

**Evolution de l'activité des flottilles ciblant le Lieu noir  
en Mer du Nord. Quels impacts sur les captures par unité  
d'effort de pêche de la flottille de *tuning* ?**



Photo d'un des navires de l'armement Euronor (Source : [www.euronor.fr](http://www.euronor.fr))

**Mémoire de Master « Mention Sciences de l'Univers, Environnement, Ecologie »  
« Spécialité Océanographie et Environnements Marins » Année 2**

**Robin Faillettaz**

*Encadré par :*

**Dr Youen Vermard, Dr Paul Marchal et Mr Franck Coppin**

*Au sein du laboratoire :*

IFREMER – Centre Manche Mer du Nord  
Département des Ressources Halieutiques  
150 Quai Gambetta, B.P. 699  
62321 Boulogne-sur-Mer

*Université Pierre et Marie Curie - Paris 6*

*Année universitaire 2011/2012*



# Remerciements

---

Tout d'abord, un très grand merci au Docteur Youen Vermard qui m'a encadré au cours de ce stage de master et qui par sa confiance, son entière disponibilité malgré ses nombreux déplacements et sa très grande compétence, m'a permis d'effectuer ce stage dans les meilleures conditions possibles.

Merci au directeur André Carpentier pour m'avoir accueilli au sein de son laboratoire de recherche pour mon stage de Master 2.

Je tiens également à remercier Paul Marchal pour toutes ses explications et ses précieux conseils, ainsi que Franck Coppin pour tout son travail préalable qui m'a beaucoup aidé pour réaliser ce stage.

Merci à vous, stagiaires, doctorants post-doctorants et cadres pour votre patience, votre aide et votre bonne humeur tout au long de mon stage.

Je remercie également Alain Biseau pour m'avoir fait confiance et m'avoir permis de réaliser un rêve que j'attendais depuis nombreuses années.

Enfin merci à toutes les autres personnes qui m'ont aidé et soutenu, notamment ma famille et mes amis.

Ma dernière pensée s'adresse à Adèle, qui m'a soutenu sans faille et m'a toujours poussé de l'avant.

## Table des matières

A. INTRODUCTION.....	6
B. CONTEXTE.....	7
I Distribution et identité des stocks de Lieu noir.....	7
II Historique de la pêche de Lieu noir de Mer du Nord Ouest Écosse .....	8
III Évaluation du stock par le CIEM.....	10
C. MATÉRIELS ET MÉTHODES .....	10
I Présentation et validation des données valorisées .....	10
I.1 Données disponibles.....	10
I.2 Correspondance des données Harmonie/FROMNORD en 2008 .....	11
II COST : représentativité de l'échantillonnage et structure de la population .....	12
II. 1 Présentation de l'outil COST.....	12
II.2 Analyses exploratoires, validation et consolidation des données .....	12
II.3 Clés taille/âge.....	15
II.4 Élévation aux débarquements totaux .....	15
II.5 Comparaison des élévations Obsmer/Arpège.....	16
III Explorations des changements opérés entre 2000 et 2011 .....	17
III.1 Aspect temporel .....	17
III.2 Aspect spatial.....	17
IV Dynamique des flottilles .....	18
IV.1 Sélection des variables explicatives du Delta-GLM.....	18
IV.2 Modélisation des CPUE.....	21
D. RESULTATS.....	24
I Comparaison des bases de données Harmonie – FROMNORD.....	24
II Représentativité de l'échantillonnage.....	25
II.1 Données aberrantes / Définition de la stratification.....	25
II.2 Comparaison échantillonnage / débarquements par strate.....	26
II.3 Comparaison des structures en taille et en âge issues de Obsmer et de Arpège .....	28

III Explorations des changements opérés entre 2000 et 2011 .....	29
III.1 Évolution temporelle .....	29
III.2 Distribution spatio-temporelle.....	30
III.3 Structure en taille des secteurs Est et Ouest .....	32
IV Dynamique de la flottille .....	33
IV.1 Définition des secteurs de pêche.....	33
IV.2 Sélection des navires ciblant le Lieu noir de flottille de <i>tuning</i> .....	34
IV.3 Sélection des marées ciblant le Lieu noir .....	35
IV.4. Influence de la calibration de la flottille sur les CPUE .....	37
IV.5. Effet « skipper ».....	37
V Modélisation des CPUE : Delta-GLM.....	38
V.1 Validité des modèles.....	38
V.2 Étude des effets modélisés.....	40
E. DISCUSSION .....	44
I Valorisation des données Obsmer pour le Lieu noir .....	44
II Évolution spatio-temporelle .....	46
III Calibration des CPUE de la flottille de <i>tuning</i> .....	48
F. CONCLUSION ET PERSPECTIVES .....	50
G. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	51
ANNEXES .....	55
GLOSSAIRE.....	57

## A. INTRODUCTION

La Mer du Nord, arborant une grande diversité de substrats, de températures ou de profondeurs, est historiquement très exploitée. Toutes les activités d'exploitation de ressources marines y sont représentées : hydrocarbures, éolien, hydrolien, extraction de granulats, transport maritime, tourisme et pêcheries très diverses (Yang, 1982 ; Callaway et al., 2002), qui représentent 2% des captures mondiales (FAO, 2011). Parmi les 218 stocks exploités dans la zone Nord-Est de l'Atlantique, le Lieu noir représente environ 5% du tonnage débarqué par les pays européens (CIEM, 2011b), et un quart des quotas est détenu par les Français. En plus de leur importance économique majeure, les pêcheries de Lieu noir sont un très bon exemple de pêche monospécifique (Enever, 2008 ; Enever et al., 2009). En effet, les taux de rejets et de captures accessoires sont parmi les plus faibles à l'échelle mondiale (Kelleher, 2005). L'exploitation de cette pêche au Rendement Maximum Durable (RMD, Johannesburg, 2002) et la certification MSC (*Marine Stewardship Council*) obtenue par les chalutiers boulonnais en faisaient le symbole des bénéfices apportés par la législation européenne en termes de gestion des stocks halieutiques. Ces pêcheries font parties des plus suivies et de celles documentant le mieux leurs captures. De plus, le programme français Obsmer mis en place en 2003 commence à se développer pour le Lieu noir. Aujourd'hui, des données sont disponibles pour ces pêcheries mais n'ont encore jamais été valorisées.

Jusqu'à récemment, le stock de Lieu noir de Mer du Nord Ouest Écosse n'avait soulevé de problème majeur. Après que la biomasse de reproducteurs (SSB) soit passée au-dessus de la limite de précaution (Bpa) en 1999, le stock était considéré en bon état écologique (CIEM, 2011c). Pour des raisons exceptionnelles, l'évaluation de 2010 n'avait pu être conduite et, contre toute attente, les prédictions de l'évaluation de stock de 2011 se sont nettement dégradées (CIEM 2011c). Des études préliminaires indiquaient des changements potentiels dans la distribution de l'effort de pêche ces dernières années, avec une concentration des flottilles allemandes (CIEM, 2011a). En parallèle, des enquêtes ont été réalisées auprès des professionnels français qui suggérèrent une augmentation de la compétition spatiale avec des fileyeurs anglo-espagnols au nord des Shetlands. Ce changement dans l'activité de pêche, dû à une contrainte d'exploitation plus qu'à une contrainte de disponibilité de l'espèce, pourrait biaiser les séries de données de captures et d'effort, qui sont à la base des sciences halieutiques (Beverton and Holt, 1954 ; Gulland, 1956). Ce mémoire vise à appréhender l'ampleur de ces récents changements et d'en identifier les causes.

Les Captures Par Unité d'Effort de pêche (CPUE) sont fréquemment utilisées comme indice d'abondance et servent notamment à la calibration des analyses de cohortes (VPA).

Cependant, contrairement aux CPUE issues de campagnes scientifiques qui suivent un plan d'échantillonnage prédéfini, les pêcheries industrielles se distribuent selon un échantillonnage non aléatoire, puisqu'elles ciblent une ou plusieurs espèces spécifiquement. D'autres problèmes sont liés à l'utilisation de CPUE comme indice d'abondance pour la calibration des modèles d'évaluation, notamment l'influence du changement de stratégie de pêche et les données d'effort mal renseignées (Biseau, 1998). En effet, les données de *log-books* français ne prennent généralement pas en compte le temps de recherche (Lorance et al., 2010), ce qui peut mener à une hyperstabilité des CPUE (Hilborn et Walters, 1992). Ce phénomène, récurrent en halieutique (Harley et al., 2001), s'observe généralement avec des espèces grégaires, lorsque les navires réussissent à localiser les bancs indépendamment de leur abondance (Ulltang, 1980). Ainsi, la relation entre l'abondance du stock et les CPUE n'est plus linéaire et tendra à rester stable jusqu'à l'effondrement du stock, comme ce fut le cas pour le Hareng norvégien (*Clupea harengus* Linné, 1758) ou la Morue du Labrador et de Nouvelle Écosse (Rose et Kulka 1999; Shelton, 2005).

Une approche fréquemment utilisée de modélisation statistique permet de standardiser les CPUE en se basant sur des modèles linéaires généralisés (Maunder et Punt, 2004 ; Venables et Dichmont, 2004 ; Bentley et al., 2012). Les modèles peuvent inclure des facteurs spatio-temporels uniquement (Laurec et Gall, 1975 ; Gavaris, 1980), des variables environnementales (Allen et Punsly ,1984 ; Gaertner et al., 1999), des données économiques (Kirkley et al., 1995 ; Squires et Kirkley, 1999), et plus récemment des données de puissance de pêche (Pascoe et Robinson, 1996 ; Millisher et al., 1999 ; Mahévas et al., 2004 ; Marchal et al., 2006).

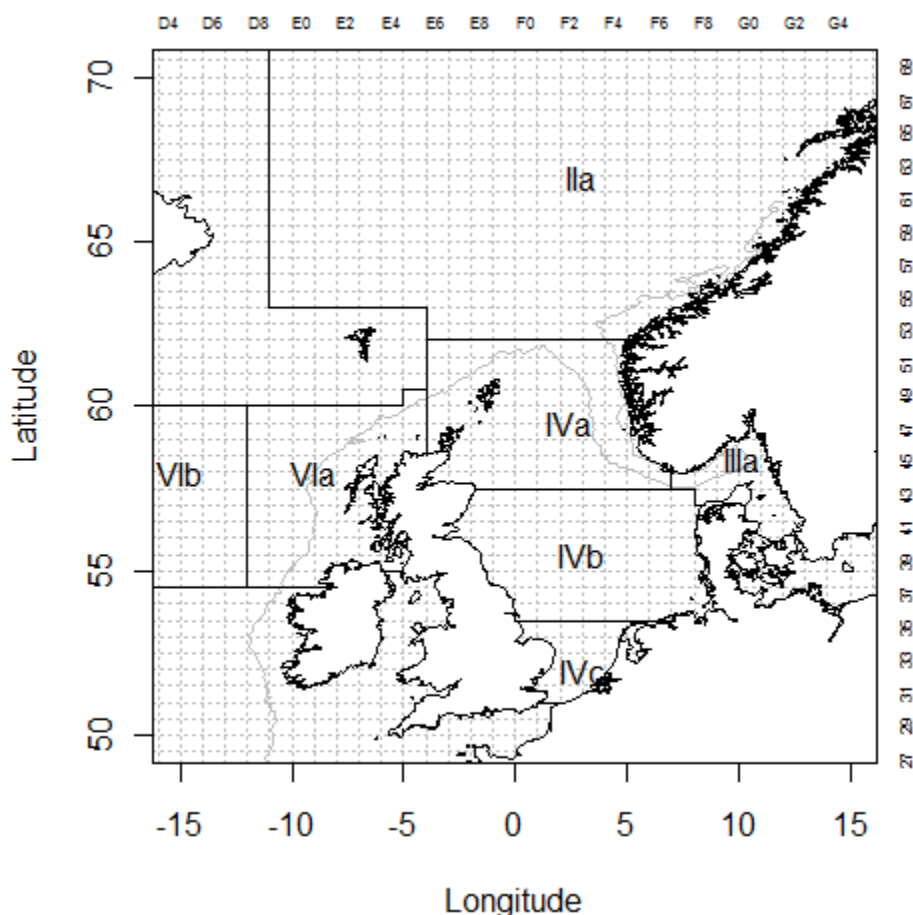
Ce mémoire de fin d'études se propose donc de répondre à quatre questions : (i) l'échantillonnage Obsmer est-il représentatif de l'exploitation du stock de Lieu noir et peut-il être valorisé pour celui-ci, (ii) quelle est l'ampleur des changements spatiaux observés à partir de 2008, (iii) les CPUE de la flottille de *tuning* française nécessitent-elles un recalibrage et (iiii) l'effondrement des CPUE observé en 2009 est-il uniquement lié à la dégradation du stock ou peut-il être lié à d'autres facteurs?

## **B. CONTEXTE**

### **I Distribution et identité des stocks de Lieu noir**

Le Lieu noir, *Pollachius virens* (Linné 1758), est le gadidé le plus exploité en Mer du Nord après la morue (CIEM, 2011b). Deux stocks de Lieu noir sont différenciés en Atlantique Nord-Est et sont évalués distinctement. Le stock « Arctique » se distribue au nord de 62°N, le

long des côtes norvégiennes (Olsen et al., 2009). Il est exploité principalement par les Norvégiens et ne sera pas considéré dans ce mémoire. Le stock « Mer du Nord Ouest Écosse » regroupe les zones CIEM IV, VI et IIIa (Figure 1). Cela correspond à toute la Mer du Nord jusqu'à la limite Sud du stock « Arctique », le Skagerrak et la zone Atlantique à l'Ouest de l'Écosse.



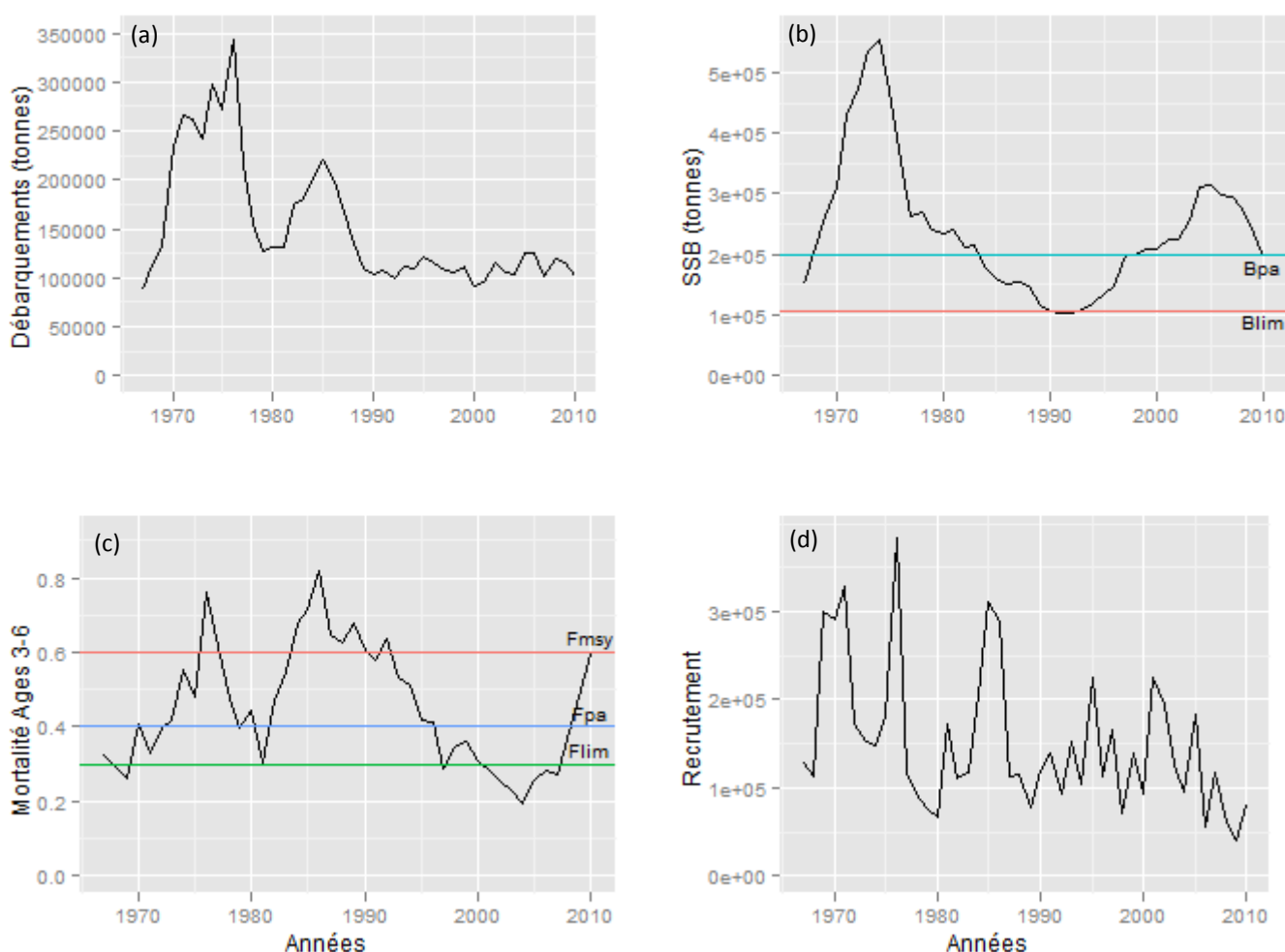
**Figure 1.** Carte des zones CIEM dans lesquelles le Lieu Noir est exploité. L'isobathe des 200m est représentée en gris. Le stock de Lieu noir de Mer du Nord Ouest Ecosse est situé principalement dans la zone IVa, mais également dans les zones IVb et VIa

## II Historique de la pêche de Lieu noir de Mer du Nord Ouest Écosse

La production moyenne française de Lieu noir au cours de la dernière décennie est d'environ 20 000 tonnes, pour environ 21 000 heures de pêche. Les flottilles de chalutiers de Boulogne-sur-Mer exploitent 80% du quota français, et représentent une dizaine de chalutiers hauturiers de 44 à 54 m. La flottille de pêche fraîche sert actuellement de référence française pour l'évaluation du stock par le CIEM.



Les tendances historiques du stock et de l'ensemble des pêcheries le ciblant sont présentées dans la Figure 2. Les débarquements déclarés ont augmenté de 1967 à 1976 jusqu'à atteindre 350 000 tonnes (Fig. 2a), ce qui correspond au plus important tonnage jamais débarqué. Il s'en est suivi une forte diminution des débarquements. Un second pic de débarquements atteignant 220 000 tonnes est observé entre les années 1981 et 1985. Depuis 1989, avec l'établissement de mesures de gestion, les débarquements se sont stabilisés autour de 100 000 tonnes annuelles. Au cours des dix dernières années, le Total Autorisé de Captures (TAC) a été supérieur aux débarquements d'environ 10 000 tonnes.



**Figure 2.** Historique des pêcheries de Lieu Noir pour le stock Mer du Nord – Ouest Ecosse entre 1967 et 2010 ; (a) Débarquements totaux ; (b) Biomasse de reproducteurs (SSB) ; (c) Mortalité par la pêche sur les âges 3 à 6 ; (d) recrutement en individus x 103 ; Bpa, Blim, Fmsy, Fpa et Flim correspondent aux seuils biologiques définis par le CIEM (Source des données : CIEM, 2011c)

La mortalité par la pêche a suivi les mêmes tendances sur la période 1967 – 1985, puis a diminué régulièrement jusqu'en 2009, passant en dessous de Flim en 1993 et en dessous de Fpa en 1997 (Fig. 2b). Cependant, depuis 2009, et alors que les débarquements sont restés relativement stables, elle a fortement augmenté jusqu'à repasser au-dessus de Flim. Cette

augmentation de la mortalité est une conséquence du faible recrutement de la classe d'âge 3, particulièrement faible depuis 2007 (Fig. 2c).

La SSB estimée a augmenté jusqu'en 1974, atteignant son maximum avec plus de 550 000 tonnes, puis a diminué jusqu'à passer en dessous de Blim en 1990 (Fig. 2d). Une seconde phase d'accroissement de la SSB s'est maintenue jusqu'en 2005 atteignant 279 000 tonnes, avant de décroître de nouveau en dessous de Bpa jusqu'à aujourd'hui.

### **III Évaluation du stock par le CIEM**

L'évaluation du stock « Mer du Nord Ouest Écosse » est effectuée par le CIEM, et se base sur un modèle structuré en âge, par la méthode d'*eXtended Survivor Analysis* (XSA) (Shepherd, 1999). Cette dernière s'appuie sur l'analyse des cohortes, ou VPA (*Virtual Population Analysis*) (Gulland, 1965). L'objectif de la VPA est d'estimer pour un stock donné, le nombre d'individus et la mortalité par pêche à chaque âge en suivant l'évolution de chaque cohorte individuellement. Cette analyse est notamment fondée sur les captures historiques par groupe d'âge, sur la mortalité naturelle, et sur les CPUE issues des flottilles et des campagnes scientifiques (Laurec et Shepherd, 1983). Pour le Lieu noir, les captures par âge sont estimées à partir des débarquements, des mensurations et des clés taille/âge.

## **C. MATÉRIELS ET MÉTHODES**

Jusqu'en 2011, le stock de Lieu noir de Mer du Nord Ouest-Écosse étant considéré en bonne santé et ne soulevant pas de questionnement majeur (CIEM, 2009 ; CIEM, 2010 ; Biseau, 2011), la problématique de la distribution de l'effort de pêche n'avait été abordée que brièvement (CIEM, 2011a). De ce fait, un des aspects principaux de ce travail a été l'exploration des données dans le but de décrire et d'expliquer les changements survenus entre les années 2000 et 2011. Cette description a été divisée en trois grandes parties, la première basée sur la représentativité des échantillonnages pour ce stock et l'élévation des nombres-aux-âges qui en découle, la seconde sur la description des changements d'exploitation par la flottille française et la troisième sur la modélisation des CPUE dans un but explicatif.

### **I Présentation et validation des données valorisées**

#### **I.1 Données disponibles**

Les données de captures, d'effort de pêche et de géoréférencement, qui sont issues des *log-books*, renseignent les informations des 22698 séquences de pêche effectuées entre 2000 et 2011. Une séquence de pêche correspond à une unique date de pêche et à un seul rectangle

statistique. Dans le cadre de ce travail, ces données proviennent de deux bases de données distinctes : de 2000 à 2008, la base de données nationale Harmonie (source DPMA, données déclaratives gérées par Ifremer - Système d'Informations Halieutiques), et de 2008 à 2011, celle du FROMNORD, l'Organisation de Pêcheurs qui regroupent 97 % des captures françaises de Lieu noir.

Les données biologiques sont issues de deux sources de données :

- Les mensurations et l'estimation de l'âge réalisées chaque trimestre sur des échantillons de criées. Ces données sont renseignées dans les bases de données biologiques BARGEO pour ce qui concerne les données biologiques individuelles (âge, taille et poids) et dans la base de données ARPEGE pour ce qui concerne les données de composition en taille des captures. Ces données ont été utilisées pour calculer les structures en poids et en âge, par année, à l'aide du package COST (COST, 2009).
- Le projet scientifique d'OBServations à la MER (Obsmer) est effectué chaque année depuis 2003. Ce projet associant la DPMA, IFREMER et les pêcheurs professionnels vise à former des observateurs qui, à bord des navires de pêche professionnels, recueillent des données représentatives de l'activité de pêche afin de permettre aux scientifiques d'améliorer leurs diagnostics sur l'état de la ressource. Les données Obsmer ont servi, entre autres, à obtenir la structure en taille de captures par opération de pêche et d'obtenir une estimation des rejets de chaque pêcherie.

En ce qui concerne le Lieu noir, les échantillonnages sous criée et Obsmer diffèrent par leur mode d'échantillonnage. L'un (échantillonnage sous criée) est réalisé par Catégorie Commerciale alors que le second (Obsmer) est de type « simultané ». C'est-à-dire qu'il échantillonne une fraction de la capture totale en considérant l'ensemble des espèces débarquées et rejetées. Ces deux sources de données et protocoles d'échantillonnage feront donc ensuite appel à des méthodes d'élévations différentes.

### [I.2 Correspondance des données Harmonie/FROMNORD en 2008](#)

Les données officielles de statistiques de pêche sont disponibles via HARMONIE sur l'ensemble de la série, cependant la qualité de celles-ci s'est détériorée en 2009. À partir de cette année, il a donc été nécessaire de faire appel aux données saisies directement par l'armement, afin de faire face aux déficiences des statistiques de pêche.

