



Mémoire de fin d'études
Pour l'obtention du Master Sciences Agronomiques et Agroalimentaires Spécialité
Sciences Halieutiques et Aquacoles

**ÉVALUATION DES RESSOURCES
ICHTHYOLOGIQUES DÉMERSALES DU PLATEAU
CONTINENTAL MAURITANIEN**

Présenté par :

Beyah OULD MEISSA

Soutenu le :

10 septembre 2008



Mémoire de fin d'études
Pour l'obtention du Master Sciences Agronomiques et Agroalimentaires Spécialité
Sciences Halieutiques et Aquacoles

ÉVALUATION DES RESSOURCES ICHTHYOLOGIQUES DÉMERSALES DU PLATEAU CONTINENTAL MAURITANIEN

Présenté par : Beyah OULD MEISSA

Soutenu le : 10 septembre 2008

Devant le Jury

M. Didier GASCUEL	AGROCAMPUS OUEST
M. Etienne RIVOT	AGROCAMPUS OUEST
M. Jérôme GUITTON	AGROCAMPUS OUEST
Mme. Sylvie GUÉNETTE	UNIVERSITY OF BRITISH COLUMBIA

Diffusion du mémoire

à remplir par l'auteur avec le maître de stage.

Aucune confidentialité ne sera prise en compte si la durée n'en est pas précisée.

Préciser les limites de la confidentialité ⁽¹⁾ :

Mémoire de fin d'études

Consultable sur place : oui non

Reproduction autorisée : oui non

Prêt autorisé : oui non

Confidentialité absolue : oui non
(ni consultation, ni prêt)

Durée de la confidentialité ⁽²⁾ : aucune

Fiche de résumé du mémoire de fin d'études :

Résumé diffusable : oui non

Version pdf du mémoire de fin d'études :

Version diffusable en ligne : oui non

Si oui, l'auteur complète l'autorisation suivante :

Je soussigné(e) _____, propriétaire des droits de reproduction dudit résumé, autorise toutes les sources bibliographiques à le signaler et le publier.

Date :

Signature :

Rennes, le

Le Maître de stage ⁽³⁾,

L'auteur,

L'Enseignant responsable ⁽³⁾,

(1) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation d'Agrocampus Rennes s'engagent à respecter cette confidentialité.

(2) La durée maximale de confidentialité est fixée à 10 ans.

(3) Signature et cachet de l'organisme

	Pôle Halieutique : Spécialisation ou spécialité SHA...dominante REM Enseignant responsable : Etienne RIVOT	Cadre réservé à la bibliothèque centrale
Auteur(s) : Beyah OULD MEISSA	Organisme d'accueil : Pôle Halieutique ; AGROCAMPUS OUEST	
Nb pages : 35 Annexe(s) :	Adresse : 65, rue de Saint Briec	
Année de soutenance : 2008	Maître de stage : Didier GASCUEL	
Titre : ÉVALUATION DES RESSOURCES ICTHYOLOGIQUES DÉMERSALES DU PLATEAU CONTINENTAL MAURITANIEN		
Résumé : Ce travail est une première contribution à l'évaluation des ressources ichthyologiques démersales du plateau continental mauritanien. A l'exception des Céphalopodes (surtout le Poulpe) et de quelques travaux assez préliminaires concernant les crevettes et les merlus, aucune étude antérieure ne permettait réellement de préciser l'état des ressources démersales. En particulier, aucun modèle de dynamique des populations n'avait été mis en œuvre concernant les poissons démersaux (Thiof, Courbine, Diagramme, Pagre, Sole, etc). Dans un premier temps, ce mémoire a permis d'estimer les captures spécifiques de ces poissons démersaux au cours de la période 1991-2006 ; cette estimation s'appuie sur le croisement de deux bases de données : la base des "journaux de bord" où les statistiques sont agrégées par catégorie d'espèces et la base de données "débarquements" (utilisées dans ce mémoire pour la première fois) où sont enregistrés les profils de captures spécifiques. Dans une seconde partie, à partir des CPUE de la pêche industrielle, des indices d'abondance sont estimés par modélisation linéaire (GLM) pour une sélection de 8 espèces ; ils complètent les estimations antérieurement effectuées à partir des données issues des campagnes de chalutage scientifique. La dernière partie du mémoire est consacrée à l'évaluation des stocks par les modèles de production (ou modèles globaux). La surexploitation de certaines espèces est démontrée dans les diagnostics notamment pour les espèces les plus côtières, cependant d'autres affichent une situation de surexploitation modérée voire de sous-exploitation. Le modèle global à l'équilibre semble être plus robuste que le modèle dynamique ajusté dans le cadre Bayésien ; ceci est vraisemblablement lié au faible nombre d'années (16ans) disponible dans les jeux de données.		
Abstract : This work is a first contribution to the assessment of the demersal ichthyologic resources of the continental shelf Mauritania. Except for the Cephalopods (especially the octopus) and some preliminary works concerning shrimps and hakes, no previous study provides accurate demersal stocks assessment. In particular, no population dynamic model had been implemented for demersal fish (white grouper, meagre, rubberlip grunt, seabream, sole..). Firstly, this work provides specific catches estimated for these fish during the period 1991-2006, based on two databases. The logbook data where the statistics for fish are aggregated by species category and the "landing" data in which species are reported separately (used for the first time in the study). Secondly, indices of abundance for 8 species are estimated using the CPUE of the industrial fleet and the generalized linear model (GLM). They supplement previous assessments carried out from scientific trawl surveys. The last part of the report is devoted to stocks assessment using production models. Analyses show the most coastal species are overexploitation, while others are characterised as moderate overexploitation or underexploited. Equilibrium production model seems to be more robust than a Bayesian dynamic production model, which is probably related to the short time series used (16 years).		
Mots-clés : Poissons démersaux ; GLM ; modèle global	Diffusion : Non limitée Limitée (préciser au verso)	

Je soussigné propriétaire des droits de reproduction du résumé du présent document, autorise toutes les sources bibliographiques à signaler et publier ce résumé.

Date :

Signature :

Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu Le Directeur de l'IMROP Dia Mamoudou et les hauts responsables de cet Institut de m'avoir accordé cette formation. J'espère être à la hauteur de leur confiance et de leurs attentes.

Mes plus sincères remerciements vont ensuite à mon Maître de stage M. Didier Gascuel d'avoir accepté d'encadrer avec enthousiaste ce travail et de la grande confiance dont il a fait preuve. Je tiens à préciser que son savoir, ses conseils et sa grande expérience dans la sous région Ouest Africaine et plus particulièrement la Mauritanie m'ont été très utiles pour l'accomplissement de ce travail. Qu'il trouve ici ma reconnaissance.

Je remercie également M. Etienne RIVOT mon Enseignant responsable, pour sa coopération et pour les éclaircissements qu'il m'a apportés dans la partie statistique bayésienne dont lui seul est le Maître à l'Agrocampus Ouest.

Mes remerciements vont également à tous les enseignants et employés du pôle halieutique notamment Olivier LE PAPE, Richard SABATIE, Guy FONTENNELLE, Hervé LE BRIS, Cathrine LE PENVEN et spécialement à la secrétaire pédagogique Cathy COURTIN pour sa disponibilité sans faille durant toute ma formation à l'ENSAR.

Merci encore aux doctorants et stagiaires du Pôle et plus particulièrement, Youen VERMARD mon voisin de bureau et pour la musique de réveil dans les instants de sommeil, un grand merci à Sébastien, les deux m'ont beaucoup aidé dans mes apprentissages du logiciel R. Merci à Timothée, à Sylvain, Marianne, et à Brahim. Merci à mes amis cheikh baye, Chumade, Kane et Mauloud. Et finalement merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à mon travail.

Table des matières

Introduction	3
1. Les pêcheries démersales mauritaniennes : présentation et estimation des captures spécifiques.....	4
1.1. Tendance des captures totales et de l'effort de pêche	4
1.1.1. Pêche industrielle	4
1.1.2. Pêche artisanale.....	7
1.2. Estimation des captures par espèce, pour les poissons démersaux dans la ZEE mauritanienne (1991-2006).....	8
1.2.1. Les bases de données utilisées	8
1.2.2. Méthode d'estimation	9
1.2.3. Résultats de la ventilation	10
1.2.4. Conclusion.....	12
2. Evolution de l'abondance des principales espèces	13
2.1. Méthode.....	13
2.1.1. Estimation à partir des CPUE commerciales	13
2.1.2. Estimation d'après les données des campagnes scientifiques	15
2.2. Résultats des GLM	16
2.2.1. Indices d'abondance d' <i>Epinephelus aeneus</i> (thiof) :.....	17
2.2.2. Indices d'abondances de quatre espèces de poissons démersaux.....	19
2.2.3. Conclusion.....	22
3. Evaluation des stocks	23
3.1. Méthode.....	23
3.1.1. Principe général.....	23
3.1.2. Ajustement "à l'équilibre"	24
3.1.3. Ajustement du modèle dynamique dans un cadre Bayésien	25
3.2. Résultats et diagnostics sur l'état d'exploitation des stocks.....	27
3.2.1. Thiof (<i>Epinephelus aeneus</i>)	27
3.2.2. Synthèse diagnostics pour toutes les espèces étudiées:	31
4. Conclusion et perspectives	34
Bibliographie :	36
Annexes	38
Annexe A : Quelques précisions sur la fiabilité des bases de données	38
Annexe B Captures spécifiques estimées	41
Annexe C : Indices d'abondances	43
Annexe D : Sorties des modèles GLM	466
Annexe E : Ajustement du modèle global des espèces évaluées.....	49
Annexe F : Formules à l'équilibre des modèles globaux	51
Annexe G : Script modèle Bayésien.....	53
Annexe H : Impact de l'environnement sur le stock du thiof	55
Annexe I : Script GLM.....	56

Introduction

Les ressources halieutiques démersales (céphalopodes, poissons et crustacés) de la Mauritanie font l'objet d'une exploitation soutenue et active. En plus des flottilles artisanales et industrielles nationales qui exploitent ces ressources démersales, une flotte européenne opère également dans la ZEE mauritanienne dans le cadre d'accords de pêche entre la Mauritanie et l'UE. La capture totale de ces espèces est aussi estimée à environ 150 000 tonnes. En 2001, elles représentent 75% de la valeur totale des exportations des produits de la pêche, pour seulement 31% des quantités (source: douanes pêche). Le reste des captures est constitué de poissons pélagiques (69%). En plus de leur haute valeur commerciale, les ressources démersales contribuent fortement à la biodiversité de l'écosystème de la ZEE mauritanienne.

Au cours des deux dernières décennies, l'effort de pêche s'est fortement accru et l'abondance des ressources démersales a diminué de manière très significative (Gascuel et al., 2007). Dans le même temps, et à l'exception des Céphalopodes (surtout le Poulpe) et de quelques travaux assez préliminaires concernant les crevettes et les merlus, aucune évaluation de stock ne permet réellement de préciser l'état de ces ressources notamment les poissons démersaux (Thiof, Courbine, Diagramme, Pagne, ext...). Ainsi, aucun modèle de dynamique des populations n'a été mis en œuvre et on connaît fort mal : les potentiels de capture, les niveaux actuels d'excédant d'effort de pêche, l'importance des éventuels phénomènes de mésexploitation, etc. L'objectif de ce travail est donc de contribuer à combler cette lacune, en réalisant une première évaluation des ressources ichtyologiques démersales du plateau continental de Mauritanie et en dressant un diagnostic de l'état actuel des stocks exploités.

Cette évaluation est compliquée par deux difficultés. D'une part, les captures sont très fortement pluri-spécifiques et des phénomènes de successions entre espèces exploitées ont été observés dans le passé. D'autre part, et de manière plus technique, l'évaluation de stock se heurte en Mauritanie à un problème de granularité des données disponibles. Les statistiques de la pêche industrielle sont enregistrées par la Délégation à la Surveillance des Pêches et au Contrôle en Mer (DSPCM) depuis 1991, mais la majorité des captures est enregistrée dans les journaux de bord par catégories commerciales pluri-spécifiques. Les captures par espèces sont donc difficiles à obtenir et souvent imprécises. Une première ventilation a été proposée lors du groupe de travail 2006 de l'IMROP (Institut Mauritanien de Recherches Océanographiques et des Pêches), à partir des données issues des observateurs embarqués à bord des navires étrangers (Gascuel et al., sous presse). Cette approche sera reconduite ici avec des améliorations significatives notamment par l'utilisation pour la première fois de la base de données des mises à terre des navires débarquant en Mauritanie.

Ce mémoire poursuit plusieurs objectifs et conduira à mettre en œuvre les principales méthodes d'évaluation de stock, depuis les procédures d'extrapolation et de ventilation des données, jusqu'à la mise en œuvre des modèles usuels de dynamiques des populations. Il comportera donc les trois étapes suivantes :

- Présentation des pêcheries démersales mauritaniennes et estimation des captures spécifiques des poissons démersaux sur la période 1991-2006 ;
- Modélisation des indices d'abondance par les méthodes de type GLM appliquées aux données des navires commerciaux ;
- Ajustement du modèle global et diagnostic pour l'ensemble des stocks sélectionnés, avec un ajustement sous l'hypothèse d'équilibre et par le Maximum de vraisemblance et un ajustement dynamique par l'approche Bayésienne.

1. Les pêcheries démersales mauritaniennes : présentation et estimation des captures spécifiques

Les ressources démersales¹ du plateau continental et du talus mauritaniens sont d'une manière générale extrêmement diversifiées en raison de l'influence des courants des Canaries et de Guinée. En effet la zone maritime mauritanienne constitue une transition entre deux systèmes : celui des Canaries au nord et celui de Guinée au sud. Le phénomène d'upwelling, qui est un des facteurs déterminants pour la zone, est permanent au nord et saisonnier dans le sud de la Mauritanie; sa variabilité interannuelle est très forte (Failler et al., 2006).

1.1. Tendance des captures totales et de l'effort de pêche

1.1.1. Pêche industrielle

➤ *Flottes et nombre de navires*

Différents types de flottes industrielles existent en Mauritanie. D'une part, des flottes nationales de chalutiers démersaux ciblant essentiellement le poulpe ; cette flotte inclut les navires dits chinois² qui opèrent sous pavillon mauritanien. D'autre part, une flotte étrangère qui exploite les ressources pélagiques (plus de 600 000 tonnes par an). Enfin des flottes étrangères (notamment espagnole) spécifiques visant également les céphalopodes, les crevettes et les merlus. Pour simplifier cette présentation des pêcheries démersales on ne distinguera pas les navires par nationalité. Cependant, notons que la flotte nationale n'est présente d'une manière significative que dans la flotte céphalopodière (navires détenant la licence céphalopodes). Par ailleurs, il existe deux types de chalutiers démersaux, les congélateurs et les glaciers (ces derniers étant plus côtiers). Ces derniers portent plus d'intérêt aux poissons démersaux (FAO-CNROP, 95)

Le nombre de navires ciblant les pélagiques reste constant sur toute la période étudiée (figure 1). Cependant il faut signaler que la puissance de ces navires a beaucoup augmenté ces dernières années avec l'arrivée des gigantesques chalutiers hollandais et irlandais. Notons que les navires pélagiques opérant en ZEE mauritanienne sont entièrement de propriété étrangère, principalement russe et hollandaise.

Le nombre de navires céphalopodières semble se stabiliser ces dernières années à 190 navires environ après une hausse significative en 1995-1997 (230 chalutiers environ), suite à l'arrivée des navires de l'union européenne à cette époque dans le cadre du deuxième³ accord communautaire entre la Mauritanie et l'Union européenne.

Les crevettiers sont en accroissement régulier depuis 1991 pour atteindre 83 navires en 2002, suite à une croissance avérée des ressources de crevettes.

Les merluttiers, contrairement aux céphalopodières, voient leur nombre diminuer pendant la période 1996 à 2000. Cette date coïncide avec le deuxième accord de pêche entre la Mauritanie et l'Union européenne. Ceci résulte probablement des choix de quelques pays de l'UE, l'Espagne en l'occurrence dans l'allocation des licences de pêche par navire.

¹ Le terme ressources démersales désigne toutes les espèces qui vivent inféodées au fond contrairement aux pélagiques qui vivent en plein eaux.

² Les navires chinois sont affrétés par des armateurs mauritaniens et bénéficient donc des mêmes droits d'accès que les autres navires nationaux. Ainsi tous les navires affrétés par les armateurs mauritaniens sont considérés comme des navires nationaux et pas étrangers dans la suite des traitements.

³ Le premier accord communautaire couvre la période 1987-1991.

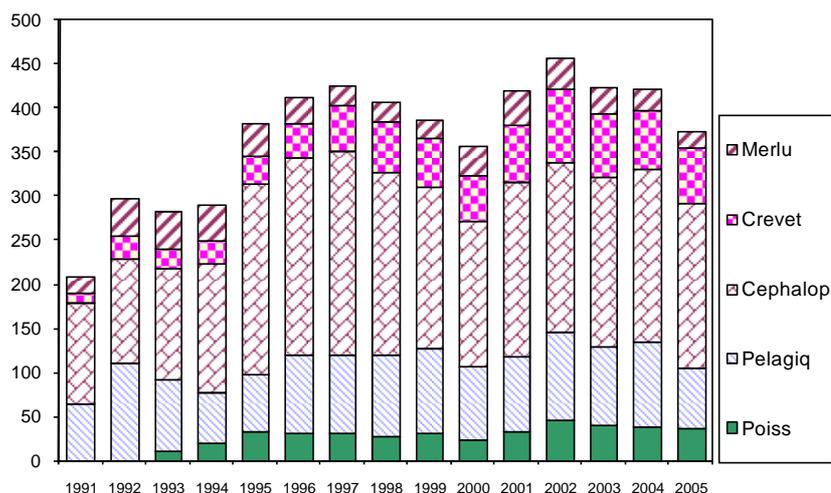


Figure 1: Nombre cumulé de navires par licence de pêche (source : base de données des journaux de bord DSPCM)

➤ Evolution de l'effort de pêche

L'effort de pêche appliqué sur les poissons démersaux peut être mesuré par deux approches :

Soit par l'effort global de toutes les pêcheries industrielles, mesuré en heure de pêche d'après la base de données des journaux de bord. Cet effort global inclut donc les flottilles qui capturent des poissons démersaux comme prises accessoires, mais qui peuvent représenter une part essentielle de la pression de pêche exercée sur ces espèces. C'est en particulier le cas des navires céphalopodes et pélagiques.

Ou bien par la sélection des unités de pêche dites Poissonniers⁴. Ces navires nommés Poissonniers sont sensé pêcher majoritairement des poissons démersaux et accessoirement (par limitation en pourcentage) les céphalopodes et les merlus, qui visiblement constituent pourtant la majorité de leurs captures (FAO, 2006). En plus, ils sont caractérisés par de forts changements de stratégies de ciblage des espèces. L'analyse de l'évolution de l'effort de pêche montre une pente positive des efforts de pêche (figure 2). L'effort global (toutes flottilles confondues) est multiplié par deux et demi sur 15 ans, et celui des poissonniers par trois et demi si on prend en compte la première année. Le pic principal en 2002 est dû à une arrivée massive des navires espagnols poissonniers.

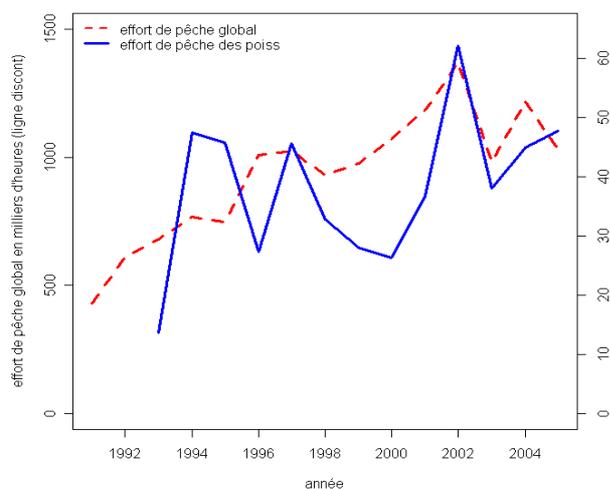


Figure 2 : Evolution de l'effort de pêche global et de l'effort de pêche des poissonniers (en milliers d'heures de pêches); source : base de données journaux de bord IMROP

⁴ Les navires appelés poissonniers sont ceux qui détiennent dans la base de données journaux de bord l'une des licences suivantes : LG, LH, NE et AE.

➤ Evolution des captures

Les captures totales déclarées par la pêche industrielle y compris les pélagiques, sont estimées à 380 mille tonnes environ en 1991 et dont les démersaux ne constituent que 14% (figure 3). Les captures des pélagiques sont en croissance et la capture industrielle totale déclarée atteint presque 800 mille tonnes en 2002. Différentes tendances d'évolution des ressources démersales sont observées. Tandis que les captures de céphalopodes sont en baisse continue sur toute la période, les crustacés en l'occurrence les crevettes semblent augmenter depuis le début de la période étudiée pour se stabiliser pendant les trois dernières années à une production moyenne de 5200 tonnes environ. La production de merlus est restée autour de la moyenne globale de 10 000 tonnes environ, avec quelques fluctuations marquées par deux pics en 92-93 et 01-02 (figure 3-b).

Les poissons démersaux sont notamment capturés en tant que prises accessoires des pêcheries ciblant d'autres espèces telles que les pélagiques, les céphalopodes et les crustacés. Ce groupe dont sont exclus les merlus qui sont l'objet d'une pêche spécifique, comprend une large gamme d'espèces dont le détail n'est pas enregistré dans les déclarations reportées dans le journal de pêche (ou de bord), base principale des statistiques mauritaniennes depuis 1991. Seules les espèces ciblées sont bien identifiées (poulpe, merlus, baudroie, crevettes et espèces pélagiques principales). Le groupe des poissons démersaux est regroupé dans deux grandes catégories : Dorades roses et les Divers démersaux. Pour certaines flottilles, seul le groupe des Divers démersaux est mentionné (sans séparation de Dorade roses) (COPACE, 2003). Ainsi la nomination poissons démersaux sera utilisé dans la suite pour désigner ces deux catégories d'espèces (Dorades roses et les Divers démersaux), qui feront l'objet d'une ventilation pour l'obtention des estimations de captures par espèce, et alimenteront dans la suite les Modèles de Productions de Biomasses (MPB ou Modèles globaux) dans la troisième partie.

Les captures de ces poissons démersaux de la pêche industrielle (figure 3-b) montrent une tendance à la hausse au début des années 90 jusqu'en 1997, puis chutent à partir de 2003 après une forte fluctuation. Si la tendance à la hausse est liée à une augmentation de l'effort de pêche global, celle à la baisse dans les dernières années ne peut être interprétée que par une diminution de l'abondance des poissons démersaux notamment ceux de grandes valeurs commerciales. Diop M. et al. (2002) montrent que l'évolution des captures des poissons démersaux est étroitement liée à celle des débarquements du poulpe, qu'en période d'abondance du poulpe, la flottille céphalopodière débarque peu de poissons; par contre en période de "soudure", les poissons démersaux sont abondamment débarqués. Sauf que depuis 2003 cette chute de capture est observée en même temps chez le poulpe et les poissons démersaux, vraisemblablement due à l'accroissement de l'effort de pêche sur les poissons démersaux suite à la surexploitation incessante du stock de poulpe. Gascuel et al. (2006, sous presse) signalent que le développement qu'a connu le secteur de la pêche artisanale au cours des années 90 en plus de la surexploitation du poulpe ont fait que l'effort de pêche artisanal et celui de la pêche industrielle se sont reportés en partie sur les poissons démersaux. La production industrielle des poissons démersaux représente ces dernières années 14 600 tonnes.

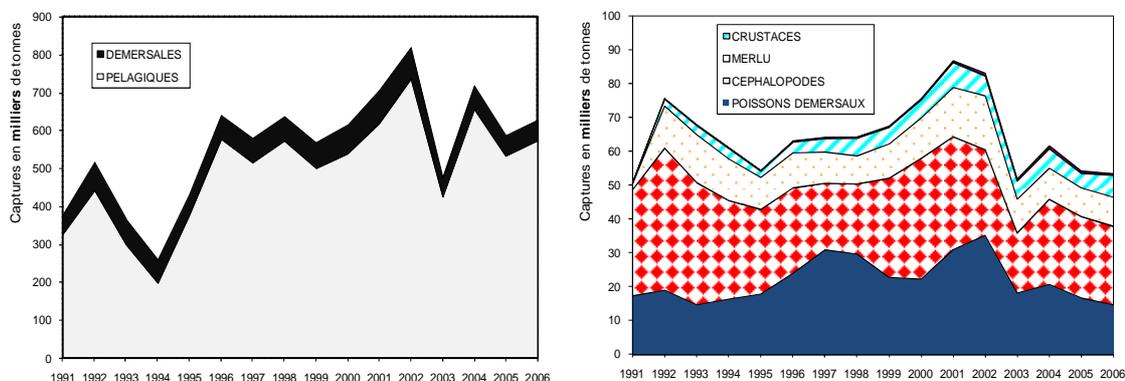


Figure 3 : Evolution des captures (en milliers de tonnes) de la pêche industrielle par groupe d'espèces ; avec pélagiques (à gauche) ; sans pélagiques (ressources démersales, à droite); (source : base de données des journaux de bord)

Notons également que les premières années de la base de données des journaux de bord sont souvent considérées les moins fiables sur toutes les séries de données. Ainsi, Beyah et al. (rapport d'atelier, 2005) montrent, qu'une comparaison entre des séries de données issues de cette base et d'autres issues de la base de données des journaux de bord de l'Espagne, permet d'illustrer que pour une même flottille (merluttiers espagnols par exemple) les chiffres sont sous-estimés dans les bases de données mauritaniennes entre 1991 et 1994. En revanche une nette convergence des séries s'observe à partir de 1995, ce qui correspond à l'entrée en vigueur de l'accord de pêche entre la Mauritanie et l'union européenne. D'une part, on peut imaginer qu'à cette période les navires étrangers notamment espagnols se trouvaient plus dans l'obligation de rendre leurs journaux de bord aux autorités mauritaniennes. D'autre part, l'amélioration pourrait être tout simplement liée à des perfectionnements fonctionnels de l'établissement chargé de la gestion de cette base de données à savoir la DSPCM (Délégation à la Surveillances des Pêches et au Contrôle en Mer).

1.1.2. Pêche artisanale

La pêche artisanale en Mauritanie est définie par une loi de pêche de 2002, comme toute pêche à pied ou à l'aide de navires non pontés (le cas des pirogues), motorisés ou non, d'une longueur hors tout inférieure ou égale à quatorze (14) mètres, et opérant avec des engins de pêche manuels à l'exception de la senne tournante coulissante.

Cette pêcherie cible essentiellement les espèces à haute valeur commerciale comme le poulpe, les soles, la courbine, le thiof, les requins, les daurades et le mullet. Une grande partie de sa production est destinée à l'exportation, néanmoins la pêche artisanale alimente aussi le marché local en poissons. Plusieurs zones de débarquement existent le long des côtes mauritaniennes notamment : Nouadhibou, Banc d'arguin, Nouakchott et quelques campements au Sud. La répartition spatio-temporelle du parc d'embarcations montre que certains engins sont spécifiques à certaines zones (Failler et al., 2006).

