المملكة المغربية

ROYAUME DU MAROC

INSTITUT AGRONOMIQUE ET VETERINAIRE HASSAN II

معهد الحسن الثاني للزراعة والبيطرة

Travail de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat

Spécialité : Halieutique et Aquaculture

Construction d'un modèle d'équilibre de masse « Ecopath » sur le réseau trophique de l'écosystème d'upwelling nord mauritanien (19,15°N - 21°N)

Présenté et soutenu publiquement par :

AHMEDE VALL Mohamedne

Devant le jury composé de :

Pr. IDARDARE Zaina	**ISPM, Agadir**	**PRESIDENTE**
Pr. DRIOUCH Hassan	**IAV Hassan II**	**RAPPORTEUR**
Dr. KIFANI Souad	**INRH, Casablanca**	**RAPPORTEUR**
Dr. BEN-BANI Abdelbasset	**INRH, Agadir**	**EXAMINATEUR**
Dr. ZAHRI Yassine	**INRH, Agadir**	**EXAMINATEUR**

Juillet 2019

Adresse : Madinat Al Irfane, B.P. 6202. Rabat – Maroc
Tél : (00 212) 0537 77 17 58/59
Fax : (00 212) 0537 77 58 45
Site web : http://www.iav.ac.ma

العنوان: ص. ب 6202 الرباط المعاهد الرباط – المغرب
الهاتف: 59 / 58 17 77 0537 (00 212)
الفاكس: 45 58 77 0537 (00 212)
موقع الأنتيرنت:http://www.iav.ac.ma

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents, qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs ; aucune dédicace ne saurait exprimer ma gratitude et mon profond amour pour vous.

A toute ma famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'espoir et de la vivacité.

A tous mes amis qui m'ont toujours encouragé et à qui je souhaite plus de succès.

A tous ceux que j'aime.

Merci !

Remerciements

Au terme de ce travail, Je tiens tout particulièrement à remercier ***Dr. BRAHAM Cheikh-baye*** *Chef du sevice des staistiques à l'IMROP, pour la proposition de mon sujet de PFE et pour l'effort, le soutien et la coordination qu'il a fournit pour réussir ce travail.*

Aussi, je ne saurais trouver les bons mots qu'il faut pour témoigner ma vive reconnaissance et mes sincères remerciements envers ma co-encadrante ***Dr. KIFANI Souad,*** *coordinatrice du Comité scientifique de l'INRH, pour son encadrement et ses précieux conseils, ses corrections claires et considérables et pour tout son temps qu'elle m'a accordé pour l'amélioration de mon travail. Je remercie également* ***Mr. BENSBAI Jilali*** *chercheur à l'INRH de Casablanca pour ces remarques et orientations pour améliorer ce teavail.*

Mes remerciements sont spécialement adressés à mon encadrant ***Pr. DRIOUCH Hassan*** *pour son encadrement et ses précieux conseils ainsi que pour son aide. Qu'il trouve ici l'expression de mes remerciements les plus sincères et le témoignage de ma gratitude.*

Aussi, nous adressons nos vifs remerciements aux ***Dr. ZAHRI Yassine, Dr. BEN-BANI Abdelbasset et Pr. Idardare Zaina*** *d'avoir accepté d'évaluer et d'améliorer ce travail.*

Mes remerciements vont également à ***Mr T.S. Mahfoudh,*** *Directeur de l'ISSM pour m'avoir accueilli durant mon stage à l'IMROP et en deuxième lieu pour ses conseils et orientations.*

Mes remerciements à tout le personnel de l'IMROP, notamment ***MM. BEYAH Meissa, DIA Mamadou, JIYID Mohamed Ahmed, SAMBA Abdellahi, VALLY Yeslem*** *et* ***EL FADEL Hammoud,*** *pour leurs soutiens et leurs engagements durant mon stage à l'IMROP.*

J'exprime mes sincères remerciements à tous mes enseignants de la formation halieutique notamment ***Pr. BERDAY Nadia*** *et* ***Pr. NAJI Mohamed*** *pour leurs encouragements et leurs orientations durant mon cursus à l'IAV Hassan II.*

Que soient, aussi, remerciés tous ceux et celles qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Résumé

Le présent travail a permis de construire un modèle écosystémique, à l'aide du logiciel de modélisation écosystémique Ecopath avec Ecosim v6.5, sur le réseau trophique de l'écosystème d'upwelling nord mauritanien entre (21°N) et (19,15°N). Cette zone est connue par sa richesse en petits pélagiques et sa diversité biologique, elle contient le banc d'Arguin qui est une aire marine protégée, couvrant 6,450 km^2 de superficie.

Pour construire ce modèle nous avons choisi les données de 2018 vu l'émergence de la pêcherie côtière dans la zone nord depuis 2017, également cette année présente plus de données sur les biomasses et les captures de pêche ce qui nous permet d'ancrer ce modèle Ecopath par des informations réelles et locales. Le modèle est composé de 32 groupes fonctionnels : un groupe de détritus, 2 groupes de producteurs primaires, 3 groupes de zooplancton, 2 groupes de benthos, 4 groupes de mollusques, 17 groupes de poissons 3 groupes de prédateurs supérieurs. Les paramètres à entrer pour chaque groupe sont la biomasse, le taux de production, le taux de consommation, la composition du régime alimentaire ainsi que le taux de capture. Ces entrées furent obtenues soit à l'aide des données de l'Institut Mauritanien de Recherche en Océanographie et des Pêches(IMROP) notamment en ce qui concerne les statistiques de pêche et les campagnes démersales et acoustiques d'évaluation de stocks, soit au travers la recherche bibliographique.

Les captures de la pêcherie durant l'année 2018 sont faites surtout sur les espèces de faible niveau trophique comme la sardine et les sardinelles. Les niveaux trophiques de ce modèle s'étendant de 1 pour les producteurs primaires et les détritus à 4,12 chez les thons hauturiers. Le niveau trophique moyen des captures évalué par cette étude est de 2,733. Le Rapport (Production primaire/Respiration de l'écosystème) estimé par le modèle à près de 3,3 traduit une non maturité de notre écosystème. Le résultat proéminent qui a été conclu par les tests MSC, montre qu'en dehors de la biomasse importante du groupe sardinelles, ce groupe peut ne pas être une espèce clé dans notre écosystème. Cela s'est montré lors de l'analyse de connectivité et de l'indice SURF.

Ce modèle peut être considéré comme un outil pour améliorer la gestion des ressources de petits pélagiques est tenir en compte de l'importance d'autres groupes dans cet écosystème pour assurer la durabilité de l'activité de pêche.

Mots clés : *Sardinella aurita, Sardinella maderensis*, Modélisation écosystémique, Ecopath, upwelling, indicateur écologique, Atlantique, Mauritanie.

Abstract

The present work proposes to build an ecosystem model, using ecosystem modeling software Ecopath with Ecosim v6.5, of the Mauritanian north upwelling ecosystem between (21 ° N) and (19.15 ° N). This area is known for its abundance of small pelagics fish and biodiversity, it includes the Banc d'Arguin which is a marine protected area, covering 6,450 km^2 of surface area.

To build this model we chose the 2018 data, given the emergence of the coastal fishery in the north area since 2017, also this year presents more data on biomasses and fisheries catches which allows us to anchor this model by real and local information. The model is composed of 32 functional groups: a group of detritus, 2 groups of primary producers, 3 groups of zooplankton, 2 groups of benthos, 4 groups of molluscs, 17 groups of fish 3 groups of superior predators. The parameters to be entered for each group are the biomass, the production rate, the consumption rate, the diet composition and the fisheries catch. These entries were obtained either using data from the Mauritanian Institute of Oceanography Research and Fisheries (IMROP) concerning fishery statistics and demersal and acoustic stock assessment surveys, or through a bibliographic research.

The fisheries catch during the year of 2018 is made mainly on LTL species such as sardine and sardinella. Trophic levels of this model range from 1 for primary producers and detritus to 4.12 for deep-sea tunas. The average trophic level of the catches evaluated by this study is 2.733. The Report (Primary production / Respiration of the ecosystem) calculated by the model of 3.3 calls into question the maturity of our ecosystem.

The prominent result that has been concluded from the MSC tests is that apart from the sardinella group's important biomass, this group may not be a key species in the upwelling ecosystem of northern Mauritania. This was shown in the connectivity analysis and the SURF index.

This model can be considered as a tool to improve the management of small pelagics resources and to consider the importance of other groups in this ecosystem to ensure the sustainability of this fishery.

Keywords: *Sardinella aurita, Sardinella maderensis*, Ecosystem Modeling, Ecopath, upwelling, Ecological indicators, Atlantic, Mauritania

Sommaire

Résumé III
Abstract V
Liste des figures VIII
Liste des tableaux IX
Liste des annexes IX
Liste des abréviations X
Introduction 1
Partie 1 : Revue bibliographique 4
Chapitre 1 : la modélisation et l'AEP 4
I. Approche écosystémique des pêches 4
II. Modèles écosystémiques 5
Chapitre 2 : Présentation du modèle EwE 8
I. Choix du modèle EwE 8
II. Description des modules d'EwE 8
III. Les modèles antérieurs sur les côtes mauritaniennes 12
Chapitre 3 : Importance écosystémique des petits pélagiques dans la zone d'étude 14
I. Présentation de la zone d'étude 14
II. Schémas migratoires des sardinelles dans la zone Nord-Ouest Africaine 20
III. Exploitation des sardinelles 24
IV. Rôle des petits pélagiques dans les écosystèmes d'upwelling 26
Partie 2 : Matériel et méthodes 31
Chapitre1 : Construction du modèle Ecopath Nord Mauritanie 31
I. Les sources d'acquisition des paramètres d'Ecopath 31
II. Définition des groupes fonctionnels 34
III. Inputs du modèle Ecopath 36
IV. Calibrage du modèle Ecopath 55
Chapitre 2 : Critères du MSC sur la définition des groupes LTL clé 57

I. Connectivité **57**
II. Transfert d'énergie **58**
III. Contrôle Taille de guêpe (Wasp-waisted-ness) **59**
Partie 3 : Résultats et Discussions **61**
Chapitre 1 : Résultats **61**
I. Évaluation des sorties du modèle Ecopath **61**
II. Rôle écosystémique des Sardinelles selon le référentiel MSC **70**
Chapitre 2 : Discussions **73**
I. État de l'écosystème **73**
II. Limites du modèle **73**
Conclusion générale **75**
Références **76**
Annexes **85**

