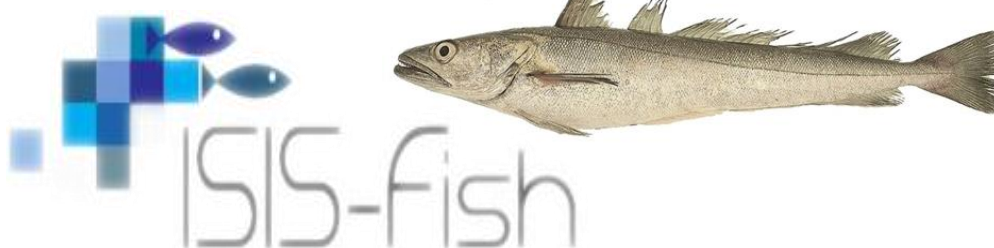


MODELISATION DES SCENARIOS DE GESTION DU MERLU (MERLUCCIUS MERLUCCIUS) DANS LE GOLFE DU LION



Fiche documentaire

Titre du rapport : Modélisation des scénarios de gestion du merlu (Merluccius merluccius) dans le golfe du lion

<p>Référence interne : RBE/EMH 2019</p> <p>Diffusion :</p> <p><input type="checkbox"/> libre (internet)</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> restreinte (intranet) – date de levée d’embargo : AAA/MM/JJ</p> <p><input type="checkbox"/> interdite (confidentielle) – date de levée de confidentialité : AAA/MM/JJ</p>	<p>Date de publication :</p> <p>2019/03/31</p> <p>Version : 1.0.0</p> <p>Référence de l’illustration de couverture</p> <p>Crédit photo/titre/date</p> <p>Langue(s) :</p>
<p>Résumé/ Abstract : Ce rapport est le compte-rendu d’activité du travail réalisé par Mathieu Genu, contractualisé par Ifremer dans le cadre du projet Galion (action 4) pour reprendre la partie simulation qui aurait dû être faite dans la thèse de Marianela Pataccini. Il reprend l’ensemble des travaux réalisés pour permettre la structuration et la calibration d’un modèle ISISFISH décrivant les flottilles chalutières françaises et espagnoles ciblant le merlu dans le Golfe du Lion et ayant pour objectif de simuler les effets de scénarios de gestion alternatifs. Ces scénarios ont été co-construits dans le cadre du projet Galion en réponse aux modes de gestion uniquement basé sur la diminution de l’effort.</p>	
<p>Mots-clés/ Key words : Merlu, golfe du Lion, flottille chalutières, ISISFISH, gestion</p>	
<p>Comment citer ce document :</p> <p>Genu, M., 2019. Modélisation des scénarios de gestion du merlu (<i>Merluccius merluccius</i>) dans le golfe du lion. Rapport projet galion au titre de la composante I Phase 4.</p>	
<p>Disponibilité des données de la recherche :</p>	
<p>DOI :</p>	

Commanditaire du rapport :

Nom / référence du contrat : <input type="checkbox"/> Rapport intermédiaire (réf. bibliographique : XXX) <input type="checkbox"/> Rapport définitif (réf. interne du rapport intermédiaire : R.DEP/UNIT/LABO AN-NUM/ID ARCHIMER)	
Projets dans lesquels ce rapport s'inscrit (programme européen, campagne, etc.) : FFP Galion	
Auteur(s) / adresse mail	Affiliation / Direction / Service, laboratoire
Mathieu Genu	RBE/EMH
auteur 2	
auteur 3	
auteur 4	
Encadrement(s) : Stéphanie Mahevas • Sandrine Vaz • Angélique Jadaud • Sigrid Lehuta	
Destinataire :	
Validé par :	

Table des matières

1. Contexte :	6
1.1. Historique de pêche du Merlu dans le Golfe du Lion :	6
1.2. Vers un nouveau plan de gestion.....	8
1.3. Le projet Galion	8
1.4. ISIS-Fish : un outil de modélisation.....	8
2. Matériel et méthode	9
2.1. Qu'est-ce que ISIS-Fish ?.....	9
2.2. Données utilisées	10
2.3. Analyses préliminaires pour la paramétrisation du modèle.....	11
2.3.1. Paramétrisation du modèle biologique	11
2.3.2. Paramétrisation du modèle de dynamique de l'activité de pêche	15
2.4. Lancement des simulations.....	20
2.4.1. Base ISIS-Fish.....	21
2.4.2. Paramètres de simulation.....	21
2.4.3. Paramétrisation du nombre de bateaux dans la pêche.....	21
2.5. Calibration du modèle.....	22
2.6. Les différents scénarios testés	23
2.7. Analyse d'incertitude autour de certains paramètres.....	24
2.7.1. Abondance initiale.....	24
2.7.2. Recrutement	25
2.7.3. Mobilité.....	26
2.8. Plan de simulation	27
3. Résultats	27
3.1. Résultats préliminaires.....	27
3.1.1. Modèle biologique	27
3.1.2. Modèle de dynamique de pêche	28
3.2. Résultats de calibration.....	32
3.2.1. Première calibration	33
3.2.2. Deuxième calibration.....	38
3.3. Simulation de projection des scénarios de gestion	41
3.3.1. Simulation avec le modèle issu de la première calibration	41
3.3.2. Simulation avec le modèle issu de la deuxième calibration	42
4. Discussion	43

5. Références Bibliographiques.....	44
-------------------------------------	----

Ce rapport est le compte-rendu d'activité du travail réalisé par Mathieu Genu, contractualisé par Ifremer dans le cadre du projet Galion pour reprendre la partie simulation qui aurait dû être faite dans la thèse de Marianela Pataccini.

1. Contexte :

1.1. Historique de pêche du Merlu dans le Golfe du Lion :

Le stock de merlu est en déclin dans le golfe du lion et malgré quelques fluctuations interannuelles, la biomasse globale du merlu est en nette diminution depuis les 10 dernières années (Figure 1). Le constat est similaire au niveau des captures dont la tendance globale est à la diminution depuis les années 1980 (Figure 2) même si ces valeurs fluctuent d'une année sur l'autre. La grande majorité des captures de merlus est réalisée par les chalutiers français (Figure 2).

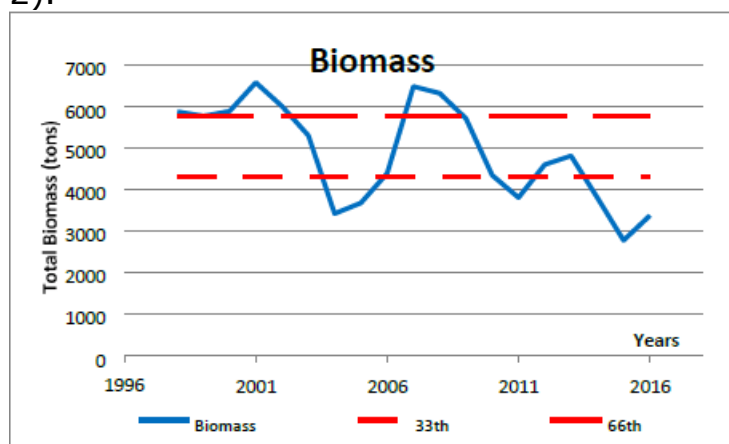


Figure 1: Evolution de la biomasse de merlu dans la zone GSA 7 (Golfe du Lion) de 1998 à 2016 estimée par le groupe d'évaluation du CGPM (en bleu)(CGPM, 2017), les valeurs des 33^{ième} et 66^{ième} percentiles sont calculées sur l'ensemble de la période.

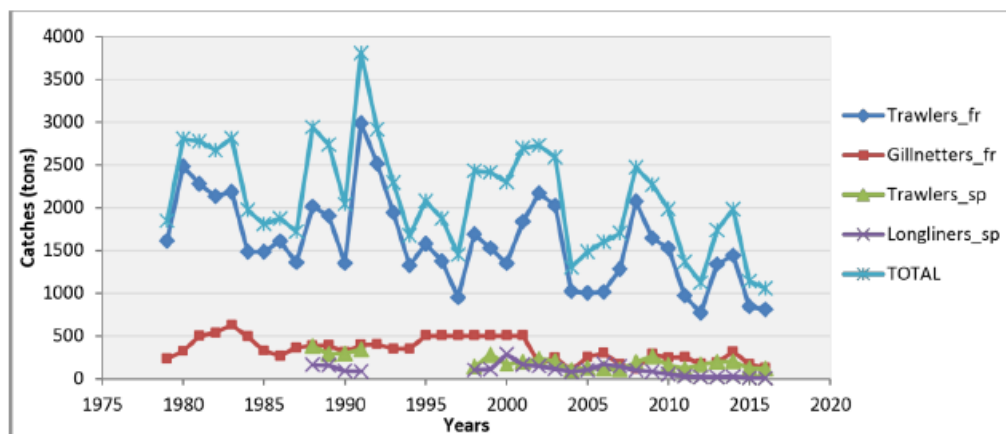


Figure 2: Evolution des captures de merlu dans la zone GSA 7 (Golfe du Lion) de 1979 à 2016 selon les types de flottilles (bleu clair : chalutiers français, rouge : fileyeurs français, vert chalutiers espagnols, violet : palangriers espagnols). Les valeurs sont estimées par le groupe d'évaluation de la CGPM (CGPM, 2017)

Table 1 : Valeurs de mortalité par pêche estimée par le modèle XSA de l'évaluation de stock du CGPM (avec $F_{current}$: estimation de la mortalité par pêche par le modèle, $F_{0.1}$: mortalité par pêche de référence du plan de gestion de 2013 et $ratio = F_{current} / F_{0.1}$)(CGPM, 2017)

Model - Year	$F_{current}$	$F_{0.1}$	ratio
XSA - 2017	1.91 (2014-2016.ages 0-2)	0.15 (estimated in 2013)	12.7
XSA - 2016	1.92(2013-2015.ages 0-2)	0.15(estimated in 2013)	12.8
XSA - 2015	1.75(2012-2014.ages 0-2)	0.15(estimated in 2013)	11.7

Le groupe de travail de la CGPM (commission générale des pêches pour la méditerranée) en charge de l'évaluation de stock du merlu dans la zone GSA 7 (golfe du lion) estime que la mortalité par pêche actuelle est plus de douze fois supérieure à la mortalité par pêche de référence imposée par le plan de gestion de 2013 (0.15, Table 1).

En 2013, un plan de gestion a été mis en place pour la gestion de la pêche chalutière en mer Méditerranée pour les bateaux de pêche français. Ce plan de gestion a pour but de réguler la pêche démersale en Méditerranée pour atteindre le RMD au plus tard en 2020. Pour cela différentes mesures ont été mises en place au sein de ce plan de gestion. Parmi les plus importantes, notons :

- Contrôle du temps de pêche : Afin de fixer un plafond d'effort de pêche compatible avec les objectifs de réduction de la mortalité par pêche du merlu, la valeur de 200 jours de pêche est retenue comme effort de pêche moyen développé par navire, soient 20200 jours de sorties de pêche par an pour l'ensemble des chalutiers (référence 2010),
- Diminution de 10 % de l'effort de pêche par an soit par plan de sortie de flotte soit par réduction de l'effort de pêche annuel des navires.

Les autres mesures déjà en vigueur et confortées par ce plan de gestion sont l'interdiction de chalutage dans les 3 miles près de la côte (sauf exception) et au-delà des 1 000 mètres de profondeur, au-dessus des habitats coralligènes et des bancs de maërl ; maillage minimal fixé à 40 mm maille carrée au niveau du cul de chalut ou, à la demande dûment justifié de l'armateur, par un filet à mailles en losange de 50 mm losange pêche au chalut interdite les samedis, dimanches et jours fériés, la taille minimale légale de 20 cm.

L'encadrement de ces mesures est assuré par la mise en place d'Autorisation Européennes sur les chalutiers (AEP, ex-permis de pêche spécial, ou PPS). Les modalités d'octroi des AEP tiennent compte des antériorités dans le métier du chalutage.

Depuis la mise en place du plan de gestion, et malgré la diminution du nombre de bateaux (plan de sortie de flotte entre 1998 en 2016 diminution de 50% du nombre de chalutiers dans le Golfe du Lion), la tendance des captures totales est

plutôt constante mais la biomasse de Merlu continue à diminuer. Ce constat a abouti à la mise en place d'un nouveau plan de gestion européen pour les espèces démersales de Méditerranée occidentale dont les modalités sont en cours de discussion.

1.2. Vers un nouveau plan de gestion

Un nouveau plan de gestion est en cours de discussion entre la commission européenne et les représentants des pêcheurs du golfe du lion. Ce plan ne s'orienterait plus uniquement sur le Golfe du Lion mais pour une zone plus large de la Méditerranée occidentale avec le regroupement de plusieurs GSA, actuellement en discussion. Ce nouveau plan de gestion envisage des mesures plus contraignantes pour la pêcherie chalutière française du golfe du lion :

- Fermeture de la pêche initialement dans la zone de moins de 100 mètres de mai à juillet (cette mesure a depuis été révisé pour la zone située entre 0 et 6 miles et la période de fermeture doit faire l'objet d'ajustement)
- Réduction d'effort annuelle de 10% et de 30% maximum de 2021 à 2014, jusqu'à atteinte du RMD en 2025
- Mise en place de l'obligation de débarquement

Ces mesures doivent être étudiées lors de groupes de travail entre l'administration, les organisations de producteurs et les scientifiques, courant 2019.

1.3. Le projet Galion

Au vu de la situation de la pêcherie, l'AMOP a lancé le projet GALION en partenariat avec FFP et IFREMER. « Améliorer la gestion des ressources marines est donc un impératif au maintien des entreprises de pêche » (<http://galion.amop.fr/>). Ce projet vise à apporter de la connaissance et à évaluer les conséquences de scénarios de gestion compatibles avec le nouveau plan de gestion. Les actions menées dans le projet Galion sont 1) une cartographie de la distribution des captures et rejets, 2) une étude de la sélectivité des engins de pêche, 3) la définition des habitats sensibles ou à risque et enfin 4) proposer des stratégies de pêche limitant les rejets.

Le travail présenté dans ce rapport s'inscrit dans la quatrième action du projet Galion et consiste en la co-construction et la simulation avec ISIS-Fish de nouvelles stratégies de pêche pour évaluer leurs impacts sur les captures et le stock de Merlu.

1.4. ISIS-Fish : un outil de modélisation

Les outils de modélisation permettent de simuler des situations futures en connaissant au préalable les mécanismes qui régissent le fonctionnement d'un système, et en estimant certains paramètres du modèle avec des données historiques. Ainsi, ces modèles constituent des laboratoires virtuels où l'on peut tester différents scénarios.

Dans notre cas, le but est de pouvoir modéliser à la fois la dynamique de vie du merlu européen mais également la dynamique de pêche associée dans le golfe du

Lion, pour pouvoir simuler la situation de la pêche et du stock de merlu selon différents scénarios de gestion. Le modèle ISIS-Fish développé à IFREMER permet de réaliser cet objectif (Mahévas et Pelletier 2004, Pelletier et al 2009).

2. Matériel et méthode

2.1. Qu'est-ce que ISIS-Fish ?

ISIS-Fish est un simulateur de dynamique de pêche complexe écrit en langage Java (Mahévas and Pelletier, 2004; Pelletier et al., 2009, <http://isis-fish.org/>). C'est un modèle spatialisé composé de 3 sous-modèles qui fonctionnent en interaction (Figure 3):

- Un modèle de dynamique biologique, décrivant le cycle de vie des espèces étudiées.
- Un modèle de dynamique de l'exploitation de pêche, décrivant la dynamique de l'effort de pêche des flottilles et la transformation de l'effort de pêche nominal en effort effectif
- Un modèle de gestion, décrivant les règles de gestion de la pêche.

