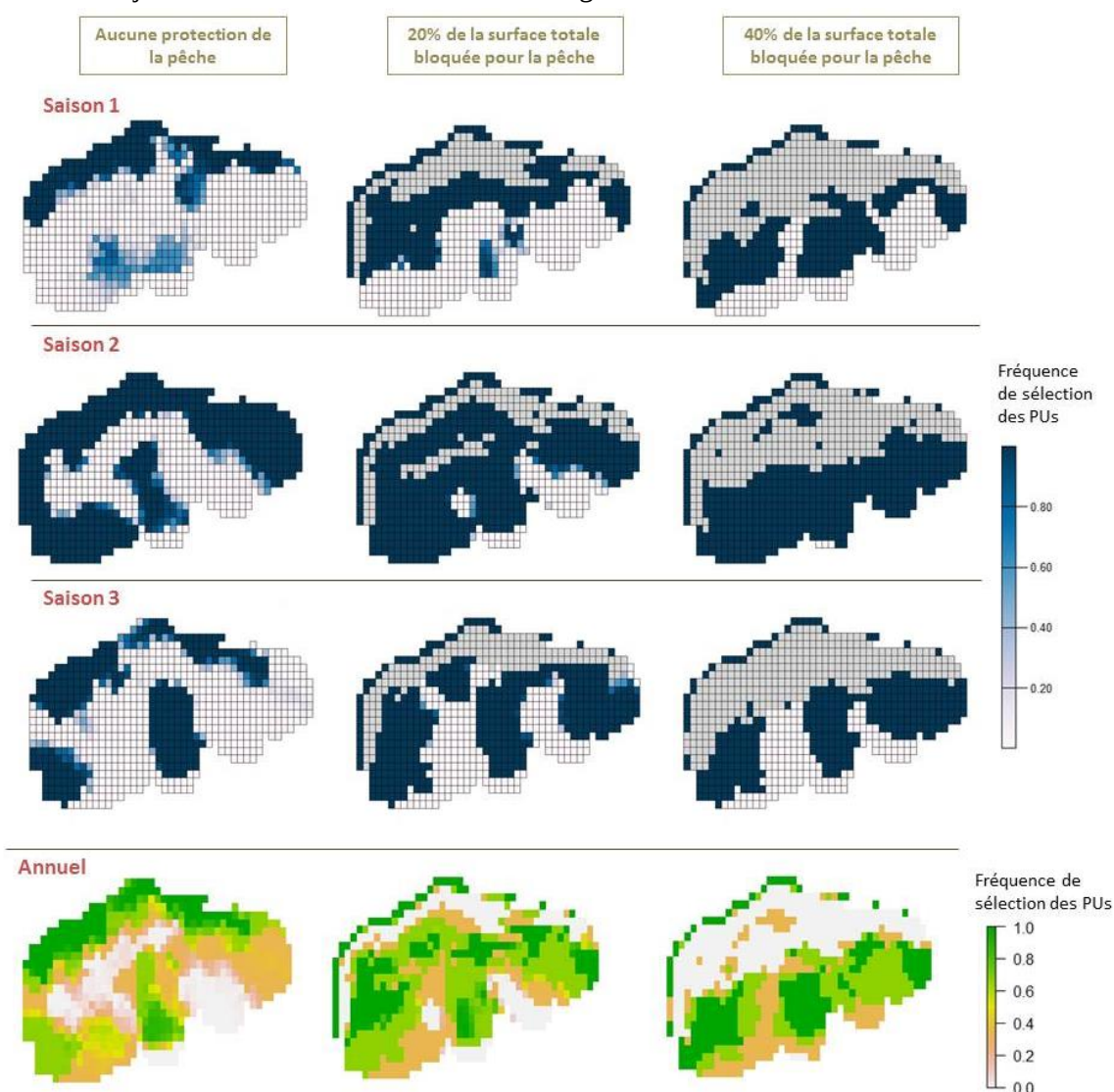


Figure 29: Scénarios saisonniers et annuel de planification de la pêche chalutière. Cas des chaluts de fond, après 2009. NB : pour la saison 2, les données MEDITS et PELMED ont été considérées en plus des données OBSMER

Il apparaît sur la figure 29 que lorsqu'aucune PU n'est bloquée pour la protection de la pêche, la zone côtière est choisie préférentiellement pour protéger les individus sous TMC d'espèces commerciales et les habitats sensibles. Un patch au large du golfe est aussi quasi systématiquement choisi. Lorsqu'une partie des zones de pêche est bloquée pour le maintien de l'activité, Marxan est contraint de sélectionner des PUs plus au large. Parce que les captures sont effectivement localisées principalement près des côtes (cf 3.4.), le blocage de PUs pour le maintien de ces captures rend inaccessible la zone côtière préférée par Marxan. En plus d'exercer une contrainte spatiale forte dans la sélection des PUs, le fait de bloquer certaines zones pour le maintien de l'activité chalutière rend difficile la protection des spots riches en individus sous-taille et des habitats sensibles. Quand aucune PU n'est bloquée pour la pêche, Marxan parvient quasi systématiquement à atteindre la cible de protection des individus sous TMC et des habitats sensibles (~ 90%) ; dès lors qu'une partie de la zone est bloquée pour la pêche, le pourcentage de cibles atteintes a tendance à chuter fortement, pouvant aller jusqu'à seulement 20%, et ce même si l'ensemble des PUs non bloquées sont sélectionnées par Marxan. Ces tendances sont visibles pour chacune des trois saisons et pour le cas annuel (moyenne de ces trois saisons).

Les scénarios relatifs à la période avant 2009 et aux deux types d'engin (démersaux et pélagiques) (annexe 6) montrent des résultats assez similaires, tant sur l'importance des zones côtières dans la protection des individus sous TMC et des habitats que sur la forte contrainte spatiale exercée par les deux degrés de protection de l'activité chalutière.

3.5.3. Prise en compte des zones protégées déjà existantes dans la planification spatiale

Les scénarios intégrant les zones protégées existantes sont présentés en annexe 7 par combinaison d'engin et de période (chaluts de fond après 2009, chaluts de fond avant 2009 et chaluts pélagiques avant 2009). La figure 30 compare les scénarios avec et sans prise en compte des zones protégées pour trois cas. Il apparaît au travers de ces scénarios que la FRA a été une des zones préférentiellement retenues par Marxan pour protéger les individus sous TMC et les habitats puisqu'elle est ressortie, en partie ou toute entière, systématiquement dans les scénarios avec zones protégées. En ce qui concerne les zones Natura 2000 sous Directive Habitat Faune Flore, comme elles sont localisées dans la zone des 3NM le long des côtes, elles ont aussi été systématiquement retenues par Marxan. Pour ce qui est des PNMs et de la réserve de biosphère, situées au sud-ouest et à l'est de la zone d'étude, il semble qu'elles soient peu importantes en termes de protection des rejets et des habitats sensibles. Cela peut s'expliquer essentiellement par le fait que, d'une part, ces zones ne sont pas des refuges privilégiés pour les petits individus, et d'autre part, les coûts associés à ces zones ont été volontairement fixés plus élevés (0,75) que ceux de la FRA (0,25) et des secteurs Natura 2000 (0,5).

Pour le reste, il ressort que, comme pour les scénarios sans zones protégées, les PUs les plus près de la côte ont été préférentiellement choisies lorsqu'aucune zone n'était bloquée pour le maintien de la

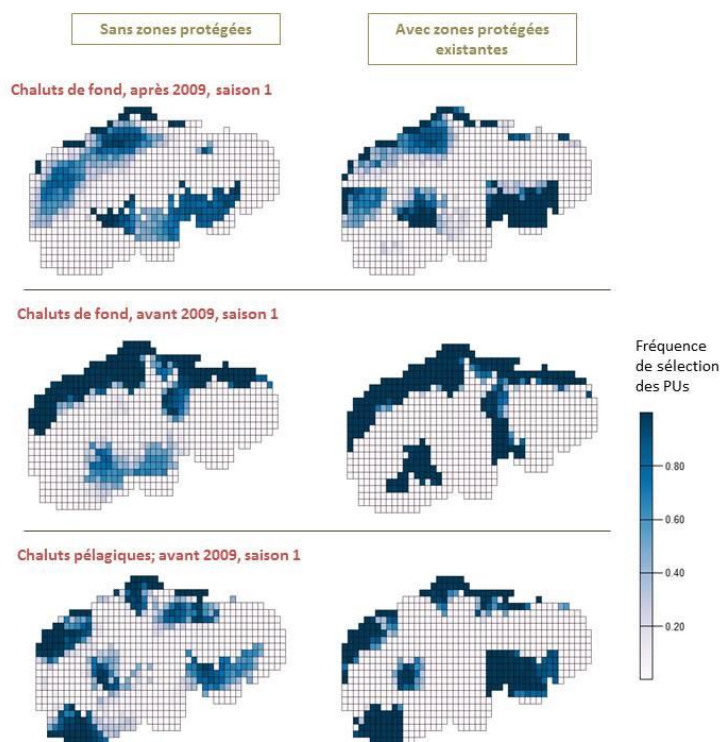


Figure 30: Comparaison des scénarios de planification avec et sans prise en compte des zones protégées déjà existantes

pêche. Et une fois de plus, le blocage de certaines PUs pour la protection de la pêche a non seulement représenté une contrainte spatiale pour Marxan, qui a dû sélectionner des PUs plus au large, mais a aussi empêché d'atteindre les cibles de protection des individus sous TMC et des habitats sensibles.

3.5.4. Apport des données de campagnes scientifiques MEDITS et PELMED dans la planification spatiale

Pour chacun des scénarios faisant intervenir la 2^e saison, deux approches ont été testées : la première ne considère que les données OBSMER, la deuxième prend aussi en compte les données de campagnes scientifiques MEDITS et PELMED seulement disponibles pour cette saison. Les cartes donnant la fréquence de sélection des PUs et les histogrammes de cibles atteintes relatifs à ces deux types de scénarios ont été comparés (Figure 31). Il apparaît qu'ajouter les cartes de distribution de rejets théoriques issues de MEDITS et PELMED a forcé Marxan à sélectionner beaucoup plus de PUs afin d'assurer la protection de l'ensemble des zones abondantes en individus sous-taille. Dans un même temps, comme l'illustrent les pourcentages de cibles atteintes plus faibles, prendre en considération les données MEDITS et PELMED a rendu plus difficile la protection de l'ensemble des zones avec rejets.

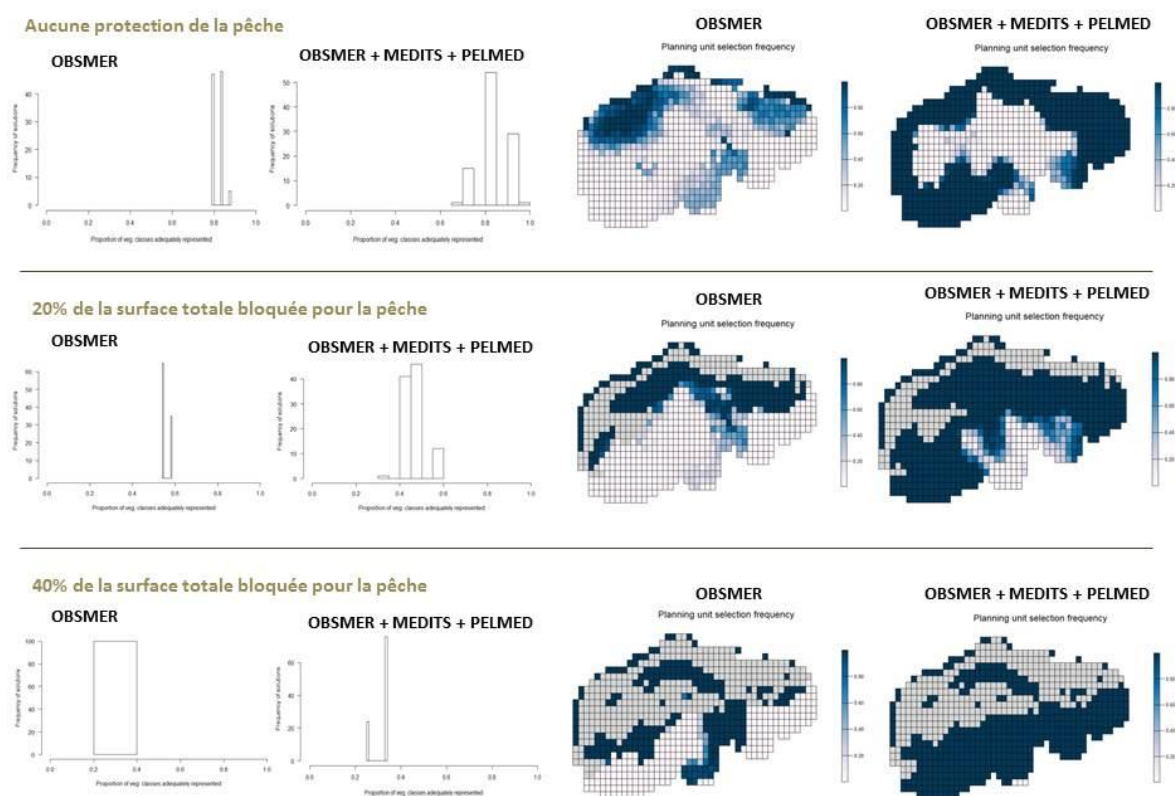


Figure 31: Comparaison des pourcentages de cibles atteintes et des fréquences de sélection de PUs pour les scénarios avec et sans données de campagnes MEDITS et PELMED. Cas des chaluts de fond, avant 2009 et pour la 2^e saison.

En plus de forcer à sélectionner plus de PUs, l'intégration des données de campagnes scientifiques semble avoir été structurant spatialement pour Marxan. En effet comme l'illustre la figure 32, quand les zones avec rejets issues de MEDITS et PELMED sont prises en compte et qu'aucune zone n'est bloquée pour la pêche, Marxan a eu tendance à sélectionner toute la bande côtière et une partie du large. Ceci est dû au fait que pour la majorité des espèces démersales et des petits pélagiques, les individus sous-taille échantillonnés par les campagnes scientifiques sont localisés dans ces zones (cf 3.3.2.). En plus de souligner la possible sous-estimation des scénarios 1 et 3, cette comparaison rappelle l'importance de maintenir des campagnes d'évaluation scientifiques indépendantes des pêcheries.