Le recouvrement de l'année 2008 par les deux bases de données a été utilisé afin de valider leur utilisation successive pour une même série temporelle. Les données, agrégées par mois, ont été comparées qualitativement sur des graphiques représentant les captures, l'effort, ainsi que la distribution spatiale de chacune.

## II COST : représentativité de l'échantillonnage et structure de la population

### II. 1 Présentation de l'outil COST

COST est le résultat d'un projet européen (COST, 2009) visant à regrouper dans un même objet et sous un même format toutes les données disponibles pour l'étude des stocks halieutiques. C'est un outil « libre accès » du logiciel R<sup>1</sup> qui se présente sous la forme de plusieurs packages. Il permet d'évaluer la précision des données biologiques ainsi que les estimations des paramètres collectés pour l'évaluation des stocks, notamment le volume de rejets, les structures en taille et en âge des captures (débarquements et rejets), et les paramètres biologiques (croissance, sexe, etc.).

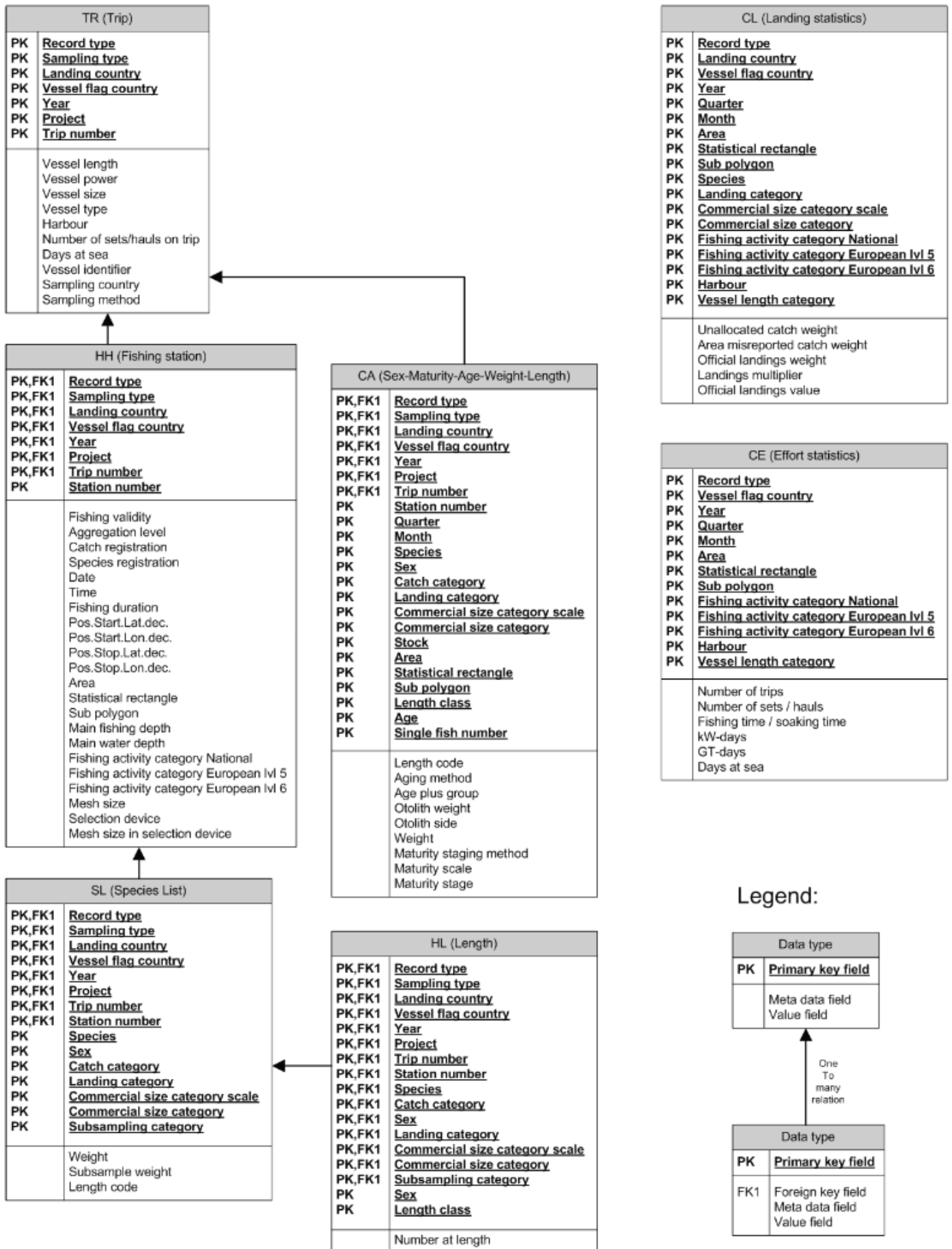
Dans ce travail, COST a été utilisé afin d'évaluer les rejets à la mer pour le Lieu noir. Il a également servi à étudier la représentativité de l'échantillonnage Obsmer sur cette espèce en 2011, notamment sa distribution spatiale, sa fréquence, et la correspondance entre les échantillonnages en mer et à terre. Dans un dernier temps, COST a été utilisé afin de créer les clés taille/âge et de calculer les nombres-aux-âges à partir de différents programmes d'échantillonnage.

### II.2 Analyses exploratoires, validation et consolidation des données

Les objets COST se divisent en 3 groupes, comportant chacun plusieurs tables reliées entre elles par une ou plusieurs variables. Chacune de ces tables renseigne des informations provenant de différentes bases de données (Fig. 3). Les objets CL et CE comportent respectivement les statistiques de débarquements et d'effort de pêche, et s'identifient grâce aux clés primaires qui permettent de les mettre en relation avec les autres objets COST. L'objet CS regroupe à la fois les données d'échantillonnage (observations à la mer et/ou échantillonnage sous criée) et les données biologiques. Les tables sont ordonnées telles que la table TR donne l'information relative à la marée (type d'échantillonnage, nom du navire échantillonné, dates de la marée, etc.), la table HH l'information à l'échelle de la station échantillonnée (date et lieu de l'opération de pêche, engin de pêche utilisé, etc.), la table SL les informations sur les espèces capturées lors des opérations de pêche et la table HL les informations sur les structures en taille de ces espèces. La table CA, provenant d'une autre base de données (BARGEO), est reliée au plus haut niveau d'agrégation par la table TR et fournit les informations nécessaires à l'élévation des structures en taille et en âge à l'ensemble de la population échantillonnée. Cette table contient les paramètres biologiques des individus prélevés (taille, âge, maturité, etc.).

---

<sup>1</sup> R Development Core Team (2008).



**Figure 3.** Structure des objets COST. Les tables CE et CL correspondent aux données de captures et d'effort des pêcheries. Les tables TR, HH, SL et HL correspondent aux données Obsmer, la table CA aux données biologiques. Les tables sont reliées entre-elles par les clés primaires (Primary keys) (Source : COST, 2009)

Une fois les données transformées en format COST, des analyses exploratoires permettent de définir la stratification adéquate pour l'espèce étudiée. Ces analyses consistent à déterminer quelle échelle est la plus pertinente pour la stratification temporelle, spatiale et technique. Les analyses principales effectuées sont présentées ci-après.

### II.2.1 Distribution spatiale

Des cartes de la distribution spatiale de l'effort de pêche, des captures et des différents échantillonnages en mer ont été effectuées pour chaque engin de pêche et chaque stratification temporelle. Ces cartes servent d'ébauche à la définition des strates spatiales et temporelles, et permettent d'explorer visuellement la pertinence entre les distributions de l'échantillonnage en mer et de l'effort de pêche.

### II.2.2 Données aberrantes

Un échantillon peut influencer fortement la structure de la population sous-jacente s'il possède une variance trop élevée. L'indicateur  $\Delta$ , développé par Vigneau et Mahevas (2007), permet de rendre plus objectif l'identification d'échantillons aberrants. La méthode, dérivée de la formule de la variance, permet de calculer la contribution à la variance de la structure en taille de chaque échantillon par rapport à l'ensemble des échantillons. Cette mesure fournit un indice approprié de l'homogénéité de l'échantillonnage, et permet d'identifier les échantillons les plus influents et potentiellement aberrants. Avec  $d$  le nombre d'individus dans l'échantillon,  $w$  le poids de l'échantillon,  $j$  l'indice de classe de taille,  $k$  l'indice de strate,  $v$  l'indice d'échantillon, l'indice  $\Delta$  s'obtient par la formule :

$$(1) \quad \Delta_v = \sum_j d_{jkv} - \left( \frac{\sum_k \sum_v d_{jkv}}{\sum_k \sum_v w_{kv}} w_{kv} \right)$$

La présence d'échantillons aberrants infirmée, l'homogénéité des captures commerciales et des rejets par marée a été considérée par représentation de graphiques en boîte à moustaches.

### II.2.3 Relativité de l'échantillonnage par rapport aux débarquements industriels

Une fois la stratification définie, la proportion de la variable de population totale (i.e. effort de pêche et tonnage débarqué) et la proportion de la population échantillonnée correspondant à chacun des niveaux de facteurs déterminés par la stratification (trimestre, zone CIEM, engin de pêche, etc.) ont été calculées à partir des objets CS, CL et CE. Ainsi, l'intensité d'échantillonnage est comparée aux captures sur le même jeu de strates, et permet d'identifier la présence de déficiences d'échantillonnage pour chaque niveau de stratification.

#### II.2.4 Validation et consolidation des données

Lorsque la stratification finale a été déterminée, les données sont exemptées de valeurs aberrantes, données ou variables mal renseignées. Elles suivent par la suite un processus de consolidation qui transforme les données dans un nouveau format et certifie que les données sont adaptées pour appliquer les méthodes d'élévation de la structure en taille et en âge. Au préalable, la corrélation entre le poids de captures rejetées et le temps de pêche ou le poids total de captures a été testée par un modèle de régression linéaire simple.

#### II.3 Clés taille/âge

Les clés taille/âge (ALK) doivent impérativement être exhaustives afin de procéder aux élévations des débarquements (Vigneau, 2006). Cependant, du fait du temps nécessaire et du coût de l'estimation des âges par lecture des otolithes, les échantillonnages sont limités à 3 prélèvements par trimestre. En conséquence, toutes les classes de taille ne sont pas observées dans les échantillons et génèrent des limitations à l'élévation de la structure en âge à la population totale. Deux possibilités s'offrent alors : regrouper des classes de tailles jusqu'à ne plus avoir de classe de taille pour lesquelles on n'aurait plus de lecture d'âge ou trouver un moyen de combler ces « trous » dans les clés taille/âge. L'inconvénient principal du regroupement de classe de taille est que les données manquantes ne sont pas distribuées de manière homogène et qu'un trop fort regroupement pourrait induire de forts biais si les changements de classe ne sont pas bien identifiés. Afin de contourner ce biais récurrent en halieutique, une analyse multinomiale de données d'âge aux tailles est appliquée pour la stratification définie. Cette méthode permet de modéliser les données absentes dans les ALK en se basant sur l'utilisation de modèles linéaires généralisés (GLM, cf. Section IV.2.). Les données structurées en âges sont testées par paires consécutives de classes d'âge, de façon à suivre une distribution binomiale. Par cette méthode, chaque observation est donc attribuée à l'une ou l'autre des classes d'âge. Ainsi, cette approche permet d'estimer la proportion aux âges pour les classes de tailles dont les données sont manquantes, et de compléter les ALK.

#### II.4 Élévation aux débarquements totaux

L'objectif des diverses méthodes et analyses décrites antérieurement est d'élever aux débarquements totaux les structures en taille puis en âge obtenues par échantillonnage, permettant ainsi une estimation des nombres-aux-âges totaux, soit le nombre d'individus de chaque âge ayant été capturé. Ces estimations seront ensuite utilisées dans le modèle d'évaluation de type VPA qui utilise les nombres aux âges afin de suivre les cohortes exploitées. COST propose deux méthodes d'estimation de la variance des paramètres : la méthode analytique, dérivée de la théorie d'échantillonnage (Cochran, 1977) et la méthode de

rééchantillonnage par *bootstrapping*, qui permet d'estimer la précision de la variance en s'appuyant sur ce même échantillon (Efron and Tibshirani, 1993). Dans le cas de cette étude, les intervalles de confiance qui en résultent étant similaires, seule la méthode analytique sera présentée par la suite.

L'unité d'échantillonnage primaire utilisé étant la marée, la secondaire étant l'opération de pêche, les nombres aux tailles sont calculés selon la méthode analytique ci-après, avec :  $l$  l'indice de taille ( $j = 1, \dots, L$ ),  $psu$  l'indice d'Unité d'Échantillonnage Primaire ( $psu = 1, \dots, PSU$ ),  $ssu$  l'indice d'Unité d'Échantillonnage Secondaire ( $ssu = 1, \dots, M_i$ ),  $M_i$  le nombre d'opérations de pêche par marée  $i$ ,  $m_i$  le numéro de l'opération de pêche échantillonnée,  $d$  le nombre de poissons échantillonnés,  $w_l$  le poids de la taille  $l$  dans l'échantillon et  $w_s$  le poids total échantillonné, l'estimation des nombres aux tailles par marée est :

$$(2) \quad d_{l,psu}^{\wedge} = \frac{M_i}{m_i} \sum_{ssu=1}^{m_i} \left( d_{l,ssu} \frac{w_{l,ssu}}{w_{s,ssu}} \right)$$

L'estimation des débarquements totaux en nombre  $\widehat{D}$  est

$$(3) \quad \widehat{D} = \frac{W}{\sum_{psu=1}^{PSU} w_{l,psu}} \sum_{psu=1}^{PSU} d_{l,psu}^{\wedge}$$

La variance de l'estimateur est celle donnée dans le rapport du WKSCMFD (CIEM, 2004)

$$(4) \quad Var(\widehat{D}_l) = Var\left(\frac{\sum_{psu=1}^{PSU} D_{l,psu}}{\sum_{psu=1}^{PSU} w_{psu}}\right)$$

Dans un second temps, l'élévation des nombres aux âges est effectuée selon la méthode issue du rapport du WKSCMFD (CIEM, 2004), avec :  $D$  l'estimateur des débarquements totaux (en nombre),  $D_i$  l'estimateur des débarquements totaux à l'âge  $i$  (en nombre),  $p_i$  l'estimateur de la proportion de l'âge  $i$  dans les débarquements,  $p_{i,l}$  l'estimateur de la proportion de l'âge  $i$  et la taille  $l$  dans les débarquements et  $D_{i,l}$  l'estimateur des débarquements de la  $j^{ème}$  classe de taille à l'âge  $i$ . L'estimateur des débarquements de l'âge  $i$  est alors

$$(5) \quad \widehat{D}_i = \widehat{D} \cdot \hat{p}_i$$

Avec  $N$  l'estimateur des nombres de poissons à la taille  $l$ , les débarquements totaux sont donc

$$(6) \quad \widehat{D} = \sum_l \widehat{N}_l$$

Et la proportion des débarquements de l'âge  $i$  telle que

$$(7) \quad \hat{p}_i = \frac{\sum_l \widehat{D}_{i,l} \cdot \hat{p}_{i,l}}{\sum_l \widehat{D}_l}$$

## II.5 Comparaison des élévations Obsmer/Arpège

Actuellement, les données françaises fournies au CIEM pour l'évaluation du stock de Mer du Nord Ouest-Écosse sont élevées à l'aide du logiciel Arpège, et à partir des données de ventes de la criée de Boulogne-sur-Mer. Les données utilisées sont des données d'échantillonnages et de ventes par Catégories Commerciales (poissons triés par classe de taille



à bord du navire). En se basant sur les méthodes d'élévation de l'outil COST et les données Obsmer, une comparaison a été effectuée entre les structures de nombres-aux-âges des débarquements totaux, élevées à partir de méthodes et de données de sources différentes.

### III Explorations des changements opérés entre 2000 et 2011

#### III.1 Aspect temporel

L'analyse des données de captures et d'effort de pêche est à la base de l'étude des pêcheries (Shepherd, 1983 ; Hilborn et Walters, 1992). La description des changements survenus entre les années 2000 et 2011 a été effectuée par des analyses exploratoires sur ces données. Un filtrage préalable a été appliqué sur les données de chaque année séparément, visant à traiter les données *log-books* non ou mal renseignées. L'évolution temporelle des débarquements et de l'effort de pêche déclarés a été décrite qualitativement, par agrégation des données par année et par trimestre. Pour chaque opération de pêche, les CPUE ont été calculées par l'équation (9), avec  $i$  l'identifiant de la marée et  $j$  l'identifiant de l'opération de pêche.

$$(9) \quad CPUE_{ij} = \frac{C_{ij}}{E_{ij}}$$

Le seuil de significativité de la  $p$ -value a été fixé à 0,05 pour l'ensemble des analyses de ce mémoire. La présence de tendance dans les séries temporelles a été testée avec le test non paramétrique de corrélation des rangs de Spearman entre les observations et le temps (Spearman, 1904). La corrélation entre CPUE et indice de recrutement NORACU a été testée à l'aide du test de rangs de Wilcoxon, équivalent au test de Mann-Whitney (Mann et Whitney, 1947). Enfin, les pentes des tendances observées avant et après calibration (cf. Section IV.1) ont été comparées par analyse de covariance (Ancova) (Breslow, 1974).

#### III.2 Aspect spatial

Pour la représentation de la distribution de l'effort de pêche, la strate spatiale disponible la plus précise a été sélectionnée. Elle correspond aux rectangles statistiques définis par le CIEM (0,5° de latitude par 1° de longitude). Ces rectangles ont également servi à calculer le barycentre des captures et de l'effort de pêche pour différentes strates temporelles, par pondération du centre du rectangle par la somme des captures ou de l'effort.

Dans le but de tester formellement les différences entre rectangles statistiques et années, des Analyses Factorielles des Correspondances (AFC) ont été appliquées sur les captures annuelles agrégées par rectangle statistique selon l'équation (10).

$$(10) \quad P_{r,n,a} = \frac{C_{r,n,a}}{\sum_{r \in R} C_{r,n,a}}$$

où  $C$  représente les captures dans le rectangle statistique  $r$ , pour le navire  $n$  durant l'année  $a$ . Elles ont notamment permis d'identifier deux grands secteurs d'exploitation en Mer du Nord : le secteur Ouest et le secteur Est. Les données spécifiques de chaque secteur ont été utilisées afin de comparer les structures en tailles et donc, en une certaine mesure, en âge. Les données Obsmer échantillonnées dans chacun des deux secteurs ont permis d'obtenir une structure en taille précise, mais pour un nombre d'échantillons réduit, 10 à l'Est et 23 à l'Ouest. Enfin, afin de consolider ces observations, les données de ventes en criées ont également été valorisées. Ces données sont agrégées en catégories commerciales correspondant à différentes classes de taille. Leur intérêt reposant sur leur abondance, elles sont cependant moins précises que les données Obsmer.

#### **IV Dynamique des flottilles**

Les CPUE de campagnes scientifiques ainsi que les CPUE commerciales sont utilisées pour la calibration des modèles d'évaluation, tels que les XSA (Shepherd, 1999). Les CPUE de campagnes scientifiques sont standardisées par le plan d'échantillonnage, mais peuvent ne pas être représentatives de sa distribution pour les stocks à vaste distribution spatiale tels que le Lieu noir. Cependant, elles ne sont collectées qu'à une seule période de l'année, pendant la campagne scientifique, et leur acquisition est très coûteuse, d'où l'importance des CPUE commerciales. En effet, les données issues des pêcheries industrielles sont à la fois très abondantes et, avec l'hypothèse que la distribution spatiale des flottilles dépend de la distribution de l'espèce ciblée, s'étendent sur l'intégralité du stock. Cependant, ces CPUE ne reflètent pas uniquement les variations spatio-temporelles du stock, mais également la dynamique des flottilles qui l'exploitent (Maunder et al., 2006 ; Kendrick et Bentley, 2010). En effet, l'activité des navires dépend directement de la stratégie opérée par les skippers (Marchal et al., 2006) ou par l'armement en fonction du contexte économique et des niveaux de TACs et Quotas disponibles. Par exemple, un navire pourra chercher à suivre le stock tout au long de l'année, ou bien à le cibler uniquement lors des périodes d'agrégations reproductives. Grâce à l'utilisation de modèles linéaires généralisés, il est possible de standardiser les CPUE commerciales *a posteriori*, et d'en extraire les informations correspondant uniquement aux variations de l'abondance d'une espèce.

##### **IV.1 Sélection des variables explicatives du Delta-GLM**

Afin d'expliquer les fluctuations des CPUE, diverses variables ont été sélectionnées en se basant sur leur intérêt en termes de dynamique de la flottille. Ce choix se justifie par l'hypothèse d'un déplacement forcé par une compétition spatiale trop importante au nord des Shetlands. Bien que leur pouvoir explicatif ait été prouvé (Gaertner et al., 1999 ; Hart et al., 2010), aucune

variable d'intérêt biologique n'a été utilisée dans le modèle (température, abondance de zooplancton) car peu sont directement disponibles pour la zone d'étude.

#### IV.1.1 Secteurs de pêche

Des analyses multivariées ont été utilisées pour définir des secteurs. Dans un premier temps, une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été effectuée sur les proportions de débarquements de chaque espèce par rectangle statistique sur la période de 2000 à 2011. En parallèle, une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH), appliquée sur la même matrice, a permis de grouper les rectangles en fonction de leur profil de captures. Sur le diagramme de double projection de l'ACP, les rectangles statistiques sont ensuite colorés en fonction de la partition dans laquelle ils ont été groupés. Cela permet d'interpréter rigoureusement les résultats de l'ACP en relation avec le cercle des corrélations, et d'attribuer à chaque rectangle, une ou un groupe d'espèces caractéristiques. Ainsi, des secteurs ont été définis en regroupant les rectangles ayant des profils de captures similaires.

#### IV.1.2 Navires ciblant

Diverses approches ont été proposées pour l'étude des pêcheries basée sur les données de captures et d'effort, cherchant à filtrer les CPUE pour ne considérer que celles représentatives (Biseau et Gondeaux, 1988 ; Pelletier et Ferraris, 1999). Le filtre utilisé se base sur l'espèce ciblée par un navire au cours de l'année. La typologie annuelle, pour chaque chalutier hauturier de la flottille de pêche fraîche de Boulogne-sur-Mer ayant débarqué du Lieu Noir au cours de l'année  $y$ , a été obtenue par l'analyse des poids de chaque espèce débarquée, selon la méthode utilisée par Biseau et Gondeaux (1988) et Holley et Marchal (2004). La proportion du poids total  $P$  d'une espèce  $e$  débarqué par le navire  $n$  pour l'année  $a$  est:

$$(11) \quad P_{s,v,y} = \frac{C_{e,n,a}}{\sum_{s=1}^S C_{e,n,a}}$$

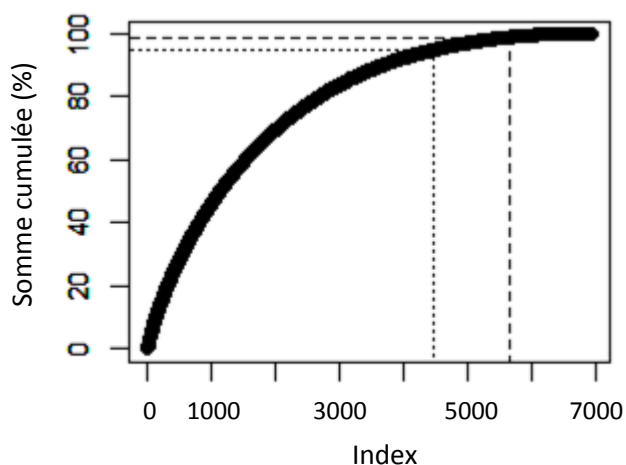
Des ACP ont été appliquées à chaque matrice annuelle obtenue, dans le but d'identifier les principales sources de variations (Blanc et al., 1976). Les données ont été centrées mais non réduites, afin de ne pas donner un poids trop important aux espèces peu exploitées. Les CAH permettant de regrouper les navires ayant les spectres de captures les plus similaires ont été exécutées *a posteriori* sur les navires, afin de les grouper et définir, pour chaque année, ceux ciblant le Lieu noir. La distance euclidienne a été sélectionnée puisqu'elle est appropriée pour le traitement de données de proportions. Les CAH ont été effectuées sur la méthode d'agrégation de Ward adaptée dans le cas d'un espace euclidien.