Liste des figures

Figure 1 Equilibre de masse (www.fishbase.se) 9
Figure 2 Pyramide trophique marine (www.unoceandeplastique.fr) 11
Figure 3 Ecopath vers EcoTroph..... 12
Figure 4 Délimitation de la zone d'étude 14
Figure 5 Nature sédimentaire des fonds du plateau continental mauritanien (Domain, 1980) 16
Figure 6 Schéma de la circulation océanographique de surface de Mauritanie (Michel, 2010 modifié à partir de Rébert, 1979; Mittelstaedt, 1991). 18
Figure 7 Cycle migratoire d'adultes de *Sardinella aurita*..... 22
Figure 8 Cycle migratoire de *Sardinella maderensis* (d'après Fréon, 1986) 24
Figure 9 Evolution des captures pélagiques Mauritanienne par groupe d'espèces (Braham,2018)..... 25
Figure 10 Par des sardinelles dans les capures totales des petits pélagiques en Mauritanie (Braham,2018)..... 25
Figure 11 Rapport de lien entre poissons-fourrage et prédateur tiré sur 72 modèles Ecopath évalués (Pikitch et al. 2014) 27
Figure 12 Effets du Contrôle "Taille de guêpe" des poissons-fourrages sur le reste du réseau trophique..... 29
Figure 13 Régression linéaire des biomasses (entrées et estimées) par l'outil Pre-Bal..... 63
Figure 14 Répartition des captures globalement par niveau trophique (Ecotroph)..... 63
Figure 15 Répartition des captures selon le type de flottes par niveau trophique (Ecotroph) 64
Figure 16 Positionnement et interactions (Proie-Prédateurs) du groupe "Sardinelles" dans tout le réseau trophique du système étudié. 66
Figure 17 Chevauchement proie - prédateur entre les groupes fonctionnels (N°) du modèle Ecopath. 67
Figure 18 Matrice d'impact trophique mixte 69
Figure 19 Connectivité proportionnelle des différents groupes de notre modèle Ecopath 70
Figure 20 Indice SURF des différents groupes de notre modèle Ecopath 71

Liste des tableaux

Tableau 1Groupes fonctionnels du modèle Ecopath Nord Mauritanie. 34
Tableau 2 Matrice diététique du modèle Ecopath Nord Mauritanie. 48
Tableau 3 Captures par type de flotte de l'année 2018 52
Tableau 4 Estimations basiques d'Ecopath après calibration 62

Liste des annexes

Annexe n° 1 : Inventaire des groupes de poissons utilisés dans notre modèle 85

Annexe n° 2 : Indice de Pédigrée et intervalle de confiance de chaque origine de donnée 88

Annexe n° 3 : Origine de données entrées dans le modèle Ecopath selon le numéro..... 90

Liste des abréviations

AEP : Approche Ecosystémique des pêches

AMP : Aires Marines Protégées

COPACE : Comité des Pêches pour l'Atlantique Centre-Est

CRODT : Centre de Recherches Océanographiques de Dakar

CRSP : Commission Sous Régionale des Pêches

EwE : Ecopath with Ecosim

FAO : Food and Agriculture Organization

IFFO-RS : International Fishmeal and Fish Oil for Responsible Supply

IMROP : Institut Mauritanien de Recherche en Océanographie et des Pêches

INPN : Inventaire National du Patrimoine Naturel

INRH : Institut National de Recherche Halieutique

ISPM : Institut Supérieur des Pêches Maritimes

ISSM : Institut Supérieur des Sciences de la Mer

LTL : Low Trophic Level

MSC : Marine Stewardship Council

MSE : Management Strategy Evaluation

OSMOSE : Object-oriented Simulator of Marine ecosystems Exploitation model

SMCP : Societé Mauritanienne pour la Commercialisation de Poisson

SURF : Supportive Role to Fishery Ecosystems

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

Worms : World Register of Marine Species

WWF : World Wildlife Fund

ZEE : Zone Économique Exclusive

Introduction

Avec 750 km de côtes et une ZEE de 230000 km^2, la Mauritanie dispose d'un potentiel halieutique important estimé à 1 800 000 tonnes dont 1 200 000 tonnes est constitué des petits pélagiques 300 000 tonnes de praires (non exploité) et 300 000 tonnes des démersaux (GT IMROP, 2014). Les exportations mauritaniennes des produits de la mer ont enregistré près de 263 millions de dollars en 2016 (SMCP). Le secteur halieutique représente environ 20% des recettes budgétaires de l'Etat et emploie près de 55 000 personnes.

Les captures halieutiques au niveau de la ZEE mauritanienne sont dominées par les petits pélagiques (90%) qui sont soit destinées à la consommation humaine soit transformées en farine et huile de poissons.

Les petits pélagiques exploités en Mauritanie font partie des ressources sous régionales. Ces espèces occupent une place primordiale dans les écosystèmes d'upwelling en raison de leur position intermédiaire dans le réseau trophique et de leur abondance. Par ailleurs, les stocks de petits pélagiques présentent de fortes variations naturelles de leur abondance et peuvent contrôler à la fois l'abondance du zooplancton qu'elles mangent (contrôle «top-down») et l'abondance de leurs prédateurs (contrôle «bottom-up») (Bakun, 1996). Ainsi, l'effondrement de l'un des stocks aurait un retentissement important sur les revenus des pêcheurs concernés, sur l'emploi, la sécurité alimentaire, et les recettes de l'Etat. Il affecterait aussi l'équilibre de l'écosystème dans lequel les stocks de petits pélagiques sont une composante vitale. Ces considérations nécessitent donc un mode de gestion spécifique et des politiques d'aménagement au niveau local et sous régional afin de promouvoir une stratégie d'exploitation optimale à long terme.

Dans cette optique, la Mauritanie cherche à évaluer le rôle écosystémique des sardinelles et des autres petits pélagiques en tant qu'espèces clé pour prétendre à la certification de cette pêcherie selon les standards IFFO-RS et MSC (à long terme), Cela à travers une modélisation écosystémique basée sur l'approche écosystémique des pêches.

C'est pour répondre à ce besoin que le présent travail a été mené au sein de l'Institut Mauritanien de Recherche en Océanographie et des Pêches (IMROP) pour construire un modèle d'équilibre de masse « Ecopath » sur le réseau trophique de l'écosystème d'upwelling nord mauritanien entre (21°N) et (19,15°N) pour l'année 2018.

L’objectif de ce travail porte principalement sur :

-La description et la compréhension des relations écotrophiques entre les différentes espèces dans l’écosystème.

-La mise en évidence des espèces jouant un rôle trophodynamique clé pour en tenir compte dans le dispositif de gestion des petits pélagiques.

Partie 1 :
Revue bibliographique

Partie 1 : Revue bibliographique

La prémière partie de ce travail traite en premier lieu l'importance de la modélisation dans l'approche écosystémique de pêches, par la suite les différents modèles écosystémiques et leurs caractéristiques en mettant l'accent sur le modèle EwE,et en troisième lieu on traite la zone d'étude, les raisons du choix et les différentes caractéristiques physico-chimiques et biologiques.

Chapitre 1 : la modélisation et l'AEP

La pression sur les ressources marines quelque soit son origine est une réalité alarmante qui met en péril l'avenir des futures générations, d'où la nécessité d'une approche de gestion durable qui tient compte de tous les composants dans un écosystéme. Pour contrecarrer tel menace l'approche écosystémique des pêches se présente comme un outil qui peut répondre à plusieurs questions qui peuvent alléger la situation.

L'analyse par les observations des écosystèmes marins est extrêmement complexe car de nombreuses espèces interagissent entre elles formant des réseaux complexes et variables. Ainsi, le développement de modèles écosystémiques « end-to-end » représente une voie intéressante permettant de mieux comprendre ces interactions.

I. Approche écosystémique des pêches

Les écosystèmes marins sont impactés par un grand nombre d'activités anthropiques incluant entre autres la pêche, l'aquaculture, la pollution chimique, le tourisme, l'urbanisation, l'eutrophisation et le trafic maritime qui agissent simultanément et parfois en synergie (Halpern et al. 2008).

La pression exercée par la pêche est grandissante à cause de l'amélioration de l'efficacité des engins, des techniques de pêche et des moyens de détection des ressources. Cette intensification de la pression de la pêche conduit à une surexploitation des stocks, et une perturbation de la dynamique des écosystèmes marins qui sont régis par des interactions biotiques complexes entre les espèces.

Pour surmonter les conséquences de la surpêche et la pression anthropique, une orientation vers des approches intégrées et très globales de la gestion est devenu une nécessité pour faire face à cette intensification d'usage et maintenir l'écosystème aussi sain que possible. Ce changement

est déjà en cours à travers des approches telles que l'approche écosystémique et les outils d'aménagement du territoire marins visant à une exploitation durable et rentable tout en préservant un écosystème équilibré (Garcia et Cochrane 2005)

Selon la définition faite par **Ecological Society of America** c'est une gestion orientée par des buts explicites, exécutée au moyen de politiques, de protocoles et de pratiques, et rendue adaptable par le suivi et la recherche sur la base de nos meilleures connaissances possibles des interactions et processus écologiques nécessaires pour maintenir la composition, la structure et la fonction de l'écosystème.

Les tenants de l'approche écosystémique insistent sur le fait qu'il faut tenir compte de toutes les interventions humaines : les transports, les loisirs, la pêche sportive et commerciale, l'immersion de déchets en mer, l'extraction des ressources, etc., sont autant de facteurs qui doivent être considérés comme ayant des incidences sur l'écosystème marin. Il faut coordonner les sciences, la gestion et l'élaboration de politiques. Les motifs humains - les facteurs socio-économiques qui influencent les actions du prédateur supérieur - doivent être reconnus comme éléments de l'écosystème.

Jusqu'aux années 1980, les pêches ont, dans une large mesure, été axées sur l'obtention d'informations sur les ressources exploitées dans un système de gestion monospécifique. Cette méthode de gestion s'est révélée insuffisante pour préserver les ressources marines et a parfois entraîné une surpêche continue (Dayton et al. 1995). Le concept de gestion écosystémique des pêcheries a émergé dans la Convention des Nations Unies de 1982 sur le droit de la mer (PNUE 2001). Au cours des deux décennies qui ont suivi, l'accent a été mis sur l'interaction entre les ressources écosystémiques et le fait que ces interactions sont parfois plus importantes que l'impact de la pêche (Christensen et Pauly, 1997).

