

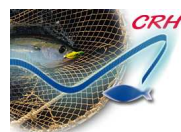


Mémoire de fin d'études
Pour l'obtention du Master Sciences Agronomiques et Agroalimentaires
Spécialité Sciences Halieutiques et Aquacoles

Evaluation et cartographie de l'abondance du stock de la sardinelle ronde dans la zone Nord Ouest Africaine

Présenté par : OULD ISSELMOU, Cheikh Baye

Soutenu le : 10 septembre 2009



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

Evaluation et cartographie de l'abondance du stock de la sardinelle ronde dans la zone Nord Ouest Africaine

Présenté par : OULD ISSELMOU, Cheikh Baye

Soutenu le : 10 septembre 2009

Devant le Jury

Mr. Didier GASCUEL
Mr. Nicolas BEZ
Mr. Etienne RIVOT
Mr. Martial LAURANS
Mr. Jérôme GUITTON

AGROCAMPUS OUEST
IRD
AGROCAMPUS OUEST
IFREMER
AGROCAMPUS OUEST



Département : Pôle halieutique

Spécialisation : SHA ..dominante : REA

Enseignant Responsable du stage:

Etienne RIVOT

Cadre réservé à la Bibliothèque Centrale

Auteur : OULD ISSELMOU Cheikh Baye

Année de soutenance : 2009

Titre du mémoire :

Evaluation et cartographie de l'abondance de stock de la sardinelle ronde dans la zone Nord Ouest Africaine

Organisme d'accueil : **Pôle Halieutique (Agrocamus Ouest) et CRH de Sète**

Maître de stage : M. Didier Gascuel

Encadreurs : M. Didier GASCUEL

M. Nicolas BEZ

Fonctions : Directeur Pôle Halieutique

Directeur adjoint UMR

Résumé :

Ce travail est une première tentative de mise en application de la VPA et l'ajustement en pseudo équilibre du fox sur le stock de la sardinelle ronde dans la zone Nord Ouest Africaine qui constitue le modèle global le plus adapté par les études d'évaluation pour cette espèce. Dans un premier temps, ce mémoire a permis de réaliser une description fine de la pêcherie ciblant la sardinelle ronde et une estimation des captures en tailles en recourant à plusieurs techniques d'extrapolation. Une courbe de croissance a été établie à partir des données de lecture d'otolithes ajuste mieux les données observées. L'application de la décomposition polymodale sous une contrainte a permis d'estimer les captures en âges sur une longévité de 5 ans. L'évaluation de stock par la VPA a été réalisée en testant plusieurs cas de pseudo-cohorte moyen de 2005 à 2008. Les résultats de ce modèle avec ceux issus du modèle global, donne un diagnostic presque similaire vers un état de pleine exploitation hormis l'année 2008. Le modèle global utilisé a montré sa robustesse dans le diagnostic du régime d'exploitation du stock étudié. La deuxième partie de ce mémoire a montré l'intérêt d'intégrer une analyse géo-spatiale par la détermination d'indicateurs pertinents. Ces derniers révèlent que les stratégies des pêcheurs sont dépendant des déplacements du stock. Une carte de krigeage de la bathymétrie a été réalisée, donnant plusieurs informations sur la bathymétrie préférentielle par la pêche pélagique. Le variogramme issu des données de la CPUE montre l'absence d'une corrélation spatiale au delà d'une limite supérieure à 24 mille nautique. La modélisation des CPUE commerciales de la flottille hollandaise par GLM a permis de prédire des CPUE moyennes par carré statistique et définie une baisse de la tendance globale dans la ZEE Mauritanienne de 2000 jusqu'à 2004. Les résultats obtenus lors de cette étude constituent un ensemble référentiel pertinent pour l'élaboration d'un plan de gestion du stock de la sardinelle ronde en zone Nord Ouest Africaine.

Abstract :

This work is a first attempt at implementation of the VPA and the adjustment in pseudo equilibrium fox on the stock of round sardinella in the northern zone of West Africa which is the most comprehensive model adapted by the evaluation studies to this species. As a first step, this paper has allowed a detailed description of the fishery targeting round sardinella and estimated catch sizes using several extrapolation techniques. A growth curve was established using data from otolith reading adjusts the observed data better. The application of the decomposition at a polymodal was used to estimate the catch in ages on a life of 5 years. The stock assessment by the VPA was carried out by testing several cases of pseudo-cohort 2005 through 2008. The results of this model with those from the global model, gives a diagnosis almost similar to a state of full operation except the year 2008. The global model used has shown its robustness in the diagnosis of the system of exploitation of the stock studied. The second part of this paper has shown the benefits of incorporating a geo-spatial analysis by the determination of relevant indicators. These show that the strategies of the fishermen are dependent on the movement of stock. A map of the bathymetry kriging was carried out, giving more information on the bathymetry preferential pelagic fishing. The variogram from the data of the CPUE shows the absence of a spatial correlation beyond an upper limit to 24 nautical miles. Modeling of commercial CPUE of the Dutch fleet by GLM helped predict average CPUE per square statistics and defined a decrease in the overall trend in the EEZ of Mauritania from 2000 to 2004. The results of this study form a relevant reference for developing a management plan for the stock of round sardinella in the northern zone of West Africa.

Mots clés : évaluation de stocks, VPA, décomposition polymodale, modèle global, centre de gravité, variogramme, krigeage, GLM

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⁾ :

Fiche de résumé du mémoire de fin d'études :

Résumé diffusable : ☐ 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.*

Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu le Directeur de l'IMROP M. Mamoudou Aliou Dia et les hauts responsables de cet institut pour m'avoir permis de suivre cette formation, en espérant être à la hauteur de leur confiance et de leurs attentes.

Mes sincères remerciements vont ensuite à mes encadrateurs Mrs. Didier GASCUEL et Nicolas BEZ pour avoir accepté d'encadrer ce travail malgré leurs multiples occupations. Qu'ils trouvent ici mes profondes gratitude. Je tiens à préciser que leurs savoirs, leurs conseils et leurs expériences ont été utiles pour l'aboutissement de ce travail.

Un remerciement particulier est accordé à M. Ad CORTEN, pour avoir répondu favorablement dès le début à la participation de mon encadrement. Malgré que cette dernière n'a pas pu se concrétiser vu ses engagements pris au préalable ; Mr CORTEN n'a cessé de promulguer ses orientations et ses précieux conseils.

Un remerciement particulier aussi, revient à mes enseignants pendant toute cette formation et qu'ils étaient disponibles à m'éclaircir toutes remarques Mrs. Etienne RIVOT, Olivier LE PAPE, Jérôme GUITTON, Richard SABATHIE, Guy FONTENELLE, Jean Pierre BOUDE, Hervé LE BRIS et Mme Cathrine LE PENVEN et spécialement au secrétariat pédagogique Mme Cathy COURTIN pour sa disponibilité pour répondre à tous mes demandes de scolarité.

Mes remerciements vont également à la Direction et à tous les chercheurs du CRH de Sète pour m'avoir accueilli généreusement pendant les trois derniers mois de stage et pour les efforts fourni pour venir à mon aide dans toutes les démarches relatives au bon déroulement de mon stage ; que ce soit au sein du centre et en dehors.

Mes remerciements vont également à M. Ebye OULD SIDINA, Mahfoud TS, Khlahi Mohamed VALL, Dedah AHMEDOU BAMBA, Bombaye, Mohamed Ahmed, Ahmedou, Said ,Wagne et Meinatt pour leurs précieuses contributions dans la récupération des données nécessaires, au niveau de l'IMROP, pour la réalisation de ce travail.

Mes remerciements vont également à mes collègues et voisins de bureau à Rennes Melen Leclec et ses photos magiques sur mon écran de travail pendant mon absence et Audrey Valls et à Sète Mrs. Belouahem Samih pour ses expressions algéro-mauritaniennes, Alain Hervé pour ses rappels de l'heure de café et Ibrahim des îles Comores. Merci encours à mes amis Bayah, Maouloud, Choumade, Isselmou, Djiby Camara, Moudou Diaw et Cheikh ibrahima Sakho qui étaient près de moi tout au long de cette formation.

Cette formation s'est effectuée dans le cadre d'une bourse attribuée par le SCAC en Mauritanie et gérée par l'EGIDE à Paris. Que les responsables de ces institutions trouvent ici ma profonde reconnaissance et plus particulièrement Mme LYDIA Arkippoff et LEURQUIN Clérine , qui étaient chargée de la gestion du dossier en France.

Enfin, je remercie ici tous ceux qui, à des degrés divers, ont été pour moi d'une aide, sous quelque forme que ce soit, plus particulièrement la petite et grande famille qui ont supporté mes absences pendant cette formation.

Liste des abréviations

CIEM : Conseil International pour l'Exploration de la Mer
COPACE : Comité des Pêches pour l'Atlantique Centre Est
CRODT : Centre de Recherches Océanographiques Dakar-Thiaroye
DSPCM : Délégation à la Surveillance des Pêches et au Contrôle en Mer
FAO = Food and Agriculture Organization
ICCAT: International Commission for the Conservation of Atlantic Tuna
IEO : .Institut Espagnol de l'Océanographie
IMROP : Institut Mauritanien de Recherches Océanographiques et des Pêches
IRD : Institut Français pour le Développement
GLM : Modèle Linéaire Généralisé
LM : Modèle Linéaire
LCA: Length Cohort Analysis
RIVO: Netherlands Institute of Fisheries Research
SCAC : Service Culturelle et d'Action de la Coopération Française
SEPH : Société d'Exportation des Produits Halieutiques
VMS : Système de surveillance des navires par satellite
TAC : Total Admissible Catch
VPA : Analyses des Populations Virtuelles
XSA: Extended Survivors Analysis
ZEE : Zone Economique Exclusive
 Σ : somme
% : pourcentage

Table de matières

Introduction	1
1. Biologie de l'espèce & description de la pêche.....	3
1.1 Biologie de l'espèce et identité de stock.....	3
1.2 Description de la pêche.....	4
1.2.1 Données utilisées.....	4
1.2.2 Tendance globale des captures.....	5
1.2.3 Evolution de l'effectif du bateau.....	7
1.2.4 Evolution de l'effort de pêche.....	8
2. Estimation des captures en âges.....	10
2.1 Reconstitution de la matrice des captures en tailles.....	10
2.1.1 Zone mauritanienne.....	10
2.1.2 Zone sénégalaise.....	11
2.1.3 Zone marocaine.....	11
2.1.4 Méthode d'extrapolation utilisée pour la zone de la Mauritanie.....	12
2.2 Décomposition polymodale.....	12
2.2.1 Equations de la croissance.....	12
2.2.2 Principe de la méthode.....	13
2.2.3 Résultats.....	14
3. Diagnostic de l'état du stock.....	17
3.1 Analyse des populations virtuelles (VPA).....	17
3.1.1 Méthodes.....	17
3.1.2 Résultats.....	20
3.2 Modèle global.....	23
4. Distribution spatiale et cartographie de l'abondance du stock de la sardinelle ronde dans la zone Mauritanienne.....	28
4.1 Analyse exploratoire mono variable des données.....	28
4.2 Caractérisation de la dynamique spatiale.....	29
4.3 Distance et la durée inter chalutage.....	30
4.4 Déplacement du centre de gravité des captures de la flotte hollandaise.....	31
4.5 Calculs des variogramme et réalisation des cartes de krigeage.....	33
4.5.1 Définitions.....	33
4.5.2 Carte de krigeage de la bathymétrie dans la zone Mauritanienne.....	34
4.6 Estimation de l'abondance du stock via la modélisation de la CPUE.....	36
4.6.1 Calcul du variogramme.....	36
4.6.2 Estimation de l'abondance du stock à partir de la GLM.....	37
5. Conclusion et perspectives.....	44
Bibliographie.....	46
Annexes.....	49

Introduction

La zone Nord-ouest africaine se situe entre le Cap Roxo au sud du Sénégal (12°N) jusqu'à la zone marocaine au Nord. Les côtes Mauritanienne s'étendent sur l'océan Atlantique entre 16°04'N et 20°36'N sur près de 720 Km. La ZEE Mauritanienne couvre près de 230 000 Km² avec un plateau continental de 39 000 km² et elle constitue une zone de transition entre les deux systèmes du courant des Canaries (eaux froides) et du courant tropical (eaux chaudes).

La zone de la région Nord-ouest d'Afrique se caractérise par une productivité biologique importante qui se traduit par une abondance des ressources halieutiques. Parmi ces ressources, les espèces pélagiques représentaient en Mauritanie plus de 70% du potentiel halieutique (IMROP, 2002). Ces espèces sont grégaires, d'une longévité relativement courte et ont une mortalité naturelle élevée. Elles effectuent des migrations trophiques et génésiques liées aux variations des conditions du milieu marin. Les principales espèces pélagiques rencontrées dans la zone Nord Ouest Africaine et d'intérêt commercial peuvent se classer en deux catégories:

- les espèces à affinité tropicale représentées par deux espèces de sardinelles (*Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis*), les chinchards jaune et noir (*Trachurus trecae* et *Caranx ronchus*) et le maquereau espagnol (*Scomber japonicus*);
- les espèces à affinité tempérée telles que la sardine (*Sardina pilchardus*), l'anchois (*Engraulis encrasicolus*), le chinchard blanc et le sabre argenté.

La sardinelle ronde constitue la première espèce pêchée au Sénégal et la deuxième en Mauritanie après le chinchard soit un taux de 20% de la capture totale des petits pélagiques (FAO, 2007). Cette espèce fait l'objet ciblage intensif par des flottilles artisanales au Sénégal (petits senneurs) et des flottilles étrangères pêchant dans le cadre des accords de partenariats en Mauritanie (Union européenne et bateaux de l'Ex union soviétique) et au Maroc (bateaux de l'Ex union soviétique) avec la présence d'une petite flottille artisanale pêchant près de la côte. Cette dernière joue un rôle primordial en Mauritanie dans l'approvisionnement du marché local et des usines nationales installées à terre.

Ces stocks partagés entre les trois pays riverains (Sénégal, Mauritanie et le Maroc) font l'objet d'un groupe de travail annuel réunissant des experts nationaux et internationaux dans le but d'évaluer l'état de ces ressources et d'établir des recommandations relatives à la gestion des pêches et aux options d'aménagement. Du fait de l'insuffisance des données disponibles, l'approche globale (modèle de production logistique) reste toujours la seule méthode d'évaluation appliquée lors de ces groupes. Ces modèles se basent sur une hypothèse d'équilibre qui stipule en particulier qu'un stock à l'état vierge voit sa biomasse fluctuer autour d'une valeur d'équilibre correspondant à la capacité biotique du milieu. Ils sont les plus simples à utiliser pour l'évaluation des stocks halieutiques que ce soit en termes de données requises ou de formulations mathématiques. Les structures en tailles ou en âge ne sont pas considérées et seuls l'effort de pêche et les captures, et un ou plusieurs indices d'abondance sont pris en compte. L'utilisation de l'approche analytique fondée sur l'âge notamment les méthodes de VPA comme LCA et XSA reste l'objectif fixé à long terme par ces groupes de travail (FAO, 2007). Pour atteindre ce dernier objectif, un échange d'otolithes de sardinelle ronde, dans le but de garantir une interprétation commune des critères en vigueur de lecture de l'âge, a été démarré depuis juin 2005 suivant la recommandation de la cinquième réunion du groupe de travail à Nouadhibou en mai 2005 mais les résultats de ces lectures restent toujours insuffisants pour appliquer l'approche structurale (FAO, 2006).

Ce travail a pour objectifs dans sa première partie de procéder à une estimation des âges de la sardinelle ronde, à partir de la distribution des fréquences des tailles des captures commerciales et en utilisant la méthode de la décomposition polymodale. Les estimations permettant d'appliquer la VPA pour évaluer l'état de stock de la sardinelle ronde et procéder à un diagnostic par le rendement et la biomasse par recrue. Les résultats de ce diagnostic seront comparés avec ceux obtenus par ajustement d'un modèle global.

Dans la deuxième partie de ce mémoire, une étude géostatistique des statistiques de pêche des captures commerciales des bateaux hollandais est effectuée dans le but de préciser l'évolution spatiale et temporelle de la répartition de cette espèce afin de dégager la stratégie des pêcheurs, l'évolution du centre de gravité des captures et procéder à une cartographie des abondances de ce stock dans la ZEE Mauritanienne.

Le traitement de données et les calculs de différents résultats ont été possible grâce à l'utilisation de plusieurs logiciels à savoir : EXCEL 2003, ACCES 2003 et en fin et surtout le logiciel informatique en libre accès « R ».

Ce rapport abordera, entre autres, les grands axes suivants :

- Présentation de la biologie de l'espèce et description de la pêche
- Estimation des captures en âges par décomposition polymodale
- Diagnostic de l'état de stock
- Etude de l'évolution du centre de gravité du stock de la sardinelle ronde dans la ZEE Mauritanienne
- Calculs des variogrammes et cartes de krigeage pour la bathymétrie et la capture par unité d'effort
- Estimation de l'abondance du stock de la sardinelle ronde par la méthode de GLM
- Discussions et conclusions

1. Biologie de l'espèce & description de la pêche

1.1 Biologie de l'espèce et identité du stock

La sardinelle ronde est une espèce planctonophage¹ qui vit sur le plateau continental et préfère les eaux salées ($>35^{\circ}/\text{‰}$), non trouble et de température inférieure à 24°C . Il y a des femelles mûres ainsi que des larves dans le plancton pendant toute l'année, mais il existe plusieurs maxima de reproduction (Beoly et al, 1982). Selon ces auteurs, le cycle sexuel de cette espèce dans la zone sénégal-mauritanienne présente les caractéristiques suivantes :

- La ponte est étalée sur toute l'année si l'on considère toute la zone avec une période de reproduction maximale de mai en septembre.
- La zone de ponte principale s'étend de la Gambie (maxima de reproduction dans le mois de juin) au Cap Blanc (arrivé en mois de septembre).
- Dans une région donnée, la période de ponte est très étalée avec deux périodes, une principale et l'autre secondaire séparée par des périodes de repos sexuel.

Dans la zone Mauritanienne, il y aurait deux périodes de ponte, une en août dans la saison chaude (25°C) et l'autre en novembre-décembre dans les eaux plus froides (18°C), au large du cap blanc responsable de la biomasse importante des juvéniles observé en février et mars (Ould Talib Sidi, 2005). La reproduction du mois d'août semble peu contribuer au recrutement. Ainsi les juvéniles sont peu abondants en décembre et on observe une forte abondance des adultes dans ce mois (Marchal, 1982). La distribution des fréquences des tailles dans les différents trimestres analysés montre la présence des juvéniles (tailles inférieure à 18 cm) dans les trois premiers mois de chaque année. Ce constat rejoint l'hypothèse émise par Marchal(1982) qui stipule que la ponte du mois de novembre-décembre est la seule qui participe pleinement au recrutement. Ceci dit, nous adapterons lors de cette étude l'hypothèse en considérant le début de la ponte de la sardinelle ronde comme le milieu de la période allant de novembre en décembre.

Les sardinelles capturées dans la zone de l'Afrique nord-occidentale sont composées de deux espèces en l'occurrence la sardinelle ronde (*Sardinella aurita*) et la sardinelle plate (*Sardinella maderensis*). Les nombreuses campagnes effectuées montrent que ces deux espèces sont distribuées dans une vaste zone allant de la zone sud marocaine au sud du Sénégal (FAO, 2002). En effet, la population de sardinelle ronde de l'Atlantique Centre-Est est formée de trois stocks, à savoir: (a) le stock sédentaire saharien (30° - 22° lat. N); (b) le stock sénégal-mauritanien (environ 22° - 12° lat. N) et le stock sherbo (environ 12° - 7° lat. N) (Maxim et Maxim, 1988; Garcia 1982).

La sardinelle ronde du stock de la zone Nord Ouest Africaine se caractérise par la présence de juvéniles le long des zones côtières aussi bien en saison froide qu'en saison chaude. Ces observations confirment la présence de nurseries à l'Ouest du Banc d'Arguin et au Sud du Sénégal. Les adultes de cette espèce effectuent des migrations saisonnières (Beoly et al, 1979). Le stock de la sardinelle ronde peut être subdivisé en plusieurs composantes : des sous-stocks de jeunes individus (juvéniles et jeunes reproducteurs) n'effectuant que des migrations d'amplitude limitée à l'intérieur des nurseries, et un sous-stock commun d'adultes grands migrateurs, qui parcourent l'ensemble du secteur (Fréon et al, 1979). Le schéma de migration de l'espèce selon Beoly et al est présenté en annexe. Il est à noter que les groupes de travail du COPACE considèrent un stock unique regroupant les deux espèces (sardinelle ronde et sardinelle plate). Dans notre étude nous nous intéressons seulement à l'état du stock de la sardinelle ronde.

¹ Qui se nourrit sur le plancton comme la majorité des espèces pélagiques

1.2 Description de la pêche

1.2.1 Données utilisées

➤ Zone de la Mauritanie

▪ Echantillonnage à bord des bateaux pélagiques

Les techniciens de l'IMROP réalisent depuis 1997, dans le cadre d'un projet conjoint RIVO – IMROP sur les petits pélagiques, des embarquements à bord de la flottille hollandaise pêchant dans le cadre des accords de partenariats entre l'Union européenne et la Mauritanie. Ces données sont regroupées dans une base des données à l'IMROP appelée base donnée observateur pélagique. L'objectif de ces missions, entre autres, est l'échantillonnage des captures, la mensuration des fréquences des tailles et la collecte des données biologiques. Ces échantillonnages n'ont été intensifs qu'à partir de 1999 (Tableau 1). A partir de 2005, ce programme a été élargi pour couvrir les bateaux pélagiques russes.

	mois											
année	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1997												
1999												
2000												
2001												
2002												
2003												
2004												
2005												
2006												
2007												
	Echantillonnage flottille hollandaise							Echantillonnage flottille Russe				

Tableau 1: Intensité d'échantillonnage à bord de la flottille Russe, Hollandaise (base donnée pélagique)

▪ Données journaux de pêche ou journaux à bord

Chaque bateau pêchant dans la ZEE Mauritanienne est obligé de tenir à jour un journal de pêche. Ces déclarations par jour sur l'effort de pêche, les captures par espèces ou par groupe d'espèces, par zones de pêche ou secteur.etc, sont regroupées dans une base de données gérée par la DSPCM. Elle est mise à jour chaque année par le service statistique de l'IMROP après plusieurs compilations des fichiers de base.

▪ Données de la pêche artisanale

L'IMROP dispose d'une base de données sur la pêche artisanale regroupant des données issues des enquêtes aux débarquements réalisées dans les différents lieux de pêche (de Nouakchott jusqu'à Nouadhibou). La zone du Banc d'Arguin fait l'objet d'un suivi quotidien par une équipe d'enquêteurs installés dans les villages des pêcheurs Imraguens². A partir de cette base, nous avons pu récupérer les données de captures mensuelles par espèce et

² Cette communauté des pêcheurs constitue une entité ethnique particulière en Mauritanie. Elle vit dans la zone du banc d'Arguin depuis des siècles et son activité est axée particulièrement sur la pêche.

l'effort de pêche à partir de 1999. Il est à noter que la base de donnée artisanale a fait l'objet de plusieurs travaux de correction et de compilation en collaboration avec plusieurs institutions particulièrement l'IRD.

➤ Zone du Sénégal

Les fréquences des tailles de la sardinelle ronde dans la zone sénégalaise sont présentées lors des groupes antérieurs du COPACE en nombre annuel échantillonné. Seules les données des années 2007 et 2008 sont disponibles en nombre trimestriel. Les captures annuelles sont récupérées à partir de l'archivage des rapports du Groupe de travail du COPACE.

➤ Zone du Maroc

La sardinelle ronde est pêchée particulièrement en zone C (zone située entre cap Bajour et cap blanc) par des bateaux de nationalité Russe et Ukrainienne. Les données en fréquence des tailles sont disponibles extrapolé à l'échelle du trimestre.

1.2.2 Tendances globales des captures de la sardinelle ronde

➤ Captures totales de la sardinelle ronde à l'échelle de la zone

La capture de la sardinelle ronde dans la sous région a atteint une valeur de plus de 550 000 tonnes dans la dernière année (2008), faisant une suite à une période de relative stabilité au environ 350 000 tonnes annuelles. L'évolution des captures en Mauritanie et au Sénégal montre presque la même tendance (Fig 1). Au Sénégal la pêche de sardinelle ronde est essentiellement l'effet de la pêche artisanale qui regroupe des petites embarcations en bois motorisées. Jusqu'au début des années 1990, la flotte industrielle se composait des petits senneurs semi-industriels (sardiniers dakarois), de grands chalutiers et des senneurs industriels étrangers. Le nombre de ces sardiniers dakarois a décliné de façon continue pour arriver à cinq unités en activité entre 2001 et 2003 (Ould Talib Sidi, 2005). Les captures de la Mauritanie semblent se stabiliser dans les dernières années à 200 000 tonnes entre 1999 jusqu'à 2003 avant d'augmenter en 2007 et 2008. Pour le Sénégal la capture semble se stabiliser à 120 000 tonnes avant d'enregistrer les augmentations de 2007 et 2008 constaté pour la zone sénégal-mauritanienne (Fig 1). La capture dans la zone marocaine reste toujours faible et se stabilise dans les dernières années à 40 000 tonnes par année.

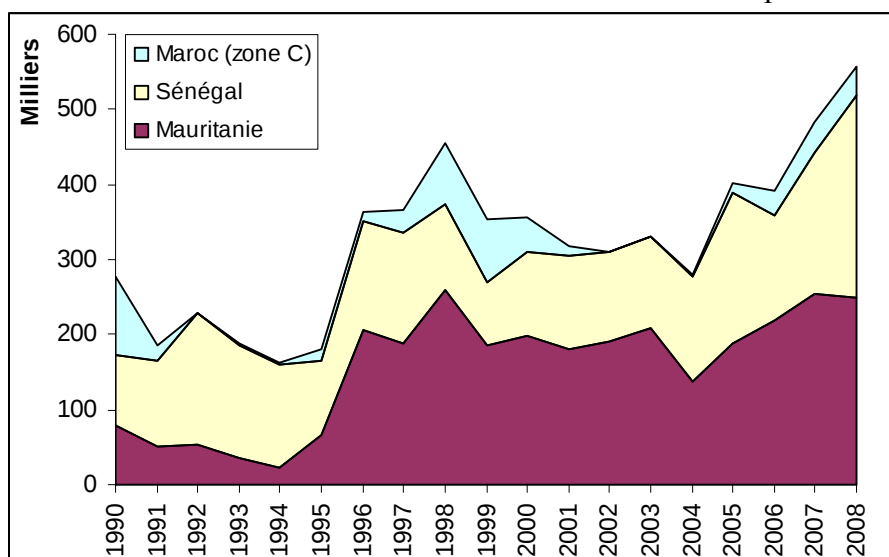


Fig 1: Evolution des captures de sardinelle ronde toute la zone confondue (source GT COPACE 2009)

➤ Evolution des captures pélagiques en Mauritanie

▪ Capture toute flottille confondue

Les captures de la pêche ciblant les petits pélagiques en Mauritanie représentent plus de 90% de la quantité pêchée déclarée par la pêche industrielle y compris les démersaux. Le total des captures de l'ensemble des flottilles pélagiques a atteint un palier d'environ 600 000 tonnes en 1996, alors que la moyenne des captures au cours de la période antérieure était de l'ordre de 350 000 tonnes. Cette augmentation est essentiellement due à l'accroissement de l'effort de pêche. Dans les dernières années, des fluctuations sont observées avec des valeurs atteignant 800 000 tonnes les bonnes années (Fig 2 (a)).