#### IV.1.3 Marées ciblant

Une autre approche pour la calibration des CPUE a été proposée par Biseau (1998). Elle consiste à ne les calculer que sur les marées où l'espèce était ciblée, en étudiant la composition des débarquements de chaque marée. Cette nouvelle calibration a été appliquée aux résultats précédents, en considérant les données de proportion de débarquements par espèce et par marée, uniquement pour les navires définis comme ciblant le Lieu noir. Une ACP et une CAH ont été appliquées à l'ensemble des marées réalisées entre 2000 et 2011. Chaque marée a ainsi été attribuée à un groupe, caractérisé par un profil de débarquements.

#### IV.1.4 Données de présence/absence

L'étude du jeu de données a fait ressortir un nombre important de captures faibles, voire nulles. Sachant que les navires considérés mesurent tous plus de 40m, ils ont une capacité de pêche très importante. Cela contraste donc avec les nombreuses séquences de pêche apparaissant avec de telles captures, et qui ne peuvent être rentables pour ces navires. Il apparaît alors important de déterminer si ces faibles captures sont dues à une faible abondance de l'espèce ciblée ou à des captures accessoires de Lieu noir alors que d'autres espèces étaient ciblées. Si la première explication est confirmée, alors la présence de « faibles » CPUE est informative et elles ne peuvent être supprimées du jeu de données.



**Figure 4.** Somme cumulée des captures de Lieu noir sur la période 2000-2011 ; les lignes en pointillés représentent le seuil de 95% ; les lignes en tirets le seuil de 99%

Le seuil de « faibles captures » a été défini à partir de la Figure 4, qui présente la somme cumulée des captures entre 2000 et 2011. Au seuil de 99%, 20% des données sont traitées comme des « absences », tandis qu'au seuil de 95%, 37% des données le sont (seuils de captures à 1546 kilos et 3511 kilos respectivement). Des captures accessoires de 3,5 tonnes semblent assez peu probables, ainsi, le seuil de 99% a été retenu pour la suite de ce travail.

#### IV.1.5 Effet skipper

La répartition des faibles captures est relativement homogène au sein des navires ciblant le Lieu noir. Il paraissait donc intéressant de tester la présence d'une relation entre ces faibles captures et la stratégie de pêche du skipper. Pour ce faire, chaque séquence de pêche des marées ciblant le Lieu noir a été identifiée selon sa date en fonction de sa place dans la marée. Elle est dite « initiale » s'il s'agissait de la première séquence de pêche, « finale » s'il s'agissait de la dernière, et « intermédiaire » autrement. Ensuite, le rectangle statistique de chaque séquence a été comparé au rectangle de la séquence antérieure. Ainsi, le choix du skipper a été modélisé par sa décision de changer ou non de zone pêche à la suite de séquences de pêche avec de faibles captures et a permis de déterminer l'influence de l'arrivée sur une nouvelle zone de pêche.

#### IV.1.6 Nombre de navires ciblant le Lieu noir

La coopération entre les navires ciblant une même espèce peut augmenter leur capacité à localiser les zones de forte abondance et ainsi améliorer les CPUE de chaque navire (Hilborn et Walters, 1992). Dans le but de tester cet effet, le nombre de navires ciblant le Lieu noir par année a été ajouté au modèle comme variable explicative.

#### IV.1.7 Ancienneté des navires

Aucun navire n'a ciblé le Lieu noir sur l'ensemble de la série de données. Ce facteur ne serait donc pas pertinent, car aucun navire ne peut servir de référence sur la période de 2000 à 2011. Plusieurs navires ont été construits pour exploiter les espèces profondes, mais ont ciblé le Lieu noir à partir de 2004. Ces navires pourraient donc être plus performants que les anciens, notamment en termes de puissance de pêche. Ainsi, le point commun entre les navires sur la période considérée est l'ancienneté du navire. En effet, les navires construits pour l'exploitation des gadidés sont antérieurs à 2000, et ceux construits pour les espèces profondes y sont postérieurs. Toutefois, ces derniers ont été inclus dans la flottille de *tuning* dès leur entrée en flotte en 2002, bien qu'ils ne ciblaient pas le Lieu noir. Cette variable est donc une manière dérivée de prendre en compte une partie de la variabilité due à la différence entre les navires.

### IV.2 Modélisation des CPUE

#### IV.2.1 Le choix du Delta-GLM

La fréquente utilisation des Modèles Linéaires Généralisés pour l'étude des pêcheries (Bentley et al., 2012 ; Maunder et Punt, 2004 ; Venables et Dichmont, 2004) provient du fait qu'ils permettent de ne pas se restreindre à certaines conditions, telles que la normalité des résidus, condition rarement observée dans le cadre de l'analyse de données halieutiques. Tout comme les modèles linéaires, ils consistent à estimer une variable de réponse à partir d'une ou

plusieurs variables explicatives. Dans le cas de ce travail, les GLM visent à discriminer les effets des différentes variables, afin d'en extraire l'effet « année », qui correspond aux CPUE standardisées par la suppression des effets tiers, tels que la saison, l'espèce ciblée, etc.

Cependant, la présence de faibles CPUE, assimilées dans ce mémoire à des « absences », impose une modélisation particulière de ces valeurs. Brotons et al. (2004) ont montré qu'un modèle utilisant les données de présence et d'absence fournit de meilleures prédictions qu'un modèle basé sur les données de présences uniquement. Les GLM du type Delta sont les plus adaptés dans un tel cas de figure, puisqu'ils permettent de modéliser séparément les données de présence-absence et les données de présence uniquement, puis de recombinaison les prédictions des deux sous-modèles (Le Pape et al., 2003 ; Laurans, 2005 ; Meissa et al., 2008). Les années 2000 et 2001 n'ont pas été incluses dans le modèle à cause du nombre important de données mal renseignées ces années-là et du fait que les navires « récents » sont entrés en flotte en 2002.

#### IV.2.2 Sélection des modèles

Les modèles retenus ont été sélectionnés dans un premier temps par inspection visuelle des résidus, afin de vérifier leur distribution et infirmer la présence de tendance. La distribution des résidus a également été testée à l'aide du test de normalité de Shapiro. Les variables ont été sélectionnées en se basant sur le critère d'information d'Akaike et l'analyse de variance (Anova), qui ont servi à tester la significativité des termes sélectionnés. Ainsi, seules les variables ayant un effet significatif, principal ou par interaction, et expliquant plus de 0,5% de la variance ont été retenues. Bien qu'elle soit significative, la présence de colinéarité entre les modalités des variables « navire » et « rectangle statistique » n'a pas permis de les intégrer dans le modèle. La présence d'autocorrélation entre les résidus a été testée avec le test de Durbin-Watson (Durbin et Watson, 1950). Des cross-validations ont permis d'estimer l'erreur sur les prédictions des deux sous-modèles. Enfin, le  $R^2$  ajusté a été calculé à titre indicatif.

#### IV.2.3 Premier sous-modèle : Modèle présence-absence

En dessous du seuil 99%, les données de faibles CPUE sont assimilées à des absences. Ainsi, pour chaque séquence de pêche, il est possible de coder les données en binaire, 0 pour les absences et 1 pour les présences. Le premier sous-modèle permet de calculer la probabilité de présence de CPUE « non nulles » en se basant sur une loi de distribution binomiale et la fonction *Logit* comme fonction de lien. Le premier sous-modèle est de la forme :

$$(12) \quad \text{logit}(CPUE^{0/1}) = \text{Année}_\alpha + \text{Ciblant}_\beta + \text{Secteur}_\gamma + \text{Ancienneté}_\rho + \\ \text{Trimestre}_\theta + \text{Décision}_\delta$$

avec  $\text{logit}\left(\widehat{CPUE}_{\alpha}^0\right)$  l'espérance de la probabilité de présence de l'espèce pour les différentes variables explicatives. Les termes  $Année_{\alpha}$ ,  $Ciblant_{\beta}$ ,  $Secteur_{\gamma}$ ,  $Ancienneté_{\rho}$ ,  $Trimestre_{\theta}$  et  $Décision_{\delta}$  représentent les effets « Année », « Marée ciblant », « Secteur de pêche », « Ancienneté du navire », « Trimestre » et « Effet skipper » tel que présentés dans la section IV.1. Les variables explicatives étant exclusivement catégorielles, les indices  $\alpha, \beta, \gamma, \rho, \delta$  et  $\theta$  correspondent aux différents niveaux de chacune de ces variables. La probabilité du modèle étant obtenue dans le référentiel *Logit*, le logiciel R permet d'effectuer automatiquement la transformation inverse par l'équation (13), afin de prédire la probabilité de présence dans le référentiel initial.

$$(13) \quad \widehat{P}_{c,a,s}^{>0} = \frac{e^{\widehat{Z}_{c,a,s}}}{1 + e^{\widehat{Z}_{c,a,s}}}$$

Dans un dernier temps, les données probabilités prédites ont été transformées en données binaires. Des courbes ROC (*Receiver Operating Characteristics*) ont été utilisées pour déterminer le seuil de probabilité correspondant à une bonne prédiction des faibles captures, au-dessous duquel on attribuera un 0 dans la prédiction des présences-absences.

#### IV.2.4 Second sous-modèle : Modèle présence uniquement

Le second sous-modèle permet d'estimer les CPUE en fonction de différentes variables explicatives à partir des données de présence uniquement. Les données de CPUE ont été préalablement transformées en *log* afin d'homogénéiser la variance et tenir compte de la nature multiplicative des effets. Après transformation, la distribution des CPUE suit une loi normale, et la fonction de lien *identité* a donc été utilisée. Le sous-modèle gaussien retenu pour expliquer les CPUE en cas de présence est, avec  $\varepsilon_{\alpha,\beta,\gamma,\rho,\theta,\delta}$  la variance résiduelle du modèle

$$(15) \quad \log(CPUE_{\alpha,\beta,\gamma,\rho,\theta,\delta}^+) = Année_{\alpha} + Ciblant_{\beta} + Secteur_{\gamma} + Ancienneté_{\rho} + Trimestre_{\theta} + Choix_{skipper}_{\delta} + Secteur_{\gamma}:Trimestre_{\theta} + \varepsilon_{\alpha,\beta,\gamma,\rho,\theta,\delta}$$

Le retour au référentiel initial a été effectué par la transformation logarithme inverse (16) en suivant la correction de Laurent, qui permet d'obtenir des valeurs non biaisées de l'estimation de la variable de réponse.

$$(16) \quad \widehat{CPUE}_{\alpha,c,s}^+ = e^{\widehat{U}_{\alpha,c,s}^+} \cdot e^{1/2 \cdot \sigma^2}$$

#### IV.2.5. Couplage des deux modèles

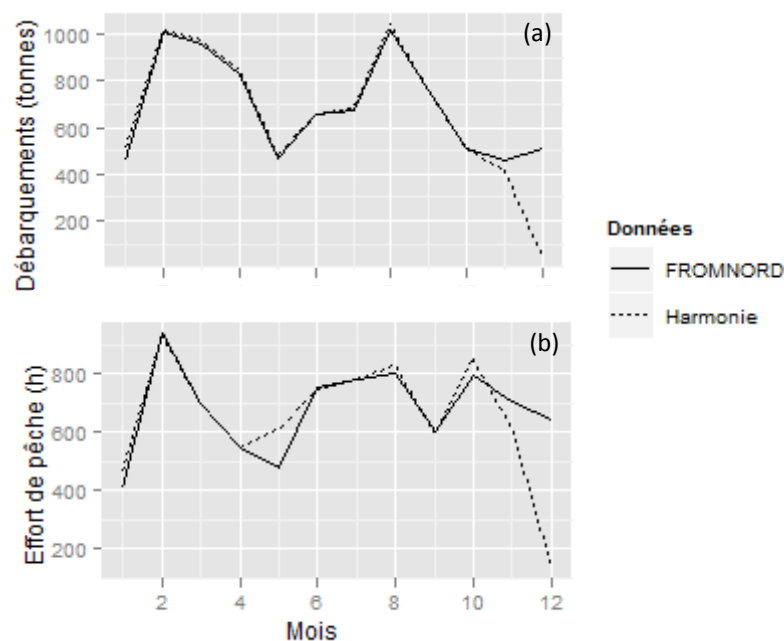
Les valeurs prédites par le Delta-GLM sont les probabilités de présence du premier sous-modèle multiplié par les prédictions du second sous-modèle. L'objectif du modèle n'étant pas prédictif mais explicatif, les CPUE prédites par le modèle final (17) sont calculées sur les mêmes combinaisons de modalités que les deux modèles précédents.

$$(17) \quad \widehat{CPUE}_{\alpha,\beta,\gamma,\rho,\theta,\delta} = \widehat{CPUE}_{\alpha,\beta,\gamma,\rho,\theta,\delta}^+ \cdot \hat{P}_{\alpha,\beta,\gamma,\rho,\theta,\delta}^{>0}$$

## D. RESULTATS

### I Comparaison des bases de données Harmonie – FROMNORD

La comparaison des données issues des bases de données Harmonie et du FROMNORD sur l'année 2008 n'a pas fait apparaître de différence majeure. Les débarquements correspondent avec une bonne précision de janvier à novembre, mais deviennent quasiment nuls pour le mois de décembre (Fig. 5a). Sur cette même période, les données d'effort de pêche issues de Harmonie sont très similaires à celles issues du FROMNORD, et s'effondrent également à la fin de l'année (Fig. 5b). Le changement du système de saisie des statistiques de pêche françaises fin 2008 et 2009 ne permet plus d'utiliser les données Harmonie après 2008 pour le Lieu noir. Cependant, la bonne correspondance entre les données des deux bases sur les trois premiers trimestres justifie l'utilisation successive de ces deux bases de données pour une même série temporelle.



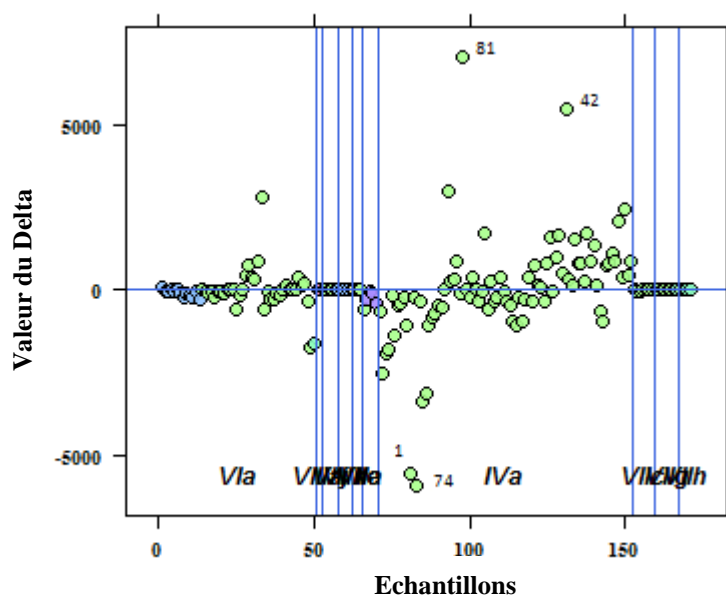
**Figure 5.** Comparaison des données de débarquements (a) et d'effort de pêche (b) des bases de données Harmonie et du FROMNORD pour l'année 2008 ; les données sont agrégées par mois



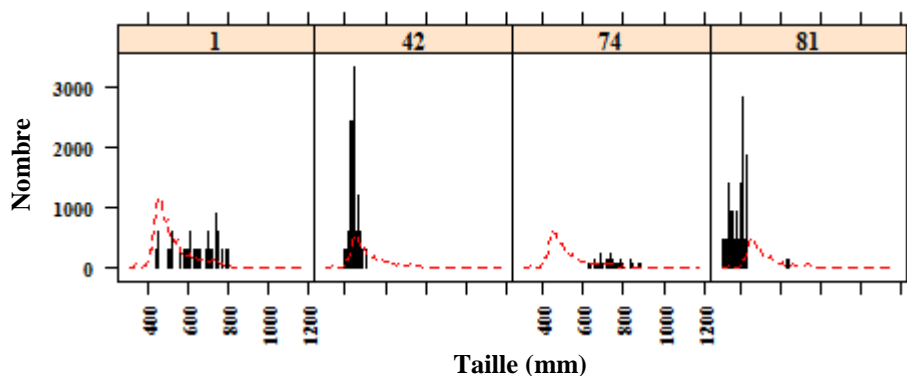
## II Représentativité de l'échantillonnage

### II.1 Données aberrantes / Définition de la stratification

Les données potentiellement aberrantes ont été identifiées par la méthode du Delta, en sélectionnant les échantillons possédant les valeurs de Delta les plus élevées (Fig. 6). Les structures en taille des échantillons correspondants sont présentées Figure 7. Les échantillons 1 et 74 sont caractérisés par des individus de taille supérieure à la moyenne, alors que les échantillons 81 et 42 sont dominés par des individus de taille plus petite. Les annexes 1 et 2 permettent d'observer l'homogénéité des captures et des rejets pour chaque marée échantillonnée. Les individus qui ont été rejetés, lors de 7 marées sur 44 et pour un maximum de 500 kg, ne représentent que 0,02% du poids capturé. Pour les marées qui ont débarqué du Lieu noir en quantité significative, les débarquements oscillent entre 5 et 25 tonnes. Aucune corrélation n'a été trouvée entre le poids de rejet et l'effort ou le poids débarqué ( $p$ -value  $>0,05$ ).



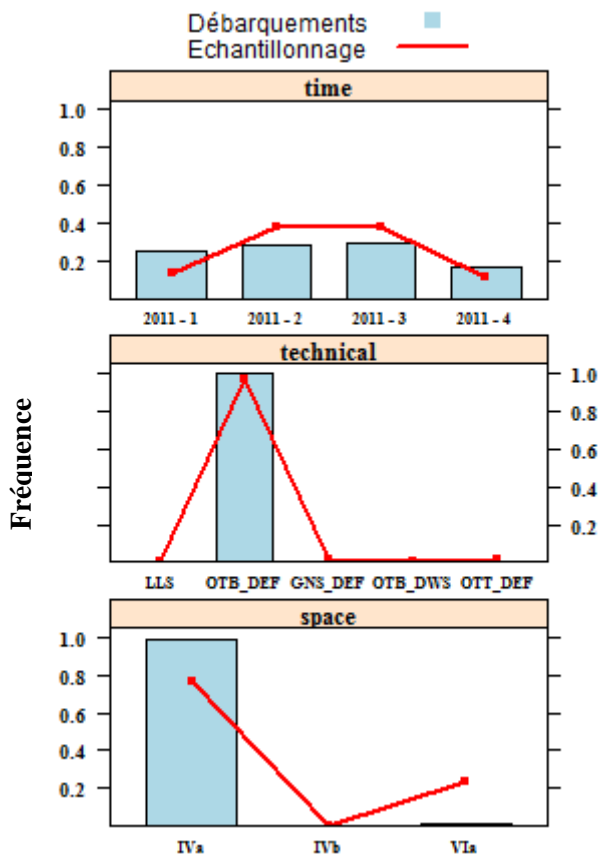
**Figure 6.** Graphique de l'indicateur  $\Delta$  des échantillons Obsmer pour le Lieu noir ; les individus possédant les  $\Delta$  les plus élevés sont numérotés ; les points verts correspondent au chalut à Grande Ouverture Verticale ; les zones CIEM sont indiquées en bas du graphique



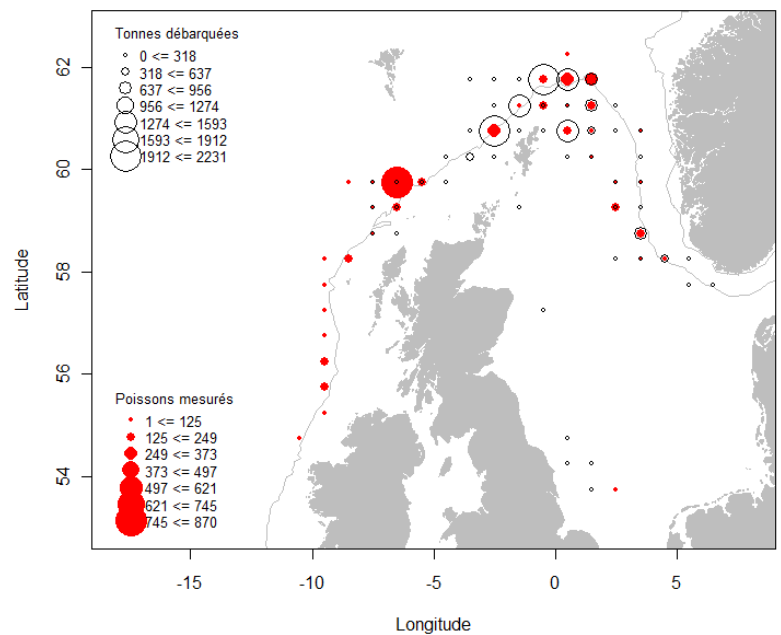
**Figure 7.** Structure en taille des échantillons Obsmer possédant les indicateurs  $\Delta$  les plus élevés

## II.2 Comparaison échantillonnage / débarquements par strate

Les proportions relatives de chaque niveau de strate par rapport à l'ensemble des niveaux de chaque strate (temporelle, technique et spatiale) sont présentées Figure 8. Pour la strate temporelle, le trimestre 1 est sous-échantillonné, avec 13% des échantillonnages contre 24% des débarquements, alors que les trimestres 2 et 3 sont légèrement suréchantillonnés, avec 38% et 38% contre 30 et 31 % des débarquements respectivement. Le trimestre 4 est proportionnellement le mieux échantillonné, avec 11% contre 15% des débarquements. De même, la strate technique est bien échantillonnée, puisque 100% des captures sont réalisées au chalut de fond (OTB\_DEF), contre 96% des échantillonnages. Enfin, la strate spatiale est correctement échantillonnée, malgré un sur-échantillonnage de 24% de la zone VIa qui ne compte que 2% des débarquements.