Lors du groupe de travail de l'IMROP en 2006 (IMROP, 2007) une estimation des captures totales de la pêche artisanale est produite après avoir testé plusieurs méthodes d'extrapolation. En effet, cette estimation est compliquée par l'absence de données dans une partie des strates temporelles et spatiales en principe couvertes par le système de suivi de cette pêcherie. L'évolution des captures estimées montre une croissance de la production de cette pêcherie, à l'exception de 1998 qui montre une augmentation brutale par rapport à la tendance globale. L'évolution de l'effort de pêche semble être en concordance avec celle des captures, sauf en 1999.

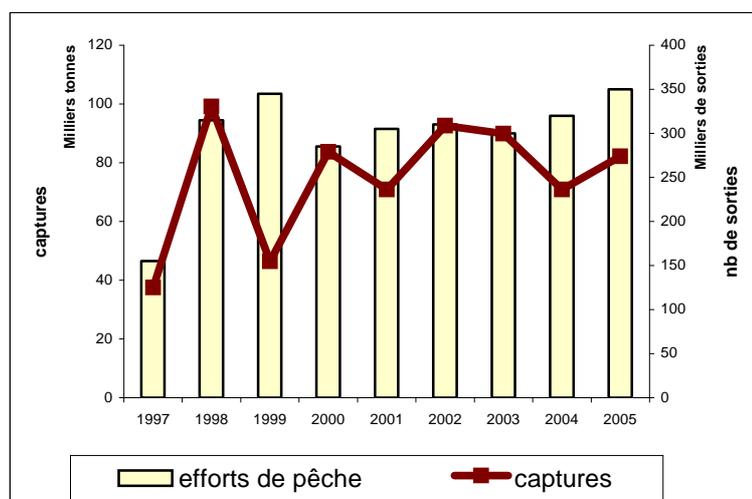


Figure 4 : Evolution des captures (en milliers de tonnes) toutes espèces confondues et de l'effort de pêche (en milliers de nombre sorties) de la Pêche artisanale mauritanienne. Source : base de données Pêche artisanale IMROP

Une analyse plus approfondie des captures montre qu'au cours des années récentes, la composition des captures de la pêche artisanale est de plus en plus diversifiée. A Nouadhibou (capitale économique et principale ville de pêche en Mauritanie) cette activité est orientée vers les soles comme une des meilleures alternatives en période de faible rendement de poulpe. Au niveau du Banc d'arguin, en plus des mulets et de la courbine (*Argyrosomus regius*), la pêche cible les raies et les requins. A Nouakchott et vers le sud le maximum de diversité est observée. Les captures sont dominées par les serranidés (genre *Epinephelus*), les sparidés (Dorades roses et dorades grises), les poissons plats (soles) et des capitaines (Scianidés). Notons que Nouadhibou contribue à 50% des captures totales de la pêche artisanale suivi par Nouakchott et de loin par les autres sites (d'après le rapport de la commission pêche artisanale du groupe de travail de l'IMROP, IMROP (2007)). Le même rapport souligne une hausse régulière des captures des principaux groupes d'espèces de poissons démersaux pêchés par ce segment. La même tendance est observée dans l'évolution du nombre de sorties des différents métiers (filet à courbine et senne tournante).

1.2. Estimation des captures par espèce, pour les poissons démersaux dans la ZEE mauritanienne (1991-2006)

Cette estimation consiste à désagréger les statistiques de pêche. Lors du groupe de travail de l'IMROP en 2006, une estimation a été faite des captures par espèce par année, pour la pêche industrielle démersale depuis 1991 et pour la pêche artisanale depuis 1997 (Gascuel et al., 2006). Les estimations concernant la pêche artisanale sont entièrement conservées dans la présente étude, cependant elles sont complétées par une estimation des captures spécifiques des années plus anciennes (1991-1996).

1.2.1. Les bases de données utilisées

Trois principales bases de données sont utilisées pour cette estimation : Statistiques des journaux de bord, données observateurs et données débarquements.

➤ Base de données des journaux de bord de la DSPCM

Les journaux de pêche ou journaux de bord gérés par la Délégation à la Surveillance des Pêches et au Contrôle en Mer (DSPCM) sont les principales sources d'informations sur les pêcheries mauritaniennes à partir desquelles sont produites les statistiques officielles. Ce système a été élaboré et mis en opération depuis 1991. Chaque bateau de pêche est obligé de tenir à jour un journal de pêche. Les déclarations sont faites quotidiennement, par espèce ou groupe d'espèces et en précisant la zone de pêche sur la base d'un découpage de la ZEE Mauritanienne en carrés statistiques.

➤ Bases de données observateurs :

On note l'existence de deux bases de données observateurs à l'IMROP, l'une portant sur les navires pélagiques et l'autre sur les navires de pêche de fond (démersaux). Ces bases sont le recueil des données collectées par les observateurs scientifiques à bord des navires de pêche étrangers de l'UE dans le cadre de l'accord de pêche avec la Mauritanie. Des précisions sur cette base de données et sur sa fiabilité sont données en annexe.

➤ Base de données débarquements gérée par l'IMROP

Cette base contient les débarquements des navires nationaux qui débarquent en Mauritanie à savoir principalement les céphalopodières. Elle couvre une période assez longue (1990/2007) avec des débarquements par espèces, notamment pour les céphalopodes et les poissons démersaux auxquels on s'intéresse ici. Il est donc possible de ventiler les captures des catégories agrégées grâce aux profils spécifiques calculés sur la base des données au débarquement (au lieu d'utiliser celles des observateurs qui sont des échantillons collectées exclusivement à bord des navires étrangers). Cette utilisation est la première exploitation de cette base de données, jusqu'à là omise dans les ordinateurs de l'IMROP.

Néanmoins, certaines espèces restent toujours regroupées en catégories commerciales, ce qui ne permet pas d'avoir à priori leurs statistiques séparées. Ainsi nous essayons de ne retenir pour les évaluations que les espèces pour lesquelles ces statistiques séparées précisément existent dans cette base de données. On ne prétend donc pas affiner les estimations des captures de l'ensemble des espèces démersales mais on se contentera de celles qui représentent moins de difficultés d'identification et dont les statistiques sont disponibles par espèce. Probablement, une partie des captures reste cependant toujours omise dans quelques regroupements nommés Divers. Des précisions sur la fiabilité de cette base sont également données en Annexe.

1.2.2. Méthode d'estimation

Globalement, la méthode consiste à faire le produit entre les captures agrégées et des profils spécifiques calculés à partir des bases de données scientifiques (observateurs, débarquements et extrapolations de la pêche artisanale). Ces profils spécifiques sont calculés pour chaque type de licence de pêche par mois puis une moyenne est calculée par année. L'estimation réalisée en 2006 des captures spécifiques de la pêche industrielle se base sur des profils spécifiques calculés uniquement à partir des données "observateurs" embarquant à bord des navires étrangers. Or la composition spécifique peut être différente entre la flotte nationale et la flotte étrangère.

On se propose donc ici d'améliorer l'estimation des captures de la pêche industrielle démersale pour la catégorie Divers démersaux par la prise en compte de nouveaux éléments dans la ventilation, et notamment la base de données aux débarquements qui ne concerne elle que la flottille nationale (les navires étrangers ne débarquent pas en Mauritanie). Ainsi nous utilisons cette base pour calculer des profils spécifiques, et ventiler les captures de la catégorie agrégée des Divers démersaux de la flotte nationale, en l'occurrence les céphalopodiens nationaux qui représentent 99% des marées existantes dans cette base de données. En revanche, on utilise les profils spécifiques issus des observateurs pour l'estimation des captures des autres flottilles nationales, notamment les Poissonniers et Crevettiers qui apparemment ne débarquent pas en Mauritanie (ces deux métiers pêchant sous pavillon mauritanien sont souvent des propriétés des armateurs étrangers à savoir espagnols). La liste des espèces ventilées à partir des données débarquements est en quelque sorte dictée par cette base de données dans laquelle seule une vingtaine d'espèces dont huit de poissons démersaux sont identifiées à savoir : *Epinephelus aeneus* (thiof), *Argyrosomus regius* (courbine), *Plectorhinchus mediterraneus* (diagramme), *Zeus faber* (Saint-Pierre), *Umbrina canariensis* (ombrine), *Epinephelus alexandrinus* (badeche), *Pomadasys incisus* (grondeur) et *Uranoscopus sp* (rata) et ces espèces feront l'objet de la modélisation des CPUE dans la suite. Alors que d'autres espèces restent regroupées dans des catégories commerciales comme les dorades, soles, sélaciens....

Par ailleurs, on propose ici une première estimation des captures des espèces constituant la catégorie Dorades roses qui était restée agrégée dans les estimations de 2006. Cette ventilation passe par le calcul des profils spécifiques à partir des données observateurs. Malheureusement, dans la base de données débarquements la majorité des Sparidés sont regroupés dans la catégorie Dorades roses. Les données observateurs sont donc ici utilisées pour les deux flottilles, nationale et étrangère. D'où la nécessité d'un programme d'échantillonnage des débarquements pour avoir les débarquements spécifiques pour toutes les espèces.

Comme lors de l'estimation de 2006, les captures agrégées déclarées par les navires étrangers sont quand à elles ventilées par les profils spécifiques issus des données observateurs. Pour les années manquantes dans les données observateurs 1991-1995 et 2003-2006, un profil spécifique moyen est calculé sur la période 1996/1997 et 2000/2002 respectivement.

Enfin, la base de données observateur permet également de calculer la part rejetée et/ou non déclarée par espèce (Gascuel et al., 2007). Ces rejets et prises non déclarées sont extrapolés sur la capture totale déclarée dans les journaux de bord pour obtenir une estimation grossière des rejets et prises non déclarées.

Concernant les captures spécifiques de la pêche artisanale pour les années antérieures 91-96 qui n'ont pas été estimées lors du groupe de travail en 2006, l'estimation est faite par le produit des captures annuelles de ces années, et d'un profil spécifique moyen de la période 1997/1998. Cette méthode est évidemment très approximative mais ne concerne qu'une faible fraction des captures

totales. Les captures spécifiques totales réalisées dans la ZEE mauritanienne sont *in fine* obtenues en sommant les estimations de la pêche artisanale, et des pêches industrielles démersales et pélagiques.

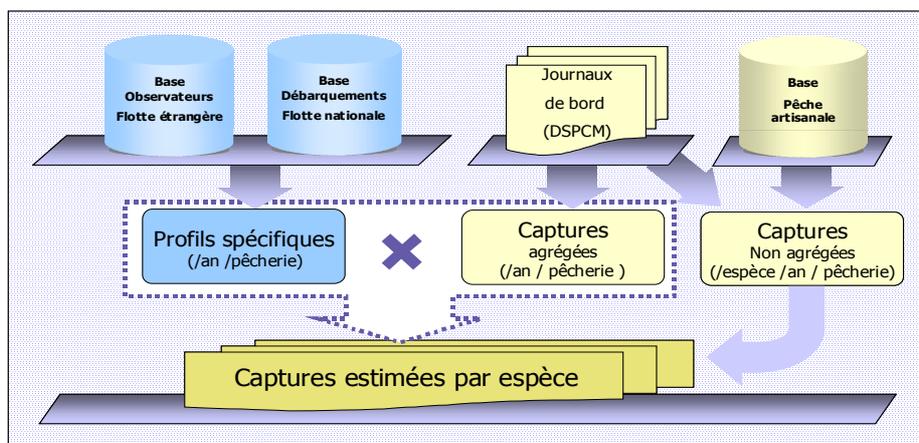


Figure 5 : Approche générale utilisée pour ventiler les captures des catégories d'espèces agrégées

1.2.3. Résultats de la ventilation

➤ Comparaison entre profils spécifiques des navires étrangers et nationaux

Globalement, avec la diminution des prises de céphalopodes, intervenue ces dernières années, les céphalopodiers (50% des navires industriels possédant une licence de pêche en 2005) ont tendance à compenser leurs pertes de captures par les poissons démersaux.

Une analyse du profil spécifique des poissons démersaux montre des contributions dominées par les espèces du large chez les navires céphalopodiers étrangers ce qui confirme que ces navires exercent leurs activités plus au large que les nationaux. Le Saint-Pierre (*Zeus faber*) représente à lui seul 30% des poissons de la catégorie divers démersaux, suivi par la brotule (*Brotula barbata*) avec 10% puis par des poissons plat (soles) et des Rajaidea (figure 6).

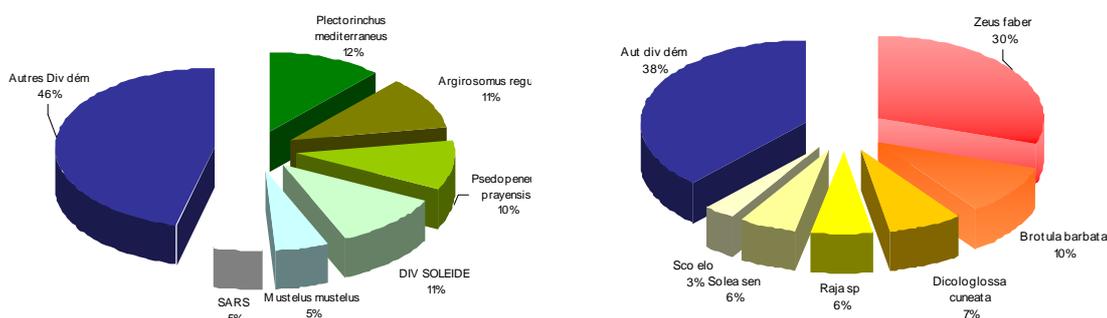


Figure 6: Profils spécifiques calculés pour la catégorie Divers démersaux et Dorades roses des Céphalopodiers nationaux (à gauche) et étrangers (à droite).

A l'inverse chez les navires nationaux c'est plutôt les poissons de petits fonds (entre 20 et 80 mètres) comme les Scianidea qui dominent. L'activité est donc plutôt orientée vers la côte, sans doute parce que les navires nationaux manquent d'équipements modernes de navigation par rapport aux navires étrangers. Le diagramme (*Plectorinthus mediterraneus*) contribue pour 12% à la catégorie

divers démersaux, la courbine (*Argyrosomus regius*) pour 11%, les soles pour 11% et le rouget (*Pseudupeneus prayensis*) pour 10% des divers démersaux.

On peut conclure du graphe ci dessus que les estimations antérieures basées uniquement sur les données observateurs surestiment les captures des espèces de fond comme le Saint Pierre et la brotule et attribuent un poids moindre aux diagramme, courbine et rouget qui constituent les principales espèces de poissons démersaux débarqués par la flotte nationale mauritanienne.

➤ **Captures spécifiques de la pêche industrielle (démersale et pélagique)**

Globalement, on retrouve la même tendance que celle observée dans les captures agrégées évoquée auparavant. Jusqu'en 1997 les captures augmentent parallèlement à l'effort de pêche. Ensuite La tendance générale est orientée à la baisse pour la majorité des espèces, après un pic de forte production entre 2000 et 2002, vraisemblablement lié à des augmentations de l'effort de pêche. Notons que la chute brusque en 2003 pourrait être un artefact ; elle semble liée à un problème général dans les statistiques et qui n'est pas encore identifié.

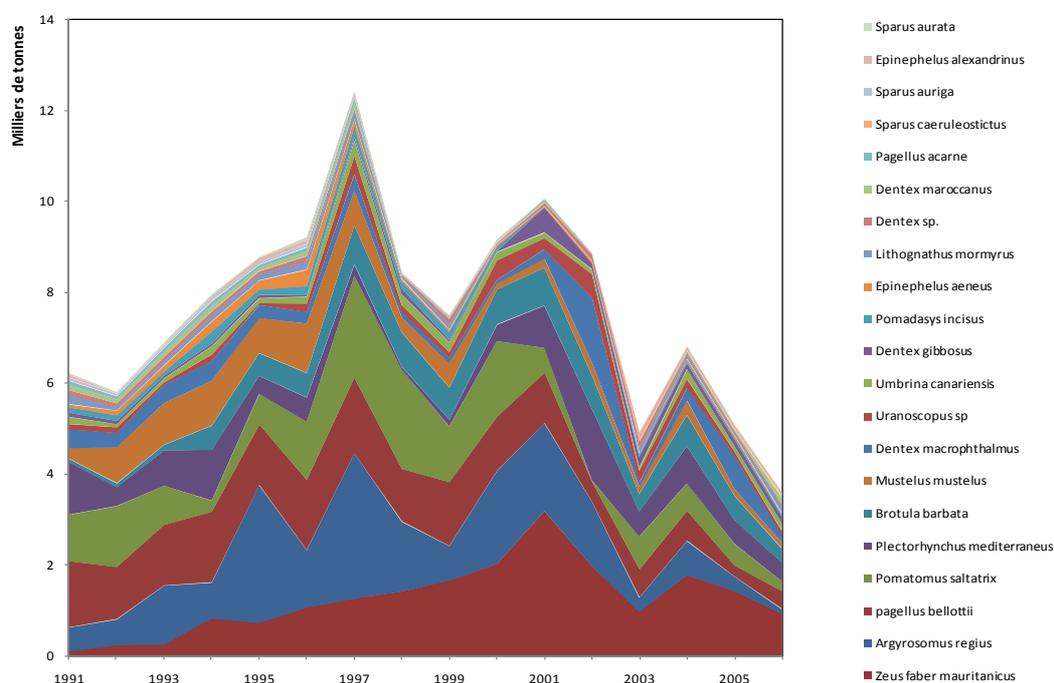


Figure 7 : Evolution des captures spécifiques de la pêche industrielle démersale et pélagique pour une sélection de 21 espèces démersales

Les résultats obtenus montrent l'intérêt de ces estimations. D'une part elles fournissent une connaissance descriptive sur l'évolution globale des tendances de productions par espèce. D'autres part, elles permettent d'avoir les statistiques spécifiques réutilisées dans les évaluations du chapitre trois.

Concernant le premier point les captures des poissons demersaux de la pêche industrielle ont été divisées globalement par deux dans les dernières années (2005/2006) par rapport au début de la période analysée (1991/1992) et par plus de trois par rapport au pic de 97. Dans le même temps, nous avons vu que l'effort de pêche des poissonniers est multiplié par trois et demi, et l'effort global par deux et demi. La chute manifeste des captures observée dans les dernières années serait ainsi le résultat d'une surexploitation liée à cette pression de plus en plus pesante. Plus précisément, sur une vingtaine d'espèces sélectionnées (graphique ci-dessus), il ressort que certaines espèces montrent une forte diminution dans les dernières années tandis que d'autres semblent être plus stables. Ainsi on peut distinguer deux groupes d'espèces selon leurs tendances d'évolution. Le premier groupe est en baisse significative à savoir principalement le thiof (*Epinephelus aeneus*), la courbine (*Argyrosomus regius*), le tollu (*Mustelus mustelus*), le pageot (*Pagellus bellottii*) et le tassergal (*Pomatomus saltatrix*). Le deuxième groupe est celui des espèces ne manifestant pas de diminution à

savoir principalement le Saint Pierre (*Zeus faber*) et la brotule (*Brotula barbata*), ces deux espèces ont une aire de distribution plutôt au large (>80m) tandis que le premier groupe est constitué majoritairement d'espèces de petit fond (<80m).

L'impact semble être plutôt ressenti sur les espèces côtières qui sont les plus accessibles par toutes les pêcheries. En outre, ces espèces sont également l'objet de rejets, notamment par les crevettiers dont une grande part des captures est constituée de poissons démersaux (40%) majoritairement rejetés en mer. Vraisemblablement cette flottille est responsable d'une grande biomasse perdue de poissons démersaux.

➤ **Captures spécifiques estimées pour la pêche artisanale**

Cette estimation a porté sur les captures spécifiques des années 1991-1996 et complète la série 1997-2005 estimée lors du groupe de travail de l'IMROP 2006 (Gascuel et al., 2006 in press). Les captures de la pêche artisanale sont en accroissement depuis 1991 (figure 8), ce qui est concordant avec l'évolution que connaît ce secteur dynamique. Les mulets et le poulpe occupent une part prépondérante dans ces captures. Les premiers sont en accroissement continu et le deuxième semble se stabiliser sur toute la période. Cependant et selon le groupe de travail de l'IMROP en 2006, les estimations de la pêche artisanale doivent être prises avec précaution, suite aux multiples incertitudes au cours de l'extrapolation à l'échelle nationale.

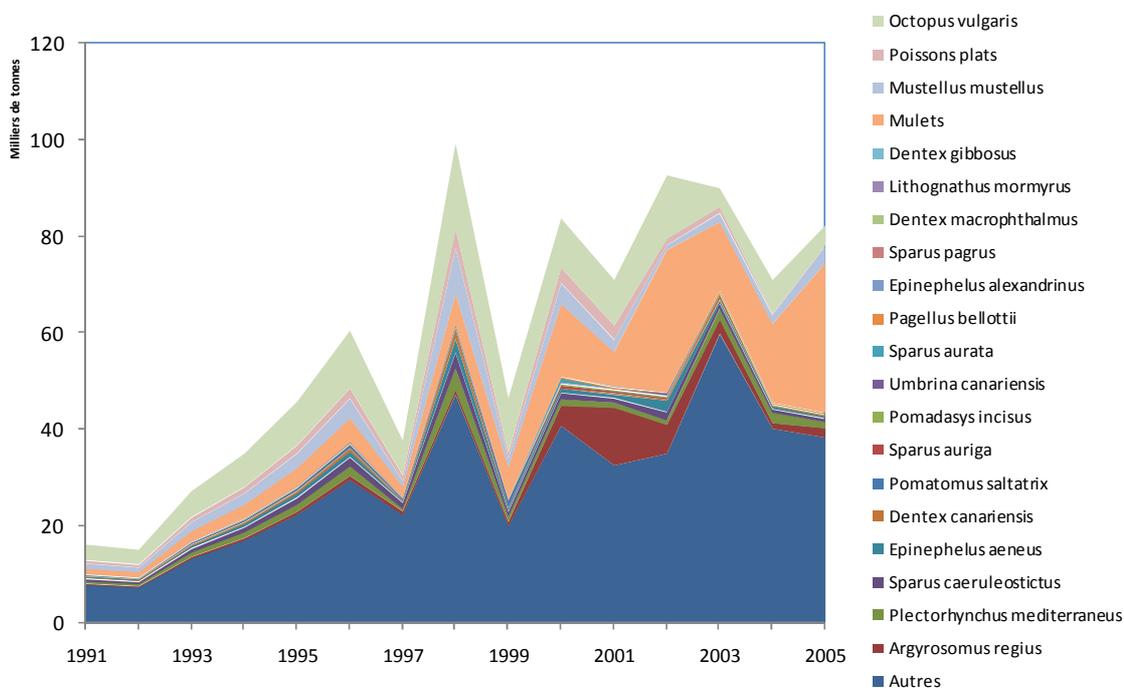


Figure 8 : Evolution des captures spécifiques estimées pour la pêche artisanale

1.2.4. Conclusion

Cette estimation des captures spécifiques des poissons démersaux de la pêche industrielle et artisanale pourrait être améliorée par la prise en compte des débarquements des navires étrangers débarquant à l'extérieur de la Mauritanie, à l'image de l'utilisation faite de la base de données des mises à terre des navires nationaux. En revanche un programme de suivi par échantillonnage des débarquements s'avère essentiel pour ventiler plus précisément ces données. Notons que cette estimation n'intègre pas les rejets, en plus d'un écart considérable entre les débarquements et les déclarations dans les journaux de bord, écart que révèle l'analyse croisée de ces deux sources d'information (cf. annexe A).

Evolution de l'abondance des principales espèces

Des indices d'abondances sont ici estimés pour une sélection de huit espèces, en recourant aux méthodes de modélisation linéaire.

1.3. Méthode

Le modèle linéaire généralisé (GLM) est une extension du Modèle linéaire (LM) dont l'utilisation est limitée à certaines conditions, notamment la normalité des résidus ce qui n'est souvent pas le cas dans les données halieutiques. Cependant, le principe reste le même et consiste à faire le lien entre des variables à expliquer (réponses) et des variables explicatives. Le modèle ajusté aux données est une représentation mathématique de la relation entre ces variables, et permet de mieux comprendre dans la réalité le phénomène qui a généré ces données.

Le choix des variables explicatives à conserver dans le modèle statistique doit être fait en testant plusieurs modèles correspondant à plusieurs hypothèses. La comparaison permet alors de définir les variables explicatives à retenir (Laurans, 2005). Dans le présent travail l'utilisation d'un GLM a pour objectif d'estimer un indice d'abondance standardisé par espèce à partir des CPUE de la flotte nationale Mauritanienne, ou à partir des indices d'abondances issus des campagnes scientifiques. Le GLM "rééquilibre" en quelque sorte, le plan d'échantillonnage pour toutes les modalités des variables qui sont retenues dans le modèle. Les variables retenues sont celles qui ont un effet statistiquement significatif et qui expliquent une part non négligeable de la variabilité des données.

1.3.1. Estimation à partir des CPUE commerciales

Des indices d'abondances sont calculés à partir des captures par unité d'effort (CPUE) des flottilles commerciales nationales débarquant en Mauritanie. Les captures par unité d'effort (CPUE) sont obtenues par la division des débarquements par espèce et par marée sur l'effort de pêche déployé (heures de pêche) pour réaliser cette capture, soit :

$$CPUE = C_{s,n} / E_{s,n}$$

où $C_{s,n}$ est la capture réalisée de l'espèce s lors de la marées n ,
 $E_{s,n}$ l'effort de pêche total correspondant

La modélisation des CPUE permet de prendre en compte les variations spatio-temporelles de la disponibilité de la ressource et les différences de puissance de pêche des catégories de navires qui peuvent avoir des effets significatifs sur la CPUE (à savoir : la puissance motrice du navire, son type de conservation et sa licence de pêche). Les effets de plusieurs facteurs sont donc testés : effet An, effet saison, effet mois, effet TJB, effet type de conservation (glacier ou congélateur) et effet licence de pêche. Certains facteurs sont testés avec différentes stratifications.

Une transformation logarithmique est appliquée tout d'abord sur les données afin d'homogénéiser les variances et de tenir compte de la nature multiplicative des effets étudiés. On suppose que la réponse $\log(IA)$ suit un modèle linéaire comme suit (Notons que ce modèle est écrit ici avec seulement 4 variables explicatives est que dans les analyses il peut être élargi à d'autres variables explicatives existantes dans les bases de données) :

$$U_{ijklm} = \log(IA_{ijklm}) = \mu + \alpha_j + \beta_k + \gamma_l + \delta_m + \varepsilon_{ijklm} \quad \text{équation(1)}$$

où $IA_{i,j,k,l,m}$ est la capture par unité d'effort du bateau i , de type de navire k , de classe de taille j , calculée pour la saison l , de l'année m et de la marée n

α_j est un effet classe de taille de bateau exprimé en TJB

β_k est un effet de type de navire (congélateur ou glacier)

γ_l est un effet de saisonnalité

δ_m est un effet année

et ε_{ijklm} un terme d'erreur résiduelle

Respectivement i, j, k, l et m sont utilisés pour indiquer les niveaux de chaque variable. Les estimateurs sont obtenus par l'optimisation de la vraisemblance

Les valeurs prédites sont calculées dans un tableau généré par une boucle sous R, pour toutes les combinaisons possibles des modalités des variables retenues (soit U_{ijklm}). Ensuite, une moyenne sur l'ensemble des modalités de l'année permet d'obtenir la prédiction de l'indice d'abondance pour l'année correspondante.