Avant 1996 les quantités pêchées par les petits pélagiques étaient dominées par les chinchards ciblés par les flottilles de l'ex URSS qui représentent à l'époque la majorité des flottilles opérant dans la ZEE Mauritanienne (Fig 2 (b)). Cette espèce occupait jusqu'en 1996 la première place dans les captures pélagiques. Leur proportion dans les captures globales est passée d'une moyenne de 40 pour cent à seulement 15 pour cent en 1996 et 1997 pour remonter ensuite à 31 pour cent en 2000 et 2001 et se stabiliser dans les dernières années à 40%. Cette augmentation peut être due à la disparition du Sabre dans les dernières années qui constitue une espèce prédatrice du chinchard (OULD TS Mahfoud, 2005).

Entre 1995 et 1996, les captures des sardinelles ont été multipliées environ par trois, passant d'environ 90 000 à 250 000 tonnes. Pour les dernières années à l'exception de 2002 et 2007 où des augmentations ont été observées, les prises se stabilisent aux alentours de 140 000 tonnes. La sardinelle ronde est la principale espèce pêchée et représente 86 pour cent du total des captures de sardinelle.

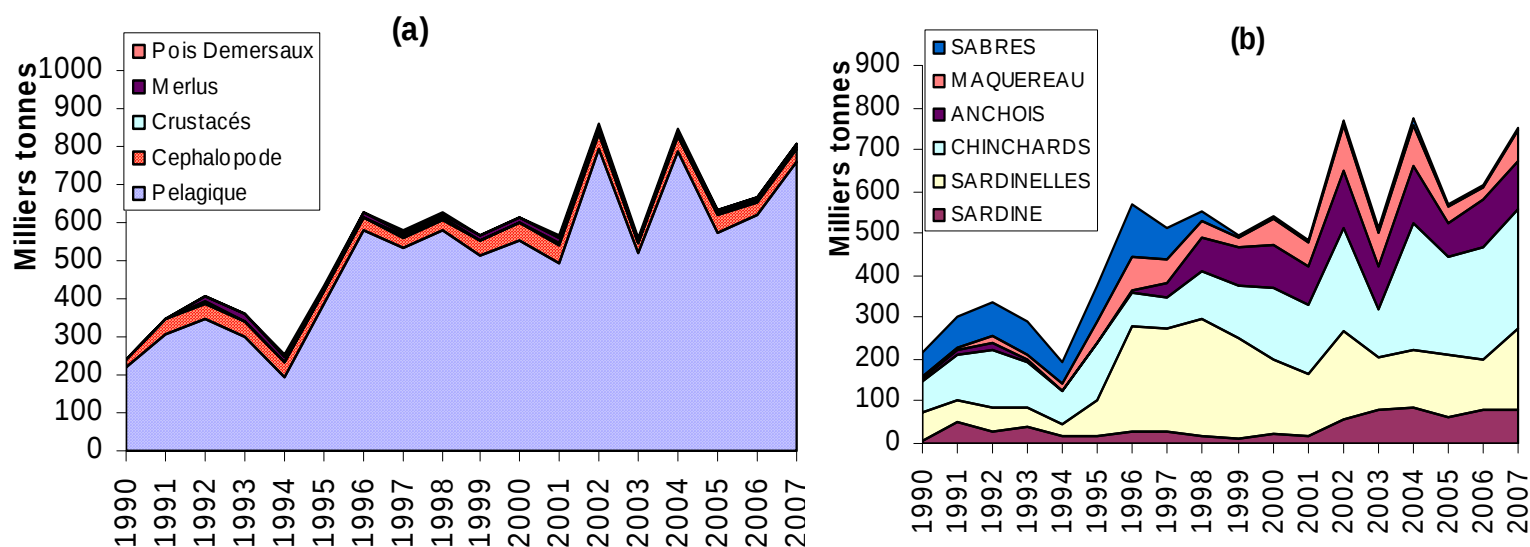


Figure 2 : Evolution de la capture de la pêche industrielle par groupe d'espèce ; avec les espèces demersales (a) et sans les demersales (b) (source journaux de pêche)

▪ Captures de sardinelle par flottille

Les captures de la sardinelle (ronde et plate) présentent une quantité importante dans les captures d'autres flottilles pélagiques ciblant des espèces autres que les sardinelles comme la Russie, l'Ukraine, Malte, Etc. La seule flottille ciblant les sardinelles est celle du Pays Bas. Cette flottille hollandaise pêche en général deux fois plus par jour de pêche que les bateaux russes et ukrainiens (Ould TS Mahfoud, 2005). Cette différence s'explique par un meilleur équipement technologique (tendance au chalutage « presse bouton » dans le cas de la flottille hollandaise, automatisation de la majeure partie des opérations de congélations et de stockage) et

par la stratégie de pêche qui vise la pêche en masse des sardinelles, beaucoup plus abondantes que les chinchards et le maquereau (IMROP, rapports des observateurs). En revanche, la flottille Russe cherche plutôt le chinchard dans des fonds plus profond. Celle-ci leurs captures en sardinelles sont en chute depuis 1996 contrairement à la flottille hollandaise qui a montré une nette augmentation jusqu'à 1997 avant de connaître des fluctuations à la hausse puis à la baisse entre 1998 et 2003. Dans les dernières années les captures hollandaises de sardinelle diminuent trois environ (Fig 3).

Pour la pêche côtière, regroupant des pirogues³ d'une longueur supérieure à 14 m et des senneurs, les statistiques de captures restent toujours incomplètes pour les années avant 1997. Pour pallier ce manque, nous avons utilisé les données de la reconstitution des captures réalisées par Gascuel et al (2007) sur la période de 1990 jusqu'à 1999. Les résultats de cette correction montrent une légère augmentation de la capture de cette flottille jusqu'à 1998 avant d'avoir une chute en 1999. Dans les dernières années, les captures semblent se stabiliser aux alentours de 20 000 tonnes.

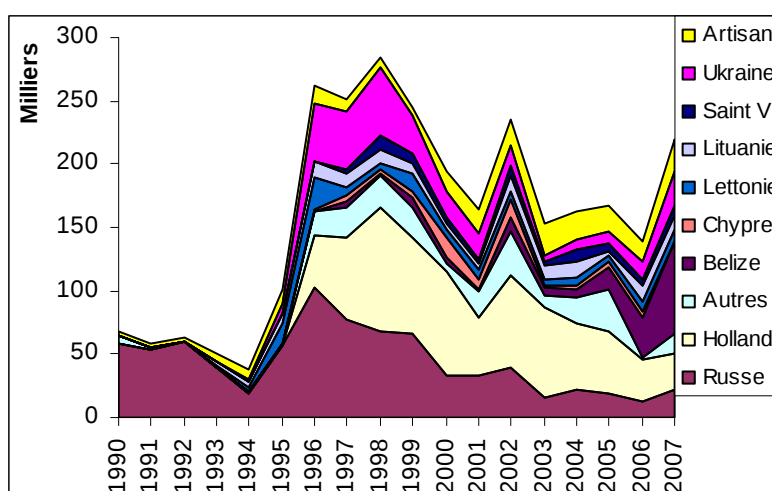


Fig 3 : Evolution de la capture de la sardinelle par flottille (source journaux à bord)

1.2.3 Evolution de l'effectif de la flottille en Mauritanie

Les ressources halieutiques Mauritaniennes sont exploitées par différentes flottilles nationales et étrangères. Ces différentes flottilles pêchent dans le cadre des accords de partenariats sous forme de plusieurs types de licence à savoir : céphalopodes, crevettiers, merluttiers, poissonniers et les pélagiques. La catégorie des pélagiques regroupe trois types de licence : pélagique nationale (NP), affrétées pélagiques (AP) et licence pélagique (LP). Le nombre total des bateaux opérant dans la ZEE Mauritanienne a été multiplié par trois environ entre 1990 à 2005 avec des années de baisse et d'autres à la hausse. La flottille céphalopodièrè reste la plus importante en effectif en comparaison avec les autres flottilles. Les flottilles ciblant les petits pélagiques, entièrement de propriété étrangère principalement de la communauté de l'Ex soviétique et hollandaise, semblent rester presque constantes après l'augmentation enregistré en 1996 suite à l'arrivée des bateaux hollandais (Fig 4). Ces bateaux se caractérisent par une grande autonomie en mer avec un tonnage très important et une puissance motrice très élevée.

³ La loi N° 82-2002 définit la catégorie des pirogues appartenant à la pêche côtière comme toute embarcation motorisée ou non dont la longueur supérieure à 14m et opérant avec des engins de pêche manuels tels que la senne tournante

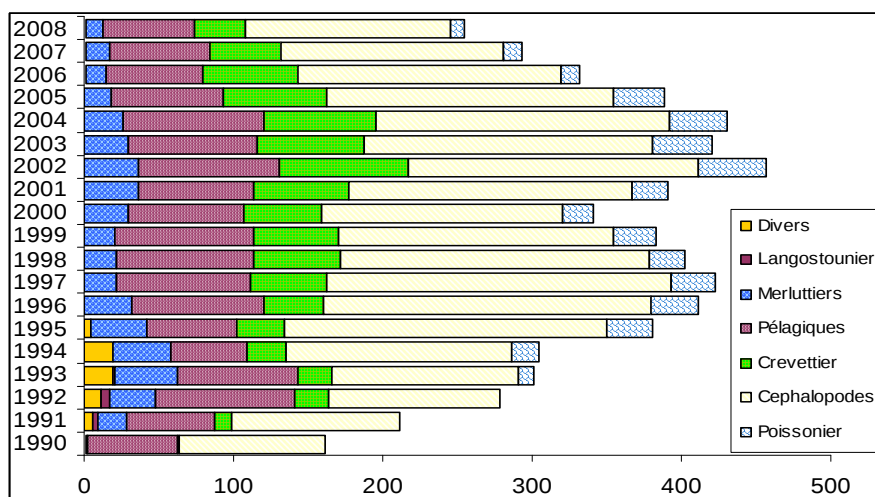


Fig 4 Nombre cumulé de navire par licence de pêches (source journaux à bord)

1.2.4 Evolution de l'effort de pêche

➤ Toute la zone

L'effort de pêche du Maroc et de la Mauritanie est exprimé en nombre de jours de pêche. Tandis que celui du Sénégal, réalisé particulièrement par des flottilles artisanales, est exprimé en nombre de sorties (pendant les quelles plusieurs opérations de pêche peuvent être effectuées). Il est à noter que plus de 300 pirogues sénégalaises, ciblant la sardinelle ronde, pêchent en zone sud de la Mauritanie depuis quelques années dans le cadre des accords de pêche et débarque leurs captures dans la zone de Saint louis. Leurs statistiques de pêche sont toujours inconnues par l'IMROP. En 2009, l'obligation de ces embarcations de débarquer plus de 25 % de leurs captures dans la zone Mauritanienne a été réduite pour se limiter à seulement 15%. L'effort de pêche exercé sur ce stock dans la zone C du Maroc a connu une chute depuis 1998 avant de se stabiliser à 2000 jours de pêche par an dans les dernières années (Fig 5).

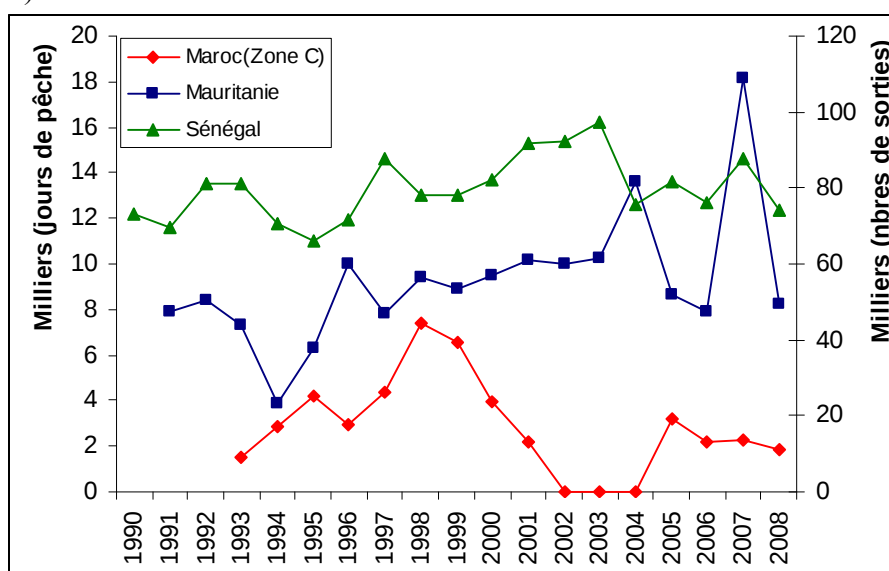


Fig 5: Evolution de l'effort de pêche dans la zone du COPACE (GT FAO 2009)

➤ Zone de la Mauritanie

L'évolution de l'effort de pêche de la flottille pélagique montre presque la même tendance générale que celui observé pour l'effort global. Il a été multiplié par quatre environ entre 1994 et 2002. Cette forte augmentation est due à l'arrivée des nouveaux bateaux de la communauté européenne (Pays Bas) à partir de 1996. Ces bateaux sont plus puissants et équipés par des appareils (système d'aspiration, des nets sonde..Etc.) qui leurs permettraient d'économiser sur la durée des opérations de chalutage (virage et largage) et par conséquent d'augmenter la durée alloués à la pêche (recherche des poissons). Dans les dernières années des baisses ont été observées en 2003 et 2005 (Fig) dues au retrait de certains bateaux en activité avant de reconnaître une augmentation en 2007 et 2008.

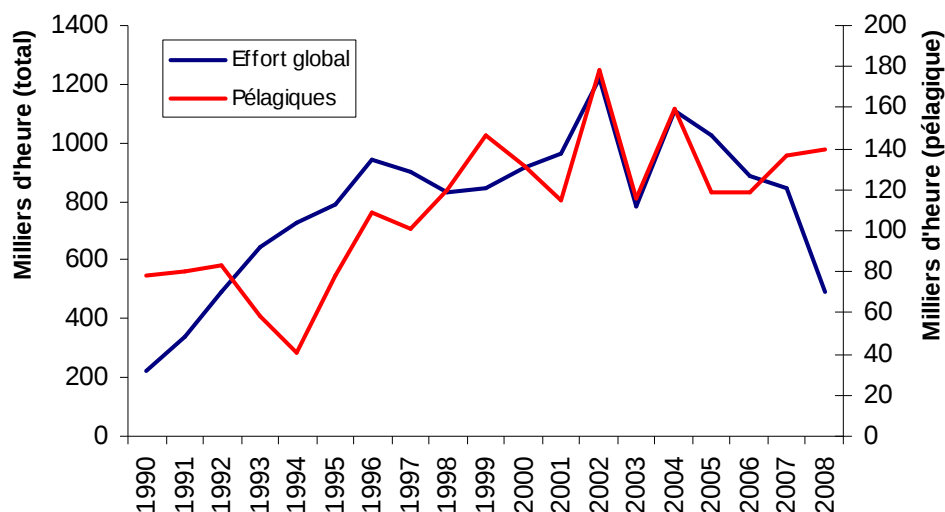


Fig 6 : Evolution de l'effort de pêche pélagique industriels ventilés par pays (jours à bord)

L'effort de pêche par flottille semble fluctuer pour la flottille russe aux alentours de 40 à 50 000 heures de pêche de 1996 à 2004. En revanche, celui de la flottille hollandaise se stabilisait aux alentours de 6000 heures de pêche sur la même période avant d'être multiplié par deux environ sur la période de 2002 à 2004. Dans les deux dernières années une chute de l'effort de pêche a été constatée pour les deux flottilles contrairement à une forte augmentation pour la flottille portant le pavillon Bélizien (Fig 7). Il est à noter que la sardinelle ronde n'est pas une espèce ciblée par la flottille russe.

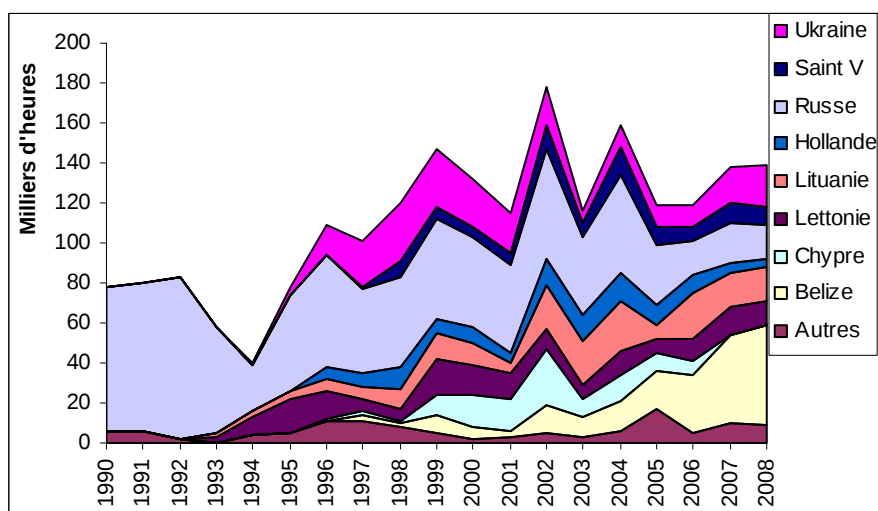


Fig 7 : Evolution de l'effort de pêche par nationalité (jours de bord)

La sardinelle ronde est pêchée par la flottille côtière et artisanale à la senne tournante. La longueur de cet engin diffère d'un pêcheur à l'autre. La corde qui porte le filet peut atteindre, pour les petites embarcations, 400 mètres. La longueur de la coulisse passant par les anneaux qui sert à fermer le bas de filet, peut atteindre 450 mètres (OULD ISSELMOU et al, 2005). Le nombre de sorties par ce type d'engin a été multiplié par cinq entre 1999 et 2003 avant de connaître une petite chute dans les dernières années (Fig 8).

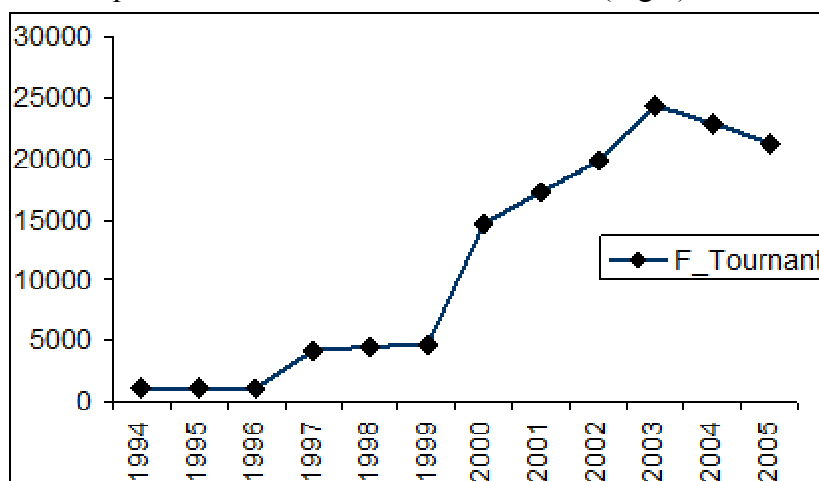


Fig 8 : Nombre de sorties annuelles au filet tournant (source IMROP)

2. Estimation des captures en âge

2.1 Reconstitution de la matrice des captures en tailles

2.1.1 Zone Mauritanienne

➤ Pêche industrielle

Les données des captures en tailles disponibles pour la pêche industrielle sont celles échantillonnées à bord de la flottille hollandaise depuis 1997 et la flottille russe depuis 2005. Cette dernière flottille représente 12% environ de la capture totale de la flottille industrielle et exerce un effort important pour la recherche de cette espèce (Fig 7). Une étude de la saisonnalité des captures échantillonnées par tailles a été réalisée dans le but de trouver une méthode permettant de substituer les captures de deux flottilles, particulièrement russe et hollandaise. Ces résultats montrent que la distribution moyenne des tailles échantillonnées par trimestre pendant les trois années couvertes présente une forte variabilité des captures en tailles entre ces deux flottilles (Fig 9). Pour la flottille russe, les petites tailles sont observées au premier trimestre. Les autres trimestres montrent la même tendance des tailles capturées par les deux flottilles. Cette variabilité est fortement liée à l'intensité d'échantillonnage trimestrielle. Il est à noter que la flottille russe cible particulièrement le chinchard qui se trouve en général dans des fonds plus profonds que la sardinelle ronde. En revanche, la variabilité interannuelle de captures échantillonnées en tailles est moins importante que celle observée par trimestre. Les deux années de 2005 et 2007 sont presque la même tendance pour les deux flottilles.

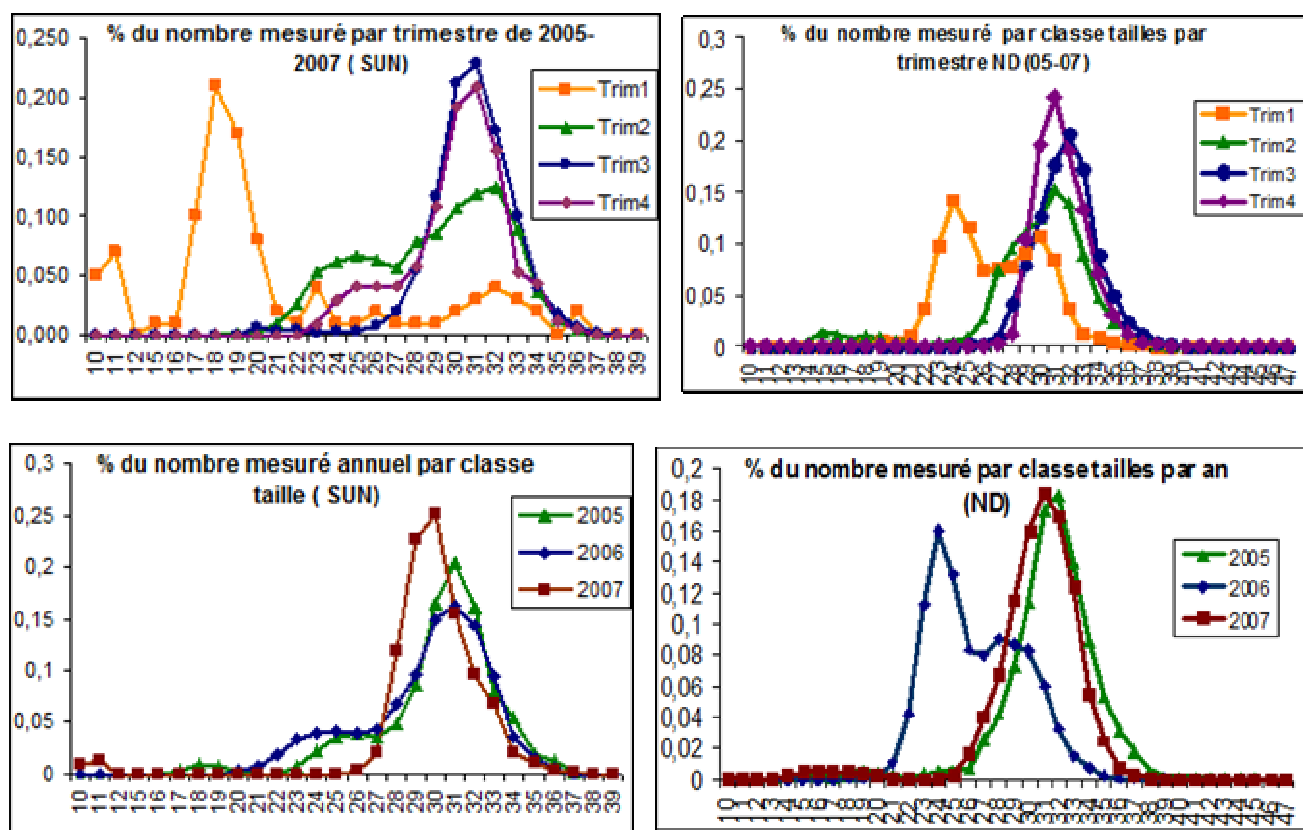


Fig 9 : Nombre mesuré en moyenne par tailles (SUN: russe, ND : hollandaise)

➤ Pêche artisanale

Les données des captures en tailles échantillonnées en 2008 sont les seules disponibles à l'IMROP. Ces données sont collectées à terre au niveau de la société de pêche pélagique à Nouadhibou (SEPH) sur les dix mois (février jusqu'en octobre) de l'année de 2008. Une application de ces structures des tailles par trimestre sur les années antérieures (2005 à 2007) a été réalisée.

2.1.2 Zone du Sénégal

Les données de capture en taille sont disponibles seulement pour les années 2007 et 2008 en nombre mesuré par trimestre. Le poids des échantillons mesurés n'a pas été prélevé. Nous avons utilisé la relation taille poids⁴ pour estimer le poids échantillonné au cours des deux années. Pour les captures par trimestres de chaque année, un pourcentage⁵ de quantité pêchée par trimestre est utilisé en se basant sur les expériences régionales. Pour les années 2005 et 2006, les fréquences de tailles sont regroupées en total par année. Des pourcentages par tailles calculés à partir des années disponibles de 2007 sont appliqués.

2.1.3 Zone du Maroc

Les données marocaines sont présentées lors du groupe des travaux du COPACE en nombre extrapolé à l'échelle de la zone C. Les captures dans certains trimestres ont été complétées en appliquant la méthode de voisinage.

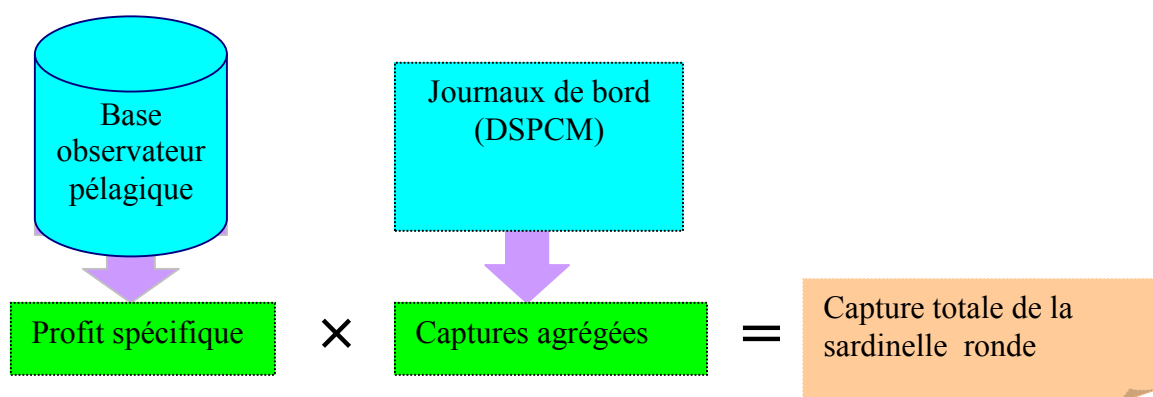
⁴ $P(g) = 0,00611 * L^{3,2901}$

⁵ Ces pourcentages sont estimés par le responsable d'espèces pélagique à CRODT à savoir : trimestre 1 =30%, trimestre 2 =25%, trimestre 3 = 10% et trimestre 4 =35%.