II. Modèles écosystémiques

L'évaluation adéquate du statut d'un écosystème nécessiterait des évaluations et un suivi de toutes les principales espèces. Les données sur les pêches ne sont pas disponibles pour la plupart des espèces non ciblées, les campagnes scientifiques sont coûteuses et nécessitent beaucoup de temps, et une surveillance continue pourraient parfois être logistiquement impossibles. Toutefois la meilleure option semble être le développement de modèles qui représentent les principaux éléments de l'écosystème et la description des flux de biomasse entre eux, en fonction des meilleures informations disponibles sur « qui mange qui »(Gibbons-Fly, 2000).

C’est dans cette optique que le développement de plates-formes de modélisation de bout en bout a eu lieu. Les modèles de bout en bout combinent généralement des sous-modèles de processus océanographiques et physicochimiques avec des descripteurs d'organismes de niveau inférieur et supérieur dans un seul cadre de modélisation (Travers et al. 2009). Ces modèles de bout en bout visent également à inclure les humains en tant que membres de la communauté à haut niveau trophique qui réagissent et s'adaptent aux conditions changeantes (Rose et al. 2010).

A. OSMOSE

Le modèle OSMOSE « Object-oriented Simulator of Marine ecosystems Exploitation model » se concentre sur la dynamique de la communauté de poissons (Shin 2001 ; Shin et Cury 2004). Il représente les individus de poissons regroupés dans des bancs, qui sont caractérisés par leur taille, leur poids, leur âge, leur taxonomie et leur situation géographique (modèle 2D) et qui subissent des processus majeurs dans leurs cycles de vie des poissons tels que la croissance, reproduction, migration, mortalité naturelle et mortalité par pêche distincte pour chaque espèce.

L'hypothèse centrale du modèle est que la prédation est opportuniste, en fonction de la concurrence spatiale et de l'adéquation de la taille entre un prédateur et sa proie. Le succès de la prédation (quantité de nourriture consommée par rapport aux besoins alimentaires) définit l'amplitude de la croissance du poisson, ce qui entraîne une variabilité individuelle en taille chez une cohorte en raison de l'alimentation passée. Le modèle a besoin de paramètres de base souvent disponibles pour une large gamme d'espèces, et qui peuvent être trouvés dans FishBase (par exemple, les paramètres de Von Bertalanffy, la fécondité relative…).

Les résultats des modèles peuvent être stockés au niveau individuel, ce qui permet de calculer les indicateurs (basés sur la taille, les espèces ainsi que les indicateurs trophodynamiques) à différents niveaux d’agrégation : au niveau de l'espèce (taille moyenne, taille moyenne à l'âge, taille maximale, niveau trophique) et au niveau de la communauté (pente et interception du spectre de taille, indice de diversité Shannon), dans les prises et dans la communauté (c.-à-d. À comparer avec les données des campagnes maritimes), intégrées spatialement ou non. OSMOSE peut être utilisé pour exécuter des scénarios de pression de pêche et les variations climatiques, l'étude du fonctionnement trophique de l'écosystème et la manière dont les indicateurs peuvent être utilisés pour suivre la réponse de l'écosystème à différentes pressions

B. Atlantis

Atlantis est un cadre de modélisation dédié aux études d'évaluation de la stratégie de gestion (MSE) (Fulton et al. 2011). Il comprend donc les représentations de chaque composante importante du cycle de gestion adaptative, y compris le système biophysique, les utilisateurs humains du système (industrie), les trois principales composantes d'une stratégie de gestion adaptative (suivi, évaluation et processus de décision de gestion) et les facteurs socioéconomiques de l'utilisation humaine et de leur comportement.

Atlantis comprend un couplage dynamique et bidirectionnel de tous ces composants du système. Le choix de la formulation est une décision spécifique à l'application prise par l'utilisateur, qui a la liberté de définir la complexité à n'importe quel niveau souhaité. Cela peut aller d'un petit nombre de groupes avec des interactions trophiques simples et une équation de capture de Baranov à des modèles très complexes avec une structure de stock sophistiquée, des flottes multiples, des moteurs d'effort sociaux et économiques détaillés et des options de gestion multiples.

Il existe actuellement 18 modèles Atlantis en usage et plus de 30 autres en développement à travers une gamme d'échelles et de types d'écosystèmes (Mer Baltique, Mer du Nord, Détroit de Sicile, Islande, Grands Lacs, Lac Victoria, Grande Barrière de Corail, Archipel de Juan Fernandez, Antarctique, etc.).

Chapitre 2 : Présentation du modèle EwE

Le modèle Ecopth with Ecosim avec ses différents modules est un outil très puissant et efficace pour contribuer à l'approche écosystémique des pêches. Ce logiciel qui permet de décrire le fonctionnement de l'écosystème est basé sur les flux de masse et d'énergie entre les groupes d'espèces pendant une période de temps.

I. Choix du modèle EwE

Etant donné que notre problème est l'évaluation du rôle des petits pélagiques et de leur exploitation dans l'écosystème Atlantique Mauritanie, le modèle Ecopath semble être un cadre qui peut répondre à des questions de gestion et de recherches avec les données disponibles, vu qu'il n'est pas très exigeant en données par rapport aux autres logiciels de modélisation.

De nombreux outils existants nécessitent beaucoup de données, ce qui pose un problème dans la plupart des pays en développement. Par conséquent, il existe un large intérêt pour les modèles simples d'équilibre de masse basés sur l'analyse du réseau trophique, au moins dans une première approche descriptive (Christensen et Pauly, 1997). Ainsi, un avantage important de l'approche Ecopath est que les modèles peuvent être construits en combinant des ensembles de données locaux et précédemment sous-utilisés, avec des informations régionales et publiées et des estimations à partir de modèles empiriques (Christensen et Pauly, 1997).

II. Description des modules d'EwE

A. Ecopath

Le modèle Ecopath intègre les travaux de Polovina (1985) pour les estimations de biomasses et de consommations des différents groupes définis, et l'approche de Tennenbaum et Ulanowicz (1988) pour l'analyse des flux de matière entre ces mêmes groupes (Christensen et Pauly 1992). Le cœur du programme a été conçu par Polovina et Ow (1983), et Polovina (1985).

Ecopath permet de comprendre l'organisation et le fonctionnement trophique d'un écosystème en le considérant dans sa totalité, il part du principe que la mortalité d'une proie revient à la consommation de son prédateur.

Il repose sur deux équations de base (Christensen et al., 2005) :

1. Production : 1ère équation de base

Il s'agit d'une équation linéaire décrivant un groupe du système écologique et qui est de la forme suivante :

Pi = Yi + Bi * M2i + Ei + Bai + Pi * (1 – Eei)

Ça peut s'exprimer aussi de cette manière :

$$\mathrm{Bi} * \left(\frac{\mathrm{P}}{\mathrm{B}}\right)\mathrm{j} * \mathrm{Eei} - \sum_{j=1}^{n} B\,j * \left(\frac{Q}{B}\right) j * DCji - Yi - Eei - Bai = 0$$

Où : Pi est le taux de production total du groupe (i), Yi est le taux total de capture de (i), M2i est le taux de prédation total pour le groupe (i), Bi la biomasse du groupe, Ei le taux de migration nette (émigration - immigration), BAi est le taux d'accumulation de biomasse pour (i), tandis que M0i = Pi · (1-Eei) est le taux d'autres mortalités pour (i).

(P/B)j est le rapport production/biomasse, (Q/ B)j est le rapport consommation/biomasse, DCj,i est la fraction de la proie (i) dans le régime alimentaire moyen du prédateur (j) et EEi l'efficacité écotrophique.

La figure 1 décrit les différents processus de production et de consommation, il s'agit d'une représentetion schémtique des équations de base de l'Ecopath.

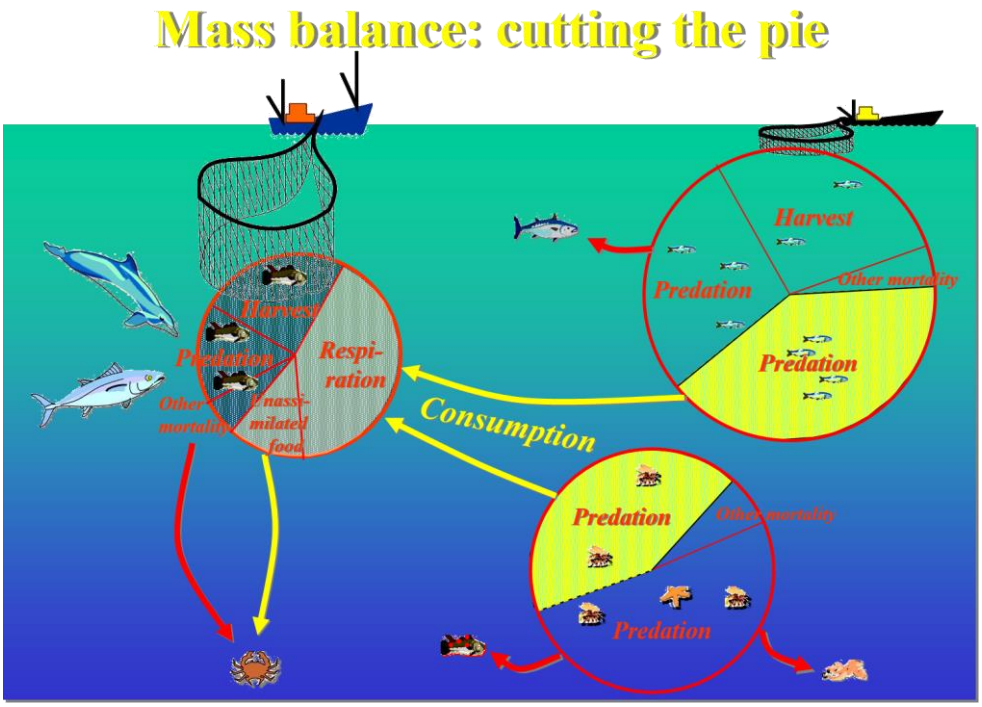

Figure 1 Equilibre de masse (www.fishbase.se)

2. Consommation : 2ème équation de base

L'équation de consommation, ou équation des flux entrant, indique comment se réparti la consommation de chaque boîte trophique, soit :

Pour chaque groupe trophique i, cette relation se traduit par l'équation :

$$Qi = Phi + Respi + (U/Q)i * Qi$$

Avec Q la consommation, Ph la production hétérotrophe, Resp la respiration et U/Q le rapport de l'alimentation non assimilée sur la consommation.

3. Définition du système

La définition des limites d'un écosystème marin ouvert est assez délicate, par conséquent les limites du système sont mises par le modélisateur.

L'utilisation d'espèces isolées comme groupes fonctionnelles présente des avantages évidents, d'autant plus que les taux de consommation et de mortalité estimés ou publiés peuvent être utiliser sans avoir utiliser la moyenne entre les espèces. Si non, les paramètres d'entrée des groupes d'espèces combinés devraient être la moyenne des paramètres de composants, pondérés par leurs biomasses relatives.