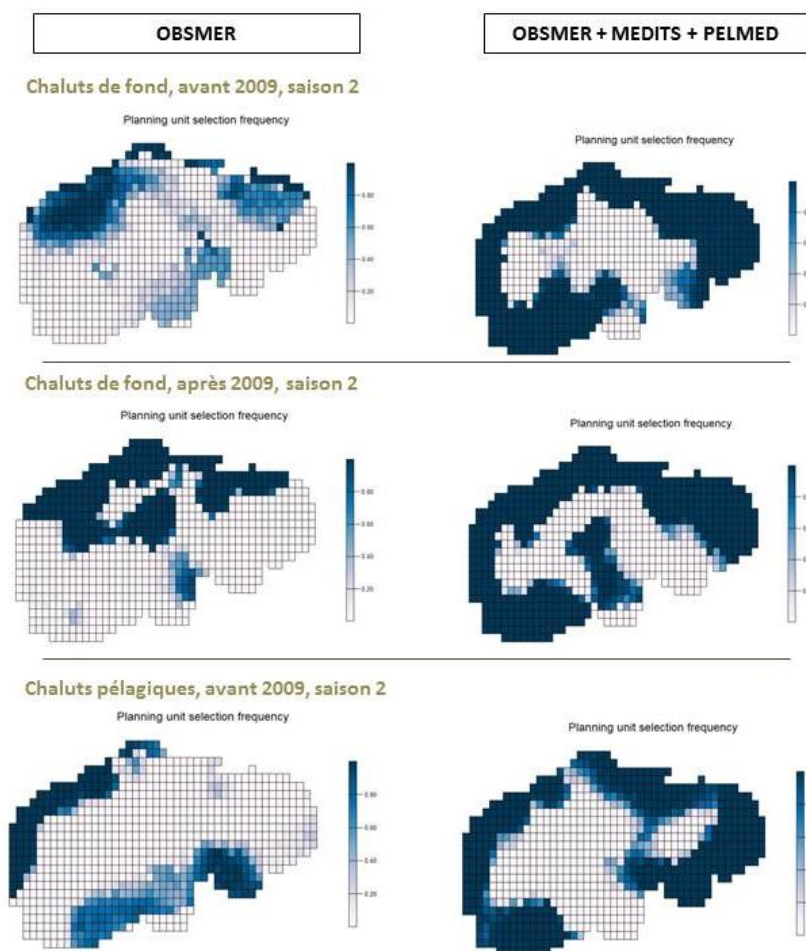


Figure 32: Comparaison des fréquences de sélection de PUs pour les scénarios avec et sans données de campagnes scientifiques. Cas où aucune zone n'est bloquée pour la protection de la pêche.

Gauche: données OBSMER uniquement ; droite: données OBSMER, MEDITS et PELMED.

Ce qu'il faut retenir de la planification spatiale avec Marxan :

- Les zones côtières sont les secteurs privilégiés à protéger pour éviter la capture d'individus sous TMC d'espèces commerciales et préserver les habitats sensibles au chalutage.
- La protection de l'activité chalutière force Marxan à sélectionner des zones plus au large pour éviter les secteurs abondants en individus sous TMC et sensibles au chalutage.
- Plus le degré de maintien de la pêche est élevé, plus il est difficile pour Marxan d'atteindre les cibles de protection des rejets et des habitats.
- La FRA COSEGOL est secteur systématiquement retenu par Marxan quand les coûts y sont fixés plus faibles. Y maintenir un niveau bas, voire nul, de l'activité chalutière est donc fortement recommandé pour limiter les captures de rejets.
- La prise en compte des données MEDITS et PELMED aboutit à des scénarios d'évitement plus stricts. Les stratégies d'évitement des saisons 1 et 3 peuvent sous-estimer la taille des zones à protéger pour éviter les captures de rejets.

4. Discussion et perspectives d'étude

4.1. Intérêts et limites de la spatialisation des captures et rejets

L'analyse géostatistique réalisée sur les observations des campagnes scientifiques et du suivi OBSMER a permis de caractériser dans le temps et l'espace la distribution à la fois de l'effort de pêche et des zones riches en espèces sous TMC. Dans ce sens, la spatialisation apparaît comme une étape indispensable pour mettre en place des mesures spatiales adaptées aux pêcheries concernées.

Néanmoins il est nécessaire de rappeler que les données utilisées pour caractériser ces distributions sont parfois incomplètes, notamment les données OBSMER. La comparaison des données OBSMER avec celles des campagnes scientifiques a effectivement révélé un sous-échantillonnage des individus sous-taille par les suivis à bord des navires de pêche. Cela s'explique par le fait que les observations OBSMER sont dépendantes des pêcheries qu'elles échantillonnent et que de ce fait elles ne sont pas réparties uniformément sur le golfe du Lion comme c'est le cas dans les campagnes scientifiques, mais sont concentrées essentiellement sur la côte, là où se font les captures. De plus, parce qu'il est impossible de tout échantillonner à bord, tous les coups de chalut d'une même marée (une journée passée en mer pour les chalutiers) ne peuvent être enregistrés et seules les espèces les plus intéressantes à la vente (*e.g.* merlu, rougets) font l'objet d'un échantillonnage en taille régulier sur l'ensemble des coups de chaluts réalisés. Enfin, il est important de rappeler que les observations à bord des soixante-dix chalutiers du golfe du Lion sont réalisées par un unique observateur et que par conséquent, elles représentent moins de 5% de l'activité chalutière.

Bien qu'elles soient incomplètes, ces observations sont très utiles pour la spatialisation dans le temps puisqu'elles sont fournies sur toute l'année, contrairement aux données MEDITS et PELMED qui ne concernent respectivement que les mois de mai/juin et juillet. Une extrapolation des données de campagnes scientifiques sur l'ensemble de l'année grâce aux données OBSMER aurait été intéressante à réaliser pour avoir des données mensuelles plus précises et réparties uniformément sur la zone d'étude, comme cela est fait dans la mer du Nord par exemple. Ce type d'approche nécessite d'exprimer les observations de rejets d'OBSMER et des campagnes dans la même unité, en nombre ou kilogramme de rejets par heure d'effort par exemple. Un modèle type glm par espèce et zone doit ensuite être développé afin de faire le lien entre ces deux types d'observation. Suivant la qualité de ces modèles, une extrapolation des densités de rejets échantillonnées par les campagnes à partir des données OBSMER peut être réalisée. Dans le cas de cette étude, parce que les observations OBSMER ne sont pas présentes au large, la prédiction des distributions d'individus sous-taille dans ces zones ne peut être envisagée, ce qui rend l'intérêt de cette approche limité.

En outre, il est important de souligner que pour beaucoup d'espèces, l'analyse géostatistique a révélé un manque de structure spatiale de la distribution des rejets. Pour ces espèces, des modèles péritiques ont effectivement dû être utilisés pour interpoler les distributions d'individus sous-taille sur l'ensemble du golfe du Lion, remettant potentiellement en cause la qualité des cartes de distribution de rejets. Cependant, comme le krigeage a été réalisé localement en se basant sur les quatre observations les plus proches et qu'un seuil de distance a été fixé pour éviter les interpolations abusives, ces cartes de distributions peuvent être considérées comme relativement fiables. De façon générale, l'ensemble des cartes de distribution d'individus sous TMC produites par cette étude devront être comparées avec celles issues du krigeage des futures données d'observation Galion et ce afin d'en évaluer leur exactitude.

4.2. Perspectives d'utilisation des scénarios de planification spatiale

L'objectif final de cette étude était de proposer divers scénarios de planification spatiale de la pêche chalutière dans le golfe du Lion afin de limiter les captures d'individus sous TMC des espèces commerciales. Le logiciel Marxan s'est révélé très utile pour cela puisqu'il a permis de prendre en compte la distribution des rejets de l'ensemble des espèces commerciales étudiées dans l'analyse géostatistique, ce qui est primordial dans le cadre d'une activité multi-spécifique telle que la pêche chalutière. Marxan a par ailleurs permis l'intégration des habitats à risque, évitant ainsi de proposer des déplacements de l'effort de pêche dans des zones potentiellement sensibles au chalutage démersal. Enfin, la prise en compte de l'effort de pêche et le fait de pouvoir bloquer ou non les zones riches en captures pour le maintien de la pêche représente un vrai atout en termes de planification spatiale et constitue un outil de base pour la réflexion et la mise en place de mesures de gestion. En effet, ne pas définir des zones de fermeture à la pêche comme il est coutume de faire mais souligner les zones importantes à protéger (car riches en individus sous TMC d'espèces commercialisables) offre la possibilité de discuter de l'impact, en termes de préservation des individus sous-taille, d'une quelconque diminution de l'effort de pêche ou plus généralement d'un changement de stratégie de pêche.

Grâce à la centaine de scénarios générés, il a été possible de montrer que la bande côtière, parce qu'elle est la plus abondante en individus sous taille, est le secteur sur lequel les changements de stratégies de pêche devraient se porter principalement. Néanmoins, il est légitime de se demander si de réelles mesures de réduction de l'effort de pêche pourront être mises en place dans ce secteur où l'essentiel des captures est réalisé. Pour les chalutiers, les marées sont limitées à la journée (interdiction de pêcher la nuit et de passer plusieurs jours consécutifs en mer) ; aller pêcher au large reviendrait donc à réaliser un, voire deux traits de chalut, quand ils peuvent en faire en moyenne trois près de la côte. Avec le prix élevé du gasoil, pouvant représenter de 30 à 50% du chiffre d'affaire, les pêcheurs n'ont donc aucun intérêt à sortir au large et abandonner la côte. Dans ce contexte, les scénarios de gestion saisonniers avec divers degrés de protection de la pêche apparaissent comme un outil pertinent pour trouver des compromis de gestion entre maintien de l'activité chalutière et protection des zones riches en individus sous TMC.

En outre, même si l'analyse spatiale sous Marxan constitue une base intéressante pour la mise en place de mesures spatiales de gestion, il est important de rappeler que les scénarios sont essentiellement basés sur l'interpolation des observations OBSMER, observations qui sont dépendantes des pêcheries et qui représentent à peine 5% de l'activité chalutière. De ce fait, les résultats de planification sont probablement à revoir à la hausse, notamment pour les saisons 1 et 3. La comparaison des scénarios pour la saison 2, avec et sans données de campagnes scientifiques, a effectivement révélé que la seule prise en compte des données OBSMER avait tendance à sous-estimer la taille des zones à protéger et l'importance de la zone côtière pour réduire les captures d'individus sous TMC des espèces commerciales.

Par ailleurs, Marxan a permis de rappeler l'intérêt en termes de gestion durable des ressources halieutiques des zones protégées déjà existantes, notamment celui de la FRA. Il est vrai que la pente continentale à l'est du golfe du Lion correspondant à l'actuelle FRA COSEGOL avait été identifiée comme étant une nourricerie et une zone de refuge pour les juvéniles de plusieurs espèces commerciales, dont le merlu [20]. Le gel de l'effort de pêche dans cette zone avait été jugé nécessaire pour permettre le recrutement et ainsi assurer le maintien au long terme de l'activité chalutière démersale. Au travers des divers scénarios, Marxan a souligné l'importance de maintenir le plus bas possible dans cette zone, voire de supprimer, l'effort de pêche des chalutiers français afin de réduire les captures d'individus sous TMC et permettre ainsi le recrutement des espèces commerciales. Néanmoins il est important de rappeler que même si la FRA et le reste

des zones protégées comme les Natura 2000 sont toujours chalutées, le temps passé et le niveau de captures y restent relativement bas par rapport au reste des zones explorées par les navires français. Un rapport réalisé par l'IFREMER en réponse à une saisine de la DPMA [6] a effectivement montré que la FRA ne représentait qu'à peine 2% de l'effort de pêche des chalutiers français, 2% des captures totales de merlu et moins de 4% des captures de rougets. Se contenter de ne fermer que ces zones ne suffira donc pas pour réduire considérablement les taux de rejets et permettre le maintien des stocks des espèces commerciales.

Enfin, pour que ces scénarios de planification soient valables et exploitables, il est important de rappeler les hypothèses sur lesquelles ils reposent. La première est que les individus sous TMC épargnés par les chaluts pour une zone et une période d'évitement données ne seront pas capturés en plus des captures habituelles hors de cette zone ou période d'évitement, et qu'ils ne seront pas non plus capturés par d'autres métiers. De plus, parce que l'analyse des données MEDITS et PELMED montre une grande stabilité interannuelle des distributions, il a été considéré que les distributions spatio-temporelles des espèces cibles sous TMC étaient stables au cours des trois saisons et des périodes étudiées. Cependant, dans un contexte de changement climatique et d'anthropisation toujours plus importante des milieux marins, une variabilité saisonnière ou interannuelle, en réponse à des perturbations des variables environnementales (quantité de chlorophylle, abondance de zooplancton, température, courants marins *etc.*) pourrait être à prévoir, remettant ainsi plus ou moins en cause les stratégies d'évitement proposées. Pour pallier cette incertitude, un modèle de prédiction doit être mis en place par le projet Galion dans le cadre d'une thèse avec l'IFREMER. Ce modèle vise à reproduire à moyen terme et sur un pas de temps d'un mois la dynamique spatio-temporelle des stocks exploités et de l'effort de pêche. Les simulations réalisées par ce modèle doivent permettre d'établir un diagnostic de performance des scénarios de planification proposés par cette étude. Dans le même temps, Druon et al (2015) ont mis au point un modèle de prédiction à court terme (sept jours) de distribution des juvéniles de merlu dans le golfe du Lion à partir des données MEDITS et des variables environnementales [41]. Les cartes produites par ce modèle informent les pêcheurs sur les zones de concentrations de petits merlus et peuvent ainsi les aider à réduire les captures d'individus de merlus sous TMC. Même si des améliorations de ce modèle sont encore nécessaires, il serait intéressant de comparer les cartes de prédiction à court terme aux cartes de distribution de rejets obtenues dans cette étude afin d'évaluer la stabilité des communautés de petits individus ainsi que la robustesse des stratégies d'évitement.