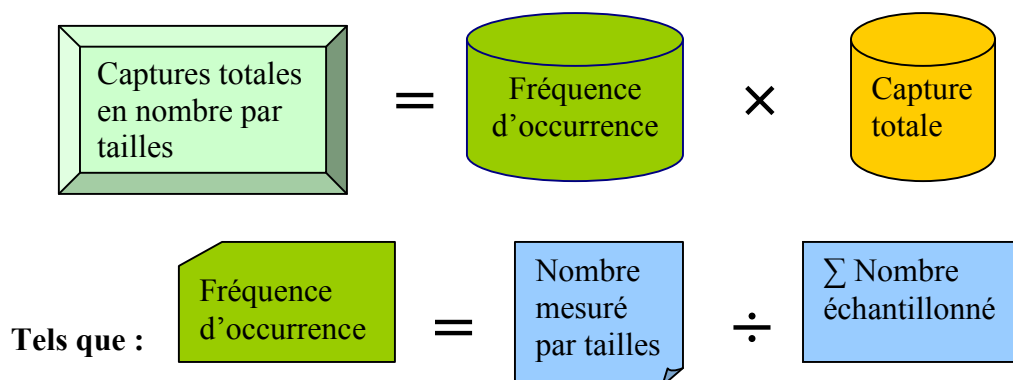
En examinant l'état de lieu sur les données disponibles, l'étude de l'état du stock de la sardinelle ronde dans la zone Nord Ouest Africaine sera limitée à la période de 2005 à 2008⁶ où les données sont jugées plus fiables.

2.1.4 Méthode d'extrapolation utilisée pour la zone de la Mauritanie:

Les deux espèces de sardinelles (ronde et plate) pêchées en Mauritanie sont regroupées dans la base donnée journaux de bord sous le nom de sardinelle. Pour ventiler la capture par espèce de chaque flottille, des profits annuels (capture de la *Sardinella aurita* divisée par la capture totale de deux espèces) ont été calculés à partir de la base observateurs pélagiques. Le schéma suivant illustre les différentes étapes :



Pour réaliser l'extrapolation de la capture en nombre à l'échelle de la flottille, les étapes suivantes sont suivies :



Pour les trimestres manquant, une estimation de ces paramètres (fréquence d'occurrence, somme du nombre échantillonné par trimestre et somme du poids échantillonné) a été utilisée en appliquant la méthode de voisinage⁷.

2.2 Décomposition polymodale

2.2.1 Equations de croissance

La croissance des clupéidés en milieu tropical est généralement difficile à étudier, car les méthodes usuelles se heurtent à des obstacles majeurs (croissance rapide, difficulté de

⁶ Les données de captures industrielles en 2008, déjà extrapolé à l'échelle du stock, ont été récupérées à partir du groupe de travail du COPACE tenue à Nouakchott en Avril 2009.

⁷ La Fréquence de trimestre (t) pour année (i) = (Fréq trimestre (t+1,i+1) + Fréq trimestre (t-1 ,i-1)) / 2

l'âge à partir des pièces osseuses ...etc) . Ainsi le suivi des tailles modales (méthode de PETERSEN et dérivées) est difficile surtout par la présence de plusieurs périodes reproductives par année (Beoly et al, 1982). Pour la sardinelle ronde, plusieurs auteurs ont étudié leur croissance telle que Conand (1977) qui a estimé que les larves grandissent en moyenne de trois centimètres par mois. Beoly et al (1982) estiment les paramètres de l'équation de Von Bertallanfy à partir de résultats cumulés de l'étude de la distribution des tailles pour les juvéniles (tailles <15cm) et par la lecture des écailles chez les adultes à partir des données récoltées entre 1969 et 1972. Les paramètres ajustés de cette équation sont estimés en âge absolu pour t0 en fonction de la longueur fourche.

Lors du Groupe de travail du COPACE en 2009, nous avons pu ajuster une courbe de croissance aux données de lecture d'otolithe réalisé par l'IEO. Ces échantillons sont réalisés lors du débarquement de la flottille hollandaise, pêchant dans la ZEE Mauritanienne, au port de Las Palmas en Espagne. Le prélèvement se réalise sur toute l'année par carton de sardinelle ronde emballé.

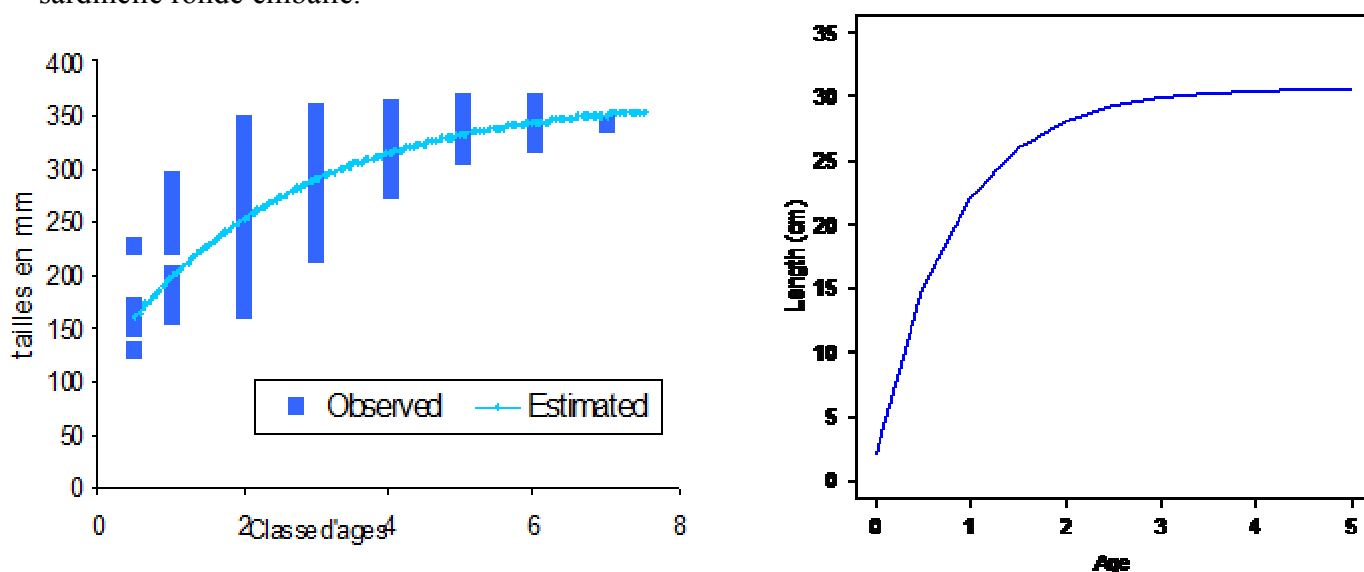


Fig 10 : Les courbes de croissance de la sardinelle ronde à droite en longueur fourche selon Beoly et al 1972 et à gauche en longueur totale selon IEO 2009

Les paramètres de croissance dans les deux cas sont présentés ci-dessous :

	Linf (LT)	K	t0
Beoly et al (1972)	30.2	1.206	-0.06
IEO (2009)	35.9	0.41	-0.944

La valeur de t0 a été calculée pour caler la courbe de croissance en fonction des âges relatifs⁸.

2.2.2 Principe de la méthode

L'une des méthodes les plus anciennes utilisées pour établir une clé taille âge nécessaire pour la conversion des captures en tailles aux captures en âges, celle de la décomposition polymodale. L'application de cette méthode sous des contraintes (en fixant pour chaque âge, la longueur moyenne et l'écart type de taille) constitue un outil flexible pour

⁸ Il existe trois façons d'exprimer l'âge d'un poisson :

- l'âge absolu : il est défini par rapport à la date exacte de naissance du poisson
- l'âge relatif : il est fixé à un événement remarquable dans la vie de poisson comme le recrutement. Il est compté à partir de la date de recrutement
- l'âge conventionnel : il est compté en référence à une date choisie de manière conventionnelle et le plus souvent elle est fixée au 1^{ère} janvier.

la conversion taille/âge des données de captures (Gascuel, 1994). Elles reposent sur le choix d'une loi de répartition des tailles aux âges, d'un modèle de croissance et d'un modèle de variation des écarts types de taille en fonction de l'âge (Chassot et al, 2008).

2.2.3 Résultats

Nous avons réalisé la décomposition polymodale en trimestre du fait de la rapidité de croissance de la sardinelle ronde. La loi de croissance utilisée est celle réalisée à partir des données espagnoles où le modèle s'ajuste mieux sur les données observées. Des âges relatifs correspondant aux quatre trimestres de chaque année ont été utilisés en considérant le milieu de chaque trimestre. Un ajustement a été réalisé sur cinq ans en fixant une contrainte sur les tailles moyennes calculées à partir de la relation de Von Bertalanfy (1958) et en laissant les écarts types libres. A partir des résultats de cet ajustement, nous avons réalisé une autre décomposition en fixant cette fois les moyennes et les écarts type suivant la méthode⁹ de Gascuel (1994). L'initialisation des tailles moyennes et écarts types à des valeurs proches des résultats facilitent le processus d'optimisation en partant d'une solution statistique proche du maximum de vraisemblance (Chassot et al, 2008). Les résultats de l'ajustement du modèle sur les données observées sont présentés en Fig 12.

Le modèle linéaire des écarts types en fonction de l'accroissement en taille (Fig 11) montre une croissance significative ($r = 65\%$ et $p < 0.0001415$ ***). Les résidus du modèle sont cohérents avec l'hypothèse de normalité. Ces résultats montrent que l'accroissement est rapide chez les juvéniles et devienne plus petit chez les individus plus âgés.

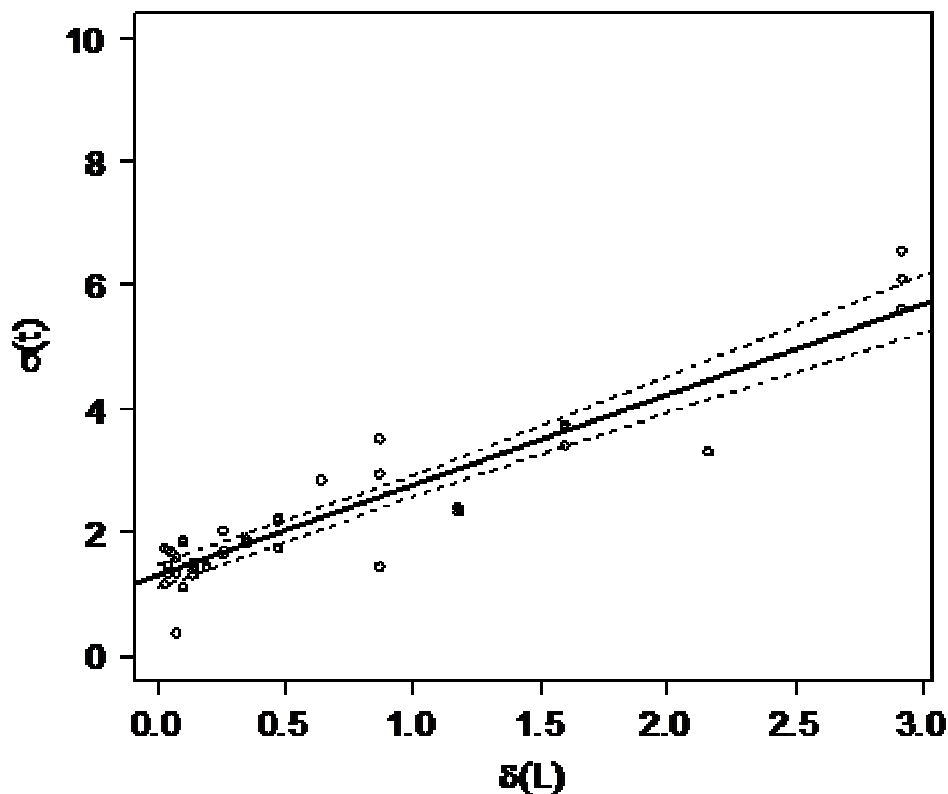


Fig 11 : ajustement des écarts type en fonction de l'accroissement en tailles

⁹ Des écarts types sont calculés en négligeant le terme de croissance en taille ($BL(t)$) dans l'équation suivante :

$$\sigma(t) = \alpha + \beta L(t) + \gamma \frac{dL(t)}{dt}$$

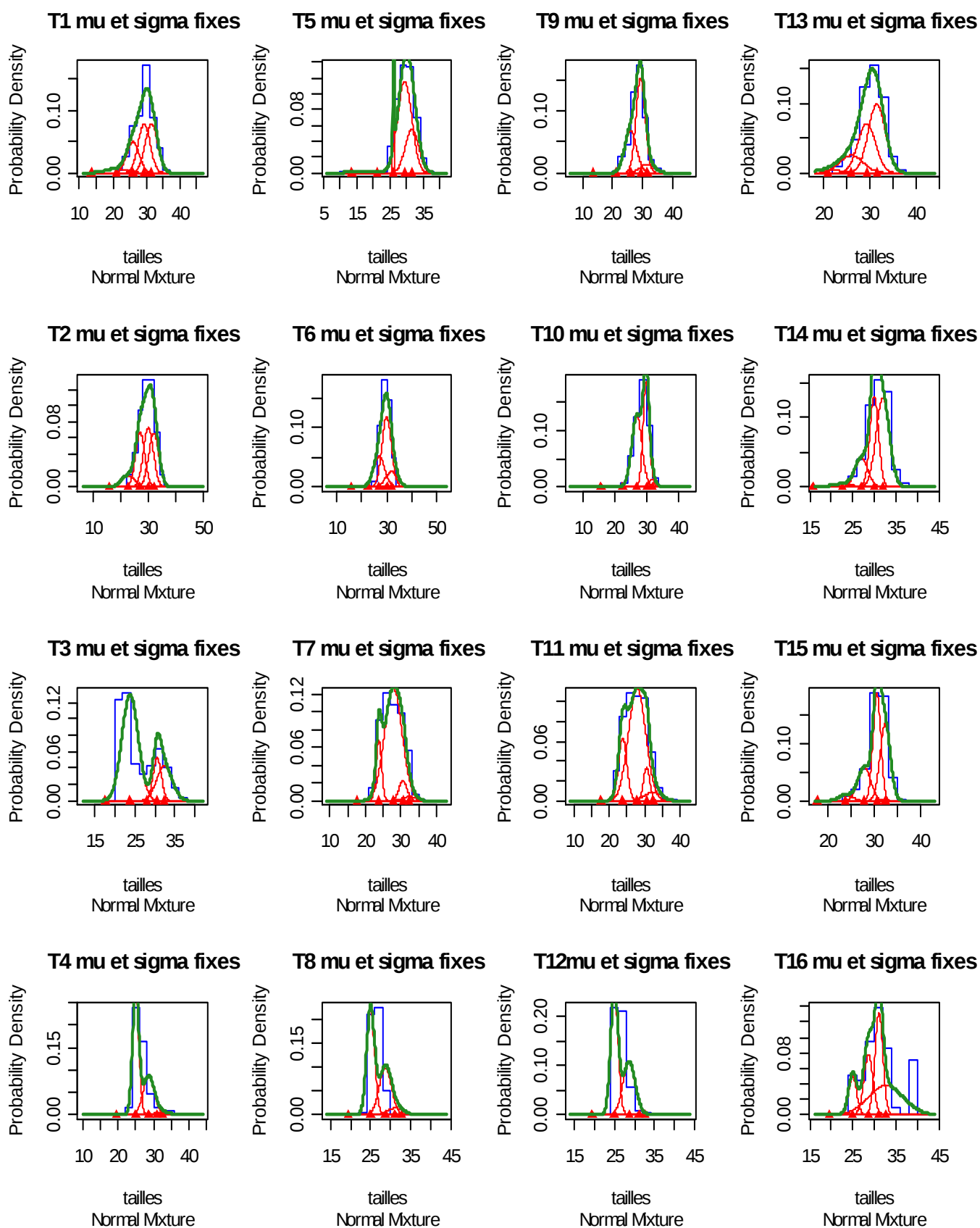


Fig 12 : Ajustement du modèle sur les données observées

A partir des résultats du modèle, nous avons pu calculer les écarts types observés suivant l'équation de Gascuel mais en négligent l'effet de croissance en tailles. L'équation devient alors :

$$\sigma(t) = \alpha + \gamma \frac{dL(t)}{dt}$$

Les écarts types diminuent nettement en fonction des ages (Fig 13).

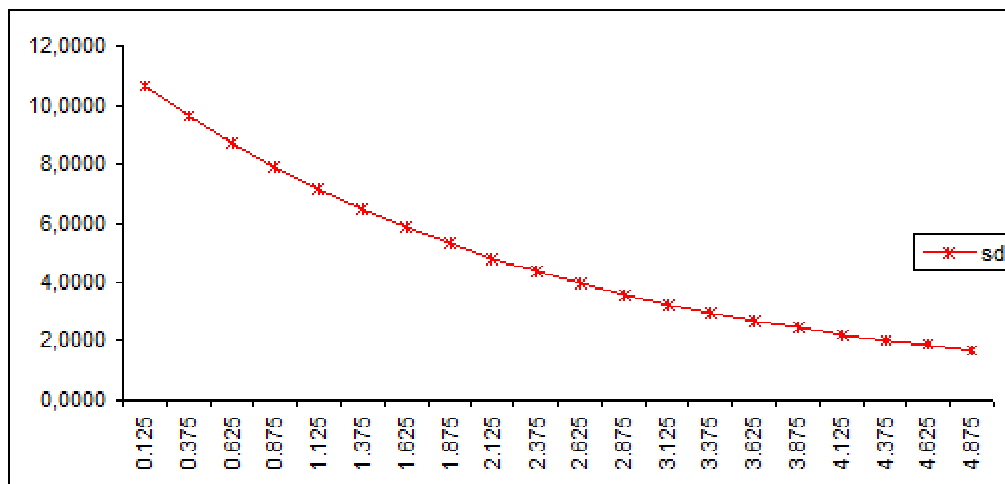


Fig 13 : Evolution des écarts types (modèle) en fonction de l'âge

La décomposition polymodale permet d'allouer à chaque âge conventionnel une proportion dans la capture totale par trimestre. La reconstitution des captures annuelles en ages est effectuée en multipliant chaque proposition par la somme des captures trimestrielles correspondant. La matrice résultant pour les quatre années est la suivante :

	2005	2006	2007	2008	Moyenne (05-07)
0,125	7	430	250	3	229
0,375	0	668	1 453	0	707
0,625	0	243	25	0	89
0,875	16	0	26 048	42	8 688
1,125	615	6 907	150	30 411	2 557
1,375	8 867	1 900	30 296	28 238	13 688
1,625	44 814	26 117	66 191	40 154	45 707
1,875	151 945	127 486	307 409	123 958	195 613
2,125	24 919	111 730	98 527	173 398	78 392
2,375	38 698	99 179	190 097	161 716	109 325
2,625	11 341	40 381	80 323	176 640	44 015
2,875	76 278	56 519	89 130	287 065	73 976
3,125	56 420	36 248	51 928	353 257	48 199
3,375	53 362	21 849	138 197	303 300	71 136
3,625	20 778	0	0	290 620	6 926
3,875	1	556	0	142 237	186
4,125	50 053	0	2 001	459 490	17 351
4,375	53 078	2 499	0	374 348	18 526
4,625	18 063	13 315	13 884	257 670	15 087
4,875	3 471	1 456	3 799	561 420	2 909

Tableau 2 : Matrice des captures en ages en milliers de poissons

3. Diagnostic sur l'état de stock

3.1 Analyse des populations virtuelles (VPA)

3.1.1 Méthode

➤ Principes et hypothèses

L'approche structurale est parmi les méthodes les plus utilisées dans l'évaluation de plusieurs stocks halieutiques particulièrement dans les zones tempérées où les pêcheries sont généralement mono spécifiques et se caractérisent par la présence d'arrêts de croissance qui facilitent la détermination des âges des espèces. En Europe le CIEM, l'ICATT utilise ces méthodes depuis plusieurs décennies pour évaluer les stocks. En revanche, ces méthodes restent moins utilisées en zone tropicale du fait de la présence de pêcheries multi spécifiques, de la difficulté de la détermination des âges et du manque des moyens financiers et humains nécessaires. Elles sont considérées parmi les méthodes les plus exigeantes en termes de données mais parmi les plus puissantes pour l'analyse de la pêche et les plus appropriées pour décrire l'impact de la pêche sur les ressources. Elles s'intéressent aux différents processus qui agissent sur l'abondance du stock (Gascuel et al, 2008) et permettent de réaliser une description historique détaillée de la dynamique de l'espèce tout en détaillant les processus de base (recrutement, croissance, mortalité.. etc) qui affectent la population. L'analyse des populations virtuelles appelées aussi analyse séquentielle où l'analyse des cohortes¹⁰ est l'une des méthodes les plus utilisées de l'approche structurale. Elle constitue un préalable à tout diagnostic et à toute modélisation prédictive et décisionnelle par l'approche structurale (Gascuel, 1994).

La VPA permet d'estimer le taux instantané de mortalité par pêche (F) aux cours des années passées en utilisant une mortalité naturelle, considérée généralement fixe, et les captures par âges. Dans notre étude, nous réalisons un diagnostic à l'échelle d'une pseudo cohorte moyenne pour les années considérées.

➤ Formulation mathématique et Méthodes d'utilisation

D'une manière générale, la VPA repose sur deux équations de bases :

- Une équation de survie qui exprime l'effectif en début de la période considéré (dans notre cas trimestriel) du groupe d'âge d'une cohorte en fonction de l'effectif du groupe d'âge précédent.

$$N(t+1)=N(t)*\exp(-Zt*\Delta t) \dots\dots\dots(1)$$

tels que :

Z_t (mortalité totale) = M_t (mortalité naturelle) + F_t (mortalité par pêche)

$N(t+1)$ = l'effectif à l'année avant

$N(t)$ = l'effectif à l'année précédente

Δt = 0,25 (an soit 1 trimestre)

- Equation des captures c'est-à-dire la capture réalisée sur une cohorte en tenant compte de l'effectif de celle-ci en début du trimestre :

$$C_t= N_t * F_t / Z_t [1-\exp(-Z_t) * \Delta t] \dots\dots\dots(2)$$

Nous avons suivi les étapes suivantes dans le calcul de la VPA :

¹⁰ Le terme de cohorte est défini comme l'ensemble des individus d'un stock donné, nés à une période donnée (Gascuel et al, 2008).

Une valeur de la mortalité par pêche¹¹ (moyenne des quatre derniers âges) est utilisée pour initialiser les calculs. Cette initialisation est conduite par itération en partant d'une valeur arbitraire, puis en répétant les calculs jusqu'à ce que la mortalité par pêche terminale soit égale à la mortalité par pêche moyenne des 4 derniers âges. Une étude de la sensibilité de F terminale dans le cas de pseudo cohorte moyenne (05-07) est réalisée en initialisant ces valeurs sous l'hypothèse $F_t = a \cdot F_{t-17/T}$ avec a variant de 0.5 à 1.2.

- L'équation (3) suivante est utilisée pour déterminer l'abondance du plus vieux groupe d'âge (où âges + dans notre cas) de la pseudo cohorte.

$$N_t = C_t \cdot Z_t / F_t \cdot (1 - \exp(-Z_t) \cdot \Delta t) \dots\dots\dots (3)$$

- L'équation de Pope (1972) est utilisée pour calculer les effectifs par âges trimestriels d'une manière ascendante selon l'équation suivante :

$$N_t = N_{t+1} \cdot \exp(M_t \cdot \Delta t) + C_t \cdot \exp(M_t \cdot \Delta t / 2) \dots\dots (4)$$

- La mortalité par pêche est obtenue par la formule suivante :

$$F_t = \ln(N_t / N_{t+1}) - M_t \dots\dots\dots (5)$$

Nous avons réalisé la décomposition polymodale sur les quatre années. L'année 2008 est considérée comme exceptionnelle par la présence de captures importantes. La VPA et le diagnostic du rendement par recrue ont réalisé en pseudo¹² cohortes sous l'hypothèse d'équilibre. A cet effet, nous réalisons le diagnostic en travaillant d'une part sur toute la période de 2005 à 2008, en considérant chaque année comme une pseudo cohorte, et d'autre part, sur une pseudo cohorte représentée par la moyenne des années de 2005 jusqu'à 2007.

➤ Mortalité naturelle de la sardinelle ronde

La mortalité naturelle englobe tout type de mortalité hormis celles due à la pêche qu'elle soit causée par : la prédation, la maladie ou la vieillesse. C'est un paramètre qui est difficile à estimer chez les populations exploitées. La FAO (1994) estime la mortalité naturelle à partir de plusieurs méthodes indirectes de clupéidés à des valeurs entre 0,4 et 1 an⁻¹. Pour confirmer ces hypothèses pour le cas de la sardinelle ronde, nous procédons à des nouveaux calculs de cette mortalité par plusieurs méthodes :

- La méthode de Taylor (1960) est la plus ancienne méthode utilisée. Elle se base sur le principe : plus la durée de vie de l'espèce est courte plus M est grande. L'équation est donnée par la formule suivante :

$$M = (\ln(1 - 2.9957/A95)) \dots\dots\dots (1)$$

tels que A95 est estimé à partir de l'équation de VB selon la formule : $A95 = 2.9957/K + t_0$.

- Pauly (1980) propose une formule pour calculer cette valeur de mortalité. Elle considère que la mortalité naturelle est liée au paramètre de croissance (K) (inversement proportionnelle à la longévité de l'espèce) et corrélé avec la température

¹¹ La mortalité par pêche correspond à toutes les mortalités engendrées par les captures et les engins de pêche y compris lorsque l'individu n'est pas capturé. Dans la pratique, il est seulement possible d'estimer la mortalité engendrée par les captures (Laurens, 2005).

¹² Du fait de l'absence d'un suivi régulier dans certaines pêcheries ciblant la sardinelle ronde dans la sous région, nous avons utilisés plusieurs approches dans l'estimation de la matrice des captures. Les structures de taille d'une année donnée sont appliquées dans certains cas à d'autres années antérieures.

moyenne annuelle de l'habitat du poisson (T). Cette valeur de mortalité est calculée selon la formule suivante :

$$\text{Log}(M) = 0,0066 - 0,279 \cdot \log(L_{\infty}) + 0,6543 \cdot \log(K) + 0,4687 \cdot \log(T) \dots (2)$$

Un coefficient de correction proposé par Pauly (1980) de 0,6, dans le cas des espèces grégaire tels que la sardinelle ronde, a été appliqué sur la valeur de M calculé par l'équation (2).

- McQuinin et al (1990) propose une méthode pour estimer approximativement la valeur de M selon la formule suivante :

$$M = (3/t_{\max}) \dots \dots \dots (3)$$

tels que $t_{\max}$ est la longévité de l'espèce qui est par définition l'âge correspondant à la taille maximale moyenne ($L_{\max} = 95\%$ de L_{∞}) qu'un poisson peut atteindre. Elle se calcule à partir de la formule suivante : $t_{\max} = (3/K) + t_0$.