Le pas de temps de simulation est le mois. L'emprise géographique de la pêcherie est caractérisée par une grille dont la résolution (taille d'une cellule) est choisie par l'utilisateur en fonction de la connaissance sur la dynamique de la pêcherie et des questions posées. Les zones de distribution des espèces, de l'effort de pêche et de la gestion sont définies sur cette grille.

Le modèle nécessite de renseigner un certain nombre de paramètres pour ces 3 sous-modèles.

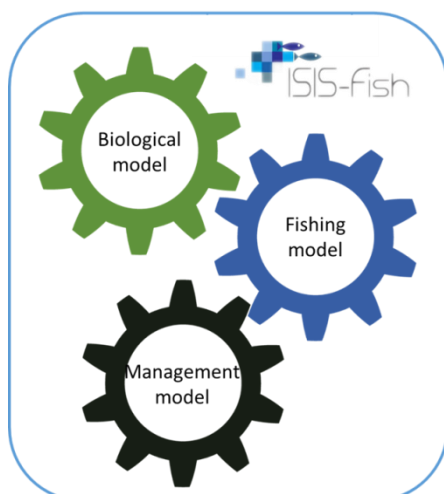


Figure 3 : Représentation schématique du modèle ISIS-Fish décomposé en 3 sous-modèles

De manière conventionnelle, il convient de suivre certaines étapes pour mettre en place un modèle ISIS-Fish. En effet, dans un premier temps, il est nécessaire de paramétrer le modèle à partir de la connaissance disponible sur la pêcherie. Ensuite, le modèle doit être calibré pour que les sorties de simulation

reproduisent au mieux les observations historiques. Enfin, une fois calibré, le modèle permet la simulation du cas d'étude dans le futur en considérant l'incertitude sur les paramètres.

Dans le cadre du projet GALION, les différentes étapes de mise en place du modèle ISIS-Fish ont été consolidées par le travail en collaboration avec les représentants de l'AMOP. En effet, en plus d'utiliser les données disponibles, un regard critique a été apporté sur la qualité de l'information utilisée. Mais également, il a été possible d'avoir des informations supplémentaires sur la définition de la dynamique de pêche et sur le choix de scénarios de gestion à simuler avec le modèle (Figure 4).

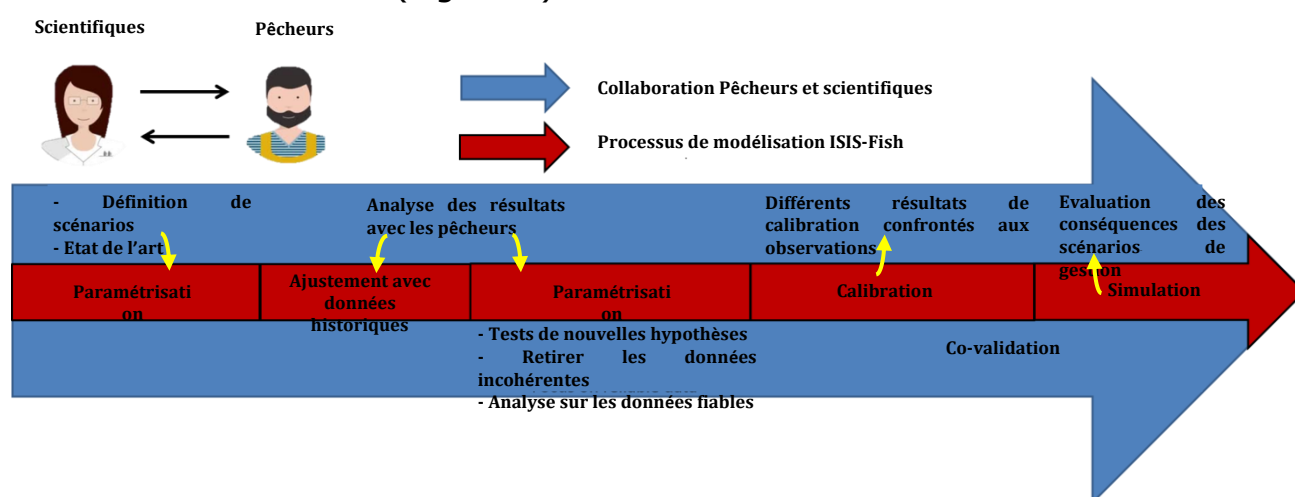


Figure 4 : Développement de l'application ISIS-Fish au golfe du Lion dans le cadre du projet Galion, la flèche rouge présente les étapes de construction du modèle ISIS-Fish. La flèche bleue présente les actions de collaboration entre les scientifiques et des pêcheurs durant le développement.

2.2. Données utilisées

La paramétrisation d'un modèle implique l'utilisation de données historiques, et plus cette période historique est longue plus le modèle sera construit sur de bonnes fondations. Cependant, la pêcherie démersale du golfe du Lion a subi une évolution importante depuis quelques années, et donc la dynamique de pêche a fortement évolué. Dans le cadre de notre étude il a été choisi d'utiliser les données disponibles de 2010 à 2017, car c'est la période où la dynamique de pêche est la plus stable.

Différentes sources de données ont été utilisées pour la paramétrisation du modèle. Dans le cadre de la paramétrisation du sous-modèle biologique, ce sont essentiellement les données provenant de l'évaluation de stock de merlu de la CGPM pour 2017 qui ont été utilisées (comme les paramètres de croissance ou de reproduction, FAO 2017). Ensuite ce sont les données des campagnes scientifiques MEDITS (campagnes de chalutage scientifique en méditerranée, Jadaud & Metral, 2017) ainsi que les données des campagnes OBSMER (campagnes d'observation à bord des navires de pêche, SIH 2017) sur la période 2010 à 2015. Enfin concernant le sous-modèle de dynamique de pêche, ce sont les données de logbook associées aux données de géolocalisation (VMS) qui ont été utilisées sur la période 2015-2017 (Table 2).

L'abondance de merlu utilisée pour initialiser les simulations avec ISIS-Fish provient également de l'évaluation du stock de merlu de la CGPM. Dans cette évaluation, l'abondance de merlu est estimée grâce à un modèle XSA pour chaque âge en utilisant les données de captures aux âges sur plusieurs années, des indices d'abondance (issus de MEDITS) et des séries de captures issues des données collectées par le programme européens Data Collection Framework (DCF).

Table 2 : Données utilisées pour la paramétrisation du modèle du Golfe du Lion

Donnée	Années	Utilisation
Logbook + VMS	2015 – 2017	<ul style="list-style-type: none"> - Représentation spatiale de l'effort de pêche et des captures associées - Déterminer l'effort de pêche mensuel des différents bateaux - Définition du type de marée
OBSMER OBSMER projet Galion	2010 – 2015 – 2016 – 2017	<ul style="list-style-type: none"> - Etablir la distribution spatiale du Merlu en fonction de l'âge
MEDITS	1994 – 2017	<ul style="list-style-type: none"> - Etablir la distribution spatiale du Merlu en fonction de l'âge
CGPM évaluation de stock	2017 (années de référence de 1998 à 2016)	<ul style="list-style-type: none"> - Information sur différents paramètres biologiques du Merlu (mortalité naturelle, ogive de maturité, abondance, ...) - Abondance initiale - Recrutement

2.3. Analyses préliminaires pour la paramétrisation du modèle

2.3.1. Paramétrisation du modèle biologique

Dans le modèle du golfe du Lion, le merlu est distribué en 6 classes d'âges, allant de l'âge 0 à l'âge 5+ (comprenant les individus d'âge 5 et plus).

2.3.1.1. Croissance

La croissance est supposée suivre la relation de Von Bertalanffy comme dans l'évaluation de stock de la CGPM (Figure 5), dont les paramètres ont été estimés d'après l'étude de Mellon et al., 2010. La relation de Von Bertalanffy se définit grâce à trois paramètres :

- t_0 : âge théorique d'un individu de taille 0 cm
- k : le coefficient de croissance
- L_∞ : taille maximale théorique que l'espèce peut atteindre

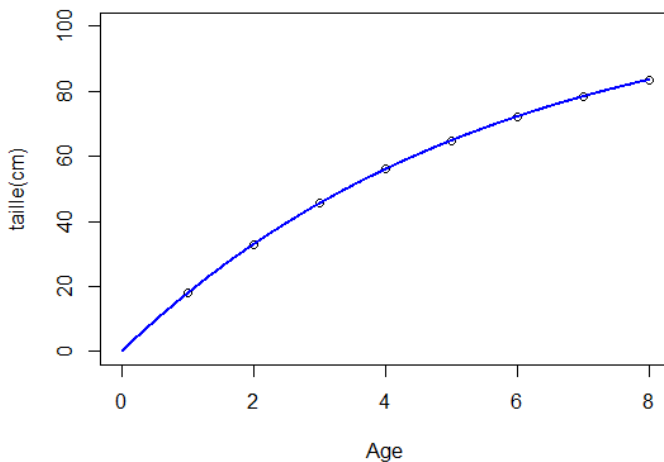


Figure 5 : Courbe de la fonction de Von Bertalanffy, fonction de croissance utilisée dans le modèle ISIS-Fish

2.3.1.2. Mortalité

Les valeurs de mortalité naturelle sont issues également de l'évaluation de stock de la CGPM. Cependant pour l'âge 0, la valeur a été ré-estimée via un recalcul car la valeur de mortalité naturelle associée aux individus d'âge 0 n'était pas suffisamment élevée pour recréer la dynamique de population observée. Le calcul de cette mortalité naturelle a été réalisée en suivant l'approche suivante : on cherche la valeur de M à l'âge 0 telle que la valeur d'abondance des individus d'âge 1 de janvier 2016 soit égale à la survie des recrues par mois de 2015 moins les captures par mois de 2015 soit :

$$N_1 = \sum_m R_m e^{-\frac{M}{12}(13-m)} - \sum_m C_m e^{-\frac{M}{12}(12-m)}$$

Avec : N_1 : l'effectif à l'âge 1, m : le mois, R_m : la valeur du recrutement pour le mois m , C_m : les captures pour le mois m et M la mortalité naturelle.

2.3.1.3. Distribution spatiale

Dans la littérature, il a été montré que la distribution en âge du merlu n'était pas la même entre le plateau continental (<200m) et la zone des canyons (>200m). En effet les adultes seraient regroupés au niveau de la zone des canyons, ce qui correspondrait au site de reproduction des merlus (Doumenge, 1966 ; Caddy, 2015). Les larves de merlus rejoindraient ensuite les zones de nourriceries sur le plateau où elles se développeraient et atteindraient le stade adulte. On aurait donc une concentration en jeunes individus plus importante sur la zone du plateau continental qu'au niveau des canyons et inversement pour les adultes, c'est-à-dire, plus forte au niveau des canyons qu'au niveau du plateau.

La distribution spatiale du merlu a été analysée grâce aux campagnes de suivis scientifiques MEDITS. Les densités d'abondance de merlu ont été comparées selon différents niveaux de bathymétrie en fonction de l'âge des merlus sur l'ensemble des données de campagne MEDITS disponibles, c'est-à-dire de 1994 à 2017 (Figure 6).

Dans le modèle ISIS-Fish, cela se traduit par une distinction de 2 zones de présence du merlu, une zone plateau (0-200 m) et une zone canyon (>200 m). Des merlus des différentes classes d'âges sont distribués sur ces 2 zones, cependant leur proportion est différente selon la zone, en suivant les proportions décrites par les données de campagne MEDITS.

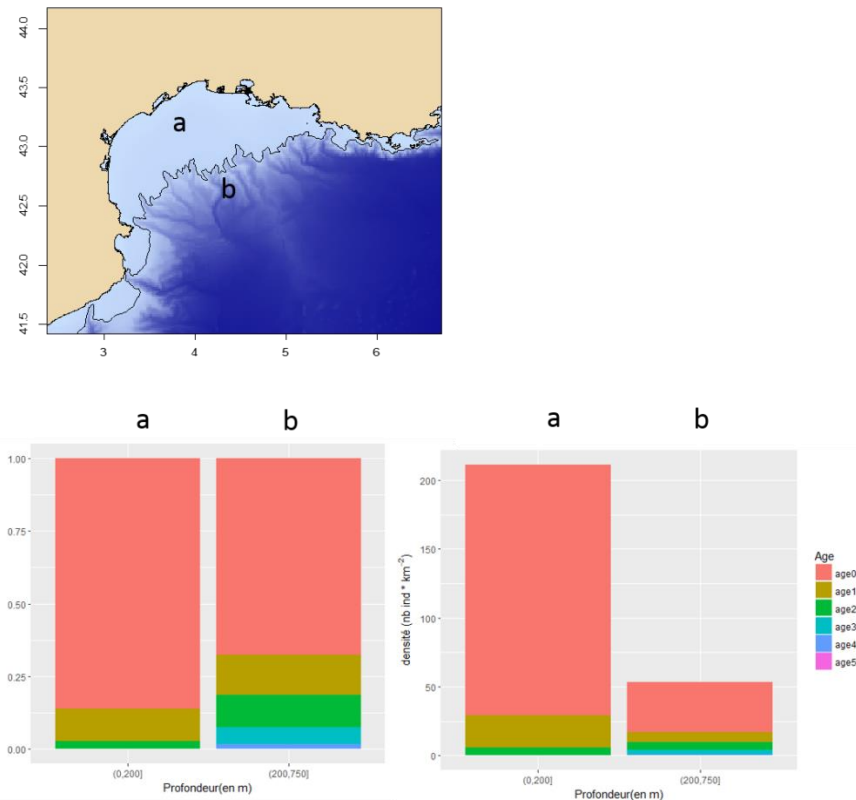


Figure 6 : Distribution spatiale du merlu dans le golfe du lion. 2 zones a et b sont distinguées selon des différences en proportion de merlu aux différents âges.

2.3.1.4. Reproduction/Recrutement

Des données maturité de femelles, issues d'observations biologiques des captures tout au long de l'année ont été collectés dans le cadre de la DCF sur la période 2005 à 2015. Ces données permettent de déterminer la proportion d'individus participant à la reproduction et donc d'estimer la distribution de la reproduction sur l'année. Toutefois, en utilisant cette méthode on fait l'hypothèse que la proportion de femelles matures correspond à la proportion totale d'individus matures (femelles et mâles).

L'analyse effectuée sur la série 2010-2015 révèle, malgré une forte variabilité interannuelle, un schéma annuel de maturité. En effet, la proportion de femelles matures est relativement élevée au printemps, en automne et en hiver. A l'inverse, en Mai, juin et Juillet, la proportion de femelles matures est au plus bas (Figure 6).

La proportion de femelles matures au cours du temps nous indique qu'il n'existe pas de saison de reproduction à proprement parler, mais plutôt que la reproduction a lieu de manière continue tout au long de l'année à plus ou moins forte intensité selon les mois.

Dans le modèle ISIS, il a donc été choisi d'intégrer une valeur de distribution de reproduction pour chaque mois de l'année, en utilisant la valeur de proportion de femelles matures.

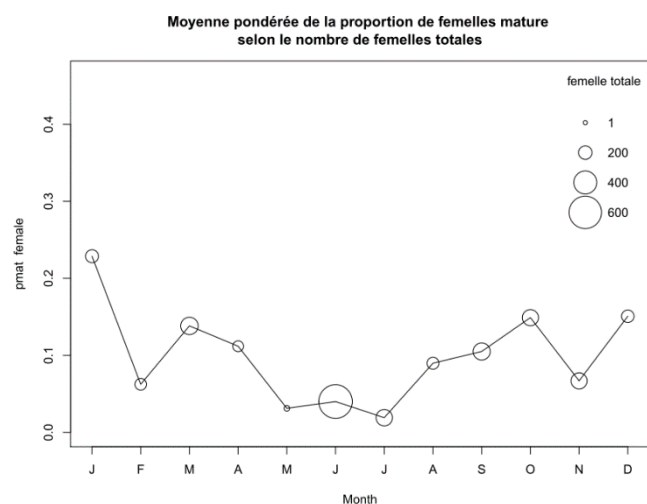


Figure 7 : Proportion de femelles matures par mois issus de la moyenne de femelles matures pondérée par le nombre de femelles échantillonnées sur la série 2010-2015

Le recrutement est également étalé sur toute l'année, mais avec des proportions différentes selon la saison. Cette distribution trimestrielle du recrutement a été estimée en utilisant les captures de merlus par classe de taille par trimestre et en supposant que les recruts mesurent entre 8 et 18cm (Figure 8).