4.3. Axes de gestion durable de la pêche chalutière et enjeux inhérents à l'obligation de débarquement

Les scénarios de planification spatiale ont été établis en réponse à la nouvelle interdiction des rejets d'espèces commerciales et ont pour but de servir d'outil d'aide à la décision pour la bonne mise en place de cette réglementation. Mais pour que ces stratégies d'évitement soient efficaces, il est nécessaire qu'elles s'inscrivent dans une démarche plus globale de co-gestion entre pêcheurs et scientifiques et qu'elles soient accompagnées d'autres mesures de gestion. La figure 33 reprend les principaux enjeux de cette obligation de débarquement et propose quelques pistes de réflexion pour arriver à un bon déroulement de cette nouvelle réglementation.

Il est vrai qu'une approche de co-gestion est reconnue pour favoriser les échanges de connaissances entre les divers acteurs d'une activité et ainsi assurer une meilleure acceptabilité et une meilleure implantation des mesures de gestion proposées. Dans ce cadre, les scénarios de planification spatiale proposés par Marxan ne doivent pas être vus comme de nouvelles fermetures administratives mais bien comme des mesures incitatives qui constituent un point de départ à la réflexion et à la concertation entre scientifiques, pêcheurs ainsi que les autres acteurs de la pêche chalutière.

Par ailleurs, bien qu'elles soient reconnues comme étant un des leviers principaux pour réduire les captures d'individus sous taille, les stratégies d'évitement spatio-temporelles ne peuvent être le seul outil pour assurer la réussite de la récente obligation de débarquement. Celles-ci doivent effectivement être combinées à des améliorations techniques, notamment en termes de sélectivité des filets, afin de « trier sur le fond plutôt que sur le pont ». Pour cela, une partie du projet Galion est consacrée à l'analyse des captures réalisées avec le maillage réglementaire et un dispositif complémentaire pour améliorer l'échappement des juvéniles (40 mm carré avec ou sans panneau de maille carré sur le dessus du chalut) ainsi qu'à l'évaluation économique sur le chiffre d'affaire de l'utilisation de chacun de ces deux dispositifs. Une démarche innovante doit aussi être testée pour observer les modalités d'échappement (passage du poisson au travers des mailles du chalut) par observation vidéo.

En parallèle, il est primordial qu'un suivi de l'activité chalutière soit mis en place afin de s'assurer d'une part, du bon respect des stratégies d'évitement des rejets et d'autre part, que l'effort de pêche ne soit pas redéployé vers des zones déjà surexploitées ou au contraire encore relativement peu prospectées par la pêche et donc potentiellement sensibles au chalutage. Ce suivi doit être mis en place à bord des navires par l'utilisation des données VMS qui sont un bon outil de suivi spatial de l'activité chalutière. Il est vrai que ce type de suivi satellite est intéressant car il n'interfère pas avec le travail réalisé par les observateurs OBSMER. En effet demander aux mêmes observateurs de réaliser le suivi scientifique et de contrôler le bon respect des stratégies spatiales serait prendre le risque que les pêcheurs refusent d'embarquer des observateurs à bord de leurs navires. Or le suivi scientifique en mer est essentiel puisqu'il permet d'estimer les stocks, de donner des avis scientifiques et de proposer des mesures de gestion durables des ressources halieutiques. Il est impératif que les pêcheurs continuent d'avoir la garantie que les observations à la mer enregistrant leurs pratiques de pêche légales ou illégales, ne pourront être utilisées à des fins de contrôle.

En outre afin de garantir la réussite de l'obligation de débarquement et d'assurer une exploitation plus durable des ressources halieutiques, une attention particulière devra être portée à l'émergence et au développement de filières illégales de petits poissons. Ce risque est particulièrement fort dans le cas de la Méditerranée et du golfe du Lion où la commercialisation de poissons sous TMC est déjà avérée [42] et où il existe une demande pour les poissons de petites tailles (culture des tapas).

De façon globale, l'importance de préserver les individus sous tailles dans l'optique d'une gestion durable des stocks et du maintien des pêcheries ne doit pas concerner seulement les pêcheurs et les scientifiques. Au contraire cela doit être relayé sur toute la filière de la pêche, incluant aussi les institutions de la pêche, la chaîne de commercialisation ainsi que les organisations non gouvernementales (ONG) et les consommateurs. En effet, faire le choix de consommer un produit issu d'une pêche soucieuse de maintenir une gestion durable de la ressource peut aider à repenser le marché et inciter le secteur tout entier à se tourner vers des pratiques de pêche plus vertueuses.

Enfin, afin de garantir une gestion durable des ressources halieutiques et un maintien de la pêche chalutière en Méditerranée, une attention particulière doit être portée sur la pertinence et le respect des réglementations déjà mises en œuvre. A l'heure actuelle, l'effort de pêche est limité via des marées à la journée et un quota de nombre jours en mer limité à 200, voire 250. Mais en pratique, il apparaît que la majorité des navires font rarement plus de 200 jours à l'année, ce qui laisse douter de l'efficacité de cette mesure pour réellement diminuer l'effort de pêche. En parallèle, les chalutiers sont limités sur leur taille (< 25 m) et sur leur puissance moteur (< 316 kilowatts). En réalité, alors que la première réglementation est relativement respectée, la deuxième n'est quant à elle que très peu considérée puisque la plupart des moteurs de chalutiers ont la capacité de développer le triple de la puissance maximale autorisée. En ce qui concerne la sélectivité des chaluts réglementaire (maillage en fin de filet de 40 mm carré, voire 50 mm losange), elle est

manifestement mal acceptée en Méditerranée et pas toujours appliquée puisqu'elle ne permet pas de capturer certaines espèces cibles comme l'encornet, qui sont de petite taille mais ne sont pas soumises à des TMC. Enfin, comme l'a souligné cette étude, les TMC qui ont été fixées pour permettre le recrutement des stocks et assurer une gestion durable des ressources ne sont pas toujours respectées ; c'est notamment le cas du merlu, espèce emblématique de la pêche chalutière dans le golfe du Lion, mais en fort déclin car largement surexploitée. Il apparaît par conséquent que pour limiter l'effort de pêche et permettre une gestion durable des stocks et des pêcheries, une attention particulière serait à porter sur le respect des TMC, de la sélectivité des chaluts mais aussi de la puissance motrice des navires.

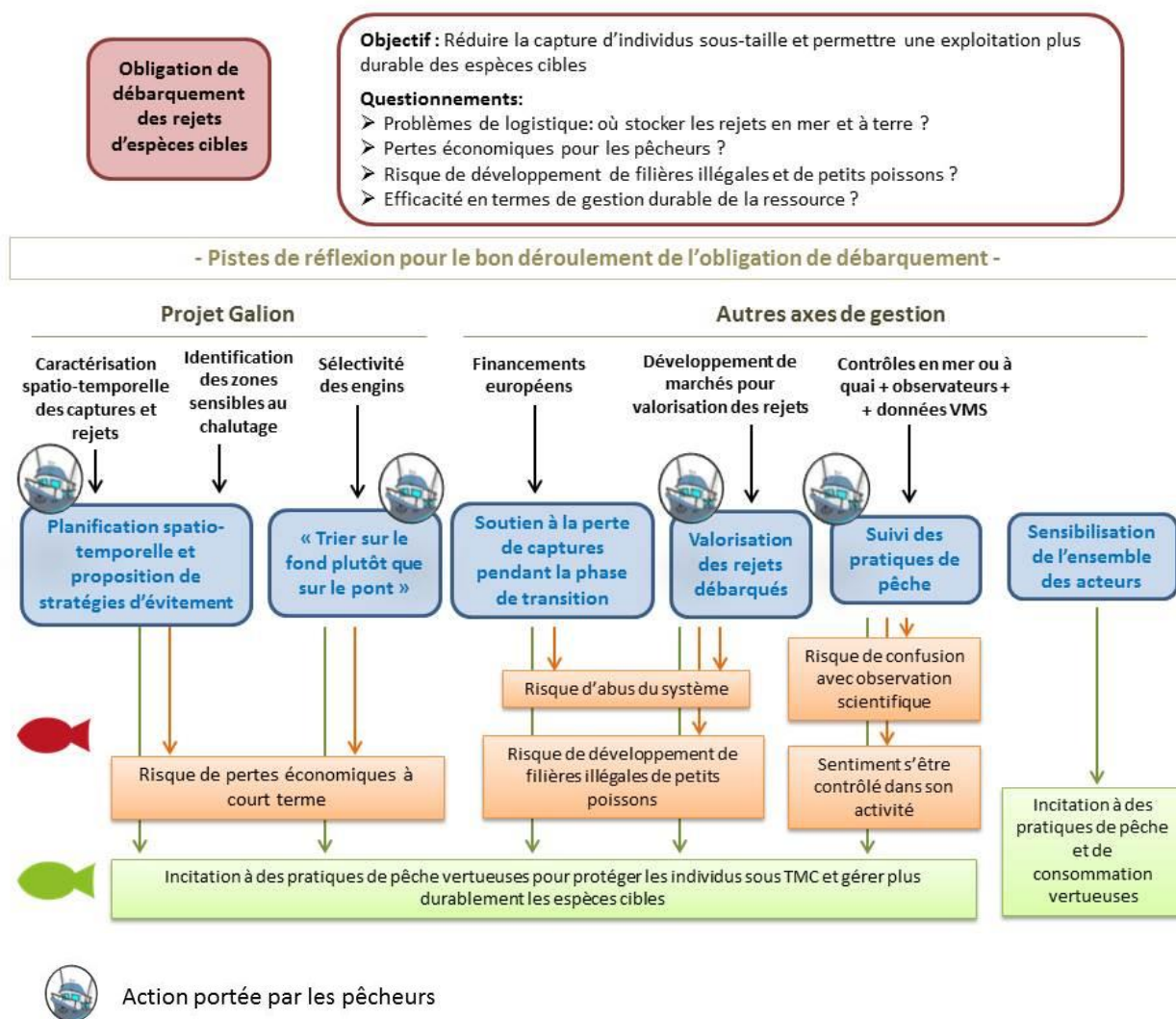


Figure 33: Schéma bilan des enjeux inhérents à l'obligation de débarquement

Conclusion

La cartographie des captures et rejets ainsi que la planification spatiale des pêcheries a permis de souligner l'importance de la bande côtière dans le golfe du Lion. En effet, ce secteur est à la fois le plus abondant en individus sous-taille d'espèces commerciales, mais aussi le plus prisé par les pêcheurs car c'est dans cette zone que se font l'essentiel de leurs captures journalières. Des compromis entre exploitation et préservation des individus sous taille devraient être trouvés afin d'assurer le bon déroulement de l'obligation de débarquement et réduire efficacement les captures de rejets. Les scénarios de planification spatiale, parce qu'ils intègrent à la fois la protection des individus sous-taille, la préservation des habitats sensibles au chalutage et le maintien de l'activité chalutière, constituent un outil intéressant pour aider les pêcheurs et les scientifiques dans l'établissement d'une gestion adaptée des stocks exploités. La réduction, voire la suppression de l'effort de pêche dans les zones protégées existantes comme la FRA COSEGOL pourrait en partie aider à limiter les captures d'individus sous TMC sans trop impacter l'activité chalutière.

Par ailleurs, l'étude en parallèle des données OBSMER, MEDITS et PELMED a permis de souligner l'importance de réaliser des campagnes scientifiques indépendantes des pêcheries afin d'avoir une évaluation des ressources halieutiques plus précise et répartie uniformément sur l'ensemble du golfe du Lion. Cependant, parce que ces campagnes ne sont faites que sur un mois de l'année, il est aussi nécessaire de maintenir les campagnes de suivi OBSMER afin d'évaluer les différents stocks exploités sur toute l'année.

Enfin cette étude a souligné la nécessité de continuer à développer conjointement des mesures de gestion à la fois techniques, économiques et sociales afin de permettre le bon déroulement de la récente obligation de débarquement et plus largement d'assurer la réduction des captures d'espèces commerciales sous-taille pour éviter leur surexploitation. Cela passe par la mise en œuvre de nouvelles mesures telles que la planification spatiale développée dans cette étude ; mais surtout par le respect des réglementations déjà en vigueur, ce qui n'est pas toujours le cas pour la pêche chalutière dans le golfe du Lion. Une attention particulière serait notamment à porter sur les TMC, la sélectivité des chaluts ou encore la puissance motrice des navires afin de réduire réellement l'effort de pêche et permettre à la fois une gestion durable des ressources halieutiques et un maintien de l'activité chalutière.

Références

- [1] SIH Ifremer. 2012. Synthèse des flottilles de pêche 2012 – Flotte de Méditerranée.
- [2] European Regulation Council. 2006. Article 4 of the Council Regulation N°1867/2006 of 21 December 2006, no. 1967, p. 18
- [3] Règlement (CE) n° 1967/2006 du Conseil du 21/12/2006 concernant des mesures de gestion pour l'exploitation durable des ressources halieutiques en Méditerranée en modifiant le règlement (CEE) n° 2847/93 et abrogeant le règlement (CE) n°1626/94. [en ligne, consulté le 10/07/2016]. Dans : *Journal Officiel* de 2006. http://www.ineris.fr/aida/consultation_document/32205
- [4] Arrêté du 28/02/2013 portant adoption d'un plan de gestion pour la pêche professionnelle au chalut en mer Méditerranée par les navires battant pavillon français. [en ligne, consulté le 10/07/2016]. Dans : *Journal Officiel* du 03/03/2013. <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000027123362>
- [5] AFH. Avril 2016. Pêches durables en Europe: le compte n'y est pas – Une note d'analyse de l'AFH. [En ligne, consulté le 28/04/2016] <http://association-francaise-halieutique.fr/>
- [6] Ifremer, Mai 2016. Evaluation de l'impact de mesures de gestion transitoires dans le golfe du Lion (GSA 7), 41 p.
- [7] Tsagarakis K., Palialexis A. & Vassilopoulou V. 2013 – Mediterranean fishery discards : Review of the existing knowledge.- *ICES Journal of Marine Science*, 71, p. 1219 – 1234
- [8] Bozzano A., Sarda F. 2002 – Fishery discard consumption rate and scavenging activity in the northwestern Mediterranean Sea. – *ICES Journal of Marine Science*, 59, p. 15-28
- [9] Saila S. 1983 – Importance and assessment of discards in commercial fisheries. – *FAO Fisheries Circular*, No. 765
- [10] Martinez-Abrian A., Maestre R & Oro D. 2002 – Demersal trawling waste as a food source for Western Mediterranean seabirds during the summer. – *ICES Journal of Marine Science*, 59, p. 529 – 537
- [11] S. Sigurdardóttir, E. K. Stefánsdóttir, H. Condie, S. Margeirsson, T. L. Catchpole, J. M. Bellido, S. Q. Eliassen, R. Goñi, N. Madsen, A. Palialexis, S. S. Uhlmann, V. Vassilopoulou, J. Feekings, & M. J. Rochet. 2015. - How can discards in European fisheries be mitigated? Strengths, weaknesses, opportunities and threats of potential mitigation methods, *Mar. Policy*, vol. 51, p. 366–374
- [12] Pusceddu A., Fiordelmondo C., Polymenakou P., Polychronaki T., Tselepides A. & Danovaro R. Septembre 2005 – Effects of bottom trawling on the quantity and biochemical composition of organic matter in coastal marine sediments (Thermaikos Gulf, northwestern Aegean Sea). – *Cont. Shelf Research*, vol 25, n° 19–20, p. 2491–2505
- [13] Commission générale des pêches pour la Méditerranée. 2008. Impact des techniques de pêche sur l'environnement en Méditerranée. – Dans : *Etudes et revues*, n°84