- En 2008, des nouvelles formules ont été proposées par Gascuel et al pour estimer la valeur de la mortalité naturelle qui n'est que la production divisée par la biomasse (P/B). L'une de ces méthodes prend en considération le niveau trophique de l'espèce (TL), le coefficient de croissance (K) et la température moyenne de l'habitat où vit l'espèce (T). Elle est donnée par la formule suivante :

$$M = P/B = 2.56 \cdot TL^{-0.78} \cdot K^{0.70} \cdot \exp(0.020T) \dots \dots \dots (4) \quad a$$

- L'autre méthode de Gascuel et al donne une estimation de la mortalité naturelle en utilisant seulement le coefficient de croissance multiplié par une constante selon la formule suivante :

$$M = 1.89 \cdot K \dots \dots \dots (5)$$

- Gislason et al (2008, sous press) proposent une nouvelle formule pour calculer la valeur de la mortalité naturelle par la méthode suivante :

$$\ln(M) = 0.66 - 1.69 \cdot \ln(T) + 1.45 \cdot \ln(L_{\infty}) + 0.90 \cdot \ln(K) \dots \dots (6) \quad \text{tels que } T \text{ est la température moyenne de la surface et } K \text{ la vitesse de croissance.}$$

Les données utilisées pour calculer les différentes valeurs de M sont les paramètres de l'équation de Von Bertalanfy précédemment définies avec une valeur de température moyenne de 22°C selon FAO (2004) et un niveau trophique de 2.8 (Birane S et al, 2002). Les valeurs de la mortalité naturelle dans les différentes méthodes sont présentées dans le tableau (3).

	Années	Avant la correction	Valeurs finales
Taylor (1)	1960		0.42
Pauly (2)	1980	0.88	0.5
McQuinin (3)	1990		0,47
Gascuel (4)	2008		0.9
Gascuel (5)	2008		0.77
Gislason (6)	2008		0.84

Tableau 3 : Valeurs de mortalité naturelle selon les différents auteurs

Pour les différentes valeurs de la mortalité naturelle, nous réalisons le diagnostic pour la moyenne des valeurs les plus petites trouvées par Taylor, Pauly et McQuinin soit ($M=0.46$) et la moyenne des grandes valeurs estimées par les autres auteurs soit ($M=0.8$). Une étude de sensibilité de rendement par recrue est réalisée pour la pseudo cohorte moyenne de 2005 à 2007 pour les différentes valeurs de M.

3.1.2 Résultats :

■ Cas $M=0.46$

Il ressort de ces résultats que la mortalité par pêche dans les différentes années est importante pour les individus dont les ages relatifs se situent entre 1.63 jusqu'à 3.63 an et forte pour le dernier groupe d'âge où groupe d'âge + quelle que soit la période considérée (Fig 14). L'étude de la sensibilité de F_t pour différentes valeurs allant de 0,5 jusqu'à 1,2 prouve que la mortalité est sensible seulement pour les derniers groupes d'âges (Fig 15).

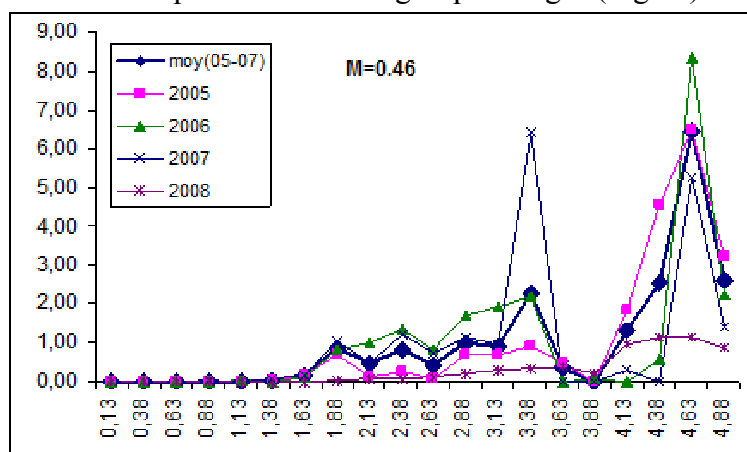


Fig 14 : Mortalité par pêche dans les différentes années

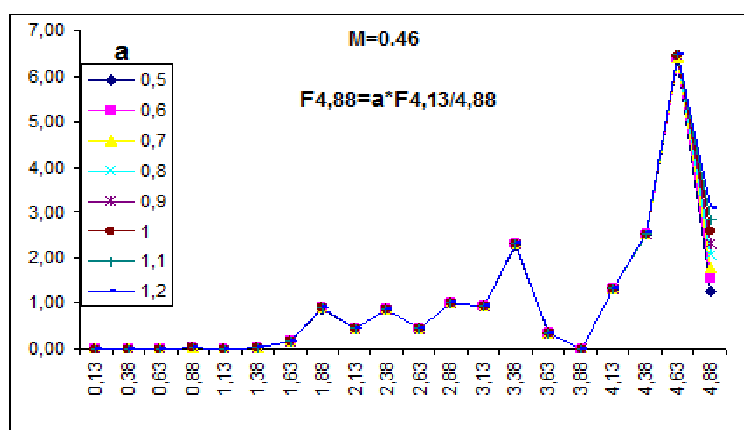


Fig 15 : Analyse de sensibilité des valeurs de mortalité par pêche terminale F_t sur le vecteur de mortalité par pêche aux âges estimé par pseudo-cohorte moyenne. $M= 0.48$

■ Cas $M= 0.8$

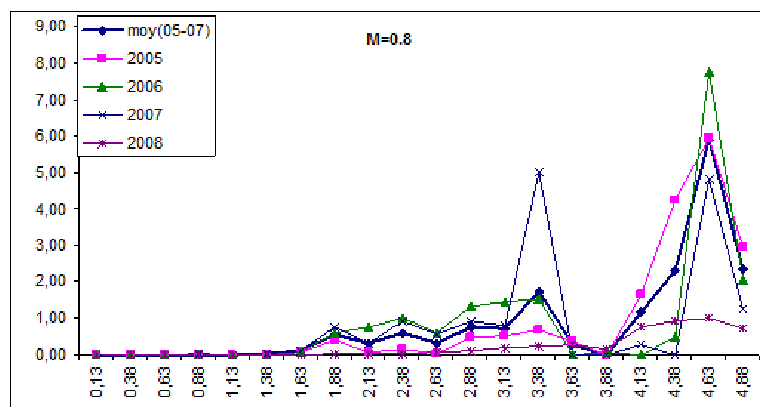


Fig 16 : Mortalité par pêche dans les différents pseudos cohortes

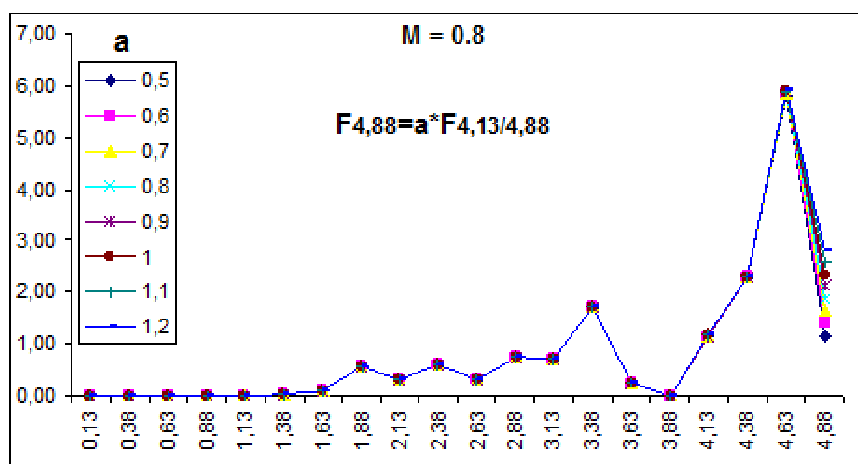


Fig 17 : Analyse de sensibilité des valeurs de mortalité par pêche terminale F_t sur le vecteur de mortalité par pêche aux âges estimé par pseudo-cohorte moyenne. $M=0.80$

D'une manière générale, quelle que soit la valeur de la mortalité par pêche terminale (F_t) utilisée, nous constatons une estimation plus faible des valeurs de mortalité par pêche pour les grandes valeurs de mortalité naturelle (M).

3.2 Diagnostic par les modèles de biomasse et rendement par recrue

La biomasse par recrue (B/R) est égale au cumul des biomasses de différents âges rapportés au recrutement de la cohorte. Elle s'exprime selon la formule suivante dans le cas du modèle structuré en âge : $B/R = \frac{\sum \bar{N}_t * \bar{W}_t}{R}$. Elle exprime la contribution de chaque recrue à l'abondance du stock année après année. Cette valeur est un indicateur de l'impact de la pêche sur l'abondance du stock. Nous avons utilisé la formule suivante pour calculer la B/R :

$$B/R = \sum \bar{W}_t \times \frac{N_t}{R} \times \frac{1 - \exp(-(M_t + F_t) \times \Delta t)}{(M_t + F_t) \times \Delta t}$$

La biomasse féconde par recrue est obtenue en faisant le produit de la matrice de la biomasse moyenne par un vecteur d'ogive de maturité sexuelle.

Nous avons appliqué le modèle de Ricker et Thompson Bell qui correspond au rendement par recrue structuré en âge :

$$Y/R = \sum \bar{W} \times \frac{F_t \times \bar{N}_t}{R}$$

Nous présentons ici le diagnostic en considérant chaque année comme une pseudo cohorte moyenne et celui de la moyenne des trois années 2005 jusqu'à 2007 pour les différentes valeurs de la mortalité naturelle retenues ($M=0.46$ et $M=0.8$).

Afin de faciliter l'interprétation de la courbe de rendement et biomasse par recrue, on considère l'effort à partir d'un multiplicateur d'effort (mf) qui varie entre 0 et 2. Ainsi, il est posé par convention que l'effort actuel correspond à $mf=1$. L'utilisation d'un multiplicateur d'effort (mf) permet d'identifier immédiatement la situation actuelle et d'aboutir à un diagnostic. Pour la biomasse et la biomasse féconde par recrue, nous nous intéressons à des valeurs relatives par rapport à un stock vierge, soit pour $mf=0$. Pour chaque valeur de mf , celles de B/R et BF/R sont divisées respectivement par $B/R(mf=0)$ et $BF/R(mf=0)$.

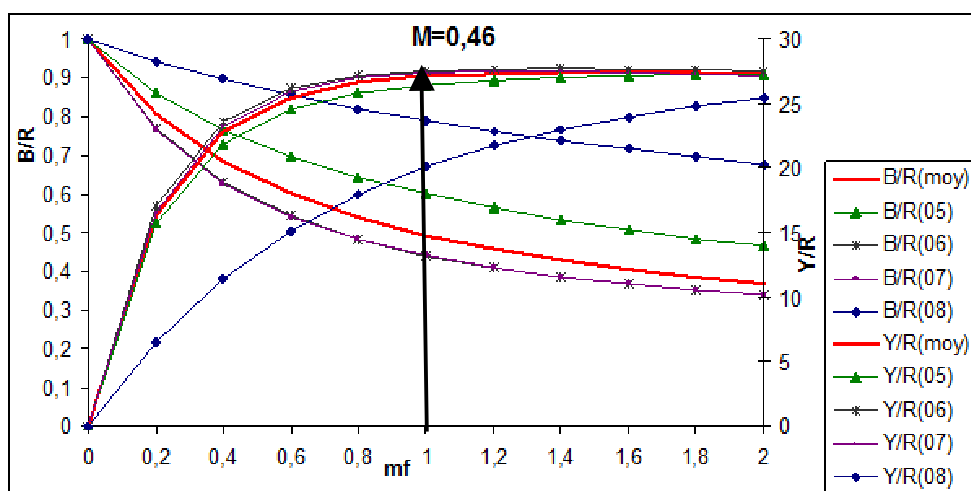


Fig 18 : Courbes de rendement et biomasse par recrue dans le cas $M=0,46$

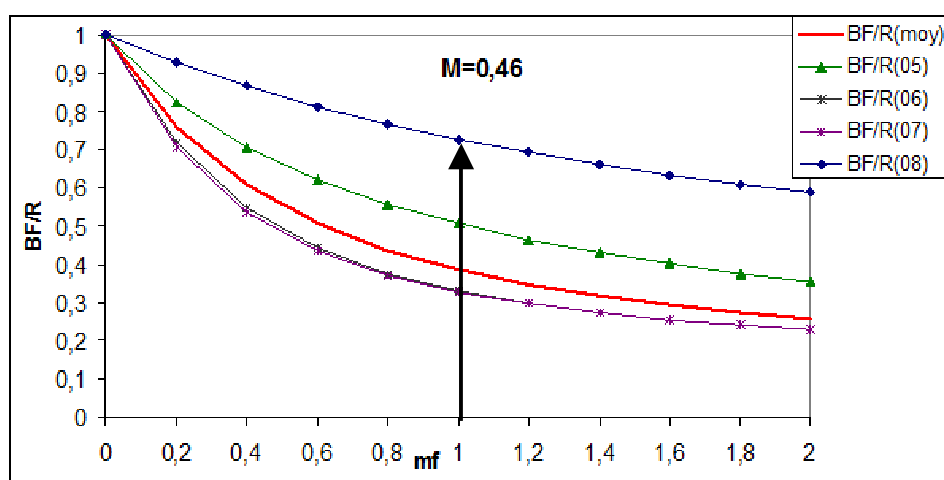


Fig 19: Courbes de la biomasse féconde dans le cas $M=0,46$

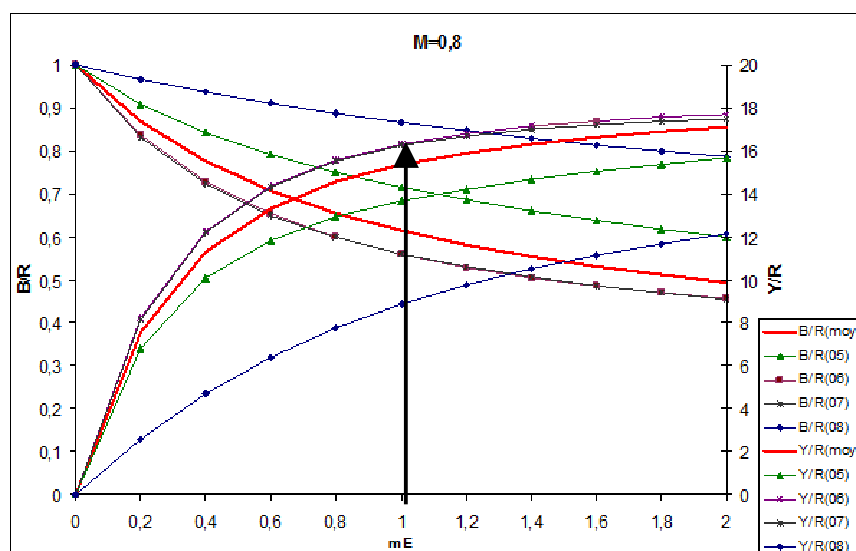


Fig 20: Courbes de rendement et biomasse par recrue dans le cas $M=0,8$

Pour le cas où la mortalité naturelle est de 0.46, le diagnostic montre une situation de pleine exploitation (multiplicateur d'effort actuel est proche de celui qui maximum le rendement par recrue) pour les différentes années considérées à l'exception de 2008 où une

situation de sous exploitation est enregistrée (Fig 18). Le niveau de biomasse par recrue s'élève à une valeur proche de 50% de la biomasse à l'état vierge, à l'exception de 2008 où ce niveau remonte à 80%. La biomasse féconde est quant à elle d'environ 40% de la biomasse féconde à l'état vierge. Pour $M=0.8$ le stock serait en état d'une légère sous exploitation quel que soit la pseudo cohorte considérée à l'exception de 2008 où on note une forte sous exploitation (Fig 20).

■ Etude de la sensibilité du rendement par recrue sur les valeurs de M dans le cas de la pseudo cohorte moyenne

Nous avons estimé le vecteur de la mortalité par pêche avec différentes hypothèses sur les paramètres d'entrée de l'analyse de pseudo cohorte. On teste ici un cas particulier de celui de la sensibilité du rendement par recrue issu de la pseudo cohorte moyenne (2005 à 2007) avec les différentes valeurs de M .

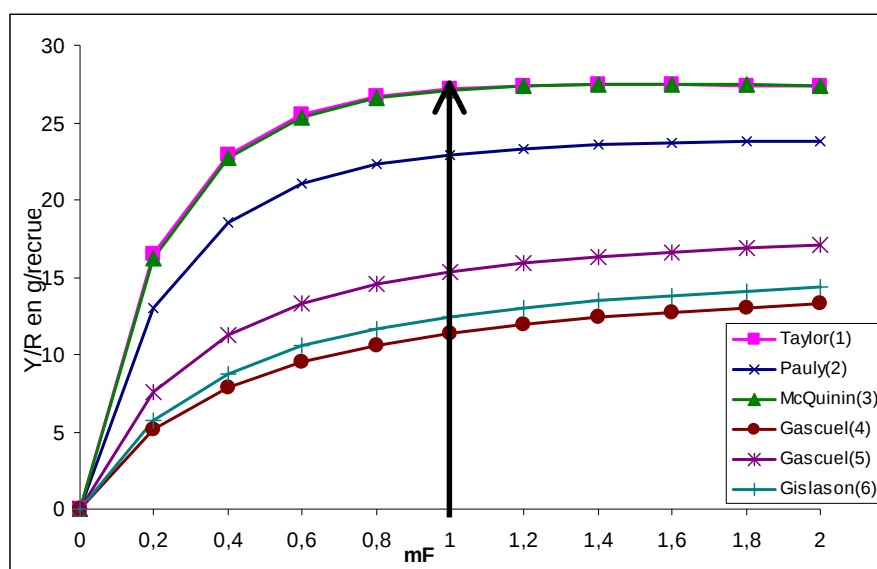


Fig 21 : Etude de la sensibilité du rendement par recrue sur les valeurs de M

Comme dans le cas de deux diagnostics précédents (moyenne de petites et des grandes valeurs de M), les différentes hypothèses de mortalité naturelle ne modifient pas l'allure de la courbe de rendement mais plutôt son amplitude (Fig 21). On constate que plus la mortalité naturelle est faible plus le rendement par recrue maximal est élevé et que l'effort permettant d'atteindre ce maximum se modifie sensiblement. Ceci montre que les valeurs maximales des rendements par recrue (Y/R) sont sensibles aux différentes valeurs de la mortalité naturelle. Globalement, nous constatons une situation de proche de la pleine exploitation pour le stock de la sardinelle ronde. Même si l'effort est inférieur à l'effort de maximisation (dans l'hypothèse M élevé), le rendement par recrue est proche de sa valeur maximale.

3.2 Modèle global :

➤ Principe général :

Le modèle de Schaefer (1954) et ses dérivés (Fox, 1970; Pela et Tomlinson, 1969) sont comparables à ceux utilisés pour l'étude des relations prédateur-proie. Ils considèrent le stock comme une entité dont l'abondance dépend de l'action de prédation exercée par l'homme ici l'effort de pêche (FAO, 1981). Ces modèles peuvent ainsi être considérés comme des modèles de compétition intra-spécifique, basés sur l'existence de mécanismes de régulation densité dépendants (Gascuel, 2008). Ces modèles peuvent être utilisés pour une gestion des pêcheries

par quotas de capture ou limitation de l'effort. Ils sont les modèles les plus utilisés dans l'évaluation des stocks de plusieurs pêcheries en Afrique de l'Ouest.

L'idée de base d'un modèle global est qu'une ressource renouvelable exploitable voit son rendement à l'équilibre varier en fonction de son exploitation. Au maximum de la courbe de production se trouve le point MSY et le EMSY correspondant. Ce dernier est exprimé dans notre cas en multiplicateur d'effort.

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 selon l'expression suivante :

$\frac{dB}{dt} = g(B) - qEB$ Tels que q : coefficient de capturabilité, B : la biomasse et E : l'effort

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

$$g(B) = rB(1 - B/K) \dots\dots\dots(1) \text{ Schaeffer (1954)}$$

$$g(B) = rB(1 - \ln B / \ln K) \dots\dots\dots(2) \text{ Fox (1970)}$$

$$g(B) = rB[1 - (B/K)^{m-1}] \dots\dots\dots(3) \text{ Pella et Tomlinson (1969) et } m \text{ est un paramètre de forme}$$

Le modèle (3) est nommé modèle généralisé et permet de trouver toutes les formes possibles de la courbe de production pour différentes valeurs de m .

- $m=2$ le modèle correspond au modèle de Schaeffer
- $m=1$: le modèle généralisé tend vers le modèle de Fox

➤ Méthode :

Les données utilisées dans cette partie sont les captures déclarées lors du groupe de travail du COPACE en 2009 pour toute la zone Nord Ouest Africaine ainsi que les indices d'abondance de Fridjof Nansen corrigées par des coefficients de correction¹³. Depuis l'arrêt des campagnes d'évaluation du navire de Fridjif Nansen en 2004 dans la zone Nord Ouest Africaine, l'absence de calibration réalisée au préalable sur plusieurs années, affecte la régularité des résultats d'indices d'abondance. Pour cette raison, nous ne disposons pas des données détaillées dans la sous région par flottille pour calculer des indices d'abondance en utilisant la méthode GLM.

Un effort théorique est estimé à partir des captures et des indices d'abondance ($E_{th} = \text{capture} / \text{indice d'abondance}$), puis un multiplicateur d'effort (m_f) est calculé avec comme valeur de référence ($m_f=1$) la moyenne de trois dernières années. L'utilisation de la moyenne de trois dernières années dans le calcul de m_f permet de fournir un diagnostic d'exploitation par rapport à une situation moyenne récente.

La méthode de moindre carrée est la celle utilisée, après transformation logarithmique des valeurs observées et prédites ce qui vaut à une maximisation de la vraisemblance sous hypothèse d'une distribution log-normale des résidus. L'initialisation des valeurs du modèle par des valeurs de l'équation de l'ajustement a été utilisée.

Les formules suivantes sont utilisées :

$$IA_e = a * \exp(-b * m_{fox})$$

$$Y_e = a * \exp(-b * m_{fox}) * m_{fox}$$

¹³ Ces coefficients de correction sont obtenus à partir des résultats des campagnes de prospection réalisées par le navire de recherche Fridjof Nansen. Ces campagnes sont effectuées dans la zone Ouest africaine dans le cadre d'une coopération entre la FAO et le Norvège. Plusieurs campagnes d'écho-intégration ont été réalisées depuis 2002 entre ce bateau et ceux de la sous région (Al Awam de la Mauritanie, Itaf Deme du Sénégal et Al Amir Moulaye Abdellahi du Maroc). A signaler que les campagnes de Fridjof Nansen sont à l'arrêt depuis 2004, cependant le coefficient de correction obtenues est toujours mis en application.

L'ajustement en pseudo équilibre de Fox dans le cas de $K^{14}=2$ et meilleur que celui où le K est égal à 3. Cet ajustement suppose que l'abondance du stock l'année i est en équilibre avec l'effort de certaines années antérieures. L'estimation d'un effort moyen par la méthode de Fox consiste à utiliser la formule suivante :

$$m_{fox} = \frac{k \times mfi + (k-1) \times mfi - 1 + \dots + mfi - k}{K + (K-1) + \dots + 1}$$

➤ Résultats :

Avant de choisir les modèles, nous avons réalisé un ajustement des données au modèle généralisé (Pella et Tomlinson(1969) et le paramètre de forme (m) trouvé est proche de 1.19 ce qui correspond au modèle de Fox. En plus un ajustement des modèles sur les données des indices d'abondance observés est effectué pour déterminer le coefficient de corrélation (Fig 22). Le cas de Fox est meilleur de celui de Schaeffer. Le modèle de Fox est celui retenu dans l'évaluation.

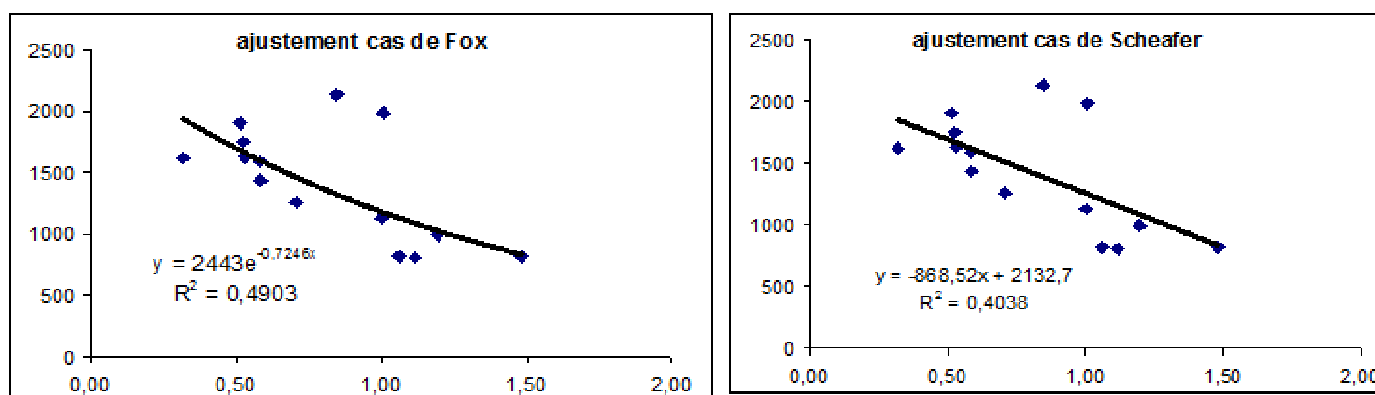


Fig 22 : ajustement sur les données des IA observés en fonction de multiplicateur d'effort

L'ajustement entre les indices d'abondance observés (IA) et prédits (IAE) est acceptable à l'exception des années de 1999¹⁵ et 2008 avec R^2 égale à 49% (Fig 23). L'augmentation de l'effort de pêche entre 1995 jusqu'à 1998 a diminué l'indice d'abondance par environ 2 mais reste à un niveau élevé. Cette valeur est la plus petite observée durant toute la période d'étude.

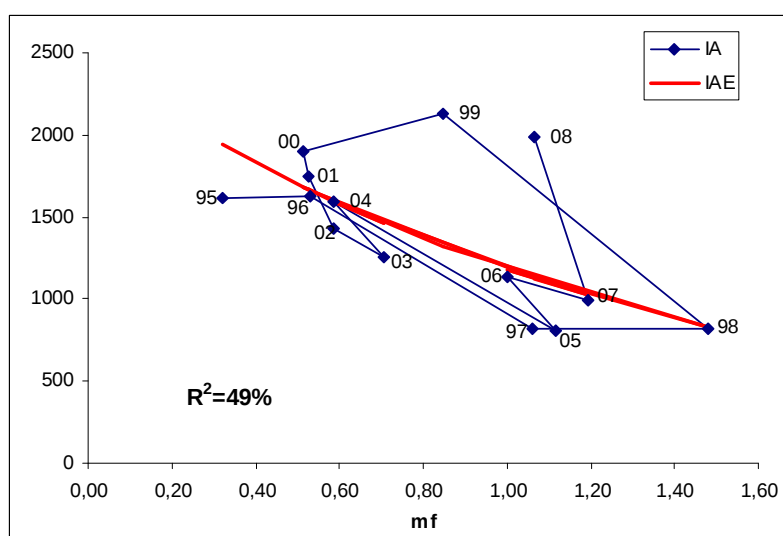


Fig 23 : ajustement du modèle sur les indices d'abondances observées

¹⁴ Correspond au nombre de classe âges exploités dans le stock

¹⁵ L'année 1999 est caractérisée par un fort indice d'upwelling dans la Zone Sénégalaise.