L'importance des enregistrements nuls dans les CPUE de la pêche pour certaines espèces qui ne sont pas débarquées biaise souvent la normalité de la distribution des CPUE. Pour remédier à cela on recourt à deux sous modèles, l'un pour modéliser l'absence et la présence de l'espèce et l'autre pour modéliser les valeurs positives des CPUE. La combinaison des deux sous-modèles conduit au modèle Delta (in : Le Pape et al., 2003 ; Laurans, 2005).

➤ **Sous modèle 1 : Distribution gaussienne du log des CPUE pour les observations non nulles**

Ici le modèle précité est appliqué uniquement sur les enregistrements où on détient une observation avec l'hypothèse de normalité des résidus. Afin de revenir à l'échelle initiale des CPUE, une transformation logarithmique inverse est effectuée en tenant compte de la correction de Laurent qui permet d'obtenir des valeurs non biaisées de l'espérance mathématique de l'indice d'abondance (IA)

$$IA_{ijklm} = e^{U_{ijklm}} \times e^{1/2\sigma^2}$$

Un indice d'abondance (IA+) est donc obtenu en moyennant sur l'année les prédictions de toutes les combinaisons possibles des niveaux (modalités) des variables explicatives.

➤ **Sous modèle 2 : Distribution binomiale de présence absence**

$$U_{i,j,k,l,m} = \text{logit}(\text{Proba}_{i,j,k,l,m} \text{ présence})$$

Les probabilités de présence sont obtenues en premier temps par un recodage binaire (0 et 1) du fichier des CPUE. Ensuite, le modèle GLM (équation 1) est reconduit sans transformation logarithmique cette fois, avec l'hypothèse d'une loi binomiale sur les résidus. Une probabilité de présence est obtenue pour chaque année ($IA^{(0/1)}$). Cependant on note que la prédiction est faite en premier lieu dans l'échelle de la fonction de lien logit et le passage au référentiel initial est obtenu par :

$$\text{Proba}_{i,j,k,l,m} = e^{U_{i,j,k,l,m}} / (1 + e^{U_{i,j,k,l,m}})$$

Notons que ce calcul est automatique sous R.

➤ **Modèle delta**

Les indices d'abondances prédits par le modèle delta (IA) sont obtenus par le produit des probabilités de présences et des CPUE prédites pour les observations non nulles, après transformation logarithmique inverse.

$$IA = IA^{(0/1)} * IA^{(+)}$$

La modélisation des CPUE de la flotte nationale a permis de tester plusieurs effets dont, l'année, le mois, le type de navire (congélateur ou glacier), sa taille exprimée en TJB, et son année de construction. Dans un premier temps, une exploration des éventuels effets significatifs est conduite afin de ne garder que ceux qui sont significatifs avec le moins de degrés de liberté (principe de

parcimonie). Ainsi pour chaque espèce le modèle peut être différent mais aussi pour chaque sous modèle (présence/absence ou valeurs positives).

➤ **Limites et sources de biais des CPUE comme indices d'abondances**

La première source de biais est la non proportionnalité entre les CPUE et l'abondance réelle (sauf si on admet l'hypothèse d'une distribution aléatoire de l'effort de pêche, Hilborn et Walters, 1992). Il est notamment difficile d'intégrer dans le temps l'évolution des puissances de pêche des navires liée soit à des changements de répartition spatiale de leur effort de pêche, soit à des processus d'innovations technologiques. En outre, le changement des rendements au cours des années peut être lié au changement des stratégies de pêche des bateaux commerciaux suite aux contraintes de marchés ou bien à la raréfaction d'une espèce cible comme le poulpe chez les Céphalopodiers nationaux mauritaniens.

Dans notre cas, l'effet "zone de pêche" n'est pas pris en compte car cette information manque dans les débarquements qui sont agrégés par marées. Même si on peut connaître la répartition par zone des captures totales et de l'effort de pêche fourni au sein de chaque marée à partir de la base journaux de bord, il reste impossible de savoir quelle espèce a été pêchée dans quel secteur. Une solution consisterait à ventiler les captures spécifiques par secteur selon l'importance des captures agrégées dans chaque secteur ; cela n'a pas été fait dans la présente étude.

Cependant l'avantage des CPUE est la faible variance statistique des estimateurs obtenus du fait du grand nombre d'opération de pêche prises en compte

1.3.2. Estimation d'après les données des campagnes scientifiques

➤ **Protocole d'échantillonnage des campagnes scientifiques**

La zone prospectée régulièrement par les campagnes concerne l'ensemble du plateau continental (zones de fortes et de faibles densités de poissons). Le protocole est entièrement maîtrisé et peut être reproduit de façon similaire à chaque campagne (proportionnalité des traits de chalutage par strate de zone et de profondeur, et respect de la durée et de la vitesse de chalutage). Le tirage des stations (positions de chalutage) se fait par échantillonnage aléatoire stratifié. Les campagnes sont adaptées aux travaux d'évaluations des stocks, et permettent d'étudier la répartition des ressources en fonction de la bathymétrie, la nature du fond ou des variations saisonnières des conditions hydrologiques. Le plateau continental mauritanien est subdivisé en trois grandes zones

Zone NORD : (20°40N-19°14N)

Zone CENTRE : (19°14N-17°40N)

Zone SUD : (17°40N-16°03N)

À chaque campagne de pêche sur l'ensemble du plateau continental, ce dernier est quadrillé en carrés de 3/3minutes et sur ce réseau de carrés, un nombre de stations est programmé à chaque campagne. Une fois la capture à bord, les espèces sont triées, pesées, puis comptées et mesurées pour certaines (si le nombre est important). Les espèces faisant l'objet d'études particulières sont l'objet d'une collecte plus intense (données biologiques, plus fréquence de taille) comme dans le cas du poulpe.

➤ **Base de données des campagnes de chalutage**

Les données campagnes qui existait sous forme de fichiers DBF séparés sont stockées depuis 2001 dans une base Access, relationnelle et requêteable, à laquelle on peut accéder directement ou par l'intermédiaire d'une interface First-siap développée dans le cadre du projet sous régional SIAP entre 2000 et 2002 (Beyah M, non publié ; Guitton et Gascuel, 2004). Cette base contient toutes les campagnes scientifiques de chalutage menées dans la ZEE mauritanienne depuis 1982 notamment celles réalisées par l'IMROP. Ces campagnes sont réalisées soit dans le cadre du suivi régulier des ressources ou bien dans le cadre d'autres objectifs plus spécifiques notamment le suivi des radiales de poulpe entre 1993 et 1995 et le suivi de l'impact de l'arrêt biologique tout récemment. Les campagnes codées par 'd' en fin d'indicatif (50% des campagnes) sont celles

menées sur le plateau continental (0-200m) et visent à évaluer l'abondance et la composition spécifique des ressources démersales d'une manière générale. Ainsi les indices d'abondances seront estimés uniquement à partir de celles-ci. Trois navires océanographiques figurent dans cette base de données, par ordre chronologique : Al Mouravide (1982), Ndiago (82-96) et Al Awam (97-08), cependant seules les campagnes des deux derniers feront l'objet des analyses, car les campagnes d'Al mouravide sont limitées dans le temps (1an) et dans l'espace (zone côtière).

➤ **Calculs d'indice d'abondance:**

Comme pour les CPUE, les rendements par demi-heure de chalutage sont standardisés par un GLM en prenant en compte des facteurs susceptibles d'affecter les rendements de pêche scientifiques. Deux séries d'indices d'abondance ont été publiées exprimées soit en rendement par demi-heure de chalutage (Gascuel et al., sous presse) soit en biomasse (Gascuel et al., 2007). A priori la deuxième série est considérée plus fiable et sera la seule utilisée ici. Cependant, dans le cas du thiof nous verrons qu'elle conduit à des résultats peu satisfaisants et la première série est également prise en compte. Ces indices sont calculés en sélectionnant les campagnes du plateau continental dont le nombre de traits est supérieur à 20. Les données sont ensuite agrégées par campagne, par zone (Nord, Centre et Sud) et par strate bathymétrique pour réduire le nombre d'observations nulles liées principalement à la faible surface chalutée. Ainsi l'agrégation des données peut permettre d'éviter la construction de deux sous modèles comme nous l'avons fait auparavant dans la modélisation des CPUE.

Cette estimation prend en compte une standardisation des données par rapport à la modification apportées sur l'engin de pêche en 1989. Des coefficients de corrections ont aussi été calculés (Gascuel et al., 2007), à partir des données de campagnes d'intercalibration rapportées par Girardin et al. (1990).

➤ **Limites des indices de campagnes scientifiques comme indices d'abondances**

Le principal reproche qui peut être fait aux indices de campagnes scientifiques est le faible taux d'échantillonnage, notamment le faible nombre de traits effectués par strate (bathymétrique ou zone) suite au coût très élevé de ces campagnes. A titre d'exemple un jour de mer coûte en moyenne 1,2 millions ouguiyas (4 mille euros environ) à l'IMROP, avec une réalisation de 5 à 10 traits de pêche par jour d'une durée de 30 minutes chacun. La campagne dure une quinzaine de jours, et couvre une surface de l'ordre de 5 km², alors que le plateau continental est d'une superficie de 33 mille km² environ.

1.4. Résultats des GLM

Le calcul des indices d'abondance à partir des CPUE s'est porté sur huit espèces de poissons démersaux à savoir : *Epinephelus aeneus* (thiof), *Argyrosomus regius* (courbine), *Plectorhinchus mediterraneus* (diagramme), *Zeus faber* (Saint-Pierre), *Umbrina canariensis* (ombrine), *Epinephelus alexandrinus* (badeche), *Pomadasys incisus* (grondeur) et *Uranoscopus sp* (rata). Les résultats des trois dernières sont présentés en annexe. On présente ici plus en détail les résultats du thiof, puis de quatre espèces jugées représentatives des différentes situations rencontrées. Le choix des espèces modélisées est indirectement dicté par la base de données des débarquements dans laquelle ces espèces sont bien identifiées (elles ne sont pas regroupées avec d'autres espèces) et leur capture spécifique est connue dans cette base. Ce calcul d'indices d'abondance est le deuxième intérêt de cette base de données (après avoir permis la ventilation de la catégorie Divers démersaux des journaux de bord présentée en première partie).

Les indices d'abondances des campagnes scientifiques sont présentés en annexe. Par contre une illustration graphique commentée de ces indices est présentée en parallèle avec les indices issus des CPUE pour les espèces dont les deux indices sont calculés.

1.4.1. Indices d'abondance d'*Epinephelus aeneus* (thiof) :

➤ *Distribution des CPUE avant modélisation*

L'histogramme des CPUE du thiof (figure 9) montre une grande présence des valeurs nulles (0) suivi d'une distribution de forme log-normale. Ceci correspond à la loi delta qui caractérise le fait que pour un grand nombre de marées aucune capture n'est réalisée. Cette distribution justifie le recours au modèle delta utilisé ici.

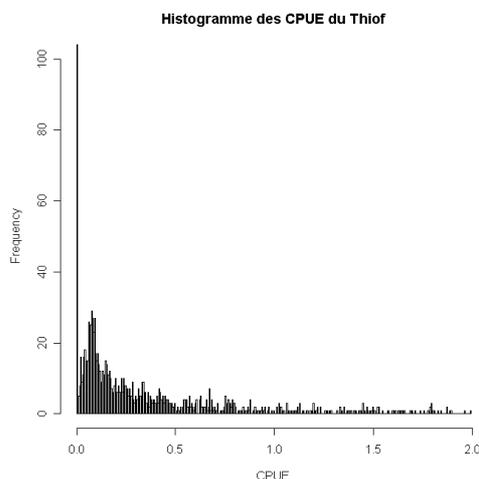


Figure 9 : Fréquences des valeurs de cpue du thiof

➤ *Modèle avec distribution gaussienne des CPUE non nulles*

La figure des résidus en fonction des valeurs observées (figure 10), du modèle retenu sur les valeurs positives, montre globalement un bon ajustement avec l'absence d'autocorrélation des résidus, et une distribution assez homogène sur l'ensemble des valeurs. La droite d'Henry (Q-Q plot) qui compare les valeurs des quantiles de la loi empirique aux quantiles de la loi normale centrée réduite, confirme aussi la normalité de la distribution.

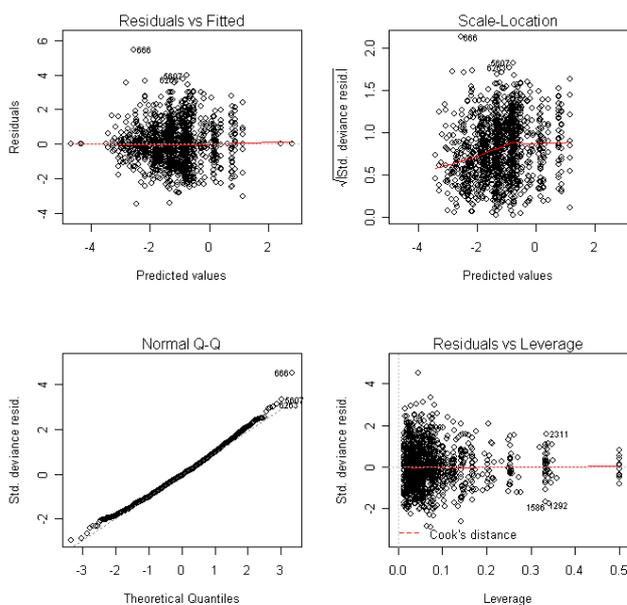


Figure 10 : quelques sorties de l'analyse de la normalité des résidus du sous modèle des observations non nulles de la CPUE de l'*Epinephelus aeneus* (thiof)

Le modèle retenu intègre les facteurs explicatifs suivants : l'année de la marée, la classe de TJB du navire et son type de conservation (congélateur ou glacier). Le modèle explique 24% environ de la déviance (tableau 1). Le TJB et l'année expliquent la part la plus importante de la variabilité.

Tableau 1 : tableau de test associé au modèle CPUE non nulles de l'*Epinephelus aeneus* (thiof)

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)
NULL			1221	2642.38	
TJBclas1	9	390.59	1212	2251.79	8.262e-45
Année	14	214.24	1198	2037.56	2.736e-20
TYPNAV	1	17.27	1197	2020.29	1.381e-03

➤ **Modèle avec distribution binomiale sur l'absence-présence**

Pour le sous modèle présence/absence les facteurs retenus sont : l'année, la classe de TJB, le mois et le type de conservation. Le modèle explique 25% environ de la déviance (tableau1). La variable année seule explique plus de 50% de la variabilité expliquée par le modèle.

Les probabilités de présence estimées pour le thiof montrent qu'il est de moins en moins présent dans les débarquements. Sa probabilité de présence au début des années 90 fluctuait entre 0,3 et 0,6, et elle est aujourd'hui de seulement 0,1 environ (soit 1 marée sur 10 par an).

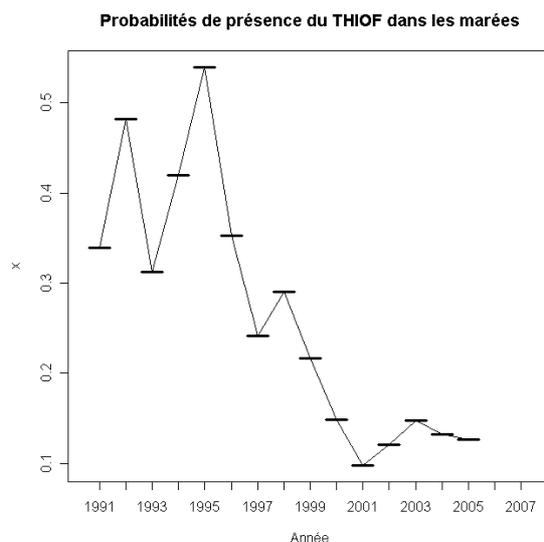


Figure 11 : Evolution des probabilités de présence de thiof dans les marées

Tableau 2 : Test associé au modèle CPUE présence/absence de l'*Epinephelus aeneus* (thiof)

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)
NULL			9961	74158	
Année	15	14614	9946	59544	1.007e-302
TJB	9	222.7	9937	57317	5.642e-43
Mois	11	147.3	9926	55843	5.238e-26
TYPNAV	1	51.5	9925	55329	7.325e-13

➤ Les indices d'abondances calculés pour *Epinephelus aeneus*

Les deux indices d'abondance (IA) issus des campagnes scientifiques (l'un exprimé en rendement par demi-heure de chalutage et l'autre en biomasse) évoluent de la même façon, mais nous verrons dans la suite qu'ils conduisent à des diagnostics différents avec le modèle global. En revanche, ils montrent une synchronisation assez nette avec la CPUE commerciale, mise à part le pic observé en 2003 dans les campagnes scientifiques (figure 12). Globalement et selon les deux séries d'abondances le stock de thiof serait en déclin sur toute la période exception faite pour les premières années. La diminution la plus forte de l'abondance du Thiof a été entre 1995 et 1998, ce qui coïncide avec la plus importante augmentation de l'effort de pêche (l'entrée en vigueur des accords de pêche entre la Mauritanie et l'UE) montrée dans le chapitre précédent.

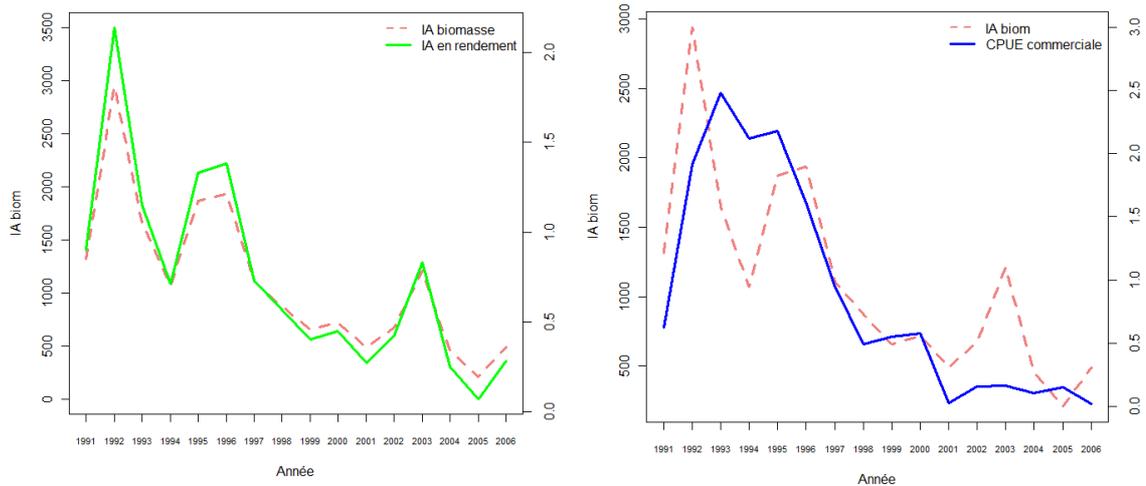


Figure 12 : Indices d'abondance standardisés du thiof : IA exprimés en rendement et en biomasse à partir des campagnes scientifiques (à gauche) ; avec la CPUE (à droite)

L'objectif de la comparaison des deux indices d'abondance (CPUE et Indices campagnes scientifiques) n'est pas de valider l'un par l'autre, mais plutôt de tester la cohérence et de voir si avec les CPUE des navires commerciaux et les indices des campagnes scientifiques on arrive à observer les mêmes tendances d'évolution, ce qui est le cas pour le thiof. Le deuxième objectif est de pouvoir dans la suite ajuster le modèle de production de biomasse avec les différents indices d'abondance voir même avec des indices combinés des deux. Et de voir éventuellement les diagnostics qui en découleront.

1.4.2. Indices d'abondances de quatre espèces de poissons démersaux

Les évolutions des indices d'abondances des différentes espèces présentées ci-dessous montrent de fortes fluctuations sur la période étudiée.

➤ La courbine (*Argyrosomus regius*)

Tandis que l'indice d'abondance de la courbine montre une baisse depuis 1997 celui des campagnes scientifiques fluctue sur toute la période et ne semble baisser qu'à partir de 2003 après le pic le plus élevé (figure 14). L'effet de saisonnalité est très marqué chez cette espèce, et selon l'analyse des coefficients estimés et des probabilités de présence dans les marées par mois, il s'avère que les captures les plus importantes de cette espèce se font à partir de novembre jusqu'au mois d'avril (figure 13). Ceci concorde parfaitement avec les deux périodes de reproduction de cette espèce dans les eaux mauritaniennes, la première en novembre et la deuxième entre mars et juin d'après

Tixerant (1974) et Limouzy (1983). La présence de cette espèce dans les captures des navires nationaux est faible en août sur toute la période étudiée.

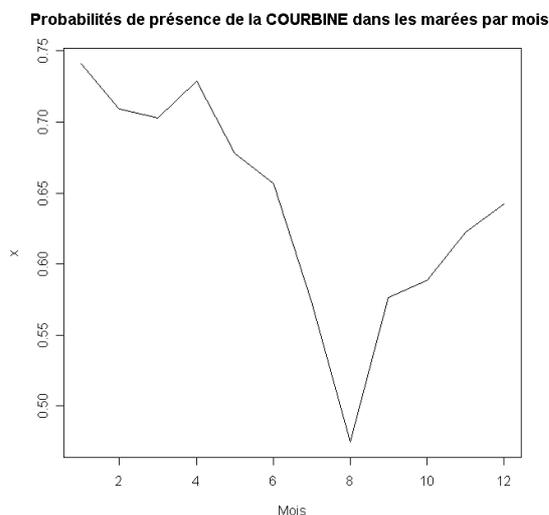


Figure 13 : Evolution saisonnière des probabilités de présence de *Argyrosomus regius* (courbine) dans les marées

Tableau 3 : Test associé au modèle CPUE non nulles de la courbine

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)
NULL			4629	12078.0	
Année	14	838.8	4615	11239.3	7.582e-71
Mois	11	618.0	4604	10621.2	2.019e-52
TJBclas1	9	196.3	4595	10424.9	5.895e-15
TYPNAV	1	82.0	4594	10342.9	1.590e-09

➤ Le diagramme (*Plectorinchus mediterraneus*)

La CPUE baisse depuis le début de la période jusqu'en 1999 puis semble remonter légèrement avec des fluctuations depuis lors. Ceci peut être liée soit à un changement de stratégie des navires nationaux dans leur ciblage soit à la conservation des espèces suite à la rareté des céphalopodes. Ou bien ceci est le reflet réel de l'abondance du Diagramme⁵. Par contre l'indice des campagnes scientifiques fluctue sans qu'une nette tendance de baisse ou d'accroissement soit mise en évidence.

Cependant un pic trois fois plus important que la moyenne sur toute la période est observé en 2003. Cette divergence des séries d'abondances nous conduit à nous intéresser aux différents diagnostics qui découleront de l'ajustement du modèle global sur ces différents indices.

⁵ Surtout que cette espèce à affinité saharienne rencontrée sur toute la côte mauritanienne se nourrit essentiellement de crustacés (fischer et al., 1981), les crustacés qui se trouvent en forte expansion ces dernières années dans les eaux mauritaniennes.

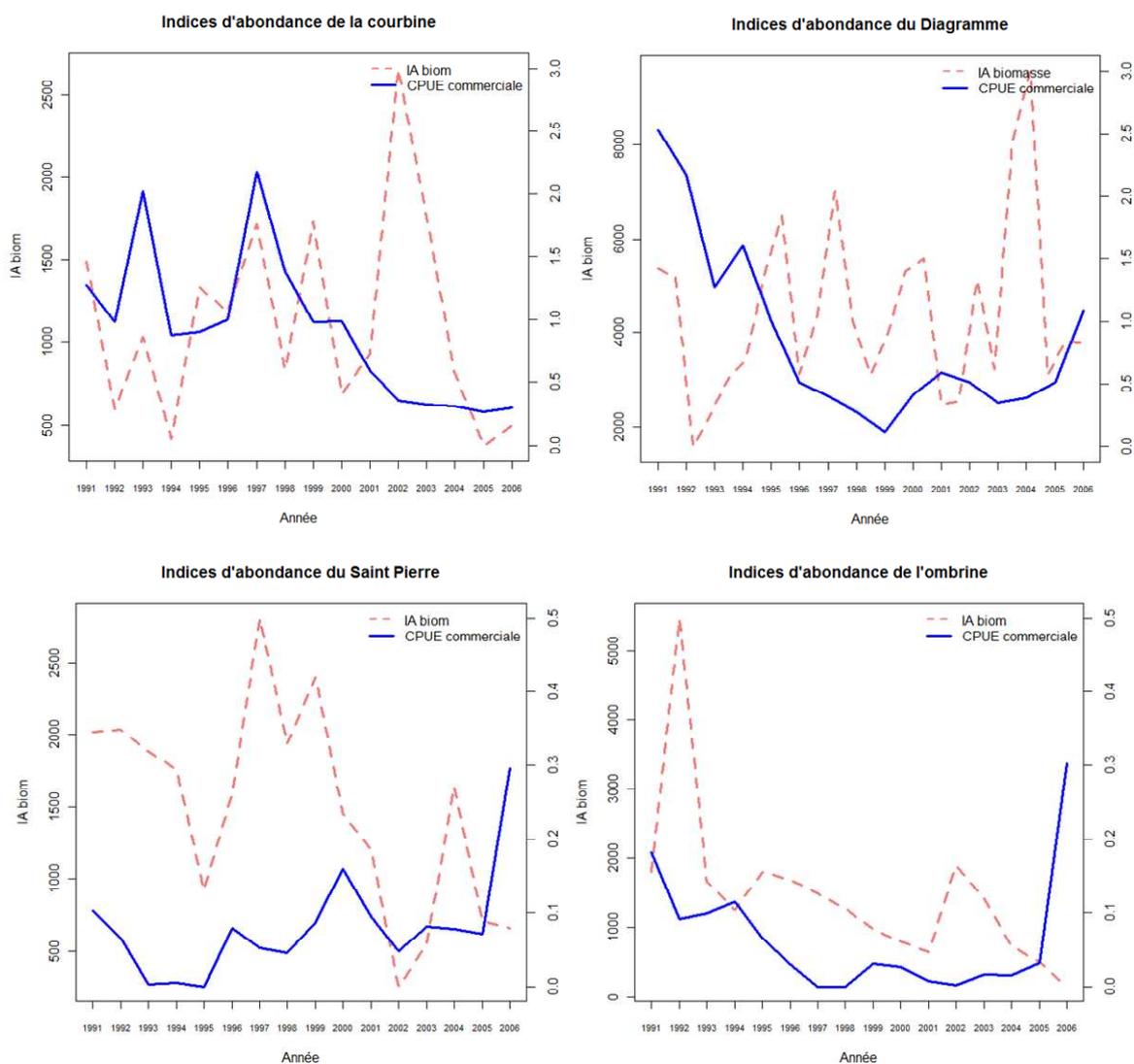


Figure 14 : Indices d'abondances standardisés de quatre poissons démersaux pêchés au large des côtes mauritaniennes.