- [14] Van Beveren E., Bonhommeau S., Fromentin J.-M., Bigot J.-L., Bourdeix J.-H., Brosset P., Roos D. & Saraux C. 2016 – Rapid changes in growth, condition, size and age of small pelagic fish in the Mediterranean. *Marine Biology*, 161, p. 1809 – 1822
- [15] FAO. 2014. Report of the SCSA Working Group on Stock Assessment of Demersal Species (WGSAD). *General Fisheries Commission for the Mediterranean*. 76 p.
- [16] Arrêté du 28/01/13 portant sur la création d'un régime d'effort de pêche pour la pêche professionnelle au chalut en mer Méditerranée par les navires battant pavillon français. [en ligne, consulté le 12/07/2016] Dans *Journal Officiel* de 2013. http://www.ineris.fr/aida/consultation_document/31767
- [17] Halpern BS., Warner RR. 2002 – Marine reserves have rapid and lasting effects. – *Ecology Letters*, vol. 5, p. 361 – 366
- [18] Roberts CM., Bohnsack JA., Gell F., Hawkins J. & Goodridge R. 2001 – Effects of marine reserves on adjacent fisheries. – *Science*, vol. 294, p. 1920-1923
- [19] Hilborn R., Stokes K & al. 2004. – When can marine reserves improve fisheries management? – *Ocean & coastal management*, vol. 47, p. 197 -205
- [20] FAO. 2008. General Fisheries Commission for the Mediterranean – Scientific advisory committee. *FAO Fisheries and Aquaculture Report*, n° 890, 98 p.
- [21] CAR/ASP. SPAMIs Specially Protected Areas of Mediterranean Importance. [En ligne, consulté le 28/06/2016] <http://www.rac-spa.org/spami>
- [22] Palomera I., Olivar MP., Salat J., Sabatés A., Coll M., Garcia A. & Morales-Nin B. 2007. – Small pelagic fish in the NW Mediterranean Sea : an ecological review. *Prog Oceanogr*, vol. 74, p. 377 - 396
- [23] BDSS, 1988. Base de Données Sédimentologiques du SHOM. <http://sextant.ifremer.fr/record/52b3fb36-6101-4b10-a0ce-4ba82403f0d6/>
- [24] MEDITS Working group. 2013. International bottom trawl survey in the Mediterranean – Instruction manual. Version 7. 120p.
- [25] FAO. 2010-2016. Fisheries and Aquaculture, Fishing Vessel Monitoring Systems (VMS). VMS Programme Factsheets. Rome. [En ligne, consulté le 21/06/2016] <http://www.fao.org/fishery/vms/en>
- [26] Mello LGS. & Rose GA. 2005. Using geostatistics to quantify seasonal distribution and aggregation patterns of fishes : an example of Atlantic Cod (*Gadus morhua*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci*, vol. 62, p. 659 – 670
- [27] Vaz S., Martin C. S., Coppin F., Ernande B., Carpentier A. & Koubbi P. 2005 - *Analyses géostatistiques dans le cadre des campagnes CGFS*. – 74 p.
- [28] Manchuk J.G., Leuangthong O. & Deutsch C.V. 2009 – The Proportional Effect. – *Mathematical Geosciences*. p. 799-816

- [29] Paulo J. Ribeiro Jr & Peter J. Diggle. 2016. geoR: Analysis of Geostatistical Data. R package version 1.7-5.2. <https://CRAN.R-project.org/package=geoR>
- [30] Renard D., Bez N., Desassis N., Beucher H. & Ors F. 2013. RGeoS : Geostatistical Package. R package version 9.1.6. (Ecole des mines website) <http://cg.ensmp.fr/rgeos>
- [31] Morfin M., Fromentin J.M., Jadaud A. & Bez. N. 2012 – Spatio-Temporal Patterns of Key Exploited Marine Species in the Northwestern Mediterranean Sea. - *PloS one*, vol.7, n°5, p. e37907
- [32] Isaaks E.H. & Srivastava R.M. 1989. An introduction to applied geostatistics. *Oxford University Press*
- [33] Robert J. Hijmans. 2016. Raster : Geographic Data Analysis and Modeling. R-package version 2. 5-8. <https://CRAN.R-project.org/package=raster>
- [34] Game E.T. & Grantham H.S. 2008 – Marxan User Manual: for Marxan version 1.8.10. University of Queensland, St. Lucia, Queensland, Australia & Pacific Marine Analysis and Research Association, Vancouver, British Columbia, Canada.
- [35] Ball I.R., Possingham H.P. & Watts M.E. 2009 – Marxan and relatives: Software for spatial conservation prioritization. – *Spatial conservation prioritisation : Quantitative methods and computational tools*, Chapter 14, p. 185-195
- [36] Kostylev, V.E. & Hannah C.G. 2007 - Process-driven characterization and mapping of seabed habitats. - *Mapping the Seafloor for Habitat Characterization (Eds B.J. Todd and H.G. Greene)*. Geological Association of Canada, Special Paper 47, p. 171–184.
- [37] Lllapasset M. 2016. Définition des habitats sensibles ou à risque au chalutage démersal dans le golfe du Lion. – Mémoire Master 2
- [38] Foveau A., Vaz S., Desroy N. & Kostylev V.E. En cours de publication – Process-driven and biological characterisation and mapping of sensitive seabed habitats to trawling. – 26 p.
- [39] Hanson J.O. & Watts M.E. 2015. Marxan: Decision support tools for reserve selection in R using Marxan.R package version 1.0.0. <https://github.com/paleo13/marxan>
- [40] Saraux C., Fromentin J.M., Bigot J.L., Bourdeix J.H., Morfin M., Roos D., Van Beveren E. & Bez N. 2014.- Spatial Structure and Distribution of Small Pelagic Fish in the NW Mediterranean Sea, *PloS one*, vol. 9, n°11, p. e111211
- [41] J. N. Druon, F. Fiorentino, M. Murenu & al. 2015. - Modelling of European hake nurseries in the Mediterranean Sea: An ecological niche approach, *Prog. Oceanogr.*, vol. 130, p. 188–204
- [42] AFH. 2016. Obligation de débarquement : évitons l'échec. [En ligne, consulté le 14/08/2016] <http://association-francaise-halieuistique.fr/>

Index des sigles et acronymes

AFH : Association Française d’Halieutique

AMP : Aire Marine Protégée

AMOP : Association Méditerranéenne des Organisations de Producteurs

ASPIM : Aires Spécialement Protégées d’Importance Méditerranéenne

BLM : Boundary Length Modifier

CGPM : Commission Générale des Pêches pour la Méditerranée

CNPMEM : Comité National des Pêches Maritimes et des Elevages Marins

CSTEP : Conseil Scientifique Technique et Economique des Pêches

DPMA : Direction des Pêches Maritimes et de l’Aquaculture

FAO : Food and Agriculture Organisation (Organisation des Nations Unies pour l’alimentation et l’agriculture)

FRA : Fishing Restricted Area

IFREMER : Institut Français de Recherche pour l’Exploitation de la Mer

PCP : Politique Commune de Pêche

PNM : Parc Naturel Marin

PPDR : Plan pour une Pêche Durable et Responsable

RMD : Rendement Maximal Durable

SPF : Species Penalty Factor

TAC : Taux Admissible de Capture

TMC : Taille Minimale de Capture

UE : Union Européenne

VMS : Vessel Monitoring System

Benthique : relatif au fond des mers, quelle qu'en soit la profondeur.

Chalut : engin de pêche constitué d'un filet traîné par le chalutier ayant une forme caractéristique en entonnoir, prolongé à l'ouverture par des ailes pour en élargir la portée. Tracté par un seul ou deux navires, il permet de capturer les nombreuses espèces qui vivent sur le fond ou à proximité du fond des océans.

Débarquement : actions de débarquer à quai les captures réalisées en mer.

Echappement : passage du poisson au travers des mailles du filet.

Effort de pêche : ensemble des moyens dont les navires ont recours pour capturer les poissons pendant une période donnée et dans une zone déterminée. Nombre et taille des bateaux, des filets et des moteurs, temps de pêche et appareillage électronique mis en œuvre pour rechercher des poissons font partie de ces moyens.

Engin de pêche : tous outils utilisés pour capturer du poisson (hameçons et lignes, casiers *etc.*). Dans cette étude, il s'agit uniquement de chaluts.

Espèce démersale : espèce qui vit près du fond et non loin des côtes, et qui s'alimente sur le fond ou sa proximité.

Espèce pélagique : espèce vivant dans la couche d'eau superficielle des océans. Les multiples espèces de phytoplancton, zooplancton et de nombreuses espèces de poissons sont des espèces pélagiques.

Flottille : ensemble de navires.

Marée : période de temps au cours de laquelle un navire de pêche est présent en mer et absent du port ou, le cas échéant, déploie son engin de pêche. En Méditerranée, les marées des chalutiers sont limitées à la journée.

Métier de pêche : combinaison d'une zone de pêche, d'un regroupement d'engins spécifiques et d'une espèce ou d'un groupe d'espèces cibles.

Opération de pêche : ici calée et levée d'un chalut. Pour d'autres métiers de pêche, il peut aussi s'agir d'un coup de senne, d'un trait de drague ou de la calée et la levée d'un casier.

Pêcherie : ensemble des bateaux et des engins de pêche qui ciblent une ou plusieurs espèces.

Pêche sélective : pêche qui permet grâce à des engins appropriés de ne capturer que les espèces ciblées.

Recrutement : ensemble des juvéniles qui ont survécu et qui permettront aux stocks de se reconstituer.

Statistiques de pêche : données récoltées lors des débarquements et qui permettent de suivre l'activité de pêche dans son ensemble. Volumes des captures, temps et lieu de pêche, mais aussi des données biologiques comme la taille des individus capturés sont ainsi récoltés pour étudier la dynamique des flotilles et des populations halieutiques.

Sensibilité : degré auquel un individu ou une communauté marine répond à une modification des conditions de son environnement au-delà d'un certain seuil.

Stock : population (ou partie de la population) d'individus localisée dans une zone géographique donnée, n'entretenant aucun ou très peu d'échange avec un stock voisin.

TAC (total autorisé de capture) : quantité en poids de capture qu'il est décidé de ne pas dépasser, au vu de l'analyse biologique de l'état actuel du stock, afin d'assurer la pérennité de son exploitation.

TMC (taille minimale de capture) : taille des individus d'une espèce ou d'un groupe d'espèces, en dessous de laquelle sont interdits le stockage à bord, le transbordement, le débarquement et la commercialisation. Ces réglementations sont adoptées afin de laisser les juvéniles devenir adultes.

Upwelling : phénomène océanique qui se produit lorsque de forts vents marins (généralement des vents saisonniers) poussent l'eau de surface laissant un vide où peuvent remonter les eaux de fond et avec elles une quantité importante de nutriments.

Annexe 1 : résultat des tests ANOVA sur les engins de chalutage

- **Merlu (*M. merluccius*)**

```
> anova(aov(test1$MERLMER ~ test1$TRAWL))
```

Analysis of Variance Table

Response: test1\$MERLMER

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
test1\$TRAWL	1	0.0108	0.010797	0.2118	0.6456
Residuals	491	25.0341	0.050986		

- **Rouget barbet de vase (*M. barbatus*)**

```
> anova(aov(test1$MULLBAR ~ test1$TRAWL))
```

Analysis of Variance Table

Response: test1\$MULLBAR

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
test1\$TRAWL	1	0.2505	0.250546	4.6135	0.03251 *
Residuals	305	16.5637	0.054307		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

- **Rouget barbet de roche (*M. surmulelus*)**

```
> anova(aov(test1$MULLSUR ~ test1$TRAWL))
```

Analysis of Variance Table

Response: test1\$MULLSUR

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
test1\$TRAWL	1	0.6523	0.65230	10.588	0.003797 **
Residuals	21	1.2938	0.06161		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

- **Sole (*S. vulgaris*)**

```
> anova(aov(test1$SOLEVUL ~ test1$TRAWL))
```

Analysis of Variance Table

Response: test1\$SOLEVUL

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
test1\$TRAWL	1	0.0182	0.018174	0.2267	0.6359
Residuals	56	4.4901	0.080181		

- **Chinchard commun (*T. trachurus*)**

```
> anova(aov(test1$TRACTRA ~ test1$TRAWL))
```

Analysis of Variance Table

Response: test1\$TRACTRA

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
test1\$TRAWL	1	0.0160	0.015994	0.2726	0.6032
Residuals	71	4.1658	0.058673		

Annexe 2 : résultat des tests ANOVA sur les périodes

Chaluts de fond (OTB & OTM)

- **Sar à tête noire (*D. vulgaris*)**

```
> anova(aov(test21$DIPLVUL ~ test21$CODE_ANNEE))
```

Analysis of Variance Table

Response: test21\$DIPLVUL

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
test21\$CODE_ANNEE	1	0.02334	0.02334	0.072	0.8059
Residuals	3	0.97306	0.32435		

- **Merlu (*M. merluccius*)**

```
> anova(aov(test21$MERLMER ~ test21$CODE_ANNEE))
```

Analysis of Variance Table

Response: test21\$MERLMER

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
test21\$CODE_ANNEE	1	0.210	0.20998	4.1514	0.04213 *
Residuals	491	24.835	0.05058		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

- **Rouget barbet de vase (*M. barbatus*)**

```
> anova(aov(test21$MULLBAR ~ test21$CODE_ANNEE))
```