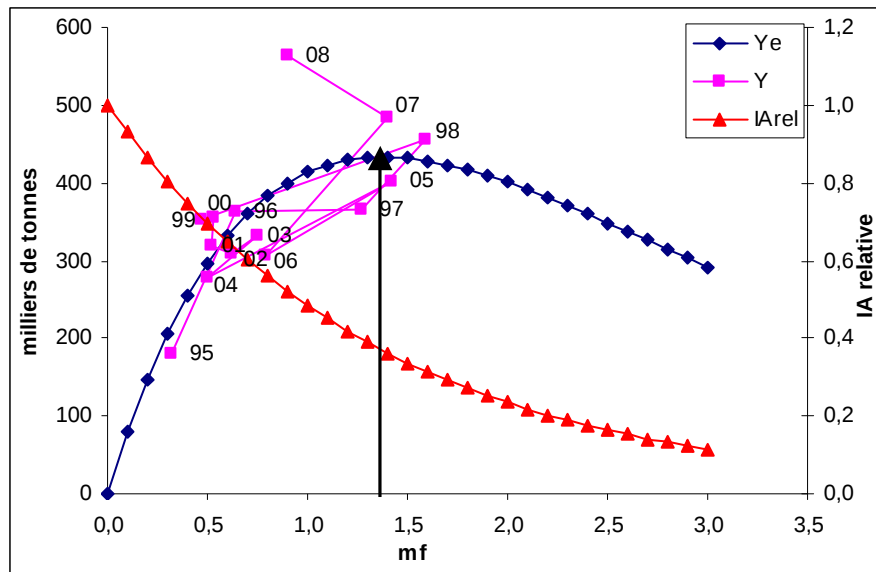


Fig 24: Captures observées et équilibrées par le modèle global

Pendant toutes les années d'étude, le stock de la sardinelle ronde n'a pas subi une nette surexploitation affectant l'état du stock. Il a passé par trois principales tendances globales d'évolution en passant par une situation de sous exploitation puis pleine exploitation et durant quelques années une légère surexploitation. L'année 1995 est caractérisée par la plus faible exploitation par le biais d'un effort minimum engendrant une capture faible. Une augmentation de l'effort avec l'arrivée des bateaux hollandais en 1996 a provoqué une augmentation progressive des captures jusqu'à 1998 qui représente une tendance vers un état de surexploitation donnant des captures importantes mais avec un indice d'abondance relatif, qui reflète l'image de l'état de biomasse du stock, la plus faible enregistrée (Fig 24). Une inversion de la situation s'est opérée à partir de cette année, avec une diminution de l'effort particulièrement dans la zone Mauritanienne et Marocaine (Fig 5), accompagnée par un fort recrutement en 1998 (OULD TS, 2005), engendrant une élévation de la biomasse relative en 1999 et 2000. Durant cette période, un statuquo de la stratégie des pêches globale gardant les captures à un seuil inférieur à 400 000 tonnes est constatée et qui dure jusqu'à 2004. L'augmentation soudaine de l'effort en 2005 rehausse les captures et représente l'année la plus proche du MSY. En 2006, un bref retour vers la situation antérieure de sous exploitation du à la diminution de l'effort constaté depuis 2005. Dans les dernières années où on assiste à une nette augmentation de l'effort dans les différentes zones de la sous région, les captures sont-elles aussi élevées mais placent le stock dans une situation de pleine exploitation. L'année 2008 ne suit pas la tendance générale conditionnée par l'évolution de l'effort de pêche. Malgré la diminution de l'effort de pêche durant l'année 2008, les captures enregistrent une augmentation et ont atteint leur valeur maximale depuis plus de 14 ans. Pour atteindre le MSY, visée pour les gestionnaires de pêches, une application d'un effort de pêche similaire à celui de 2005 (soit un effort de pêche correspondant à 1,4) pourra être souhaitable en termes d'aménagement. Dans le cas on veut appliquer une approche de précaution qui propose de ne pas atteindre la zone du MSY, il serait plus intéressant d'appliquer un effort de pêche plus faible que celui de 2005. En faisant une projection à long terme et en évitant la tendance de sous exploitation avec faible capture observée dans certains années, le statuquo d'un effort similaire à celle appliqué en 2008 semble être plus propice pour atteindre une capture économiquement rentable avec une capacité de pêche inférieure au Emsy. L'augmentation de l'effort de pêche observée dans certaines périodes ne permettrait qu'une stagnation des captures durant la période (96-97) où un gain très faible en terme de capture totale (environ

100000 tonnes) dans le cas allant de 1997 jusqu'à 1998 durant la quelle le stock est classé dans une zone d'une légère surexploitation. Ceci montre que la réponse de ce stock sur l'évolution de l'effort de pêche est rapide et d'où la nécessité de prendre des mesures de précaution dans la stratégie future d'aménagement. Les valeurs utilisées dans le diagnostic ont présenté en tableau 3.

Eth msy	0,48
mEmsy	1,38
MSY	433 300 tonnes
(Yact/MSY)	1,300
(Ye(act)/MSY) 16	0,88

Tableau 3 : les paramètres de diagnostic de l'état de stock

Discussion :

L'étude de la description et l'évolution des captures de la sardinelle ronde dans la zone Nord Ouest d'Afrique montre la part importante des captures de cette espèce dans la zone Sénégal-mauritanienne. L'effort exercé pour la recherche de cette espèce est important dans la zone mauritanienne où plusieurs flottilles industrielles étrangère sont en activité. Les travaux entamés sur la biologie de l'espèce n'ont pas abouti à une identification précise de ce stock et ses schémas de migration. La lecture d'otolite réalisée par l'IEO (2009) donne des paramètres de croissance plus précis que ceux identifiés par Beoly en 1982. A cet effet, la loi de croissance issue de ces lectures conduit à un meilleur ajustement des méthodes de décomposition polymodale.

La décomposition polymodale est une méthode robuste pour estimer les âges mais nécessite une estimation rigoureuse des matrices de capture à l'échelle du stock. Ce qui montre le besoin d'harmoniser les bases de données disponibles dans la sous région. La présente étude n'a pu couvrir qu'une période de 4 ans compte tenu de l'absence d'un système d'échantillonnage à bord des autres flottilles artisanales et industrielles.

Cette étude a été abordée selon plusieurs approches d'extrapolation et d'estimation des matrices de captures aux niveaux de différentes pêcheries dans ces pays. Elle donne un diagnostic presque similaire pour les deux méthodes d'évaluation utilisées à savoir l'analyse de pseudo cohorte, utilisée pour la première fois dans cette pêcherie, et le modèle global. L'analyse en pseudo-cohorte appliquée est robuste si certaines hypothèses sont satisfaites selon l'hypothèse de base qui stipule que le recrutement et le taux de mortalité naturelle par âge doivent être stables pour les années précédentes de l'analyse. Ces résultats réalisés en utilisant plusieurs valeurs de mortalité naturelle, montrent que le stock de sardinelle ronde est jusqu'à présent dans une situation acceptable par rapport à son exploitation. L'ajustement en pseudo équilibre de fox montre également une situation relativement rassurante de l'état de stock surtout que ces modèles sont intéressants dans ces pays où les diagnostics sont généralement établis sur une longue période, et ne visent pas l'établissement d'un TAC à partir du diagnostic de la dernière année.

¹⁶ Le ratio entre la capture équilibrée correspondant à l'effort actuel et le MSY, $Y_e(E_{act})/MSY$ exprime la proportion du potentiel de production qui serait utilisée en moyenne par le régime d'exploitation actuel (Gascuel, 2008).

4. Distribution spatiale et cartographie de l'abondance de stock de la sardinelle ronde dans la ZEE Mauritanienne :

Les données étudiées dans cette partie du mémoire sont celles collectées à bord des bateaux pélagiques hollandais dans la ZEE Mauritanienne depuis 1996. Cette base¹⁷ de données regroupe 1593 enregistrements et plusieurs variables décrivant l'opération de pêche (date de chalutage, durée de pêche, heure début et fin de chalut, captures totale de l'espèce, captures échantillonnées, profondeur de surface, profondeur du chalutage¹⁸ et la température de surface). Durant la période de 1999 jusqu'à 2007, les observateurs de l'IMROP ont pu embarquer à bord de soixante cinq campagnes de chalutage. Avant 2005, huit campagnes annuelles au minimum sont échantillonnées. A partir de 2005 le taux d'échantillonnage n'a pas dépassé quatre campagnes annuelles (tableau 4). Ceci est dû particulièrement à la couverture d'autres flottilles pélagiques comme celles de la Russie à partir de 2005.

Années	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Code Missions	CH99001P	CH00001P	CH01001P	CH02001P	CH03001P	CH04001P	CH05001P	CH06001P	CH07003P
	CH99002P	CH00002P	CH01002P	CH02002P	CH03002P	CH04002P	CH05003P		CH07004P
	CH99003P	CH00003P	CH01003P	CH02003P	CH03003P	CH04003P	CH05004P		CH07005P
	CH99004P	CH00004P	CH01004P	CH02004P	CH03004P	CH04004P	CH05005P		CH07006P
	CH99005P	CH00005P	CH01005P	CH02005P	CH03005P	CH04005P			
	CH99006P	CH00006P	CH01006P	CH02006P	CH03006P	CH04006P			
	CH99007P	CH00007P	CH01007P	CH02007P	CH03007P	CH04007P			
	CH99008P	CH00008P	CH01008P	CH02008P	CH03008P	CH04008P			
	CH99009P	CH00009P			CH03009P				
	CH99010P	CH00010P							
	CH99011P								
	CH99012P								
	CH99013P								

Tableau 4: Nombre de campagnes réalisées de 1999 à 2007 par les bateaux hollandais (source : base observateur IMROP)

Ce travail constitue une première démarche exploratoire de cette base de données depuis sa mise en place en 1997.

4.1 Analyse exploratoire mono variable des données :

L'histogramme de la distribution de la CPUE¹⁹ (Fig. 25 (a)²⁰) montre la présence des valeurs faibles de captures (14% de chalutage présente des captures nulles et plus de 44% avec une valeur inférieure à 10 tonnes/heure de sardinelle ronde avec la présence des outliers²¹ pour certaines stations de chalutage).

Les analyses exploratoires de la CPUE en fonction des différentes variables explicatives montrent l'effet de la saison, de la zone de pêche, du bateau et des années. La zone centre²²

¹⁷ Du fait du nombre faible des stations échantillonnées à bord de la flottille russe (au totale 126 avec des captures faibles) et qui couvre seulement la période de 2005 à 2007, nous travaillerons seulement sur les données de la flottille hollandaise.

¹⁸ Cette variable signifie la profondeur du chalut par rapport à la surface de l'eau. Généralement, lorsque les bateaux pêchent au large, le chalut est toujours près de la surface.

¹⁹ CPUE = captures en tonnes / durée de pêche en heure effectuée

²⁰ Une présentation réduite à des valeurs comprises entre 0 et 150.

²¹ Valeurs extrêmes

²² La zone Mauritanienne est divisée en trois parties en fonction de la latitude: zone Nord (20°40N-19°14N), zone centre (19°14-17°40N) et zone sud (17°40-16°03N).

occupe la première place dans la quelle des captures importantes en moyenne sont enregistrées. Les rendements sont également maximum pour les deuxième et la troisième saison (Fig 25 ((b),(c))). La tendance globale annuelle montre une diminution nette de la CPUE depuis 1999 (Fig. 25(h)) à l'exception de 2005 et 2007 où des captures importantes sont observées. S'agissant de la température de surface, ce paramètre joue un rôle important dans le rendement des bateaux hollandais ce qui fait que ces navires recevaient chaque jour par des moyens satellitaire les prévisions de la température dans les zones de pêche afin de s'orienter vers les lieux favorables dans les délais propices. La température favorable de cette pêcherie se situe entre 20 et 25 C° (Fig. 25 (e)).

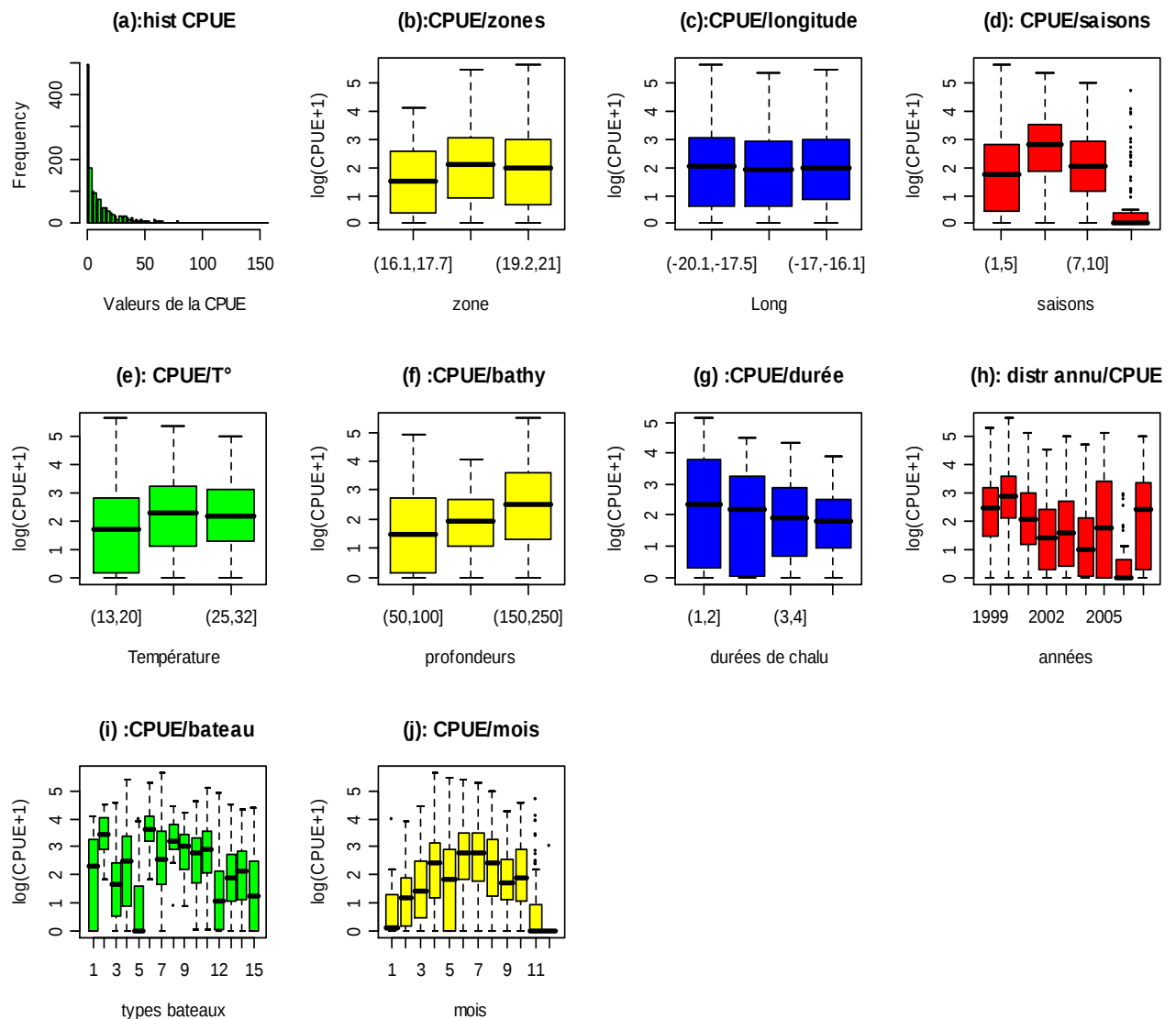


Fig 25: Distribution de la CPUE en fonction des différentes variables explicatives

4.2 Caractérisation de la dynamique spatiale

La distribution spatiale de la CPUE toutes les années confondues montre que la zone Nord est caractérisée par la présence des grandes valeurs observées suivies par la zone centre avec certaines valeurs importantes dans la zone sud. L'effort de ces bateaux est exercé en grande partie dans des zones côtières et particulièrement en zone Nord et centre dans le quel 87% de station de chalutage sont effectuées. Ces deux zones se caractérisent généralement par

un fort upwelling²³ et déplacement des fronts thermiques favorables pour la présence des espèces pélagiques. En plus de l'existence au sein de cette zone, d'une aire marine protégée (Banc d'Arguin) délimité par la ligne joignant le cap Blanc et cap Timiris, créée depuis 1976, et qui participe apparemment à l'approvisionnement des zones de pêche adjacentes en fort recrutement. Toutes les stations de chalutage ont été effectuées dans la zone autorisée de cette pêcherie qui est délimitée par une obligation de pêcher à une distance supérieure à 10 milles marin par rapport à la côte. La plus grande valeur observée de la CPUE s'élève à plus de 282 tonnes par heure de chalutage (Fig 26).

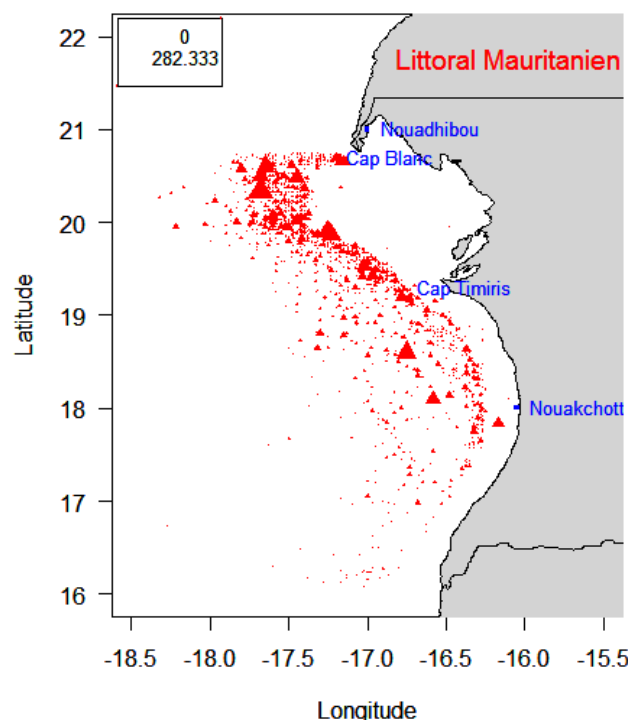


Fig 26: Distribution spatiale de la CPUE de la sardinelle ronde pêchée en Mauritanie (toutes les années confondues) (taille de légende correspond à la valeur de la CPUE)

4.3 Distance et de la durée Inter chalutage (DIC & HIC)

Les bateaux hollandais qui basent en grande partie de leur pêche sur la prospection acoustique des bancs de poissons sur un rayon généralement de 30 mille nautique bâbord (côté gauche) et tribord (côté droite) selon les bateaux, font généralement aller et le retour entre la zone du Cap Blanc au nord et la zone de Nouakchott au sud. Ce temps de prospection constitue une partie importante dans leurs pêches. Cependant, la CPUE utilisée dans les différentes parties de ce mémoire est celle calculée à partir de la division de la capture observée sur la durée de chalutage entre le largage et le virage du chalut. Nous présentons dans cette section et d'une manière sommaire une description du temps de recherches en fonction de la distance parcourue entre deux coups de chaluts successifs. La sommation de cette durée de recherches et de la durée du chalutage effectuée donne un aperçu plus précis sur l'effort effectif exercé sur un stock donné et éventuellement sur la CPUE réelle.

²³ C'est un phénomène qui consiste à remonter les eaux profondes et froides à la côte. Il s'accompagne généralement des apports des nutriments dans la zone euphotique par laquelle initie le développement du réseau trophique. En zone Mauritanienne ce phénomène se reproduit sous l'influence de l'interaction de deux systèmes de courants de surface principaux : le courant des Canaries venant du nord et le courant équatorial de Guinée venant du sud (FAO, 2002).

La majorité des coups de chaluts successifs sont effectués dans des positions voisines mais parfois avec une durée de recherches allant jusqu'à plus de deux jours (Fig 27). Ce temps de recherche est parfois lié à la capacité des bateaux qui les obligent d'attendre quelques heures voire quelques jours, selon la quantité pêchée et le nombre d'équipage à bord, pour traiter les captures réalisées avant de ramener une nouvelle quantité de pêche. Certaines informations situées dans la zone rouge dans la figure (Fig 27) et en se basant sur une vitesse moyenne des bateaux en navigation à 12 nautique, sont aberrantes. Cependant, les résultats issus de traitement montrent la faiblesse de ses erreurs sur l'ensemble des données. En plus de cela, il est à noter que sur plusieurs stations de chalutage, les informations sur l'heure de virage n'ont pas été collectées. En effet, la vérification de cette variable²⁴ demeure nécessaire pour la modélisation de l'effort de pêche effectif, de l'estimation de l'abondance du stock et il peut être utilisé comme un indice opérationnel pour déterminer les tactiques de pêche suivies par ses bateaux après chaque coup de chalut.

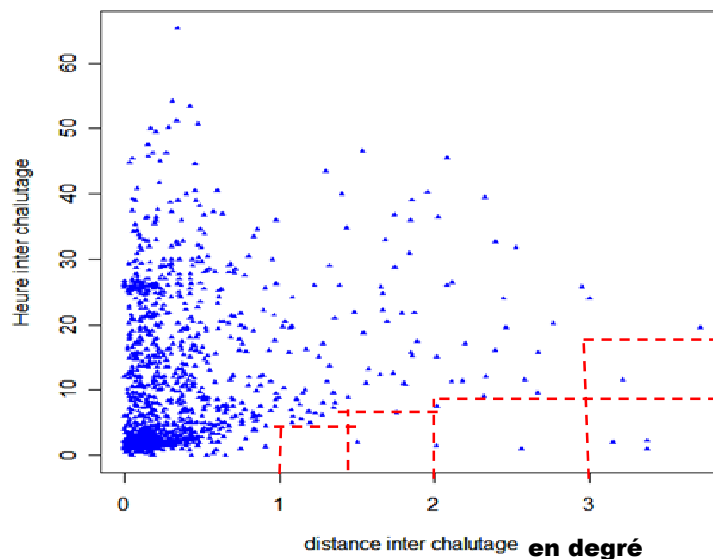


Fig 27: Distance parcourue en degré en fonction du temps de recherches

4.4 Déplacement du centre de gravité des captures de la flottille hollandaise

Les pêcheurs dans un souci d'optimisation des captures doivent prendre en considération les effets des facteurs environnementaux, biotiques et/ou abiotiques dans leur stratégie de pêche. L'étude de l'évolution du centre de gravité permet de voir sommairement dans quelles mesures ces modifications se sont, ou non, accompagnées de changements des schémas de l'exploitation spatiale et saisonnière de cette espèce. Le calcul du centre de gravité permet de localiser le stock de poisson étudié (Bez, 1997). Il présente la position moyenne d'une population et aussi la position moyenne d'un individu pris au hasard dans le champ d'étude (Bez, 1997). Si on considère un point (x) correspond à la station de chalutage dans l'espace de deux dimensions (latitude et longitude) et $z(x)$ la capture par unité d'effort de l'espèce à la position x alors le centre de gravité sera égal :

$$CG = \frac{\int xz(x)dx}{\int z(x)dx}$$

Nous étudions l'évolution trimestrielle et annuelle du centre de gravité des coups de chaluts pondéré ou non par la CPUE. L'utilisation de ces deux calculs permet de voir la stratégie de cette flottille dans les différents trimestres. Ces résultats montrent que la flottille

²⁴ Heure de virage et largage

hollandaise, arrivé généralement en début d'année, commence la recherche de la sardinelle en zone Nord dans les deux premiers trimestres de chaque année (Fig 28 (b)) dans les quels des fortes captures sont généralement enregistrés. Dans les derniers trimestres particulièrement le quatrième où des faibles captures sont observées (Fig 25), ces bateaux commencent de se déplacer vers le sud. Globalement le centre de gravité trimestriel des coups de chaluts était particulièrement en zone nord et centre quelques soit les trimestres considérés (Fig 28 (b)) et il se déplace en sud dans certains trimestres particulièrement en trimestres 3 et 4 (Fig 28(a)) s'il était pondéré avec les valeurs de capture.

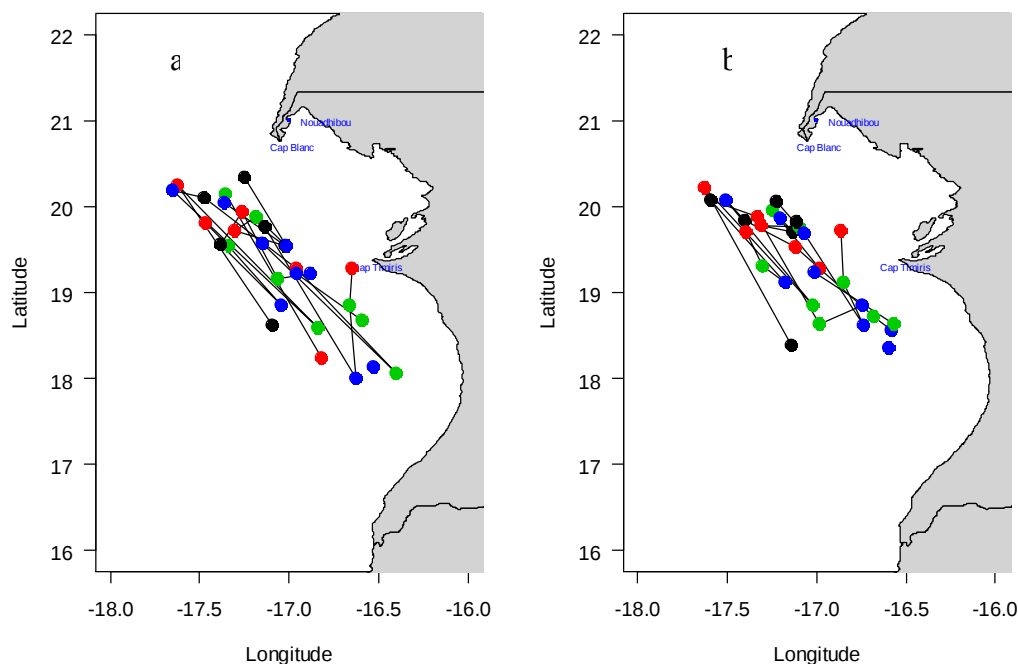


Fig 28: Centre de gravité des CPUE (a) et des coups de chaluts (b) trimestrielle (noir : trimestre 1, rouge : trimestre 2, vert : trimestre 3, bleue : trimestre 4)

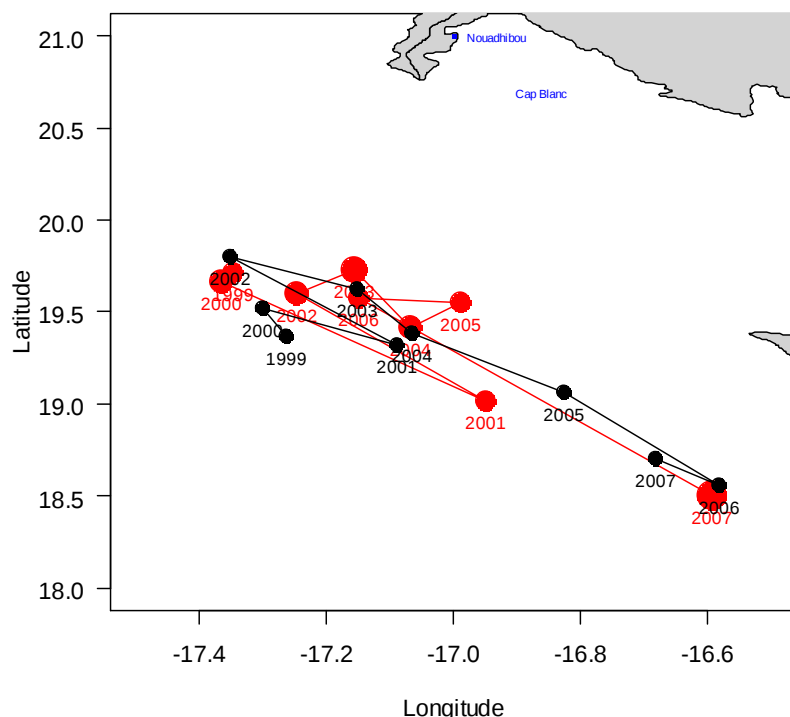


Fig 29: Evolutions du centre de gravité annuelle pondéré par la CPUE (rouge) et sans pondération (noire)

Le centre de gravité des coups de chaluts annuels montre un déplacement vers le sud à partir de 2005 qui ne se traduit pas par un déplacement du centre de gravité des CPUE annuels qui restent centrées au nord sauf en 2007 où un déplacement soudain est constaté vers le sud (Fig 29).