➤ **Le Saint Pierre (*Zeus faber*)**

Les deux indices fluctuent avec des tendances globalement opposées. Tandis que l'abondance semble en légère baisse dans les campagnes, elle est en légère hausse d'après les CPUE. Cette hausse pourrait être due d'un ciblage croissant du Saint Pierre par les flottilles industrielles. Notons qu'avant 1998 les deux indices semblent être corrélés.

➤ **L'Ombrine (*Umbrina canariensis*)**

Une nette tendance à la baisse de l'abondance de l'ombrine est observée sur toute la période dans les campagnes scientifiques et dans les CPUE des navires nationaux, exception faite pour la dernière année

1.4.3. Conclusion

Globalement les modèles expliquent peu de variabilité pour la majorité des espèces. Ceci peut être lié à la non prise en compte de certains facteurs, notamment la zone de pêche qui ne peut être testée vu que les captures sont agrégées par marée. On peut aussi penser à d'autres facteurs comme l'expérience des capitaines et la performance des navires en termes d'équipement de pêche. Globalement, les évolutions d'abondance sont contrastées. Certaines espèces sont en fort déclin sur toute la période, comme le thiof, et durant les dernières années comme la courbine. A l'inverse d'autres semblent être légèrement en diminution à savoir l'Ombrine, voir même en augmentation comme le Saint Pierre d'après les CPUE.

Pour certaines espèces les tendances traduites par les CPUE semblent être plus cohérentes avec ce qu'on connaît sur la réalité, comme la nette diminution de l'abondance de la Courbine depuis 1997, tandis que l'indice des campagnes scientifique ne fait apparaître cette chute que tout récemment. Ceci peut être expliqué par le fait que le navire de recherche a du mal à pêcher régulièrement cette espèce sémi-pélagique, même en période de forte abondance. A l'inverse, les navires commerciaux sont amenés à la capturer plus, vu l'importance du temps de pêche fourni. Cependant, pour les espèces dont intuitivement on connaît moins leur évolution, les indices standardisés des campagnes scientifiques primeront en termes de confiance sur les IA des navires nationaux. Cela concerne le diagramme, l'ombrine et le Saint Pierre.

La saisonnalité des captures est très significative chez la Courbine, qui est moins présente en juillet et août, la période qui correspond au début de la saison chaude en Mauritanie. Tixerant (1974) et Limouzy (1983) avait signalé qu'en Mauritanie pendant la saison chaude les courbines migrent vers le Nord pour trouver des eaux plus froides, puis entrent dans la baie du lévrier⁶ (en Mauritanie) à nouveau pendant les premiers mois de la saison froide, avant de continuer plus au sud. Notons qu'à l'échelle mondiale, trois sites de reproduction sont connus pour cette espèce à savoir : l'estuaire du Nil en Egypte, l'estuaire de la Gironde en France et la baie du lévrier en Mauritanie où elle est présente toute l'année. Ces deux derniers sites sont les principales zones d'abondance de la courbine connue aussi sous le nom du Maigre (Quéméner, 2002).

Par contre, chez le thiof aucune saisonnalité n'est mise en évidence. Pourtant plusieurs auteurs (Domaine, 1980 ; Cury et al., 1982 ; in Dah A., Girardin M., M. vall, 1991) ont parlé de son comportement migratoire saisonnier, comme pour la majorité des espèces de la communauté à Sparidés à affinités sahariennes. Par contre, ces même auteurs précisent que seuls les adultes accomplissent des migrations massives et que les jeunes sont plus sédentaires. Donc l'absence d'effet mois dans notre cas d'étude s'expliquerait par la présence régulière d'individus dans les captures quelque soit leur taille (l'effet saisonnalité est masqué par les petites tailles). La prise en compte des tailles de poissons débarqués confirmerait cette hypothèse.

Ces variations paraissent refléter au moins autant des changements dans le choix des espèces cibles que dans l'abondance absolue des espèces. Ces changements de stratégie dans l'exploitation des poissons (y compris dans les taux de rejet) réduisent beaucoup la signification des indices d'abondance et des efforts effectifs tirés des statistiques commerciales (M. Fall et D. Leung Tack, GT 1991). Ceci justifie également la plus grande confiance accordée aux indices issus des campagnes scientifiques.

⁶ La baie du Lévrier à Nouadhibou constitue en fait un habitat idéal pour cette espèce en raison des eaux peu profondes, de ses fonds de vase et de l'abondance de nourriture qui s'y trouve. Des chalutages expérimentaux effectués au milieu de la baie ont confirmé la présence de juvéniles sur les fonds (10 à 17 m), tout au long de l'année, ayant des températures de tolérances et des préférences différentes des adultes dans la baie (Limouzy, 1978).

2. Evaluation des stocks

2.1. Méthode

2.1.1. Principe général

Dans cette partie, on utilise les méthodes d'évaluation des stocks halieutiques pour analyser les données (abordées en première et deuxième partie de ce rapport) issues des pêcheries afin d'établir des diagnostics sur l'état des ressources halieutiques mauritaniennes, et de fournir une aide à la décision pour la gestion. Le Modèle de Production de Biomasse (MPB), ou « modèle global », est un outil classique d'évaluation des stocks. Il est l'un des modèles les plus utilisés pour les évaluations de stock lorsque la quantité de données est limitée (données de capture en poids et indice d'abondance) (Hilborn et Walters 1992). Il s'appuie sur une hypothèse fondamentale d'équilibre : une population (ou un stock) à l'état vierge tend vers une situation d'équilibre stable⁷ avec son milieu. Le modèle global, s'il est moins détaillé que les modèles de déplétion ou de VPA sur pas de temps court, offre des avantages :

- il est parcimonieux (peu de paramètres) et peu exigeant en données (capture et d'IA)
- il permet d'estimer les points de référence pour la gestion basée sur des points d'équilibre à long terme comme le MSY (Maximum Sustainable Yield) et EMSY (le niveau d'exploitation correspondant).

L'idée de base d'un modèle global est qu'une ressource renouvelable exploitée voit son rendement à l'équilibre varier en fonction de son exploitation. La capture totale augmente progressivement avec l'augmentation de l'effort de pêche, passe par un maximum, puis décline rapidement avant de tendre vers zéro quand le stock est surexploité. Au maximum de cette courbe de production à l'équilibre se trouve le point de MSY et l'effort E_{MSY} correspondant. Ce dernier est exprimé ici en multiplicateur d'effort (mf_{MSY}) par rapport à la moyenne des trois dernières années. En pratique, la série historique des données disponible doit couvrir la période d'expansion de la pêcherie, afin d'observer la réponse du stock à l'accroissement de l'effort de pêche. Notons que le modèle raisonne sur un seul stock, en supposant l'existence de mécanismes de régulation qui permettent le maintien du stock à l'équilibre.

Le modèle global s'exprime en écrivant que la variation de biomasse d'un stock est égale à la production biologique ($g(B)$) diminuée de la capture effectuée par la pêche. Soit l'expression suivante :

$$dB / dt = g(B) - q E B \quad (1)$$

où:

B : est la biomasse,
q : est le coefficient de capturabilité et,
E : l'effort de pêche.

Trois formes d'équations sont utilisées pour la fonction de production de biomasse $g(Bt)$:

$g(B) =$	(a)	$r B (1 - B / K)$	Schaefer (1954)
	(b)	$r B (1 - \ln B / \ln K)$	Fox(1970)
	(c)	$r B [1 - (B / K)^{m-1}]$	Pella & Tomlinson (1969)

où:

B : est la biomasse courante,
r : est le taux intrinsèque d'accroissement,
K : capacité biotique du milieu (la biomasse vierge)
m : est un paramètre de forme.

⁷ Ce processus de fonctionnement est assuré par le mécanisme de régulation densité-dépendant. Cependant, une fois la capacité biotique atteinte, l'abondance du stock ne reste évidemment pas parfaitement constante. Dans la réalité, en plus du fait que les paramètres estimés par le modèle global ne sont que des valeurs moyennes (des espérances au sens mathématique du terme), se rajoutent donc des fluctuations irrégulières, liées au climat, à l'environnement biotique ou abiotique, d'où on peut aussi imaginer qu'un stock est en permanence en évolution à la poursuite d'un équilibre qu'il n'atteint jamais (Gascuel, 2007).

Le modèle de Pella & Tomlinson est le modèle généralisé, qui permet de retrouver toutes les formes possibles de la courbe de production par une valeur donnée du paramètre m . Ainsi pour une valeur de $m = 2$, ce modèle correspond au modèle de Schaefer. Dans le cas où $m = 1$, le modèle généralisé tend vers le modèle de Fox (in Laurec et Le Guen, 1981). La démarche adoptée est d'ajuster dans un premier temps les données au modèle généralisé et selon la valeur estimée de m l'un des trois modèles est choisi. Dans la pratique, pour toutes les espèces que nous avons étudiées la valeur de m estimée est proche de 1, donc le modèle de Fox est retenu.

La production à l'équilibre et les points de références sont calculés par des formules déduites de l'équation (1) en la dérivant en fonction de B et en posant $dB/dt = 0$ (stock en équilibre) (cf. annexe F)

La forme discrète du modèle global, s'écrit par une équation dynamique qui traduit l'évolution de la biomasse exploitable d'un stock entre deux pas de temps t et $t+1$ en fonction des captures et de la fonction de production :

$$B_{t+1} = B_t + g(B_t) - q E B_t \quad (2)$$

Où B_t : est la biomasse exploitable au début de l'année t

L'équation (1) est employée en premier lieu pour l'ajustement à l'équilibre et la deuxième pour ajuster le modèle dynamique.

Les données employées pour l'ajustement sont d'une part, les captures spécifiques annuelles estimées en chapitre 1, et d'autre part les indices d'abondance issus des campagnes scientifiques (exprimés en biomasses) et des CPUE des navires nationaux calculés en chapitre 2 et sur la période 1991 à 2006. Sachant les limites des deux indices (campagnes scientifiques et CPUE), un indice combiné est également calculé et utilisé pour ajuster le modèle. Ainsi, chaque série est exprimée en valeur relative par rapport à la moyenne de l'une des deux séries ; l'indice combiné s'exprime alors comme la moyenne de ces valeurs relatives.

2.1.2. Ajustement "à l'équilibre"

L'ajustement du modèle est conduit pour les différentes séries d'indices d'abondance disponibles ; on en déduit différentes estimations de MSY et mf_{MSY} . Pour ajuster le modèle le plus proche des indices d'abondance observés, la méthode des moindres carrés est utilisée, après transformation logarithmique des valeurs observées et prédites ce qui équivaut à une maximisation de la vraisemblance sous l'hypothèse d'une distribution log-normale des résidus. Les paramètres du modèle sont estimés par minimisation des carrés des écarts à partir de valeurs initiales aléatoires (mais raisonnables) des paramètres.

➤ *Effort théorique et multiplicateur d'effort*

Un effort théorique est tout d'abord estimé à partir des captures et des indices d'abondance ($E = \text{capture} / IA$), puis un multiplicateur d'effort (mf) est calculé avec comme valeur de référence ($mf=1$) la moyenne des trois dernières années. Classiquement, ce multiplicateur se calcule en référence à l'effort de pêche à la dernière année. Mais celui-ci peut être très différent de ceux des années avoisinantes. Le calcul en référence aux trois dernières années permet donc de fournir un diagnostic d'exploitation par rapport à une situation moyenne récente.

➤ *Ajustement en pseudo-équilibre de Fox*

Le modèle global est ajusté par la méthode de pseudo-équilibre qui suppose que l'abondance du stock l'année i est en équilibre avec l'effort de certaines années antérieures (vu que les classes

d'âge présentes ont subi l'effort de pêche des années avant). Ceci conduit à estimer un effort moyen (mf_{Fox}) par la méthode de Fox, soit :

$$mf_{Fox} = \frac{k*mf_i + (k-1)*mf_{i-1} + \dots + mf_{i-k}}{k + (k-1) + \dots + 1}$$

où k est le nombre de classe d'âge exploité dans le stock. Cette méthode d'ajustement est largement appliquée du fait de sa robustesse (Fonteneau et al., 1998 in Laurans, 2005). Vu que les poissons démersaux étudiés ont une longévité importante, une valeur constante $k=5$ est considérée pour k ici, pour toutes les espèces.

Le critère de validation du modèle est le coefficient de détermination entre les abondances observées et celles prédites par le modèle. Ce coefficient doit être statistiquement significatif au vu du nombre de degré de liberté (ddl) du modèle.

➤ **Diagnostics – indicateurs de l'état du stock**

Les diagnostics sont établis en termes d'excédents d'effort de pêche estimés par le modèle. On calcule notamment le multiplicateur d'effort correspondant au niveau de MSY (mf_{MSY}). Ce multiplicateur est le principal indicateur pour établir les diagnostics. Il est comparée à la valeur 1, qui correspond à l'effort des dernières années ; selon qu'il est supérieur ou inférieur à 1, le stock est dit sous-exploité ou surexploité respectivement.

En plus de mf_{MSY} d'autres indicateurs permettent aussi d'avoir une vision synthétique des niveaux actuels d'exploitation et de l'impact de la pêche sur les biomasses (Laurens, 2005). Ces indicateurs sont également utilisés pour comparer les modèles :

- . B_v ou K : est la biomasse vierge
- . B_{act}/B_v : est un ratio qui quantifie le niveau actuel de biomasse par rapport à la biomasse vierge
- . Be/B_v : quantifie l'impact actuel de l'exploitation sur la biomasse du stock (avec B_e biomasse d'équilibre pour $mf = 1$).
- . Y_{act}/MSY : quantifie le niveau de surexploitation (capture actuelle sur la capture maximale équilibrée)

2.1.3. Ajustement du modèle dynamique dans un cadre Bayésien

➤ **Principe**

A titre de test méthodologique, le modèle dynamique est mis en œuvre dans le cas du stock de thiof. Ce modèle est une variante du modèle global et utilise son équation discrétisée, sur un pas de temps annuel (équation 2). Ceci suppose que l'abondance d'une année donnée dépend de l'abondance de l'année précédente. Notons que le modèle dynamique reste basé sur l'hypothèse fonctionnelle d'équilibre dans la mesure où la fonction de production incorporée dans son équation de base est la même que précédemment, ainsi que les formules des points de référence qui en découlent (MSY , mf_{MSY} ...). Cette hypothèse suppose l'existence de mécanismes de régulation interne au stock et implique qu'un effort de pêche constant conduirait à des valeurs de biomasse et de production correspondant aux valeurs d'équilibre. En revanche, les abondances observées chaque année dans le modèle dynamique ne sont plus supposées être à l'équilibre et le modèle est donc moins contraignant en terme d'hypothèse. Mais ceci s'accompagne d'une plus grande flexibilité du modèle qui a pour contre partie un sur-paramétrage (4 paramètres contre 2 à l'équilibre ; r , q , K et B_0 la biomasse à l'état initial) et qui peut poser problème dans l'ajustement du modèle. Cette nouvelle difficulté peut être au moins partiellement résolue en recourant à un cadre d'ajustement Bayésien, dans lequel des contraintes sont introduites sous forme de priors.

Le cadre Bayésien est donc choisi pour cet ajustement du modèle dynamique. Il offre un cadre flexible de modélisation et permet la prise en compte des incertitudes autour des estimations des paramètres et dans les diagnostics. L'utilisation du modèle dynamique à pour objectif ici de comparer ses résultats avec ceux du modèle dit "à l'équilibre". Les résultats de ce dernier, notamment

dans l'estimation du paramètre K, permet de se faire une idée sur son ordre de grandeur et de simuler des valeurs raisonnables pour ce paramètre dans l'ajustement du modèle dynamique Bayésien.

➤ **Prise en compte des incertitudes**

Deux types d'incertitude, l'erreur de processus et l'erreur d'observation, peuvent expliquer les écarts entre valeurs observées et valeurs prédites. De nombreux auteurs montrent que dans le cas de modèles dynamiques, la prise en compte simultanée des deux sources d'incertitude dans le cadre théorique des modèles stochastiques à états latents (state-space models ou SSM) permet en moyenne d'obtenir les estimations les moins biaisées (Punt 2003 ; Meyer et Millar 1999 ; Millar et Meyer 2000). Le cadre statistique Bayésien est entièrement basé sur la manipulation de distributions de probabilité. Il est en ce sens mathématiquement rigoureux, et adapté pour la prise en compte des incertitudes et des risques dans l'évaluation et la gestion des ressources halieutiques (Punt et Hilborn 1997 ; McAllister et Kirkwood 1998 ; Harwood et Stockes 2003, in ONO 2005).

Le modèle dynamique de biomasse qu'on aborde ici est donc un processus stochastique qui calcul la biomasse au temps t+1 à partir de la biomasse au temps t, avec une incertitude de processus autour de la fonction de production de biomasse. Soit dans le cas du modèle de Fox :

$$B_{t+1} = B_t + rB (1 - \ln B_t / \ln K) \cdot e^{\varepsilon_1(t)} - C_t$$

avec $e^{\varepsilon_1(t)}$ l'erreur de processus où $\varepsilon_1(t) \sim N(0, (\sigma^2)_{proc})$

Ce terme aléatoire log-Normal ($e^{\varepsilon_1(t)}$) décrit la fluctuation de biomasse d'une année à l'autre non expliquée par le processus d'état du modèle (fonction de production).

Une erreur d'observation est associée aux indices d'abondance observés, vu les imprécisions des mesures au tour des données. Soit :

$$I_t = (q \cdot B_t) \cdot e^{\varepsilon_2(t)}$$

avec $e^{\varepsilon_2(t)}$ l'erreur d'observation où $\varepsilon_2(t) \sim N(0, (\sigma^2)_{obs})$

Les distributions de probabilité sont estimées à partir des méthodes d'échantillonnage par simulations MCMC (Monte Carlo Markov Chain) et par l'intermédiaire du logiciel WinBugs et R à l'aide de la librairie BRugs.

Les choix suivants sont fait sur les priors de la variance autour de l'erreur de processus qu'on nomme sigma et celle autour de l'erreur d'observation qu'on nomme tau :

- log sigma suit une distribution uniforme (non informative) bornée entre -10 et 10
- log tau suit une distribution uniforme (non informative) bornée entre -10 et 10

➤ **Choix des priors**

Concernant le choix des distributions de probabilité a priori des paramètres à estimer, la démarche générale consiste à travailler autant que faire se peut avec des priors non informatifs sur les paramètres. Néanmoins, lorsque des priors non informatifs sont sélectionnés pour tous les paramètres du modèle, on n'observe pas de convergence des estimations, suite au sur-paramétrage du modèle dynamique évoqué ci-dessus. Pour permettre à l'ajustement de converger vers une solution, des contraintes sont donc mises sur quelques uns des paramètres. Ainsi sur les quatre paramètres d'origine du modèle (r, K, q et B0), on a travaillé avec des lois plus au moins informatives (grandes incertitudes autour des modes choisis) sur les distributions des valeurs de r et K. Les valeurs suivantes sont choisies comme références :

- K suit une loi de distribution normale de moyenne 3000 et d'écart type 3000
- r suit une loi de distribution normale de moyenne 0.6 et d'écart type 0.5 (seules les valeurs positives sont considérées dans cette distribution).

Cependant, une loi non informative (uniforme) a pu être gardée pour la capturabilité (q). Pour la biomasse observée à l'état initiale (B_0), supposée proportionnelle à la capacité biotique du milieu K , trois niveaux de réduction de la biomasse initiale sont testés.

$$B_0 = \alpha * K \quad \alpha = 0.8 ; 0.6 \text{ et } 0.2$$

Afin de mener une estimation robuste des paramètres notamment de l'effort de pêche de maximisation, exprimé en multiplicateur d'effort moyen des trois dernières années (mf_{MSY}), une analyse de sensibilité est conduite. Elle consiste à simuler plusieurs valeurs des paramètres pour tester l'influence des priors sur les posteriors estimés. Ainsi plusieurs modes de distribution sont choisis sur les distributions de r et de K (0.2, 0.6 et 1 pour le r , voir même des valeurs exagérées comme 2 et 3 ; et 3 000, 5 000, 10 000 et 15 000 tonnes comme des modes de distribution de K). Cette analyse de sensibilité permet d'appréhender la sensibilité des estimations de la production à l'équilibre et de l'effort de maximisation (mf_{MSY}) au choix de priors.

2.2. Résultats et diagnostics sur l'état d'exploitation des stocks

L'évaluation des stocks à porté sur les huit espèces identifiées dans la base de données débarquements (pour lesquelles les statistiques sont d'une fiabilité satisfaisante, permettant le calcul d'un indice d'abondance) plus quatre autres espèces choisies arbitrairement pour élargir les évaluations à d'autres familles de poissons notamment les Sparidés qui sont largement ciblés par la pêche. Pour ces quatre espèces additionnelles seuls les indices d'abondance issus des campagnes étaient disponibles. Sur ces 12 espèces de poissons démersaux retenues pour mener les évaluations à l'aide du modèle global en pseudo-équilibre, seules six espèces conduisent à des résultats concluants, en termes d'ajustement, avec des valeurs de coefficients de corrélations significatives ($R^2 > 0.4$, pour $ddl = 15$). A savoir : Le Thiof (*Epinephelus aeneus*), la Courbine (*Argyrosomus regius*), le Diagramme (*Plecthorinchus mediterraneus*), le Saint-Pierre (*Zeus faber*), le Pageot (*Pagellus bellottii*) et l'Ombrière (*Umbrina canariensis*). Ainsi le bilan sera dressé sur l'état d'exploitation de ces six espèces. Cependant, compte tenu de la contrainte de volume du mémoire, seuls les résultats détaillés d'une espèce, à savoir le Thiof, sont présentés, tandis que les diagnostics des autres espèces sont exposés brièvement et de manière synthétique. Les graphes d'ajustement des modèles globaux des différentes espèces autres que le thiof sont présentés en annexe, ainsi que quelques éléments sur les caractéristiques biologiques de ces espèces.

2.2.1. Thiof (*Epinephelus aeneus*)

Le thiof est un mérou de grande valeur marchande et est très apprécié par les consommateurs locaux. Il appartient à la famille des serranidés, vit tout le long des côtes mauritaniennes mais est rencontré particulièrement sur les fonds rocheux, où se trouvent concentrés les plus gros individus. Il est principalement ciblé par la pêche artisanale; les techniques de la ligne et du filet maillant sont les plus employées. La pêche industrielle le capture au chalut (accessoirement) dans des proportions beaucoup plus faibles. Cette espèce est caractérisée par ses migrations latitudinales saisonnières notamment des individus adultes (Domaine, 1980 ; Cury et al., 1988 in Dah et al., 1991).

➤ Modèle à l'équilibre

L'ajustement du modèle global à partir de plusieurs séries d'IA du thiof aboutit à des estimations différentes des paramètres du modèle, indiquant une situation comprise entre la pleine exploitation et une très sensible sur-exploitation (Fig. 15). Cependant, l'ajustement du modèle avec l'IA des campagnes scientifiques exprimé en biomasse semble peu réaliste et conduit à un diagnostic trop optimiste (l'effort de pêche actuel correspond à celui de la maximisation, donc le stock serait en

plein exploitation) par rapport à la réalité connue de l'état d'exploitation de cette espèce. Ce diagnostic apparemment absurde est probablement lié à un problème de représentativité de l'indice campagnes au cours de la période 91-05 (cf. partie 2.2.1). L'ajustement du modèle avec l'IA issu de la pêche indique un potentiel de production du stock (production maximale équilibrée ou MSY) de 1633 tonnes, et le mf_{MSY} montre une légère surexploitation avec seulement 16% d'excédent d'effort de pêche par rapport à l'optimum du MSY. Cependant, le potentiel de production estimé n'atteint pas 1000 tonnes en ajustant le modèle avec les IA issus des campagnes scientifiques, et le modèle aboutit à un diagnostic de forte surexploitation, avec un excédent d'effort de pêche de 36 à 50% (tableau). Cette fourchette d'excédent d'effort de pêche concorde avec celle estimée pour cette espèce au Sénégal, où les excédents estimés en 2002 varient entre 35 et 55% (Gascuel et al., 2004).

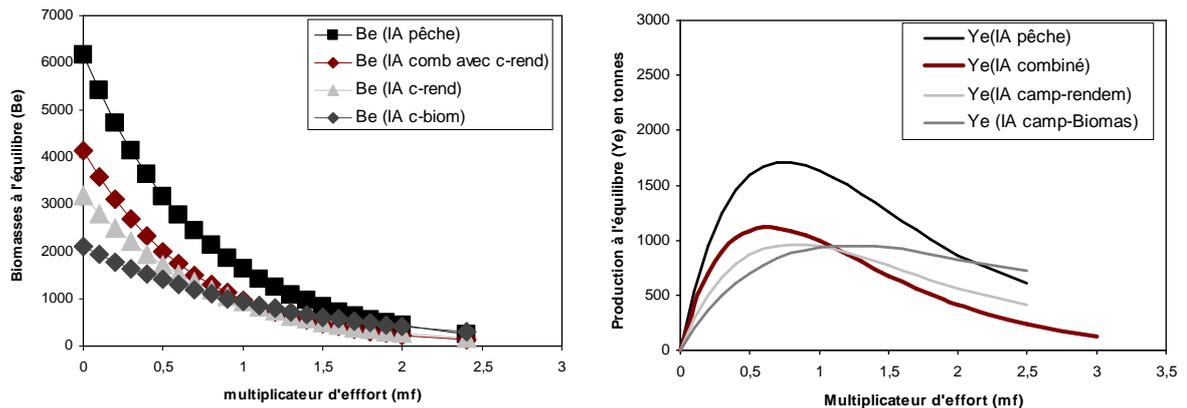


Figure 15 : Sensibilité de l'indice d'abondance prédit par le modèle (Be) et de la capture à l'équilibre (Ye), aux différents indices d'abondances testés pour le thiof

Globalement les corrélations (R^2) entre les IA observés et prédits par les modèles sont très significatives et les indicateurs sur l'état de l'exploitation du thiof indiquent une surexploitation du stock ($mf_{MSY} < 1$) et une forte réduction de biomasse, avec des divisions par 5 voire par 10 (tableau 4) sur la période étudiée 91/06.

Le modèle ajusté avec l'IA combiné est retenu comme référence (figure 16), d'une part parce que la corrélation entre les observations et les prédictions sont les plus significatives, et d'autre part parce que l'indice combiné est considéré comme un compromis entre les différentes approches.