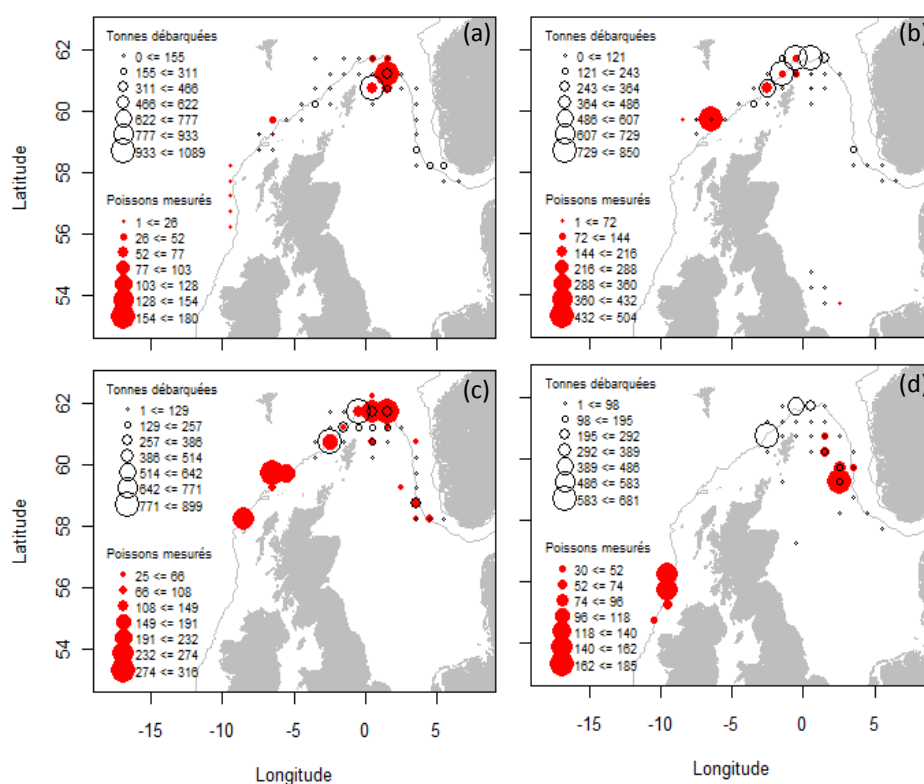
**Figure 8.** Fréquences relatives de l'échantillonnage et des débarquements pour les niveaux de chaque strate temporelle (*time*), technique (*technical*) et spatiale (*space*)



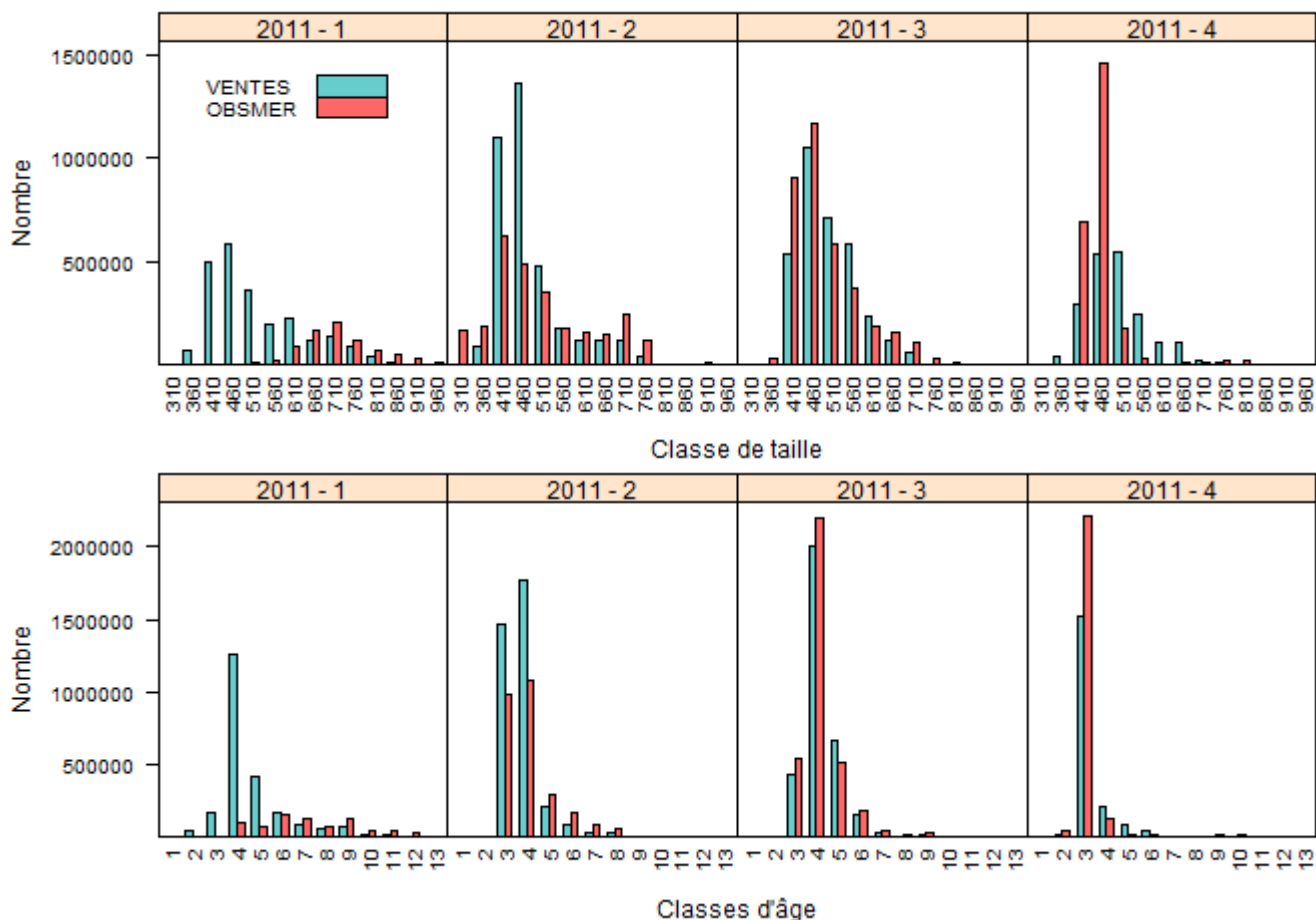
**Figure 9.** Carte de la distribution des débarquements de Lieu noir (tonnes débarquées ; cercles noirs) et de l'échantillonnage Obsmer (nombre de poissons mesurés ; cercles rouges) pour l'ensemble de l'année 2011 ; l'isobathe des 200m est représentée par la courbe grise

La distribution et l'intensité spatio-temporelle de l'échantillonnage Obsmer et des débarquements de l'année 2011 sont présentées Figure 9. À grande échelle, les débarquements et les échantillonnages sont répartis le long de l'isobathe des 200m. En termes d'intensité, la zone Ouest-Écosse a été la plus échantillonnée, suivie par la zone au nord des Shetlands, qui correspond également à la grande majorité des débarquements. Toutefois, elle est nettement plus exploitée qu'échantillonnée, avec près de 85 % des débarquements contre 45 % des poissons mesurés. La zone située au Sud-Est des côtes norvégiennes est, proportionnellement, celle dont l'échantillonnage est le plus représentatif pour l'année 2011.

Cependant, la comparaison de ces données par trimestres montre de grandes disparités des zones échantillonnées (Fig. 10a, b, c et d.). Ainsi, aux trimestres 1 et 3, l'échantillonnage est le plus intense dans la zone au nord des Shetlands, et est donc bien représentatif des débarquements pour ces trimestres. Toutefois, au second trimestre, l'effort d'échantillonnage est concentré dans la zone Ouest-Écosse, où peu de captures sont effectuées. Au 4<sup>ème</sup> trimestre, aucun échantillonnage n'a été réalisé dans la zone au nord des Shetlands, alors qu'elle reste la plus exploitée. La bonne représentativité de l'échantillonnage annuel Obsmer sur le Lieu noir est en fait un artéfact, que la représentation par trimestre permet de visualiser.



**Figure 10.** Distribution spatiale des débarquements (tonnes débarquées ; cercles vides) et de l'échantillonnage en mer Obsmer (nombre de poissons mesurés ; cercles rouges) pour les trimestres 1 à 4 (a, b, c et d respectivement) de 2011 ; les échelles sont spécifiques à chaque carte ; l'isobathe des 200m est représentée par la courbe grise



**Figure 11.** Structures en taille (a) et en âge (b) élevées avec COST à partir des données Obsmer (rouge) et élevées avec Arpège à partir des données d'échantillonnage sous criée (Ventes, bleu ciel)

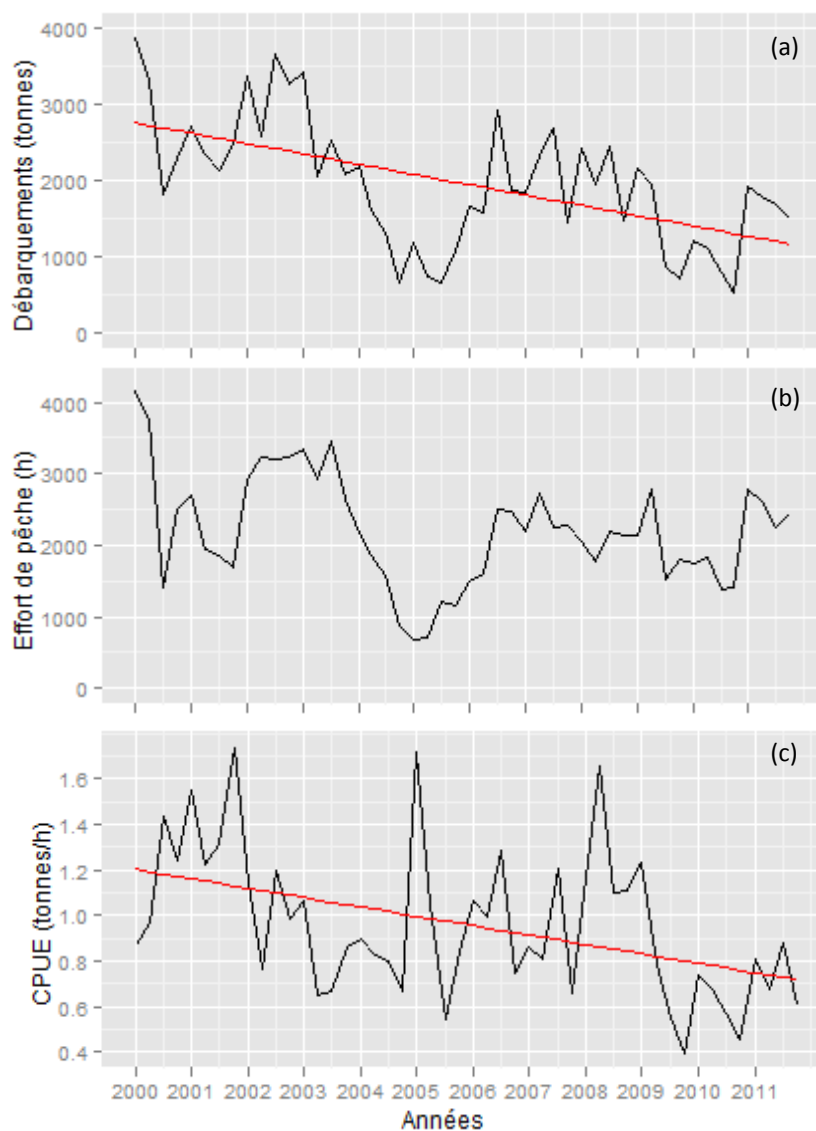
### II.3 Comparaison des structures en taille et en âge issues de Obsmer et de Arpège

Les échantillonnages Obsmer diffèrent des échantillonnages en criées, puisque les poissons sont mesurés *in situ*. Cependant, l'objectif général étant de fournir une structure de nombres-aux-âges la plus précise possible, il est intéressant de vérifier que les données Obsmer produisent les mêmes structures que les données de ventes. La Figure 11 présente les structures en taille (Fig. 11a) et en âge (Fig. 11b), élevées par trimestre à partir des deux bases de données et donne des différences flagrantes au premier trimestre. Les classes 410 et 460 mm sont les plus fréquentes à partir des données de ventes, alors que pour les Obsmer, la classe 710 mm est dominante et les classes 410 et 460 mm sont absentes. Au second trimestre, les deux structures sont relativement similaires, hormis pour les classes dominantes, sous-estimées par les données Obsmer. De même que pour la distribution spatiale des échantillonnages, le troisième trimestre fournit les meilleurs résultats. Enfin, les classes de tailles dominantes du dernier trimestre de 2011 issues de Obsmer sont deux fois supérieures à celles issues des ventes, et les plus grandes classes de taille sont sous-estimées. Les structures en âge obtenues suivent les mêmes tendances que les structures en tailles de la Figure 11. En effet, les données Obsmer fournissent une

structure en âge médiocre pour le premier trimestre, avec un nombre total de  $7,7.10^5$  individus contre  $2,5.10^6$  pour les données de ventes, soit une population 3 fois inférieure en nombre. Les âges 3 et 4 sont légèrement sous-estimés par les données Obsmer au 2<sup>nd</sup> trimestre et surestimés au dernier, tandis que les structures en âge sont similaires au 3<sup>ème</sup> trimestre.

### III Explorations des changements opérés entre 2000 et 2011

#### III.1 Évolution temporelle



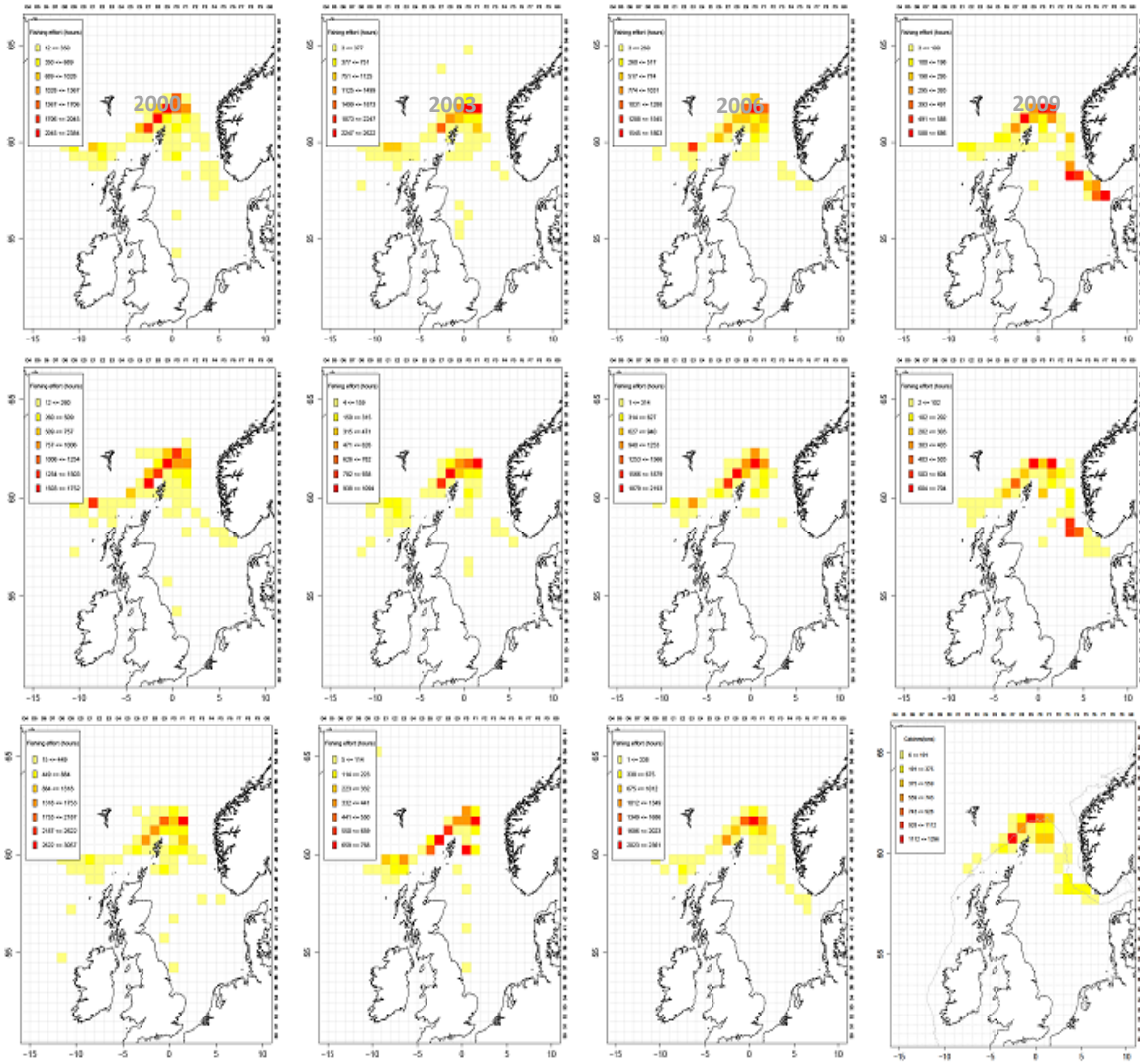
**Figure 12.** Evolution des séries temporelles de débarquements (a), d'effort de pêche (b) et des CPUE (c) ; les tendances significatives sont représentées en rouge

La Figure 12 présente les séries temporelles des débarquements, de l'effort de pêche et des CPUE pour la flottille de *tuning* de référence. Des tendances significatives ont été observées pour les débarquements et les CPUE ( $p$ -value  $< 0,001$ ), alors que l'effort de pêche ne dévoile pas

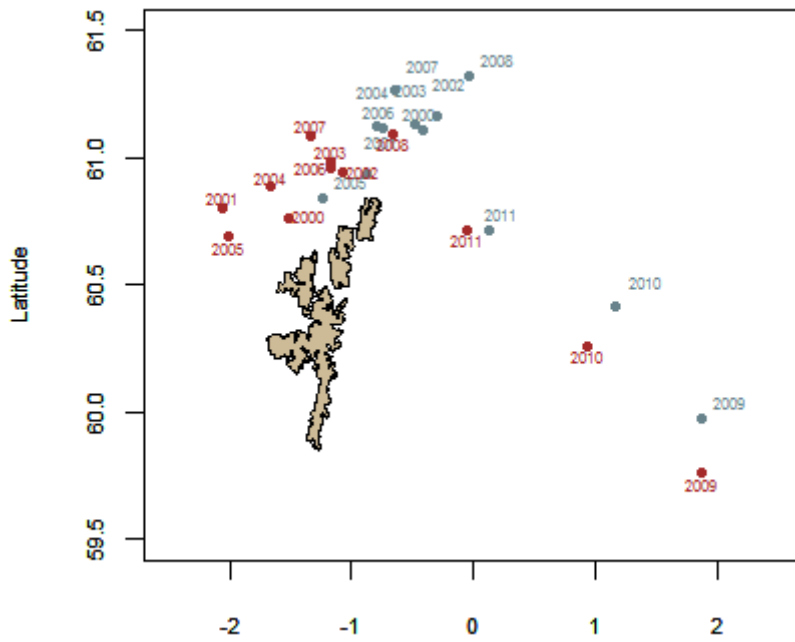
de tendance (p-value >0,05). Cependant, débarquements et effort suivent les mêmes fluctuations générales, avec 3 périodes de diminution notables. Une première en 2000, au cours de laquelle les débarquements ont été divisés par 2 et l'effort par 3, passant de 3900 à 1800 tonnes et 4100 à 1400 heures par trimestre respectivement. Il s'en est suivi une augmentation régulière jusqu'à la fin 2003, précédant une nouvelle diminution jusqu'en 2005, atteignant, au plus bas, des débarquements de 700 tonnes pour un effort de 700h par trimestre. L'activité de pêche s'est intensifiée régulièrement jusqu'en 2007, puis est restée stable autour 2000 heures par trimestre jusqu'en 2009. Cependant, les débarquements ne se sont pas stabilisés et tendaient à décroître légèrement. En 2009, une dernière diminution des débarquements a provoqué l'effondrement des CPUE, atteignant 0,39 tonne par heure au 3<sup>ème</sup> trimestre. En 2011, effort et débarquements ont augmenté simultanément, menant à une légère augmentation des CPUE, qui atteint 0,9 tonne par heure en moyenne au dernier trimestre. Enfin, aucune corrélation entre les CPUE annuelles et l'indice de recrutement n'a été mise en valeur.

### III.2 Distribution spatio-temporelle

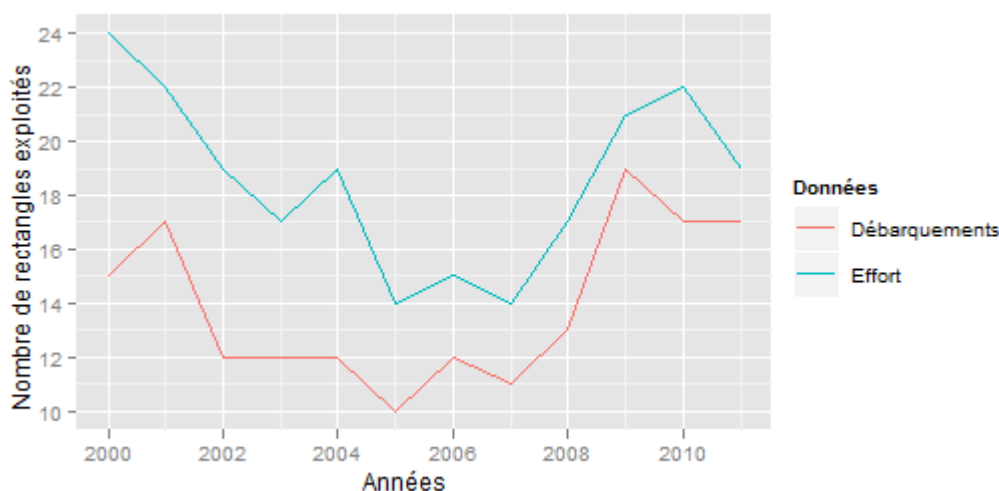
Les distributions de l'effort de pêche et des débarquements ont été représentées graphiquement, agrégées par rectangle statistique sur la Figure 13. Les échelles sont spécifiques à chaque carte, et permettent d'observer les rectangles les plus exploités pour chaque année. Les années 2000 à 2007 sont sensiblement similaires, avec un effort important porté sur 6 rectangles au nord des Shetlands. L'ensemble du Nord de la zone IVa et VIa est exploité à des taux d'exploitation plus faibles. Toutefois, à partir de 2008, une notable expansion au sud-est de l'effort de pêche a eu lieu. Ces nouvelles zones de pêche se distribuent le long de la côte norvégienne, à proximité de l'isobathe des 200m. Plus marquées que les années 2008 et 2011, les années 2009 et 2010 sont caractérisées par l'exploitation aussi intense de certains rectangles statistiques de la zone Sud-Est que de la zone au nord des Shetlands. Les barycentres annuels de l'effort de pêche et des débarquements confirment ce changement d'exploitation pour des zones Sud-Est à partir de 2008, dont l'expansion est majeure en 2009 (Fig. 14). Cette expansion géographique se traduit également par une augmentation de la surface exploitée. En effet, le nombre de rectangles exploités (représentant 90% de l'effort ou des débarquements annuels) est passé de 11 en 2007 à 19 en 2009 pour les débarquements, et de 14 à 21 pour l'effort (Fig. 15).



**Figure 13.** Cartes de la distribution spatiale de l'effort de pêche entre les années 2000 et 2011 pour la flottille de pêche fraîche ciblant le Lieu noir



**Figure 14.** Distribution spatiale des barycentres annuels des débarquements (points bleu) et de l'effort de pêche (points rouges) de la flottille française de pêche fraîche ciblant le Lieu noir



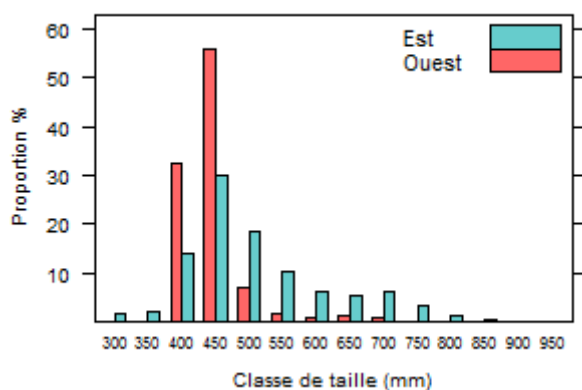
**Figure 15.** Evolution temporelle du nombre de rectangles exploités représentant >90 % des captures et de l'effort de pêche annuels des navires de pêche fraîche ciblant le Lieu noir

### III.3 Structure en taille des secteurs Est et Ouest

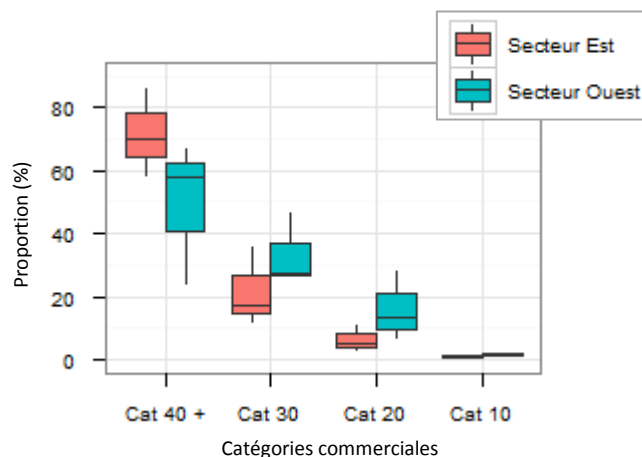
Les structures en taille des secteurs Est et Ouest, obtenues à partir des données Obsmer et des données de ventes en criées sont présentées Figure 16 et 17 respectivement. Les deux comparaisons fournissent des informations similaires. À l'Est, très peu d'individus de grandes tailles sont capturés, tandis que les petites classes de taille, inférieures à 500mm, regroupent 88% du total des débarquements observés, contre 54% à l'Ouest (Fig. 17). À partir des données de ventes, la différence est moins marquée : la catégorie commerciale 40 + représente 65% des ventes provenant du secteur Est contre 49% pour le secteur Ouest (Fig. 17). De même que pour les données Obsmer, les plus grandes tailles - ou catégories commerciales 30, 20, et 10 - du secteur Ouest représentent toutes une proportion supérieure à celles du secteur Est.

Les débarquements provenant du secteur Ouest uniquement, agrégés par catégorie commerciale sont très stables sur la période 2002 à 2007, représentant respectivement 1, 5, 15 et 80 % du total annuel de ce secteur (Fig. 18a). Entre 2008 et 2011, les proportions des catégories commerciales 20 et 30 ont augmenté, atteignant 28 et 46 % du poids débarqué, conjointement à une diminution de la proportion de la catégorie 40+, qui ne représente plus que 24% des débarquements en 2010. Paradoxalement à la stabilité des proportions des catégories commerciales dans les débarquements, les débarquements totaux de la catégorie 40+ ont progressivement diminué de 1550 tonnes en 2002 à moins de 500 tonnes après 2008 (Fig. 18b).