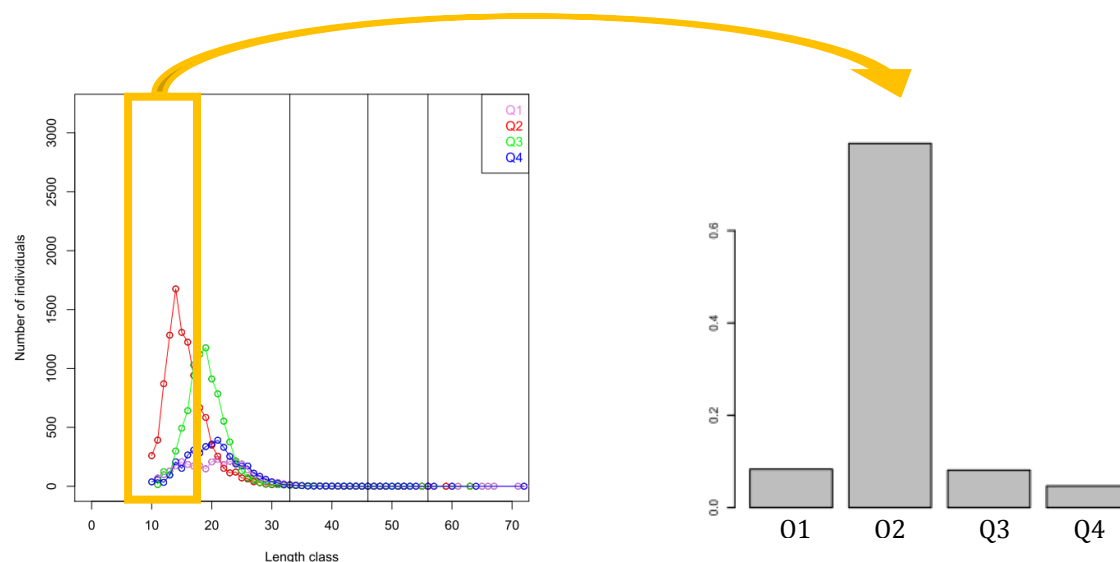


Figure 8 : Le graphique de gauche présente le nombre d'individus capturés en fonction de la taille : Structure en taille des captures par trimestre 2010-2015. Les différentes lignes de couleurs représentent les saisons de l'année. Considérant que les individus recrutés font entre 8cm et 18cm (rectangle orange), on peut calculer les proportions de contribution au recrutement par trimestre (graphe de droite).

Dans le modèle ISIS pour le genre du merlu, on a fait le choix de ne pas décrire une relation de reproduction. Le recrutement est forcé à la valeur estimée par le groupe d'évaluation sur la période historique (2015 à 2017) et distribué dans

l'année en utilisant les proportions de la Figure 7. Puis (à partir de 2018) une relation stock-recrutement est paramétrée. Par défaut cette relation fait l'hypothèse d'un recrutement constant égal à la moyenne du recrutement sur les 3 années d'ajustement (2015 à 2017) et est étalé sur toute l'année selon les proportions estimées à partir des observations de captures par classe de taille (Figure 8). Cette relation stock / recrutement est basée, lorsqu'elle n'est pas forcée par les valeurs de recrutement de l'évaluation de stock (voir incertitude 2.6), sur la biomasse féconde simulée au début de l'année (au mois de Janvier) calculée en utilisant les proportions de matures (Figure 7) et les poids aux âges de l'évaluation de stock.

2.3.2. Paramétrisation du modèle de dynamique de l'activité de pêche

Dans ce modèle ISIS-Fish, la dynamique de pêche est organisée à différentes échelles. L'échelle de la flottille et de la stratégie correspond au regroupement de bateaux partageant des mêmes caractéristiques techniques, pour la flottille, et des mêmes pratiques de pêche annuelles, pour la stratégie. L'échelle du métier correspond à la plus fine échelle de description de la pêche.

L'échelle de description de la dynamique de pêche la plus large est la flottille. Au sein d'une même flottille sont regroupés les navires partageant les mêmes caractéristiques techniques, c'est-à-dire, ayant les mêmes tailles, opérant les mêmes engins. Ensuite, à une échelle d'organisation inférieure, les stratégies de pêche (sous-flottilles) correspondent à la façon dont les flottilles vont pratiquer les différents métiers au cours d'une année. Enfin, un métier correspond à la combinaison d'une espèce cible, d'un engin et d'une zone de pêche. A ce métier est associé un facteur de ciblage caractérisant l'intensité avec laquelle le métier exerce une pression de pêche sur une espèce par rapport aux autres métiers (Figure 9).

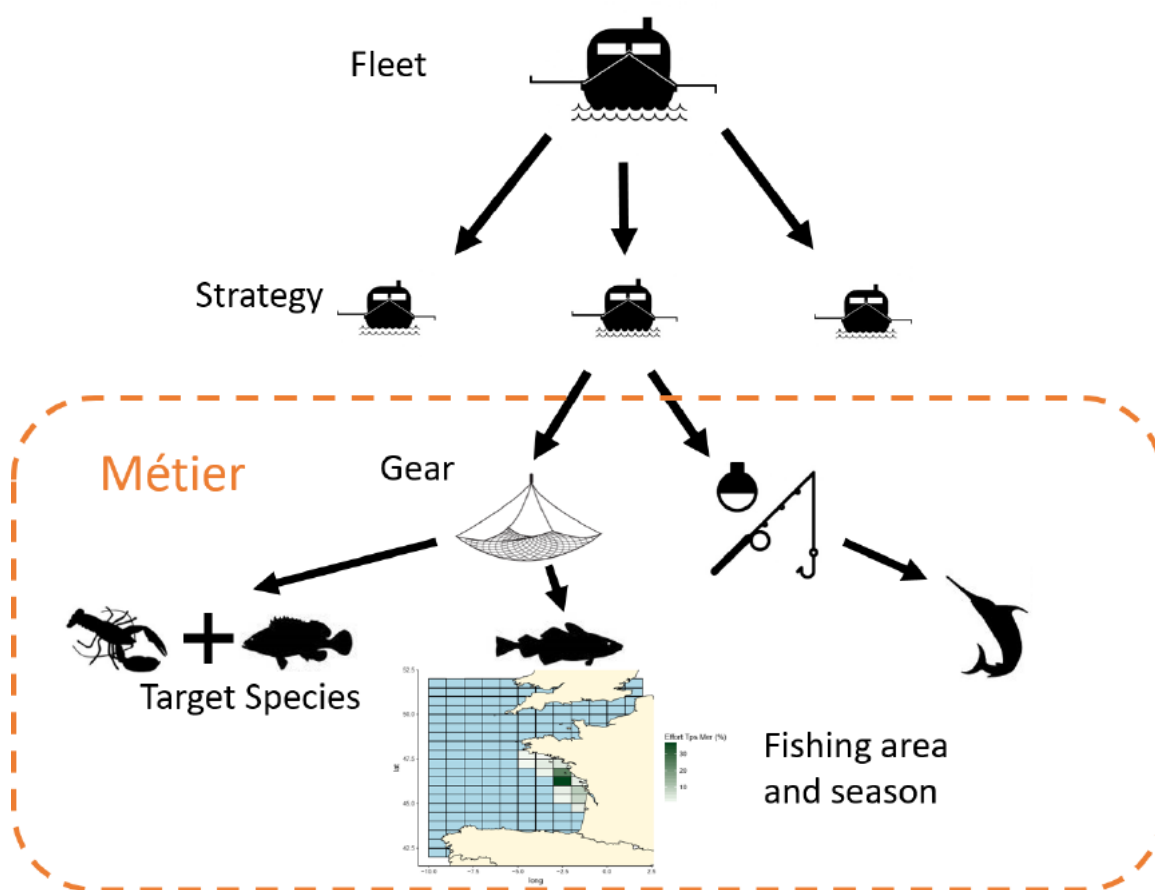


Figure 9 : Schéma représentant l'organisation de la dynamique de pêche dans le modèle ISIS-Fish

Dans le modèle ISIS-Fish du golfe du Lion, le modèle de dynamique de pêche intègre une pêcherie française décrite de façon fine, et une pêcherie espagnole synthétisant de manière plus grossière l'impact des flottilles espagnoles sur le stock de merlu.

2.3.2.1. Métier

Un métier est défini par la combinaison d'une espèce cible, d'un engin de pêche et d'une zone de pêche. Dans la présente application, seul le merlu est considéré explicitement. L'association port de débarquement et taille de navire est

supposée un bon proxy de la zone de pêche et les métiers sont donc définis par la combinaison : engin, port de débarquement et taille de navire.

Dans ISIS-Fish, un paramètre est associé au métier, il s'agit du facteur de ciblage. Ce paramètre quantifie l'intensité de ciblage du métier sur la population. Pour déterminer la valeur de ce paramètre pour chaque métier, on compare les CPUE de chaque métier via un modèle linéaire sous R en utilisant les données de captures SACROIS. L'effet métier de ce modèle correspond au facteur de ciblage.

2.3.2.1.1. Zone de pêche

Pour chaque métier, des cartes des zones de pêche sont établies. Ces cartes des zones de pêche sont fabriquées avec les données géolocalisées de l'effort des navires à l'échelle du mois. Toutefois, les cartes qui ont été utilisées pour le modèle ISIS-Fish synthétisent les zones d'effort de pêche sur une année en regroupant les années 2015-2016, c'est-à-dire qu'on a une seule carte de zone de pêche par métier pour les années 2015-2016 (Figure 10).

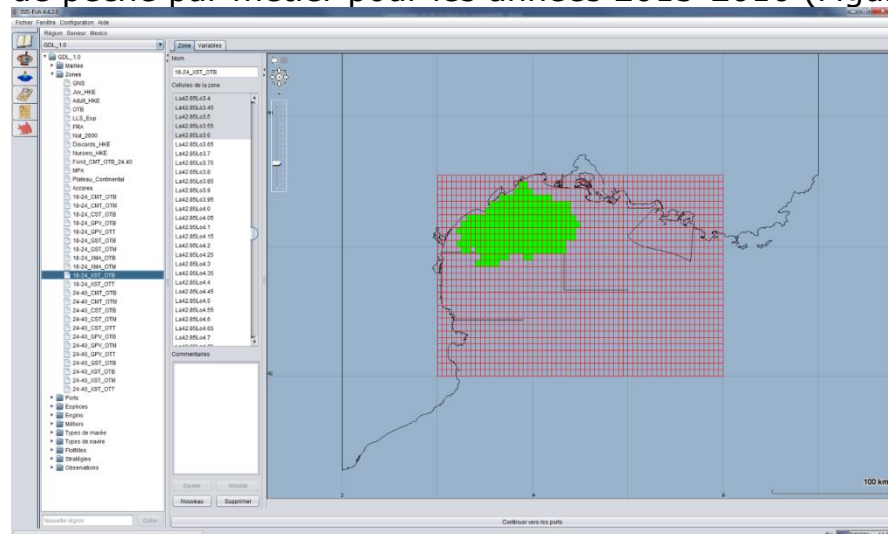


Figure 10 : exemple d'une zone de pêche pour l'un des métiers du modèle ISIS-Fish du Golfe du Lion

Pour faciliter la visualisation des zones de pêche des navires selon différentes variables (Port de débarquement, taille de navire, engin utilisé, saison), une application Shiny a été créée. Celle-ci permet d'afficher rapidement les zones de pêche en fonction de variables sélectionnées par l'utilisateur sans qu'il ait besoin de la moindre ligne de code (Figure 11).

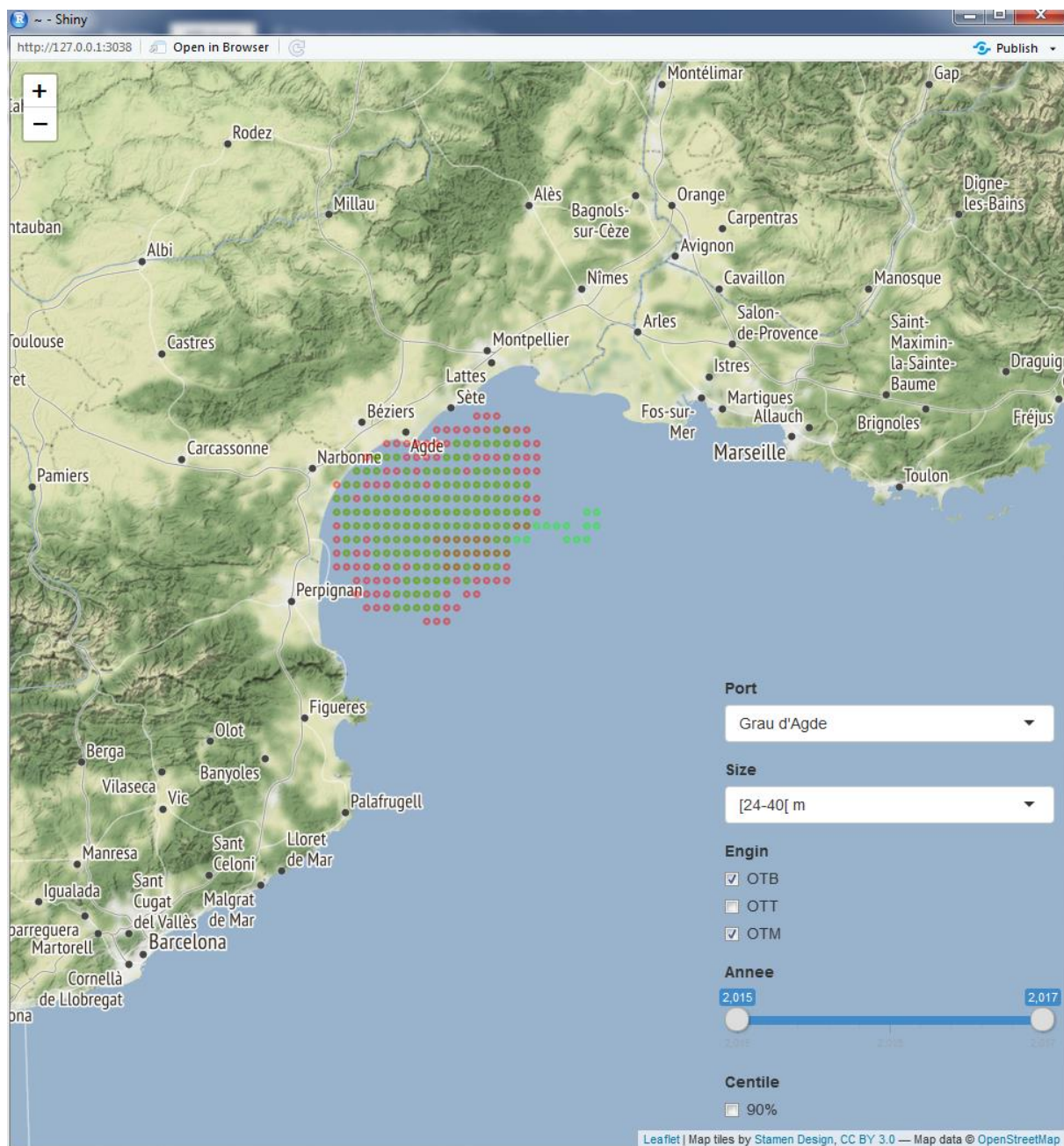


Figure 11 : Capture d'écran de l'application shiny permettant de représenter les zones de pêches des chalutiers français du Golfe du Lion en fonction des différents paramètres choisis (port de débarquement, taille du navire, engin pratiqué, année)

2.3.2.2. Stratégie

Enfin, au sein d'une même flottille, les navires sont regroupés en stratégies. Les stratégies correspondent aux combinaisons des métiers pratiqués pendant une année par des navires d'une même flottille, exemple Table 3. Notons que la définition du métier, (engin*proxy-zone avec proxy_zone la zone associée à l'association port-taille de bateau) que nous avons considérée dans cette étude, fait qu'au sein d'une flottille le métier se distingue par l'engin

Table 3: Exemple de 2 stratégies différentes au sein d'une même flottille. La première effectuant exclusivement du chalut à panneau (OTB) toute l'année et une seconde effectuant du chalut à panneaux en début d'année et partageant son temps entre chalut à panneau et chalut jumeau (OTT) en fin d'année

	Métier	Jan	Fév	Mar	Avri	Ma	Jui	Jui	Août	Sep	Oc	No	Dé
Stratégie 1	A	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stratégie 2	A	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
	B	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Pour une stratégie donnée, la proportion de l'effort de pêche mensuel attribué à chaque métier est calculée.