Les organismes vivants dans un même écosystème sont reliés entre eux par des interactions trophiques qui déterminent la complexité du réseau trophique. Les assemblages d'espèces de niveaux trophiques différents déterminent la structure et le type de contrôle qui s'exerce dans l'écosystème. Ces niveaux peuvent être illustrés dans une pyramide trophique(Figure2) où les organismes sont regroupés selon le rôle fonctionnel qu'ils jouent dans le réseau alimentaire pour canaliser les flux de matière et d'énergie dans l'écosystème.

En moyenne, seulement 10% de l'énergie provenant d'un organisme est transférée à son consommateur. Le reste est perdu en tant que déchets, énergie de mouvement, énergie thermique, etc .

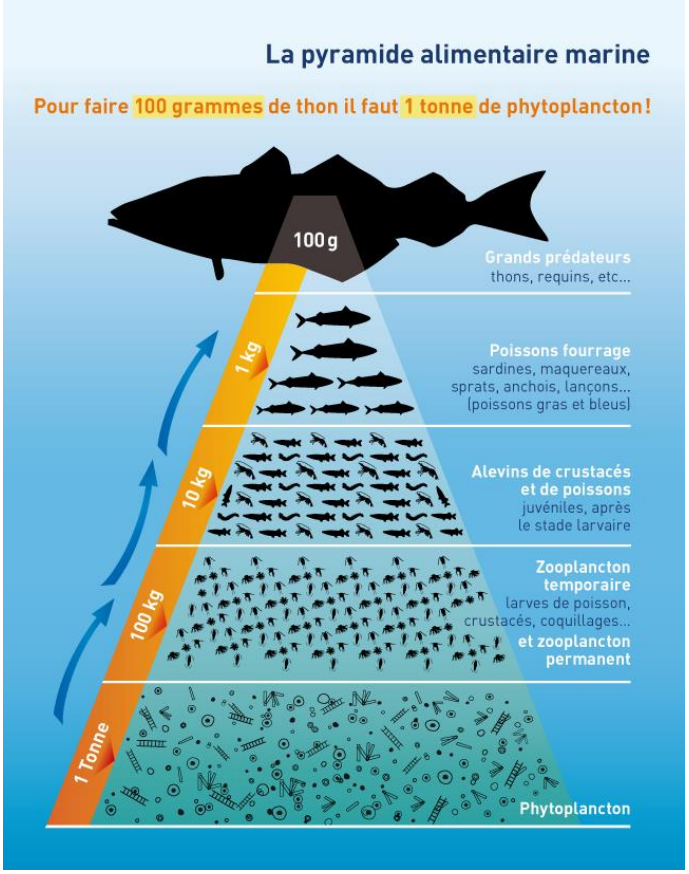

Figure 2 Pyramide trophique marine (www.unoceandeplastique.fr)

B. Ecosim

Ecosim est un module de simulation dynamique du temps pour l'exploration de scénarios de gestion et d'aménagement. Il est utilisé pour simuler les effets des changements de la mortalité par pêche et autres forçages environnementaux dans le temps. La principale caractéristique de ce modèle réside dans sa capacité d'explorer comment les biomasses sont contrôlées dans l'écosystème étudié.

Ce module hérite ses paramètres clés à partir du modèle Ecopath afin de paramétrer un système d'équations différentielles qui sont utiles pour étudier l'évolution de l'écosystème dans le temps et même pour prédire sa réponse à différents moteurs (Christensen et al. 2004).

C. EcoTroph

Alors qu'Ecopath est une représentation des biomasses par boite ou groupe fonctionnel sous forme d'une équation discrète, EcoTroph (Gascuel, 2005) est une représentation des flux de

biomasse en fonction des niveaux trophiques (figure3) et permet d'explorer de manière théorique et pratique le fonctionnement de l'écosystème. Il constitue une nouvelle manière de regarder un écosystème en se concentrant sur le flux trophique de biomasse. L'approche apparait ainsi très complémentaire du modèle Ecopath et très intégrative.

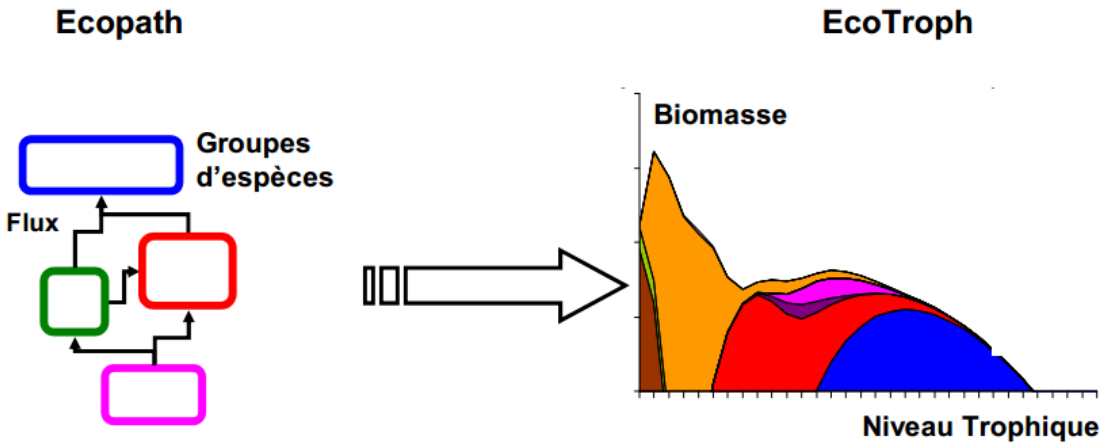

Figure 3 Ecopath vers EcoTroph

À travers ses différents modules le modèle EwE est un outil puissant pour définir le statut des écosystèmes marins. Le module Ecopath avec ses deux équations de base fournit une bonne description de l'organisation et le fonctionnement d'un écosystème pour mieux analyser les flux entre les groupes. Les deux autres modules présentent un rôle complémentaire.

III. Les modèles antérieurs sur les côtes mauritaniennes

Plusieurs modèles Ecopath ont été construits sur les côtes atlantiques de la Mauritanie pour répondre aux questions écosystémiques ainsi que celle de la gestion :

- **Modèle trophique de la ZEE mauritanienne : comparaison de deux périodes (1987 et 1998)** (Sidi, M.T., Guénette, S,2004)

La construction de deux modèles écosystémiques couvrant la Zone Économique Exclusive (ZEE) de la Mauritanie pour deux années, 1987 et 1998, a permis de parvenir à une meilleure

compréhension des interactions à l'intérieur de cet écosystème et donc une meilleure gestion, vu que l'effort de gestion des pêcheries correspondantes était orienté uniquement vers les espèces d'importance économiques prises individuellement et avec des résultats mitigés.

- **Modèle écotrophique du Banc d'Arguin (Mauritanie) dans la période 1988 à 1998 (**Sidi, M.T., Diop, M.S, 2004)

Un modèle Ecopath est utilisé pour déterminer l'impact du développement récent d'une activité de pêche orientée vers l'exploitation des sélaciens et des poissons demersaux. Ce modèle permet d'avoir une base de gestion multispécifique en tenant compte de l'activité trophique de tous les prédateurs en présence (prédation humaine, par les oiseaux et les prédateurs apicaux).

- **Le modèle Ecopath de Mauritanie construit antérieurement pour représenter l'écosystème marin mauritanien de 1991-2006** (Guénette, Meissa et Gascuel, 2014)

Ce modèle couvre l'ensemble du plateau continental Mauritanien et a été initialement construit pour évaluer la contribution du Banc d'Arguin au fonctionnement trophique de l'écosystème Mauritanien. Un modèle Ecopath de référence a été construit pour l'année 1991 et un modèle Ecosim a été ajusté sur les séries chronologiques de capture et de biomasse de la période 1991-2006 ce modèle a été repris et actualisé pour l'année 2010.

Malgré les incertitudes qu'ils présentent sur plusieurs paramètres d'entrée et pour plusieurs groupes, les résultats de ces modèles mettent en évidence la nécessité de tenir compte de tous les compartiments de l'écosystème notamment des espèces qui ne font pas l'objet d'exploitation mais dont le rôle dans l'écosystème paraît déterminant. Egalement, ils mettent en évidence la nécessité d'intégrer les interactions entre espèces.

Ces modèles présentent quelques lacunes au niveau de régimes alimentaires vu l'absence d'études locales, et aussi au niveau des biomasses à cause des difficultés de couvrir les fonds par les bateaux de recherche, et la disponibilité des données statistiques sur les captures.

Chapitre 3 : Importance écosystémique des petits pélagiques dans la zone d'étude

I. Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est définie comme le plateau continental jusqu'à la profondeur de 600 m situé entre 21°N et 19,15°N (Figure 4). Elle présente une surface de 20,000 km^2, représentée par la côte Atlantique Nord de la Mauritanie. Cette zone est connue par sa richesse halieutique et sa diversité biologique elle comprend le banc d'Arguin qui est une aire marine protégée, classée en catégorie II de l'UICN, couvrant 6,450 km^2 de superficie.