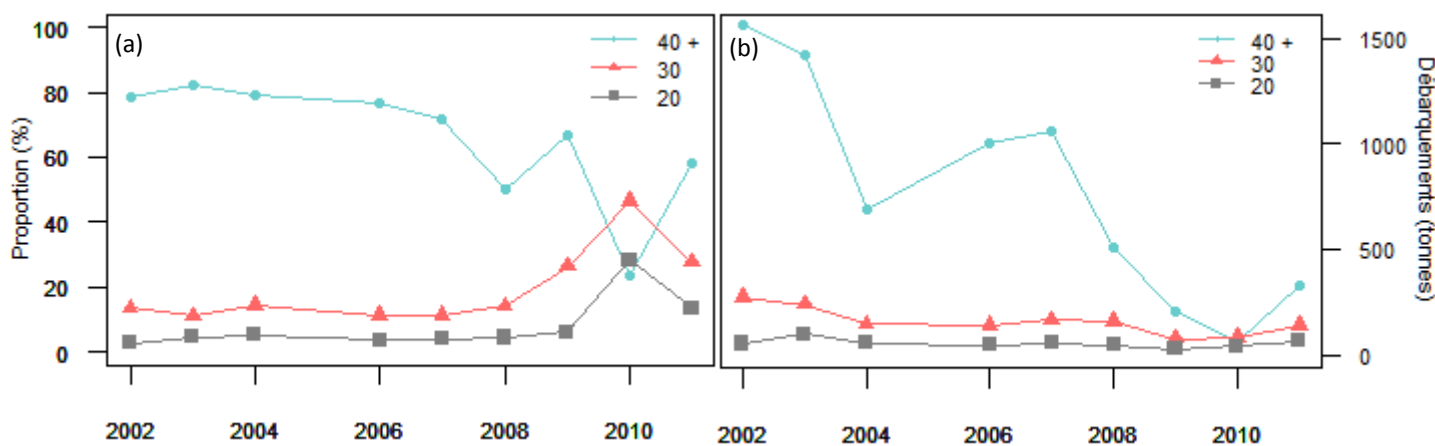




**Figure 16.** Structure en taille des captures dans les secteurs Est et Ouest issues des données Obsmer



**Figure 17.** Proportions des débarquements par catégorie commerciale pour les secteurs Est et Ouest, issues des données de ventes en criées ; la catégorie commerciale 40+ correspond aux plus petits individus



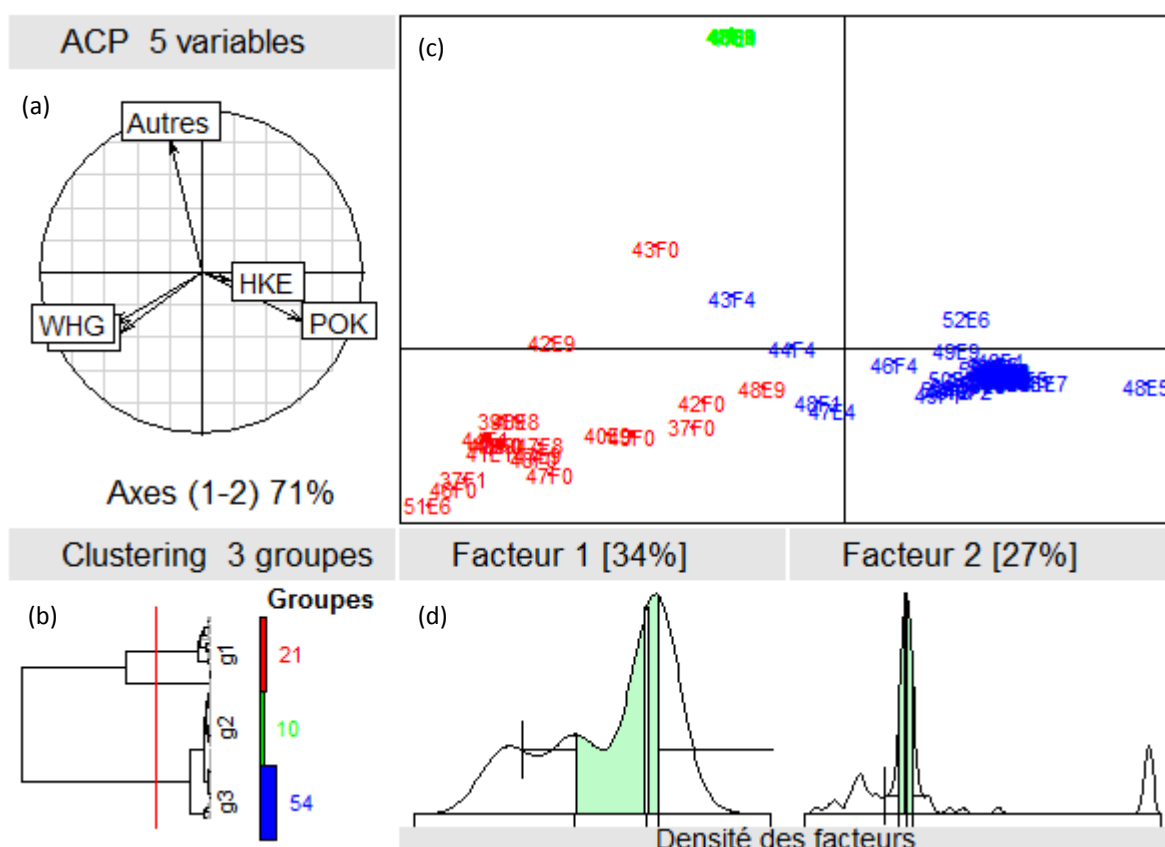
**Figure 18.** Proportions des débarquements (a) et débarquements (b) des catégories commerciales dans les secteurs Est et Ouest de 2002 à 2011 ; la catégorie commerciale 10 représente seulement 0,01 % des débarquements et n'est pas présentée

## IV Dynamique de la flotte

### IV.1 Définition des secteurs de pêche

Une ACP et une CAH ont été effectuées sur les données de débarquements de chaque espèce par rectangle statistique (Fig. 19). Dans un but de simplification, seules les 4 espèces les plus représentées et correspondants à 95% des débarquements totaux ont été considérées individuellement, tandis que les autres ont été agrégées dans le groupe « Autres espèces ». Le cercle des corrélations donne trois groupes bien distincts (Fig. 19a). Il met en avant le fait que les débarquements de Lieu noir (POK) sont corrélés positivement à l'axe 1 et aux débarquements de Merlu (HKE ; *Merluccius merluccius* Linné, 1758), et sont corrélés négativement avec les débarquements de Merlan (WHG ; *Merlangius merlangus* Linné, 1758), d'Églefin (HAD ; *Melanogrammus aeglefinus* Linné, 1758) et des espèces « Autres ». Les débarquements de Merlan et d'Églefin sont fortement corrélés entre eux, et sont corrélés négativement avec les débarquements d'espèces « Autres ». Les axes 1 et 2 expliquent une part

importante de la variance totale (44% et 28% respectivement). Le cluster effectué sur la même matrice de données permet de différencier 3 groupes (Fig. 19c). Ainsi, les 21 rectangles du groupe 1 (en rouge) sont caractérisés par des débarquements de Merlan et d'Eglefin et correspondent aux rectangles situés au sud-est de la Mer du Nord, les 10 rectangles du groupe 2 (en vert) sont caractérisés par des débarquements d'espèces « Autres » et correspondent aux rectangles situés en Ouest Écosse, et les 54 rectangles du groupe 3 (en bleu) sont caractérisés par des débarquements de Lieu noir et de Merlu. Le groupe 3 correspond aux rectangles du nord des Shetlands jusqu'au sud de la Norvège, le long de l'isobathe des 200m. Les graphiques de densités des facteurs apportent une autre représentation des points, et permettent de bien distinguer les trois groupes distribués le long du premier et du second axe (Fig. 19d).



**Figure 19.** Résultats de l'ACP et CAH appliquées aux proportions de captures par espèce et par rectangle statistique ; (a) cercle des corrélations ; (b) cluster et groupes en résultants ; (c) diagramme de projection de l'ACP avec les groupes formés par le cluster ; (d) densité des points autour des axes 1 et 2

#### IV.2 Sélection des navires ciblant le Lieu noir de flottille de *tuning*

Afin d'obtenir une vision non biaisée de l'évolution des CPUE entre 2000 et 2011, et sachant que des navires sont inclus dans la flottille de *tuning* française mais ne ciblent pas le Lieu noir, la calibration de cette flottille était un des objectifs de ce travail. Les résultats obtenus étant sensiblement similaires pour toutes les années, seuls ceux de l'année 2000 seront présentés par la suite. L'ACP, appliquée sur la matrice de l'année 2000 (Fig. 20a), fait ressortir 3 groupes

d'espèces exploitées : un premier groupe d'espèces profondes, exploitées par les navires 1, 3, 6, 10, avec, entre autres, le Grenadier de Roche (*Coryphaenoides rupestris* Gunner, 1765), les Chimères (*Hydrolagus spp*), et les Baudroies (*Lophius spp*) ; un groupe d'espèces pélagiques, exploitées par le navire 11 seulement, avec notamment le Chinchard commun (*Trachurus trachurus* Linné, 1758) ; et un dernier groupe constitué principalement de gadidés, dont le Lieu noir, l'Églefin, le Merlan et le Merlu. La CAH discrimine les navires en deux groupes très distincts, avec les navires 2, 4, 5, 7, 8 et 9 d'une part, et les navires 1, 2, 6, 10, 11 d'autre part (Fig. 20b). Ainsi, pour chaque année et en se basant sur les sorties de l'ACP et la CAH, il a été possible de définir un groupe de navires ciblant le Lieu noir et un groupe de navires ciblant les espèces profondes ou pélagiques.

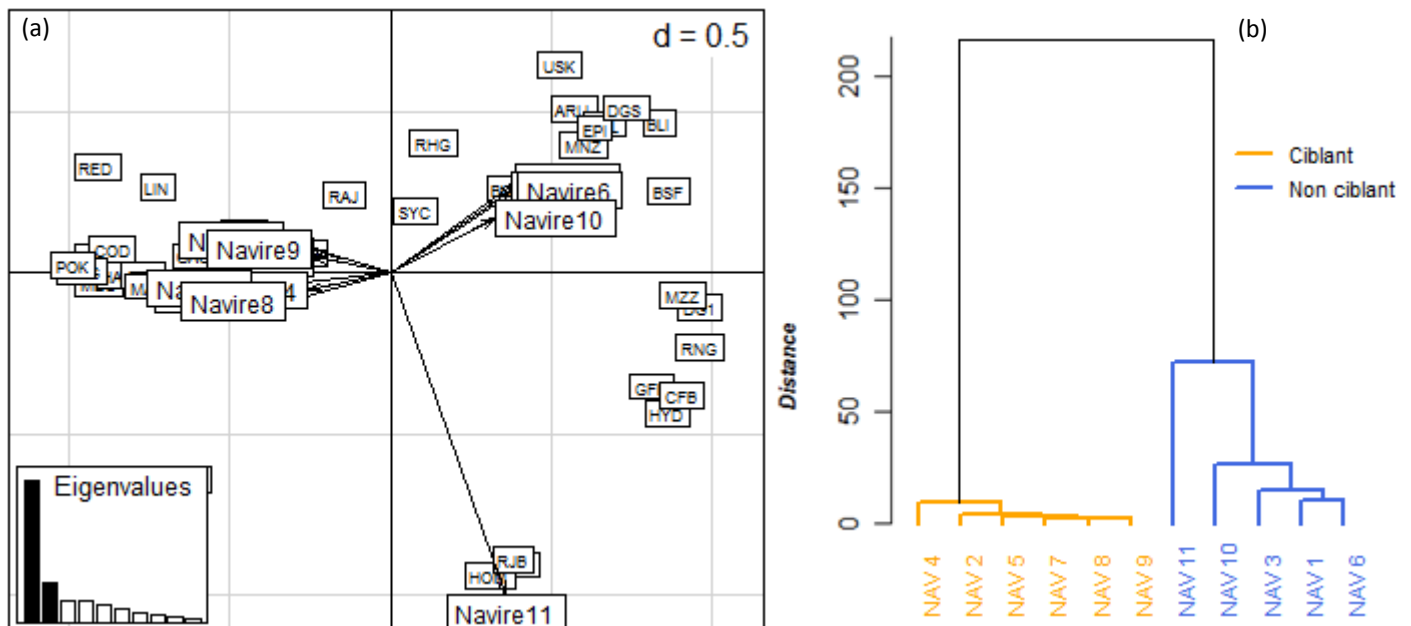
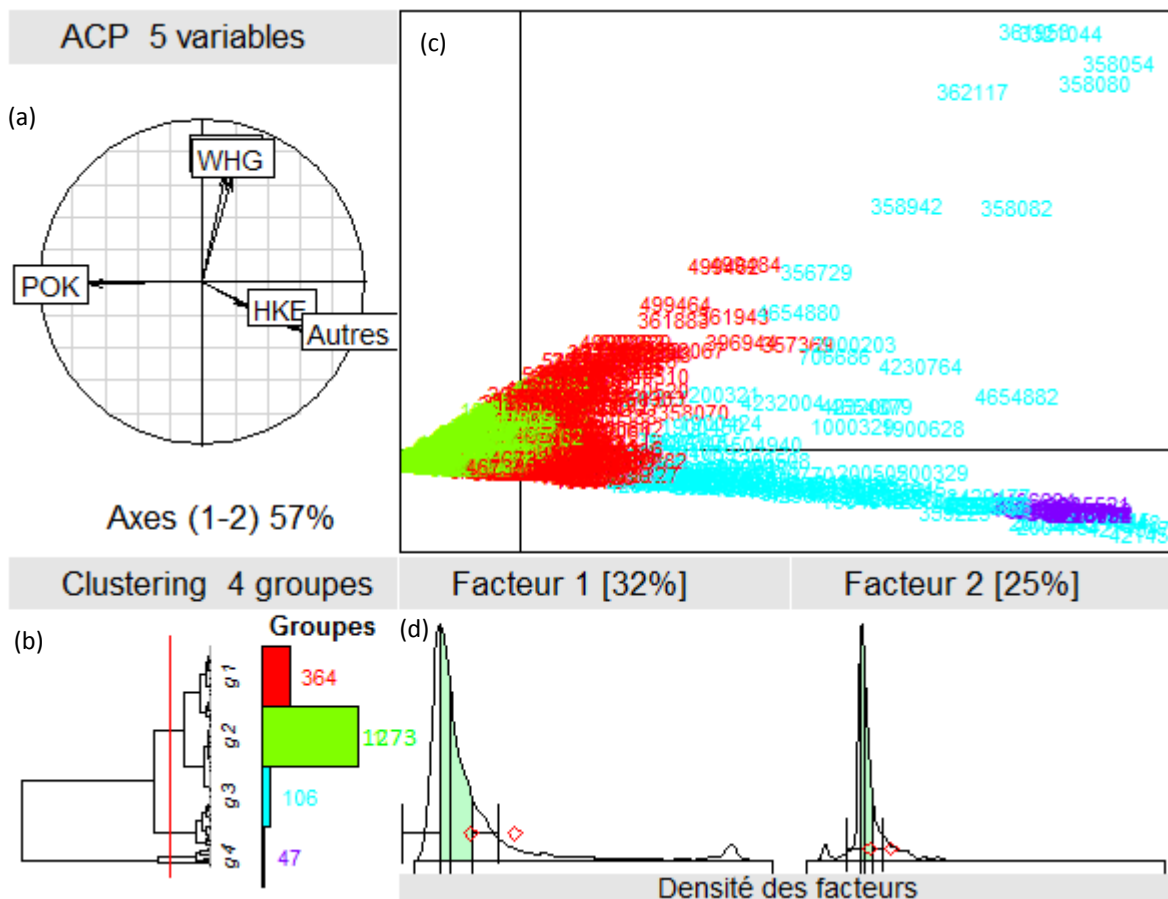


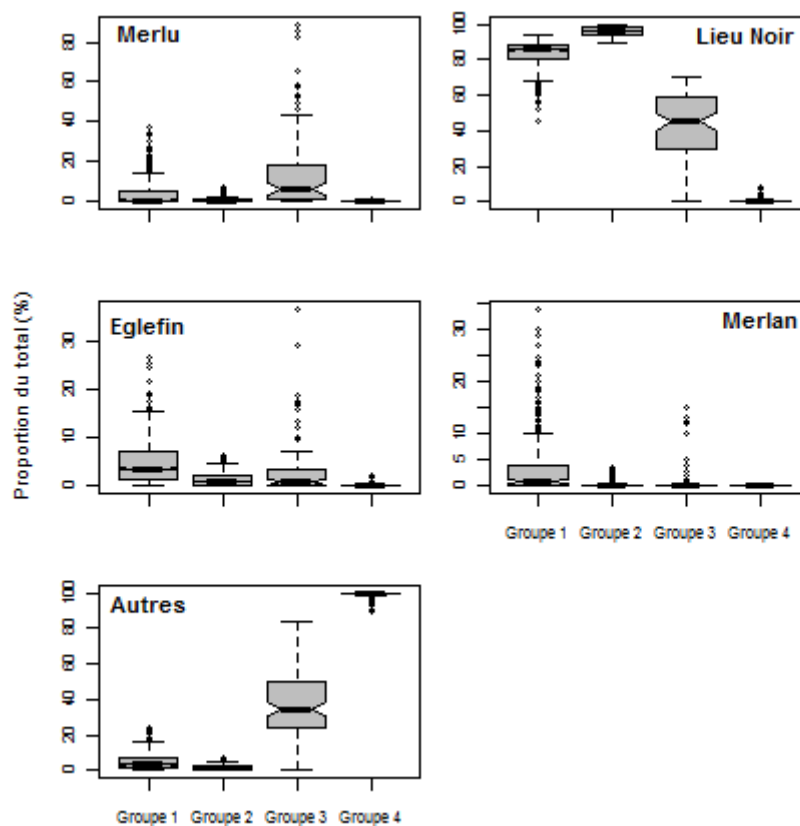
Figure 20. Résultats de l'ACP (a) et du cluster (b) appliqués aux proportions de captures de chaque espèce par navire pour l'année 2000

### IV.3 Sélection des marées ciblant le Lieu noir

La seconde calibration, effectuée sur les marées des navires ciblant le Lieu noir, a permis d'identifier 4 groupes (Fig. 21). Les profils de débarquements de chacun des groupes sont présentés Figure 22, et permettent de confirmer les informations sur les espèces caractéristiques de chaque groupe fournies par les sorties de l'ACP (Fig. 21b). Le premier groupe (364 marées, en rouge) s'explique par la présence de Merlan et d'Églefin dans les débarquements, bien que son profil de captures montre que 83% du total correspond au Lieu noir. Le second groupe (1253 marées, en vert) est clairement caractérisé par 100% de débarquements de Lieu noir. Le groupe 3



**Figure 21.** Résultats de l'ACP et CAH appliquées aux proportions de captures par espèce et par marée ; (a) cercle des corrélations ; (b) cluster et groupes en résultats ; (c) diagramme de projection de l'ACP avec les groupes formés par le cluster ; (d) densité des points autour des axes 1 et 2

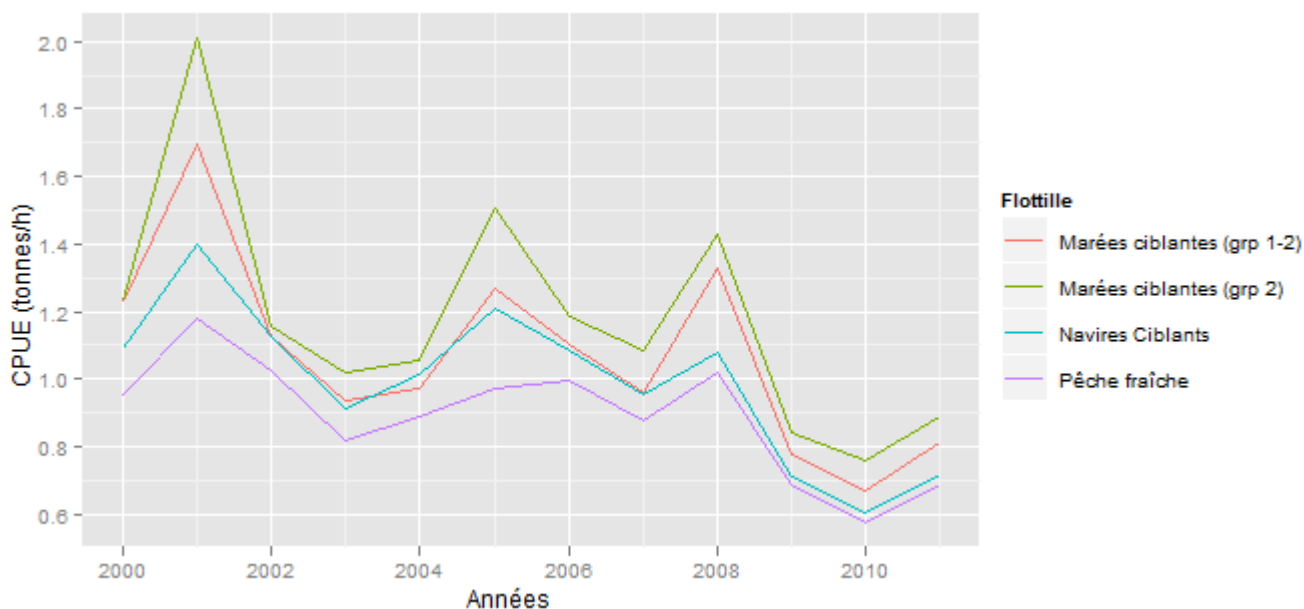


**Figure 22.** Profil de captures des 4 groupes obtenus par CAH pour les 5 espèces ou groupe d'espèces considérés

(106 marées, en bleu ciel) est corrélé avec la proportion d'espèces « Autres » et de Merlu. Toutefois, il faut noter que 44% des débarquements sont de Lieu noir. Enfin, le groupe 4 (47 marées, en violet) est caractérisé par 100% des débarquements d'espèces « Autres », principalement des espèces profondes.

#### IV.4. Influence de la calibration de la flottille sur les CPUE

Les CPUE calculées à partir des flottilles calibrées sont présentées Figure 23. Les différences entre les CPUE de la flottille d'origine et les CPUE des flottilles calibrées sont toutes significatives (p-value <0,001). Elles s'élèvent à  $0,11 \pm 0,07$  tonnes.h<sup>-1</sup>,  $0,18 \pm 0,13$  tonnes.h<sup>-1</sup> et  $0,29 \pm 0,21$  tonnes.h<sup>-1</sup> respectivement pour les flottilles de « navires ciblant » le Lieu noir sur l'année, pour les « marées ciblant » le Lieu noir et autres gadidés (groupes 1 et 2) et pour les « marées ciblant » le Lieu noir uniquement (groupe 2). Toutes les courbes de CPUE montrent des tendances similaires, mais les fluctuations se font nettement plus importantes à mesure que la précision de la calibration augmente. Cependant, il est important de noter qu'à partir de 2009, la différence est moindre et que les fluctuations sont similaires quelle que soit la flottille considérée.