Dans le modèle ISIS-Fish du golfe du Lion, pour établir ces stratégies, il est nécessaire d'explorer les profils d'effort de pêche au cours de l'année pour tous les navires d'une même flottille et de distinguer des groupes de bateaux ayant des profils similaires. (Figure 12).

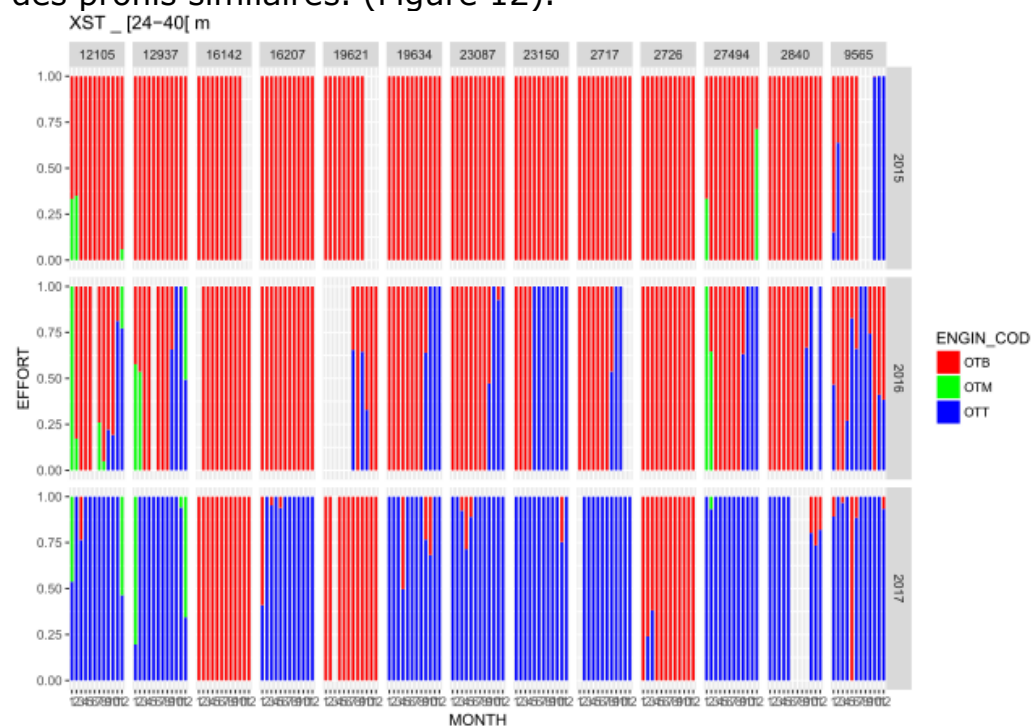


Figure 12 : Exemple de proportions d'effort de pêche mensuel pour la flottille des chalutiers de Sète ayant une taille comprise entre 24 et 40 mètre (XST_[24-40]m) pour les 3 métiers de la flottille (chalut de fond : en rouge, chalut pélagique : en vert et chalut jumeau : en bleu) pour les années 2015, 2016 et 2017

De plus, dans le modèle ISIS-Fish il est nécessaire de connaître le temps de pêche par jour pour les différentes stratégies de pêche. On utilise donc les données de log-book qui nous indiquent en plus des captures, les temps de pêche associés. Dans ISIS-Fish, l'effort de pêche pour chaque mois de chaque stratégie, est déduit du nombre d'heures dans le mois auquel est soustrait un temps d'inactivité. Le temps de pêche est en heures, cependant le temps

d'inactivité est indiqué en jours. Ainsi il n'est pas étonnant d'avoir une inactivité élevée pour certaines stratégies : en effet si pendant un mois l'inactivité pour une stratégie donnée est de 25 jours, cela signifie que les bateaux de la stratégie pêchent 120h en moyenne (30 jours dans le mois - 25 jours d'inactivité = 5 jours de pêche (soit 5 jours x 24h = 120h de pêche au total par mois)).



Figure 13 : Répartition de l'effort de pêche selon les ports de débarquement et la taille des navires pour les différents engins de pêche utilisés (Port-la-nouvelle (GPV) ; Le Grau d'Agde (CST) ; Sète (XST) ; Le Grau du Roi (GST) ; Port de Bouc (CMT) ; Marseille (XMA))

2.3.2.3. Flottille

Dans notre zone d'étude, les navires appartiennent à une même flottille s'ils débarquent dans le même port et qu'ils sont de même classe de taille. Habituellement, on définit dans ISIS-Fish un nombre de navires par flottille et les stratégies de la flottille se caractérisent par une proportion des navires de la flottille. Toutefois, dans cette application, le nombre de navires a été implémenté au niveau des stratégies pour faciliter la programmation de la dynamique d'effort de pêche.

2.4. Lancement des simulations

Le lancement d'une simulation avec ISIS-Fish nécessite un certain nombre d'éléments. Il est nécessaire de charger une base ISIS-Fish, de renseigner des paramètres de simulation (nombre d'années de simulation, effectifs initiaux dans la population de poisson, utilisation de règles de gestion).

2.4.1. Base ISIS-Fish

Une base ISIS-Fish contient tous les éléments de paramétrisation nécessaires au lancement d'une simulation. Cette base regroupe l'ensemble des paramètres au niveau des 2 sous-modèles biologique et pêche qui constituent le modèle ISIS-Fish vu dans la section 2.3 et dont les valeurs seront décrites dans la partie 3. Résultat.

2.4.2. Paramètres de simulation

Un certain nombre de paramètres servent à configurer une simulation et ne peuvent pas être renseignés dans la base ISIS-Fish.

Parmi ces paramètres, il y a l'abondance initiale. Il est en effet nécessaire avant chaque simulation de renseigner le nombre d'individus qui sont présents au pas de temps 0 (ici janvier 2015) de simulation. Ce paramètre peut également être renseigné via un script java, auquel cas, il ne sera pas nécessaire de le rentrer manuellement avant le lancement de la simulation.

Ensuite, il faut également renseigner les paramètres de simulation, comme le nombre d'années de simulation, les stratégies de pêche que l'on veut simuler (il est possible de sélectionner seulement les stratégies souhaitées), et les règles de gestion à implémenter (scénarios de gestion, règles déjà en vigueur).

Ces règles de gestion sont implémentées via des scripts java permettant de modifier de manière dynamique la base de données que l'on utilise et particulièrement la dynamique de pêche. Le cas échéant, ces scripts permettent également de modifier les paramètres du modèle en cours de simulation pour des raisons autres que la gestion. En effet, lorsque l'on rentre des paramètres dans notre modèle, ceux-ci sont fixes et ne changent pas au cours du temps. Or, certains paramètres peuvent varier au cours d'une simulation, comme par exemple l'effort de pêche qui évolue selon les années.

2.4.3. Paramétrisation du nombre de bateaux dans la pêcherie

Le nombre de navires participant à la pêcherie ayant beaucoup évolué au cours des trois années de paramétrage, il était nécessaire de modifier le nombre de bateaux sur les 3 années d'ajustement du modèle pour que l'ajustement soit le plus précis possible. Un script Java (règle de gestion) permettant de modifier ce nombre de bateaux a été utilisé. Habituellement le nombre de bateaux est modifié dans la flottille, or dans le cas de cette application au Golfe du Lion, la part de navires d'une flottille pratiquant une stratégie donnée a également évolué. Le nombre de bateaux doit ainsi être modifié dans chaque stratégie (au niveau de la sous-flottille). Pour des raisons pratiques, le nombre de bateaux dans une flottille est fixé à 1 et, dans la stratégie, la proportion de bateaux de la flottille pratiquant cette stratégie est égale au nombre de bateaux dans cette stratégie (sous-flottille).

Malheureusement, dans les simulations réalisées, une erreur s'est glissée dans ce script : le nombre de bateaux a été changé au niveau des flottilles ainsi les valeurs par défaut dans les stratégies (fixées à celle de 2017 pour prolonger les simulations avec les valeurs de 2017) ne sont pas bonnes. On a une surestimation du nombre de bateaux, qui si elle est compensée par les valeurs de

capturabilité et de facteur de ciblage lors de la calibration posent soucis dans la partie projection.

Pour corriger ces 2 erreurs, il est nécessaire de modifier le script java du modèle qui ajuste l'effort de pêche sur la période 2015-2017 pour qu'il modifie le nombre de bateaux de la stratégie (et non de la flottille). Puis il est nécessaire de modifier le script R permettant de calculer à partir des observations sacrois le nombre de bateaux dans les stratégies du modèle. Il n'a pas été possible de corriger ce problème dans le temps imparti au projet Galion mais cette correction sera implémentée au premier semestre 2019.

2.5. Calibration du modèle

Le modèle ISIS-Fish du golfe du Lion est calibré sur deux types de paramètres. Le premier type de paramètre est la capturabilité. C'est un paramètre qui détermine la disponibilité de la ressource à la pêche. Il existe une valeur de ce paramètre pour chaque classe d'âge de merlu, et comme nous avons 6 classes d'âge, il y a 6 valeurs de ce paramètre à calibrer. Le deuxième type de paramètre est le facteur de ciblage. L'absence de données précises pour les flottilles espagnoles ne nous a pas permis de l'estimer en dehors du modèle (contrairement aux facteurs de ciblage des métiers français). Dans notre modèle nous avons considéré deux métiers espagnols, un pour les palangriers et un pour les chalutiers. Il y a donc deux valeurs de facteur de ciblage à calibrer. La calibration du modèle ISIS-Fish du Golfe du lion nécessite donc l'ajustement de la calibration sur 8 valeurs de paramètres (6 facteurs de disponibilité de la ressource et 2 facteurs de ciblage).

Le modèle ISIS-Fish peut-être calibré de différentes façons, en effet différents outils permettent de maximiser l'ajustement des simulations aux données d'observation. Les approches itératives avec un algorithme d'optimisation vérifiant de bonnes propriétés de convergence vers l'optimum, ou des approches plus ad hoc qui explorent raisonnablement un ensemble de valeurs possibles des paramètres à calibrer. Dans notre cas d'étude, nous avons choisi cette deuxième classe d'approches. Il a été choisi d'utiliser la méthode du LHS (Latin Hypercube Sampling) qui permet de créer différentes combinaisons de valeurs possibles pour un jeu de paramètre à calibrer. Dans notre cas, un grand nombre de combinaisons de nos huit valeurs de paramètres sont choisies de façon à optimiser l'exploration des 8 dimensions de paramètres. Ainsi, les chances d'obtenir une combinaison minimisant la valeur de notre fonction d'objectif sont optimales.

Cette méthode est également utilisée pour faire des analyses de sensibilité globale et permet d'analyser le comportement des sorties de simulation du modèle ISIS selon l'évolution des valeurs de paramètres. On peut ainsi déterminer l'influence de certains paramètres sur les sorties du modèle. C'est un bon support pour échanger entre scientifiques et pêcheurs sur les tendances recréées par le modèle.

Pour déterminer la combinaison de paramètres qui optimise l'ajustement de nos résultats de simulation par rapport aux données observées, il est nécessaire de définir une fonction d'objectif. La fonction d'objectif minimise la différence entre les captures simulées et les captures observées sur l'ensemble des échelles

d'agrégation disponibles (mois, trimestre, année, et pays (France, Espagne)). Toutefois, il est nécessaire d'élever cette différence au carré pour éviter un phénomène de compensation des valeurs positives par des valeurs négatives. On obtient donc comme fonction d'objectif :

$$f = (CapturesSimulées - CapturesObservées)^2$$

Différentes sous-fonctions d'objectifs existent. En effet pour chaque échelle d'agrégation des données existe une sous-fonction d'objectif. Il est donc possible de minimiser le résultat de la fonction d'objectif à l'échelle de l'année, du trimestre, des groupes d'âges du merlu,... Toutefois il est nécessaire de faire un compromis sur l'ensemble de ces échelles d'études et donc la fonction d'objectif est minimisée sur toutes ces échelles d'agrégation en cumulant es sous-fonctions d'objectif de chaque échelle:

$$f_T = \sum_{N=1}^2 \sum_{a=0}^5 \sum_{Y=2015}^{2017} \sum_{t=1}^4 \sum_{m=1}^{12} (CapturesSimulées_{N,a,y,t,m} - CapturesObservées_{N,a,y,t,m})^2$$

(avec N : La nationalité de la flottille, a : le groupe d'âge de merlu, Y : l'année, t : le trimestre, m : le mois)

Toutefois, les données disponibles ne permettent pas d'évaluer toutes les échelles à la fois. En effet les données de captures ne sont disponibles à l'échelle du mois que pour les flottilles françaises (Table 4).

		2015			2016			2017		
		Mois	Trim	Année	Mois	Trim	Année	Mois	Trim	Année
FRA	Age		X	X		X	X		X	X
	Total	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ESP	Age		X	X		X	X		X	X
	Total		X	X		X	X		X	X
FRA+ ESP	Age		X	X		X	X		X	X
	total		X	X		X	X		X	X

Table 4 : Croisement des différentes échelles d'agrégation des données de captures disponibles pour la calibration du modèle. (Les crois rouges indiquent les données qui ont été mises à disposition au cours de la calibration)

2.6. Les différents scénarios testés

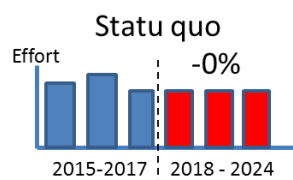
Différents scénarios de gestion de pêche sont simulés avec le modèle ISIS-Fish. Ces scénarios ont été conjointement choisis entre pêcheurs et scientifiques, pour qu'ils correspondent aux questionnements des pêcheurs et qu'ils soient paramétrables dans ISIS-Fish. Il a donc été choisi d'évaluer les projections de 6 scénarios de gestion (Figure 14) :

- StatuQuo : Effort pour la projection reste le même que celui de 2017
- Fermeture100m : Fermeture de la zone des 100 mètres de Mai à Juillet
- FermetureTotaleBoxFRA : Fermeture Totale de la zone FRA sur l'année pour

espagnols et français

- DiminutionEffort10 : diminution globale de l'effort de 10 %
- DiminutionEffort30 : diminution globale de l'effort de 30 %
- DiminutionEffort50 : diminution globale de l'effort de 50 %

Les diminutions d'effort correspondent à une diminution constante de l'effort tous les mois de la période simulée (2015-2025).