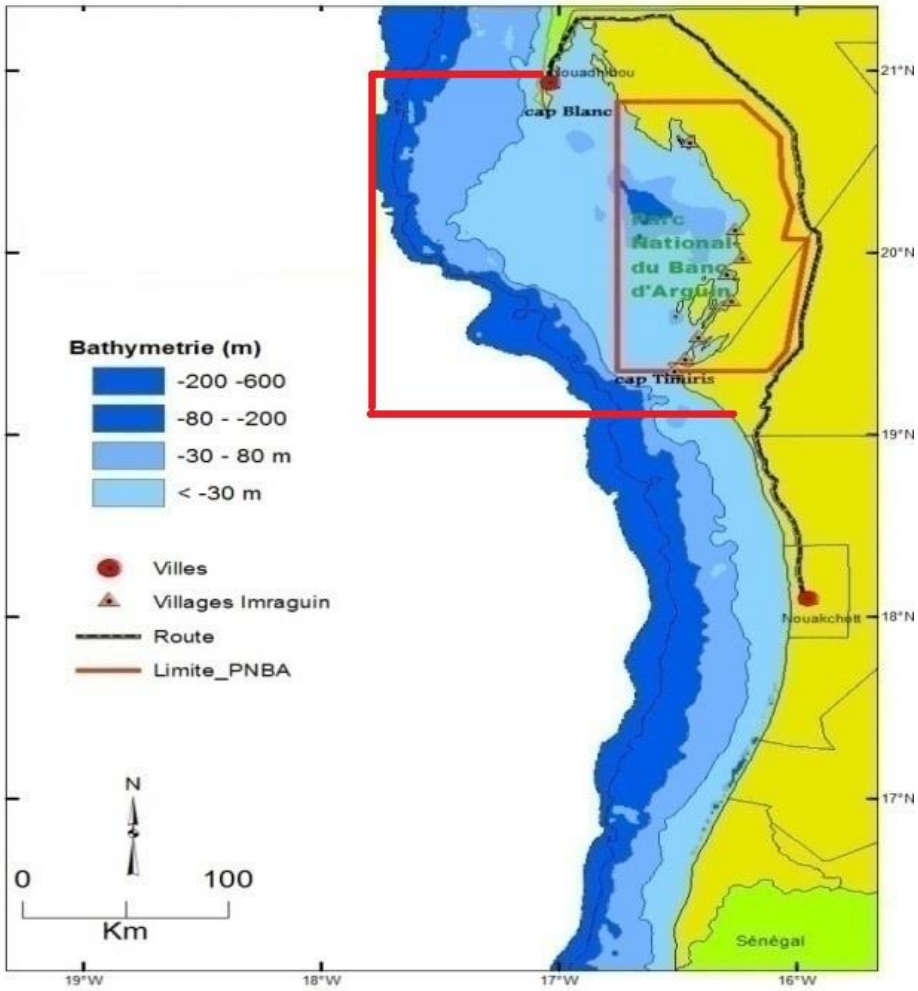

Figure 4 Délimitation de la zone d'étude

A. Raison du choix

Le projet de certification de la pêcherie de petits pélagiques met l'accent plus sur les sardinelles et l'ethmalose qui sont principalement transformés en farine de poisson**.**

En se basant sur le schéma migratoire des sardinelles dans la zone nord-ouest africaine plus précisément le stock Sénégalo-mauritanien (12°-22° N), une sous population du stock des sardinelles demeure dans la région nord de la zone mauritanienne et ne participe pas à la migration, permettant d'expliquer la présence constante de cette espèce dans cette zone (Fréon et al, 2013).

Vu la présence du Banc d'Arguin dans la zone Nord, la largeur du plateau continental dans la zone d'étude assez importante, En plus cette zone est particulière par une présence d'un Upwelling permanent autour du cap blanc (Schemainda et al., 1975).C'est pourquoi cette zone est caractérisée par une forte production primaire (phytoplanctons). Nous avons considéré l'hypothèse de la présence d'un écosystème différent de celui situé dans la zone sud du Cap Timiris.

En outre, cette zone est caractérisée par la forte concentration des usines de farine (25 usines) ciblant les sardinelles .Les débarquements des petits pélagiques y compris les sardinellles dans cette zone constituent plus de 90% de débarquements de petits pélagiques dans la zone mauritanienne.

C'est pourquoi, nous avons jugé important de construire le modèle écosystémoque durant ce travil de fin d'études pour la zone nord en vue de l'élargir dans la zone sud dans un travail de recherche plus élargi.

B. Milieu physique et facteurs d'enrichissement

Les côtes Mauritaniennes s'étendent sur l'océan atlantique entre 16°04N et 20°46N. La baie du Lévrier à l'Est de la presqu'île du Cap Blanc est l'une des plus vastes de la côte Ouest d'Afrique. Au sud de la baie de Lévrier s'étend le grand banc d'Arguin (figure 5) avec une largeur maximale de 50 milles environ. Le Cap Timiris divise le plateau continental mauritanien en deux parties distinctes, l'une située au nord et l'autre au sud du Cap. La partie située au nord comprend l'ensemble Baie du Lévrier – Banc d'Arguin ; à ce niveau le plateau continental atteint sa largeur maximale de 60 à 90 km. Au sud du Cap Timiris, la largeur du plateau continental varie de 15 km en face du Cap Timiris à 30 km plus au sud (Domain, 1980).

1. Nature des fonds

Entre Cap Blanc et Cap Timiris (20°36'N-19°22N) s'é tend une zone où les fonds sont généralement formés de sable plus ou moins grossiers avec des débris coquilliers dans les fonds inférieurs à 70 m (figure 5).

Plus au large, ce type de fond est remplacé par des vases sableuses à teneur élevée en CaC03 et qui occupent tout le sommet de la pente continentale. Il existe deux zones de vase de faible étendue entre -30 et -40 m par 20° N ainsi que au N-W du cap Timiris. Ces zones vaseuses, ainsi que celles que l'on trouve plus au nord, sont partiellement d'origine terrigène et formées de poussières et de sables fins transportés par les vents (Milliman, 1977).

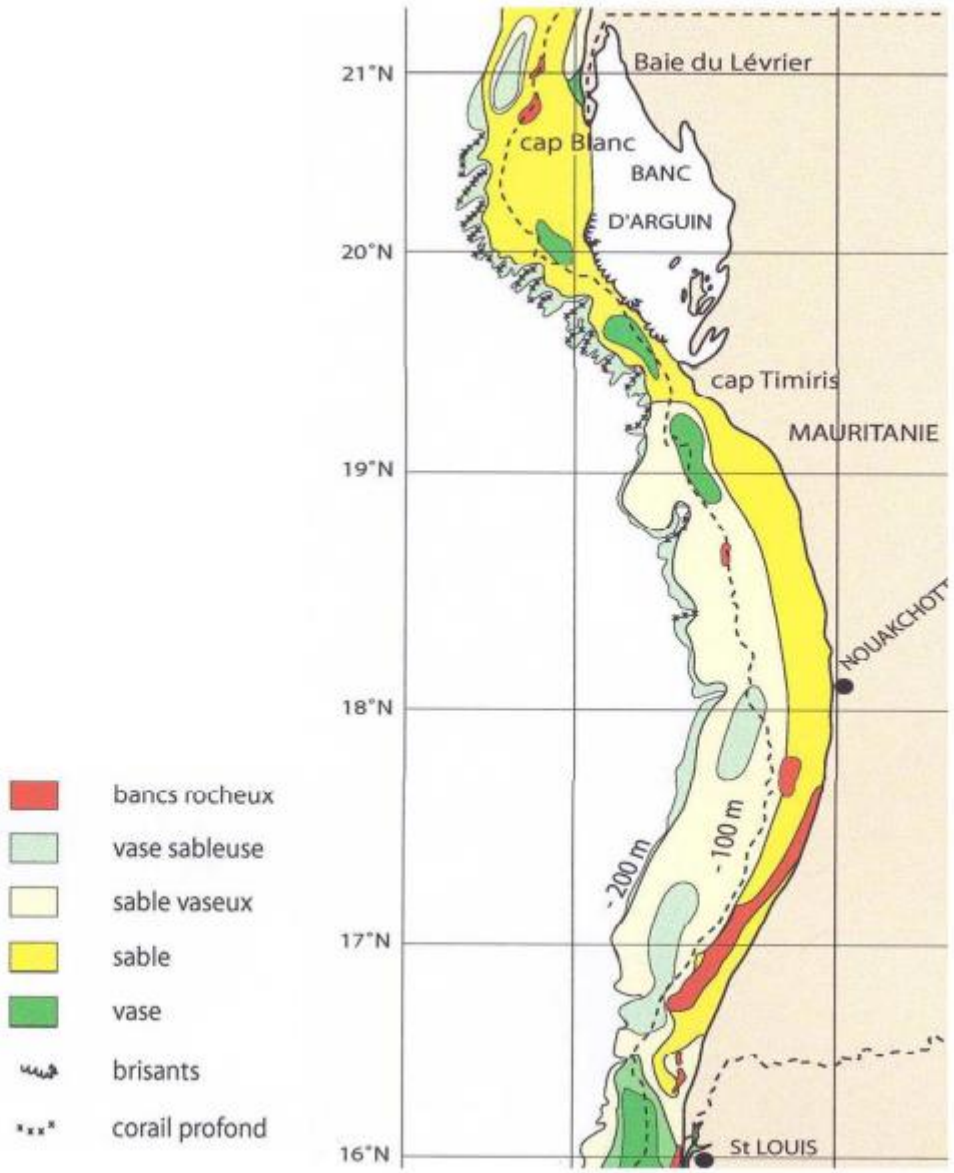

Figure 5 Nature sédimentaire des fonds du plateau continental mauritanien (Domain, 1980)

2. Courants océaniques et saisons marines

La zone maritime mauritanienne constitue une transition entre deux systèmes : celui des Canaries au nord et celui des eaux guinéennes au sud véhiculées par le contrecourant équatorial (ECC). Le courant froid des Canaries est caractérisé par une eau d'une température inférieure à 20°C et une salinité entre 35,4 et 36°/°°. Cette eau canarienne provient des eaux centrales du Sud Atlantique et apparait dès le mois d'octobre sur la partie nord du plateau mauritanien puis recouvre progressivement tout le plateau. Le contrecourant équatorial véhicule deux types de masses d'eau chaude sur le plateau continental mauritanien, une eau chaude (>24°C) est salée (36°/°°) qui provient du large de mai à août et les eaux guinéennes chaudes (>26°C) et dessalées (moins de 3 5°/°°) du sud de septembre à novembre, suite aux importants apports en eaux douce par les fleuves guinéens. Le système des courants océaniques permet de distinguer en Mauritanie quatre saisons hydrologiques (Dedah, 1995) : deux grandes saisons dites respectivement froide (janvier-mai) et chaude (aout-octobre), séparées par deux saisons de transition (juin juillet et novembre-décembre). Cette alternance des saisons dans le domaine maritime est l'un des facteurs d'enrichissement du milieu marin (Domain, 1980 ; Sprengel et al., 2002).