Analysis of Variance Table

Response: test21\$MULLBAR

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
test21\$CODE_ANNEE	1	0.3736	0.37361	6.9311	0.008902 **
Residuals	305	16.4407	0.05390		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

- **Rouget barbet de roche (*M. surmuletus*)**

```
> anova(aov(test21$MULLSUR ~ test21$CODE_ANNEE))
```

Analysis of Variance Table

Response: test21\$MULLSUR

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
test21\$CODE_ANNEE	1	0.00006	0.000058	6e-04	0.9803

Residuals 21 1.94604 0.092668

- **Pageot blanc (*P. acarne*)**

> `anova(aov(test21$PAGEACA ~ test21$CODE_ANNEE))`

Analysis of Variance Table

Response: test21\$PAGEACA

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
test21\$CODE_ANNEE	1	0.01574	0.015741	0.1417	0.7196
Residuals	6	0.66669	0.111116		

- **Maquereau espagnol (*S. colias*)**

> `anova(aov(test21$SCOMPNE ~ test21$CODE_ANNEE))`

Analysis of Variance Table

Response: test21\$SCOMPNE

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
test21\$CODE_ANNEE	1	0.08639	0.086392	1.571	0.2321
Residuals	13	0.71489	0.054992		

- **Maquereau commun (*S. scombrus*)**

> `anova(aov(test21$SCOMSCO ~ test21$CODE_ANNEE))`

Analysis of Variance Table

Response: test21\$SCOMSCO

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
test21\$CODE_ANNEE	1	0.0809	0.080912	0.5518	0.4632
Residuals	31	4.5455	0.146630		

- **Sole (*S. vulgaris*)**

> `anova(aov(test21$SOLEVUL ~ test21$CODE_ANNEE))`

Analysis of Variance Table

Response: test21\$SOLEVUL

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
test21\$CODE_ANNEE	1	0.3213	0.32129	4.2972	0.04279 *
Residuals	56	4.1870	0.07477		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

- **Chinchard de Méditerranée (*T. mediterraneus*)**

> `anova(aov(test21$TRACMED ~ test21$CODE_ANNEE))`

Analysis of Variance Table

Response: test21\$TRACMED

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
test21\$CODE_ANNEE	1	1.0329	1.03286	9.0154	0.008011 **
Residuals	17	1.9476	0.11457		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

- **Chinchard commun (*T. trachurus*)**

> `anova(aov(test21$TRACTRA ~ test21$CODE_ANNEE))`

Analysis of Variance Table

Response: test21\$TRACTRA

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
test21\$CODE_ANNEE	1	1.0510	1.0510	23.834	6.251e-06 ***
Residuals	71	3.1308	0.0441		

Chalut pélagique (OTM)

- **Merlu (*M. merluccius*)**

> `anova(aov(test22$MERLMER ~ test22$CODE_ANNEE))`

Analysis of Variance Table

Response: test22\$MERLMER

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
test22\$CODE_ANNEE	1	0.1322	0.132160	2.3916	0.1227
Residuals	419	23.1544	0.055261		

- **Maquereau espagnol (*S. colias*)**

> `anova(aov(test22$SCOMPNE ~ test22$CODE_ANNEE))`

Analysis of Variance Table

Response: test22\$SCOMPNE

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
test22\$CODE_ANNEE	1	0.0230	0.023045	0.3585	0.5509
Residuals	84	5.3994	0.064278		

- **Dorade royale (*S. aurata*)**

> `anova(aov(test22$SPARAUR ~ test22$CODE_ANNEE))`

Analysis of Variance Table

Response: test22\$SPARAUR

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
test22\$CODE_ANNEE	1	0.57304	0.57304	6.2424	0.02458 *
Residuals	15	1.37698	0.09180		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

- **Chinchard commun (*T. trachurus*)**

> `anova(aov(test22$TRACTRA ~ test22$CODE_ANNEE))`

Analysis of Variance Table

Response: test22\$TRACTRA

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
test22\$CODE_ANNEE	1	0.1591	0.15907	0.9607	0.3368
Residuals	24	3.9737	0.16557		

- **Chinchard de Méditerranée (*T. mediterraneus*)**

```
> anova(aov(test22$TRACMED ~ test22$CODE_ANNEE))
```

Analysis of Variance Table

Response: test22\$TRACMED

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
test22\$CODE_ANNEE	1	1.3065	1.30650	9.8374	0.001976 **
Residuals	194	25.7650	0.13281		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Annexe 3 : résultats des modèles linéaires généralisés

- **Merlu (*M. merluccius*)**

```
> modele <- glm(tabsp2[,1] ~ tabsp2[,2]+tabsp2[,3] , family=gaussian)
> summary(modele)
```

Call:

```
glm(formula = tabsp2[, 1] ~ tabsp2[, 2] + tabsp2[, 3], family = gaussian)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.58097	-0.19337	-0.04219	0.15138	0.96049

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.661717	0.072845	9.084	< 2e-16 ***
tabsp2[, 2]1	-0.171823	0.056799	-3.025	0.00270 **
tabsp2[, 3]2	-0.049849	0.067493	-0.739	0.46076
tabsp2[, 3]3	0.002430	0.072529	0.033	0.97330
tabsp2[, 3]4	-0.008792	0.077461	-0.114	0.90971
tabsp2[, 3]5	-0.208649	0.077399	-2.696	0.00743 **
tabsp2[, 3]6	-0.271776	0.102896	-2.641	0.00870 **
tabsp2[, 3]7	-0.278228	0.150871	-1.844	0.06617 .
tabsp2[, 3]8	-0.209403	0.107526	-1.947	0.05243 .
tabsp2[, 3]9	0.120415	0.080805	1.490	0.13725
tabsp2[, 3]10	0.140260	0.073213	1.916	0.05636 .
tabsp2[, 3]11	-0.062268	0.065199	-0.955	0.34035
tabsp2[, 3]12	0.022910	0.066651	0.344	0.73129

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 0.08116333)

Null deviance: 27.909 on 306 degrees of freedom
Residual deviance: 23.862 on 294 degrees of freedom
AIC: 114.98

Number of Fisher Scoring iterations: 2

- **Rouget barbet de vase (*M. barbatus*)**

```
modele <- glm(tabsp2[,1] ~ tabsp2[,2]+tabsp2[,3] , family=gaussian)
> summary(modele)
```

Call:

```
glm(formula = tabsp2[, 1] ~ tabsp2[, 2] + tabsp2[, 3], family = gaussian)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.58097	-0.19337	-0.04219	0.15138	0.96049

Coefficients:

```
      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  0.661717  0.072845  9.084 < 2e-16 ***
tabsp2[, 2]1 -0.171823  0.056799 -3.025 0.00270 **
tabsp2[, 3]2 -0.049849  0.067493 -0.739 0.46076
tabsp2[, 3]3  0.002430  0.072529  0.033 0.97330
tabsp2[, 3]4 -0.008792  0.077461 -0.114 0.90971
tabsp2[, 3]5 -0.208649  0.077399 -2.696 0.00743 **
tabsp2[, 3]6 -0.271776  0.102896 -2.641 0.00870 **
tabsp2[, 3]7 -0.278228  0.150871 -1.844 0.06617 .
tabsp2[, 3]8 -0.209403  0.107526 -1.947 0.05243 .
tabsp2[, 3]9  0.120415  0.080805  1.490 0.13725
tabsp2[, 3]10 0.140260  0.073213  1.916 0.05636 .
tabsp2[, 3]11 -0.062268  0.065199 -0.955 0.34035
tabsp2[, 3]12 0.022910  0.066651  0.344 0.73129
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 0.08116333)

Null deviance: 27.909 on 306 degrees of freedom
Residual deviance: 23.862 on 294 degrees of freedom
AIC: 114.98

Number of Fisher Scoring iterations: 2

```
> modele$null.deviance
[1] 27.90864
> modele$deviance
[1] 23.86202
> modele$null.deviance-modele$deviance
[1] 4.046616
> (modele$null.deviance-modele$deviance)/modele$null.deviance #D²
[1] 0.1449951
```

- **Maquereau commun (*S. scombrus*)**

```
> modele <- glm(tabsp2[,1] ~ tabsp2[,2]+tabsp2[,3]+tabsp2[,4] , family=gaussian)
> summary(modele)
```

Call:

```
glm(formula = tabsp2[, 1] ~ tabsp2[, 2] + tabsp2[, 3] + tabsp2[,
  4], family = gaussian)
```

Deviance Residuals:

```
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.00148 -0.40903  0.00032  0.37200  1.01523
```

Coefficients:

```
      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  0.40465  0.33237  1.217  0.226
tabsp2[, 2]1  0.09611  0.25410  0.378  0.706
```

tabsp2[, 3]2	0.08612	0.34089	0.253	0.801
tabsp2[, 3]3	0.01379	0.39306	0.035	0.972
tabsp2[, 3]4	-0.16797	0.57635	-0.291	0.771
tabsp2[, 3]5	-0.03943	0.44020	-0.090	0.929
tabsp2[, 3]6	0.17356	0.26597	0.653	0.515
tabsp2[, 3]7	0.23022	0.27615	0.834	0.406
tabsp2[, 3]8	0.26339	0.25723	1.024	0.308
tabsp2[, 3]9	0.29166	0.25233	1.156	0.250
tabsp2[, 3]10	0.45353	0.28378	1.598	0.112
tabsp2[, 3]11	0.14798	0.28177	0.525	0.600
tabsp2[, 3]12	0.56486	0.38646	1.462	0.146
tabsp2[, 4]PEL	0.15092	0.23475	0.643	0.521

(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 0.2768173)

Null deviance: 38.312 on 143 degrees of freedom
 Residual deviance: 35.986 on 130 degrees of freedom
 AIC: 238.97

Number of Fisher Scoring iterations: 2

• Sole (*S. vulgaris*)

```
> modele <- glm(tabsp2[,1] ~ tabsp2[,2]+tabsp2[,3] , family=gaussian)
> summary(modele)
```

Call:

```
glm(formula = tabsp2[, 1] ~ tabsp2[, 2] + tabsp2[, 3], family = gaussian)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.57462	-0.19706	-0.02715	0.11220	1.18509

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.73907	0.26810	2.757	0.0084 **
tabsp2[, 2]1	-0.41162	0.16887	-2.437	0.0188 *
tabsp2[, 3]2	-0.05131	0.27547	-0.186	0.8531
tabsp2[, 3]3	0.00664	0.27547	0.024	0.9809
tabsp2[, 3]4	0.22201	0.41647	0.533	0.5966
tabsp2[, 3]5	0.09043	0.24889	0.363	0.7180
tabsp2[, 3]6	0.63171	0.41647	1.517	0.1363
tabsp2[, 3]7	0.04171	0.25659	0.163	0.8716
tabsp2[, 3]8	0.05825	0.25353	0.230	0.8193
tabsp2[, 3]9	0.49719	0.24045	2.068	0.0444 *
tabsp2[, 3]10	-0.06784	0.29449	-0.230	0.8189
tabsp2[, 3]11	-0.15813	0.26556	-0.595	0.5545
tabsp2[, 3]12	0.24041	0.24780	0.970	0.3371

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 0.1300888)

Null deviance: 8.9736 on 57 degrees of freedom
 Residual deviance: 5.8540 on 45 degrees of freedom
 AIC: 59.584

Number of Fisher Scoring iterations: 2

- **Chinchard de Méditerranée (*T. mediterraneus*)**

```
> modele <- glm(tabsp2[,1] ~ tabsp2[,2]+tabsp2[,3]+tabsp2[,4] , family=gaussian)
> summary(modele)
```

Call:

```
glm(formula = tabsp2[, 1] ~ tabsp2[, 2] + tabsp2[, 3] + tabsp2[, 4], family = gaussian)
```

Deviance Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.15679	-0.23512	0.02382	0.26690	0.76308

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.69725	0.15578	4.476	1.27e-05 ***
tabsp2[, 2]1	0.56471	0.12697	4.448	1.44e-05 ***
tabsp2[, 3]2	0.11046	0.14121	0.782	0.434983
tabsp2[, 3]3	-0.13278	0.14295	-0.929	0.354082
tabsp2[, 3]4	-0.44871	0.16502	-2.719	0.007118 **
tabsp2[, 3]5	-0.59692	0.17038	-3.503	0.000566 ***
tabsp2[, 3]6	-0.55167	0.13834	-3.988	9.34e-05 ***
tabsp2[, 3]7	-0.06350	0.15356	-0.414	0.679654
tabsp2[, 3]8	0.16428	0.14341	1.146	0.253360
tabsp2[, 3]9	0.53226	0.13834	3.847	0.000160 ***
tabsp2[, 3]10	-0.03116	0.12971	-0.240	0.810429
tabsp2[, 3]11	0.15461	0.13155	1.175	0.241270
tabsp2[, 3]12	-0.16587	0.14121	-1.175	0.241533
tabsp2[, 4]PEL	0.31747	0.12239	2.594	0.010185 *

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 0.161861)

Null deviance: 55.967 on 214 degrees of freedom
 Residual deviance: 32.534 on 201 degrees of freedom
 AIC: 234.15