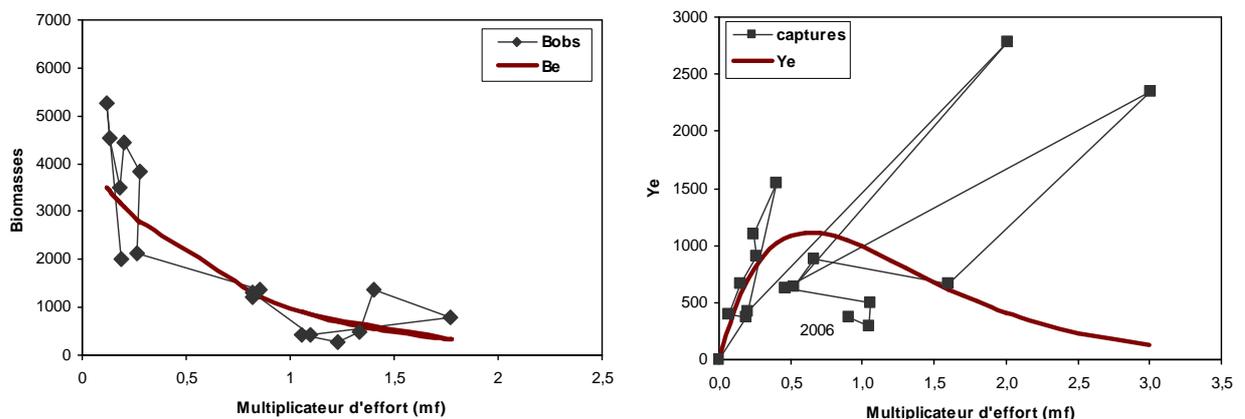


Figure 16 : IA observés et prédits par le modèle de production de biomasse du thiof (à gauche); et les captures observées et prédites par le modèle (à droite).

Tableau 4 : Estimations de quelques indicateurs et des paramètres du modèle global ajusté sur les données du thiof, pour les différentes séries d'IA

série d'IA	R ²	MSY	mf _{MSY}	Yact/MSY	K	Bact/Bv	Be/Bv
IA campagne (en rendement)	0,72	999	0,64	0,38	3185	0,17	0,22
IA campagne (en Biomasses)*	0,56	1179	1,02	0,32	2108	0,24	0,40
IA pêche	0,82	1633	0,75	0,23	6177	0,10	0,15
IA combiné	0,88	991	0,64	0,38	4149	0,10	0,22
IA combiné et captures+rejets	0,88	1884	0,49	0,27	10515	0,09	0,14

*l'ajustement avec cet indice est exclu, car il conduit à un diagnostic aberrant (sous exploitation)

➤ **Etude de sensibilité aux rejets et captures non déclarés**

L'ajustement des captures avec les différents indices d'abondances est reconduit cette fois ci avec les captures qui englobent les estimations des rejets et des prises non déclarées (ces captures sont calculées à partir des données des observateurs). Globalement, cette analyse montre que les diagnostics sont plus alarmants que ceux obtenus dans le cas du modèle ajusté avec les captures sans rejets et prises non déclarées (tableau 4). En s'appuyant sur le modèle de référence (IA combiné), un excédent d'effort de 50% est estimé lorsqu'on prend en compte dans la série de capture, les rejets et les prises non déclarées. On notera également que l'estimation du MSY, qui inclut dans ce cas les rejets et captures non déclarées, est plus élevée (de l'ordre de 1900 tonnes). Quand à la valeur estimée de la biomasse vierge (K) elle passe de 4200 à 10500 tonnes, ce qui est globalement cohérent avec les estimations de Gascuel et al., (2007) soit 6000 environ au début des années 80, d'après les données des campagnes scientifiques.

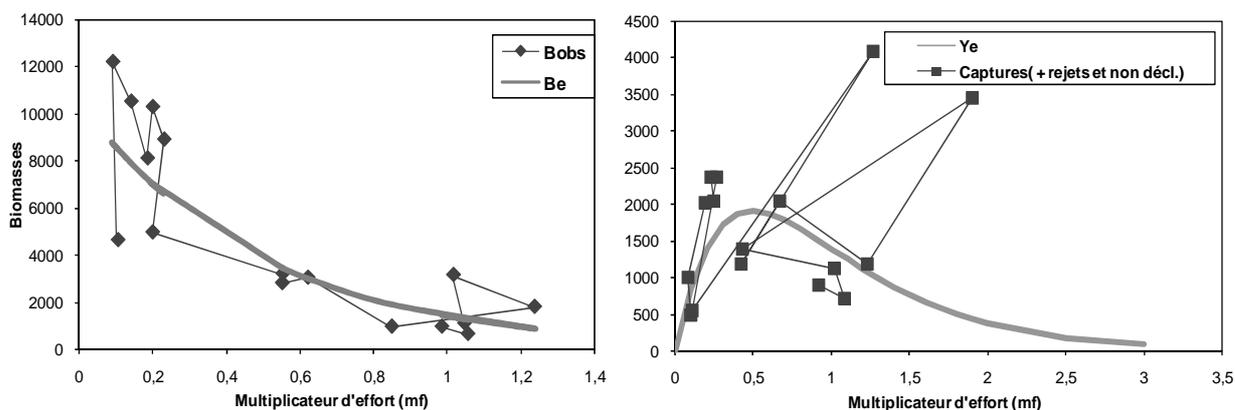


Figure 17 : IA observés et prédits par le modèle de production de biomasse du thiof (à gauche); et les captures observées et prédites par le modèle (à droite) dans le cas des captures avec les estimations des rejets et prises non déclarées.

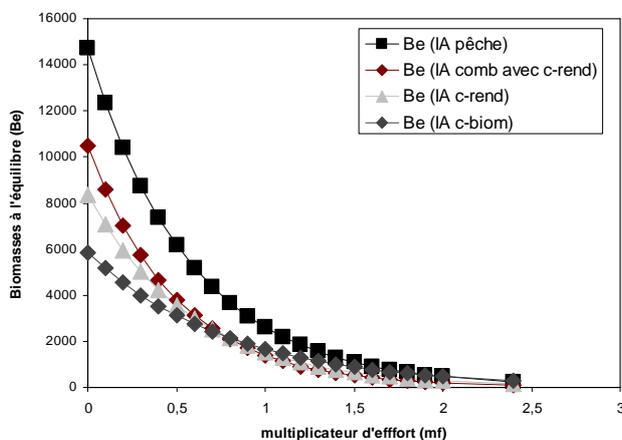


Figure 18: Sensibilité de l'indice d'abondance prédit par le modèle aux différents indices d'abondances testés pour le thiof, avec la prise en compte des rejets et des prises non déclarées

➤ **Modèle dynamique Bayésien**

Les lois de distribution a posteriori des paramètres r et K sont globalement sensibles à leurs lois a priori, donc les valeurs obtenues sont à interpréter avec précaution. C'est d'ailleurs ce qui a motivé les analyses de sensibilité. Par contre, une bonne convergence des chaînes MCMC est obtenue (figure 19). Le mode de distribution à posteriori de K s'actualise après ajustement et passe de 3000 a priori à 7000 environ (figure 20). Cependant, et selon les lois a priori utilisées, il peut varier de 7000 à 11000. Par ailleurs dans les différents ajustements du modèle à l'équilibre ce paramètre est estimé entre 3000 et 6200 (sauf dans le cas du modèle ajusté avec des captures englobant les rejets et les prises non déclarées, où le K est estimé à 10000 environ, mais ne se rapporte en réalité pas à une biomasse équivalente). Le mode estimé pour r quand a lui reste dans les environs de 0,6. Le MSY estimé est de 400 tonnes environ, ce qui est beaucoup plus faible que ce lui estimé par le modèle à l'équilibre de référence (990 t). La capturabilité elle est estimée à 10^{-4} environ et perd son unité probabiliste de 0-1, vu que le modèle est ajusté avec des IA exprimés en rendements par demi-heure de chalutage scientifique. Cependant avec les IA exprimés en biomasse ce paramètre s'estime à 0.13 environ. En effet son ordre de grandeur dépend de celui de l'IA utilisé dans l'ajustement du modèle.

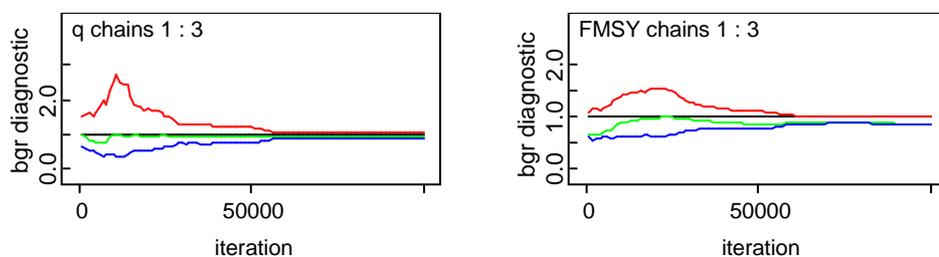


Figure 19 : test de convergence de trois chaînes de MCMC pour le paramètre q et pour le FMSY

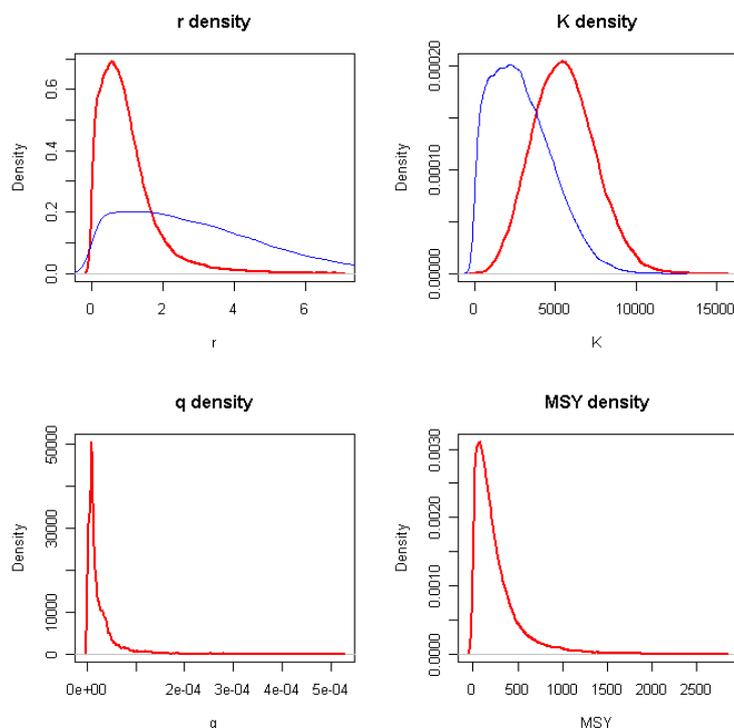


Figure 20 : Estimations obtenues des paramètres r , K , q et MSY (lignes foncées) et les lois à priori (lignes plus fines) de r et K

La production à l'équilibre et le multiplicateur d'effort de pêche de maximisation (mf_{MSY}) sont très sensibles aux lois a priori des paramètres de r et K . Le multiplicateur d'effort de maximisation varie selon les lois choisies a priori des paramètres, et ses valeurs se situent entre 0.3 et 1 (figure 21), et si on considère les valeurs les plus fréquentes, cette fourchette se rétrécit à 0.5-0.8 ce qui contient la valeur obtenue avec le modèle à l'équilibre (0,6). Donc selon le modèle dynamique le stock de thiof serait aussi en surexploitation avec un dépassement qui peut aller de 50 à 20% par rapport à l'effort de maximisation des captures à l'équilibre. Cependant, le MSY estimé dans le modèle dynamique (entre 300 et 900) reste globalement en dessous de l'estimation du modèle à l'équilibre. En outre, le modèle dynamique reste très sensible aux choix des contraintes sur les paramètres du modèle. A l'inverse, le modèle à l'équilibre semble être plus robuste dans ses estimations. Ceci pourrait être lié au faible nombre d'années dans les jeux de données (16 ans). Dans un modèle potentiellement sur-paramétré ce nombre semble être très faible.

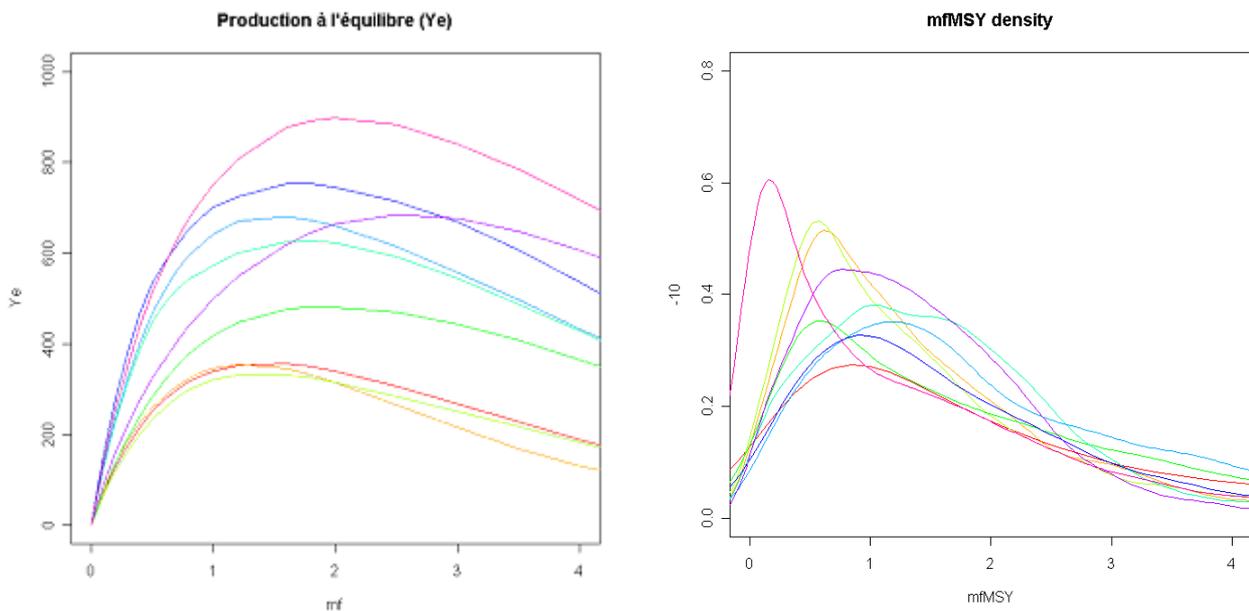


Figure 21 : Les différentes estimations obtenues dans une analyse de sensibilité : production à l'équilibre (Y_e) (pour les valeurs médianes des estimations à posteriori des Y_i , où i est une valeur donnée de mf) et multiplicateur d'effort de pêche de maximisation (mf_{MSY})

2.2.2. Synthèse diagnostics pour toutes les espèces étudiées:

➤ Présentation des résultats

Du graphique synthétique ci-dessous on distingue deux grands groupes d'espèce selon leur état d'exploitation, le premier surexploité à des degrés différents (à gauche du graphique) et un deuxième sous-exploité à droite.

Le stock du denté angolais (*Dentex angolensis*) est considéré comme le plus critique des stocks évalués même si l'ajustement est contestable vu que les statistiques sont jugées peu fiables. Ce stock serait en forte surexploitation avec un dépassement d'effort de pêche proche de 95%. Le niveau de biomasse a connu une baisse importante.

Le stock de l'Ombrière (*Umbrina canariensis*) est aussi considéré en forte surexploitation avec un excédent d'effort de pêche de 50% par rapport à l'effort de maximisation (correspondant au MSY). Sa biomasse a été diminuée par un facteur de vingt sur la période étudiée.

Le stock de Thiof se trouve aussi en situation de surexploitation et les différents diagnostics le confirment. La biomasse serait en diminution par un facteur de cinq depuis le début de la période (1991) et se situe à la limite d'un risque d'effondrement.

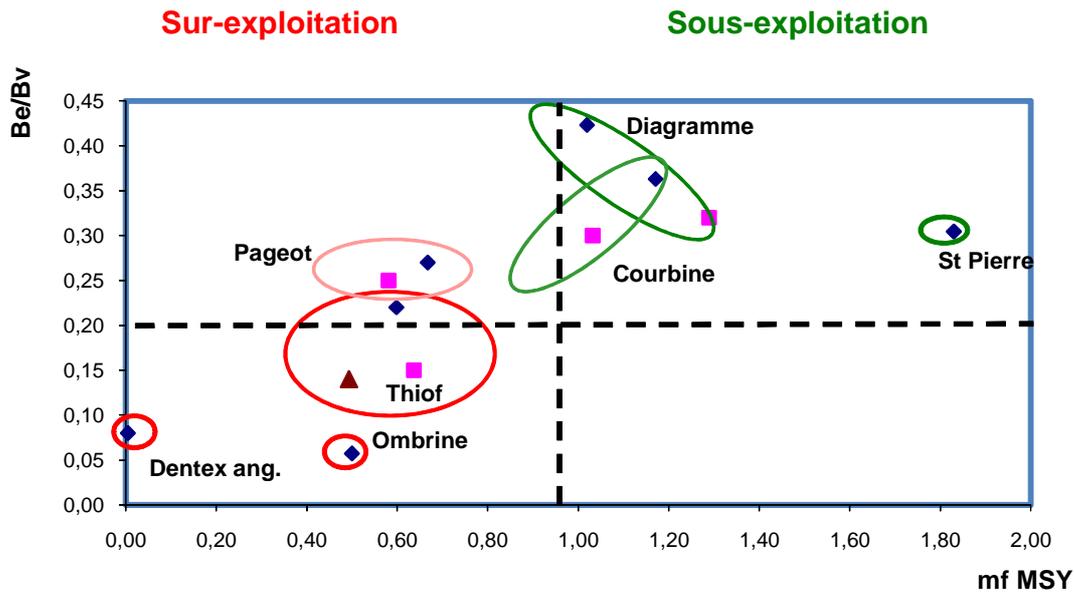


Figure 21 : Synthèse graphique de l'état de l'exploitation et de biomasse des stocks de poissons démersaux dans les eaux mauritaniennes évalués par un modèle de production équilibré et sur une période allant de 1991 à 2006. Les ellipses englobent les différentes estimations.

Tableau 5 : Estimations de quelques indicateurs et des paramètres du modèle global ajusté sur les données des différentes espèces avec les espèces pour lesquelles l'ajustement ne marche pas

Espèce	l'indice d'abon.	R ²	mfMSY	K	MSY
<i>Dentex angolensis</i>	IA campagne	0,50	0,08	1780	480
<i>Umbrina canariensis</i>	IA campagne	0,53	0,50	1567	214
<i>Pagellus bellotti</i>	IA campagne	0,56	0,67	6268	1401
<i>Plectorinchus mediterraneus</i>	IA combiné	0,45	1,29	5100	2627
	IA pêche	0,72	1,02	6480	2428
<i>Argirosomus reguis</i>	IA pêche	0,37	1,17	10800	4714
	IA campagne -f	0,57	1,03	7800	3845
<i>Zeus faber</i>	IA campagne	0,51	1,73	3000	1684
	IA campagne r€	0,45	1,83	3000	1737
<i>Arius hedoloti</i>		Corrélation non significative			
<i>Uranoscopus</i>		Corrélation non significative			
<i>Mustelus mustelus</i>		Corrélation non significative			
<i>Sparus caero.</i>		Corrélation non significative			
<i>Pomadasys insicus</i>		Corrélation non significative			
<i>Epinephelus alexendrinus</i>		Corrélation non significative			

Le stock de Pageot (*Pagellus bellotti*) serait en situation de surexploitation aussi, même s'il est considéré moins grave que celui du thiof. Le dépassement d'effort de pêche est de 40%, et la biomasse a été divisée par quatre sur la période 1991/2003. En revanche, le modèle ajusté sur toute la période 1991/2006 ne donne pas une corrélation significative entre les abondances prédites et

observées, même si le diagnostic obtenu est proche de celui ajusté sur la période 91/03 qui lui affiche une corrélation significative.

D'autres stocks semblent être dans des états plus satisfaisants, notamment le diagramme et le Saint Pierre

Le stock de diagramme (*Plectorhynchus mediterraneus*) serait en pleine-exploitation selon le diagnostic du modèle ajusté avec l'IA issu des CPUE de la pêche commerciale. Le modèle ajusté avec l'IA des campagnes scientifiques n'est pas retenu car la corrélation n'est pas significative entre les observations et les prédictions du modèle (même si toutefois, le diagnostic confirme l'état de plein exploitation). Cependant, ce stock serait modérément sous-exploité selon le diagnostic du modèle ajusté avec l'IA combiné. Toutefois la biomasse a été divisée par deux sur la période étudiée, donc le diagnostic de pleine-exploitation serait plus plausible.

D'après le modèle, le stock de courbine serait aussi en pleine-exploitation sauf que le comportement pélagique de certaines phases de vie de cette espèce fait que ce diagnostic est qualifié d'incertain.

Enfin, le stock de Saint-Pierre est quand à lui sous-exploité, l'effort de pêche actuel est bien en deçà de celui qui maximise les captures. La prise maximale équilibrée (MSY) serait autour de 1700 tonnes. Cependant, la diminution importante de la biomasse sur les seize années étudiées (de 70%) exige une prudence envers ce diagnostic.

➤ Discussion

Ces diagnostics peuvent être comparés avec les pourcentages de diminution annuelle de biomasse, calculés sur les périodes 1982-2006 à partir des données des campagnes scientifiques (tableau 4 en annexe C). Globalement, les résultats semblent cohérents, avec en particulier des états de stock très dégradés pour le denté angolais (*Dentex angolensis*), le thiof, l'ombrine et le pageot, et des états apparemment plus favorables pour le diagramme et la courbine. Seul le diagnostic optimiste du Saint Pierre fait réellement problème puisque les indices d'abondance montraient une forte baisse, cependant l'accroissement des captures souligné au premier chapitre serait à l'origine de ce diagnostic optimiste.

Par ailleurs, une comparaison entre les biomasses vierges obtenues dans les différents modèles et les biomasses estimées pour l'année 1982 à partir des données campagnes scientifiques montre que ces dernières sont supérieures dans le cas de trois espèces (Saint Pierre, Ombrine et pageot), ceci indiquerait que les modèles sous estiment les biomasses initiales. Nos diagnostics seraient donc globalement optimistes, notamment pour ces trois espèces. Ceci est principalement dû au fait que le modèle s'applique sur une période restreinte relative à la disponibilité des bases de données (1991-2006), alors que le développement de la pêche en Mauritanie remonte aux années soixante.

Tableau 6 : Comparaison entre les biomasses obtenues par les modèles et les biomasses estimées à partir des campagnes scientifiques.

Espèce	Estimations des modèles			Estimations de biomasses à partir des campagnes scientifiques (Gascuel et al., 2007)	
	Be/Bv	K		B ₈₂₋₈₄	B ₀₄₋₀₆ /B ₈₂₋₈₄
		0 rejets	avec rejets		
<i>Epinephelus aeneus</i>	0,22	3000-6100	10500	6813	0,05
<i>Plectorhinchus mediterraneus</i>	0,42	5100-6400	17400	4038	0,88
<i>Argyrosomus regius</i>	0,36	7800-10800	25800	1273	0,44
<i>Umbrina canariensis</i>	0,06	1567	3200	3149	0,14
<i>Zeus faber</i>	0,3	3000	7900	5632	0,17
<i>Pagellus bellottii</i>	0,25	6268	62000	26863	0,21

3. Conclusion et perspectives

La première partie de ce travail qui a porté sur l'estimation des captures spécifiques des poissons démersaux a permis d'utiliser pour la première fois la base de données débarquements de la flotte nationale mauritanienne débarquant en Mauritanie. Cette base de données se révèle d'une grande importance et d'une fiabilité satisfaisante. Elle a permis d'une part, de mettre en exergue l'écart considérable entre les déclarations des captures dans les journaux de bord et les débarquements réels. Ceci pourrait susciter dans l'avenir des éventuelles corrections des statistiques de pêche de la Mauritanie. D'autre part, à travers cette base de données, on arrive à démontrer que la composition spécifique des captures des navires nationaux est différente de celle des navires étrangers. Ainsi son utilisation a permis d'aboutir à une estimation des captures spécifiques plus fiable que celle du groupe de travail de l'IMROP en 2006. Cependant, certaines limites persistent dans cette base de données. En effet, le niveau d'enregistrement des captures reste la catégorie d'espèce pour certaines espèces. Un suivi par échantillonnage des débarquements reste donc nécessaire pour obtenir des informations plus détaillées (par espèce). L'estimation des captures spécifiques telle que nous l'avons obtenue reste naturellement améliorable ; l'idéal serait de disposer en plus des débarquements de la flotte nationale, de ceux des navires étrangers. Dans le cadre des accords de pêche entre la Mauritanie et l'UE, les navires sont tenus de rendre compte à l'UE de leurs débarquements, et la Mauritanie devrait donc insister pour obtenir ces informations. Cela pourrait compléter les données des observateurs souvent remises en cause.

La seconde partie de ce travail nous a permis d'analyser les changements d'abondance d'une sélection d'espèces. Le modèle delta employé s'est révélé robuste en termes d'estimation des indices d'abondances pour des espèces qui ne sont pas souvent présentes dans les observations. Les indices d'abondance issus des CPUE des navires commerciaux pour les poissons démersaux, constituent les premiers indices estimés pour ces espèces à partir des données de la pêche commerciale. Les résultats obtenus confirment une nette décroissance de l'abondance de certaines espèces, précédemment observée à partir des données campagnes scientifiques. Par contre une incohérence est parfois observée entre les indices d'abondances issus des deux sources d'informations (campagnes scientifiques et pêche commerciale), ce qui révèle une certaine incertitude autour de l'un ou des deux indices estimés.

Les diagnostics obtenus à travers l'ajustement du modèle global à l'équilibre ont eux aussi fourni pour la première fois des évaluations sur l'état d'exploitation de quelques espèces démersales notamment de la catégorie dite "poissons démersaux". Ce modèle semble être robuste vu le peu de paramètres à estimer, contrairement au modèle dynamique, qui lui nécessite de mettre des contraintes sur quelques paramètres du modèle. Dans ce contexte l'utilisation du cadre Bayésien semble être adéquate. Cependant, l'ajustement du modèle peut être parfois très délicat quand la convergence des chaînes de Markov de Monte Carlo n'est pas obtenue. Ce problème est lié au sur-paramétrage du modèle dynamique, surtout au vu du faible nombre d'années contenus dans les jeux de données. Par contre, le cadre Bayésien reste une méthode très flexible pour la modélisation, notamment à l'aide du package BRugs sous R.

Pour plusieurs espèces le diagnostic du modèle global n'est pas retenu faute d'un ajustement satisfaisant. Dans l'avenir il sera intéressant de compléter ces analyses pour l'ensemble des espèces et de fournir un tableau de bord qui récapitule l'état d'exploitation de toutes les espèces. Ceci pourrait avoir un grand intérêt auprès des décideurs dans l'élaboration des plans d'aménagement des ressources halieutiques, mais aussi dans les négociations des accords de pêche entre la Mauritanie et ses partenaires Européens.