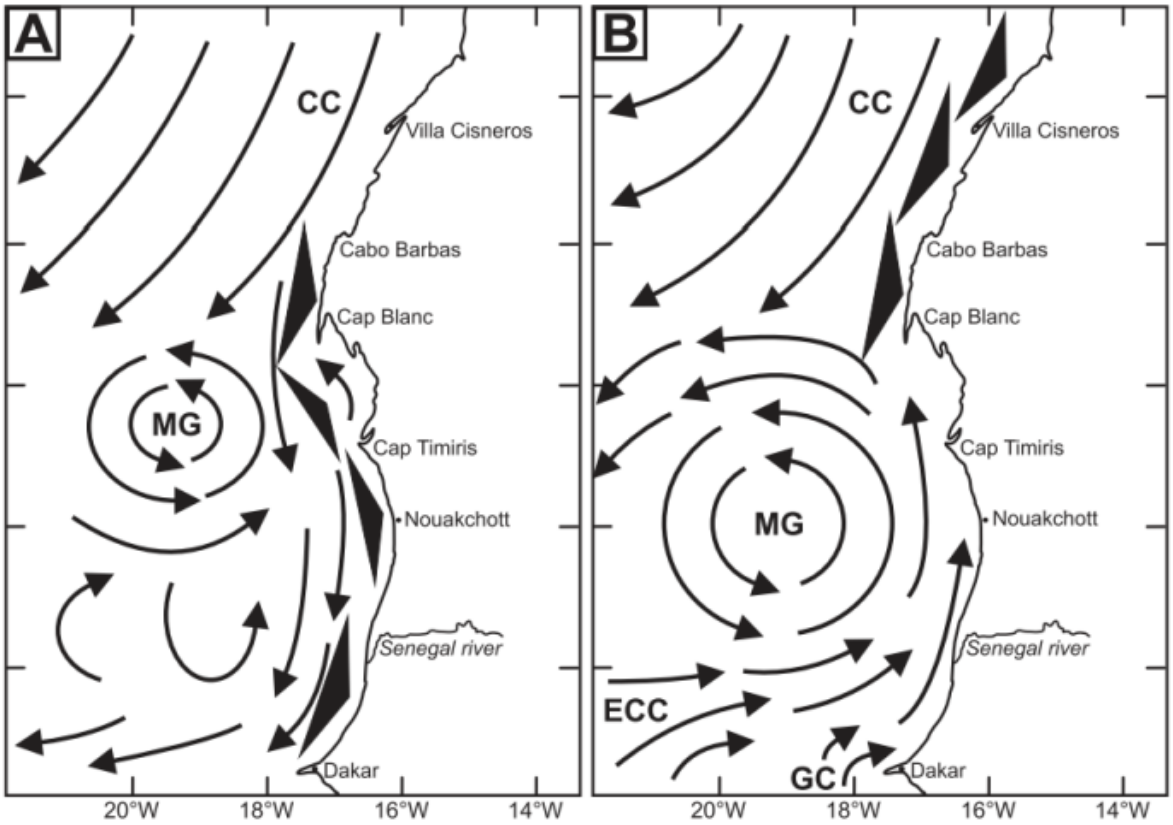

Figure 6 Schéma de la circulation océanographique de surface de Mauritanie (Michel, 2010 modifié à partir de Rébert, 1979; Mittelstaedt, 1991).

3. L'upwelling

A ce brassage des masses d'eaux océanique se rajoute le phénomène de l'upwelling, qui se manifeste par la remonté en surface des eaux froides profondes, remettant en suspension les éléments déposés sur le fond. Dans les mers chaudes la remontée des éléments fertiles des couches profondes vers la zone euphotique est généralement limitée par la forte stratification due à l'existence d'une thermocline permanente. Cette limitation de l'approvisionnement en sels nutritifs des eaux proches de la surface a des effets sur l'élaboration de matière vivante végétale (phytoplancton) et ensuite animale (zooplancton et poissons). En Mauritanie, l'absence d'une thermocline permanente stratifiée est liée à l'existence d'un upwelling côtier. La productivité en surface est ensuite privilégiée par la zone euphotique, la température relativement élevée et le régime des courants (Domain 1980).

Les upwellings participent à l'enrichissement des eaux de surface ; ils sont fréquents sur les côtes ouest africaines (Sprengel et al. 2002). Plusieurs formes d'upwelling ont été définies par Hay et Brock (1992). Le plus commun en Mauritanie est celui induit par le transport d'Ekman (Dedah, 1995, Hagen 1987) : le vent soufflant en surface provoque un déplacement des eaux

superficielles qui sont remplacées par les eaux froides profondes. L'intensité de l'upwelling est donc proportionnelle à la force du vent qui le provoque et le phénomène hydrologique le plus important associé à une zone d'upwelling côtier est la diminution de la température le long des côtes. Deux upwellings ont été identifiés dans la ZEE mauritanienne. Celui du Cap Blanc qui dure douze mois sur douze et celui situé en face de Nouakchott qui ne dure que neuf mois par an (Schemainda et al. 1975). Le premier, le plus fort en intensité, se situe entre Boujdour au sud du Maroc et le Cap blanc au nord de la Mauritanie où son intensité est maximale (Sevrin-Reyssac 1993). En été il occupe sa position la plus septentrionale et en hiver la plus méridionale (Hagen, 1987).

La conjugaison de facteurs climatologiques, hydrologiques et morphologiques favorables induit une forte production primaire et ensuite secondaire dans les eaux mauritaniennes. Le rôle de l'upwelling est ici primordial, mais s'y ajoutent les effets favorables des courants et des apports éoliens. Cette productivité est localisée le long des côtes mauritaniennes en saison froide et fortement réduite au sud du Golfe d'Arguin en été et en automne lorsque les Alizés sont moins présents.

4. La biodiversité marine

L'écosystème mauritanien est dominé par une forte production primaire pélagique (blooms phytoplanctoniques) au niveau du talus. Cette production est alimentée par la remontée des eaux profondes riches en sels minéraux (upwelling) et les apports éoliens de sels minéraux adhérés aux poussières en provenance du Sahara. Le système reçoit également un apport en nutriments venant du fleuve Sénégal. L'autre grande usine de production primaire des eaux mauritaniennes se situe dans le Golfe d'Arguin où près de 1000 km2 d'herbiers marins se développent et offrent nourriture et refuge à une vie benthique variée. Ces deux systèmes sont à la base des principales chaînes alimentaires faisant la richesse et la spécificité des eaux mauritaniennes.

L'upwelling entraîne ainsi une production phytoplanctonique particulièrement forte dans les eaux de surface au niveau de la zone bathyale. Les eaux chargées en nourriture sont ensuite chassées vers le littoral (dans la zone néritique) et vers l'océan, où elles forment, notamment au niveau du Cap Blanc, de véritables filaments pénétrant les eaux du large, pauvres en nutriments, sur plusieurs centaines de kilomètres (Lange et al., 1998 ; Meunier et al., 2012). Au niveau du plateau continental, la forte productivité océanique alimente une vie benthique composée majoritairement d'organismes filtreurs se développant indépendamment de la lumière (par exemple le bivalve *venus rosalina*). Les eaux ainsi filtrées arrivent par la suite dans les zones

côtières, permettant, là encore, le développement d'une vie benthique incluant cette fois des organismes photiques (herbiers marins, algues rouges ; Wolff et al., 1993).

Dans cet écosystème on distingue diverses communautés selon les différents biotopes : au niveau benthique on trouve des espèces photiques : les algues et herbiers mains ; également des espèces aphotiques : Bivalves, Crustacés, Eponges, Gastéropodes, Polychètes, Poissons démérsaux Etc…

Au niveau côtier on trouve les oiseaux, les petits poissons, les raies, les tortues etc…, La vie pélagique est caractérisée par la présence de : maigre, mulets, les petits pélagiques, thons, cétacés, requins, tortues, les oiseaux, etc… La vie océanique est plus pauvre, on y trouve les thons, les cétacés, les requins, les tortues, les oiseaux, etc…

La ZEE Mauritanienne est caractérisée par la présence de plusieurs espèces de petits pélagiques d'affinité tropicale et d'affinité tempérée, ces espèces ont un caractère transfrontalier. Il s'agit des espèces d'affinités tropicales (sardinelles, chinchards noir et jaune) et les espèces d'affinités tempérées (sardine, anchois, chinchard de l'Atlantique et le maquereau) qui sont localisées essentiellement au nord du cap Timiris en saison froide (Braham et Corten, 2015).

II. Schémas migratoires des sardinelles dans la zone Nord-Ouest Africaine

A. Sardinelle ronde

Un stock unique de *Sardinella aurita* a été identifié dans la zone Nord-Ouest Africaine entre 10° N et 25° N. La sardinelle ronde du stock de cette zone se caractérise par la présence de juvéniles le long des zones côtières aussi bien en saison froide qu'en saison chaude. Ces observations confirment l'existence de deux importantes nurseries, l'une à l'ouest du Banc d'Arguin et au sud du Cap Timiris et l'autre qui s'étend du sud de Dakar aux Iles Bissagos (Boëly et Fréon, 1979). Le lien entre ces deux nurseries se fait par le biais des adultes qui effectuent des migrations saisonnières sur l'ensemble de l'aire de répartition du stock (Boëly *et al*, 1979) (Figure 7a). Dans cette zone, après s'être reproduits, les jeunes reproducteurs quittent la nurserie de la Petite Côte et participent aux déplacements saisonniers des adultes entre la Mauritanie et l'Archipel des Bissagos. Ainsi, les premiers adultes arrivent vers la presqu'île du Cap-Vert en décembre-janvier et se concentrent entre Dakar et la Guinée-Bissau. Ils restent dans ce secteur jusqu'en avril, puis, avec le réchauffement des eaux de surface, ils envahissent le plateau continental et entament leur migration vers le nord jusqu'à 24°-25°N avec ponte. Ces

poissons atteignent en juillet la latitude du banc d'Arguin et recommencent un nouveau déplacement vers le sud (Boëly et *al.*,1982 ; Boëly, 1979).

Une nouvelle description du schéma migratoire saisonnier de la sardinelle ronde a été présentée en juin 2012 lors de l'atelier sur les sardinelles organisé par la CSRP (Corten,2012). Cette nouvelle description est une mise à jour du schéma migratoire de Boëly et Fréon,(1979), elle est basée sur les données de campagnes acoustiques récentes et de débarquements de la pêche artisanale en Mauritanie. D'après Corten (2012), la descente des sardinelles vers le Sénégal se fait très près de la côte.

En effet, en début de l'année, la majeure partie des poissons est concentrée au Sénégal et en Gambie, et peut-être encore plus au sud (Figure 7b). Ces poissons sont exploités par la flotte artisanale sénégalaise. A partir du mois d'avril, les poissons commencent à migrer vers la Mauritanie où ils sont ciblés par la flotte industrielle étrangère. Cette flotte prend ses captures principales de mai à août. En septembre/octobre, les poissons émigrent plus au nord vers le Maroc, où ils sont exploités par les chalutiers pélagiques et les senneurs côtiers. A partir d'octobre, les poissons commencent à revenir au Sénégal en passant par les eaux mauritaniennes.