Fermeture de zone

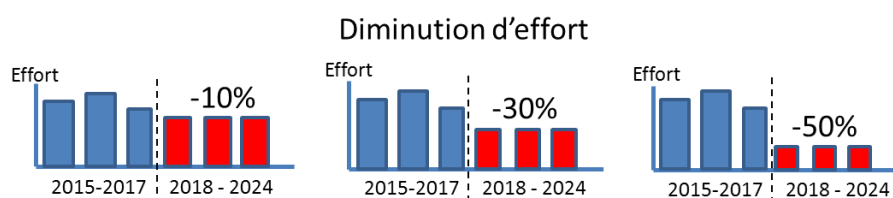
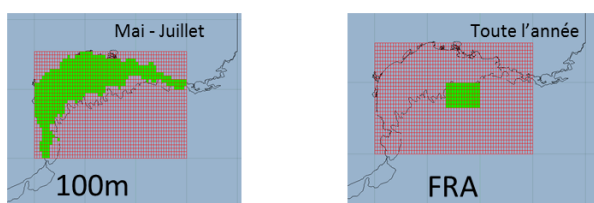


Figure 14 : Représentation schématique des scénarios de gestion pour les simulations ISIS-Fish

2.7. Analyse d'incertitude autour de certains paramètres

Certains paramètres implémentés dans le modèle sont incertains. Il est par conséquent nécessaire d'évaluer leurs conséquences sur les résultats des simulations du modèle. L'analyse d'incertitude est réalisée sur 3 paramètres, l'abondance initiale, le recrutement et la connectivité entre la zone plateau et la zone canyon.

2.7.1. Abondance initiale

L'abondance initiale est issue du modèle d'évaluation des stocks de la CGPM. Dans cette évaluation les abondances sont estimées par un modèle XSA qui fait plusieurs hypothèses discutables (e.g. mortalité par pêche homogène sur le stock et dans l'espace) et qui se nourrit de données dont la qualité est variable) Il a donc été choisi de déterminer différentes valeurs possibles d'abondance initiale à simuler. Pour cela, nous avons fait l'hypothèse que la population de la zone de canyon n'était pas pêchée uniformément et que certaines parties de cette zone de présence n'étaient pas pêchées. La conséquence de cette hypothèse serait

que les captures ne renseigneraient que sur une partie de l'abondance dans cette zone proportionnelle à la surface de la zone pêchée. Ainsi, nous avons estimé la surface de la zone non pêchée (z) et nous avons augmenté l'abondance au niveau des canyons de la proportion de la zone non pêchée sur la zone pêchée. De plus, la sensibilité du modèle à ce paramètre a été évaluée en multipliant cette abondance par différentes valeurs de coefficients de pondération pour voir à quel point ce paramètre modifie les résultats de simulation (Figure 15):

- Abondance par défaut : Abondance utilisée actuellement estimée sur la zone exploitée (x)
- Abondance recalculée avec z : Abondance dans la partie canyon élevée proportionnellement à la surface totale de la zone (x + z)
- Abondance recalculée en doublant la partie non échantillonnée : $x + 2z$
- Abondance recalculée en divisant par deux la partie non échantillonnée : $x + z/2$

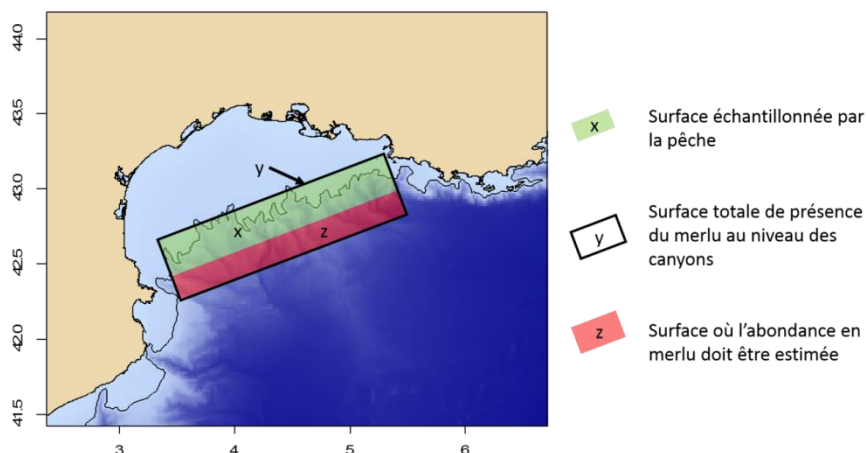


Figure 15 : Représentation schématique du recalcul de l'abondance initiale au niveau des canyons. L'abondance initiale de référence correspond à la zone échantillonnée par la pêche : zone « x »

2.7.2. Recrutement

Le recrutement constitue également une source d'incertitude, car c'est un paramètre extrêmement variable d'une année sur l'autre. Initialement, le recrutement implémenté dans le modèle représente la moyenne du recrutement des 3 dernières années, c'est-à-dire de 2014 à 2016. Il a donc été choisi de définir différentes valeurs de recrutement dans ISIS pour évaluer l'effet de ce paramètre :

- R_min : Recrutement le plus faible depuis 1998
- R_max : Recrutement le plus fort depuis 1998
- R_moyen_1998-2016 : recrutement moyen depuis 1998
- R_stock-recrutement : utilisation d'une relation de stock-recrutement sur l'historique du recrutement en fonction de la biomasse féconde estimée en supposant un modèle de Beverton et Holt (Figure 16)

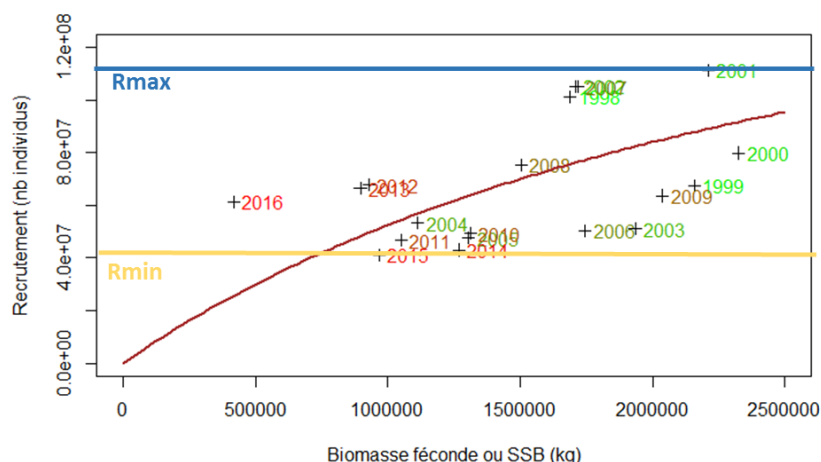


Figure 16 : Historique de la relation entre recrutement et biomasse féconde estimée par le CGPM de 1998 à 2016. La courbe marron correspond à l'ajustement d'une relation de type stock/recrutement de Beverton & Holt sur le nuage de point. R_{max} (ligne bleue) et R_{min} correspondent respectivement à la valeur maximale et minimale de recrutement ayant eu lieu sur la période 1998 à 2016

2.7.3. Mobilité

La mobilité représente la capacité de dispersion du recrutement entre les deux zones établies, la zone plateau et la zone canyon. La dispersion modélisée se base sur la proportion moyenne des merlus d'âge 0 dans les deux zones et a été établie sur la base des données issues des campagnes scientifiques MEDITS. Différentes valeurs de proportion ont été testées pour ce paramètre. Une première minimisant la valeur de dispersion des âges 0 depuis les canyons jusqu'au plateau, une seconde la maximisant et une dernière représentant la moyenne sur l'ensemble de la série des campagnes MEDITS de 1994-2017 (Figure 17).

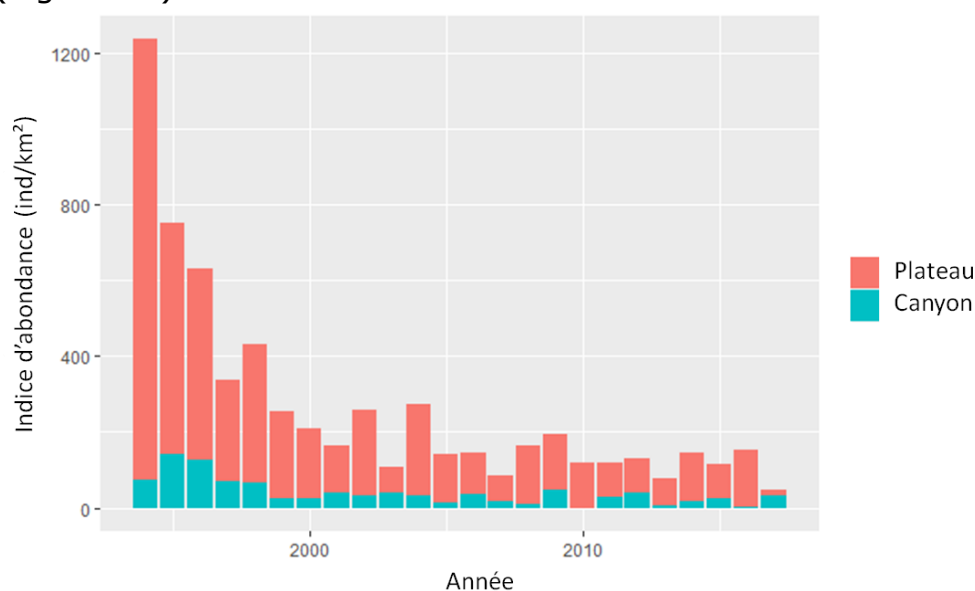


Figure 17 : indice d'abondance de merlu entre la zone plateau et la zone canyon de 1994 à 2017 (MEDITS)

2.8. Plan de simulation

Pour analyser la robustesse des simulations des différents scénarios de gestion, nous avons réalisé une analyse d'incertitude en croisant toutes les sources d'incertitude pour chaque scénario. Le nombre total de simulations correspond à 6 scénarios x 4 abondances x 4 recrutement x 3 mobilités, soit 288 simulations. La dynamique de l'effort de pêche pour les années sans observation (après 2017) a été supposée constante et égale à l'effort de pêche (par flottille et par stratégie) de 2017.

3. Résultats

Ces résultats doivent être analysés avec précaution. Les valeurs numériques des résultats présentés ne sont pas correctes dans la mesure où ces résultats sont issus de simulation avec un nombre de bateaux dans la pêcherie chalutière du Golfe du Lion faux. Toutefois, la démarche permet 1) d'intégrer toute la connaissance disponible, 2) de tester la cohérence de cette connaissance et de sélectionner des hypothèses pertinentes de fonctionnement de la dynamique de la pêcherie, 3) d'évaluer les qualités du modèle et 4) de mettre en œuvre une analyse d'incertitude pour évaluer la robustesse des conclusions sur les scénarios simulés.

Cette section résultats comporte 3 parties : une première qui présente l'ensemble des valeurs de paramètres, une deuxième qui analyse les qualités du modèle calibré et enfin une troisième partie qui présente les simulations des scénarios avec l'analyse d'incertitude.

3.1. Résultats préliminaires

3.1.1. Modèle biologique

3.1.1.1. Mortalité naturelle

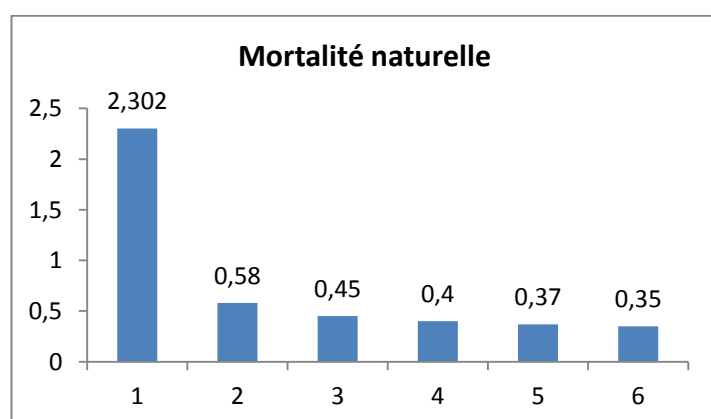


Figure 18 : Mortalité naturelle en fonction de l'âge du merlu implémentée dans ISIS

La mortalité naturelle de l'âge 0 recalculée pour ISIS est supérieure à celle utilisée dans l'évaluation XSA (1.03), qui est obtenue à partir de Prodbiom (Abella et al 1998).

3.1.1.2. Croissance

La croissance du merlu est modélisée par une relation de Von Bertalanffy, cette relation nécessite de renseigner 3 paramètres pour caractériser la croissance du merlu (Table 5, voir 2.3.1.1)

Table 5 : Valeurs des paramètres permettant l'ajustement de la croissance du merlu avec la relation de Von Bertalanffy

L_{∞}	k	T_0
110	0,118	0

3.1.1.3. Distribution spatiale

La distribution de l'abondance initiale aux âges du merlu se répartit dans deux zones, la zone de plateau et la zone des canyons (Table 6).

Table 6 : Abondance initiale pour les deux zones de distribution du modèle ISIS-Fish du Golfe du Lion de référence

age	Abondance Plateau	Abondance Canyon
0	34 378 594	6 808 406
1	6 673 782	2 033 218
2	569 617	644 383
3	1 571	18 428
4	729	8 544
5+	140	2 194

3.1.1.4. Reproduction/Recrutement

La reproduction des adultes est continue sur toute l'année mais l'intensité du recrutement varie tous les mois. Les données de proportion, disponibles par trimestre, ont été ramenées au mois en divisant leur valeur par trois (Table 7).

Table 7 : Distribution du recrutement du merlu sur une année

Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
0,039 6	0,039 6	0,039 6	0,112 7	0,112 7	0,112 7	0,142 4	0,142 4	0,142 4	0,038 7	0,038 7	0,038 7

3.1.2. Modèle de dynamique de pêche

3.1.2.1. Métiers

3.1.2.1.1. Définition des métiers

Dans notre modèle nous avons six secteurs géographiques centrés sur les six ports de débarquement principaux et qui dépendent des 2 classes de taille de navires. Les métiers sont donc construits en considérant le croisement port-taille de bateaux (proxy zone) et l'engin de pêche.

Table 8 : Les 3 paramètres permettant la définition des différents métiers

Port (Code du Port)	Taille de navire	Engin (Code engin)
Port-la-nouvelle (GPV)	18-24	Chalut à panneaux (OTB)
Le Grau d'Agde (CST)	24-40	Chalut pélagique (OTM)

Sète (XST)		Chalut jumeau (OTT)
Le Grau du Roi (GST)		
Port de Bouc (CMT)		
Marseille (XMA)		

Un code est défini pour désigner les différents métiers du modèle. La structure est du type :

« Engin_Port de débarquement_Classe de taille de navire » pour les métiers français, et

« Engin_Nationalité » pour les métiers espagnols. Ainsi, pour le métier Chalut de fond pour un bateau débarquant au Grau d'Agde de 18-24 mètre, le code sera :

« OTB_CST_18-24 ».