4.5 Calculs des variogramme et réalisation des cartes de krigeage

4.5.1- Définitions

➤ Variogramme

Pour procéder à l'analyse spatiale nous nous intéressons à la continuité spatiale fournie par l'étude du variogramme. Cette fonction constitue la base de la modélisation qui permet de mesurer la dissemblance entre les valeurs prises par deux points en fonction de la distance qui les sépare à l'inverse de la fonction de covariance qui mesure plutôt la parenté entre eux (Faraj et al, 2008).

Le variogramme expérimental est calculé selon la formule suivante :

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} * \sum [Z_{xi} - Z(x_i + h)]^2$$

Où : N(h) : nombre de paires dans la direction considérée et dans la classe de distance h et Z(xi) la valeur de la variable à modéliser à la position xi.

Les principales propriétés du variogramme sont :

- $\gamma(h) = \gamma(-h)$
- $\gamma(0) = 0$
- $\gamma(h) \geq 0$

Les modèles sont des expressions analytiques que l'on tente d'ajuster le mieux possible aux points des variogramme expérimentaux. Parmi les modèles le plus couramment utilisés en géostatistique pour la modélisation du variogramme on trouve : effet de pépité, puissance, sphérique, gaussien, exponentiel, linéaire..Etc. On peut additionner plusieurs modèles en même temps pour affiner la modélisation. Le cas du modèle que nous avons utilisé dans la présente étude est de type sphérique combiné avec effet de pépité dans le cas du variogramme de la CPUE et de type linéaire avec effet de pépité dans le cas de la modélisation de la bathymétrie. Il est considéré en plus isotrope dans le premier cas c'est-à-dire qu'il est identique pour toutes les directions contrairement où cas anisotrope, considéré dans le deuxième cas, qui se caractérise par le fait que le variogramme dépend de la direction du vecteur h.

Le modèle du variogramme montrant un seuil, présente les caractéristiques suivantes :

- **Portée (range):** distance où deux observations ne se ressemblent plus du tout en moyenne, elles ne sont plus liées (la covariance nulle) linéairement. À cette distance, la valeur du variogramme correspond à la variance de la variable aléatoire.
- **Effet de Pépité** noté Co : variation à très courte échelle, erreurs de localisation, erreurs d'analyse et précision analytique.
- **Palier (sill):** Le palier est atteint lorsque les points sont séparés d'une distance supérieure ou égale à la portée. Au-delà de cette distance limite, les points ne sont plus corrélés et le variogramme est théoriquement constant Il est considéré comme une variance de la variable aléatoire considérée dans notre cas la bathymétrie où la CPUE.

➤ Krigeage

Le krigeage est une méthode géostatistique qui permet l'estimation de valeurs locales en considérant l'organisation spatiale des variables étudiées. C'est donc une méthode d'interpolation qui peut générer des surfaces estimées à partir d'un échantillon de points géo-référencés (De Oliveira, 2003). Il se distingue par ses caractéristiques d'estimation non-biaisée et d'estimation d'une variance associée.

4.5.2 Cartographie de la bathymétrie dans la zone Mauritanienne

➤ Données utilisées

La bathymétrie est parmi les variables le moins collectées par les observateurs embarqués à bord de la flottille hollandaise (42% des stations de chalutage leurs profondeurs de pêche n'ont pas été prélevées). Soixante dix (70) % de stations de chalutage ont été effectuées dans des isobathes inférieures à 300 m (Fig 30). Dans la ZEE Mauritanienne, cette variable est généralement en corrélation avec la longitude, c'est-à-dire plus on s'éloigne de la côte plus la profondeur augmente. Les bateaux hollandais pêchant les petits pélagiques en Mauritanie s'intéressent plutôt aux profondeurs du chalut pour qu'ils positionnent leurs engins. La recherche de sardine et de la sardinelle se font généralement dans des niveaux de chalutage près de la surface de l'eau. En revanche les autres espèces pélagiques particulièrement le chinchard, le plus recherché par les bateaux de la communauté de l'Ex URSS, s'effectue dans des niveaux de chalutage près du fond ce qui engendre parfois la déchirure et la perte de leurs engins de pêche.

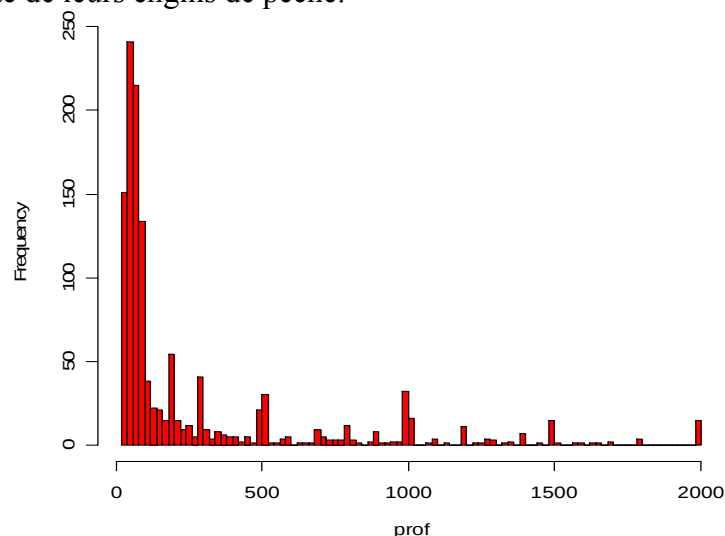


Fig 30: distribution de la bathymétrie dans la ZEE Mauritanienne

➤ Variogramme

L'avantage de procéder à un variogramme expérimental sur la variable bathymétrie est le fait que les données collectées peuvent être combinées toutes les années confondues. C'est-à-dire leurs homogénéités restent stables quel que soit la date du prélèvement contrairement aux données de la CPUE où le pas de temps est indispensable pour toute éventuelle modélisation du fait de la présence d'une grande hétérogénéité spatiale de ces données. En effet, nous avons réalisé un variogramme directionnel sur quatre directions à savoir :

- Direction de 0° : indique le sens perpendiculaire à la côte
- Direction 90° : indique le sens parallèle à la côte
- Direction 45° : inclinaison positive de 45° par rapport au sens perpendiculaire à la côte

- Direction 135 : indique une inclinaison positive de 45° par rapport au sens parallèle à la côte

Ce variogramme montre un effet de pépite minimale (Fig 31) c'est-à-dire qu'on arrive à expliquer toute la variabilité de la bathymétrie. Différentes portées sont identifiées et correspondent à différents paliers selon la direction considérée. Ceci montre que la variabilité n'est pas identique sur toutes les directions d'où la nécessité d'une modélisation de type anisotrope.

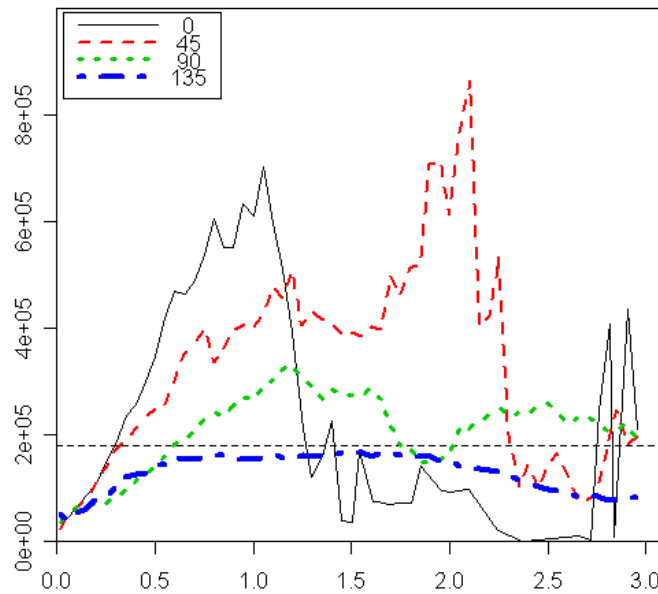


Fig 31: Variogramme expérimental directionnel de la bathymétrie

La modélisation a été réalisée en utilisant un modèle linéaire (Fig 32) qui est généralement adapté à des formes linéaires qui représentent des variables un peu moins régulières et non dérivables (Rivoirard, 1995). Le modèle linéaire utilisé est sans palier avec effet de pépite et de type $\gamma(h) = a \cdot h + C_0$.

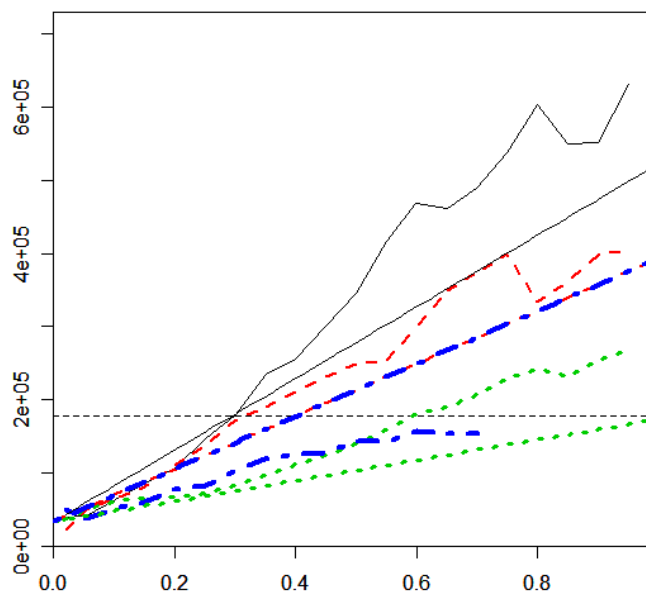


Fig 32: Variogramme expérimental directionnel de la bathymétrie et modèle de variogramme sur un plan réduit (portées inférieures à 1°)

➤ Carte de krigeage

La modélisation de ce variogramme, nous a permis de réaliser une carte de krigeage sur la bathymétrie (Fig 33 (a)) en choisissant un voisinage²⁵ de points au minimum 10 stations et maximum 50 stations. Celle-ci montre que les bateaux hollandais pêchent dans des zones caractérisées par la présence des fosses à proximité de l'isobathe 200m qui est généralement préféré par cette flottille. En effet, la carte de variance d'estimation²⁶ montre une bonne estimation de ces valeurs sur l'ensemble de la carte (Fig 33 (b)).

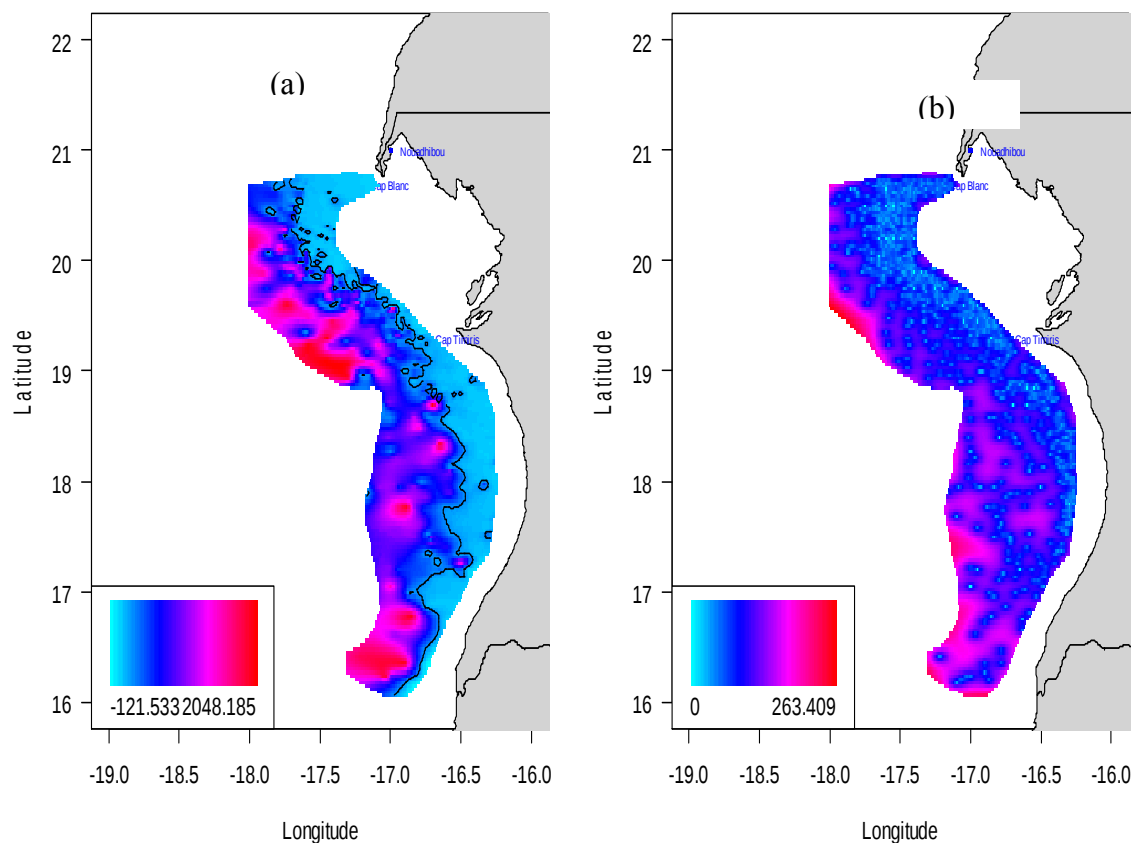


Fig 33: Carte de Krigeage de donnée de la bathymétrie (a) et la carte de variance (b)

4.6 Estimation de l'abondance de stock via la modélisation de la CPUE

4.6.1 Calcul du variogramme

La distribution géographique des stations de chalutage réalisées par les bateaux hollandais (Fig 26) représenté sous une forme sinusoïdale rend difficile la réalisation d'une carte de krigeage pour la CPUE qui se base sur une méthode d'interpolation²⁷. Ceci est dû au fait qu'une grande partie de la zone et particulièrement celle du large n'a pas fait l'objet de chalutage par ces bateaux qui suivent pratiquement le trait de la côte. A cet effet, nous calculons le variogramme omni directionnel c'est à dire considéré identique sur toutes les directions. Le variogramme a été calculé en constituant des paires de points en utilisant un seuil de temps²⁸ de 15 jours suivant l'équation suivante :

²⁵ Les données voisines que l'on retiendra c'est-à-dire les N données les plus proche angulaire

²⁶ La variance d'estimation = la variance des données / nombre des données. Si elle est grande, la qualité d'estimation est mauvaise et sensible à l'hétérogénéité des données (plus j'ai des données plus la variance chute).

²⁷ Estimer ce qui passe entre deux points pour lesquels on a des observations

²⁸ D'autres simulations ont été réalisées sur des pas allant de 7 jours jusqu'à un mois ne permet pas d'expliquer une grande partie de la variabilité de ses données. En effet, le pas de temps « codetol= 15 jours » est celui qui est le meilleurs dans les différents cas

$$Z(x_i, t_i) - Z(x_j, t_j) \text{ Tels que } |t_j - t_i| < 15j$$

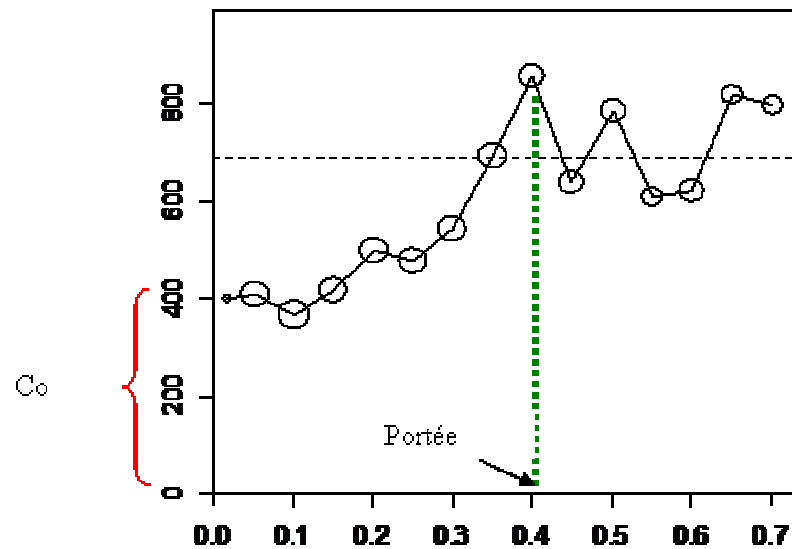


Fig 34: Variogramme omnidirectionnel sur les données de la CPUE

Le variogramme montre qu'on arrive à expliquer 50% de la variabilité des CPUEs par des structures inférieures à 24 milles marin « environ 0.4 degré » (Fig 34). Il s'avère donc que pour une résolution de couverture spatiale supérieure à cette limite les données concernant la CPUE de cette flottille hollandaise sont spatialement indépendantes.

Malgré la part importante de la structure spatiale expliquée par le variogramme, la réalisation d'une carte de krigeage²⁹ sur ces données n'a pas abouti à des résultats du fait de la distribution des données. A cet effet, nous procédons à l'estimation de l'abondance de ce stock dans la zone Mauritanienne via la modélisation des CPUE par le GLM.

4.6.2 Estimation de l'abondance du stock (CPUE moyennes) à partir de la modélisation par GLM

Avant de procéder à l'estimation de la CPUE moyenne par rapport aux différentes variables, nous avons rajouté des nouvelles variables explicatives en regroupant leurs valeurs dans des intervalles jugés raisonnables à savoir :

- bathymétrie : "(50,100]" "(100,200]" "(200,300]" "(300,2e+03]"
- saison : quatre types de saisons sont identifiés dans la ZEE Mauritanienne :
 - o Saison froide (janvier jusqu'en mai)
 - o Saison froide chaude : juin jusqu'en juillet
 - o Saison chaude : août jusqu'en octobre
 - o Saison chaude froide : novembre en décembre
- zone de pêche : comme déjà indiqué les zones de pêche sont bornées en latitude en trois grandes zones tels que :
 - o Nord (19°47'-20°36')
 - o Centre (18°02'-19°47')
 - o Sud (16°04'-18°02')

L'objectif de cette partie est de réaliser une prédiction de la CPUE qui est souvent considérée comme une mesure de l'abondance du stock, en fonction de plusieurs variables explicatives. Ceci suppose que les CPUE observées sont les résultats d'un tirage aléatoire d'une loi d'espérance mathématique « CPUE prédites ».

²⁹ Plusieurs simulations par trimestre et semestre ont été effectuées

▪ Principe de la méthode

Le GLM est un modèle paramétrique qui permet de résoudre des cas plus généraux que le modèle linéaire (LM) dont l'utilisation suppose la normalité de résidus de la distribution. Cette méthode consiste à faire le lien entre les variables explicatives et variables à expliquer (où variables de réponses). Ceci passe par un choix des variables explicatives à conserver dans le modèle retenu en testant plusieurs modèles avec plusieurs hypothèses de distribution de résidus (normale, logNormale, poisson, gamma...etc.). La comparaison entre d'autres paramètres tels que la déviance, qui mesure l'écart entre le modèle et les données avec les degrés de libertés, est réalisée afin de choisir le modèle le plus parcimonieux.

▪ Méthodologie

L'estimation d'un indice d'abondance par l'approche GLM est appropriée car elle permet l'analyse de séries de CPUE dont la distribution n'est pas normale (Laurans, 2005). De plus, ce type de modèle permet de décrire la distribution et la variabilité d'une CPUE au regard d'un certain nombre de facteurs que l'on peut mesurer. Nous avons testé les effets de plusieurs variables dans l'équation (1) en vue d'interpréter la variabilité des CPUE dans toutes les combinaisons possibles.

$$CPUE_{ijklmn} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \sigma_k + \Omega_l + \dot{Y}_m + \check{Z}_n + \dot{Y}_m * \check{Z}_n + \mathcal{E}_{ijklmn} \text{ tels que : équation (1)}$$

- i : effet de l'ANNEE qui intègre la variation d'abondance annuelle. Certaines années sont caractérisées par des captures importantes que d'autres.
- j : effet MOIS ou SAISON qui intègre la variation saisonnière sur les CPUE réalisées. Certaines saisons sont plus favorables que d'autres pour la pêche de cette espèce.
- k : effet ZONE ou LATITUDE qui intègre la variation spatiale d'abondance. Cette variable a été calculée sur la base des limites de latitude.
- l : effet BATEAU qui intègre la différence d'efficacité d'un bateau sur la période et la zone d'étude.
- m : effet de BATHY qui intègre la variation de la position du chalut par rapport à la surface.
- n : effet de LONGITUDE : qui intègre la dimension spatiale.
- Un effet d'interaction LONG et BATHYMETRIE
- $\mathcal{E}_{ijklmn}$: un terme d'erreur résiduelle

Le recours à l'utilisation de cette méthode conduit à calculer des CPUE moyennes qui tiennent compte l'ensemble des effets ayant une influence sur la variabilité des CPUE.

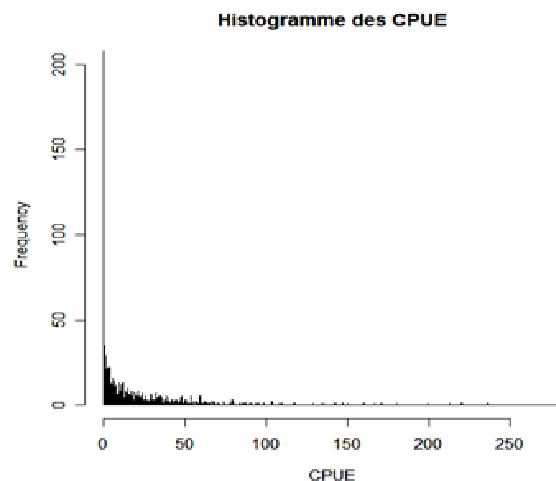


Fig 35: distribution des valeurs de la CPUE observée

L'histogramme de la CPUE montre la présence des valeurs nulles importantes correspondant à des coups de chaluts effectués sans capture (Fig 35) suivi d'une distribution de forme log Normal. Afin de prendre en compte le maximum d'information contenue dans les données, nous avons choisi d'utiliser un modèle **Delta** qui associe une distribution binomiale à la variable indicatrice représentant la présence de la sardinelle ronde et une distribution logNormale pour la distribution de la CPUE quand les données sont positives (Le Pape et al. 2003).

Une démarche en trois étapes a été adoptée :

□ **Le choix d'un modèle Binomial afin d'expliquer la présence/absence de la CPUE**

$$\text{Logit}(Y_{0/1}) = \alpha_i + \beta_j + \sigma_k + \Omega_l + \dot{Y}_m + \check{Z}_n + \varepsilon_{0/1}$$

où $Y_{0/1}$ correspond à la valeur Booléenne (0 =absence, 1=présence) de la CPUE, l'ajustement a été effectué via un GLM suivant une loi Binomiale et où les résidus sont supposés être distribués de manière binomiale.

□ **Le choix d'un modèle pour les CPUE positives (CPUE>0) :**

$$\text{Log}(Y_+) = \alpha_i + \beta_j + \sigma_k + \Omega_l + \dot{Y}_m + \check{Z}_n + \varepsilon_+$$

où Y_+ correspond à la valeur de la CPUE lorsqu'ils sont présents. Le logarithme de Y_+ , variable de réponse du GLM a été ajusté à une distribution gaussienne (loi choisie après test sur différentes distributions des données positives). Les résidus ε_+ étant considérés comme étant distribués de manière normale.

□ **Le couplage de ces deux modèles pour estimer la CPUE de la sardinelle ronde :**

$$Y = Y_{0/1} \times e^{(\ln(Y_+))} \times e^{(\sigma^2/2)} \quad (Y, Y_+ \text{ et } Y_{0/1} \text{ étant ici les estimations})$$

La CPUE (Y) correspondant à la probabilité de présence ($Y_{0/1}$) multipliée à la CPUE ($e^{(\ln(Y_+))}$) à laquelle on multiplie la correction de Laurent (1963) qui corrige l'erreur que le passage du logarithme puis exponentiel induit sur la variance σ^2 (Le Pape et al. 2003).

▪ **Résultats :**

• **Modèle binomial (présence/absence) :**

Nous avons testé toutes les variables présentées dans l'équation (1) et qui peuvent faire varier la CPUE. Les résultats de ce modèle montrent qu'il n'y a pas d'effets de bathymétrie ni de la longitude sur la CPUE. Ce modèle explique seulement 26% de la déviance totale (tableau 5). Les facteurs bateau et année expliquent plus de la variabilité dans ce modèle soit respectivement 47% et 24%. La variable zone a été retenue du fait qu'elle explique plus de 10% de la déviance (le critère de choix était de retenir les variables expliquant au moins 4% (Laurans, 2005). Toutes les variables retenues sont significatives au seuil de plus de 95% (tableau 5).

```

> anova(SARDBin.glm,test="Chisq")
Analysis of Deviance Table

Model: binomial, link: logit

Response: Presence

Terms added sequentially (first to last)


```

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)
NULL			1917	1670.30	
bateau	14	265.84	1903	1404.46	1.506e-48
as.factor(annee)	8	134.32	1895	1270.14	3.594e-25
saison	3	102.78	1892	1167.35	3.916e-22
zone	2	59.71	1890	1107.65	1.083e-13

```

> █

```

Tableau 5: résultats du test associé au modèle présence-absence

- **Modèle avec les données positives :**

Nous avons utilisé ce modèle seulement sur les données où des observations sont enregistrées. Une transformation logarithmique est appliquée afin d'homogénéiser les variances, qui est généralement affecté par les valeurs extrêmes, et de tenir compte de la nature multiplicative des effets étudiés. 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 la CPUE en passant par le logarithme vers l'exponentielle comme indiqué auparavant

```

> anova(SARDpresent.glm,test="Chisq")
Analysis of Deviance Table

Model: gaussian, link: identity

Response: log(CPUE)

Terms added sequentially (first to last)


```

	Df	Deviance	Resid. Df	Resid. Dev	P(> Chi)
NULL			1616	4094.7	
saison	3	69.7	1613	4025.0	4.404e-07
as.factor(annee)	8	290.1	1605	3734.9	2.974e-25
bateau	14	308.6	1591	3426.3	1.554e-23

```

> █

```

Tableau 6: résultats du test associé au modèle données positives

Ce modèle explique presque le même taux retenu par le modèle absence présence soit 25% de la déviance totale. L'effet zone est significatif dans le modèle binomial absence/présence, il n'apparaît pas dans le modèle gaussien. Comme dans le premier modèle les variables bateau et année explique la part la plus importante de la variabilité (Tab 6). Les résultats de ce test montrent que toutes les variables retenues sont significatives au seuil de 95% (tableau 6)).