Number of Fisher Scoring iterations: 2

Annexe 4: résultats de l'analyse géostatistique sur les données OBSMER

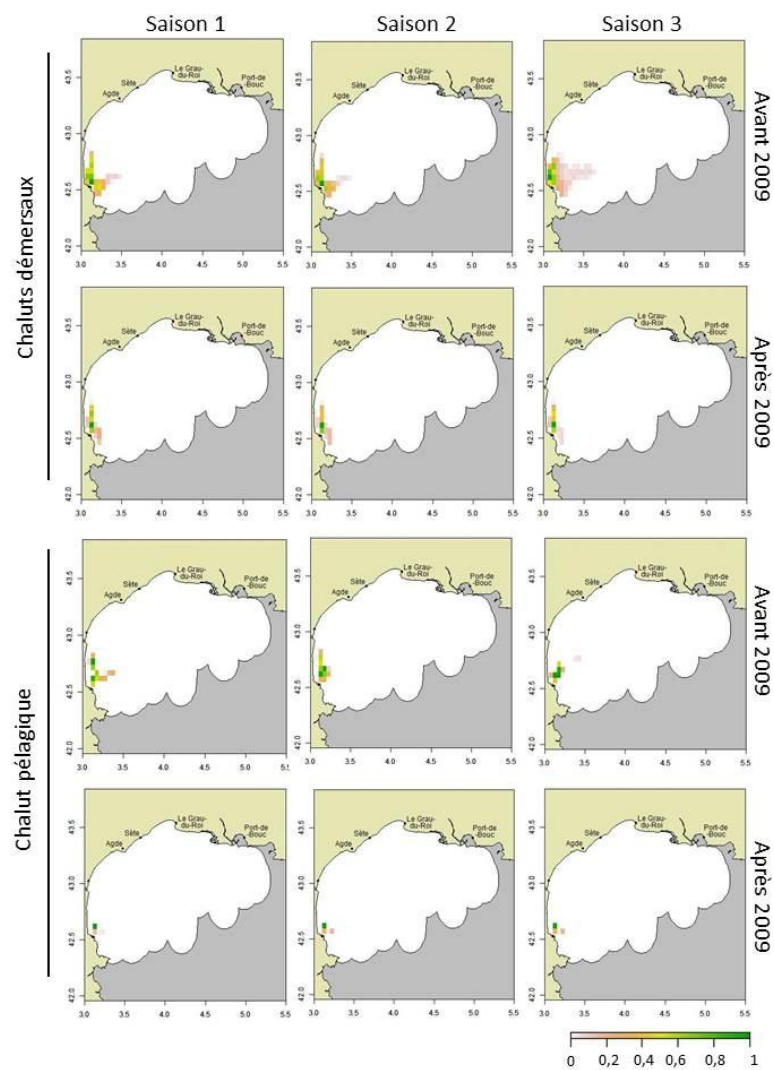
Espèce	Engin	Période	Saison	Traitement en amont des données			Résultats de l'analyse géostatistique			
				Donnée	Log	Tendance	Modèle ajusté	Pépite	Pallier	Portée
DICELAB	DEM	Après 2009	1	Taux de rejets	non	constante	circulaire	0,0000	0,0000	0,1105
	PEL	Avant 2009	1	Taux de rejets	non	constante	circulaire	0,0011	0,0005	0,9474
DIPLPUN	PEL	Avant 2009	1	Taux de rejets théoriques	non	constante	pépitique	0,0000	0,0000	0,0000
DIPLSAR	PEL	Avant 2009	1	Taux de rejets théoriques	non	constante	circulaire	0,0073	0,0060	0,6060
			2				sphérique	0,0033	0,0044	0,5243
			3				circulaire	0,0001	0,0001	1,0421
DILPVUL	DEM	Avant 2009	2	Taux de rejets théoriques	non	constante	pépitique	0,0076	0,0000	0,0000
			3				pépitique	0,0012	0,0000	0,0000
	PEL	Après 2009	3				pépitique	0,0003	0,0000	0,0000
		Avant 2009	2				pépitique	0,0000	0,0000	0,0000
ENGRENC	DEM	Avant 2009	1	Taux de rejets théoriques	non	constante	sphérique	0,0000	0,0315	0,9566
			2				circulaire	0,0000	0,0003	0,1105
			3				pépitique	0,0047	0,0000	0,0000
		Après 2009	1				sphérique	0,0763	0,0447	0,1897
			2				sphérique	0,0300	0,0114	0,3672
			3				sphérique	0,0523	0,0829	0,6980
	PEL	Avant 2009	1				pépitique	0,0104	0,0000	0,0000
			2				circulaire	0,0001	0,0004	0,4053
			3				sphérique	0,0040	0,0300	0,7042
LITHMOR	PEL	Avant 2009	2	Taux de rejets théoriques	non	constante	pépitique	0,0104	0,0000	0,0000
MERLMER	DEM	Avant 2009	1	Taux de rejets théoriques	non	constante	pépitique	0,0276	0,0000	0,0000
			2				pépitique	0,0790	0,0000	0,0000
			3				sphérique	0,0204	0,0654	0,6136
		Après 2009	1				pépitique	0,0180	0,0000	0,0000
			2				pépitique	0,0304	0,0000	0,0000
			3				sphérique	0,0229	0,0042	0,3884
	PEL	Avant 2009	1				pépitique	0,0076	0,0000	0,0000
			2				sphérique	0,0164	0,0081	0,2424
			3				sphérique	0,0098	0,0120	0,1687
		Après 2009	1				pépitique	0,0114	0,0000	0,0000
			2				pépitique	0,0178	0,0000	0,0000
			3				pépitique	0,0134	0,0000	0,0000
MULLBAR	DEM	Avant 2009	1	Taux de rejets théoriques	non	constante	pépitique	0,0832	0,0000	0,0000
			2				sphérique	0,0000	0,0068	0,7909
			3				sphérique	0,0723	0,0501	0,1558
		Après 2009	1				sphérique	0,0163	0,0023	0,3240
			2				circulaire	0,0038	0,0022	0,6263
			3				circulaire	0,0180	0,0011	0,6316
			3							
MULLSUR	DEM	Avant 2009	1	Taux de rejets théoriques	non	constante	pépitique	0,0001	0,0000	0,0000
			2				sphérique	0,0000	0,0018	0,8289
		Après 2009	1				pépitique	0,0004	0,0000	0,0000
			2				pépitique	0,0000	0,0000	0,0000
			3				pépitique	0,0058	0,0000	0,0000
	PEL	Avant 2009	1				pépitique	0,0000	0,0000	0,0000
			1							
PAGEACA	DEM	Avant 2009	1	Taux de rejets théoriques	non	constante	pépitique	0,0684	0,0000	0,0000
		Après 2009	1				pépitique	0,0012	0,0000	0,0000
			3				pépitique	0,0006	0,0000	0,0000
	PEL	Avant 2009	1				circulaire	0,0006	0,0004	0,6842
			3				pépitique	0,0001	0,0000	0,0000
PAGEBOG	DEM	Avant 2009	2	Taux de rejets théoriques	non	constante	circulaire	0,0000	0,0116	0,6723
		Après 2009	2				pépitique	0,0001	0,0000	0,0000
			3				sphérique	0,0024	0,0005	0,3158
	PEL	Avant 2009	1				pépitique	0,0008	0,0000	0,0000
PAGEERY	DEM	Après 2009	1	Taux de rejets théoriques	non	constante	circulaire	0,0065	0,0074	0,6184
			2				pépitique	0,0064	0,0000	0,0000
	PEL	Avant 2009	1				sphérique	0,0009	0,0005	0,5368
PAPELON	DEM	Après 2009	1	Taux de rejets théoriques	non	constante	pépitique	0,0000	0,0000	0,0000
							sphérique	0,0004	0,0001	0,1974

Espèce	Engin	Période	Saison	Traitement en amont des données			Résultats de l'analyse géostatistique			
				Donnée	Log	Tendance	Modèle ajusté	Pépité	Pallier	Portée
SARDPIL	DEM	Avant 2009	1	Taux de rejets théoriques	non	constante	pépitique	0,0003	0,0000	0,0000
			2				circulaire	0,0000	0,1335	0,8850
			3				pépitique	0,0012	0,0000	0,0000
		Après 2009	1				sphérique	0,0488	0,0523	0,2077
			2				sphérique	0,0779	0,0158	0,6351
			3				circulaire	0,0505	0,0271	0,7910
	PEL	Avant 2009	1				pépitique	0,0250	0,0000	0,0000
			2				pépitique	0,0045	0,0000	0,0000
			3				circulaire	0,0024	0,0004	0,5895
		Après 2009	1				pépitique	0,0000	0,0000	0,0000
			2				pépitique	0,0104	0,0000	0,0000
			3				pépitique	0,0104	0,0000	0,0000
SCOMPNE	DEM	Avant 2009	2	Taux de rejets théoriques	non	constante	sphérique	0,0001	0,0039	0,3316
			1				pépitique	0,0129	0,0000	0,0000
		Après 2009	2				circulaire	0,0049	0,0059	0,5412
			3				sphérique	0,0057	0,0046	0,1399
	PEL	Avant 2009	1				pépitique	0,0303	0,0000	0,0000
			2				circulaire	0,0045	0,0059	0,7101
			3				pépitique	0,0361	0,0000	0,0000
		Après 2009	1				pépitique	0,0287	0,0000	0,0000
			2				pépitique	0,0064	0,0000	0,0000
			3				pépitique	0,0183	0,0000	0,0000
SCOMSCO	DEM	Après 2009	1	Taux de rejets théoriques	non	constante	pépitique	0,0007	0,0000	0,0000
			2				pépitique	0,0046	0,0000	0,0000
			3				pépitique	0,0091	0,0000	0,0000
			1				pépitique	0,0025	0,0000	0,0000
			2				sphérique	0,0079	0,0182	0,4094
	PEL	Avant 2009	3				sphérique	0,0204	0,0064	0,6128
			1				pépitique	0,0014	0,0000	0,0000
			2				pépitique	0,0062	0,0000	0,0000
			3				sphérique	0,0000	0,1294	0,2249
			1				sphérique	0,0005	0,0002	0,4737
SOLEVUL	DEM	Avant 2009	2	Taux de rejets théoriques	non	constante	pépitique	0,0005	0,0000	0,0000
			3				pépitique	0,0005	0,0000	0,0000
			1				sphérique	0,0042	0,0040	0,5418
		Après 2009	2				pépitique	0,0014	0,0000	0,0000
			3				pépitique	0,0062	0,0000	0,0000
			1				sphérique	0,0000	0,1294	0,2249
SPARAUR	DEM	Après 2009	1	Taux de rejets théoriques	non	constante	pépitique	0,0095	0,0000	0,0000
TRACMED	DEM	Avant 2009	1	Taux de rejets théoriques	non	constante	pépitique	0,0912	0,0000	0,0000
			2				pépitique	0,0006	0,0000	0,0000
			3				sphérique	0,0000	0,0005	0,3474
		Après 2009	1				sphérique	0,0105	0,0014	0,4758
			3				pépitique	0,0053	0,0000	0,0000
			1				sphérique	0,0465	0,0248	0,0995
	PEL	Avant 2009	2				sphérique	0,0174	0,0172	0,5821
			3				pépitique	0,0461	0,0000	0,0000
		Après 2009	1				sphérique	0,0587	0,0319	0,2000
			3				pépitique	0,0477	0,0000	0,0000
TRACTRA	DEM	Avant 2009	3	Taux de rejets théoriques	non	constante	pépitique	0,0006	0,0000	0,0000
			1				circulaire	0,0398	0,0041	0,2978
			2				sphérique	0,0061	0,0034	0,4025
		Après 2009	3				pépitique	0,0318	0,0000	0,0000
			1				pépitique	0,0080	0,0000	0,0000
			2				pépitique	0,0009	0,0000	0,0000
	PEL	Avant 2009	3				pépitique	0,0159	0,0000	0,0000
			1				pépitique	0,0159	0,0000	0,0000
		Après 2009	3				pépitique	0,0612	0,0000	0,0000
			1				pépitique	0,0612	0,0000	0,0000

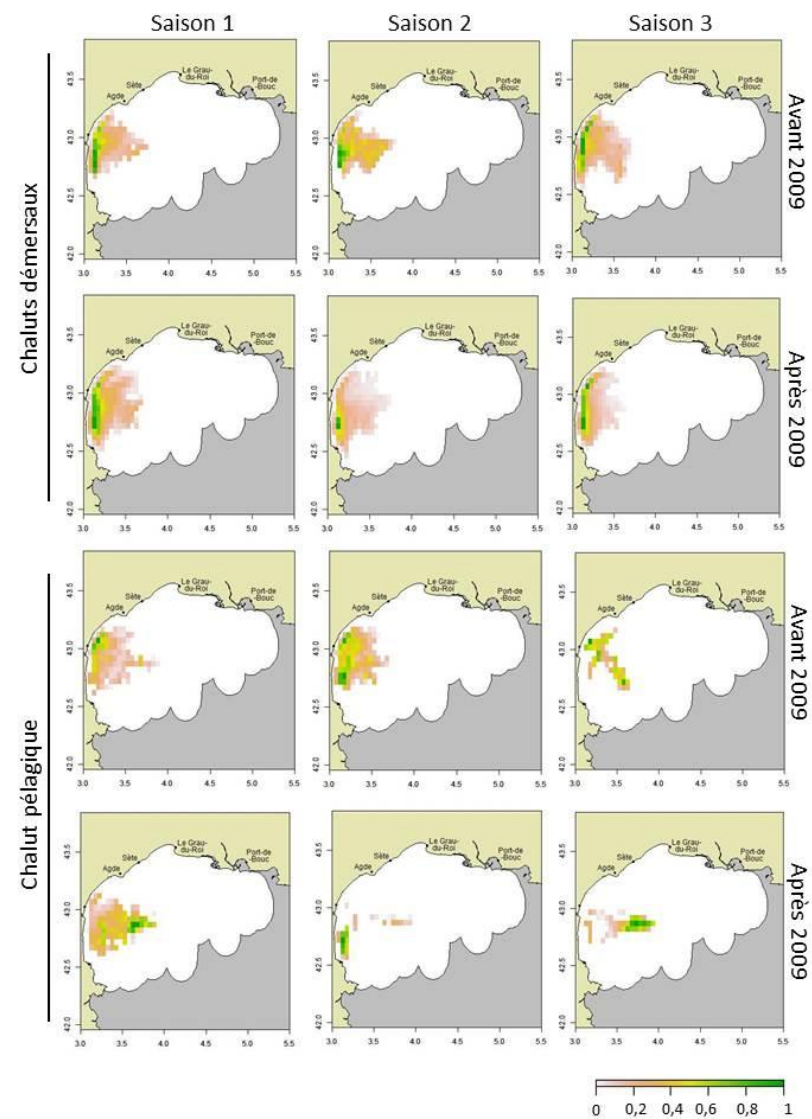
DICELAB : loup (*Dicentrarchus labrax*), DIPLPUN : sar à museau (*Diplodus puntazzo*), DIPLSAR : sar commun (*Diplodus sargus*), DIPLVUL : sar à tête noire (*Diplodus vulgaris*), ENGREN : anchois (*Engraulis encrasicolus*), LITHMOR : marbré (*Lithognathus mormyrus*), MERLMER : merlu (*Merluccius merluccius*), MULLBAR : rouget barbet de vase (*Mullus barbatus*), MULLSUR : rouget barbet de roche (*Mullus surmuletus*), PAGEACA : pageot acarne (*Pagellus acarne*), PAGEBOG : dorade rose (*Pagellus bogaraveo*), PAGEERY : pageot commun (*Pagellus erythrinus*), PAPELON : crevette rose du large (*Parapenaeus longirostris*), SARDPIL : sardine (*Sardina pilchardus*), SCOMPNE : maquereau espagnol (*Scomber colias*), SCOMSCO : maquereau commun (*Scomberscombrus*), SPARAUR : dorade royale (*Sparus aurata*), TRACMED : chinchard de Méditerranée (*Trachurus mediterraneus*) et TRACTRA : chinchard commun (*Trachurus trachurus*).