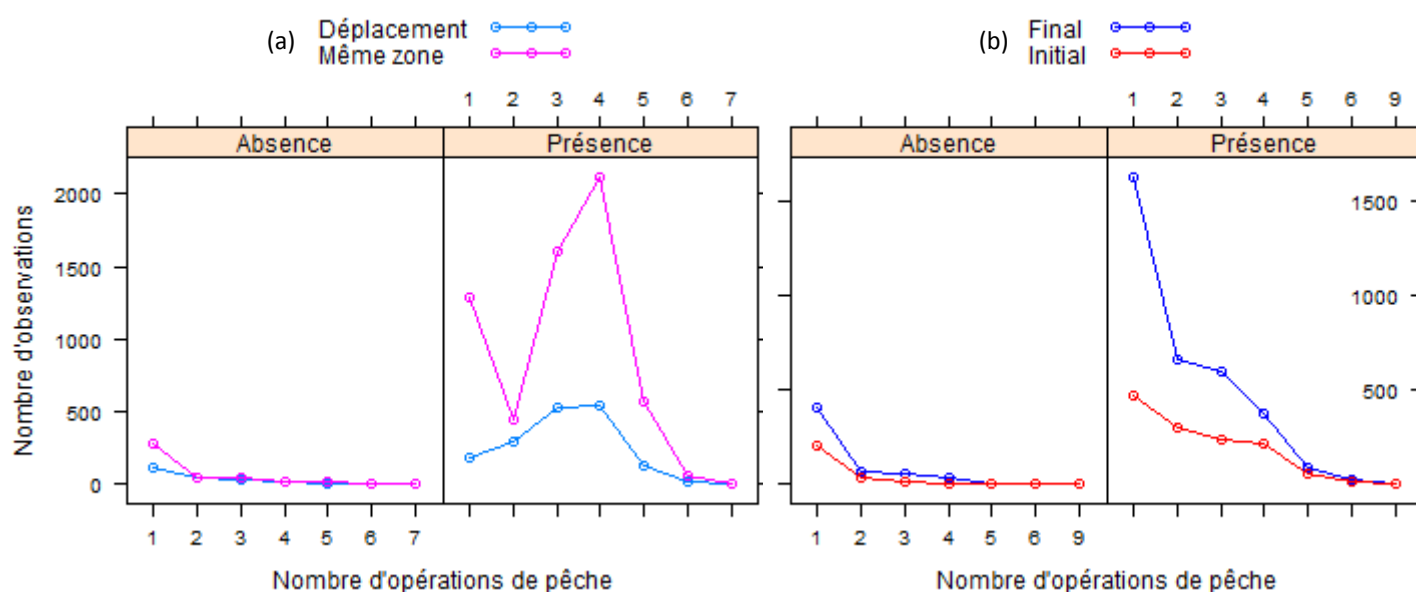


**Figure 23.** Séries temporelles des CPUE par flottilles avant et après calibration entre 2000 et 2011

#### IV.5. Effet « skipper »

Les données de présence-absence ont permis d'étudier le choix des skippers à la suite de faibles captures au cours des marées ciblant le Lieu noir (Fig. 24). Le choix du skipper, changer de zone de pêche (« Déplacement ») ou rester sur zone (« Même zone »), est représenté en fonction du nombre d'opérations de pêche pour une séquence de pêche (*i.e.* même carré

statistique ou même jour) pour les présences et pour les absences. En cas de faibles captures, il apparait que quel que soit le choix du skipper, le plus fréquent est de ne réaliser qu'une seule opération et 3 ou 4 opérations par séquence de pêche en cas de présence, avec respectivement 853 et 980 séquences suivies d'un déplacement, contre 303 et 274 où ils sont restés sur zone. Cependant, 1050 séquences ne comptent qu'une opération de pêche, à la suite desquelles ils sont restés sur zone.

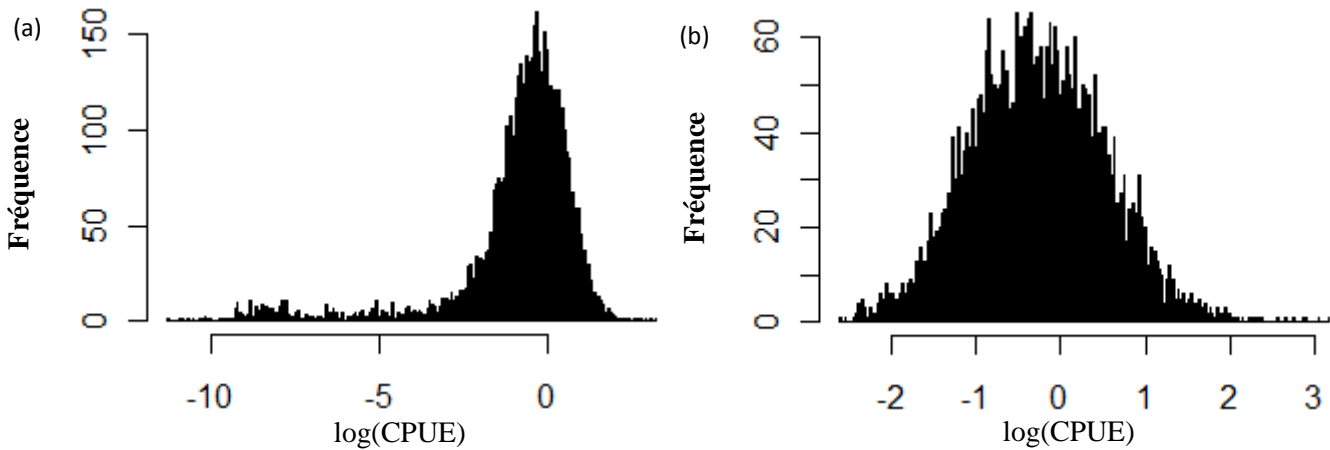


**Figure 24.** Nombre de séquences de pêche suivies d'un « Déplacement » ou non (« Même zone ») en fonction de la présence ou l'absence de bonnes captures (a) ; nombre de séquences de pêche avec présence ou absence de bonnes captures pour le premier et dernier jour de pêche (b) ; les données correspondent uniquement aux marées ciblant le Lieu noir

## V Modélisation des CPUE : Delta-GLM

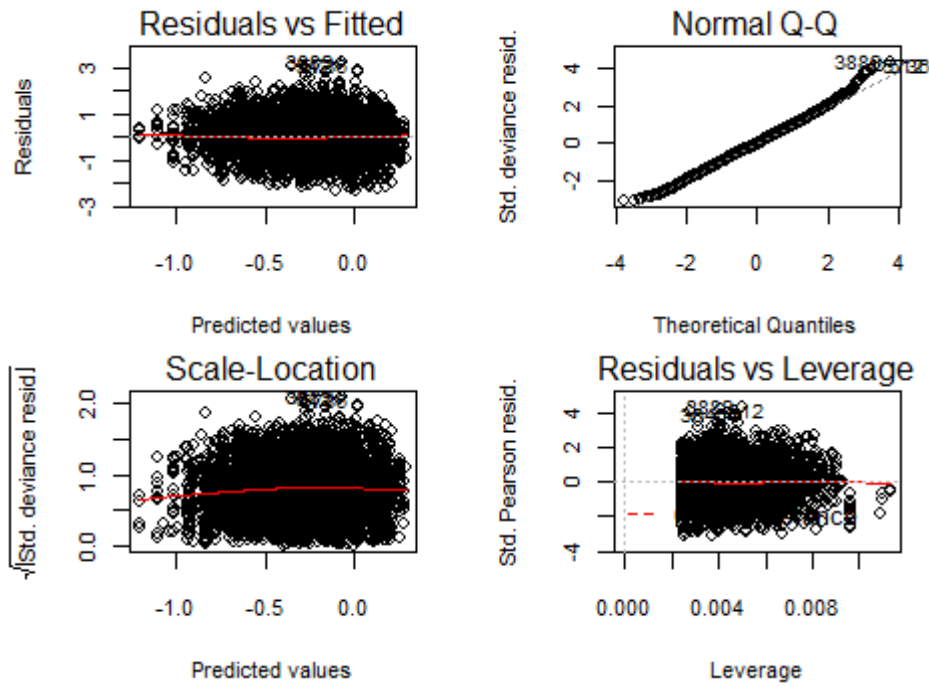
### V.1 Validité des modèles

La distribution du logarithme des CPUE peut être scindée en deux. D'une part des données suivant une distribution de type gaussienne, d'autre part une queue de distribution (Fig. 25a). La suppression des données de faibles captures permet de s'affranchir de la queue de distribution observée, et de ne conserver que des valeurs dont la distribution suit une loi quasi gaussienne (Fig. 25b). Sur ces données, le test de non-normalité est significatif (p-value <0,05), ce qui est fréquent lorsqu'un grand nombre de données est utilisé. Pour chacun des sous-modèles retenus, tous les facteurs présentés sont significatifs (p-value <0,05).



**Figure 25.** Distribution des CPUE log-transformées pour toutes les données (a) et les présences uniquement (b)

Le modèle binomial explique 31,2% de la déviance totale, et son taux d'erreur de prédiction, estimé par cross-validation ( $K=10$ ), est de 0,09. L'interprétation visuelle de la sortie du GLM de présences (Fig. 26) permet de vérifier l'absence d'hétérogénéité ou de tendance au sein des résidus. D'après la droite d'Henry (*Q-Q plot*), qui compare les valeurs des quantiles de la loi empirique aux quantiles de la loi normale, il semble raisonnable d'admettre que les résidus sont distribués selon une loi normale. Toutefois, Il faut noter que les résidus des valeurs de CPUE élevées sont légèrement supérieurs à ceux d'une distribution normale théorique. Enfin, aucune valeur n'a un effet levier trop important.



**Figure 26.** Distribution des résidus du modèle gaussien (présences uniquement)

La courbe ROC obtenue à partir des prédictions du modèle binomial et des données brutes est présentée Figure 27. D'après Fawcett (2006) et Robin et al., (2011), le modèle peut être considéré comme de bonne qualité puisque l'aire sous la courbe est supérieure à 80%. Le meilleur compromis entre sensibilité (bonne prédiction des présences) et sensibilité (bonne prédiction des absences) s'obtient pour des valeurs de 78 % et 70% respectivement, soit une probabilité estimée par le modèle de 0,22. Ainsi, lors du couplage des deux sous- modèles, les CPUE dont la probabilité de prédiction de présence est inférieure à 22% sont multipliées par 0, tandis que celles supérieures à 22% sont multipliées par 1. Les prédictions finales du modèle Delta-GLM permettent de valider les sorties du modèle (Fig. 28). Les variations des CPUE prédites suivent les mêmes tendances que les variations des CPUE brutes.

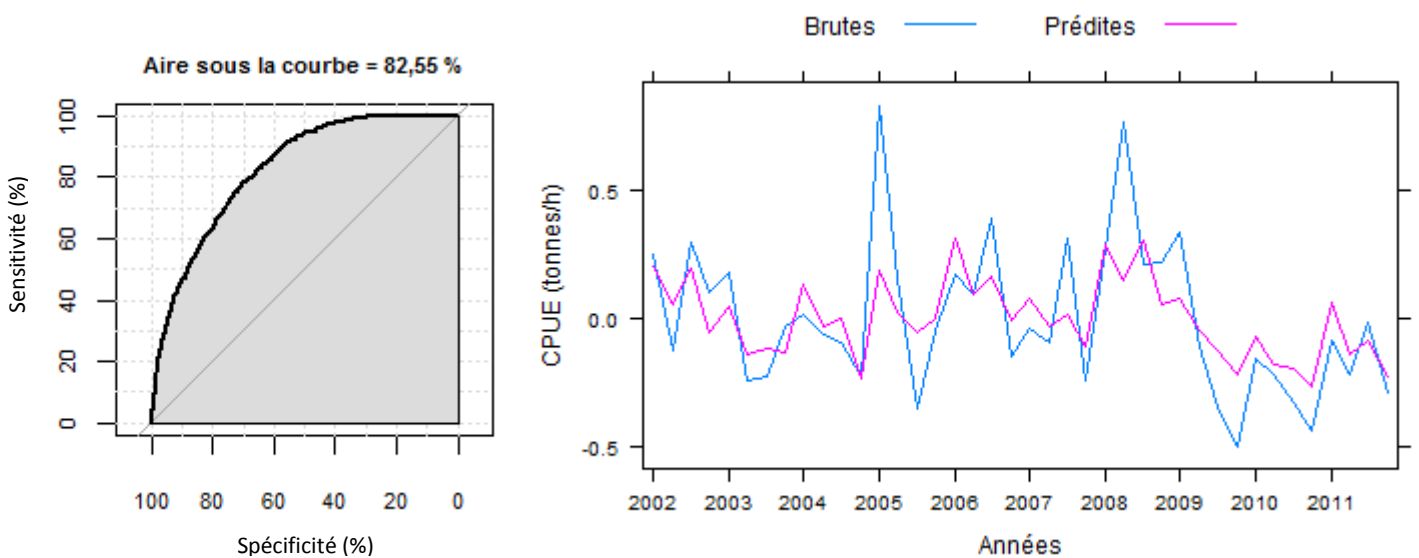


Figure 27. Courbe ROC obtenue à partir des prédictions du modèle binomial et des données brutes

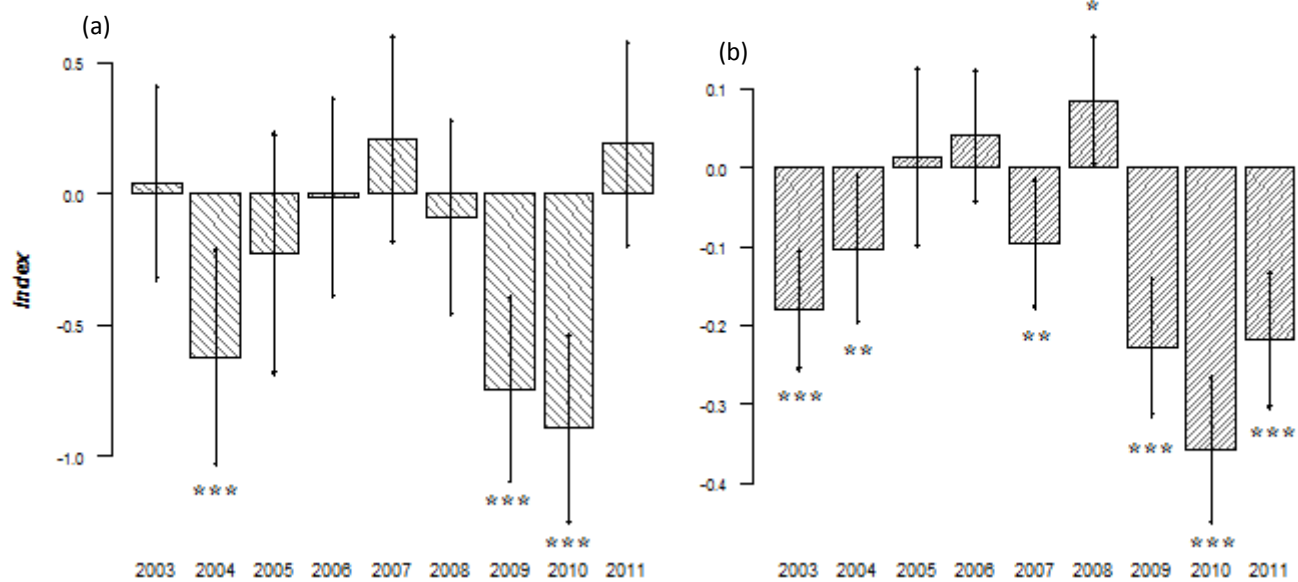
Figure 28. Séries temporelles des CPUE brutes et prédites par le Delta-GLM ; les données ont été centrées sur 0

## V.2 Étude des effets modélisés

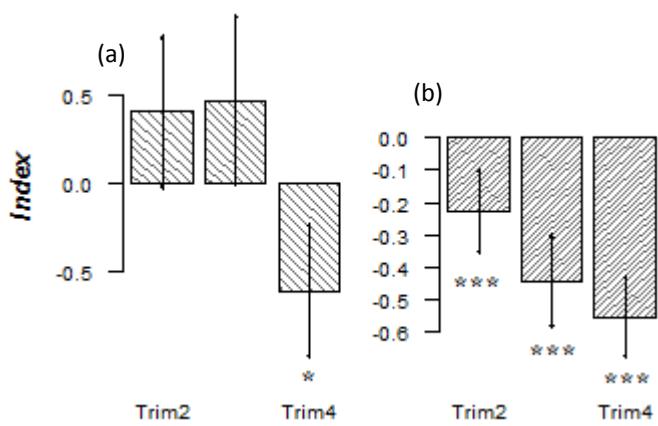
### V.2.1 Effets spatio-temporels

La valeur de référence d'un facteur est la première modalité prise par celui-ci. Par exemple, pour le facteur « Année », 2002 servira de valeur nulle et ne sera pas présenté sur les graphiques. Dans le modèle de présence-absence, les années 2004, 2009 et 2010 ont des effets négatifs significatifs ( $p$ -value  $< 0,01$ ), et aucune année n'a un effet positif significatif (Fig. 29a). Seuls les effets des années 2005 et 2006 du modèle de présences ne sont pas significatifs, l'année 2008 étant la seule significativement positive (Fig. 29b). Les années 2009 à 2011 sont celles dont l'effet est le plus important. Toujours sur l'aspect temporel, seul le trimestre 4 est significatif et a un effet négatif ( $p$ -value  $< 0,05$ ) dans le modèle de présence-absence (Fig. 30a), tandis que les effets des trimestres 2, 3 et 4 du modèle de présences (Fig. 30b) sont très significativement négatifs ( $p$ -value  $< 0,001$ ).

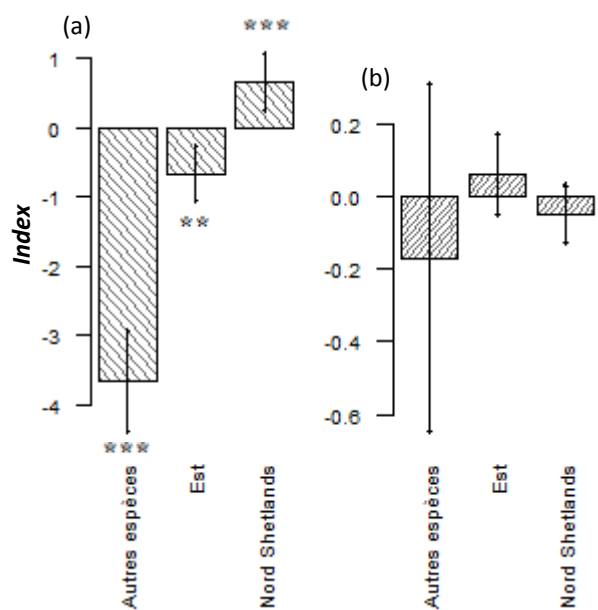




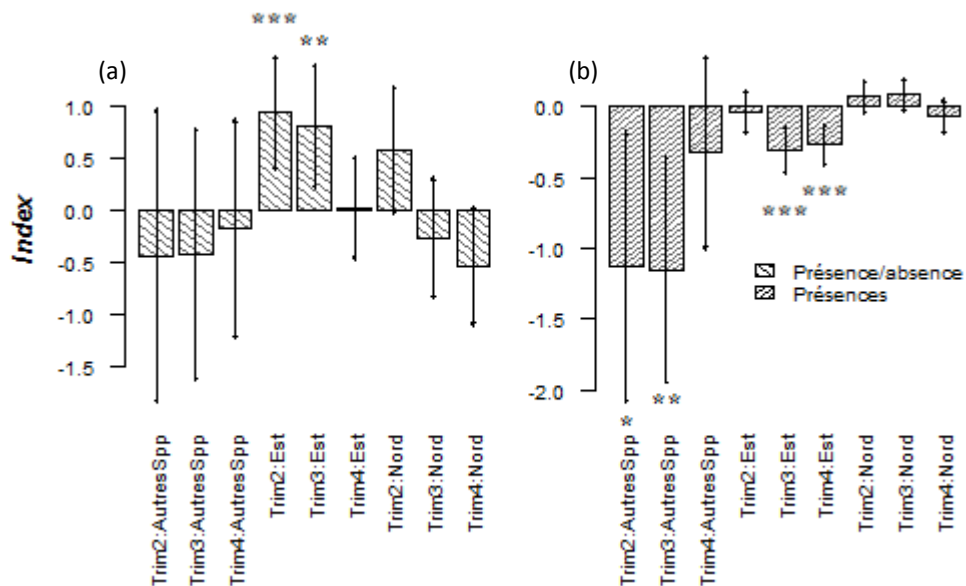
**Figure 29.** Effets « Année » des modèles de présence/absence (a) et de présences uniquement (b) ; 1, 2 et 3 astérisques correspondent à des p-value <0,05, <0,01 et <0,001 respectivement



**Figure 30.** Effets de la variable « Trimestre » des modèles de présence/absence (a) et de présences uniquement (b)



**Figure 31.** Effets de la variable « Secteur » des modèles de présence/absence (a) et de présences uniquement (b)



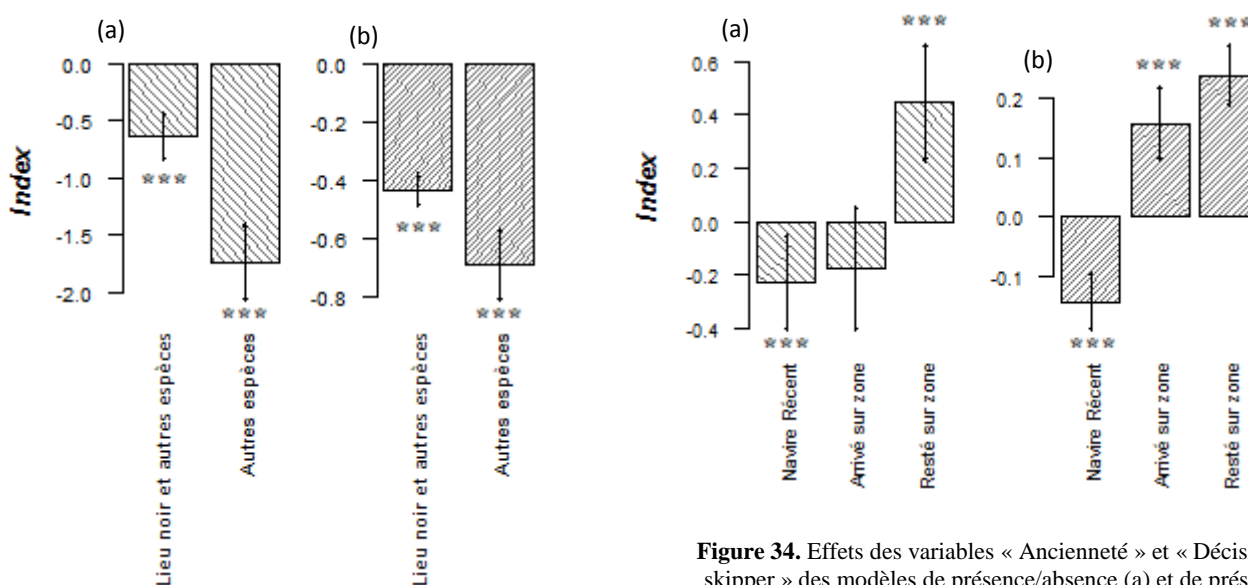
**Figure 32.** Effets de la variable « Interaction Trimestre:Secteur » des modèles de présence/absence (a) et de présences uniquement (b)

Sur l'aspect spatial, le secteur « Ouest » sert de référence. Le modèle binomial apporte plus d'informations que le modèle de présences. Dans le premier (Fig. 31a), les secteurs correspondant aux espèces « Autres » et « Est » ont un effet négatif significatif (p-value <0,001 et p-value <0,01), tandis que le secteur « Nord Shetlands » a un effet positif (p-value <0,001). Dans le second (Fig. 31b), aucun secteur n'a d'effet significatif.

Les interactions entre secteur de pêche et trimestre du modèle de présence-absence (Fig. 32a) ont un effet positif dans le secteur « Est » au trimestre 2 et 3 (p-value <0,01). Dans le modèle de présences (Fig. 32b), les interactions du secteur correspondant aux « Autres espèces » et les trimestres 2 et 3 (p-value <0,05 et p-value <0,01) ainsi que le secteur « Est » et les trimestres 3 et 4 (p-value <0,001) ont un effet négatif.

### V.2.2 Effets « Marées ciblant »

La variable « Marées ciblant » est très significative. En effet, dans les deux sous-modèles (Fig. 33a et b), les marées « Lieu noir » ont un effet significatif et très positif (p-value < 0,001) par rapport aux marées « Lieu noir et autres espèces » et « Autres espèces ». Toutefois, il faut noter que l'effet « Autres espèces » est plus important que l'effet « Lieu noir et autres espèces ».