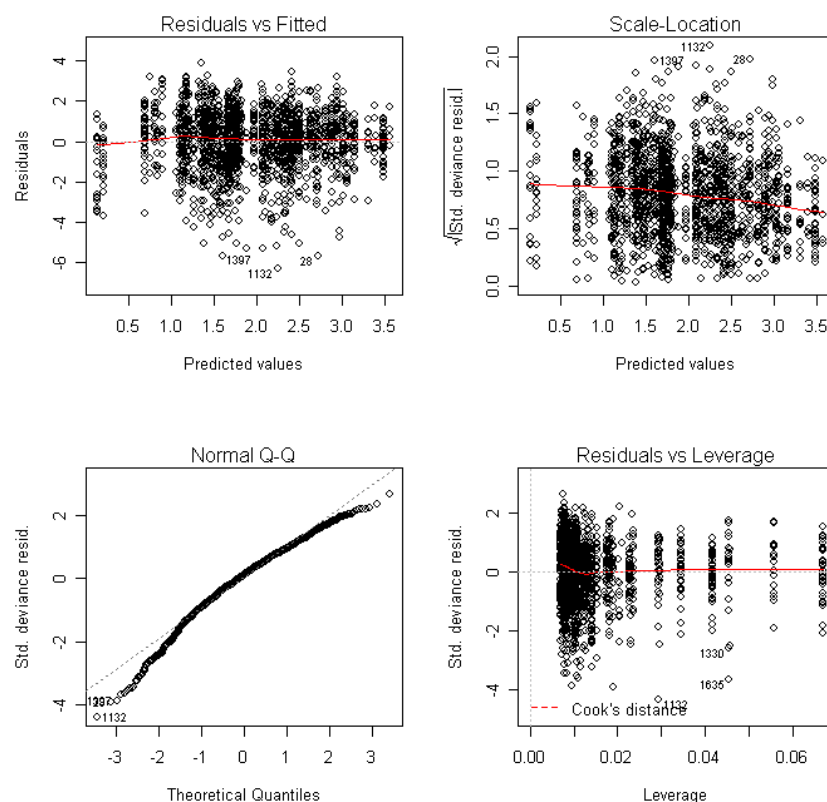


Fig 36: analyse de la normalité de résidus dans le cas du modèle données positives

L'analyse du résidu (Fig36), montre un bon ajustement avec l'absence d'auto corrélation des résidus. La droite de Henry (Q-Q plot) qui compare les valeurs des quantiles de la loi empirique aux quantiles de la loi normale centrée réduite montre une normalité assez acceptable de la distribution de résidus. Ceci peut être confirmé par l'histogramme de résidus (Fig 37).

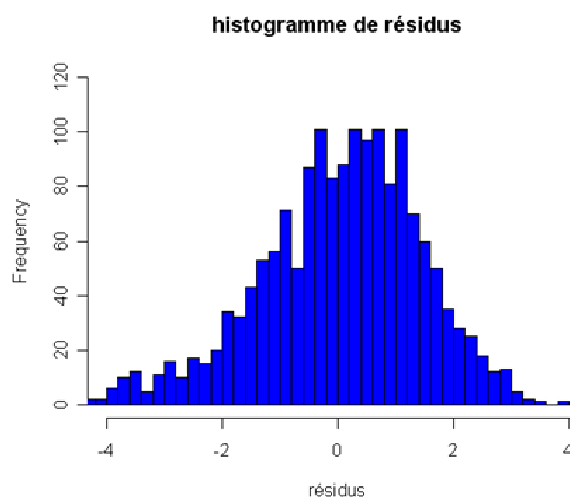


Fig 37: histogramme de résidus dans le cas du modèle données positives

La CPUE moyenne est donc obtenue sur l'année en appliquant des prédictions³⁰ sur toutes les combinaisons possibles des niveaux (modalités) des variables explicatives.

³⁰ Une table de prédiction a été réalisée sur la base d'une boucle à travers le logiciel R utilisé dans ce traitement permet de calculer tous les cas possibles selon les différents modalités des variables explicatives rentrant en jeu dans les deux modèles retenus.

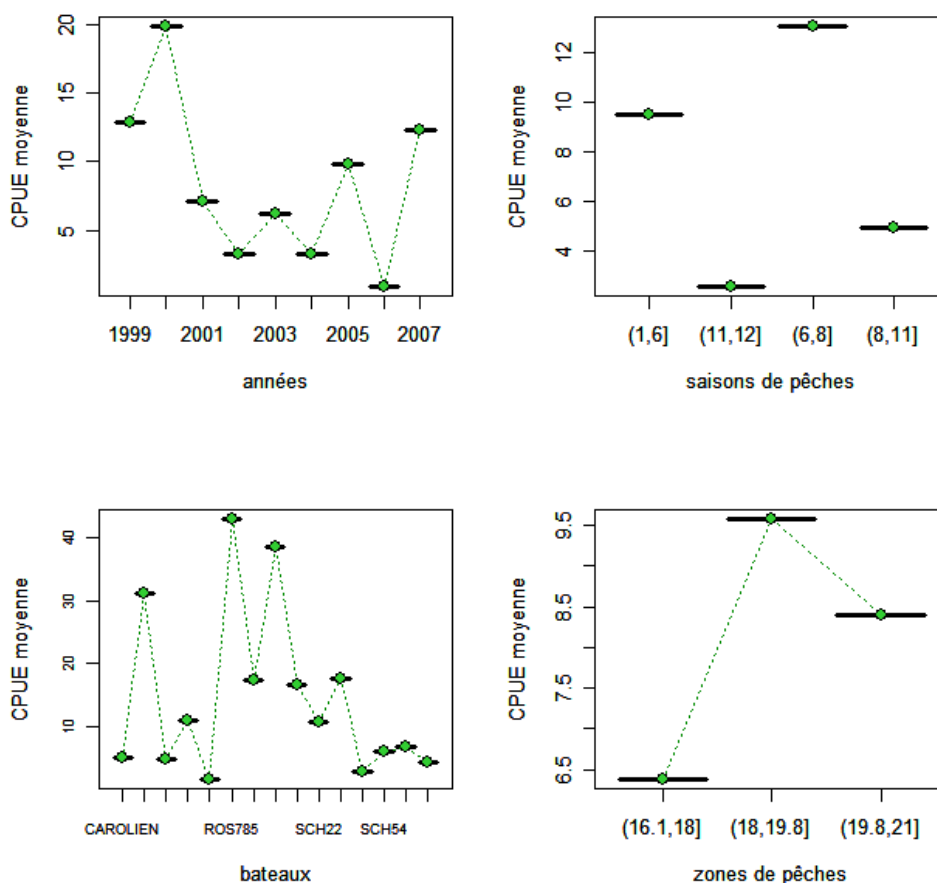


Fig 38: CPUE moyenne issue de la GLM selon les différentes variables explicatives

Les CPUE moyennes par année en prenant en compte les effets des différentes variables montrent une chute depuis 2000 jusqu'à 2004 avant d'avoir une augmentation en 2005 puis une forte diminution allant jusqu'à moins de 2 tonnes par heure est enregistrée en 2006. La dernière année (2007) de la période montre une CPUE moyenne égale à celle observée en 1999 ce qui reflète un bon état de l'abondance du stock exprimé par le bon rendement durant les dernières années. Il est à noter que l'année de 2008 est caractérisée par une capture excessive de la sardinelle ronde dans la zone Ouest africaine allant du Sénégal jusqu'à le Maroc en passant par la Mauritanie.

Pour la saisonnalité de la CPUE, la première et troisième saisons sont les plus importantes en termes de rendement (Fig 38(b)) et une forte variabilité des abondances est observée selon les types des bateaux (38 (c)). En revanche, la zone centre est la plus importante en moyenne en terme de rendement ce qui explique le déplacement du centre de gravité observé en 2007.

Le test de la variable longitude n'est pas significatif. A cet effet, nous avons réalisé une jointure entre les données brutes regroupant les positions géographiques en latitude et longitude avec le fichier contenant les CPUE moyenne prédites par le GLM. Ceci, nous a permis de réaliser une cartographie des CPUE moyennes en considérant des carrés statistiques de 0,1 degré de côté. Ceci montre que des fortes valeurs des CPUE sont observées en zone centre et de majorité près de l'isobathe 200. La cartographie des CPUE moyennes prédites montre que dans la zone sud, les rendements sont relativement faibles (Fig 39). Les meilleurs CPUE sont enregistrées au nord de 18N° et particulièrement dans des zones côtières interdites à ce mode de pêche où les activités de pêche sont peu développées.

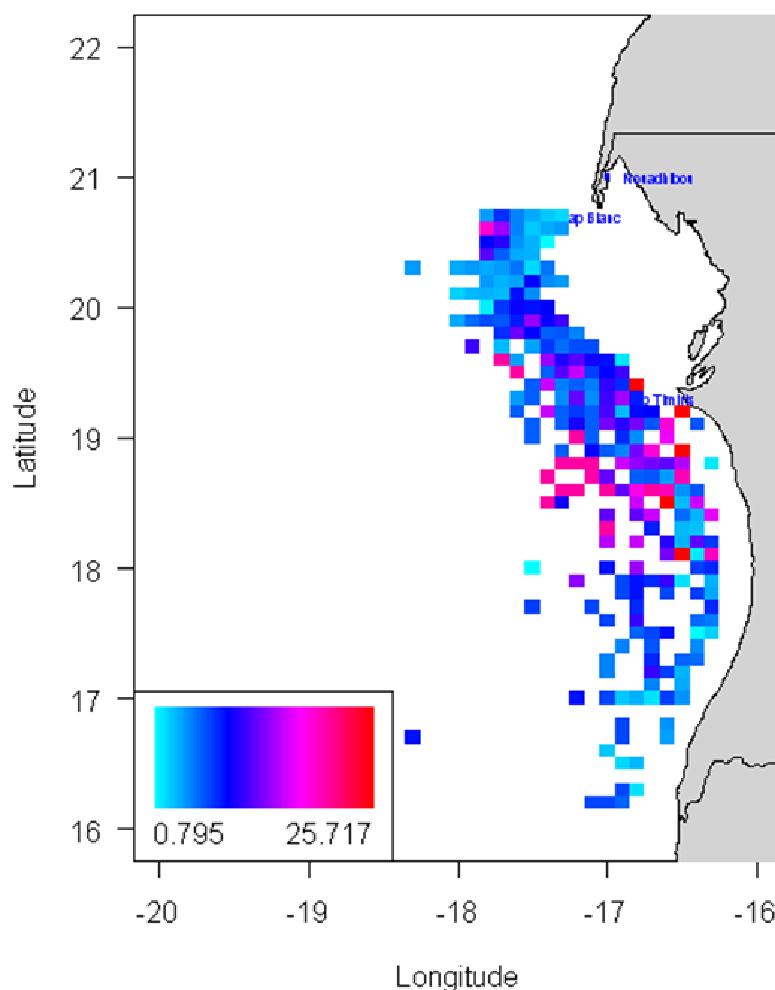


Fig 39: cartographier la CPUE moyenne issue du GLM

Discussion :

L'exploration de la base de données observateur IMROP, montre qu'elle contient beaucoup d'informations permettant de se renseigner sur l'état de stock de la sardinelle ronde et de la stratégie des pêcheurs pélagiques. L'étude de la distribution spatiale des flottilles et des captures donne une vision claire sur les schémas d'exploitation des ressources et peuvent être un outil efficace pour valoriser le système d'échantillonnage à venir. Ceci signifie que l'intégration des paramètres spatiaux dans les analyses des données s'avère importante pour affiner les études d'évaluation halieutique. Les stations de chalutages effectuées dans une limite inférieure à 24 mille nautique sont corrélées spatialement.

A noter que la combinaison de plusieurs facteurs biotiques et abiotiques oriente les schémas d'exploitation des flottilles pélagiques. Le déplacement du centre de gravité observé dans la zone centre dans les dernières années pourrait être dû aux déplacements trophiques favorables régissant l'état de stock d'une zone à une autre où à des facteurs abiotiques modifiant les caractéristiques physico chimiques des eaux de concentrations de la sardinelle ronde.

Le diagnostic et l'estimation de l'abondance du stock à partir de la modélisation de la CPUE montre que le stock de la sardinelle ronde a connu des situations de mauvais rendement des captures des unités de pêche hollandaise pendant la période 2000 à 2004. A partir de 2005 le stock commence d'enregistrer des fortes valeurs de la CPUE à l'exception de l'année 2006. Les deux modèles utilisés dans la modélisation en GLM expliquent peu de variabilité (moins de 30%). Ceci peut être dû à la non prise en considération d'autres facteurs tels que la

puissance des bateaux et la température de l'eau. Cette dernière joue un rôle important dans le rendement des bateaux pélagiques. L'application d'un statu quo d'une situation de surexploitation énoncée par FAO depuis plusieurs années, pourrait être expliquée par le passage de ce stock par les situations critiques en termes de captures énoncées précédemment. Ces groupes de travail utilisent dans leurs évaluations des indices d'abondance basées sur le jour de pêche. Mahfoud (2005) estime que la prise en compte de ces jours de pêche dans les calculs de la CPUE ne semble pas proportionnelle aux variations de l'abondance du stock. Ceci montre que la prise en compte des heures de chalutages pour la première fois dans l'estimation de la CPUE dans la ZEE Mauritanienne permet de donner un diagnostic plus fin et plus riche en information sur la tendance globale de l'état du stock et de son exploitation.

L'incorporation des paramètres supplémentaire et en particulier la durée de la prospection acoustique en plus de la durée de chalutage effective au sein de la base de donnée explorée pourrait constituer une meilleure approche pour affiner les résultats de telles études.

Ce travail a traité seulement la flottille hollandaise, la mieux suivie par l'IMROP et donne une bonne image de l'intérêt de la sardinelle ronde comme espèce hautement ciblée par la stratégie de pêche hollandaise. Cependant, il est nécessaire de rajouter un complément de donnée en prenant en considération l'effet d'autres flottilles pélagiques, particulièrement de nationalité Russe et Ukrainienne qui emploient une partie importante de leurs efforts dans la capture de cette espèce comme prise accessoires. La flottille artisanale commence d'enregistrer des améliorations dans les prises des dernières années et ceux suivant un changement de la stratégie de pêche conduite par l'état et qui vise l'encouragement d'un partenariat avec les pays voisins afin de développer une pêcherie côtière pélagique.

5. Conclusions et perspectives

Ce travail a permis dans sa première partie d'estimer la matrice des captures en taille à l'échelle de toute la zone Nord Ouest Africaine en utilisant pour la première fois plusieurs approches d'extrapolation et d'estimation. L'absence d'un système d'échantillonnage et de suivi régulier des flottilles dans certaines zones demeure l'obstacle majeur devant la réalisation d'une analyse correcte des cohortes des différents stocks pélagiques, l'objet des plans de gestion élaborés depuis quelques décennies. Ceci a fait que la présente étude n'a pu couvrir qu'une durée d'étude de quatre (4) ans. Le protocole suivi par ce travail appliquant des nouvelles méthodes et outils d'analyse pourra être utilisé lors d'autres études d'évaluation de stocks dans différentes pêcheries pélagiques de la sous région. La nécessité de connaître la pêcherie dans sa phase de développement est essentielle pour toute éventuelle modélisation halieutique, d'où le passage obligatoire réalisé par une partie descriptive des captures et de l'effort de pêche. L'ajustement d'une courbe de croissance sur les données d'otolithe a donné des paramètres de croissance différente de celles trouvées par Beoly en 1982. La décomposition polymodale appliquée sous une contrainte, pour la première fois sur ce stock, et ce contrairement aux autres méthodes tels que Battacharya (1969) et autres donne des résultats qui nous ont permis de reconstituer les matrices des captures en âge évalué sur une longévité de l'ordre de 5 années. Les résultats obtenus pour la mortalité naturelle, calculés à partir des différentes méthodes, donnent des valeurs entre l'intervalle de 0,4 à 1 ce qui est conforme à l'estimation réalisée par la FAO pour la communauté de clupéidé. Le diagnostic en pseudo cohorte appliquée pour la première fois sur ce stock donne des résultats similaires avec le modèle global. L'étude de sensibilité de la VPA pour les rendements par recrue obtenue selon les différentes hypothèses de mortalité naturelle présente les mêmes allures et diffère dans leurs amplitudes. L'ajustement de fox a montré sa robustesse pour le stock de la sardinelle ronde contrairement au modèle dynamique sur paramétré utilisé le plus souvent lors des groupes de travaux de la COPACE. En plus, cette méthode nous a permis de comprendre

clairement l'historique de l'exploitation réalisée sur ce stock. Cette partie de diagnostic aurait été plus expressive avec la prise en compte des facteurs environnementaux dans ce modèle global. D'autres considérations sont utiles afin d'intégrer des approches nouvelles de gestions halieutiques telles que l'approche de précaution et l'approche éco systémique.

La seconde partie de ce mémoire qui a pu traiter pour la première fois les données d'observateurs embarqués sur les bateaux hollandais a montré la nécessité d'intégrer les dimensions spatiales dans les analyses de données de pêche. L'étude géostatistique des données de pêche en Mauritanie montre qu'on arrive à comprendre facilement la dynamique de pêcherie et les stratégies des pêcheurs. D'autres variables sont utiles dans les analyses de donnée telle que le temps de prospection des espèces. Le déplacement du centre de gravité observé dans les dernières années ne pourrait être dû qu'à d'effets biotiques où abiotique. Ceci montre que les captures de ces flottilles traduisent sans doute une interaction entre les stratégies de pêche adoptée et les changements de l'écosystème. D'où la nécessité d'avancer des études pour affiner ces modifications mise en cause. Les calculs du variogramme de la CPUE et de la bathymétrie nous a permis d'établir une relation entre la variance des stations effectuées avec la distance qui les séparent. Ceci nous a permis de réaliser des cartes de krigeage pour la première fois pour la bathymétrie dans la zone Mauritanienne. Cette carte montre que ces flottilles visent particulièrement les zones caractérisées par la présence des fosses sous-marines en grandes profondeurs. Nous avons pu montrer une forte saisonnalité des CPUE dans les différentes zones et qui est dictée clairement par la mobilité des ressources. Les calculs des CPUE moyennes à partir des données commerciales réalisées pour la première fois sur ce stock montrent la robustesse du modèle delta. Il montre que ces indices renseignent clairement sur l'état du stock. Une tendance globale à la baisse est observée depuis 2000 avant d'enregistrer une amélioration dans les dernières années à l'exception de 2006. L'application de cette approche sur d'autres flottilles exploitant ce stock dans la zone Nord Ouest Africaine est souhaitable afin d'étudier la tendance à l'échelle du stock réel de la sardinelle ronde.

Globalement l'état de stocks de la sardinelle ronde est dans une situation acceptable mais nécessite la prise en compte de plusieurs paramètres de précaution, éco systémiques et des indicateurs spatiaux afin de pouvoir arriver à la réalisation d'une meilleure évaluation de ce stock en particulier et les petits pélagiques dans la sous région en général. Ceci passe par l'amélioration des évaluations des biomasses de ce stock issues des campagnes acoustiques en cernant les incertitudes liées à la délimitation des strates d'intégration et en améliorant les stratégies des nouvelles campagnes. Les analyses rétrospectives des statistiques spatiales des bancs sont nécessaires afin de valoriser les campagnes acoustiques déjà réalisées. Les stratégies et les tactiques des flottilles pélagiques en Mauritanie pourront être affinées en étudiant les données de VMS. Ceci ne pourra se faire sans la mise en avant des approches statistiques permettant d'estimer ces indices et des prises accessoires en ses espèces pélagiques capturées par les flottilles demersales.

Bibliographie :

Abdelmalek F. et Nicolas B.(2008). L'estimation globale du stock de poulpe par l'approche géostatistique : Intrinsèque ou transitif . Improve Scientific and Technical Advices for fisheries Management (ISTAM). Scientific report.p.41p.

Bez N. (1997). Statistiques individuelles et géostatistique transitive en écologie halieutique Thèse de doctorat en Géostatistique. Ecole de Mine de Paris. 303p.

Boely T., Chabanne J., Fréon P. et Stéquert B. (1982) Cycle sexuel et migrations de *Sardinella aurita* sur le plateau continental ouest-africain, des Iles Bissagos à la Mauritanie. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer. CIEM, 180: pp.350-355.

Beoly T., Freon P. et Stequert B. (1982). La croissance de *Sardinella ronde* (Val 1847) au Sénégal. Océanograph.Trop. 17(2) :103-110

Beoly T., (1980). Biologie de deux espèces de sardinelles : *Sardinella aurita* (Valenciennes 1987) et *Sardinella mederensis* (Lowe 1841) des côtes sénégalaises. Thèse doctorat d'état. Université de Paris 6 : 287 p.

Beoly T. et Freon P. (1979). Les ressources pélagiques côtières dans la zone du COPACE. ORSTOM. pp.13-79

Birane S. et Asberr N., Dynamique du réseau trophique de l'écosystème sénégalais. Actes du symposium international, Dakar (Sénégal), 24-28 juin 2002. 367 :370

Chassot E., Rouyer T., Sidibé A. et Gascuel D. (2008). Conversion tailles/ages par décomposition polymodale des fréquences des tailles. Improve Scientific and Technical Advices for fisheries Management (ISTAM). Scientific report. p1 :14

Chesheva Z. A.. (2006). On the Biology of Gilt Sardine *Sardinella aurita* (Clupeidae) of the Central Eastern Atlantic. Atlantic Research Institute of Fisheries and Oceanography—AtlantNIRO. Journal of Technology . 798–806

Cheikh L; Bonhomme F. and Agnèse F-J. (1997) Low genetic in a widely distributed and abundant clupeid species, *Sardinella aurita*, New empirical results and interpretation. Journal of fish biology. 861:878.

De Oliveira E, (2003). Analyse de l'activité d'une pêcherie à échelle spatio-temporelle fine. Thèse doctorat. Ecole de Mines de Paris. 173p.

Du, J. 2002. Combined algorithms for constrained estimation of finite mixture distributions with grouped data and conditional data. McMaster University MS thesis, 137p

Ettahiri O; Berraho Am; Vidyb G; Ramdanic M; Do Chi T. (2002). Observation on the spawning of *Sardina* and *Sardinella* off the south Moroccan Atlantic coast (21–26°N).207:222.

Fréon P. (1984). Des modèles de productions appliqués à des fractions de stock dépendantes des vents d'upwellings (pêche sardinière au Sénégal) . Océanograph. Trop. ; 19(1). 67 :93.

Fréon P. B. Stequert et T. Boely, 1978. La pêche des poissons pélagiques côtiers en Afrique de l'Ouest des Iles Bissagos au nord de la Mauritanie : Description des types d'exploitation cah. O.R.S.T.O.M sér.Oceanogra. Vol.XVI,n° 3-4 : 209-228

FAO, (2002). Rapport du Groupe de travail sur l'évaluation des petits pélagiques au large de l'Afrique Nord-Occidentale. Banjul, République de Gambie, 5-12 avril. Rapport sur les pêches. No 686. Rome, FAO.2002. 97p.

FAO, (2006). Groupe de travail sur l'évaluation des petits pélagiques au large de l'Afrique Nord-Occidentale. Banjul, République de Gambie, 2-11 mai. Rapport sur les pêches. No 811. Rome, FAO.2006. 110p.

FAO, (2007). Report of the FAO Working on the assessment of small pelagic fish off Northwest Africa. Agadir, Maroc, 17-26 avril 2007. FAO Fisheries Report. No. 849 Rome, FAO : 140p

FAO, (2008). Groupe de travail sur l'évaluation des petits pélagiques au large de l'Afrique Nord-Occidentale. Dakar, Sénégal, 6-15 mai 2008. FAO Fisheries Report. N°867. Rome, FAO. 2008. 150p.

Gascuel D., (2008). Dynamique des populations et gestion des stocks halieutiques. Support de cours. ENSA de Rennes. 2008. p 125.

Gascuel D., Monteiro C., Yahya S. et Brahaim K. (2006) Estimation des captures par espèce pour les différentes flottilles opérant en Mauritanie (1991/2005). Rapport du 6 ième groupe de travail IMROP sur l'évaluation des stocks et l'aménagement des pêches, Nouadhibou 11-16 décembre 2006.1 :15

Gascuel D., Zeller D., O. Talib Sidi M. and 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 105-119

Gascuel, D. (1994). Une méthode simple d'ajustement des clés taille/âge : application aux captures d'albacore (*Thunnus albacares*) de l'Atlantique Est. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 51 : 723-733.

Laurans M. (2005). Ressources et exploitations « démersales » en Afrique de l'Ouest : évaluation des stocks, dynamique des populations et approche éco systémique. Thèse de doctorant de l'ENSA de Rennes mention Halieutique. Agro campus Rennes. p.304

Le Pape O., Chauvet F., Mahévas S., Lazure P., Guérault D.(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

Marchal E., Josse E. et (1982). Prospection des stocks des stocks pélagique le long des côtes du Sénégal, de la Gambie et de la Mauritanie. Arch N° 114.

Misund O.A., Luyeye N., Coetzee J., and Boyer D.. (1999). Trawl sampling of small pelagic fish off Angola: effects of avoidance, towing speed, tow duration, and time of day. ICES Journal of Marine Science, 56: 275–283.

Ould Isselmou C.B., Labrosse P., Bouzouma M.M. (2006). Catalogue des engins de pêche artisanale en Mauritanie. Institut Mauritanien de Recherches Océanographique et des Pêches. p70.

Ould Talib Sidi MM. (2005). Les ressources pélagiques en Mauritanie et dans la zone Nord Ouest Africaine : Variabilité spatiale et temporelle, dynamique et diagnostic. Mémoire de Thèse de l'ENSAR mention Halieutique. 276 : 14 :120.

Rivoirard J. (1995). Géostatistique linéaire, prédiction linéaire par krigeage. Cours en géostatistique. Ecole de Mines de Paris. p95.