Annexe 5 : distribution spatio-temporelle des valeurs de captures des pêcheries chalutières dans le golfe du Lion

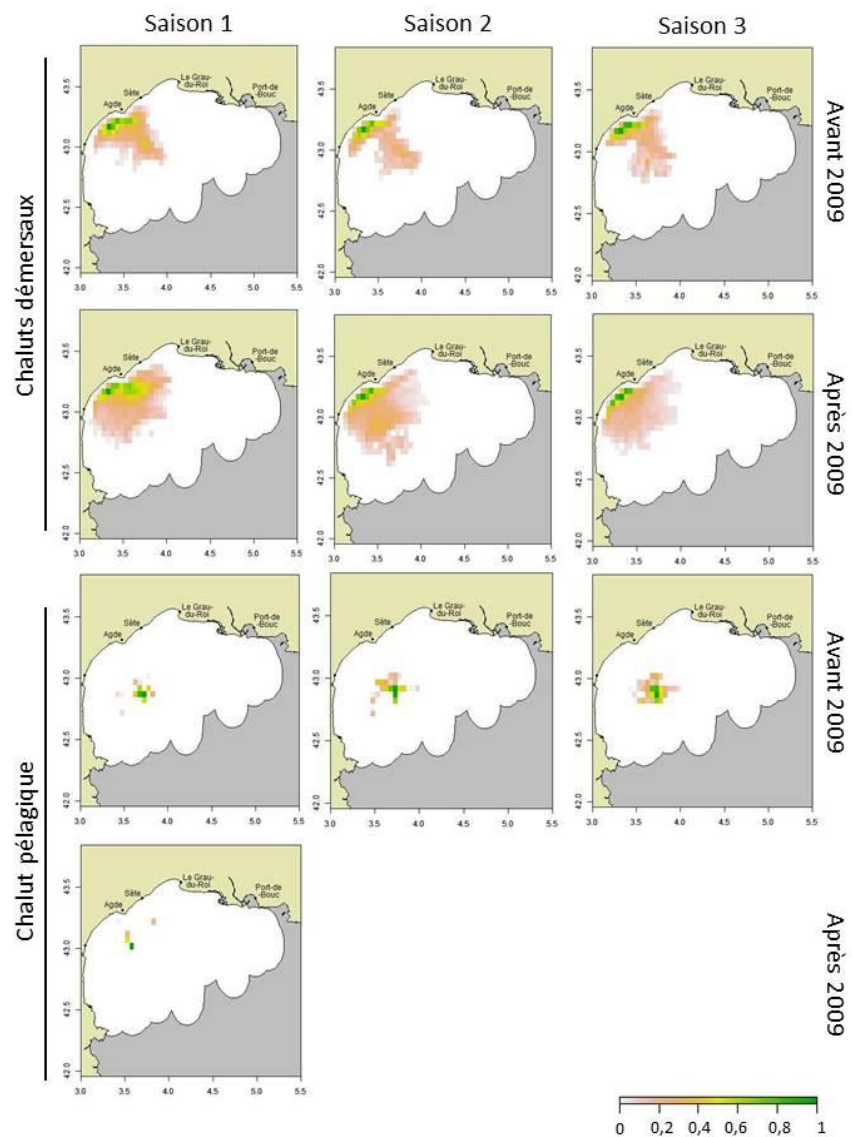
Port-Vendres et les ports associés



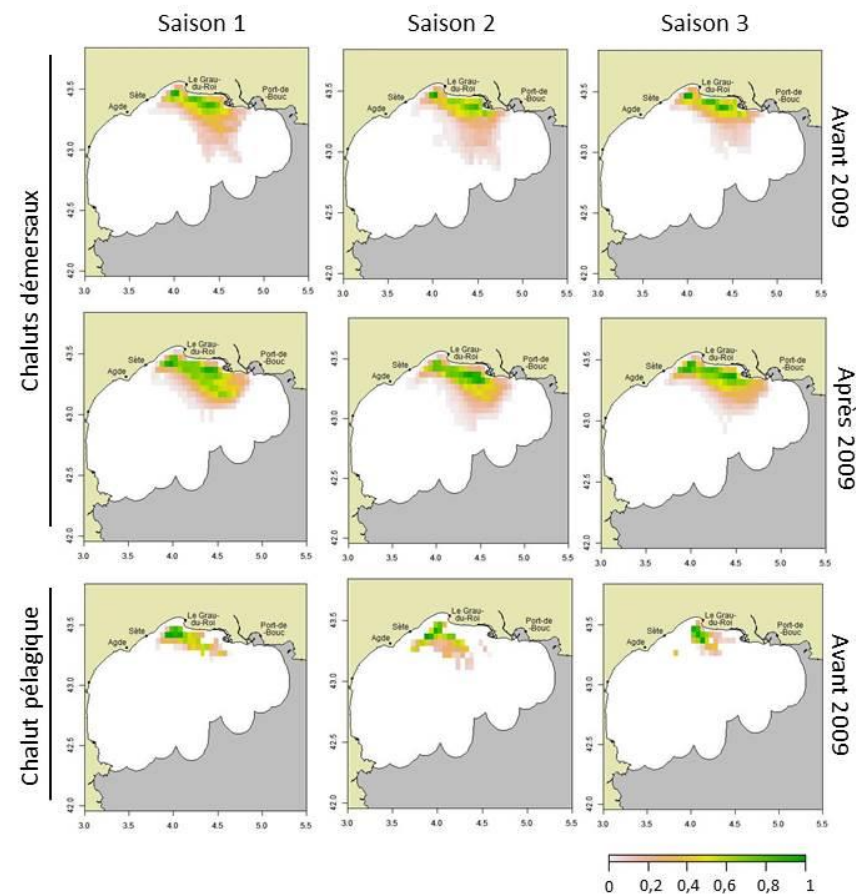
Port-la-Nouvelle et les ports associés



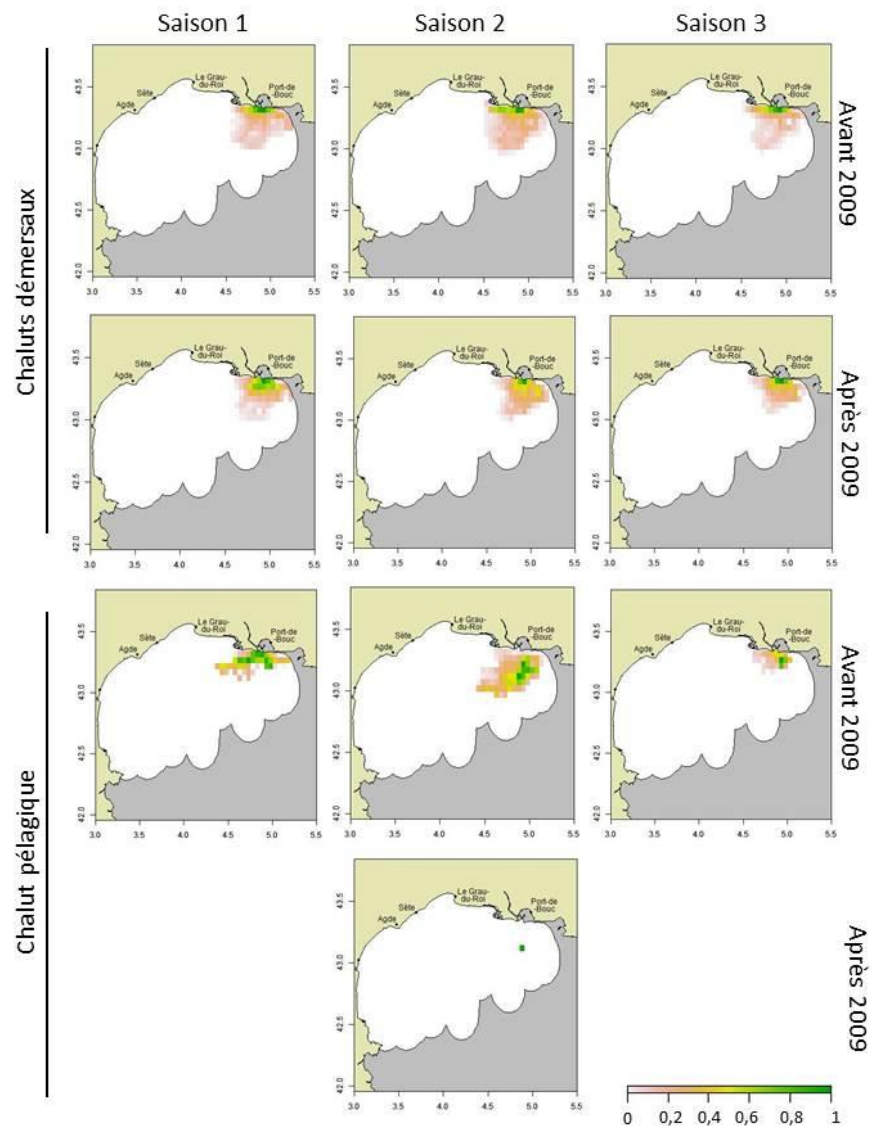
Agde et les ports associés



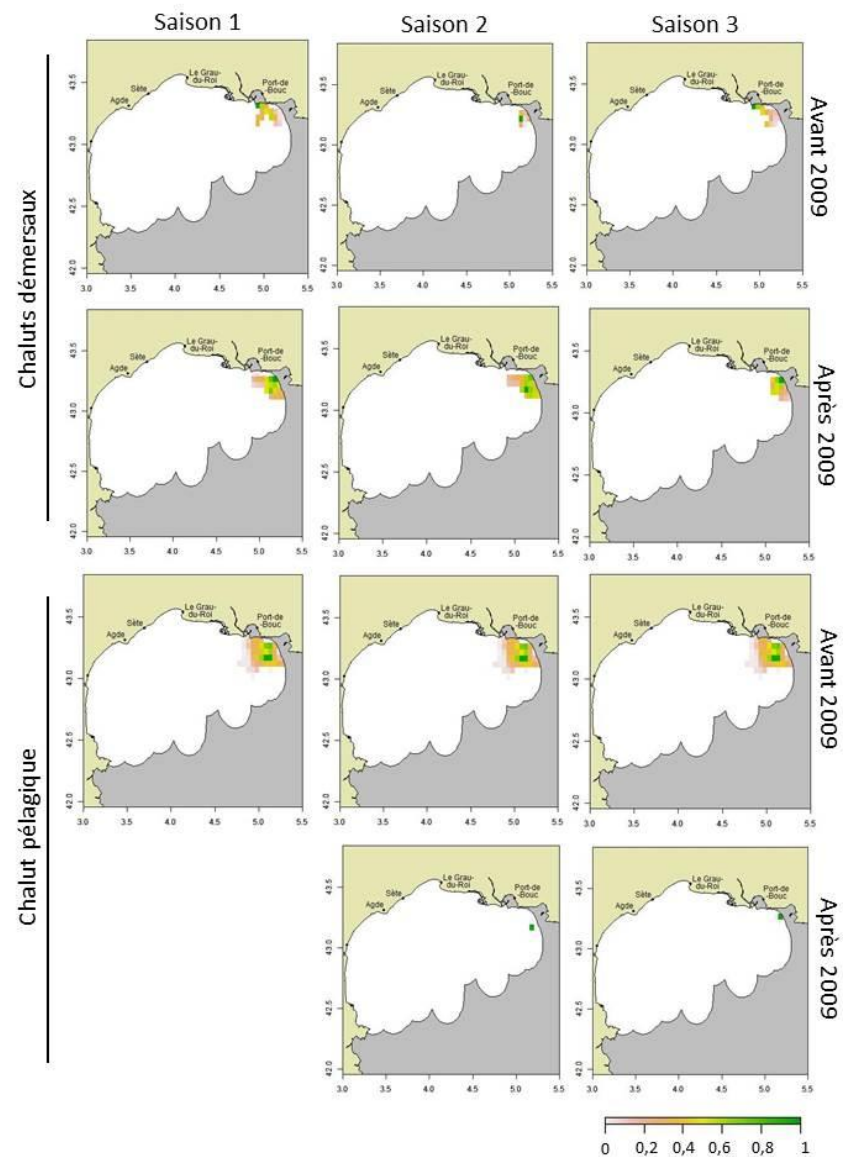
Le Grau-du-Roi et les ports associés



Port-de-Bouc et les ports associés

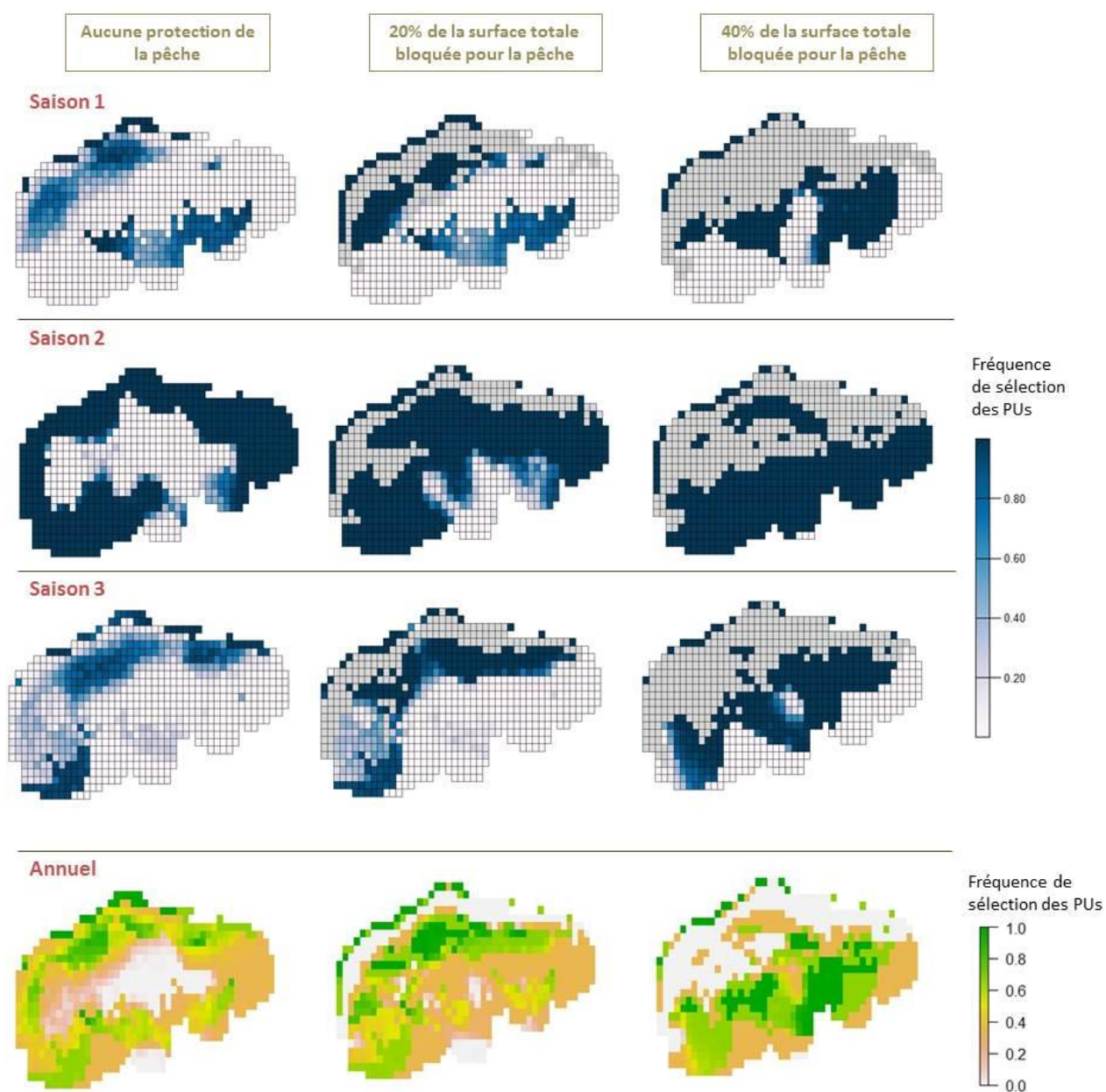


Marseille et les ports associés

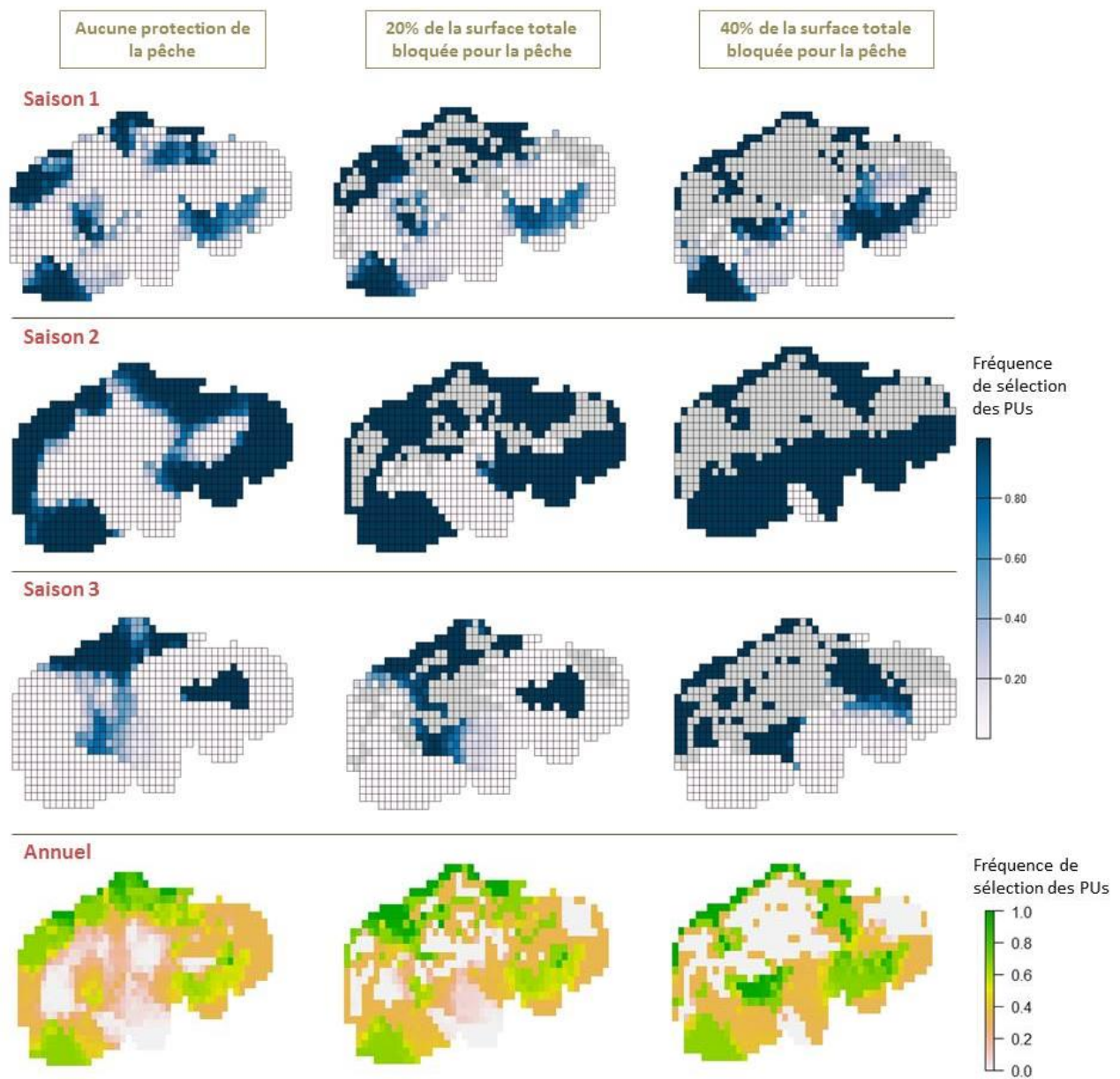