Globalement pour la majorité des espèces la situation semble relativement inquiétante. Pour la période récente, les espèces côtières sont plus affectées par la pêche que celles de plus grande profondeur. Il y'a donc une nécessité de reporter une partie de l'effort de pêche vers le large, pour préserver les ressources côtières qui sont les plus accessibles et les plus menacées par la pêche, et qui subissent à la fois la pression de la pêche artisanale et celle de la pêche industrielle. Notons que c'est également là que s'effectue la grande majorité des rejets de poissons. La Mauritanie a déjà pris

des mesures dans ce sens, en repoussant à plusieurs reprises la pêche industrielle vers le large. Les taux de captures accessoires sont précisés avec de plus en plus de soin à chaque nouveau protocole d'accord de pêche avec l'UE. Cependant le contrôle du respect de ces taux est hypothétique que ce soit pour la flotte nationale débarquant en Mauritanie ou pour la flotte européenne débarquant dans les ports espagnols. Ceci est dû, d'une part, à la faiblesse des moyens mauritaniens de contrôle et de surveillance en mer, et d'autre part, à l'absence d'inspection "effective" au moment des débarquements, notamment dans les ports espagnols.

En conclusion, le bilan semble être alarmant pour certaines espèces. Cependant, et pour avoir une vision plus correcte sur l'état d'exploitation des ressources démersales il ne suffit pas d'évaluer seulement l'état des stocks considérés aujourd'hui comme majeurs. Il y'a une nécessité de s'appuyer sur une démarche d'écologie comparative à travers une démarche écosystémique, et de s'intéresser à des sélections de stocks considérés représentatifs de différentes stratégies démographiques et de différents compartiments des réseaux trophiques, pour mieux appréhender les effets de la pêche sur ces ressources. En effet, les effets négatifs de la pêche comme la destruction des fonds, de la biodiversité, la surexploitation de certaines espèces et le niveau des rejets élevés peuvent engendrer des perturbations considérables dans l'écosystème marin, notamment des modifications dans les biomasses des différents niveaux trophiques. La surexploitation de l'écosystème peut notamment favoriser les niveaux trophiques bas et de valeurs commerciales faibles. Elle peut engendrer des pertes économiques très importantes et compromettre l'avenir du secteur des pêches, pourtant stratégique pour le développement de la Mauritanie.

Bibliographie :

- Beyah M, Lourdez F, Djiga T. et Ana R. (2005). *Rapport de la rencontre IMROP/CRODT/IEO pour la validation des statistiques de Merlus noirs dans la zone COPACE*
- Dah A., Girardin M. et Vall M. (1991). *Les poissons de la communauté à scianidés et sparidés in Chavance P. et Girardin M. (1991) L'environnement, les ressources et les pêcheries de la ZEE mauritanienne. Bulletin N°23 CNROP Domaine*
- Diop M. Inejih C.A., Sobrino I. Ramos A. (2002). *Description des pêcheries démersales dans la ZEE de la République Islamique de Mauritanie ; Rapport de rencontre IMROP-IEO.*
- Fréon, P. 1991. *L'introduction d'une variable climatique dans les modèles globaux de production. ORSTOM , 395-424.*
- Failler P, Diop M, Dia MA, Inejih CA, Tous P (2006) *Évaluation des stocks et aménagement des pêcheries de la ZEE Mauritanienne. Rapport du cinquième Groupe de travail IMROP, (Nouadhibou, 917 décembre 2002), COPACE/PACE Séries 06/66*
- FAO-CNROP (1995) *Évaluation des stocks et des pêcheries mauritaniennes: voies de développement et d'aménagement. Rapport du 3ième groupe de travail CNROP (Nouadhibou 20–26 novembre 1993). COPACE/PACE Séries 95/60*
- FAO. 2006. *Rapport du groupe de travail FAO/COPACE sur l'évaluation des ressources démersales - Sous-groupe Nord. Saly, Sénégal, 14-23 septembre 2004. FAO,COPACE/PACE Séries 06/68, p372.*
- Quéméner L., 2002. *Le maigre commun (Argyrosomus regius). Biologie, pêche, marche et potential aquacole. Editions Ifremer, Plouzané, France. 31 pp.*
- Guitton, J et Gascuel, D. (2004). *Trawlbase-SIAP : Un outil de gestion des données de campagnes de chalutage scientifiques. In "Pêcheries maritimes, écosystèmes et sociétés en Afrique de l'Ouest : un demi-siècle de changements". Dakar, Sénégal, Juin 2002. Edité par P. Chavance, M. Bah, D. Gascuel, M. Vakily, et D. Pauly.*
- Gascuel D, Laurans M, Sidibé A, Barry MD (2004) *Diagnostic comparatif de l'état des stocks et évolutions d'abondance des ressources démersales dans les pays de la CSRP. In: Chavance P, Ba M, Gascuel D, Vakily JM, Pauly D (eds) Pêcheries maritimes, écosystèmes et sociétés en Afrique de l'Ouest: un demi siècle de changement. Coll. Rap. Actes du Symposium international DAKAR Juin 2002, Office des publications officielles des communautés Européennes, XXXVI, collection des rapports de recherche halieutique ACP-UE 15: 205–222*
- Gascuel D, Monteiro C, Yahya S, Brahim K (in press) *Estimation des captures par espèce pour les différentes flottilles opérant en Mauritanie (1991/2005). Rapport du 6ième groupe de travail IMROP sur l'évaluation des stocks et l'aménagement des pêcheries, Nouadhibou 11–16 décembre 2006*
- Gascuel D, Samba AO, Vally YO, Meissa B, Guitton J (in press b) *Évolution de l'abondance des ressources démersales en Mauritanie (1982/2006). Rapport du 6ième groupe de travail IMROP sur l'évaluation des stocks et l'aménagement des pêcheries, Nouadhibou 11–16 décembre 2006*
- Gascuel D, Zeller D, Taleb Sidi MO, Pauly D (2007) *Reconstructed catches in the mauritanian EEZ. In: Zeller D, Pauly D (eds) Reconstruction of marine fisheries catches for key countries and regions (1950–2005). Fisheries Centre Research Report 15(2). Fisheries centre, University of British Columbia, Vancouver, pp 109–119*
- Gascuel D, Labrosse P, Meissa B, MO Taleb Sidi and Guénette S (2007) *Decline of demersal resources in North-West Africa: an analysis of Mauritanian trawl-survey data over the past 25 years. African Journal of Marine Science 2007, 29(3): 331–345*
- Gascuel D. (Support de cours en ligne ENVAM). *Dynamique des populations et gestion des stocks halieutiques.*
- Girardin M, Dia M, Inejih CA (1990) *Comparaison de l'efficacité du chalut du N'Diogo avant et après 1989, suite au changement des panneaux. Archives du Centre National de Recherches Océanographiques et des Pêches 43, 9 pp + ann.*
- IMROP (2007) *Rapport de synthèse du 6ème Groupe de Travail sur l'évaluation des ressources et l'aménagement des pêcheries de la ZEE mauritanienne*
- Inejih CA, Cheikhna SY, Meissa B, Corten A, Van Vilsteren M, Jouffre D (2004) *Les pêcheries démersales de la Mauritanie en 2003; description des flottilles et évaluation des ressources. Rapport IMROP/RIVA 2004-02*
- Kotaro, O. (2007). *Modélisation statistique bayésienne d'un modèle de production de biomasse. Application à la pêcherie de poulpe (Octopus vulgaris) de Mauritanie ; Mémoire de DAA (ENSAR)*
- Kane, E.A.I. (thèse). 2008. *Comportements opportunistes et négociation de accords de partenariat pêche entre l'union européenne et les organisations régionales de pêches d'Afrique, des Caraïbes et du Pacifique : Enjeux et défis. Cas de la commission sous régionales des pêches (CSRP) de l'Atlantique Centre-Est.*

Laurans, M. (2005) *Ressources et exploitations démersales en Afrique de l'Ouest: évaluation des stocks, dynamique des populations et approche écosystémique*. Thèse de l'ENAR mention Halieutique, Agrocampus Rennes

Laurec, A et Le Guen, JC. 1981. *Dynamique des populations marines exploitées. Tome 1 : concepts et modèles*. CNEXO, Rapports Scientifiques et Techniques, 118p.

Le Pape, O., Chauvet, F., Mahévas, S., Lazure, P., Guérault, D., et Désaunay, Y., 2003. *Quantitative description of habitat suitability for the juvenile common sole (Solea solea, L.) in the Bay of Biscay (France) and the contribution of different habitats to the adult population*. *Journal of Sea Research* 50: 139-149.

Limouzy, C., 1983. - *Abondance saisonnière et migration de la courbine (Argyrosomus regius) dans la Baie du lévrier (Mauritanie)*. *Bulletin du Centre National de Recherches Océanographiques et des Pêches* vol 11 (1), pp. 68-88.

Hilborn, R. and Walters, C. J. 1992. *Quantitative Fisheries Stock Assessment. Choice, Dynamics and Uncertainty*. Chapman and Hall, 297-329.

Meyer, R. and Millar, R.B. 1999. *Bayesian stock assessment using a state-space implementation of the delay difference model*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 56:37-52.

Meyer, R. and Millar, R.B. 1999. *BUGS in bayesian stock assessment*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 56: 1078-1086.

Millar, R. M. and Meyer, R. 2000. *Non linear state-space modelling of fisheries biomass dynamics by using Metropolis-Hastings within-Gibbs sampling*. *Appl. Statist.* 49(Part 3), 327-342.

Myers, R.A. and Mertz, G. 1997. *Maximum population growth rates and recovery times for Atlantic cod, Gadus morhua*. *Fishery Bulletin* 95, 762-772.

Ould Mahmoud E, Ould Mohamed Fall K, Gascuel D, Corten A. (2006) *Évaluation des ressources démersales en Mauritanie, groupe de travail Imrop-Rivo, Nouadhibou 19-20 janvier 2006*. IMROP Document Technique 03

Punt, A.E. 2003. *Extending production models to include process error in the population dynamics*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 60: 1217-1228.

Tixerant, G. 1974. *Contribution à l'étude de la biologie du maigre ou courbine Argyrosomus regius (Asso = Sciaena aquila Lacép.) sur la cote mauritanienne*. Thèse d'université d'Aix-Marseille, France. 146 pp.

Annexes

Annexe A : Quelques précisions sur la fiabilité des bases de données

1. Base Observateurs

L'observation à bord des navires de pêche de fond :

Le programme d'observation à bord des bateaux de pêche de fond de l'UE a été initié en 1996. Sous ce programme 30 observateurs ont été recrutés et affectés pour des tâches scientifiques (FAO, 2006), qui consistent à collecter des informations sur la composition spécifique des captures et des rejets. Cette base est la principale source d'estimations des profils spécifiques que nous utilisons dans notre cas d'étude. Malheureusement cette base c'est détériorée depuis 2003 et la couverture annuelle dont on dispose est comprise entre 1996 et 2002. Le nombre de marées d'observation couvertes par flottille et par année est présenté au tableau :

Tableau 1 : Nombre de marées échantillonnées par les observateurs à bord des navires démersaux étrangers
source : Base observateurs gérée par l'IMROP

	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
cephalopodiers	3	11	19	22	15	8	13
poissonniers		4		1	4	2	2
merlutiers	15	44	18	24	15	6	6
crevettiers		8	4	2	4	2	3

On constate que l'échantillonnage est orienté principalement vers les céphalopodiers et Merluttiers. Ceci semble être lié à une certaine préférence de quelques types de navires par les observateurs, qui eux même influencent la DSPCM dans le choix des bateaux d'embarquement. Notons que l'IMROP gère la base de données mais pas le programme d'observation, ce qui limite son suivi et l'encadrement scientifique qui devait être assuré par ce dernier.

L'observation à bord des navires pélagiques :

Ce programme est le fruit d'une coopération étroite entre l'IMROP et son homologue hollandais RIVO avec l'aide du Ministère hollandais des affaires étrangères. Contrairement au programme de suivi à bord des navires de fond, l'observation à bord des pélagiques est assurée par les scientifiques de l'IMROP.

2. Base Débarquements

La couverture annuelle de cette base est globalement satisfaisante exception faite pour l'année 1995 (figure 6). Les deux premières années de la série ainsi que les trois dernières semblent être entièrement couvertes. D'ailleurs le nombre de marées répertoriées en 1991 et 1992 dépasse légèrement le nombre de marées figurant dans la base de données des journaux de bord qui à l'époque venaient d'être mises en place.

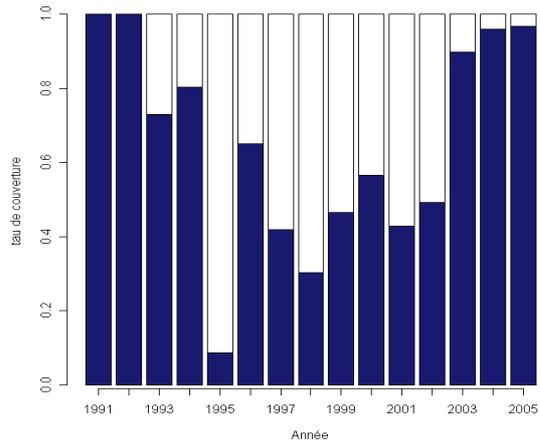


Figure 1 : Taux de couverture annuels des marées répertoriées dans la base de données débarquements par rapport à l'ensemble des marées déclarées dans les journaux de bord

Le croisement de ces deux bases de données permet une analyse des ratios des captures débarquées sur les captures déclarées pour les mêmes marées des mêmes navires. Elle montre que seules 63% (figure) des déclarations faites sur les journaux de bord par les céphalopodiers nationaux sont conformes aux quantités débarquées avec un ratio compris entre 0,75 et 1,25. On constate que la tendance chez ces navires est plutôt de débarquer plus que ce qu'indiquent les journaux de bord. Ainsi dans 30% des marées répertoriées les débarquements dépassent largement ce qui a été déclaré dans les journaux de bord pour les mêmes marées. Ce dépassement est plutôt observé dans les débarquements de poissons démersaux pour lesquels ces navires sont limité à un certain pourcentage par rapport aux céphalopodes leurs principales cibles.

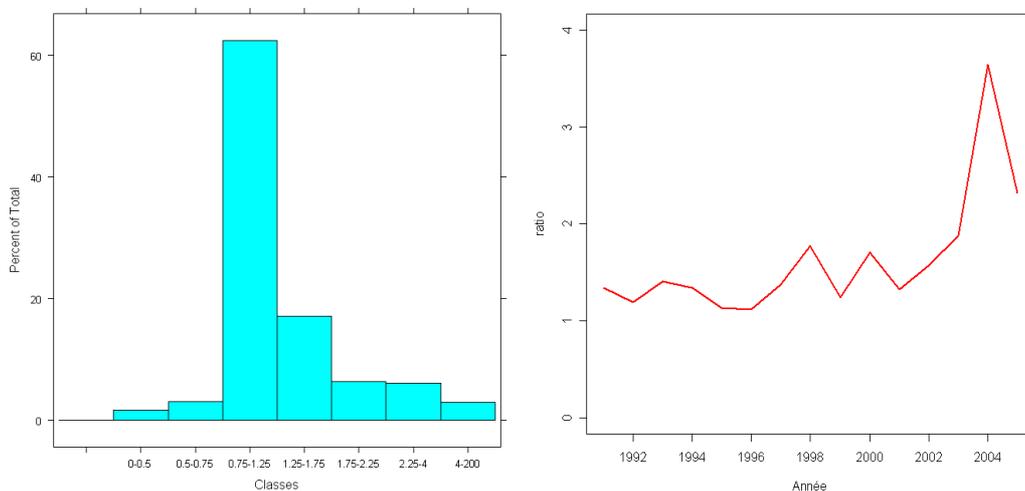


Figure 2 : a- Histogramme des ratios entre débarquements et captures déclarées par marée toute années confondues ; b- Evolution des ratios annuels entre débarquements et captures déclarées (figure à corriger peut être à NDB).

En moyenne le ratio est de 1,59. Ce chiffre pourrait être utilisé comme facteur de correction des statistiques de pêche. Cependant, ce ratio varie peu au fil des années, exception faite pour 2004 où il atteint 3,6 (figure) vraisemblablement dû à une erreur de conversion dans la base de données des cartons en kg pour cette année. Cependant cette anomalie n'influence pas les proportionnalités calculées pour les espèces qui seront évaluées dans la suite.

Annexe B Captures spécifiques estimées

Tableau 2 : Captures spécifiques en tonnes des poissons démersaux de la pêche industrielle (démersale et pélagique) en Mauritanie

Espèce	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
autres poissons démersaux	11682	12960	7584	8619	10063	22394	19557	21241	15567	11634	16403	27457	11201	16003	13531	6131
<i>Zeus faber mauritanicus</i>	105	246	258	836	739	1073	1271	1421	1670	2023	3199	1984	978	1785	1434	930
<i>Argyrosomus regius</i>	531	571	1295	783	3018	1261	3189	1540	753	2047	1926	1413	312	749	317	107
<i>pagellus bellottii</i>	1449	1142	1334	1553	1335	1544	1661	1150	1404	1186	1111	446	623	659	245	389
<i>Pomatomus saltatrix</i>	1026	1340	859	246	675	1272	2242	2190	1223	1672	548	18	716	602	467	213
<i>Plectorhynchus mediterraneus</i>	1153	418	781	1118	393	537	248	65	152	361	924	1576	555	823	529	421
<i>Brotula barbata</i>	75	85	118	533	495	537	854	754	697	767	827	738	381	677	534	313
<i>Mustelus mustelus</i>	234	783	914	981	776	1083	762	314	532	129	198	275	152	320	146	115
<i>Dentex macrophthalmus</i>	415	322	410	447	288	261	362	141	128	88	210	1440	106	287	737	172
<i>Uranoscopus sp</i>	123	126	54	135	42	185	403	142	127	423	246	510	257	190	94	98
<i>Umbrina canariensis</i>	150	67	87	186	106	152	336	232	217	186	123	102	70	222	115	163
<i>Dentex gibbosus</i>	89	70	52	57	73	27	68	127	47	13	546	134	223	123	144	140
<i>Pomadasys incisus</i>	125	126	92	260	120	200	242	165	182	103	17	0	63	53	49	54
<i>Epinephelus aeneus</i>	63	104	136	229	201	370	160	57	47	45	23	57	28	47	43	23
<i>Lithognathus mormyrus</i>	209	77	89	110	133	174	200	50	109	20	10	12	97	88	43	142
<i>Dentex sp.</i>	103	80	102	111	71	123	36	37	123	16	60	127	163	50	58	56
<i>Dentex maroccanus</i>	123	96	122	133	85	123	150	9	39	11	75	0	4	35	25	157
<i>Pagellus acarne</i>	81	63	81	88	56	70	98	10	14	17	14	20	7	10	12	12
<i>Sparus caeruleostictus</i>	23	18	23	25	16	10	36	4	7	13	3	5	147	59	69	67
<i>Sparus auriga</i>	42	33	42	45	29	58	36	4	8	25	3	4	36	16	18	18
<i>Epinephelus alexandrinus</i>	63	12	18	42	96	85	51	9	9	5	2	1	2	4	8	0
<i>Sparus aurata</i>	33	26	33	36	23	72	12	1	0	4	0	0	11	4	5	5
total poissons démersaux	17898	18764	14484	16572	18837	31612	31976	29662	23055	20790	26468	36319	16133	22806	18623	9727

Tableau 3: Captures spécifiques des poissons démersaux de la pêche artisanale en Mauritanie (en tonnes)

Espèce	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
autres poissons démersaux	9495	8863	16103	20712	27141	35917	6040	50161	9680	51180	36150	53430	65570	54645	63462	59054
<i>Argyrosomus regius</i>	230	214	389	501	656	869	811	985	838	4198	11978	6051	3007	1214	2007	1611
<i>Epinephelus alexandrinus</i>	8	8	14	18	24	31	34	26	34	15	117	7	28	44	43	44
<i>Plectorhynchus mediterraneus</i>	560	523	950	1221	1601	2118	603	4669	1151	1503	1163	990	2388	2284	1410	1847
<i>Umbrina canariensis</i>	41	38	70	90	118	155	32	373	67	130	93	523	138	53	38	45
<i>Epinephelus aeneus</i>	312	291	529	680	891	1179	262	2728	587	831	642	2288	599	454	251	352
<i>Lithognathus mormyrus</i>	1	1	2	3	4	5	5	11	0	5	19	5	3	8	3	5
<i>Brotula barbata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Uranoscopus sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pomadasys incisus</i>	45	42	76	98	128	170	48	327	139	305	163	223	354	239	232	235
<i>Pomatomus saltatrix</i>	185	173	314	404	529	701	350	360	1415	74	335	174	21	153	131	142
<i>Zeus faber mauritanicus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Arius heudeloti</i>	1067	996	1810	2328	3051	4038	6645	9252	7577	5903	2726	1445	2841	2638	4674	3656
<i>Mustellus mustellus</i>	1081	1009	1833	2357	3089	4088	6725	9362	6845	4329	2508	937	1787	1830	3502	2666
<i>Liza Aurita</i>	44	41	74	96	126	166	127	88	411	735	3086	13920	1293	14	40	27
<i>Cynoglossus sp</i>	270	252	458	590	773	1022	1483	1944	2178	2411	2800	4296	1160	409	1143	776
<i>Solea senegalensis</i>	398	371	675	868	1137	1505	2259	3013	2681	2348	2063	1126	1104	160	112	136
<i>Sparus caeruleostictus</i>	460	429	780	1003	1315	1740	2454	3169	2199	1229	839	1661	1064	633	626	629
<i>Synaptura cadenati, Synaptura lusitana</i>	261	244	443	569	746	987	1322	1657	1053	449	813	1106	975	2151	1655	1903
<i>Psettodes belcheri</i>	382	357	649	834	1093	1447	2395	3342	2125	909	716	631	493	135	119	127
<i>Epinephelus guaza, E.caninus, E.esculentus</i>	207	194	352	452	593	784	1203	1621	1027	434	429	739	2732	189	110	150
<i>Leptocharias smithii</i>	51	48	87	112	147	195	182	170	582	993	354	269	765	889	580	735
<i>Sparidae</i>	253	236	429	552	723	956	1609	2261	1382	502	278	57	38	394	45	220
<i>Rhisopriodon acutus</i>	44	41	74	96	125	166	196	226	351	477	545	608	831	492	502	497
<i>Dentex canariensis</i>	169	158	287	369	484	640	1133	1626	868	109	287	286	892	0	47	24
<i>Lichia amia, Campogramma glaycoxi</i>	109	102	185	238	312	413	340	267	327	387	1169	85	113	295	321	308
<i>Pomadasys jubelini, P.rogeri, P.pero</i>	32	29	53	69	90	119	176	232	1044	1855	21	335	200	246	183	215
<i>Diplodus sargus</i>	95	88	160	206	270	358	318	278	300	323	303	339	246	266	766	516
<i>Pteromylaeus bovinus</i>	24	23	41	53	70	92	129	166	328	491	194	300	605	876	19	448
<i>Soleidae, Cynoglossidae, Psettodidae</i>	54	51	92	118	155	205	168	130	394	659	671	25	1	3	4	3
<i>Sparus auriga, S. caeruleostictus, S. caeruleus</i>	58	54	98	126	166	219	364	509	417	325	108	453	342	35	19	27
<i>Sparus auriga</i>	24	22	40	52	68	90	141	193	389	584	293	296	278	149	175	162
total poissons démersaux	15961	14898	27069	34816	45624	60376	37553	99145	46389	83694	70862	92605	89868	70901	82220	76561

Annexe C : Indices d'abondances

Tableau 4 : Indices d'abondance de huit espèces démersales, modélisés par GLM à partir des CPUE calculées de la flotte nationale mauritanienne

Année	<i>Epinephelus a.</i>	<i>Argyrosomus r.</i>	<i>Plectorhynchus m.</i>	<i>Epinephelus alx.</i>	<i>Uranoscopus sp</i>	<i>Zeus faber</i>	<i>Umbrina c.</i>	<i>Pomadasys i.</i>
1991	0,624	1,272	2,296	0,283	0,153	0,102	0,182	0,098
1992	1,916	0,978	1,889	0,219	0,069	0,065	0,091	0,045
1993	2,478	2,023	1,099	0,364	0,058	0,003	0,099	0,068
1994	2,121	0,875	1,386	0,522	0,098	0,005	0,115	0,607
1995	2,179	4,745	0,856	0,715	0,012	0,000	0,065	0,220
1996	1,616	0,995	0,435	0,537	0,109	0,079	0,029	0,102
1997	0,948	2,177	0,349	0,338	0,156	0,052	0,000	0,000
1998	0,495	1,380	0,239	0,184	0,094	0,046	0,000	0,000
1999	0,553	0,979	0,102	0,097	0,144	0,087	0,031	0,045
2000	0,577	0,985	0,354	0,051	0,159	0,159	0,026	0,009
2001	0,030	0,594	0,502	0,017	0,084	0,095	0,007	0,000
2002	0,161	0,353	0,436	0,010	0,121	0,048	0,002	0,000
2003	0,165	0,326	0,296	0,020	0,102	0,081	0,017	0,029
2004	0,104	0,312	0,331	0,017	0,067	0,078	0,015	0,016
2005	0,155	0,265	0,434	0,028	0,052	0,071	0,033	0,062
2006	0,02	0,298	0,944	0	0,096	0,296	0,302	0,510

Tableau 5 : Indices d'abondance exprimés en biomasse de quelques espèces démersales, modélisés par GLM à partir des données des campagnes scientifiques (source ; Gascuel et al., 2007)

	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Octopus vulgaris	66980	37625	56166	35627	15089	29322	44604	26339	33374	32693	21921	14667	25381
Sepia officinalis	14932	20864	14429	10119	5808	8061	11899	12505	9063	7035	5193	9026	5513
Mustelus mustelus	20885	10550	3786	8805	13823	11447	7148	6233	5757	6265	9259	3244	2580
Plectorhinchus mediterraneus	5363	5176	1574	2303	3031	3439	5219	6501	3120	4383	7015	4260	3097
Epinephelus aeneus	4686	7890	7862	5153	2444	4877	3873	2837	1569	1316	2943	1652	1067
Pseudolithus senegalensis	214	268	462	1085	1708	1105	881	1322	1544	1315	857	870	752
Arius heudelotii	453	453	870	3396	5922	3008	3087	2718	668	2214	2192	2338	1438
Dentex canariensis	4128	3309	2485	1860	1235	2295	2501	1929	1259	1615	1239	1678	1412
Cynoglossus sp.	1035	921	640	626	613	1175	800	871	868	415	904	747	929
Diplodus bellottii	5102	3950	2623	2476	2330	4263	4316	7093	5356	5987	4981	3636	4621
Brachydeuterus auritus	2475	2203	954	1050	1145	2736	3786	5991	3901	3368	3357	3221	2391
Pomadasys incisus	10793	10687	6580	5162	3745	6804	6948	10346	4194	8049	9598	6672	5060
Pagrus caeruleostictus	5928	4554	2688	2965	3242	3721	3143	4571	2628	4882	2429	5027	4380
Pseudupeneus prayensis	2398	3467	2467	2043	1620	3893	3834	4487	3329	3816	4856	2423	3547
Argyrosomus regius	2380	899	538	749	961	1705	984	1324	786	1492	592	1032	420
Pagellus bellottii	23227	28589	28772	18373	7974	21865	26390	21982	13221	11338	17008	12820	16755
Raja miraletus	13675	11755	23584	18513	13443	16432	25952	4981	3445	4487	4891	3941	2936
Raja straeleni	1854	2968	2894	2175	1456	1719	2949	864	640	913	405	798	844
Umbrina canariensis	3456	2677	3315	2593	1872	2729	3432	2978	1291	1799	5473	1668	1260
Zeus faber	3985	4229	8682	4996	1311	2753	3069	1908	1690	2017	2034	1884	1762
Merluccius sp.	3095	1864	1270	1081	891	2777	3064	1930	2170	1749	2551	1467	2195
Dentex macropthalmus	4633	2653	926	1023	1119	1983	1620	1695	2010	2092	4884	2986	2311
Dentex angolensis	981	4486	6717	5853	4990	5145	8754	3482	4714	2542	3546	4191	3143
Citharus linguatula	5923	2054	2517	2280	2044	6390	11470	5452	4495	2385	4826	3944	3930