Ainsi, pendant longtemps on a cru que la migration de retour de *Sardinella aurita* du Maroc vers le Sénégal s'effectuait plus loin de la côte (Boëly *et al*., 1982). Cette théorie qui était basée sur les observations de la flotte industrielle en Mauritanie qui ne pourrait pas détecter les poissons pendant octobre-novembre au moment où les poissons sont censés passer par la Mauritanie pour descendre au Sénégal. Les campagnes acoustiques récentes de la Mauritanie montrent que les poissons sont distribués en novembre plus près de la côte qu'en juin (Ould Mohamed El Moustapha *et al.*, 2012). De plus, les prises les plus importantes de la pêche artisanale récemment développée à Nouadhibou sont réalisées en octobre/novembre, ce qui indique que les poissons sont présents dans des concentrations denses très près de la côte durant ce moment de l'année. La distribution très côtière pendant la descente vers le Sénégal explique pourquoi la flotte industrielle n'a jamais pu localiser les poissons en ce moment de l'année (Corten, 2012).

Ainsi, le stock de la population de la sardinelle ronde dans la zone sénégalo-mauritanienne 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 deux nurseries et un sous-stock commun d'adultes grands migrateurs, qui parcourent

l'ensemble du secteur en suivant les mouvements des eaux froides d'upwelling. Les sardinelles rondes de la région sénégalo-mauritanienne constituent donc une population unique dont la fraction adulte accomplit une migration annuelle.

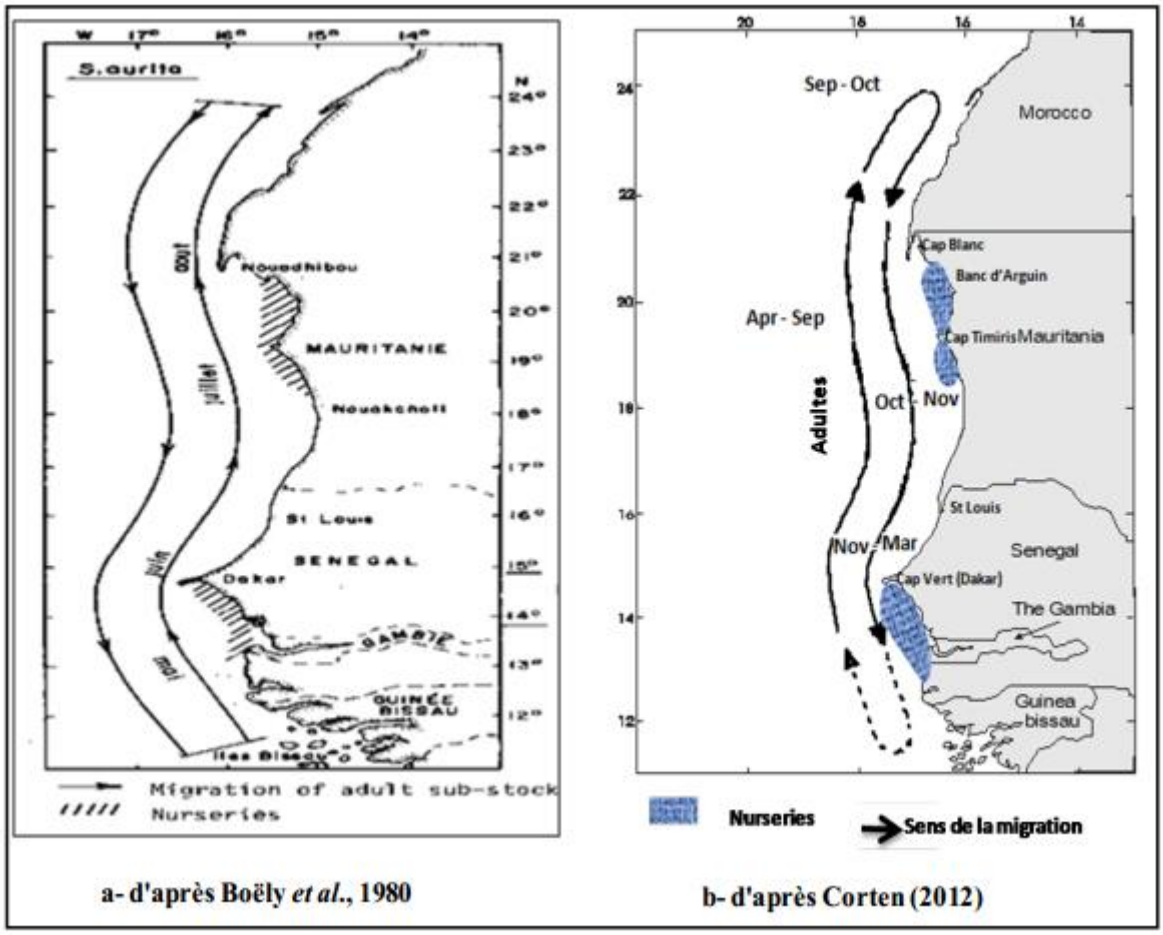

Figure 7 Cycle migratoire d'adultes de Sardinella aurita

B. Sardinelle plate

La sardinelle plate est moins active et a un comportement migrateur moins prononcé que la sardinelle ronde (Longhurst et Pauly, 1987). Elle possède à peu près la même aire de répartition que la sardinelle ronde mais elle est plus côtière et plus euryhaline. Cury & Fontana (1988) rapportent que la sardinelle plate est une espèce relativement sédentaire dont les mouvements au Sénégal et en Mauritanie ne dépassent guère l'étendue des zones de développement larvaire. Ces migrations s'effectuent en saison chaude vers le nord de la Petite

Côte et en saison froide vers la Gambie (CRODT, 1986) (Figure 8). Deux nurseries de *Sardinella maderensis* ont été identifiées dans la zone sénégalo-mauritanienne (Boëly et Fréon, 1979). La biologie des individus et leur aire de répartition sont en fait mal connues (Barry-Gerard, 1974). L'hypothèse de l'existence d'un seul stock avec des liaisons entre les deux nurseries a été émise dans la zone sénégalo-mauritanienne (Boëly et al., 1978). Au nord les adultes et les jeunes reproducteurs se situent en face de la Mauritanie de février à septembre et aux environs du Cap Blanc d'octobre à janvier. Une forte concentration des jeunes reproducteurs se situent au niveau de la Gambie et de la Guinée Bissau en mars et en avril (Boëly et Østvedt, 1976). Les jeunes reproducteurs effectuent des déplacements saisonniers de faibles amplitudes à l'intérieur de ces nurseries. Les adultes de taille > à 24 cm sont faiblement représentés au Sénégal alors qu'en Mauritanie la taille maximale est de 32 cm LF (Chavance *et al.,* 1991). D'autre part, les liens qui unissent ces deux fractions de stocks sont mal connus (Boëly *et al.,* 1982b). Ainsi, les sardinelles plates sont constituées de populations locales qui restent dans le même secteur tout au long de l'année. Cependant, les limites entre ces populations locales ne sont pas claires et les données existantes d'échantillonnage sont insuffisantes pour différencier entre les populations locales (Corten, 2012).

Pour le moment, le groupe de travail COPACE considère qu'il existe un stock unique pour chacune des deux espèces de sardinelle dans la zone nord-ouest de l'Afrique.

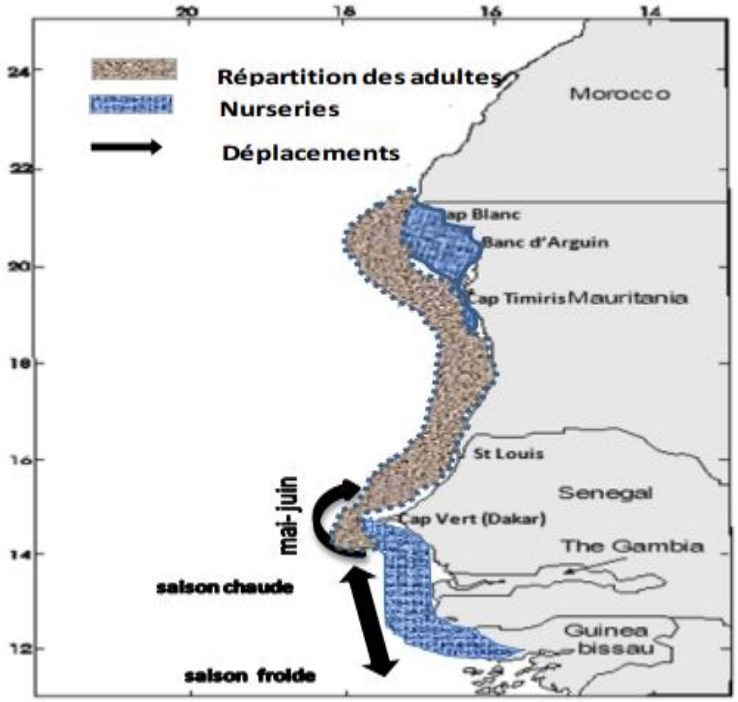

Figure 8 Cycle migratoire de Sardinella maderensis (d'après Fréon, 1986)

III. Exploitation des sardinelles

Les captures pélagiques réalisées dans la zone Mauritanienne fluctuent d'une année à l'autre suivant la présence des flottilles et la disponibilité des ressources. La quantité pêchée en Mauritanie constitué principalement des espèces des chinchards et de sardinelles représente en moyenne 35% des quantités pêchées dans la zone nord-ouest africaine (Braham 2018).

En effet, les captures des petits pélagiques ont dépassé les 1 000 000 tonnes en 2010 et 2011 avant de connaitre une diminution durant la période de 2013-2015. On constate une prise importante d'environ 914 000 tonnes en 2017. Les captures pélagiques étaient majoritairement réalisées par les bateaux étrangers jusqu'à 2013 où on observe leur substitution par la pêche artisanale piroguière d'une grande quantité des captures réalisées par ces bateaux.

Les captures par groupe d'espèces pour les différentes flottilles (artisanale, côtière et hauturière) montre l'importance des sardinelles depuis 2013 où la quantité pêchée dépasse les 50% des captures des petits pélagiques à l'exception de 2017 où une chute importante est observée suite au départ des pêcheurs sénégalais. Les captures des sardinelles sont constituées majoritairement de la sardinelle ronde (78% des captures) suivi de loin par la sardinelle plate (22%). Une forte

fluctuation des captures de la sardinelle ronde est observée alors que celle de la sardinelle plate montre une légère amélioration durant les dernières années.