Annexe 6 : scénarios saisonniers et annuels de planification de la pêche chalutière

Cas des chaluts de fond, avant 2009

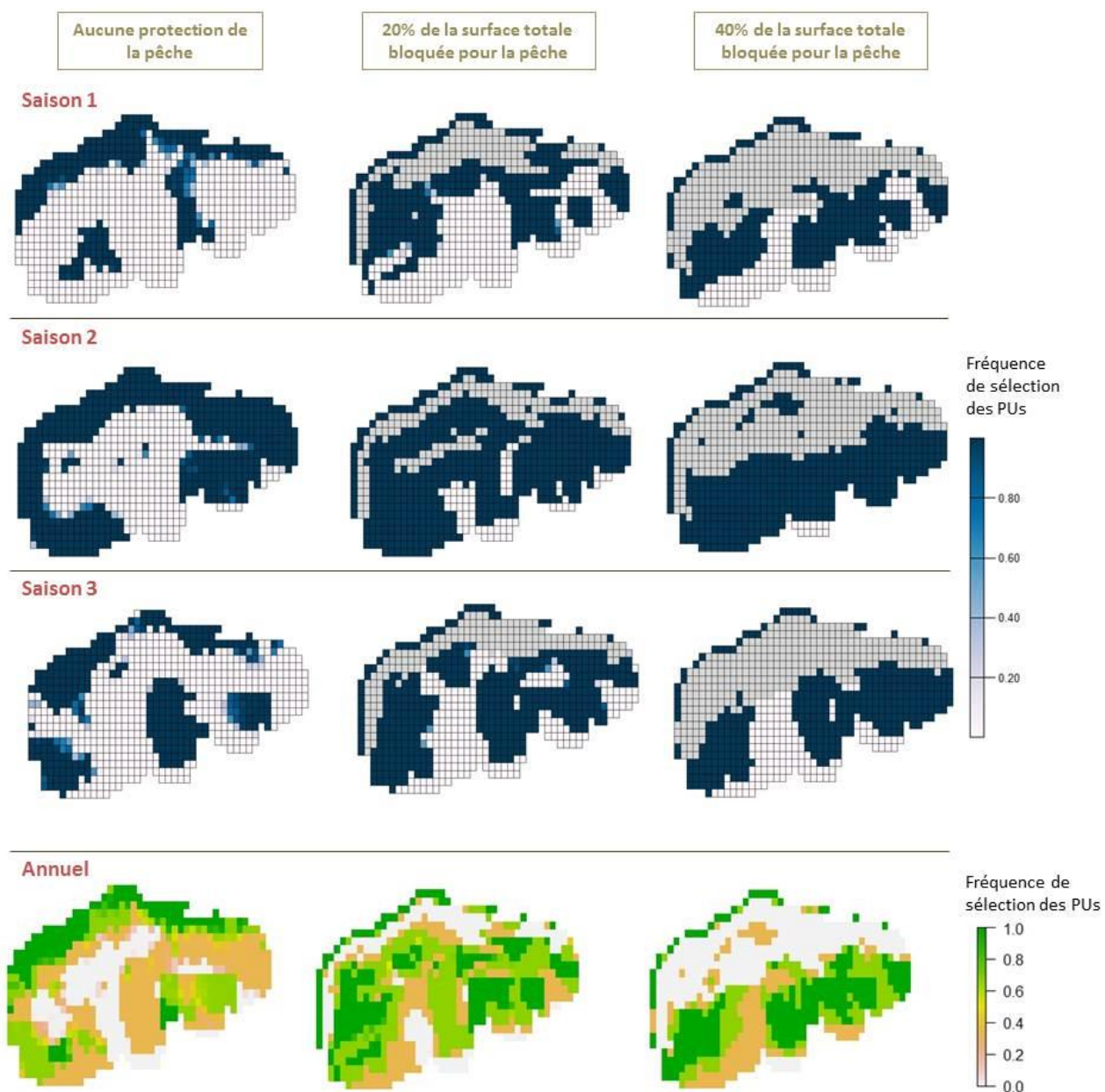


Cas des chaluts pélagiques, avant 2009

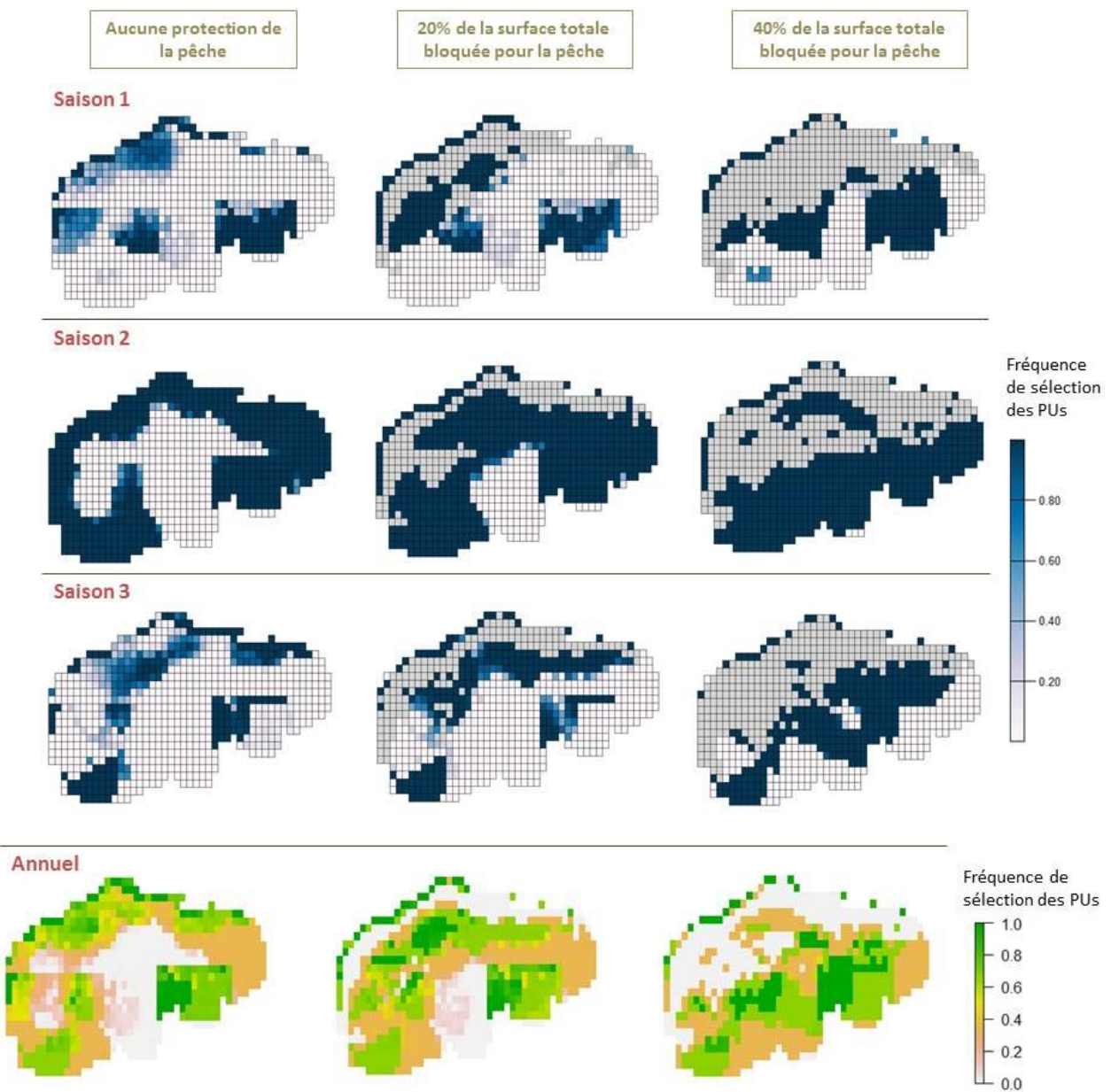


Annexe 7 : prise en compte des zones protégées existantes dans les scénarios saisonniers et annuels de planification spatiale de la pêche chalutière

Cas des chaluts de fond, après 2009, avec zones protégées



Cas des chaluts de fond, avant 2009, avec zones protégées



Cas des chaluts pélagiques, avant 2009, avec zones protégées