Tableau 5 (suite)

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Octopus vulgaris	13532	12189	14900	16362	17994	18328	9511	5419	6823	14182	13978	14640
Sepia officinalis	3393	5470	4444	5509	9100	4150	3130	5696	5537	6106	5035	2823
Mustelus mustelus	6676	4926	6674	4742	8376	2953	4274	10604	5739	4069	5829	4665
Plectorhinchus mediterraneus	4008	5307	5567	2475	2535	5125	3225	8024	9562	3094	3821	3762
Epinephelus aeneus	1868	1934	1108	874	657	715	489	669	1213	455	208	489
Pseudolithus senegalensis	197	1234	816	588	1003	698	983	812	5023	562	828	937
Arius heudelotii	2743	1769	1267	1303	2967	3230	4095	819	1041	1022	668	668
Dentex canariensis	1274	1724	2230	1207	1605	1409	1018	1698	1336	1151	759	288
Cynoglossus sp.	574	594	853	736	398	463	477	176	1244	725	651	449
Diplodus bellottii	5491	5334	5707	5159	9568	4624	6896	9855	4968	5965	7417	3857
Brachydeuterus auritus	4920	4527	1517	1588	3948	4839	3158	7503	6850	1609	2208	2191
Pomadasys incisus	11912	8841	8731	4281	10529	7482	8252	40253	18410	6889	7545	4556
Pagrus caeruleostictus	5152	5001	3568	3294	4098	3221	4069	9108	10160	3651	4418	3028
Pseudupeneus prayensis	3025	3461	2626	1932	2671	2119	1898	3896	2206	1757	2124	2898
Argyrosomus regius	1331	1186	1718	831	1731	683	932	2661	1764	811	378	501
Pagellus bellottii	17344	14293	15791	9204	11950	16195	9558	22861	19551	6233	6724	4348
Raja miraletus	4850	3362	3643	2640	2341	1820	1442	308	1902	999	1381	1221
Raja straeleni	80	796	1846	503	920	914	633	4	0	366	0	234
Umbrina canariensis	1803	1691	1489	1278	979	800	651	1897	1416	737	510	153
Zeus faber	921	1589	2811	1939	2398	1452	1201	256	551	1639	706	662
Merluccius sp.	816	3680	2842	4946	2092	2564	2275	663	1534	2454	1040	1515
Dentex macrophtalmus	735	1334	1919	947	1606	2621	1016	108	80	595	238	110
Dentex angolensis	1523	1416	979	498	451	757	442	139	147	687	291	131
Citharus linguatula	1917	2009	1409	943	727	673	422	263	159	223	131	60

Annexe D : Sorties des modèles GLM

➤ Diagramme (*Plectorhynchus mediterraneus*)

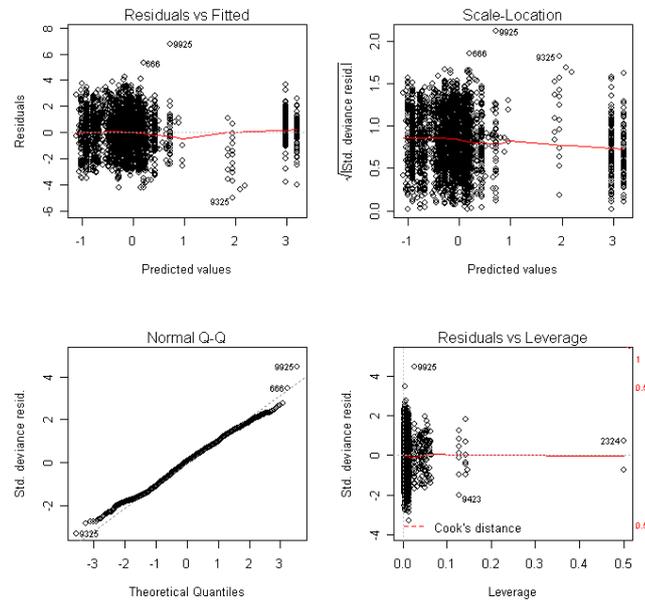


Figure 3: Analyse de la normalité des résidus du sous modèle des observations non nulles de la CPUE du diagramme

Tableau 5 : résultats des tests associés aux deux sous-modèles chez le diagramme

Sous Modèle binomial

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)
NULL			10002	11283.5	
Année	15	2775.3	9987	8508.2	0.0
TJBclas1	9	627.1	9978	7881.0	3.131e-129
TYPNAV	1	24.4	9977	7856.7	7.936e-07
saison4	3	8.5	9974	7848.2	3.657e-02

Sous Modèle CPUE positive

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)
NULL			2515	7905.6	
Année	15	998.8	2500	6906.7	1.616e-80
TJBclas1	9	981.3	2491	5925.4	1.045e-83
saison2	1	32.1	2490	5893.3	2.304e-04

Sorties du modèle GLM pour la courbine (*Argyrosomus regius*)

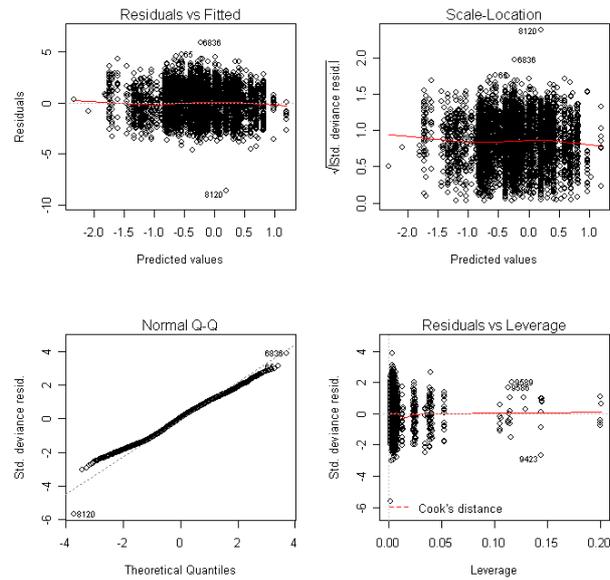


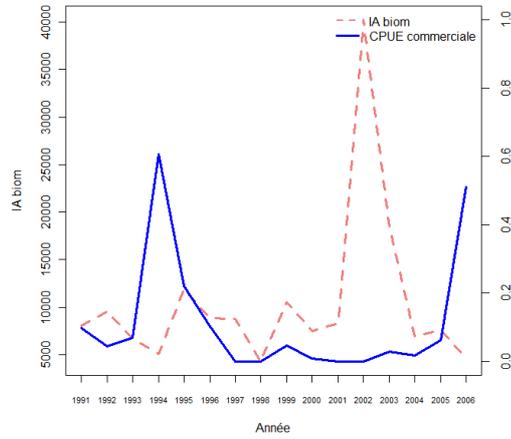
Figure 4 : Analyse de la normalité des résidus du sous modèle des observations non nulles de la CPUE de la courbine

Tableau 6 : résultats du test associé au sous-modèle présence/absence chez la courbine

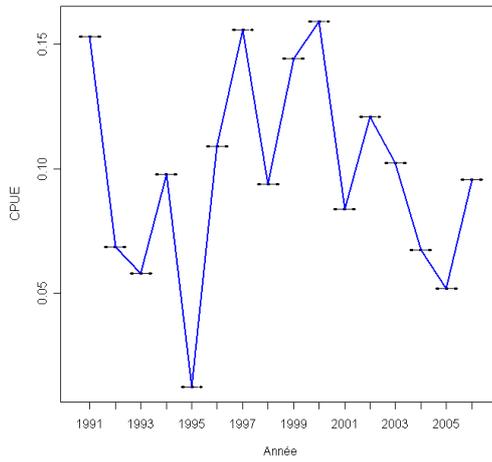
Sous Modèle binomial					
	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)
NULL			10002	13848.7	
Année	15	1536.6	9987	12312.1	6.508e-319
TJBclas1	9	430.0	9978	11882.0	5.293e-87
TYPLIC	3	13.3	9975	11868.7	3.956e-03
saison2	1	61.8	9974	11806.9	3.767e-15

Les indices d'abondance calculés pour le Grondeur (*Pomadasys incisus*), Rata (*Uranoscopus*) et la Badeche (*Epinephelus aeneus*)

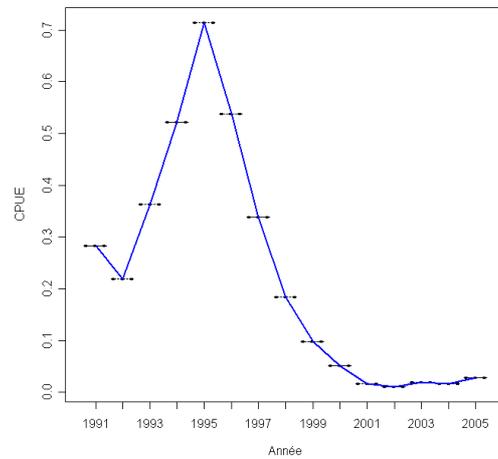
Indices d'abondance du grondeur



CPUE/GLM du RATA

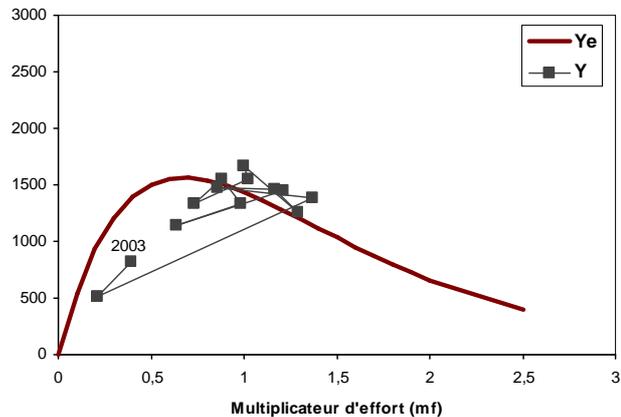
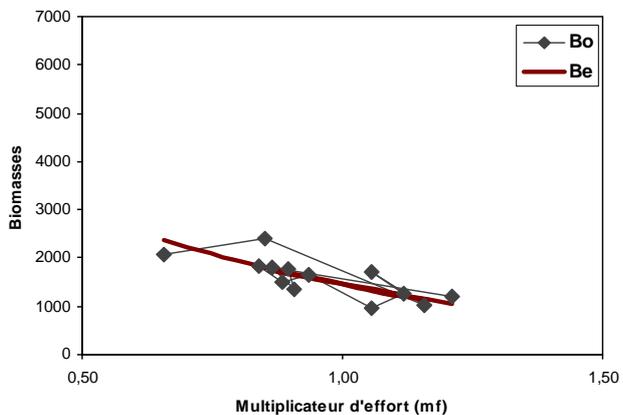


CPUE/GLM Epinephelus alexandrinus (BADECHE)

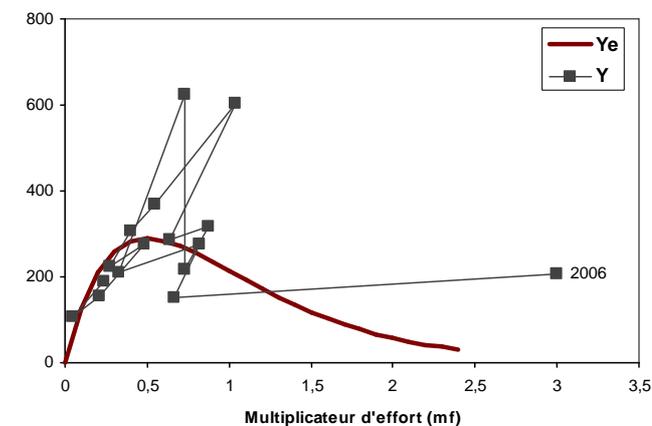
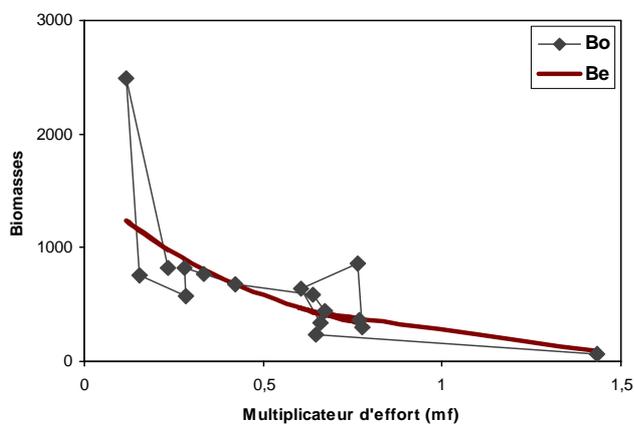


Annexe E : Ajustement du modèle global des espèces évaluées

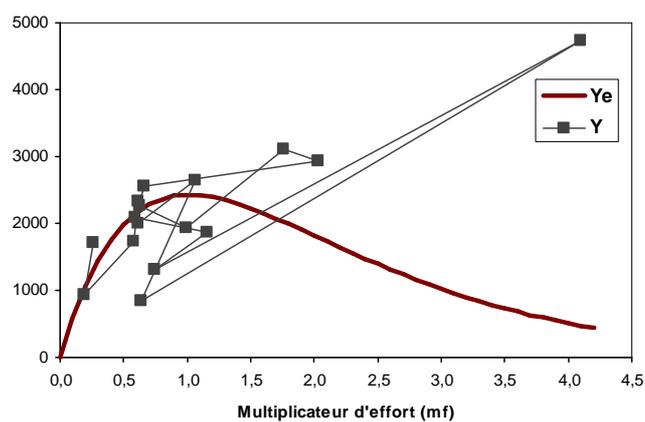
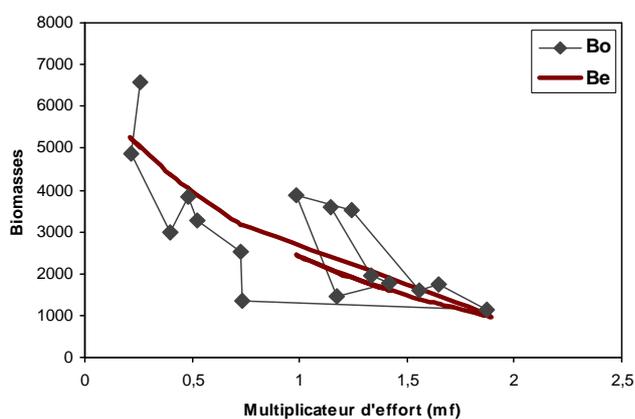
Pagellus bellottii (pageot)



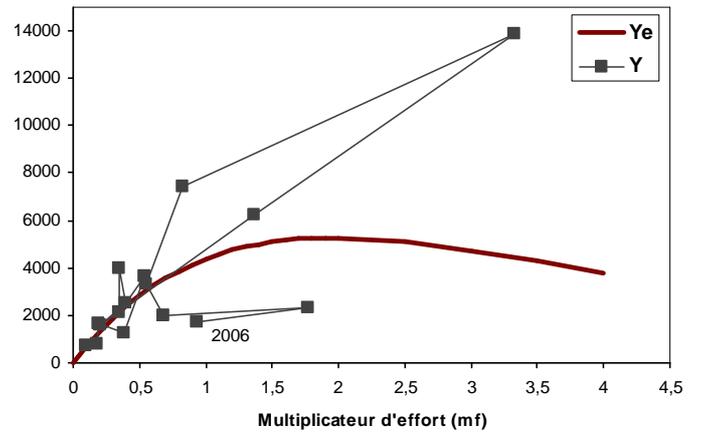
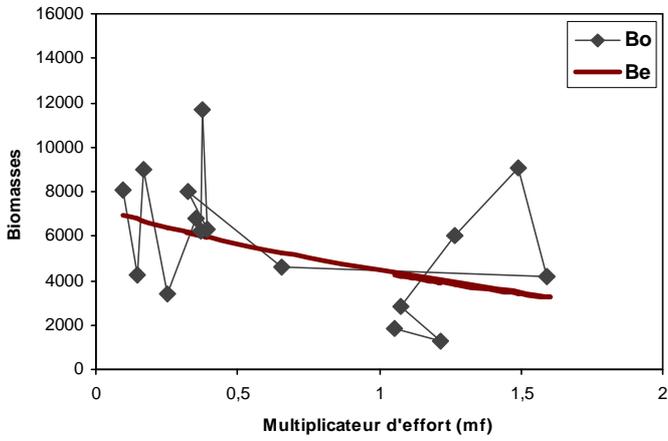
Umbrina canariensis (ombrine)



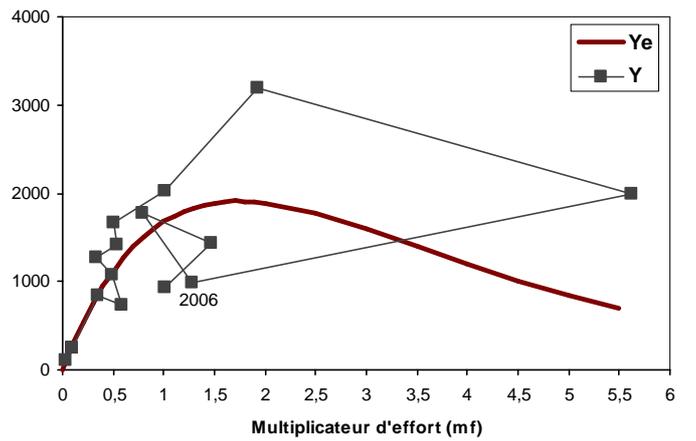
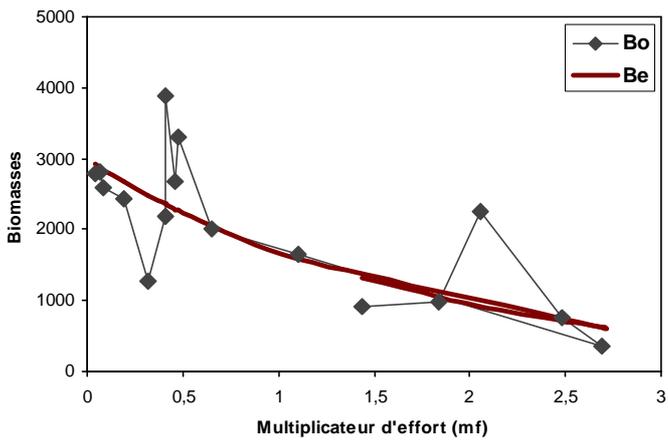
Plectorhynchus mediterraneus (diagramme)



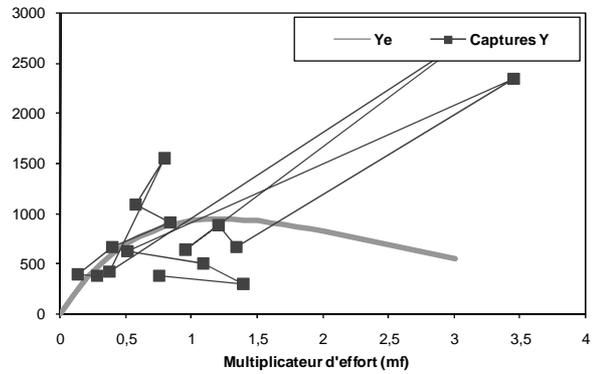
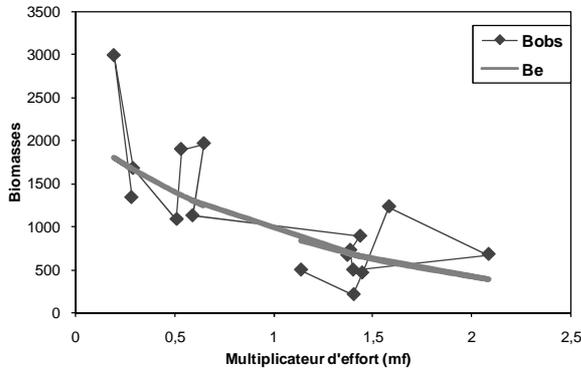
Argyrosomus regius (courbine)



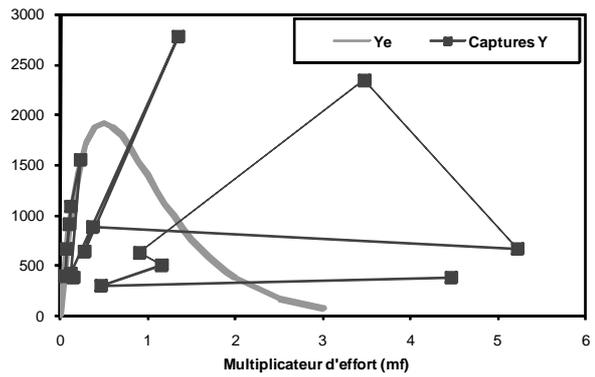
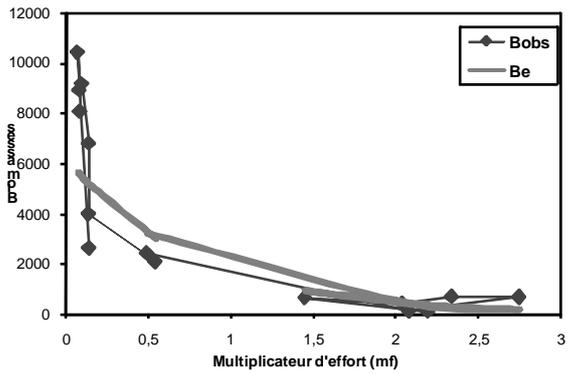
Zeus faber (Saint-Pierre)



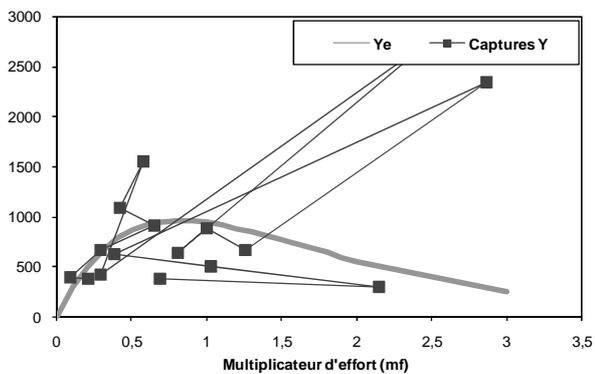
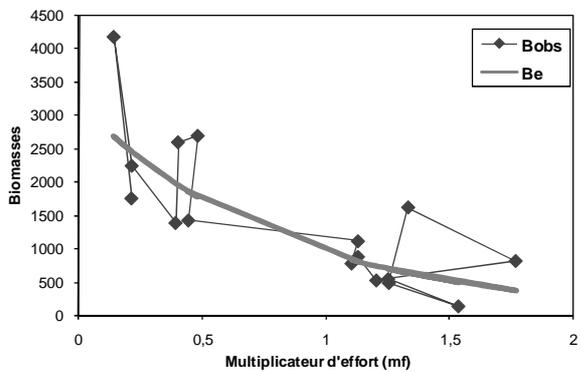
➤ **Ajustement du modèle thiof avec l'indice d'abondance campagne exprimé en biomasse**



➤ **Ajustement du modèle thiof avec l'indice d'abondance de pêche**



➤ **Ajustement du modèle thiof avec l'indice d'abondance campagne exprimé en rendement**



Annexe F : Formules à l'équilibre des modèles globaux

➤ (Gascuel, support de cours)

	Modèle généralisé (m quelconque)	m=2 : Modèle de SCHAEFER	m~1 : Modèle exponentiel
Be(E)	$K \cdot \left(1 - \frac{q}{r} \cdot E\right)^{\frac{1}{m-1}}$	$K - \frac{q \cdot K}{r} \cdot E$	$K \cdot e^{\left(-\frac{q \cdot \text{Ln}(K)}{r} \cdot E\right)}$
Ue (E)	$q \cdot K \cdot \left(1 - \frac{q}{r} \cdot E\right)^{\frac{1}{m-1}}$	$q \cdot K - \frac{q^2 \cdot K}{r} \cdot E$	$q \cdot K \cdot e^{\left(-\frac{q \cdot \text{Ln}(K)}{r} \cdot E\right)}$
Ye(E)	$q \cdot E \cdot K \cdot \left(1 - \frac{q}{r} \cdot E\right)^{\frac{1}{m}}$	$q \cdot K \cdot E - \frac{q^2 \cdot K}{r} \cdot E^2$	$q \cdot E \cdot K \cdot e^{\left(-\frac{q \cdot \text{Ln}(K)}{r} \cdot E\right)}$
E_f	$\frac{r}{q}$	$\frac{r}{q}$	∞
E_M	$\frac{r}{q} \cdot \frac{m-1}{m}$	$\frac{r}{2 \cdot q}$	$\frac{r}{q \cdot \text{Ln}(K)}$
MSY : Y_M	$r \cdot K \cdot \frac{m-1}{m} \cdot \frac{1}{m^{m-1}}$	$\frac{r \cdot K}{4}$	$\frac{r \cdot K}{e \cdot \text{Ln}(K)}$

Annexe G : Script modèle Bayésien

```
model

{
#prior sur q capturabilité

iq ~dunif(1.0E+2,1.0E+7)
q <- 1/iq
iq_p~dunif(1.0E+2,1.0E+7)
q_p< -1/iq_p

#Thiof
#Priors sur r et K

r~dnorm(val_r,0.1)I(0,)
r_p~dnorm(val_r,0.1)I(0,)
K~dnorm(val_K,1.6E-7)I(0,)
K_p~dnorm(val_K,1.6E-7)I(0,)

#Priors sur MSY et EMSY
MSY_p <-r_p*K_p /(exp(1)*log(K_p))

#Fishing effortatMSY
EMSY_p <- (MSY_p/(K_p/exp(1)))/q_p

#Variance de l'erreur du processus
logsigma~dunif(-10,10)
sigma <- exp(logsigma)
isigma <- 1/sigma

# Variance de l'erreur d'observation
logtau~dunif(-10,10)
tau <- exp(logtau)
itau <- 1/tau

#Equation du processus
Btruem[1] <-alpha*K; # c'est la biomasse observée à l'état initial
for(i in 1 : (n - 1))
{
Btruem[i + 1] <-max(Btrue[i] - Cobs[i] + r*Btrue[i]*(1 - log(Btrue[i])/log(K)), 0.01)
}

#Erreur de processus
for (i in 1 :n)
{
logBtruem[i] <-log(Btruem[i])
}
```

```

logBtrue[i]~dnorm(logBtruem[i], isigma)
Btrue[i] <-exp(logBtrue[i])
Itrue[i] <-exp(logItrue[i])
}

#Residus
for (i in 1 :n)
{
residuals[i] <- logItrue[i]-logIobs[i]
}

#Equation d'observation (Noyau d'émission)

for (i in 1 :n)
{
logItrue[i] <- log(Btrue[i]*q)
logIobs[i] <- log(Iobs[i])
logIobs[i]~dnorm(logItrue[i],itau)
}

# Maximum surplus production
MSY <- r*K/(exp(1)*log(K))

# Biomass at maximum surplus production
BMSY <- K/exp(1)

#FishingmortalityatMSY
FMSY <- MSY/BMSY

#FishingeffortatMSY
EMSY <- FMSY/q;

mfMSY <- EMSY/(Cobs[16]/Iobs[16])
mf2MSY <- EMSY/(Btrue[16]/Itrue[16])
mf3MSY <- EMSY/(Btruem[16]/Itrue[16])

# Projection de la biomasse pour l'année 2007
Btruem[n+1] < -max(Btrue[n]-Cobs[n]+r*Btrue[n]*(1-log(Btrue[n])/log(K)), 0.001)
logBtruem[n + 1] < -log(Btruem[n + 1])
logB2007~dnorm(logBtruem[n + 1], isigma)
B2007 < -exp(logB2007)

# calcul de la courbe à l'équilibre
for (i in 1:n.mf)
{
Ye[i] <- q*K*(Cobs[16]/Iobs[16])*mf[i] * exp(-q*log(K)*(Cobs[16]/Iobs[16])*mf[i] / r)
}
} #end of model

```

Annexe H : Impact de l'environnement sur le stock du thiof

Domaine (1980) et Cury et al. (1988) signalent que les migrations du thiof seraient liées à l'importance respective des upwellings mauritanien et sénégalais, et que cette espèce recherche les milieux les plus productifs. En effet l'upwelling côtier dans les eaux Ouest Africaines constitue un élément principal d'enrichissement biologique. La remontée des eaux froides des profondeurs apporte à la surface de la mer des sels minéraux nécessaires à la production planctonique qui constitue la base de la chaîne alimentaire.