**Figure 34.** Effets des variables « Ancienneté » et « Décision du skipper » des modèles de présence/absence (a) et de présences uniquement (b)

**Figure 33.** Effets de la variables « Marée Ciblant » des modèles de présence/absence (a) et présences uniquement (b)

### V.2.3 Autres effets significatifs

Pour le modèle de présence-absence comme pour le modèle de présences, le facteur « Ancienneté du navire » est très significatif (p-value <0,001), les navires « Récents » ayant un effet négatif relativement aux navires « Anciens » (Fig. 34a et b). Le facteur « Effet skipper »

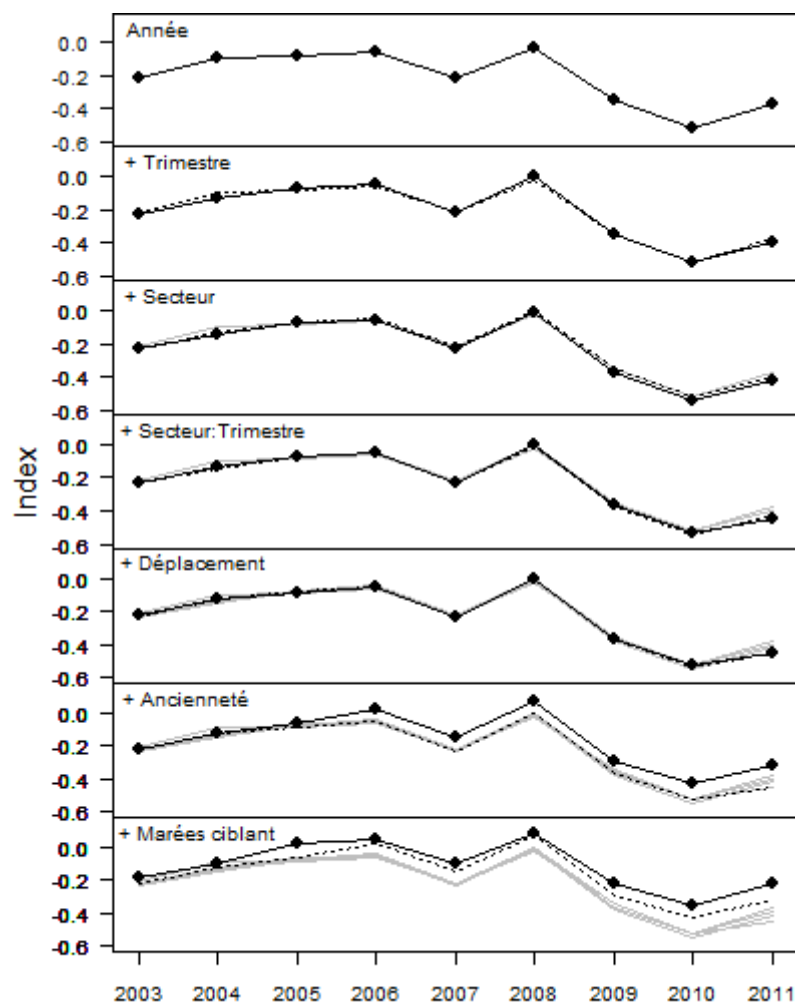
est également significatif. Le choix de « Rester sur zone » a un effet positif dans l'un et l'autre des modèles (p-value <0,001), tandis que l'« Arrivée sur zone » a un effet positif uniquement en cas de présence (p-value <0,001) (Fig. 34a et b).

#### V.2.4 Effets non significatifs

Il est intéressant de noter que les « Navires ciblant » (le Lieu noir) ont un effet très positif par rapport aux navires « Non ciblant » dans l'un est l'autre des modèles. Cependant, lorsque la variable « Marées Ciblant » est incluse dans le modèle, la variable « Navires Ciblant » devient non significative. Elle n'a donc pas été retenue dans le modèle final. De même, la variable « Nombre de navires ciblant » n'étant significative, elle n'a pas été retenue.

#### V.2.5 Effet « Année »

La contribution de chaque variable à la variance expliquée par chaque modèle est présentée dans la table 1. Pour le modèle de présences, les facteurs « Année », « Trimestre » et « Marées ciblant » expliquent respectivement 30,5, 16,5 et 24,9 % de la variance expliquée par



**Figure 35.** Graphique de l'indice de CPUE à chaque étape de la standardisation; chaque cadre représente l'indice après l'ajout de la variable indiquée ; l'indice obtenu lors de l'étape précédente est représenté en pointillés, ceux des étapes antérieures en grisé

le modèle. Le facteur « Secteur » est largement le plus explicatif dans le modèle de présence-absence, puisqu'il représente 75,7% de la variance expliquée, contre 8,1% seulement pour le second facteur le plus explicatif (« Marée Ciblant »). Bishop et al. (2008) proposent d'explorer les effets des variables explicatives du modèle de présences en réalisant un graphique par étape. La méthode consiste à représenter l'indice « Année » résultant de l'ajout successif des variables explicatives au modèle. Sur la Figure 36, correspondant au modèle retenu, les variables qui influencent le plus l'effet « Année » sont l'interaction « Trimestre : Secteur », et les « Marées Ciblant ». Il faut noter que ce ne sont pas les variables expliquant le plus de la variance qui influencent le plus l'effet « Année ».

## **E. DISCUSSION**

### **I Valorisation des données Obsmer pour le Lieu noir**

La première partie de la présente étude s'inscrit dans le cadre de la valorisation préliminaire des données du programme Obsmer. En plus d'estimer les captures accessoires et les rejets, les informations fournies par ce programme permettent d'obtenir avec précision la structure en taille de l'ensemble des captures d'une séquence de pêche. Les sorties de l'élévation effectuée sous COST ont mis à jour les conséquences d'une distribution spatio-temporelle inadéquate de l'échantillonnage. En effet, la bonne représentativité de l'échantillonnage annuel Obsmer sur le Lieu noir est due à la compensation des structures en âges sous-estimées du premier trimestre par celles légèrement surestimées aux trimestres 2 et 4.

Néanmoins, le troisième trimestre a été nettement plus échantillonné que les autres. La très bonne correspondance entre les résultats issus de Obsmer et de Arpège pour ce trimestre met en évidence leur efficacité à représenter les prélèvements de la ressource par les pêcheries, lorsque les échantillonnages sont effectués en nombres suffisants. L'analyse des données de débarquements a permis de mettre en évidence une diminution significative des CPUE de la flottille française au cours de l'année (Fig. 31). Cette diminution s'explique par l'exploitation des agrégations reproductives au premier trimestre dans le nord des Shetlands. Ces agrégations sont facilement localisées et sont constituées principalement de grands individus (âge 5 et +) (Olsen et al., 2009). La strate trimestrielle est donc primordiale pour l'évaluation la ressource prélevée.

De plus, les recrutements<sup>2</sup> contribuent fortement à la biomasse exploitée du stock, mais sont ponctuels. Les individus trop petits ne peuvent être débarqués et sont régulièrement rejetés à la mer, mais très peu survivent (Rochet et al., 2002 ; Díaz et al., 2008). Cependant, ils constituent un prélèvement non négligeable de la biomasse qui devrait être pris en compte pour les évaluations de stock. Une stratification d'échantillonnage pertinente permettrait d'évaluer leur importance tout au long de l'année et ainsi d'identifier les périodes de recrutement. Ce problème a été peu reporté dans le cas du Lieu noir (Enever et al., 2009). En effet, les maillages des chaluts utilisés sont de grande taille (110mm), ce qui permet aux plus petits individus de passer au travers. De plus, cette espèce a la particularité de migrer vers les zones exploitées uniquement lorsque les individus sont supérieurs à la taille réglementaire ( $\geq 35\text{cm}$ ) (Olsen et al., 2009 (Lieu noir Arctique) ; CIEM, 2011c). Le suivi des rejets sur l'ensemble de l'année par le programme Obsmer permettra, entre autres, de confirmer l'absence de rejets sur les juvéniles de Lieu noir.

À partir de ces résultats préliminaires, si le nombre d'échantillonnages Obsmer venait à augmenter et à se distribuer de façon plus homogène tout au long de l'année, il semble tout à fait pertinent d'utiliser ces données et les données Arpège afin de calculer les nombres-aux-âges pour le Lieu noir. La combinaison d'un échantillonnage ponctuel en criée (Arpège) et d'un échantillonnage simultané en mer sur l'ensemble des captures (Obsmer) permettra d'augmenter la quantité de données disponibles et d'améliorer la précision des structures de la population exploitée. La méthode d'échantillonnage en criée est en place depuis de nombreuses années, cependant elle repose sur les structures par catégorie commerciale et non par séquence de pêche, ce qui ne permet pas de les utiliser conjointement avec les données Obsmer pour les élévations. Ainsi, tant que la représentativité des données Obsmer n'aura été validée pour chaque semestre, les élévations ne devront pas se baser uniquement sur ces données. Toutefois, elles pourront confirmer et venir enrichir les structures élevées avec Arpège.

Un autre intérêt majeur des données Obsmer porte sur les congélateurs (la flottille de chalutiers boulonnais se divise entre congélateurs et navires de pêche fraîche). Ils débarquent des tonnages équivalents aux navires de pêche fraîche, cependant les captures sont transformées à bord : les poissons sont mis en filets, congelés et emballés avant d'être débarqués. Ainsi, aucune validation à terre de la structure des captures n'est possible et cette flottille ne peut être utilisée comme flottille française de *tuning*.

---

<sup>2</sup>Le terme « recrutement » peut avoir plusieurs définitions (Fraschetti et al., 2003). Il est utilisé ici en référence à la période de migration des individus immatures depuis les zones côtières vers le large, et donc à leur entrée dans le stock exploitée

Pour pallier ce problème, un programme d'auto-échantillonnage a été mis en place depuis 2008 pour que les professionnels fournissent eux-mêmes les mensurations des individus capturés, qui sont validées lors de quelques échantillonnages lors du débarquement. Cependant, un seul des navires ciblant le Lieu noir le pratique. Les congélateurs sont pourtant d'un grand intérêt, leurs captures et effort de pêche étant nettement plus stables que ceux de la flottille de pêche fraîche (Annexe 3). Cette stabilité s'explique notamment par la stratégie de pêche appliquée par cette flottille. Ces navires n'étant pas limités à des marées de 12 jours, ils dépendent donc moins de leur capacité à identifier les agrégations que les navires de pêche fraîche. Ils favorisent au contraire une exploitation à des taux de captures bas mais réguliers plutôt qu'élevés mais ponctuels (NSRAC, 2012). En comparaison avec la flottille de pêche fraîche, la stratégie des congélateurs en fait une flottille moins susceptible d'être soumise au problème d'hyperstabilité des CPUE (Hilborn et Walters, 1992). S'il se développe suffisamment, le programme Obsmer permettrait, à terme, d'inclure la flottille de congélateurs dans la flottille de *tuning*. Ainsi, les CPUE de cette flottille fourniraient un indice d'abondance plus fiable que l'actuel, car standardisé par la stratégie d'exploitation moins prospective que celle des navires de pêche fraîche.

## **II Évolution spatio-temporelle**

L'exploration des données de captures et d'effort de pêche sur la période de 2000 à 2011 a permis de comprendre les fluctuations majeures observées. Il n'y a plus aucun doute sur la diminution d'abondance des gadidés dans les années 1980, qui a poussé les flottilles françaises à reporter leur effort sur de nouvelles ressources, notamment les espèces profondes (Charreau et al., 1995). Au début des années 2000, avec la mise en place de mesures de gestion sur les pêcheries d'espèces profondes, les flottilles sont retournées à l'exploitation des gadidés, ce qui explique les importantes captures observées au début des années 2000. Holley et Marchal (2004) ont montré que les débarquements de Lieu noir étaient fortement corrélés aux TACs de cette espèce, qui est le déterminant majeur de la stratégie d'exploitation du Lieu noir devant les variations de SSB. La surestimation des TACs peut mener à l'effondrement d'un stock ou au contraire à l'effondrement du prix de vente lorsque la biomasse du stock n'est pas limitante (Karagiannakos, 1996). Entre 2003 et 2005, les TACs de Lieu noir ont augmenté au delà des capacités de captures des flottilles le ciblant, ce qui a fait s'effondrer le prix de vente. Plusieurs navires de la flottille de Boulogne-sur-Mer ont alors changé de stratégie et ciblaient des espèces profondes. Cependant, les TAC ont été fortement réduits en 2005, 2007 et 2008, ce qui a poussé les navires à cibler le Lieu Noir à nouveau. Ce report de l'effort sur les espèces profondes entre 2003 et 2005 semble avoir été favorable au stock de Lieu noir. En effet, les résultats du modèle

utilisé dans ce mémoire ont montré une augmentation de l'abondance entre 2003 et 2006 (Fig. 30). L'augmentation des TACs menant indirectement à une augmentation de la SSB est paradoxale et apparaît comme un bon exemple de la complexité de l'étude des pêcheries, au sein desquelles les aspects écologique et économique agissent en parallèle.

Depuis 2007, le stock de Lieu noir de Mer du Nord Ouest Écosse est exploité au RMD et n'est donc pas soumis à la surexploitation (CIEM, 2009, 2010 ; Biseau, 2011). Toutefois, les résultats de ce travail montrent que la biomasse du stock a significativement diminué entre 2008 et 2010 (Fig. 30a et b), ce qui est consistant avec les résultats de la dernière évaluation du stock par le CIEM (2011, 2012 à paraître). L'étude du patron d'exploitation des catégories commerciales permet d'aller plus loin, et de comprendre l'impact de la diminution de la SSB sur les débarquements. En effet, la flottille française réalise 80 % de ses captures sur les petites classes de taille (Fig. 19a), qui correspondent aux classes d'âge 3 et 4. Les débarquements totaux de la flottille française dépendent donc essentiellement des individus ayant recruté récemment. Aussi, à partir de 2008, la diminution des débarquements des jeunes classes d'âge (Catégorie commerciale 40+, âge 3 - 4) s'est traduite par une augmentation de la proportion des captures de grande classe de taille. Cette augmentation, qui avait été évoquée par les professionnels en 2010 comme une amélioration par rapport à l'année précédente (Napier, 2011), est en fait une conséquence des faibles recrutements successifs de ces dernières années (CIEM, 2011).

De plus, l'exploitation des jeunes classes d'âge soulève plusieurs questions, notamment celle de la durabilité de la pêche. Une pêche ciblant principalement les individus immatures diminue le potentiel de renouvellement du stock, en sortant du système des individus ne s'étant pas encore reproduits et en ne conservant que les individus plus âgés dont la croissance est faible, voire nulle (Cushing, 1995). C'est le phénomène de « surpêche de croissance » ou de « surpêche de recrutement » (Sissenwine et Shepherd, 1987 ; Myers et al., 1994). Or, d'après Olsen et al. (2009) pour le Lieu noir d'Arctique et d'après les ogives de maturité utilisées pour le Lieu noir de Mer du Nord par le CIEM (2011), aucun individu d'âge 3 et seulement 15% des individus d'âge 4 ne sont matures. Ceci met en avant une surpêche de recrutement appliquée par la flottille française sur le stock de Lieu noir. Aussi, il est intéressant de noter que des trois flottilles majeures exploitant le Lieu noir en Europe (France, Norvège, Allemagne), la flottille française est celle exploitant le plus les plus jeunes classes d'âge (Annexe 4).

Le changement de stratégie d'exploitation observé entre 2008 et 2011 ne semble pas avoir été choisi, mais provoqué par la compétition spatiale avec les fileyeurs anglo-espagnols

dans le secteur au nord des Shetlands (Annexe 5). L'augmentation de cette compétition serait une conséquence de la réglementation européenne interdisant les fileyeurs ciblant les espèces profondes à poser leurs filets à plus de 200m de profondeur dans la zone VIa [CE 41/2007] et de plus de 600m dans la zone IVa [CE 1288/2009], ce qui contraint les navires à se rapprocher des zones de pêche de Lieu noir. Ainsi, la mise en place de réglementations pour une autre pêcherie augmenterait le risque de surpêche de recrutement du Lieu noir, en contraignant les pêcheries le ciblant à se délocaliser dans le secteur Est et à exploiter des individus de plus petite classe de taille (Fig. 17 et 18). Ce déplacement de la flottille française a fortement impacté les recrues des années 2009 et 2010 principalement, puisqu'il est moins important en 2011 et serait moindre en 2012 (*Communication personnelle*). De plus, ces deux dernières années présentent de bons recrutements, ce qui devrait permettre d'éviter l'effondrement des TACs. Néanmoins, la surpêche de recrutement en 2009 et 2010 risque de provoquer une baisse de la biomasse de reproducteurs en 2012, et donc des recrutements à venir.

### **III Calibration des CPUE de la flottille de *tuning***

Saulthaug et Aunes (2003) n'avaient pas identifié de relation entre le degré de concentration des flottilles ciblant le Lieu noir et leurs CPUE, mais le rapprochement des deux armements à la pêche hauturière de Boulogne-sur-Mer en 2006 pourrait avoir incité les navires à travailler en coopération. Cependant, et bien que ce résultat reste très simpliste, le fait qu'aucune relation n'ait été trouvée entre le nombre de navires ciblant le Lieu noir et les CPUE ni le nombre d'absences ne semble pas indiquer d'influence majeure de la coopération entre les navires.

Les différentes calibrations de la flottille de *tuning* ont permis de montrer l'importance de la sélection des données à partir desquelles les CPUE sont calculées (Fig. 24). Les CPUE sont plus élevées à mesure que la précision des données augmente. Pour le Lieu noir, la calibration basée sur les navires permet de s'affranchir de ceux ciblant d'autres espèces et qui ne pêchent du Lieu noir qu'en captures accessoires ou pendant quelques marées minoritaires au cours de l'année, comme cela est reporté pour les pêcheries d'espèces profondes (CIEM, 2011c). Toutefois, la sous-estimation des CPUE pendant les années de forte abondance (*e.g.* 2001, 2008) indique que ce niveau de précision n'est pas le plus pertinent, et que la calibration au niveau de la marée améliore significativement les résultats. Il conviendrait donc de calibrer la flottille de *tuning* française en ne considérant que les marées au cours desquelles le Lieu noir était ciblé. L'utilisation de ces CPUE plutôt que des CPUE non standardisées pour l'évaluation du stock pourrait donc favoriser l'identification précoce des fluctuations de biomasse.



Néanmoins, à partir de 2008, les CPUE des différentes flottilles calibrées présentent des variations similaires. Il semblerait donc que la calibration n'ait un effet majeur qu'avant 2008, et qu'entre 2009 et 2011 un même processus ait agi sur l'ensemble de la flottille. L'effondrement des CPUE en 2009 peut s'expliquer en partie par l'influence du secteur de pêche sur les taux de captures. En effet, le modèle utilisé a montré que les taux de captures sont similaires au Nord et à l'Est, mais que la flottille française peine plus à localiser les bancs de poissons dans le secteur Est. De plus, la probabilité de réaliser de bonnes captures au cours d'une marée « Lieu noir » est plus élevée lorsqu'ils restent sur zone. Cela s'explique par le fait qu'ils ont déjà effectué la phase de prospection et auront donc localisé les zones de plus forte abondance. Ainsi, lorsque les navires sont contraints de se déplacer en raison d'une compétition spatiale trop importante, leur probabilité de réaliser de « bonnes » captures est statistiquement plus faible. Le déplacement de la flottille française hors de ses zones de pêche habituelles aurait donc tendance à diminuer leurs CPUE, en augmentant le nombre de séquences de pêche avec de faibles captures. L'augmentation de la surface exploitée à partir de 2009 ainsi que le nombre important d'absences dans le secteur Est et l'effet négatif du changement de zone sur les CPUE indiquent que l'effondrement observé en 2009 n'a pas été seulement provoqué par une diminution de la biomasse du stock, mais par une difficulté accrue à localiser les bancs de poissons à la suite de l'expansion des zones de pêche dans un secteur que les professionnels connaissent peu. L'expansion spatiale en 2009 et 2010 pourrait ainsi avoir provoqué un phénomène d'« hyperdéplétion » (Hilborn et Walters, 1992) des CPUE de la flottille française de *tuning*.

D'autre part, la standardisation des CPUE est utilisée afin de représenter les variations d'abondances avec plus de précision que le simple ratio *Captures/Effort*. La sélection des marées ciblant le Lieu noir est le facteur le plus influant sur les CPUE non standardisées et atténue sensiblement l'effondrement des CPUE en 2009. De même, la suppression de l'effet « Ancienneté » des CPUE rehausse l'indice d'abondance (Fig. 36). Les navires récents qui ont été construits pour les espèces profondes et ont commencé à cibler le Lieu noir en 2005 apparaissent comme moins pêchants. Cet effet pourrait être dû à leur entrée en flotte alors que le stock de Lieu noir était peu abondant, mais cette hypothèse est infirmée par le fait que le stock était en bon état entre 2005 et 2009 et qu'au cours de cette période les navires « récents » présentent des CPUE moyennes plus faibles que les navires anciens. Le renouvellement de la flottille de pêche fraîche par des navires moins pêchant aurait donc conduit à sous-estimer l'abondance du stock exploité par la flottille française à partir de 2005. Ces deux points prouvent que la « vraie » diminution de l'abondance du stock est moins importante que ce que montrent les CPUE non standardisées et confirment l'hypothèse d'une hyperdéplétion des CPUE au cours de l'année 2009.

## F. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La valorisation des données du programme Obsmer a donné des résultats encourageants, même si le trimestre le moins échantillonné fournit une structure de nombres-aux-âges médiocre, le trimestre le plus échantillonné donne des résultats très similaires aux données utilisées actuellement (Arpège). L'intérêt de ces données a été démontré, notamment pour l'évaluation des rejets de juvéniles et la possibilité d'obtenir les structures des captures dans un secteur précis.

Les variations temporelles de l'effort de pêche ont été expliquées par les variations des TACs de Lieu noir et le report de l'effort sur les espèces profondes, qui ont favorisé l'augmentation de la biomasse du stock entre 2003 et 2005. Cependant, à partir de 2008 la compétition spatiale au nord des Shetlands a contraint les navires à une expansion de leurs zones de pêche dans le secteur Est, où ils capturent de plus petits individus. Depuis 2008 également, à la suite de la limitation de jours de mer et de l'augmentation du prix du gasoil, la flottille allemande a modifié sa stratégie d'exploitation et se concentre aujourd'hui dans ce même secteur (CIEM, 2011c ; NSRAC, 2012). Il serait donc intéressant d'évaluer l'impact de la surpêche de recrutement sur le Lieu noir, afin d'évaluer le risque d'effondrement du stock.

Pour la flottille française, cette expansion dans le secteur Est a provoqué une hyperdéplétion de ses CPUE, notamment en augmentant leur difficulté à localiser les zones de forte abondance. Le renouvellement de la flottille de pêche fraîche ainsi que la sélection des marées ciblant le Lieu noir influencent la série des CPUE brutes et la rehausse sensiblement à partir de 2009. Une standardisation de ces données est donc recommandée, et il conviendrait de tester dans quelles mesures l'utilisation des CPUE standardisées modifie les sorties de la XSA.

Enfin, il n'a pas été possible d'identifier et de quantifier la coopération entre les navires, mais il serait intéressant d'approfondir cette problématique, puisqu'elle peut expliquer la meilleure localisation des zones de forte abondance bien que le stock soit en déclin. Il conviendrait donc d'utiliser les données VMS (*Vessel Monitoring System*) afin d'étudier la concentration des navires par rectangle statistique et pendant une même période.

## G. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Bentley, N., Kendrick, T. H., Starr, P. J., Breen, P. A., 2012.** Influence plots and metrics: tools for better understanding fisheries catch-per-unit effort standardizations. *ICES J. Mar. Sci.*, 69, 84–88.

**Biseau, A., 1998.** Definition of a direct effort in mixed-species trawl fishery, and its impact on stock assessment. *Aquat. Liv. Resour.* 11, 119-136.

**Biseau, A., 2011.** Situation en 2011 des ressources exploitées par les flottilles françaises. Rapport Ifremer du Département Ressources biologiques et Environnement. RBE/2011/01.

**Biseau, A., Gondeaux, E. 1988.** Apport des méthodes d'ordination en typologie des flottilles. *J. Cons. int. Explor. Mer* 44, 286-296.

**Bishop, J., 2006.** Standardizing fishery-dependent catch and effort data in complex fisheries with technology change. *Reviews in Fish Biol. and Fish.* 16, 21–38.

**Bishop, J., Venables, W. N., Dichmont, C. M., Sterling, D., 2008.** Standardizing catch rates: is logbook information by itself enough? *ICES J. Mar. Sci.* 65, 255–266.

**Blanc, F., Chardy, P., Laurec, A., Reys, J. P., 1976.** Choix des métriques qualitatives en analyse d'inertie. Implications en écologie marine benthique. *Mar. Biol.* 35, 49-67.

**Breslow, N., 1974.** Covariance analysis of censored survival data. *Biometrics* 30, 89–99.

**Brotons, L., Thuiller, W., Araújo, M.B., Hirzel, A.H, 2004.** Presence-absence versus presence-only modelling methods for predicting bird habitat suitability. *Ecography*, 27, 437-448.

**Callaway, R., Alsvaag, J., de Boois, I., Cotter, J., Ford, A., Hinz, H., Jennings, S., Kroencke, I., Lancaster, J., Piet, G., Prince, P. and Ehrich, S., 2002.** Diversity and community structure of epibenthic invertebrates and fish in the North Sea. *ICES J. Mar. Sci.* 59, 1199-1214.

**Charuau, A., Dupouy, H., Lorance, P., 1995.** French exploitation of the deep-water fisheries of the North Atlantic. *Deep-water Fisheries of the North Atlantic Oceanic Slope.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 337–356.