3.1.2.1.2. Facteurs de ciblage

Table 9 : Facteurs de ciblage pour les différents métiers du modèle du Golfe du Lion (code Table 8)

Métier	Facteur de ciblage
OTB_CMT_18-24	1,00
OTM_CMT_18-24	0,95
OTB_CMT_24-40	1,00
OTM_CMT_24-40	0,23
OTB_CST_18-24	0,18
OTB_CST_24-40	0,45
OTM_CST_24-40	0,11
OTT_CST_24-40	0,21
OTB_GPV_18-24	0,26
OTT_GPV_18-24	0,04
OTB_GPV_24-40	0,59
OTM_GPV_24-40	0,52
OTT_GPV_24-40	0,34
OTB_GST_18-24	0,25
OTM_GST_18-24	0,10
OTB_GST_24-40	0,53
OTM_GST_24-40	0,56
OTB_XMA_18-24	0,77
OTM_XMA_18-24	0,63
OTB_XST_18-24	0,30
OTT_XST_18-24	0,31
OTB_XST_24-40	0,45
OTM_XST_24-40	0,23
OTT_XST_24-40	0,45
LLS_ESP	0,85
OTB_ESP	0,28

3.1.2.2. Stratégies

3.1.2.2.1. Inactivité

Table 10 : Inactivité par mois de chaque stratégie du modèle ISIS-Fish du Golfe du Lion, en Nombre de jour par mois (Dans cette Table n'est présentée que l'inactivité pour l'année 2017)

Stratégie	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
CMT_18-24_OTB-OTM	28,8	26,2	27,4	28,1	28,3	27,1	28,9	28,6	27,9	28,7	29,3	31,0
CMT_24-40_OTB-OTM	26,3	23,5	25,8	26,4	25,7	23,7	26,1	25,8	25,3	27,3	24,3	26,3
CST_18-24_OTBpur	23,2	21,8	23,1	24,5	25,8	22,4	24,2	23,1	23,6	24,2	23,2	24,5
CST_24-40_OTB-OTM-OTT	25,7	21,3	22,7	23,9	24,5	21,4	25,7	20,2	22,8	24,4	22,5	26,1
CST_24-40_OTB-OTT	20,9	22,4	20,6	24,5	22,6	21,1	21,8	21,0	22,5	25,9	28,2	31,0
CST_24-40_OTBpur	22,3	21,7	22,2	24,3	27,0	22,0	22,6	22,3	22,8	24,4	23,1	26,2
GPV_18-24_OTB-OTT	27,8	26,4	28,2	28,7	26,5	26,1	25,1	22,1	21,8	24,3	25,1	24,5
GPV_24-40_OTB-OTM-OTT	27,3	23,3	25,3	25,4	27,1	25,4	27,8	25,1	25,0	26,0	25,0	28,5
GPV_24-40_OTB-OTT	24,4	19,5	22,2	23,3	22,2	20,6	22,0	21,1	22,9	21,3	21,2	24,1
GPV_24-40_OTBpur	24,1	22,2	24,9	27,3	27,0	26,1	28,1	22,0	21,3	25,0	21,4	24,5
GST_18-24_OTB-OTM	25,6	23,0	24,1	25,8	27,4	25,7	25,7	26,2	25,4	25,6	23,6	27,1
GST_24-40_OTBpur	25,2	22,1	23,9	25,7	25,6	24,5	25,2	26,3	24,0	24,6	25,4	26,5
XMA_18-24_OTBpur	29,1	26,3	28,7	27,1	28,8	26,8	27,5	29,0	26,7	26,0	26,5	29,0
XST_18-24_OTB-OTT	22,6	19,9	19,6	22,7	24,1	23,9	22,9	22,7	20,3	24,6	20,9	23,5
XST_24-40_OTB-OTM-OTT	25,3	21,4	22,4	24,9	26,9	25,7	24,1	23,0	22,8	23,4	24,8	27,5
XST_24-40_OTB-OTT	23,4	21,7	21,8	23,4	25,1	22,8	24,5	22,5	22,7	23,5	21,2	23,7
XST_24-40_OTBpur	21,9	20,4	21,3	25,0	23,6	23,1	24,1	22,2	22,0	23,0	21,8	24,8
Stratégie espagnole	26,4	25,9	26,3	24,3	25,7	21,1	23,3	25,6	22,6	25,0	23,3	19,9

3.1.2.2.2. Nombre de navires

Le nombre de navires dans le modèle du Golfe du Lion est renseigné non pas dans les flottilles mais dans les stratégies car le nombre de bateaux par stratégie diffère d'une année sur l'autre sur la période 2015-2017.

Les nombres de bateaux renseignés dans la Table 11 sont utilisés dans les simulations présentées dans ce document mais ne sont pas associés aux bonnes

stratégies due à une erreur d'association des stratégies avec le nombre de bateaux, excepté pour les espagnols (voir 2.5)

Table 11 : Nombre de navires par stratégie pour les 3 années d'ajustement du modèle

Stratégie	2015	2016	2017
XMA_18-24_OTBpur	3.0	2.0	1.0
GST_18-24_OTB-OTM	3.0	3.0	3.0
XST_24-40_OTB-OTM-OTT	5.0	6.0	6.0
CMT_18-24_OTB-OTM	1.0	1.0	1.0
GPV_24-40_OTB-OTT	1.0	1.0	1.0
XST_24-40_OTBpur	3.0	2.0	2.0
XST_24-40_OTB-OTT	1.0	1.0	1.0
GST_24-40_OTBpur	2.0	2.0	2.0
CST_18-24_OTBpur	2.0	2.0	2.0
CMT_24-40_OTB-OTM	2.0	2.0	2.0
GPV_18-24_OTB-OTT	13.0	12.0	12.0
XST_18-24_OTB-OTT	5.0	5.0	5.0
GPV_24-40_OTB-OTM-OTT	2.0	2.0	3.0
CST_24-40_OTBpur	2.0	2.0	2.0
GPV_24-40_OTBpur	3.0	3.0	3.0
CST_24-40_OTB-OTM-OTT	7.0	7.0	7.0
CST_24-40_OTB-OTT	3.0	3.0	3.0
Stratégie espagnole	36.0	36.0	36.0

3.1.2.3. Les flottilles

Les flottilles correspondent à l'association du port de débarquement et de la taille du navire. Il y a au total 12 flottilles. On a préféré spécifier le nombre de navires par stratégie (normalement c'est la proportion de bateaux de la flottille dans cette stratégie). Par conséquent le nombre de navires par flottille est fixé à 1. Ce choix a été fait pour faciliter la manipulation du nombre de bateaux par année qui change dans les stratégies.

3.2. Résultats de calibration

L'objectif de la calibration du modèle est de trouver les valeurs des 8 paramètres inconnus du modèle (les capturabilités du merlu par classe d'âge et les facteurs de ciblage des métiers espagnols). La méthode mise en œuvre consiste à 1) choisir un grand nombre de combinaisons de valeurs de ces paramètres, 2) puis de simuler les captures de la pêcherie avec ces valeurs, et enfin 3) calculer la différence entre les captures simulées et les captures observées pour identifier la combinaison de valeur qui minimise cette différence. La calibration a été faite en 2 étapes : 1) une première calibration minimisant la différence entre les captures simulées et les captures observées mais avec un faible nombre de combinaisons produites par le LHS (50 combinaisons) pour préciser le domaine de recherche et 2) une deuxième calibration provenant d'un LHS avec un très grand nombre de

combinaisons de valeurs de paramètres (8750 combinaisons) autour des valeurs précédemment identifiées. En plus de la mise à jour des domaines de variation des 8 paramètres, l'analyse des résultats de la première calibration a entraîné la modification de quelques valeurs de paramètres du modèle : la mortalité naturelle des merlus d'âge dont la valeur initiale était fixée à celle utilisée dans le modèle d'évaluation du merlu a été modifiée comme décrit dans la section 2.1.1 ; les valeurs d'effort de pêche ont été forcées aux valeurs observées sur la période 2015-2017. Enfin de nouvelles observations de captures (captures par classe d'âge et trimestre en 2017 pour les Français et les Espagnols) ont permis d'affiner la fonction d'objectif de la deuxième calibration.

3.2.1. Première calibration

3.2.1.1. Sélection de la meilleure combinaison de valeurs de paramètres

Pour sélectionner la combinaison des valeurs de paramètres qui permette de reproduire le plus précisément les captures observées, les différences entre les captures observées et simulées ont été analysées à plusieurs échelles. Tout d'abord par classe d'âge pour les captures des flottilles françaises (Figures 19 et 20). La figure 19 qui présente les différences par classe d'âge (delta, Somme des différences sans valeur absolue ni carré) pour les 30 simulations dont les valeurs de fonction d'objectif sont les plus faibles (voir section 2.6 Calibration). La droite horizontale noire correspond à une différence nulle, les points situés au-dessus (respectivement en dessous) présentent délimite en haut une surestimation (respectivement une sous-estimation) des captures par classe d'âge (Figure 19, a). Quelle que soit la simulation (en abscisse), les écarts sont plus marqués pour les classes d'âge 0 (pratiquement toujours surestimées) et 1 (pratiquement toujours sous-estimées). Ces écarts semblent toutefois les plus faibles pour les simulations 4, 5, 9, 22 et 25. Pour mieux évaluer l'ajustement conjointement sur toutes les classes d'âge, nous avons aussi représenté le ratio simulées/observées -1 (Figure 19, b). Une valeur de zéro indique un ajustement parfait. Cette figure confirme la sélection des simulations précédentes. Elle montre aussi que les captures d'âge 3 sont aussi systématiquement sous-estimées.

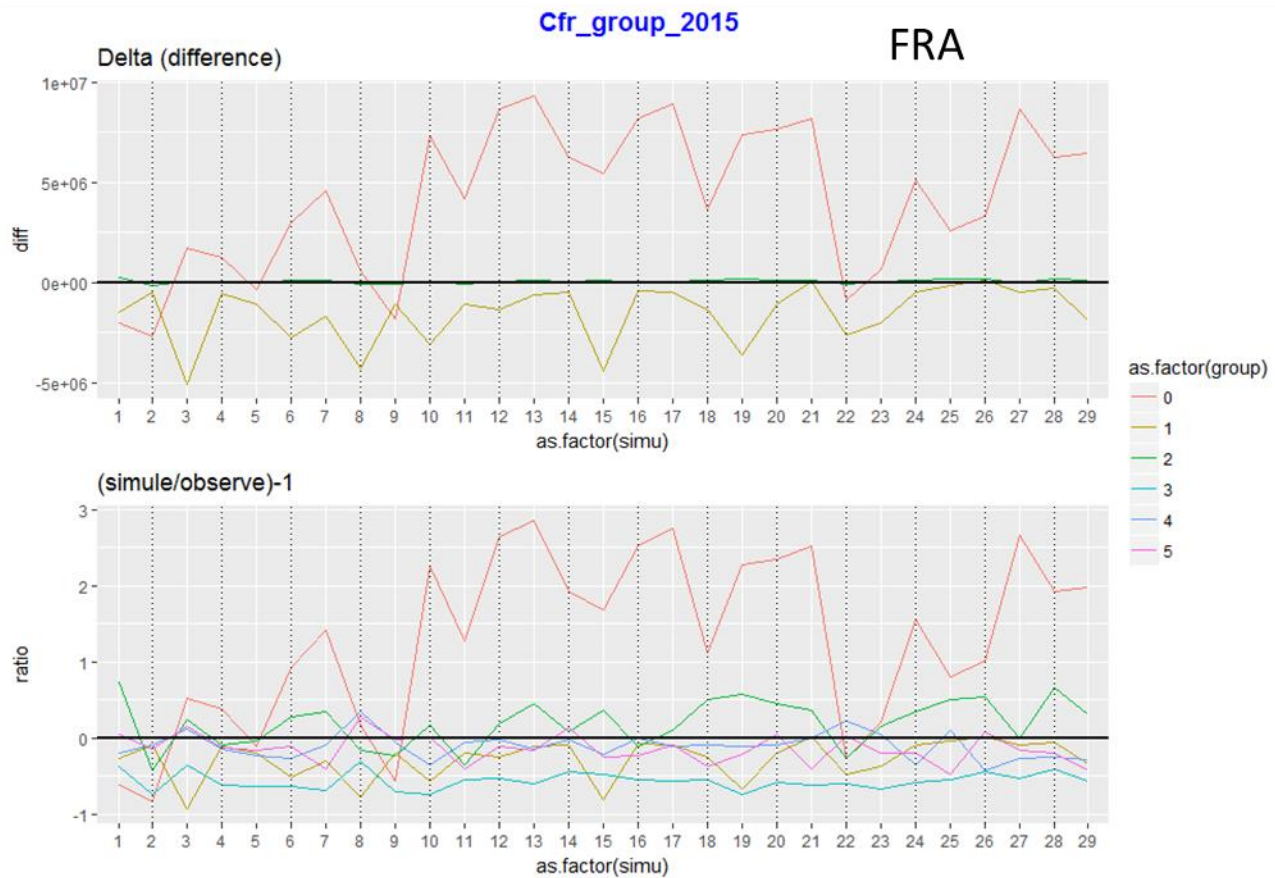


Figure 19 : comparaison des écarts entre les captures simulées et observées pour 30 combinaisons de valeurs des paramètres (simulations en abscisse) en utilisant deux indices (la différence et le ratio des captures simulées et captures estimées) en fonction des groupes d'âges pour la flottille Française

La même analyse est réalisée en ne considérant que les captures espagnoles pour se comparer les difficultés à estimer les facteurs de ciblage pour les deux métiers espagnols en interactions avec les capturabilités par classe d'âge (Figure 20). Il apparaît que toutes les captures sont surestimées. Les meilleures simulations semblent être la 1, 8 et la 22. A l'issue de cette analyse, on décide de retenir les valeurs de paramètres de la simulation 22.

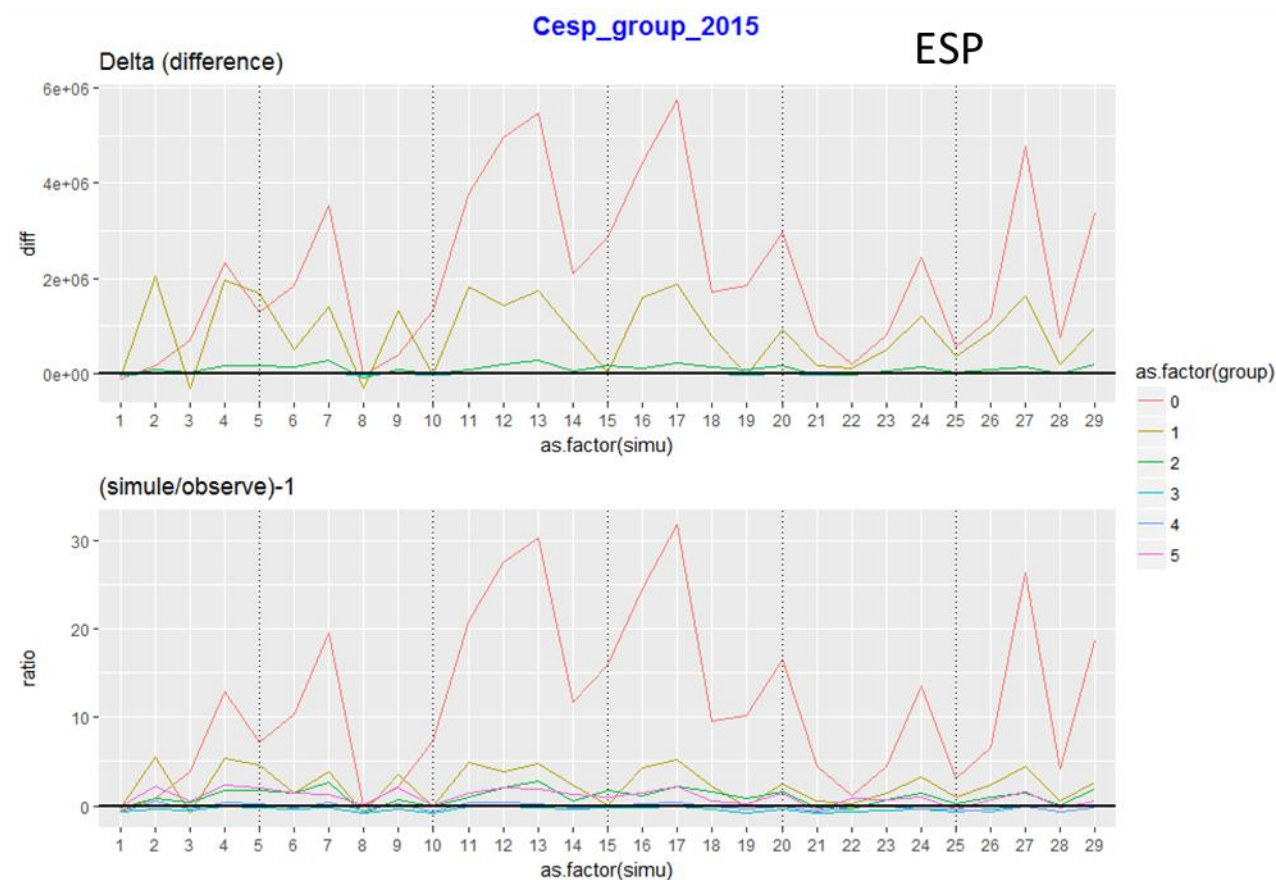


Figure 20 : comparaison des écarts entre les captures simulées et observées pour 30 combinaisons de valeurs des paramètres (simulations en abscisse) en utilisant deux indices (la différence et le ratio des captures simulées et captures estimées) en fonction des groupes d'âges pour la flottille Espagnole

3.2.1.2. Analyse de la simulation associée au modèle calibré lors de la calibration préliminaire

L'étape suivante consiste alors à analyser les forces et faiblesses du modèle paramétré avec les valeurs de paramètres listées dans la section résultats et les valeurs de paramètres pour les 8 paramètres inconnus sélectionnés par la calibration. Pour cela nous comparons toutes les observations disponibles (Figures 21 et 22) ou sorties d'autres modèles (Figure 23) aux valeurs simulées par ISIS-Fish.