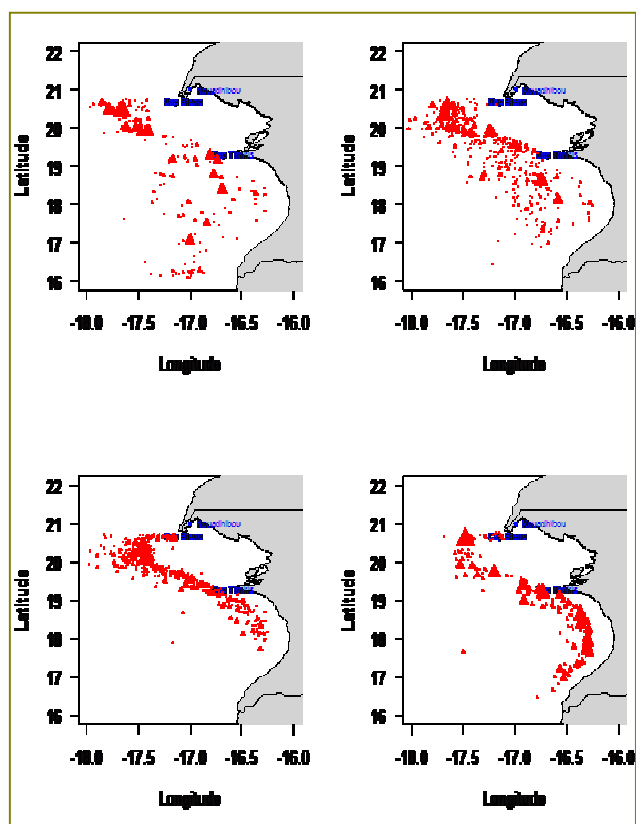
Roy C; Cury P and Kifani S. (1992). Pelagic fish recruitment success and reproductive strategy in upwelling areas: environmental compromises. OSTROM.135:145.

BERTRAND L. (2005). Analyse comparée des dynamiques spatiales des poissons et des pêcheurs : Mouvements et distributions dans la pêcherie d'anchois (Engraulis Ringens) du Pérou. ENSA de Rennes.p.188.

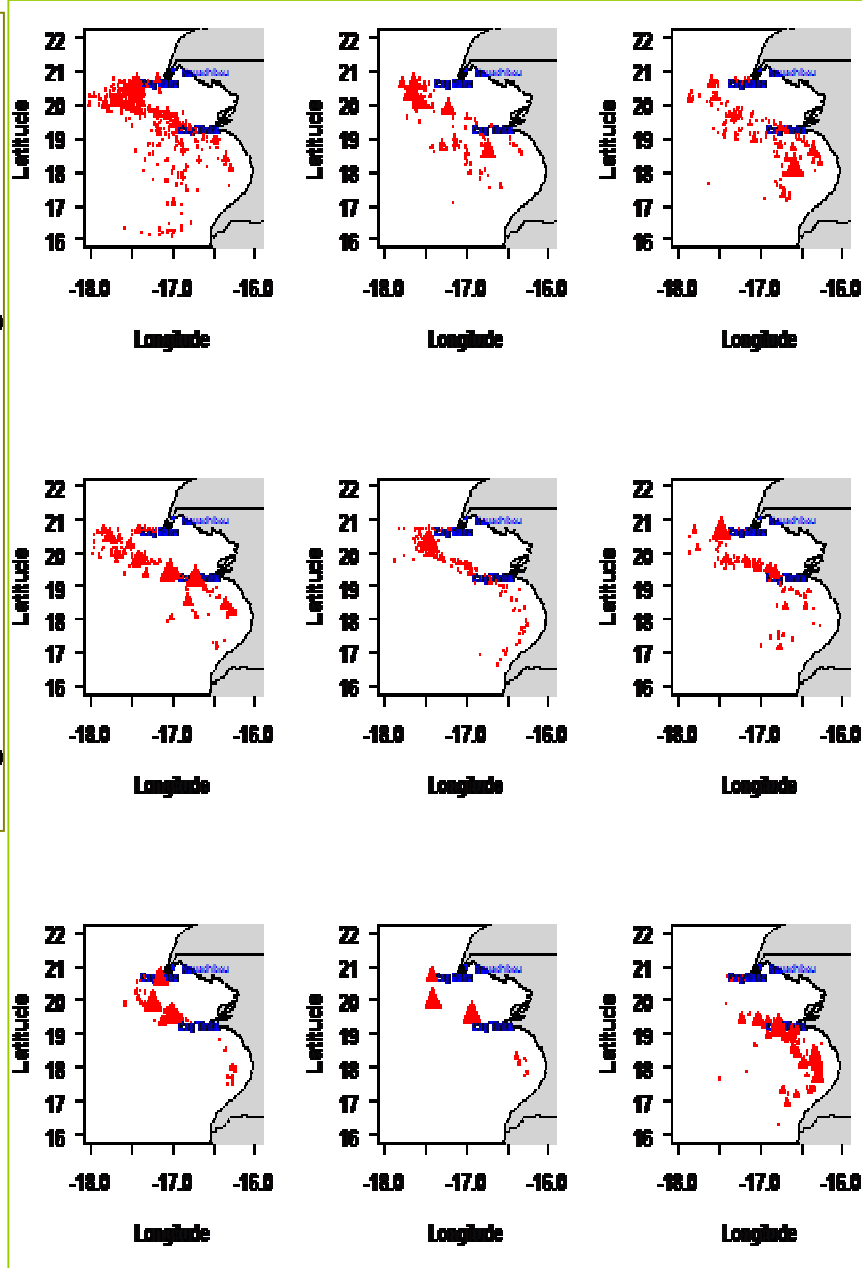
Woillez M. (2007). Contribution géostatistique à la biologie halieutique. Thèse doctorat. Ecole des Mines de Paris. P.172

Annexes :

1.distribution spatiale des données de la CPUE en Mauritanie (à gauche trimestrielle ; à droite annuelle)

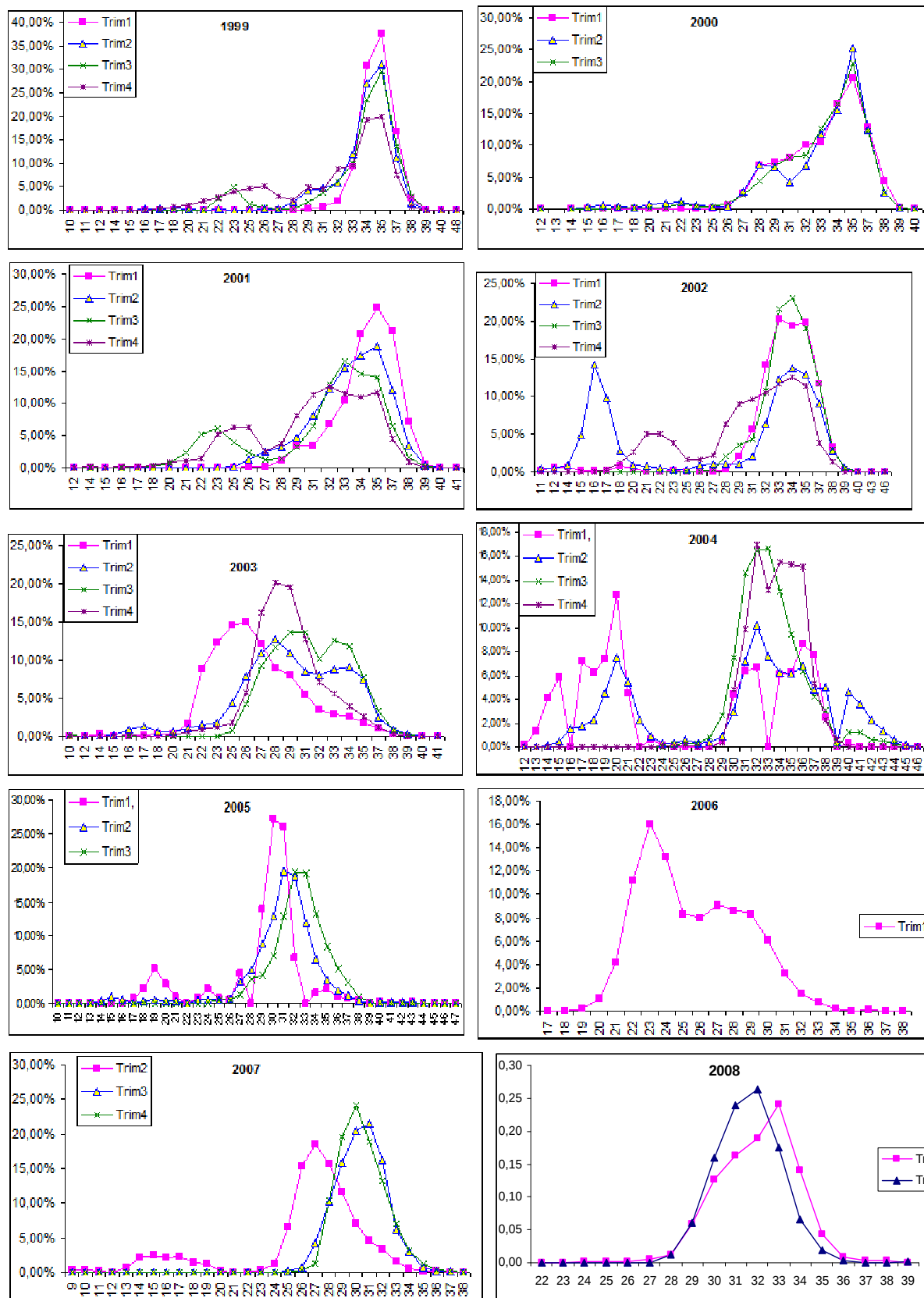


Distribution spatiale trimestrielle
(toutes les années confondues) de
gauche à droite (Trimestre 1 à 4)

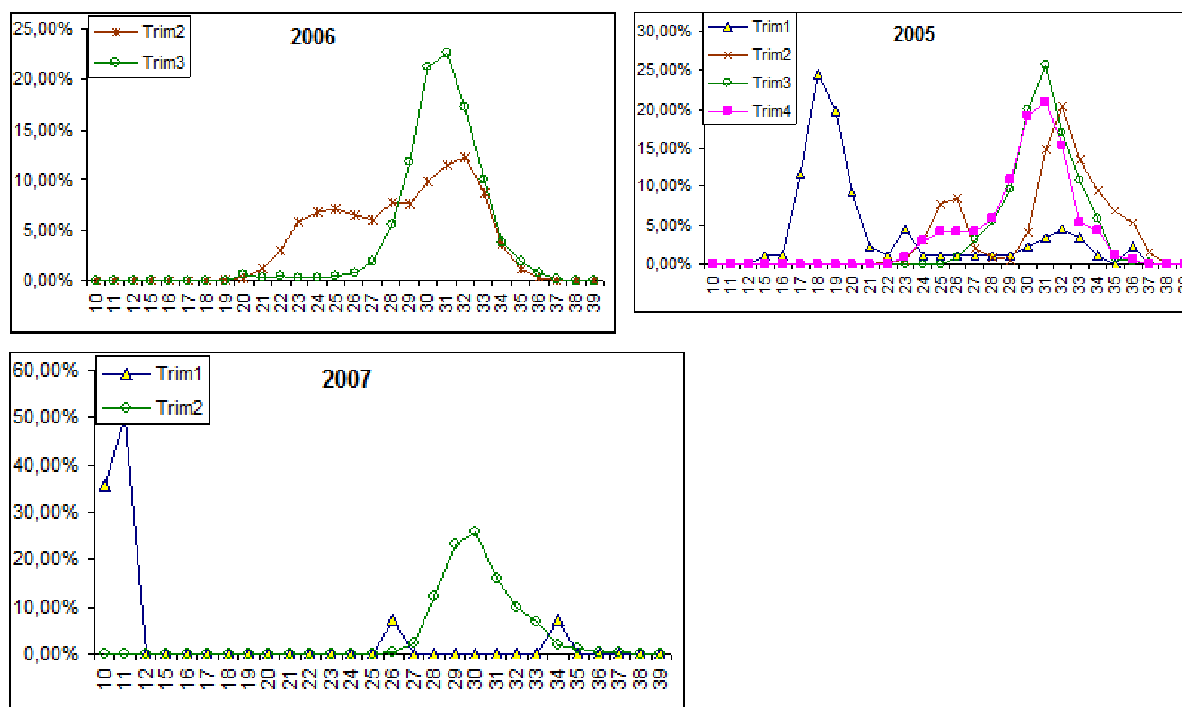


Distribution annuelle de la CPUE à partir de gauche de
1999 jusqu'à 2007.

2. Distribution des fréquences des tailles en % mesurées par année et trimestre (flottille hollandaise)



2. Distribution des tailles de la flottille Russe



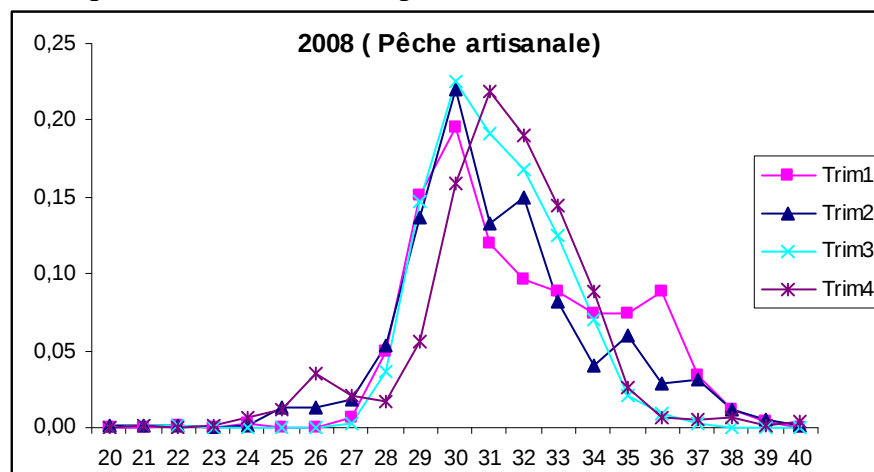
3. Matrice des captures de la Pêche artisanale en milliers du nombre (Zone Mauritanie)

	2005				2006				2007			
Tailles	Trim1	Trim2	Trim3	Trim4	Trim1	Trim2	Trim3	Trim4	Trim1	Trim2	Trim3	Trim4
16										4		
17										13		
18										10		
19										10		
20		2				1				10		
21		2	3	4		1	2	1	0	10	2	5
22	4	2	3	0	4	1	2	0	2	9	2	0
23	0		0	4	0	0	0	1	0	7	0	5
24	7	4	0	16	7	2	0	3	4	24	0	20
25	0	38	0	28	0	23	0	5	0	79	0	35
26	0	36	0	84	0	22	0	14	0	45	0	105
27	18	51	8	48	18	31	6	8	9	48	7	60
28	140	152	118	40	134	93	94	7	69	128	105	50
29	422	385	477	132	404	236	381	22	207	305	426	165
30	547	618	730	377	524	378	584	62	269	536	653	469
31	334	374	620	518	320	229	496	85	164	312	554	644
32	272	423	542	450	260	259	434	73	133	356	485	559
33	250	229	407	341	239	140	325	56	123	190	363	424
34	209	112	226	209	200	68	181	34	103	94	202	260
35	209	169	68	60	200	103	54	10	103	147	61	75
36	250	80	28	16	239	49	22	3	123	67	25	20
37	96	89	10	12	91	55	8	2	47	75	9	15
38	33	34	0	16	32	21	0	3	16	38	0	20
39	11	13	0	4	11	8	0	1	5	11	0	5
40	0	2	0	8	0	1	0	1	0	1	0	10

4. Matrice des captures en milliers du nombre (flottille hollandaise) zone Mauritanie

	2005				2006				2007			
long_cal	Trim1	Trim2	Trim3	Trim4	Trim1	Trim2	Trim3	Trim4	Trim1	Trim2	Trim3	Trim4
10	0	3	0	0	0	23	0	0	0	40	0	0
11	0	0	0	0	0	21	0	0	0	38	0	0
12	0	0	0	0	0	8	0	0	0	14	0	0
13	0	20	0	0	0	10	2	0	0	9	5	0
14	0	70	0	1	0	60	2	0	0	75	5	0
15	0	220	0	3	0	188	2	0	0	237	5	0
16	0	127	4	0	0	175	2	0	0	257	0	0
17	6	0	0	6	0	126	0	0	11	225	0	0
18	19	83	0	2	0	158	0	0	35	245	0	2
19	45	130	0	1	0	115	1	0	82	147	2	2
20	25	87	9	6	1	99	3	0	48	139	0	0
21	8	87	0	27	7	32	1	0	32	17	2	2
22	0	3	9	0	26	6	3	0	67	9	0	0
23	7	120	13	34	70	32	5	0	191	3	0	0
24	18	130	44	54	100	49	17	0	288	29	0	0
25	7	150	105	73	82	109	43	1	223	127	5	5
26	5	197	105	239	52	438	52	0	142	696	23	0
27	39	757	281	658	50	1112	177	4	198	1651	145	22
28	0	1174	807	1	56	1406	681	20	144	1989	789	97
29	120	2085	930	839	54	1468	1231	170	357	1686	1872	821
30	237	3022	1540	993	52	1463	1957	317	566	1253	2926	1534
31	228	4620	2799	916	38	1592	2835	393	513	759	3760	1903
32	59	4453	4211	981	20,5	1399	3467	308	159	488	3936	1489
33	0	2802	4172	537	9	909	3003	215	24	358	2969	1038
34	13	1551	2878	855	4	487	1652	116	35	170	1144	560
35	18	811	1838	783	1	232	976	50	35	49	558	244
36	8	454	1123	721	0	123	493	20	16	14	120	97
37	6	264	676	266	0	73	283	6	12	12	43	29
38	4	70	211	101	0	18	93	4	7	0	23	20
39	0	17	61	27	0	4	25	0	0	0	2	0
40	2	40	0	1	0	10	0	0	4	0	0	0
41	0	37	0	1	0	9	0	0	0	0	0	0
42	0	23	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0
43	2	23	0	0	0	6	0	0	4	0	0	0
44	0	13	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
45	0	13	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
46	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
47	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

5. Fréquence des tailles de la pêche artisanale en 2008 dans la ZEE Mauritanienne



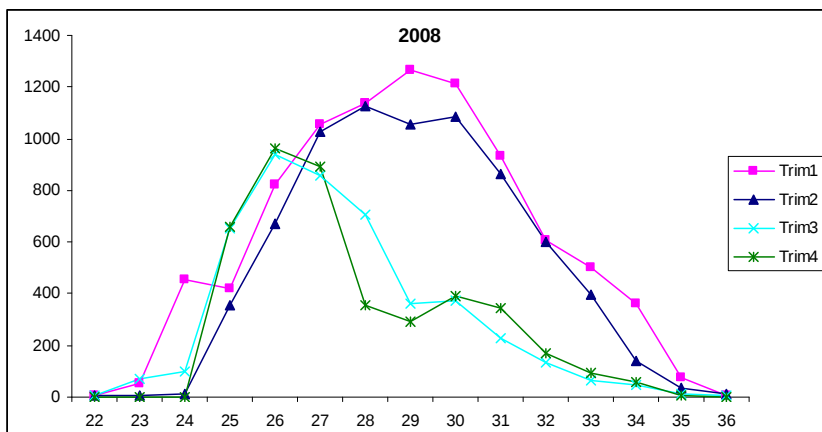
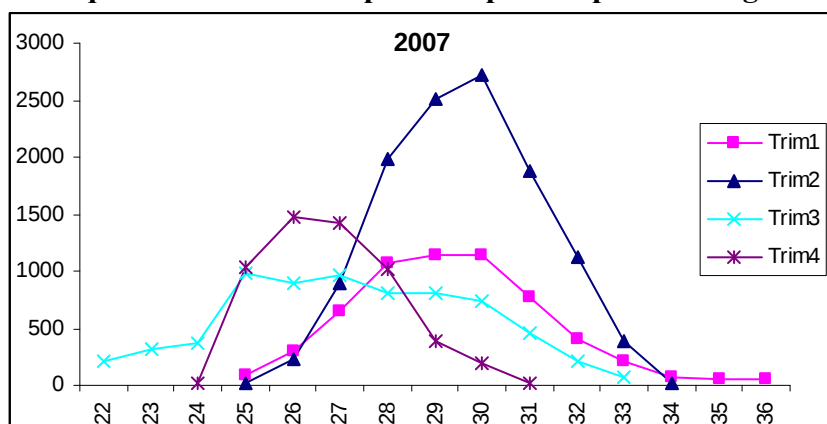
6. Matrice des captures en milliers du nombre (flottille russe) zone Mauritanie

	2005				2006				2007			
	Trim1	Trim2	Trim3	Trim4	Trim1	Trim2	Trim3	Trim4	Trim1	Trim2	Trim3	Trim4
long_cal												
10	0	0	0	0	105	0	0	0	72	0	0	0
11	0	0	0	0	148	0	0	0	101	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
16	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
17	32	0	0	0	34	0	2	0	0	0	2	0
18	67	0	0	0	72	0	2	0	0	0	2	0
19	55	0	0	0	58	2	0	0	0	0	0	0
20	26	0	0	0	27	5	41	0	0	0	32	0
21	6	0	0	0	7	23	20	0	0	0	16	0
22	3	4	0	0	3	59	28	0	0	0	22	0
23	13	7	0	18	14	115	15	9	0	0	12	10
24	3	40	0	58	3	132	18	28	0	0	14	30
25	3	94	0	81	3	140	25	39	0	0	19	42
26	3	105	48	80	25	128	45	39	14	7	83	42
27	3	25	151	80	3	119	114	39	0	76	239	42
28	3	11	263	113	3	152	335	55	0	430	522	59
29	3	7	454	208	3	150	714	101	0	832	1007	109
30	6	51	939	370	7	194	1284	180	0	922	1933	194
31	10	181	1202	401	10	222	1363	194	0	568	2257	210
32	13	246	796	297	14	238	1036	144	0	354	1598	155
33	10	163	509	104	10	172	604	50	0	250	977	54
34	3	116	279	83	25	68	229	40	14	69	456	43
35	0	83	32	21	0	21	114	10	0	42	120	11
36	6	65	16	11	7	5	45	5	0	14	51	6
37	0	18	8	0	0	1	9	0	0	7	15	0

7. Matrice des captures en milliers de poissons (pêche Sénégalaise)

	2005				2006				2007				2008			
Tailles	TRIM1	TRIM2	TRIM3	TRIM4	TRIM1	TRIM2	TRIM3	TRIM4	TRIM1	TRIM2	TRIM3	TRIM4	Trim1	Trim2	Trim3	Trim4
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	28434	0	0	0	2114	0	0	0	3582	0	191	89	52	0
23	0	0	16871	0	0	0	4781	0	0	0	5486	0	2022	156	1235	0
24	0	0	12781	4020	0	0	17271	4069	0	0	6351	1705	17394	267	1704	0
25	2022	83	4615	24558	605	262	23937	95417	1901	452	16908	76790	15982	7861	11374	41841
26	6912	1018	3988	33288	2066	3893	25210	157630	6858	5825	15419	109848	31278	14988	16314	60676
27	12282	3251	3583	26561	3672	16105	29354	162995	14645	22344	16648	105326	40166	22849	14922	56504
28	12674	4474	1874	11726	3789	33358	23110	108298	24355	49559	14035	74937	43446	25053	12244	22501
29	11130	4709	1558	3759	3327	40745	22281	40282	25804	62941	14069	28981	48290	23539	6261	18582
30	22920	10543	2914	3844	6852	46877	21424	21171	25781	68363	12772	14380	46192	24118	6470	24776
31	21920	10301	2594	310	6553	34343	14300	1280	17338	46973	7995	815	35550	19263	3948	21805
32	12982	7038	1312	0	3881	35919	11071	0	9054	28294	3565	0	23191	13406	2348	10808
33	10047	3487	590	0	3003	19404	5425	0	4844	9691	1108	0	19186	8797	1078	5878
34	7598	344	0	0	2271	3343	0	0	1539	402	0	0	13694	3140	800	3792
35	2682	0	0	0	802	0	0	0	1335	0	0	0	2861	757	191	506
36	1173	0	0	0	351	0	0	0	1041	0	0	0	153	223	122	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0

8. Fréquence des tailles disponibles pour la pêche Sénégalaise



9. Matrice des captures en milliers de poissons dans la zone Nord Ouest Africaine

	2005				2006				2007				2008			
Tailles	Trim1	Trim2	Trim3	Trim4	Trim5	Trim6	Trim7	Trim8	Trim9	Trim10	Trim11	Trim12	Trim13	Trim14	Trim15	Trim16
10	0	3	0	0	105	23	0	0	72	40	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	148	21	0	0	101	38	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	8	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0
13	0	20	0	0	0	10	2	0	0	9	5	0	0	0	0	0
14	0	70	0	1	0	60	2	0	0	75	5	0	0	0	0	0
15	3	223	0	3	3	194	2	0	0	237	5	0	0	0	0	0
16	3	131	4	0	3	184	2	0	0	261	0	0	0	0	0	0
17	38	6	0	6	34	138	2	0	11	238	2	0	165	472	0	212
18	86	158	0	2	72	306	2	0	35	255	2	2	824	2360	0	1061
19	99	232	0	1	58	321	1	0	82	157	2	2	824	2360	0	1061
20	50	141	9	6	29	210	44	0	48	148	32	0	1154	3411	0	1755
21	15	114	3	31	14	108	24	1	32	27	20	7	330	1051	133	425
22	880	277	539	0	768	263	309	0	474	17	33733	0	909	623	670	349
23	7081	773	9402	65	5681	474	6452	26	2286	380	51765	15	7075	1569	12711	1500
24	48385	3625	13377	167	35865	739	8921	108	5916	5379	60795	4564	59226	3179	17690	2831
25	43319	39381	85195	88362	31815	16613	59218	62311	10605	17816	160272	203368	54049	35217	117081	124930
26	77977	59590	121144	128347	55385	31743	84914	90304	24143	37552	145461	291130	104837	63020	168069	175613
27	99004	75856	110876	119989	69914	48759	77907	84103	49288	92823	156588	279229	139098	104630	154291	167611
28	106880	79206	91768	47722	75454	53730	64868	33677	81396	191503	132931	198769	163126	128723	138083	84764
29	119184	71877	48293	40636	84114	50785	35047	28124	86576	237713	134984	78231	220363	149485	137028	117229
30	114308	74794	51149	54115	80633	52170	37741	37610	86804	257836	124906	40401	262851	200556	201593	186711
31	87911	61965	34085	47967	61951	42086	25555	33340	58471	176938	81567	5053	244106	188716	201035	200578
32	57320	44648	23258	24682	40468	29764	17385	16780	30473	106791	39847	2387	210966	180657	188432	172829
33	47396	29130	13218	13435	33495	19507	9621	9154	16292	36965	14924	1563	188292	180830	122655	141936
34	33868	11039	9438	9208	23951	7151	6257	5882	5283	111835	2082	954	112464	97253	53927	70748
35	7255	3295	4058	1998	5157	1931	2155	868	4589	238	2142	422	37885	37912	15444	20050
36	639	1255	2070	781	510	640	1205	48	3609	95	195	168	17363	11109	4749	4645
37	101	436	835	281	92	175	302	14	58	94	347	44	6201	7334	821	2311
38	37	104	351	118	32	39	94	7	23	38	304	40	2698	3990	0	1280
39	11	30	170	31	11	12	28	1	6	11	113	5	949	907	582	909
40	2	42	0	9	0	11	0	1	4	1	0	10	0	107	0	158599
41	0	37	0	1	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42	0	23	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	2	23	0	0	0	6	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
44	0	13	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	0	13	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
46	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
47	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

10. Schémas de migration de la sardinelle ronde selon Beoly et al 1982