**CIEM. 2004.** WKSCMFD. Workshop on Sampling Calculation and Methodology for Fisheries Data, 26-30 February 2004, Nantes, France. *ICES CM 2004/ACFM:12.*

**CIEM, 2009.** Report of the ICES Advisory Committee, 2009. *ICES Advice, 2009.* Books 1-11, 1420 pp.

**CIEM, 2010.** Report of the ICES Advisory Committee, 2010. *ICES Advice, 2010.* Books 1 – 11, 1928 pp.

**CIEM. 2011a.** Report of the Benchmark Workshop on Roundfish and Pelagic Stocks (WKBENCH 2011), 24–31 January 2011, Lisbon, Portugal. *ICES CM 2011/ACOM:38.*

**CIEM. 2011b.** Report of the ICES Advisory Committee, 2011. ICES Advice, 2011. Book 1, 226 pp.

**CIEM. 2011c.** Report of the Working Group on the Assessment of Demersal Stocks in the North Sea and Skagerrak, 2011. ICES CM 2011/ACOM:13.

**COST, 2009.** Common tool for raising and estimating properties of statistical estimates derived from the Data Collection Regulation. Studies and Pilot projects for carrying out the common fisheries policy. 66 pp. [wwz.ifremer.fr/cost](http://wwz.ifremer.fr/cost)

**Cushing, D. H., 1995.** Population Production and Regulation in the Sea: a Fisheries Perspective. Cambridge University Press, Cambridge, UK.. 344 pp.

**Díaz, P., Santos, J., Velasco, J., Serrano, A., Pérez N., 2008.** Anglerfish discard estimates and patterns in Spanish Northeast Atlantic trawl fisheries. *ICES J. Mar. Sci.* 65, 1350-1361

**Durbin, J., Watson, G.S., 1950.** Testing for Serial Correlation in Least Squares Regression I. *Biometrika* 37, 409–428.

**Enever, R., 2008.** Northern North Sea Saithe and Cod. 12 month interim report of CEFAS on Fishing Vessel Farnella.

**Enever, R., Revill, A., Grant, A., 2009.** Discarding in the North Sea and historical efficacy of gear-based technical measures in reducing discards. *Fish. Res.* 95,40–46.

**FAO, 2010.** La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 2010

**Fawcett, T., 2006.** An introduction to ROC analysis. *Patt. Recogn. Lett.* 27, 861–874

**Ferraris, J., 1995.** Démarche méthodologique pour l'analyse des comportements tactiques et stratégiques des pêcheurs artisans sénégalais. In *Questions sur la Dynamique de l'Exploitation Halieutique. Colloques et séminaires.* Institut français de Recherche scientifique pour le Développement en Coopération, Paris, 263-295.

**Fraschetti, S., Giangrande, A., Terlizzi, A., Boero, F., 2003.** Pre- and post-settlement events in benthic community dynamics. *Oceanol. Acta* 25, 285–295.

**Harley, S. J., Myers, R. A., and Dunn, A. 2001.** Is catch-per-unit-effort proportional to abundance? *Can. J. Fish. Aqua. Sci.* 58, 1760–1772.

**Hilborn, R., Walters, C. J., 1992.** Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice, Dynamics & Uncertainty. Chapman and Hall, London. 570 pp.

**Holley, J.F., Marchal, P., 2004.** Fishing strategy development under changing conditions: examples from the French offshore fleet fishing in the North Atlantic. *ICES J. Mar. Sci.* 61, 1410-1431.

**Karagiannakos, A., 1996.** Total Allowable Catch (TAC) and quota management system in the European Union. *Mar. Pol.* 20, 235–248.

**Kelleher, K., 2005.** Discards in the world's marine fisheries: an update. FAO Fisheries Technical Paper No. 470. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

**Kendrick, T. H., Bentley, N., 2010.** Fishery characterisation and catch-per-unit-effort indices for trevally in TRE 7, 1989–90 to 2007–08. New Zealand Fish. Assess. Report, 2010/41. 58 pp.

**Laurec, A., Shepherd, J.G., 1983.** On the analysis of catch and effort data. J. Cons. Int. Explor. Mer 41, 81-84.

**Mann, H. B., Whitney, D. R., 1947.** On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other. An. Mat. Stat.. 18, 50-60.

**Marchal, P., Andersen, B., Bromley, D., Iriondo, A., Mahévas, S., Quirijns, F., Rackham, B., Santurtún, M., Tien, N., Ulrich, C., 2006.** Improving the definition of fishing effort for important European fleets by accounting for the skipper effect. Can. J. Fish. Aqua. Sci.63, 510–533.

**Maunder, M. N., Punt, A. E., 2004.** Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches. Fish. Res. 70, 141–159.

**Myers, R., A., Rosenberg, A., Mace, P., M., Barrowman, N., Restrepo, R., 1994.** In search of thresholds for recruitment overfishing. ICES J. Mar. Sci. 51, 191-205.

**Napier, I. R., 2011.** Fishers' North Sea stock survey 2010. NAFC Marine Centre, University of the Highlands and Islands, Scotland.

**NSRAC, 2012.** Report of the NSRAC Demersal Working Group *Focus Saithe*, Hanstholm, Denmark, 11-12 April.

**R Development Core Team. 2008.** R: A language and environment for statistical computing, reference index version 2.13.0. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, [www.R-project.org](http://www.R-project.org).

**Robin, X., Turck, N., Hainard, A., 2011.** pROC: an open-source package for R and S+ to analyze and compare ROC curves. BMC Bioinformatics, 7, 77.

**Rochet, M-J., Peronnet, I., Trenkel, V. M., 2002.** An analysis of discards from the French trawler fleet in the Celtic Sea. ICES J. Mar. Sci. 59, 538–552.

**Sissenwine, M. P., Shepherd, J. G., 1987.** An alternative perspective on recruitment overfishing and biological reference points. Can. J. Fish. Aqua. Sci. 44, 913–918.

Spearman, C., 1904. The Proof and Measurement of Association between Two Things. Am. J. Psychol.15, 72-101.

**Venables, W., Dichmont, C. M. 2004.** GLMs, GAMs and GLMMs: an overview of theory for applications in fisheries research. Fish. Res. 70, 315–333.

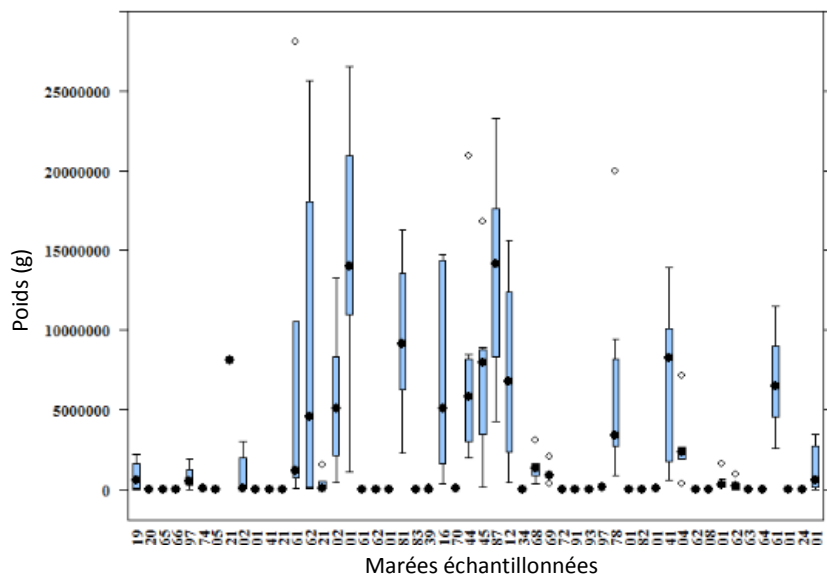
**Vigneau, J., 2006.** Raising procedures for discards: sampling theory. ICES Document CM 2006/K:16.

**Vigneau, J., Mahevas, S., 2007.** Detecting sampling outliers and sampling heterogeneity when catch-at-length is estimated using the ratio estimator. *ICES J. Mar. Sci.* 64, 1028–1032.

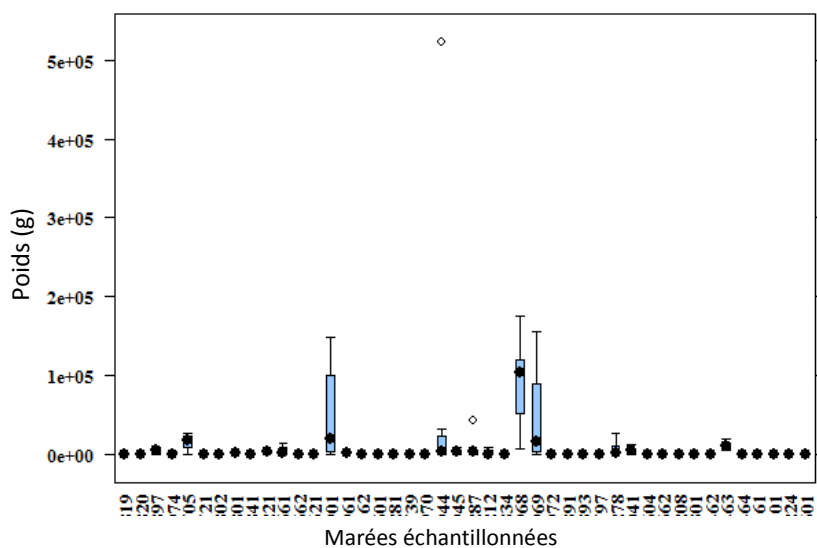
**Wilcoxon, F., 1945.** Individual Comparisons by Ranking Methods. *Biometrics Bull.* 1, 80–83.

**Yang, J. 1982.** An Estimate of the Fish Biomass in the North Sea. *J. Cons. int. Explor. Mer* 40, 161–172.

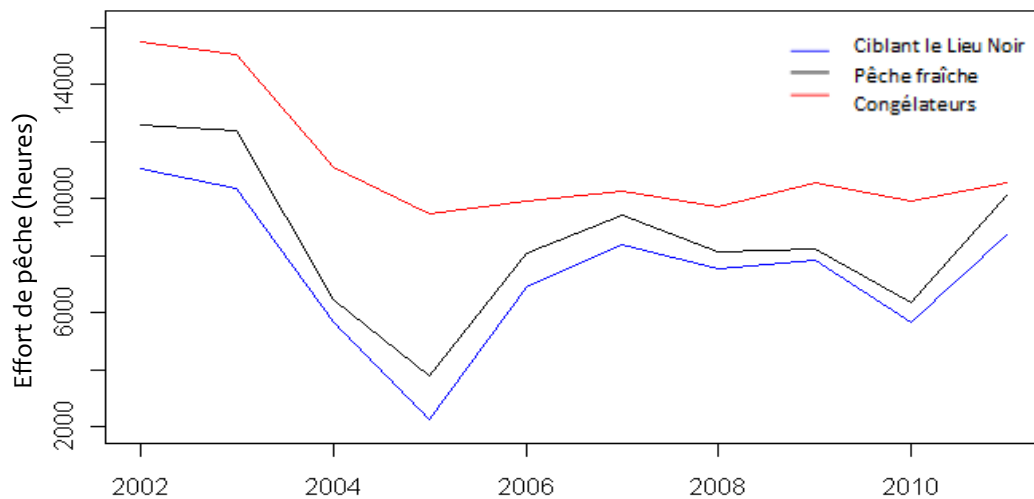
## ANNEXES



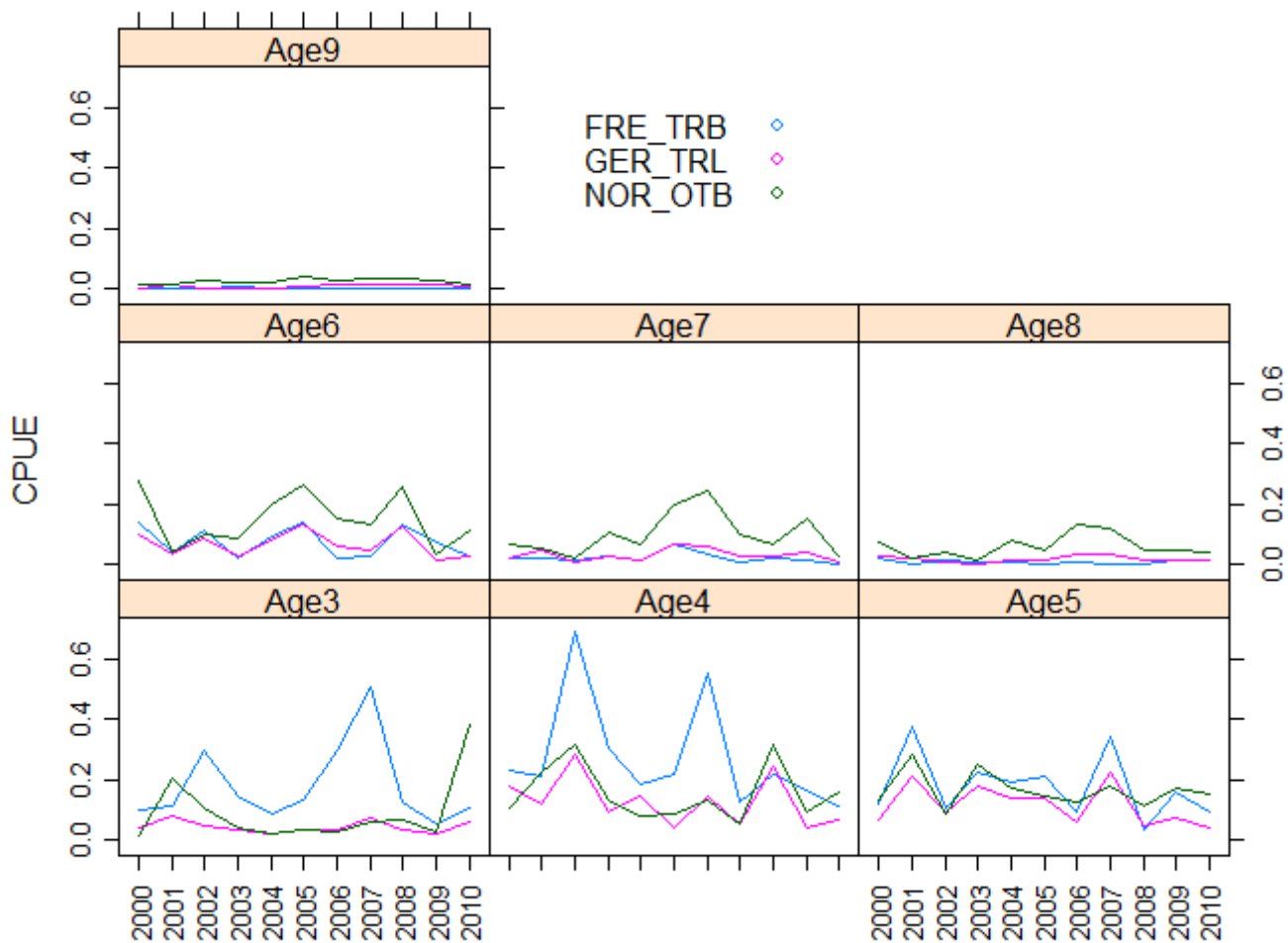
**Annexe 1.** Variation des débarquements de Lieu noir lors des marées échantillonnées dans le cadre du programme Obsmer.



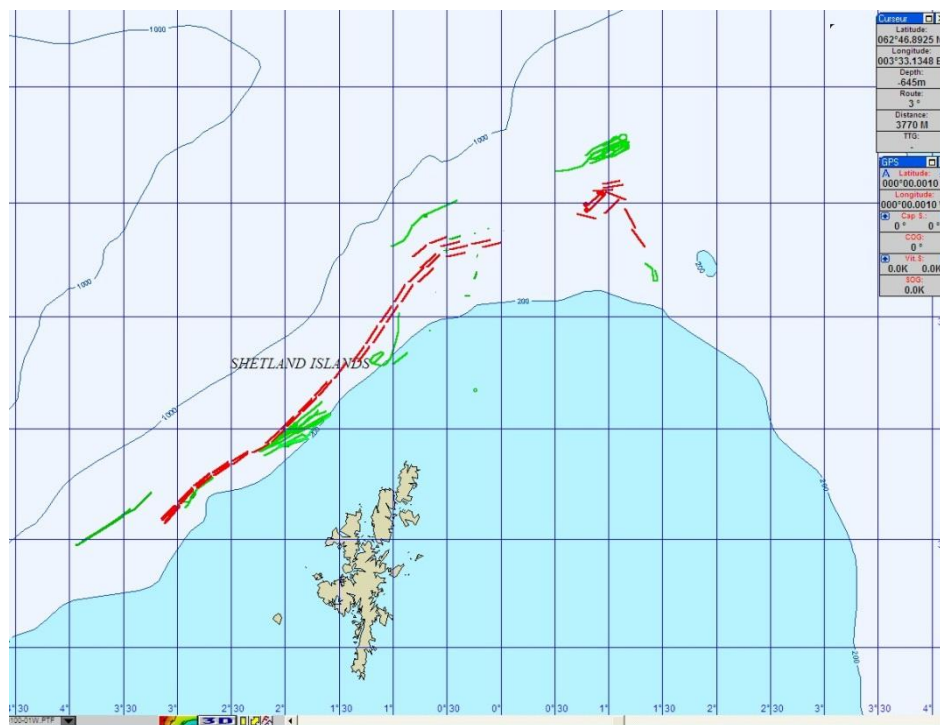
**Annexe 2.** Variation des rejets de Lieu noir lors des marées échantillonnées dans le cadre du programme Obsmer



**Annexe 3.** Évolution de l'effort de pêche des différentes flottilles de chalutiers hauturiers de Boulogne-sur-Mer entre 2000 et 2011 ; les navires ciblant le Lieu noir sont issus de la flottille de pêche fraîche



**Annexe 4.** Évolution des captures de nombres-aux-âges par unité d'effort des flottilles de *tuning* des principaux pays débarquant du Lieu noir entre 2000 et 2010 : française (FRE\_TRB), allemande (GER\_TRL) et norvégienne (NOR\_OTB) (Source des données : CIEM, 2011c)



**Annexe 5.** Carte de la distribution des fileyeurs anglo-espagnols (en rouge) et des séquences de pêche d'un des navires boulonnais ciblant le Lieu noir (en vert) lors d'une marée en 2010. (Source : Armement Euronor)



## GLOSSAIRE

**ALK** : clés taille/âge (*Age-at-Length Keys*), calculées à partir des données de mensurations et de lecture d'âge (otolithes) échantillonnées pour une année et un stock donné.

**Blim** : seuil de biomasse de reproducteurs (SSB) en-dessous duquel le risque de voir compromis le maintien du stock par le renouvellement des générations est très élevé (pas assez de reproducteurs pour assurer des recrutements suffisants).

**Bpa** : seuil de SSB supérieur à Blim qui respecte le principe de précaution de gestion durable des pêcheries établi en 1998.

**Catégories commerciales** : catégories de ventes correspondant au nombre moyen de poissons représentant 27 kg de captures ; regroupées en catégorie 10, 20, 30 et 40 +.

**CIEM** : Conseil International pour l'Exploitation de la Mer (*ICES*) ; groupe d'experts responsable de l'évaluation de tous les stocks exploités par les pays européens, dont le siège est à Copenhague.

**CPUE** : Captures Par Unité d'Effort de pêche utilisées comme indice d'abondance des stocks.

**Flim** : taux d'exploitation (mortalité par pêche, F) au-delà duquel le risque de faire diminuer l'abondance des reproducteurs en-dessous de Bpa est élevé.

**Flottille de *tuning*** : flottille servant de référence pour le calcul des nombres-aux-âges d'un stock et dont la série de Captures Par Unité d'Effort de pêche est utilisée pour la calibration des modèles d'évaluation.

**Fpa** : taux d'exploitation inférieur à Flim qui respecte le principe de précaution de gestion durable des pêcheries établi en 1998.

**FROMNORD** : Organisation de Pêcheurs gérant les Quotas d'espèces de la majorité des navires immatriculés en Manche.

**Log-books** : livres de bord des pêcheurs, doivent être renseignés pour chaque séquence de pêche.

**Marées** : sorties en mer allant de quelques heures (un cycle de marée) à plusieurs mois.

**Nombres-aux-âges** : structure du stock issue des échantillonnages et élevée aux débarquements totaux, nécessaire à l'évaluation des stocks.

**Obsmer** : programme français d'OBServations à la MER, visant à évaluer l'ensemble de la ressource prélevée par les flottilles françaises.

**RMD** : Rendement Maximum Durable (ou *Fmsy*), le taux d'exploitation d'un stock permettant son exploitation à un taux maximal et durable.

**Séquence de pêche** : série d'opérations de pêche effectuées au cours d'une même journée.

**SSB** : biomasse de reproducteurs d'un stock, qui n'inclue donc pas les juvéniles.

**TAC** : Total de Captures Autorisées défini par le Conseil des Ministres et qui s'applique à l'ensemble des pays de l'Union Européenne.

## Evolution de l'activité des flottilles ciblant le Lieu noir en Mer du Nord. Quels impacts sur les CPUE de la flottille de tuning ?

**Résumé :** Alors qu'il était considéré comme le symbole la gestion durable des stocks de Mer du Nord depuis plusieurs années, l'évaluation du stock de Lieu noir 2011 a dévoilé une forte diminution de sa biomasse en 2009. De plus, une augmentation de la compétition spatiale avec d'autres flottilles a été reportée depuis 2008 au nord des Shetlands, où la majorité des captures sont effectuées. La présente étude a été réalisée dans le but de confirmer et d'évaluer l'ampleur des changements de distribution de l'effort de pêche, et de définir s'ils peuvent être mis en relation avec l'effondrement des Capture Par Unité d'Effort (CPUE) observé en 2009. Des analyses exploratoires ont permis de calibrer la flottille de tuning et d'identifier des secteurs de Mer du Nord propres à certaines espèces. Ces facteurs ont ensuite été utilisés comme variables explicatives afin d'évaluer l'impact de la dynamique de la flottille sur leurs CPUE. En raison du grand nombre de faibles captures, la standardisation des données a été réalisée avec un modèle linéaire généralisé de type Delta. Les résultats montrent que le manque de calibration de la flottille de tuning française tend à sous-estimer ses CPUE. Ils mettent également en avant une expansion des zones de pêche ainsi qu'une diminution de l'abondance du stock en 2009, qui, couplée avec un renouvellement de la flottille par des navires moins pêchants, ont provoqué une hyperdéplétion des CPUE de la flottille française de tuning. D'autre part, la représentativité de l'échantillonnage Obsmer a été étudiée pour la première fois sur le Lieu noir, et les nombres-aux-âges ont été élevés à l'aide de COST. Les résultats ont été comparés avec ceux issus de la méthode d'élevation actuelle. Les données se sont montrées fiables lorsque le nombre d'échantillonnages était suffisant, ce qui ouvre de nombreuses possibilités de valorisation.

**Mots-clés :** dynamique des pêcheries ; Captures Par Unité d'Effort ; standardisation ; échantillonnage ; Lieu noir

## Evolution of the activity of the fleet targeting North Sea saithe and its impacts on the CPUE of the tuning fleet

**Summary :** The 2011's stock assessment pointed out an important decrease in the biomass of the North Sea saithe within 2009, while it was regarded for several years as a symbol of the sustainable management of the North Sea stocks. Meanwhile, an increasing spatial competition with other fleets has been reported since 2008 in the North of Shetland, where the majority of catches occur. This study was carried out to confirm and assess the extent of the changes in the distribution of fishing effort and to define if it could be linked to the collapse of the Catch Per Unit Effort (CPUE) in 2009. Exploratory analyses were held to calibrate the tuning fleet and to identify areas of the North Sea specific to certain species. These factors were then used as explanatory variables to assess the impact of the fleet's dynamics on its CPUE. Due to the large number of low catches in the data, standardization was conducted using a double generalized linear model. The study showed that the lack of calibration of the French tuning fleet tends to underestimate its CPUE. It also highlighted an expansion of the fishing effort's spatial distribution and a decrease in the stock abundance in 2009, which, coupled with a renewal plan of the fleet by less efficient vessels, resulted in a hyperdepletion of the CPUE of the French tuning fleet. On the other hand, the representativeness of Obsmer sampling was studied for the first time for North Sea saithe, and numbers-at-ages were raised using COST. The results were compared with those from the current raising procedure. Data were reliable when a sufficient number of sampling was carried out, giving a wide range of possible uses of Obsmer data.

**Keywords:** fisheries dynamics ; Catch Per Unit Effort ; Standardization ; Sampling ; North Sea saithe