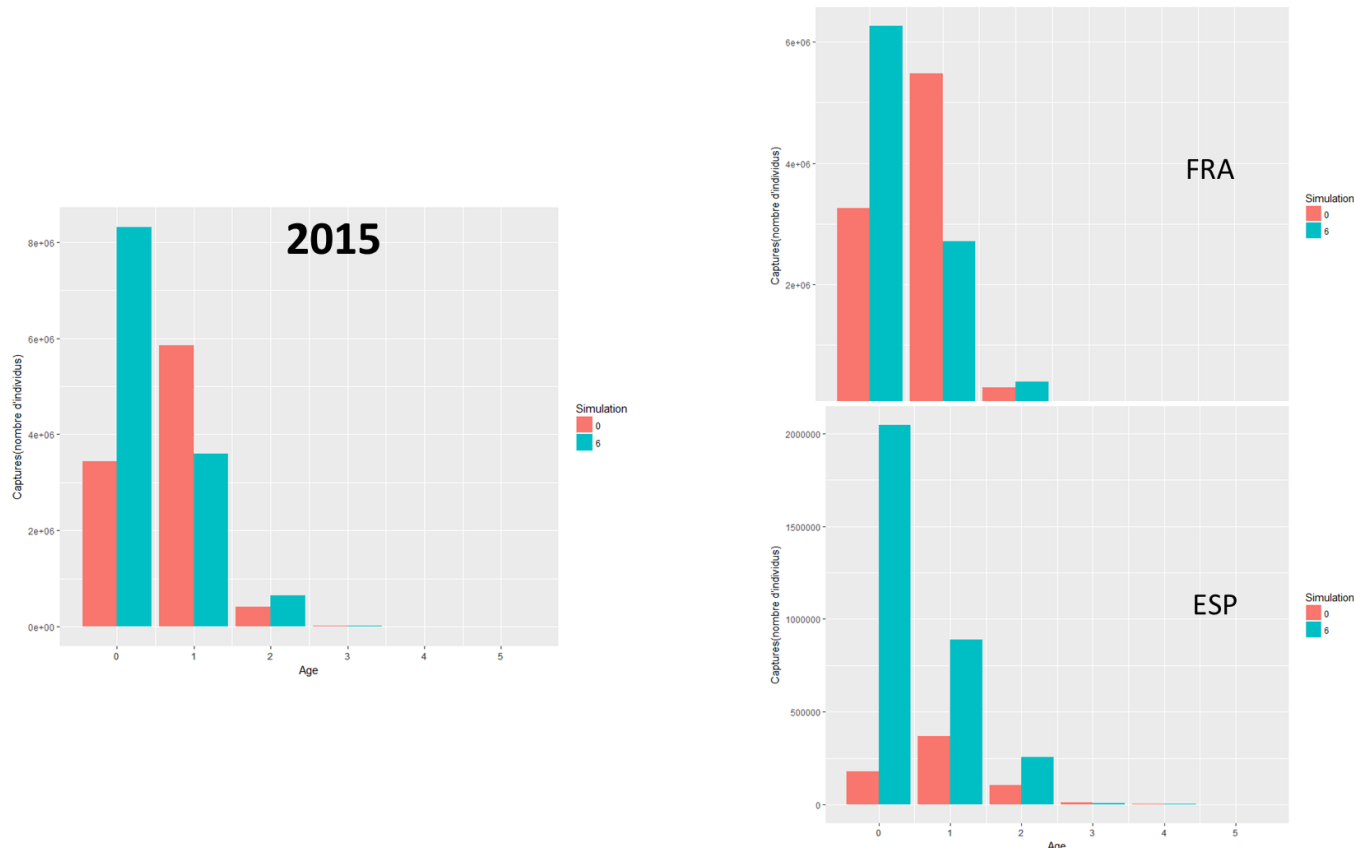


Figure 21 : Distribution des captures de merlu en nombre par classe d'âge en 2015, totale (à gauche) et pour chaque pays (à droite). En bleu : les valeurs simulées, en rouge les valeurs observées.

L'analyse de la simulation pour le jeu de paramètres issu de la calibration montre des différences importantes entre les captures simulées et observées. Le modèle surestime les captures d'âge 0 et sous-estime les captures d'âge 1. Cette analyse a entraîné une nouvelle estimation de la mortalité naturelle des merlus d'âge 0 au moyen du retro-calcul présenté dans la section 2.3.2 qui sera utilisée pour la deuxième calibration.

On observe également des différences de qualité entre les flottilles. Pour les espagnols le modèle surestime les captures sur tous les âges, tandis que pour les français, le patron est semblable au patron global, (Figure 21 droite). Cela témoigne d'une surestimation des facteurs de ciblage pour les métiers espagnols que l'on pourra réduire dans la deuxième calibration.

Si l'on s'intéresse à la dynamique simulée par le modèle sur 2016-2017, on s'aperçoit que le modèle surestime les captures de merlu pour les 3 années d'ajustement. Ce qu'il faut également noter c'est que cette surestimation s'amplifie chaque année (Figure 22). En termes de biomasse, malgré la surestimation des captures par le modèle calibré, la biomasse de merlu croît sur la période d'ajustement du modèle (2015 à 2017), alors que le modèle d'évaluation estime une biomasse décroissante sur cette même période. La biomasse atteint tout de même un plateau dès le début de la projection de la simulation (à partir de 2018) (Figure 22).

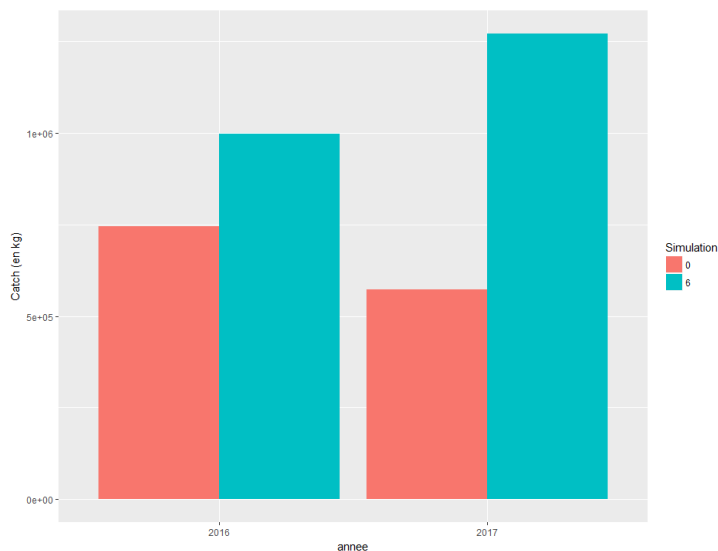


Figure 22 : Captures en nombre totales simulées pour les années 2016 et 2017 (avec en bleu les simulations et en rouge les captures observées)

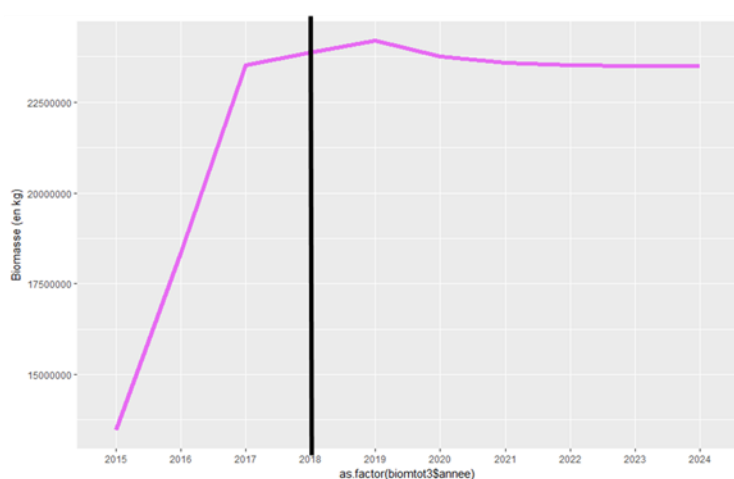
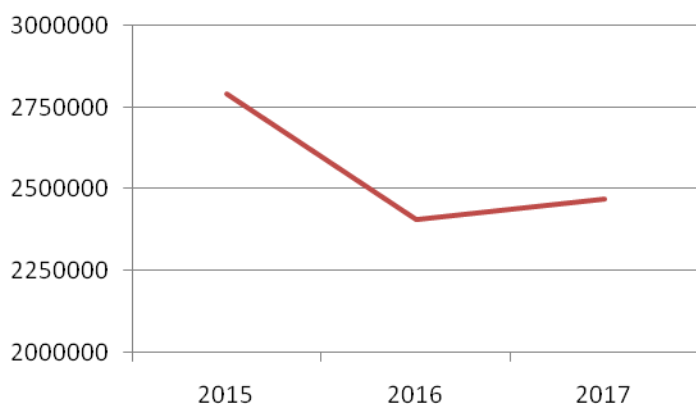


Figure 23 : Figure du haut : Biomasse estimée par le CGPM sur la période 2015 – 2017. Figure du bas : Simulation de référence avec le modèle calibré sur la période 2015-2017. La barre noire verticale distingue sur la gauche la période de calibration de la période de simulation à droite.

Suite à la calibration préliminaire quelques changements ont été effectués dans la base ISIS-Fish du golfe du lion :

- La mortalité naturelle à l'âge 0 du merlu a été recalculée
- Des observations supplémentaires ont été intégrées à l'analyse pour affiner la perception de la dynamique saisonnière de captures (voir Table 4, partie 2.6).

3.2.2. Deuxième calibration

Cette deuxième calibration du modèle a été réalisée avec l'ensemble des valeurs de paramètres présentées dans la section Résultats du rapport en utilisant toutes les observations de captures présentées dans la Table 4 de la section 2.6 calibration. Cependant, les interprétations restent conditionnées à l'erreur de codage du nombre de bateaux par stratégie.

3.2.2.1. Sélection de la meilleure combinaison de valeurs de paramètres

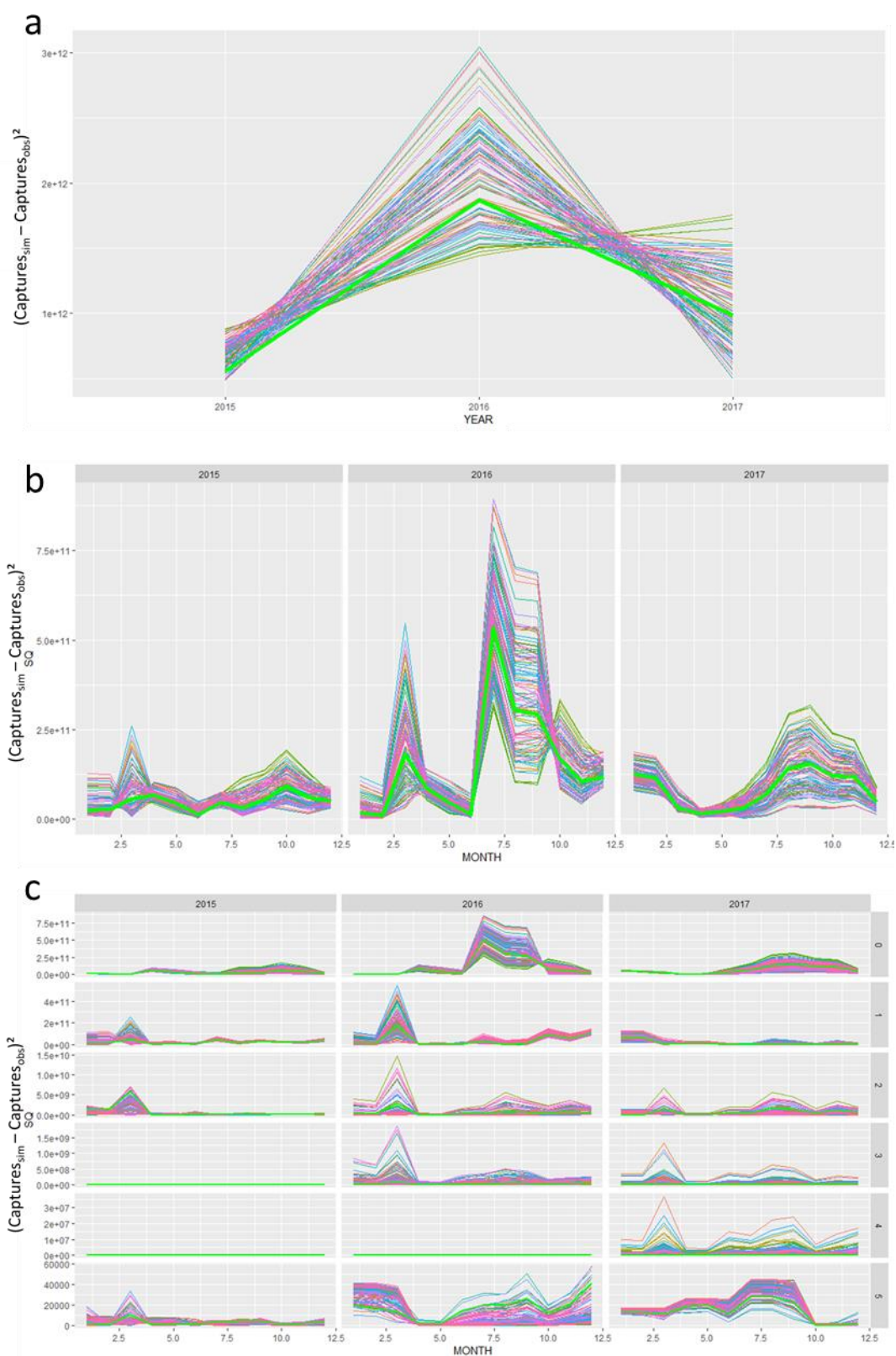


Figure 24 : Analyse de la fonction d'objectif (section 2.6) à différentes échelles pour les 100 meilleures combinaisons de paramètres du LHS, avec en vert lumineux gras la combinaison retenue (a : selon l'année, b selon l'année et le mois, c : selon l'année, le mois, le groupe d'âge). Attention les nombres de bateaux par stratégie dans le modèle ne sont pas corrects.