Laurans (2005) montre également que le recrutement du thiof est en corrélation significative avec les facteurs environnementaux au Sénégal, et notamment avec l'intensité de l'upwelling.. Cependant, dans notre cas d'étude, on ne dispose pas de données de recrutement qui résultent des analyses par les méthodes structurales. Ainsi l'impact de l'environnement est étudié ici, à travers une démarche qui consiste dans un premier temps à rechercher des corrélations entre les indices environnementaux et les résidus du modèle global à l'équilibre, puis entre les indices d'abondances (IA) et les indices environnementaux après avoir enlevé les tendances générales des séries chronologiques, suite à la corrélation tendancielle entre les séries.

Ainsi, trois variables environnementales sont testées, la température de surface et deux indices d'intensité d'upwelling côtier. Le premier est calculé d'après l'équation de transport d'Ekman à partir des données de vitesse des vents (ces données sont issues des travaux du groupe de travail de l'IMROP en 2006, communication personnelle de Bombay). La deuxième série d'IUC (avec un pas de temps mensuel) est calculée à partir des données de température de surface de la mer (SST) du satellite AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), et les données sont issues des travaux de Kotaro en s'appuyant sur les travaux de Demarcq et Faure (2000) et Faure et al. (2000) in Kotaro, 2007.

Selon Fréon (1991), l'environnement peut agir de deux façon dans un modèle de production halieutique : soit il agit directement sur la production du stock, soit il agit sur la capturabilité des individus. Ici on suppose que l'environnement agit sur la production du stock à travers l'abondance. Selon la littérature, plusieurs types de relation peuvent être utilisés pour intégrer une variable environnementale dans un modèle global. Ici nous avons testé un effet linéaire (modèle 1) ou un effet puissance (modèle 2). L'indice d'abondance du modèle s'exprime alors de la façon suivante :

$$IA_t = a \cdot \exp(mf \cdot b)$$

où $a = c + d \cdot (K)$ pour le modèle 1 et $a = c \cdot (K)$ pour le modèle 2

a est proportionnel à la capacité biotique K qui dépend elle même du facteur environnemental ; c et d sont des constantes de la relation de cette relation ; mf est le multiplicateur d'effort de Fox du modèle global et b une constante du modèle global.

➤ **Modèle global avec effet de l'environnement**

La première démarche qui consiste à analyser les corrélations entre les IA dé-tendencialisés et les séries environnementales ne montrent aucune corrélation significative (figure 19). Par contre, les résidus du modèle global à l'équilibre montre une corrélation significative ($R^2=0,59$) avec l'upwelling côtier calculé à partir des SST (figure 19), et précisément avec les indices calculés dans la zone Sud du plateau continental au mois de décembre. Enfin, aucune corrélation significative n'est détectée avec les séries de SST et d'IUC calculée à partir des vents. Ainsi l'IUC calculé à partir des SST est intégré dans le modèle global.

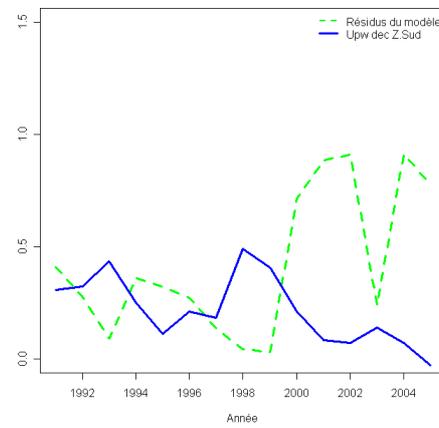
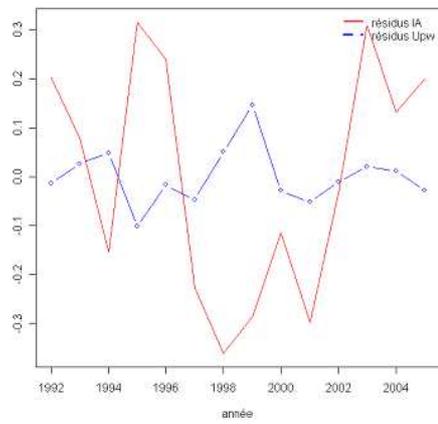


Figure x : Analyse de corrélation entre : a) l'indice d'abondance du thiof et l'indice d'upwelling (corrélacion non significative) ; b) résidus du modèle global à l'équilibre et l'indice d'upwelling côtier à partir des SST (corrélacion significative, $R^2=0,59$)

A suivre après stage....

ANNEXE I ; Scripte des modèles GLM (pour le cas du thiof)

```
#Clean the objects
ls()
rm(list=ls())

# download the lattice Package (to improve graphics)
library(lattice)

# read the data
setwd("C:/dossiers du clé/fichier stage2/td glm")
ALLCPUE<-read.csv("Max CPUE avec zéros.csv",header=TRUE, sep=";")
biom<-read.csv("biom.csv",header=TRUE, sep=";")
biom
thiofcpue<-read.csv("thiofcpue.csv",header=TRUE, sep=";")
thiofcpue

campagnes<-read.csv("campagnes.csv",header=TRUE, sep=";")
campagnes

ALLCPUE[,2] <- as.factor(ALLCPUE[,2])
ALLCPUE[,3] <- as.factor(ALLCPUE[,3])
ALLCPUE[,4] <- as.factor(ALLCPUE[,4])
ALLCPUE[,5] <- as.factor(ALLCPUE[,5])
ALLCPUE[,6] <- as.factor(ALLCPUE[,6])
ALLCPUE[,8] <- as.factor(ALLCPUE[,8])
ALLCPUE[,9] <- as.factor(ALLCPUE[,9])
ALLCPUE[,10] <- as.factor(ALLCPUE[,10])
ALLCPUE[,13] <- as.factor(ALLCPUE[,13])
ALLCPUE[,14] <- as.factor(ALLCPUE[,14])
ALLCPUE[,15] <- as.factor(ALLCPUE[,15])
ALLCPUE[,7] <- as.factor(ALLCPUE[,7])
ALLCPUE[,11] <- as.factor(ALLCPUE[,11])
ALLCPUE[,16] <- as.factor(ALLCPUE[,16])

campagne<-read.csv("GLM campagnes.csv",header=TRUE, sep=";")
campagne

# download other graphic functions
source("fonctionerror.bar.R")
source("gamhist.R")

ALLCPUE[1:5,]
# equivalent a head(ALLCPUE)
```

```
summary(ALLCPUE)
```

```
ALLCPUE2<-ALLCPUE[-which(ALLCPUE$Année==2007),]  
unique(ALLCPUE2$etat1)
```

```
#Année <- as.factor(ALLCPUE2$Année)  
#pour le système de contraintes "somme = 0" sur l'effet "Year"
```

```
contrasts(ALLCPUE2$Année) <- contr.sum(levels(ALLCPUE2$Année))  
contrasts(ALLCPUE2$ANCONS) <- contr.sum(levels(ALLCPUE2$ANCONS))  
contrasts(ALLCPUE2$TYPNAV) <- contr.sum(levels(ALLCPUE2$TYPNAV))  
contrasts(ALLCPUE2$TJBclas1) <- contr.sum(levels(ALLCPUE2$TJBclas1))  
contrasts(ALLCPUE2$TYPNAV) <- contr.sum(levels(ALLCPUE2$TYPNAV))  
contrasts(ALLCPUE2$Mois) <- contr.sum(levels(ALLCPUE2$Mois))  
contrasts(ALLCPUE2$etat1) <- contr.sum(levels(ALLCPUE2$etat1))
```

```
#pour le système de contraintes "premier effet =0" sur l'effet "Year" il est par défaut sur R  
#contrasts(Année) <- contr.treatment(levels(Année))
```

```
CPUENONSTANDmoythiof<-  
aggregate(ALLCPUE$THIOF,list(Année=ALLCPUE$Année),FUN=mean)  
CPUENONSTANDmoythiof
```

```
windows()  
par(mfcol=c(1,1))  
plot(CPUENONSTANDmoythiof,pch=1, type="l", main="CPUE non stand du THIOF (MRT)",  
col="red")  
lines(CPUENONSTANDmoythiof)  
par(mfcol=c(1,1), col="blue")
```

```
THIOF.glm<-glm(log(THIOF+1)~as.factor(Année)+TJBclas1+Mois:TYPNAV,family=gaussian,  
data=ALLCPUE2)
```

```
# model outputs  
THIOF.glm  
summary(THIOF.glm)  
anova(THIOF.glm,test="Chisq")  
coefficients(THIOF.glm$Année)
```

```
#analyse of model goodness of fit and residuals
```

```

windows()
par(mfcol=c(2,2))
plot(THIOF.glm)
par(mfcol=c(1,1))

# quality criteria (to minimize)
AIC(THIOF.glm)

ALLCPUE2<-ALLCPUE[-which(ALLCPUE$Année==2007),]

# ajustement of a binomial bernouilli model
THIOFbin.glm<-glm(PA.THIOF~Année+TJBclas1+TYPNAV,family=binomial,data=ALLCPUE2)

THIOFbin.glm
summary(THIOFbin.glm) #, #corre=T)
anova(THIOFbin.glm,test="Chisq")

ALLCPUE2<-ALLCPUE[-which(ALLCPUE$Année==2007),]

#####
#####
#Table d'échantillonnage
L_An <- length(levels(as.factor(ALLCPUE2$Année)))
L_TJB <- length(levels(ALLCPUE2$TJBclas1))
L_Mois <- length(levels(ALLCPUE2$Mois))
L_TYPNAV <- length(levels(ALLCPUE2$TYPNAV))

L_tot <- L_An* L_TJB* L_Mois* L_TYPNAV

Table_Pred <- matrix(NA,nrow=L_tot,ncol=4)
#col 4
Table_Pred[,4] <- rep(levels(ALLCPUE2$TYPNAV),(L_tot/L_TYPNAV))
#col 3 , col 2 & col 1
for(k in 1:L_An){
  for(j in 1:L_TJB){
    for(m in 1:L_Mois){
      deb_An <- k*L_TJB*L_Mois*L_TYPNAV - L_TJB*L_Mois*L_TYPNAV
      fin_An <- k*L_TJB*L_Mois*L_TYPNAV

      deb_TJB <- deb_An + j*L_Mois*L_TYPNAV - L_Mois*L_TYPNAV
      fin_TJB <- deb_An + j*L_Mois*L_TYPNAV

      deb_Mois <- deb_TJB + m*L_TYPNAV - L_TYPNAV+1
      fin_Mois <- deb_TJB + m*L_TYPNAV

      Table_Pred[deb_Mois:fin_Mois,3] <- rep(levels(ALLCPUE2$Mois)[m],L_TYPNAV)
    }

    Table_Pred[(deb_TJB+1):fin_TJB,2] <-
rep(levels(ALLCPUE2$TJBclas1)[j],L_Mois*L_TYPNAV)

```

```

}
  Table_Pred[(deb_An+1):fin_An,1] <-
rep(levels(as.factor(ALLCPUE2$Année))[k],L_TJB*L_Mois*L_TYPPNAV)
}
  Table_Pred[1:20,]

#####

results <- data.frame(Table_Pred)
names(results) <- c("Année", "TJBclas1", "Mois", "TYPPNAV")
results[1:10,]

results.thioff <- results[-which(results$Année %in% c(2006,2007)),]

#plus utilisé
#results<- read.table("data.txt",header=TRUE, sep=";")
#results2 <- results1[c(1,2,4),]

#ALLCPUE2<-ALLCPUE[-which(ALLCPUE$Année==2007),]

# ajustement of a binomial bernouilli model
THIOFbin.glm<-glm(PA.THIOF~Année+TJBclas1+Année:Mois,family=binomial,data=ALLCPUE2)

# model output
THIOFpresent.glm
summary(THIOFbin.glm)
anova(THIOFbin.glm,test="Chisq")

#test logique
toto<-if(ALLCPUE2$PA.THIOF!=0){
  "vrai"
}else {"faux"}

predictionspresence<-predict.glm(THIOFbin.glm,results.thioff,type="r",se=T)
predictionspresence$fit[1:10]

# Extract positive values
thiofpresent <- subset(x = ALLCPUE2, subset = ALLCPUE2$THIOF>0) ;
head (thiofpresent$PA.THIOF)

```

```
THIOFpresent.glm<-glm(log(THIOF)~TJBclas1+Année+TYPNAV+Année+Mois,family=gaussian,
data=thiofpresent)
```

```
# model output
THIOFpresent.glm
summary(THIOFpresent.glm)
anova(THIOFpresent.glm,test="Chisq")
```

```
windows()
par(mfcol=c(2,2))
plot(THIOFpresent.glm)
par(mfcol=c(1,1))
```

```
###results<- read.table("data.txt",header=TRUE, sep=";")
```

```
predictionscpue<-predict.glm(THIOFpresent.glm,results.thioff,type="r",se=T)
predictionscpue$fit[1:10]
```

```
# analyse of model goodness of fit and residuals
windows()
par(mfcol=c(2,2))
plot(THIOFpresent.glm)
par(mfcol=c(1,1))
```

```
# quality criteria (to minimize)
# AIC is a compromise between ajustment and parcimony
AIC(THIOFpresent.glm)
```

```
predictionpresence$fit[1:10]
predictionscpue$fit[1:10]
```

```
# Estimation of average density in the model unit (log(CPUE) if data are logtransformed, density
else
```

```
predictionVRAICPUE<-results
predictionVRAICPUEfit<-predictionpresence$fit*predictionscpue$fit
```

```
# estimation of the variance in the model unit (formula of the variance in a delta model)
# (var a*b= mua^2*varb+vara*mub^2)
predictionVRAICPUEvarln<-
predictionpresence$fit^2*predictionscpue$se.fit^2+predictionscpue$fit^2*predictionpresenc
e$se.fit^2
```

```
# 5.2. show the model estimates in the model unit (log(density) if data are logtransformed,
density else)
```

```

error.bar.f(predictionVRAICPUE$Année, predictionVRAICPUEfit,
lower=1.96*predictionVRAICPUEvarln, upper=1.96*predictionVRAICPUEvarln,
xlab="Année",ylab="log(CPUE)",main="Estimation")

# variation rate
mean(sqrt(predictionVRAICPUE$varln) /abs(predictionVRAICPUE$fit))

#####
#####
# end of the script if the data were not logtransformed
# please go on if data were logtransformed to estimate densities and visualise them
#####
#####

# 5.3. prediction after logtransformation

# the submodels have calculated

# the proportion of presence
presencethiof0<-predictionpresence$fit

# the estimated variance of this proportion
varpresencethiof0<-(predictionpresence$se.fit)^2

# the estimation of the logtransformed positive values
logthiof0posit<-predictioncpue$fit

# the associated variance
varlogthiof0posit<-(predictioncpue$se.fit)^2

# compute the estimation of the density from log density and log variance
thiof0posit<-exp(logthiof0posit+varlogthiof0posit/2)

# compute the estimation of the associated variance from log density and log variance
varthiof0posit<-exp(2*logthiof0posit+varlogthiof0posit)*(exp(varlogthiof0posit)-1)

# the estimation with the delta logtransformed model
predictionVRAICPUEfitthiof0<-presencethiof0*thiof0posit

# the associated variance and error (var +/b + var a= mua^2*varb+vara*mub^2)
# warning : these are lognormal data,
# confident interval cannot be shown with gaussian formula, they are not symmetric
# error estimation is here a complex problem

predictionVRAICPUEvarthiof0<-
presencethiof0^2*varthiof0posit+thiof0posit^2*varpresencethiof0
sigmathiof0<-sqrt(predictionVRAICPUE$varthiof0)

```

```

# 5.4. visualise the estimated densities (for logtransformed data
plot(predictionVRAICPUE$Année, predictionVRAICPUE$fitthiof0,
      xlab="Année",ylab="CPUE",main="Estimation")

# the submodels have calculated

# the proportion of presence
presencethiof0<-predictionspresence$fit

# the estimated variance of this proportion
varpresencethiof0<-(predictionspresence$se.fit)^2

# the estimation of the logtransformed positive values
logthiof0posit<-predictionscpue$fit

# the associated variance
varlogthiof0posit<-(predictionscpue$se.fit)^2

# compute the estimation of the density from log density and log variance
thiof0posit<-exp(logthiof0posit+varlogthiof0posit/2)

# compute the estimation of the associated variance from log density and log variance
varthiof0posit<-exp(2*logthiof0posit+varlogthiof0posit)*(exp(varlogthiof0posit)-1)

# the estimation with the delta logtransformed model
finCPUEthiof<-presencethiof0*thiof0posit

# the associated variance and error (var +/-b + var a= mua^2*varb+vara*mub^2)
# warning : these are lognormal data,
# confident interval cannot be shown with gaussian formula, they are not symmetric
# error estimation is here a complex problem

predictionVRAICPUEvarthiof<-
presencethiof0^2*varthiof0posit+thiof0posit^2*varpresencethiof0
sigmathiof0<-sqrt(predictionVRAICPUEvarthiof0)

# 5.4. visualise the estimated densities (for logtransformed data
plot(predictionVRAICPUE$Année, predictionVRAICPUE$fitthiof0,
      xlab="Année",ylab="CPUE",main="Estimation")

#####

finCPUEthiof<-presencethiof0*thiof0posit

```

```

test<-data.frame(finCPUEthiof<-presencethiof0*thiof0posit)
head(test)
#test2<-rbind(results,test)

test2<-cbind(results.thioff,test) # concatener des colonnes
head(test2)
names(test2) <- c("Année", "TJBclas", "Mois", "TYPNAV", "CPUE")
head(test2)
dim(test2)
CPUEmoythiof<-aggregate(test2$CPUE,list(Année=test2$Année),FUN=mean)
CPUEmoythiof
#elle transforme mes données en vecteur donc à ne pas conseillé
###with(test2,tapply(predictionVRAICPUEfitthiof0,Année,mean))#pour faire une moyenne de
predictionVR.... par année
#> with(test2,tapply(finCPUEthiof,Année,mean))
#> CPUEthiof<-data.frame(with(test2,tapply(finCPUEthiof,Année,mean)))

CPUEthiof
#pour sélectionner les années existantes
CPUEthiof<-subset(x=CPUEmoythiof, subset = c(Année!="2006" & Année!="2007"))
CPUEthiof
names(CPUEthiof) <- c("Année", "CPUE")
CPUEthiof

#le graph de la CPUE standardisée par GLM
windows()
par(mfcol=c(1,1))
plot(CPUEthiof,pch=1, type="l", lty=3, main="CPUE/GLM du THIOF", col="white")
lines(CPUEthiof,lty=1,lwd=2,col="blue")
par(mfcol=c(1,1), col="blue")

#Probabilités de présence par année
head(presencethiof0)

test3<-data.frame(presencethiof0)
head(test3)
#test2<-rbind(results,test)

test4<-cbind(results.thioff,test3)#concatener des colonnes
head(test4)
names(test4) <- c("Année", "TJBclas1", "Mois", "TYPNAV", "PA")
head(test4)
dim(test4)
PAmoythiof<-aggregate(test4$PA,list(Année=test2$Année),FUN=mean)
PAmoythiof

```

```

#le graph des probabilités de présence
windows()
par(mfcol=c(1,1))
plot(PAmoythiof,pch=2, type="l", main="Probabilités de présence du THIOF dans les marées",
col="red")
lines(PAmoythiof, type="l")
par(mfcol=c(1,1), col="blue")

```

```

##CPUE par GLM des valeurs positives

```

```

##CPUE non standardisée pour les valeurs positives uniquement
thiofNSposit<-read.csv("thiof.csv",header=TRUE, sep=";")
thiofNSposit[,2] <- as.factor(thiofNSposit[,2])
head(thiofNSposit)
CPUENSthiof<-
aggregate(thiofNSposit$CPUEHeures,list(Année=thiofNSposit$Année),FUN=mean)
CPUENSthiof

```

```

windows()
par(mfcol=c(1,1))
plot(CPUENSthiof,pch=1, type="l", main="CPUE NON STD du THIOF (MRT)", col="red")
lines(CPUENSthiof, lty=2, lwd=1)

```

```

library(lattice)

```

```

##graphe superposé
windows()
par(mfcol=c(1,1))
plot(x=CPUENSthiof$Année, y=CPUENSthiof$x, type="l",
lwd=1,lty=2, col="black", main="CPUE/GLM du THIOF")
lines(x=CPUEthiof$Année[1:15],y=CPUEthiof$CPUE,
pch=1, type="l", lwd=3,lty=1, col="blue")

```

```

windows()
par(mfcol=c(1,1))
plot(x=as.numeric(levels(CPUENSthiof$Année)), y=CPUENSthiof$x, type="l",
lwd=1,lty=2, col="black", main="CPUE du THIOF")
lines(x=as.numeric(levels(CPUEthiof$Année)[1:15]),y=CPUEthiof$CPUE,
pch=1, type="l", lwd=3,lty=1, col="blue")
#legende(legende=c("année","cpue")
#legende(text.legend,xlab="Année", ylab="CPUE",x="topleft", col("red,"blue"), title="légende")

```

```

#graphes superposés avec campagnes

```

```

campagne<-read.csv("GLM campagnes.csv",header=TRUE, sep=";")
campagne
CPUEthiof

windows()
par(mfcol=c(1,1))
plot(x=as.numeric(campagne$ Année), y=campagne$ Thiof, type="l",
lwd=3,lty=2, col="LightCoral", main="Indices d'abondance de THIOF", ylim = c(0,3),
xlab=" Année",ylab="",xaxt="n"
lines(x=as.numeric(levels(CPUEthiof$ Année)[1:15]),y=CPUEthiof$CPUE,
      pch=1, type="l", lwd=3,lty=1, col="blue")

axis(1,at=seq(from=1991, to = 2006, by = 1), cex.axis = 0.7)
#xaxt pour enlever la première affiche des années

#las pour afficher les années en verticla
legend(legend=c("IA campagnes","CPUE commerciale"), x="topright", bty="n",lwd = 2:3, lty = 2:1
,col = c("LightCoral","blue"))
#legende(text.legend,xlab=" Année", ylab="CPUE",x="topleft", col("red,"blue"), title="légende")

windows()

plot(x=as.numeric(biom$an),y=biom$Epinephelus.aeneus,
pch=1, type="l", lwd=3,lty=1, col="blue", xlab="",ylab="", axes=FALSE)

axis(1,at=seq(from=1982, to = 2006, by = 1), cex.axis = 0.7)
axis(4)
#xaxt pour enlever la première affiche des années

windows()

par(new=TRUE)
plot(x=as.numeric(biom$an),y=biom$Epinephelus.aeneus,
pch=17, type="l", lwd=3,lty=4, col="blue", xlab="",ylab="", axes=FALSE)

par(new=TRUE)
plot(x=c(1982:1990,as.numeric(levels(thiofcpue$ Année)[1:16 ])),y=c(rep(NA,9),thiofcpue$thiof),
type="l", lwd=3, lty=1, col="blue",ylim=c(0,3), xlab="",ylab="", axes=F)

axis(1,at=seq(from=1982, to = 2006, by = 1))
axis(4)
#xaxt pour enlever la première affiche des années
par(new=TRUE)
plot(x=as.numeric(campagne$ Année), y=campagne$ Thiof, type="l",
lwd=3,lty=2, col="LightCoral", main="Indices d'abondance du thiof", xlab=" Année",ylab="IA
biom",xaxt="n")

```

```

#pour afficher les années en vertical
legend(legend=c("IA rend","IA biomas","CPUE"), x="topright", bty="n",lwd = 2:3, lty = 2:1 ,col =
c("LightCoral","blue", "brown"))
#legend(text.legend,xlab="Année", ylab="CPUE",x="topleft", col("red","blue","brown"),
title="légende")

windows()
par(mfcol=c(1,1))
plot(x=as.numeric(campagne$ Année), y=campagne$ Thiof, type="l",
lwd=3,lty=2, col="LightCoral", main="Indices d'abondance du thiof", xlab="Année",ylab="IA
biom",xaxt="n")

par(new=TRUE)

plot(x=as.numeric(biom$an),y=biom$Epinephelus.aeneus,
pch=1, type="l", lwd=3,lty=1, col="blue",ylim=c(0,3), xlab="",ylab="", axes=FALSE)
axis(1,at=seq(from=1991, to = 2006, by = 1))
axis(4)

plot(x=as.numeric(thiofcpue$ Année),y=thiofcpue$thiof,
pch=1, type="l", lwd=3,lty=1, col="blue",ylim=c(0,3), xlab="",ylab="", axes=FALSE)

axis(1,at=seq(from=1991, to = 2006, by = 1), cex.axis = 0.7)
axis(4)
#xaxt pour enlever la première affiche des années

```