Les 100 meilleures combinaisons de paramètres correspondent aux simulations minimisant la valeur de fonction d'objectif sur l'ensemble des échelles d'agrégation des données. Pour l'année 2015 les différences entre captures simulées et captures estimées sont moins importantes que pour les deux autres années. En 2016, la dispersion est la plus forte (Figure 24 a). On note aussi d'importantes variations saisonnières (notamment en mars et juillet-octobre Figure 24 b, différentes selon les classes d'âge Figure 24c) difficilement capturées par le modèle en 2016 et 2017, beaucoup plus marquées en 2016. La combinaison de valeurs de paramètres retenue (simulation minimisant la valeur de la fonction d'objectif sur les 8450 combinaisons testées, courbe verte sur la Figure 24) est présentée dans la Table 12.

Table 12 : Combinaison des valeurs de paramètres retenue pour la deuxième calibration (q0 à q5 : valeur d'accessibilité de l'âge 0 à l'âge 5, et facteur de ciblage pour les métiers espagnols (TF0 : les chalutiers, TF1 : les palangriers). Ces valeurs sont conditionnées aux nombres de bateaux par stratégie qui ne sont pas corrects.

q0	q1	q2	q3	q4	q5	TF0	TF1
0,042	0,339	0,458	0,445	0,254	0,964	0,284	0,854

1.1.1.1. Analyse de la simulation associée au modèle calibré



Figure 25 : comparaison des captures simulées et observées à différentes échelles d'étude (année, nationalité de la pêche, mois)

Globalement ce nouveau modèle calibré (non encore validé à cause des valeurs fausses de nombre de bateaux par stratégie) permet de mieux reproduire la dynamique de capture malgré quelques variations interannuelles. Par contre la biomasse simulée n'est pas du tout ajustée à la biomasse estimée par le modèle d'évaluation.

3.3. Simulation de projection des scénarios de gestion

3.3.1. Simulation avec le modèle issu de la première calibration

Dans cette section, les simulations réalisées avec le premier modèle calibré sont présentées.

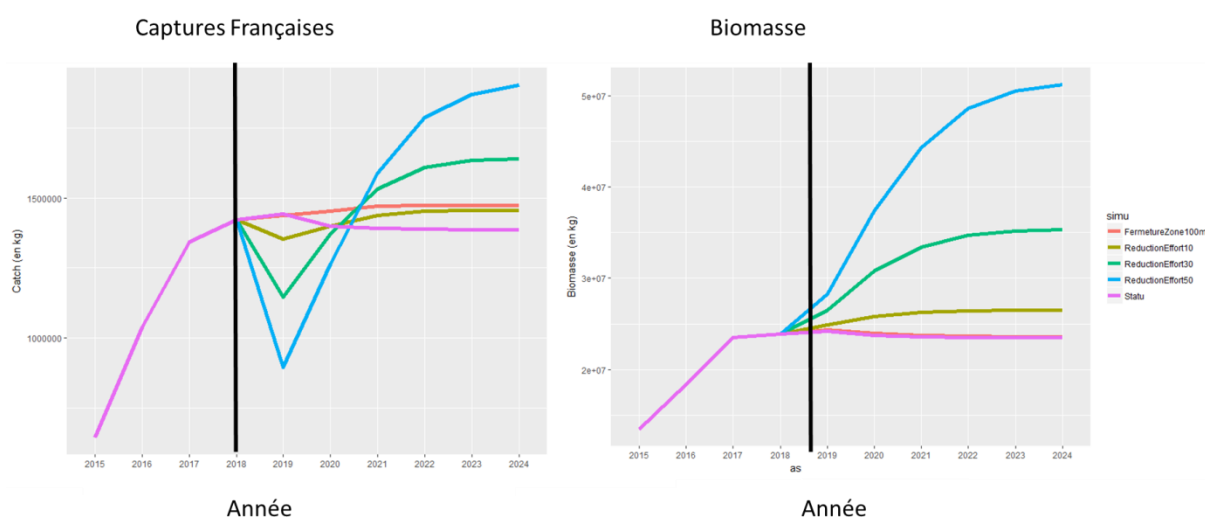


Figure 26 : évolution des captures françaises (à gauche) et de la biomasse (à droite) pour les différents scénarios de gestion simulés de 2018 à 2024 avec le modèle calibré (non valide) dans la calibration préliminaire.

Pour cette première calibration, la projection des scénarios induit des situations différentes, aussi bien pour la biomasse de merlu que pour les captures qui en résultent. Les réductions d'effort aboutissent à une augmentation du niveau de biomasse dès leur mise en place ce qui se traduit par une chute des captures à court terme mais à un niveau plus élevé de captures à long terme. La fermeture de zone n'induit pas d'augmentation de biomasse de merlu, par contre elle induit des captures très légèrement plus élevées à long terme qu'à statu quo.

3.3.2. Simulation avec le modèle issu de la deuxième calibration

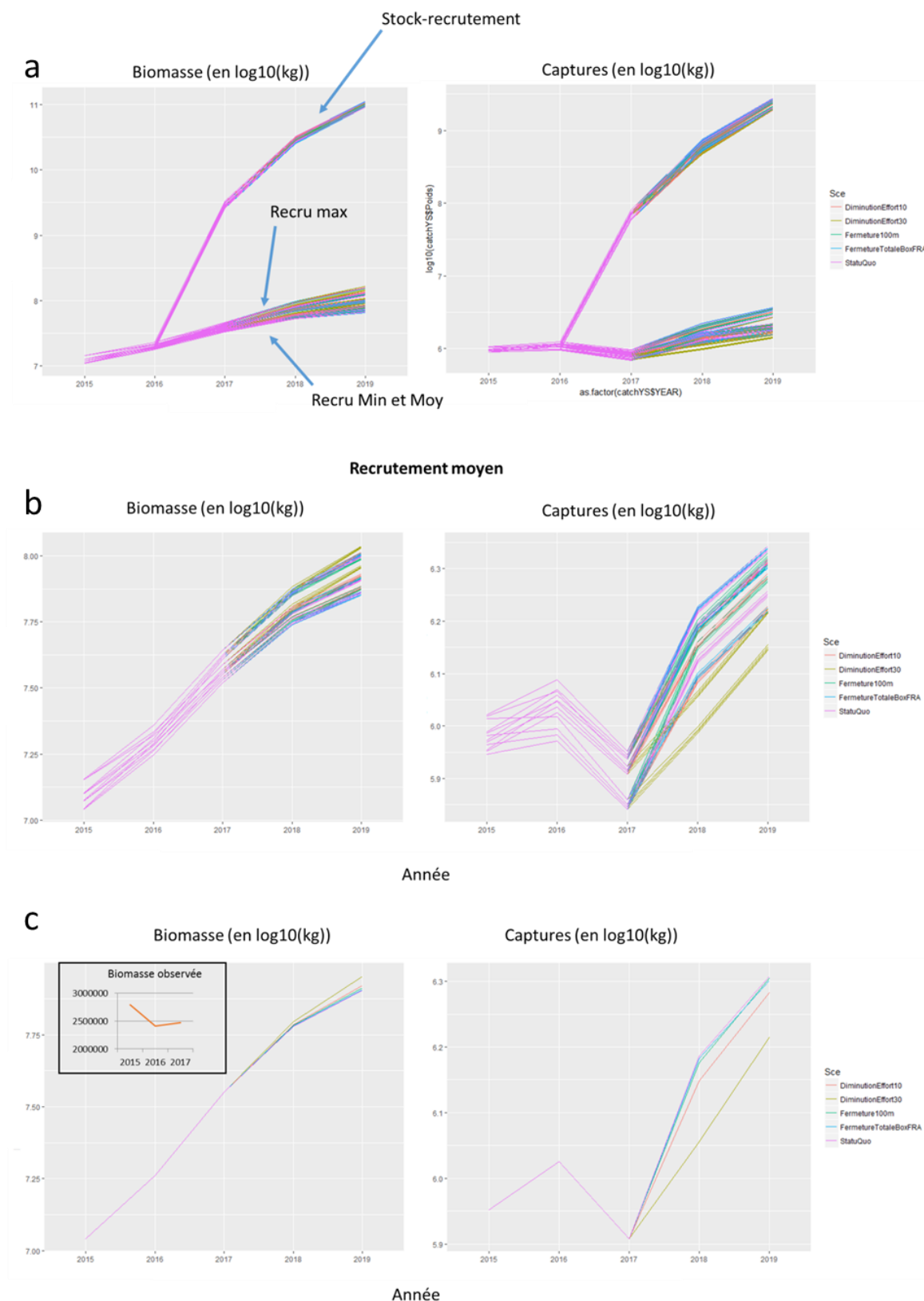


Figure 27 : Projection des scénarios de gestion avec les paramètres issus de la deuxième calibration tout en considérant l'incertitude pour les 3 paramètres testés (abondance, recrutement et mobilité des juvéniles). a : incertitude sur les 3 paramètres testés. b : incertitude sur l'abondance et la mobilité en considérant le recrutement moyen. c : sans incertitude (i.e : avec les paramètres par défaut pour l'abondance, le recrutement et la mobilité). Ces projections sont conditionnées aux nombres de bateaux par stratégie dans le modèle qui ne sont pas corrects.

Avec ce modèle calibré (non valide à cause des erreurs dans les nombres de bateaux par stratégie) les simulations induisent une augmentation de la biomasse et des captures de merlu, pour tous les scénarios considérés. Sur la période de calibration du modèle 2015 à 2017, l'incertitude sur la distribution du recrutement et les effectifs initiaux induit de petites variations sur la dynamique de la pêcherie (Figures 27 a et b).

Le recrutement est le paramètre le plus sensible et l'hypothèse d'une relation stock-recrutement induit une biomasse beaucoup plus importante que si on considère une valeur fixe de recrutement.

4. Discussion

Il n'est actuellement pas possible de poser un diagnostic sur l'effet des différents scénarios de gestion. Nous nous sommes aperçus à la fin de cette étude que le nombre de bateaux été mal paramétré dans le modèle suite à une erreur dans la préparation des données. La dynamique de la population très optimiste simulée par le modèle n'est pas réaliste et les nombres, trop faibles, de bateaux saisis dans la base expliquent cette anomalie.

Dès lors, nous avons fait le choix de présenter dans ce rapport, l'analyse de calibration préliminaire et les premiers résultats de simulation des scénarios résultant de ce premier modèle calibré (sans l'analyse d'incertitude). En effet la dynamique reproduite par ce modèle, bien que non parfaite est plus réaliste que celle résultant de la deuxième calibration. Les différences de paramétrage entre les deux modèles issus des deux calibrations sont : la mortalité naturelle des âges 0, les nombres de bateaux par flottille et les valeurs des 8 paramètres à calibrer. La mortalité naturelle des âges 0 a été modifiée pour améliorer les surestimations des captures de merlu d'âge 0. Les nombres de bateaux ont été modifiés pour reproduire la dynamique des entrées/sorties de flotte sur la période 2015-2017. Cependant une erreur dans l'analyse des données Sacrois combinée à une erreur de programmation en java pour mettre à jour ces valeurs pendant la simulation rend le paramétrage final du modèle faux. Si les résultats de simulation de ce dernier modèle ne sont pas exploitables pour évaluer les conséquences des scénarios de gestion, le premier modèle permet d'avoir une première évaluation des scénarios. Cette dernière ne permet cependant pas de faire des recommandations avisées car les performances du modèle ne sont pas suffisantes. De plus il serait nécessaire d'accompagner cette comparaison des scénarios de gestion d'une analyse d'incertitude pour déterminer la robustesse des conclusions (comme celle réalisée après la deuxième calibration).

Dans cette étude, trois sources d'incertitude considérées majeures ont été intégrées dans l'analyse d'incertitude. Cependant d'autres paramètres sont incertains et pourraient aussi être ajoutés dans cette analyse d'incertitude, comme par exemple la distribution du merlu ou la période de reproduction. Afin de définir des hypothèses alternatives pour ces paramètres, il pourrait être intéressant de réaliser des campagnes de marquage ou encore des campagnes d'échantillonnage tout au long de l'année

De plus, certains paramètres ont été fixés dans le modèle pour la période de simulation (après 2017) alors qu'ils sont susceptibles de varier entre les années, comme par exemple l'effort de pêche. La dynamique de l'effort de pêche est mal connue mais une amélioration serait de prendre en compte le contexte économique (dynamique de prix de vente des espèces et de prix du gasoil) et les captures historiques pour décrire les changements mensuels et interannuels de l'effort de pêche entre les métiers. Une autre source d'amélioration serait de redéfinir la fonction d'objectif en y ajoutant une métrique mesurant l'écart entre le taux de croissance de la dynamique de population du merlu simulée et celle estimée par le modèle d'évaluation. Cette nouvelle fonction d'objectif permettrait de contraindre l'estimation des huit paramètres à la fois à la dynamique de captures observées mais aussi à la dynamique de la biomasse estimée par le modèle d'évaluation.

Pour résumer, la démarche proposée (intégration des paramètres connus, calibration des paramètres inconnus, analyse des forces et faiblesses du modèle, analyse d'incertitude) doit permettre de produire une analyse des conséquences des scénarios de gestion et une évaluation de la robustesse de ces diagnostics. Tous les outils sont disponibles et opérationnels. Dès lors que les nombres de bateaux par stratégie seront actualisés avec les valeurs correctes, la démarche peut être déroulée sans difficulté.

Ainsi, il n'a pas été possible de corriger ce problème dans le temps imparti au projet Galion et de connaître l'impact des scénarios de gestion proposés. Néanmoins, ces travaux restent très pertinents, et cette correction sera implémentée au premier semestre 2019. Les résultats des simulations envisagées seront donc disponibles auprès des partenaires du projet Galion même si elles seront finalement générées en dehors de ce cadre.

5. Références Bibliographiques

Abella, A., Caddy, J.F. and Serena, F. 1998. Estimation of the parameters of the Caddy reciprocal M-at-age model for the construction of natural mortality vectors. In: Dynamique des populations marines. CIHEAM, Zaragoza, pp 191-200.

Caddy J.F. 2015. Criteria for sustainable fisheries on juveniles illustrated for Mediterranean hake: control the juvenile harvest, and safeguard spawning refugia to rebuild population fecundity. Sci. Mar. 79(3)

Doumenge F. 1966. Hydrologie, biologie et pêche en Méditerranée occidentale. Bull. Soc. Languedocienne Géogr. (3^e Serie), 2(4) Oct-Dec: 1-34.

FAO. 2017. Report of the SCSA Working Group on Stock Assessment of Demersal Species (WGSAD) Hake GSA-7. General Fisheries Commission for the Mediterranean. 47 p.

Jadaud Angélique, Metral Luisa (2017) MEDITS 2017 croise, RV L'Europe, <https://doi.org/10.17600/17005200>

Mahévas, S., and Pelletier, D. 2004. ISIS-Fish, a generic and spatially explicit simulation tool for evaluating the impact of management measures on fisheries dynamics. *Ecol. Model.* 171, 65–84.

Mellon-Duval C., de Pontual H., Metral L., et al. 2010. Growth of European hake (*Merlucciusmerluccius*) in the Gulf of Lions based on conventional tagging. *ICES J. Mar. Sci.* 67, 62-70.

Pelletier, D., Mahevas, S., Drouineau, H., Vermard, Y., Thebaud, O., Guyader, O., and Poussin, B. 2009. Evaluation of the bioeconomic sustainability of multi-species multi-fleet fisheries under a wide range of policy options using ISIS-Fish. *Ecol. Model.* 220, 1013–1033.

Système d'Informations Halieutiques (SIH), 2017. Embarquez un observateur Obsmer! août 2017.