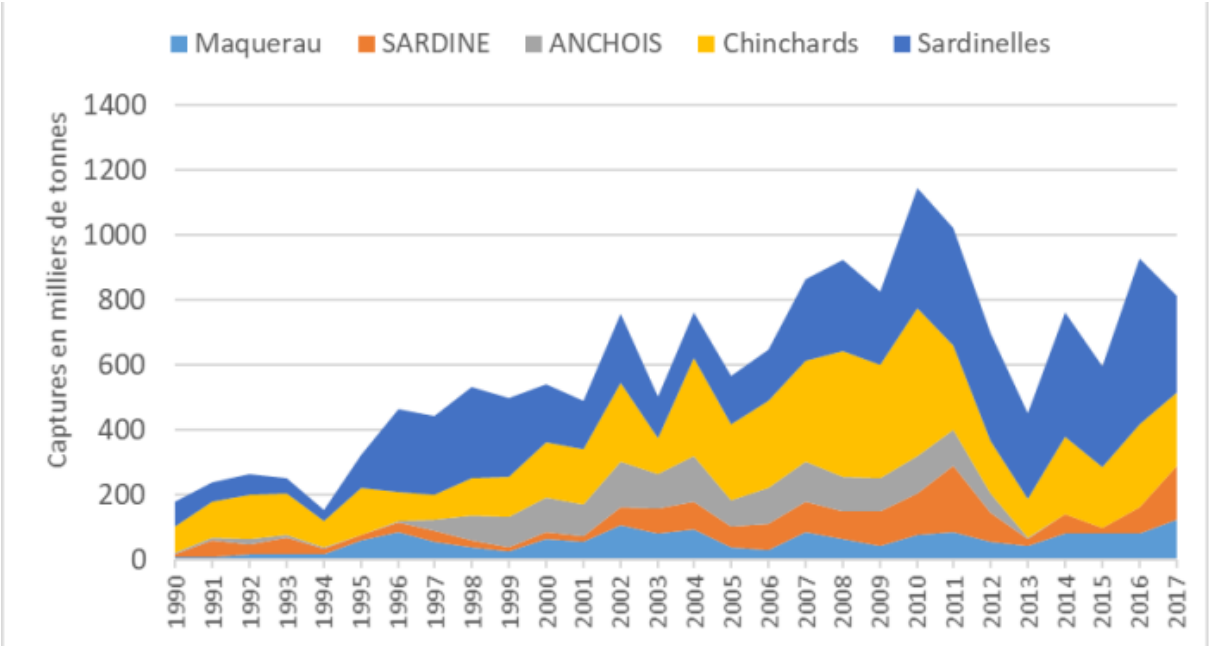

*Figure 9 Evolution des captures pélagiques Mauritanienne par groupe d'espèces (*Braham,*2018)*

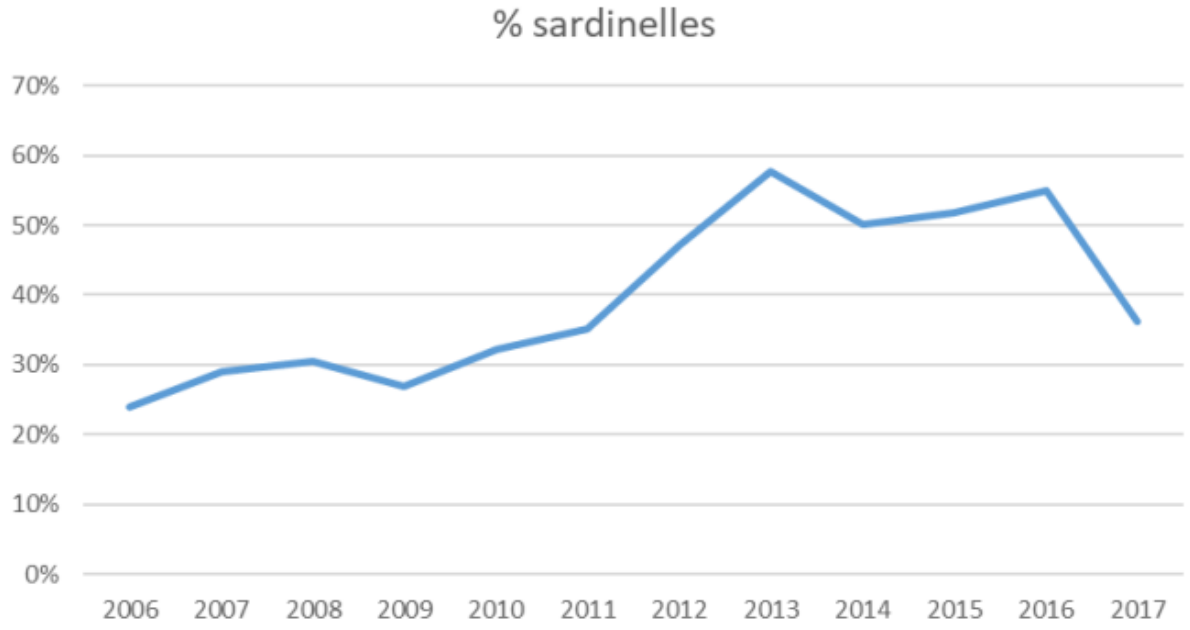

*Figure 10 Par des sardinelles dans les capures totales des petits pélagiques en Mauritanie (*Braham,*2018)*

Avant 2010, les captures des sardinelles ont été effectuées majoritairement par la flottille étrangère travaillant dans le cadre des accords de pêche. Il s'agit principalement des bateaux types hollandais de forte capacité de tonnage qui peut atteindre 7000 tonnes. Depuis l'expansion de l'activité de farine en 2010, les senneurs artisanaux ont rapporté des quantités importantes des sardinelles dépassant en 2013 celles réalisées par la flottille hauturière. Les rendements des pirogues types sénégalais ciblant les sardinelles sont comparables à ceux des chalutiers hollandais (Braham 2018).

L'année 2017 est caractérisée par l'arrivée des navires côtiers pélagiques types turcs dont le nombre dépasse les 50 bateaux avec une utilisation de différents engins de pêche (senne, chaluts, etc). Les captures du segment côtier sont estimées à plus de 262 000 tonnes constituées principalement des sardinelles (49%) suivi de la sardine (34%).

IV. Rôle des petits pélagiques dans les écosystèmes d'upwelling

A. Espèces fourrages

Les poissons-fourrages ont une durée de vie courte, sont prolifiques, se trouvent en quantité abondante et ne sont représentés que par un petit nombre d'espèces dans un écosystème. En règle générale, leur abondance varie considérablement dans le temps et elle est influencée par les conditions environnementales et la pêche. Ils jouent un rôle important dans l'écosystème, en ce qu'ils constituent un lien essentiel entre la production planctonique et les prédateurs des niveaux trophiques supérieurs (Pikitch et al. 2012). Ils sont caractérisés par une petite taille, une taille de population relativement importante, et un niveau mi-trophique (Hilborn et al. 2015). Ces espèces soutiennent les pêcheries les plus importantes dans le monde, en particulier ceux des écosystèmes d'upwelling. Si la diminution de l'abondance des espèces fourragères est importante au point de descendre sous le niveau des fluctuations normales, le réseau trophique risque d'être modifié, changeant ainsi les flux d'énergie et entraînant, dans certains cas, une réduction du nombre d'espèces et, au final, un état différent duquel un rétablissement est difficile. (Guénette et *al* 2014).

La majorité des débarquements sont transformés en farine de poisson et en huile utilisée dans l'aquaculture et l'agriculture, certains débarquements sont utilisés pour la consommation humaine (Alder et Pauly 2006) et comme appâts pour d'autres pêcheries.

Les pêcheries commerciales de poissons fourragers sont souvent en concurrence avec les besoins des espèces prédatrices qui dépendent des espèces fourragères pour une grande partie de leurs besoins nutritionnels (Guénette et *al* 2014).

Ces espèces se produisent dans divers types d'habitats, bien qu'elles dépendent en grande partie de la communauté planctonique pour la nourriture (Guénette et *al* 2014). Ce sont généralement des espèces qui migrent vers le littoral (zones très côtières, estuaires, lagunes, etc..) pour la reproduction.

D'après une étude se portant sur 72 modèles Ecopath autour du globe (Pikitch et al, 2012) ont trouvé que la dépendance des prédateurs en espèces fourrages est plus importante en Antarctique et moins importante au niveau des lagunes tropicales. Egalement d'après (Pikitch et al. 2014), 75% des écosystèmes évalués ont au moins un prédateur supérieur ou extrême dépendant des poissons-fourrages (Figure 11)

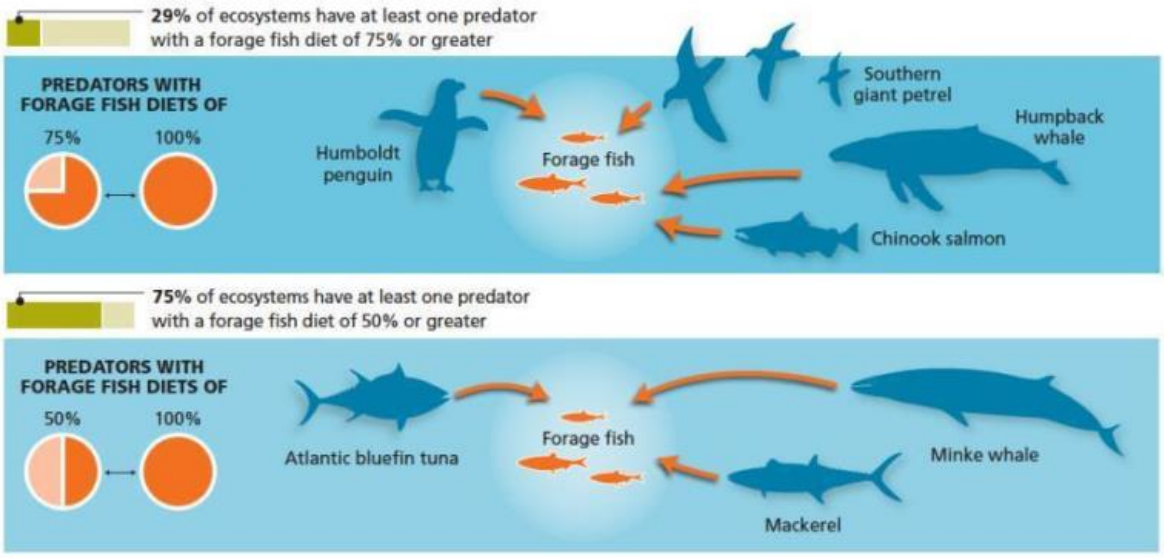

Figure 11 Rapport de lien entre poissons-fourrage et prédateur tiré sur 72 modèles Ecopath évalués (Pikitch et al. 2014)

B. Contrôle « Taille de guêpe »

Le terme « Taille de guêpe » concerne le fait de transmettre une concentration exceptionnelle de biomasse dans quelques espèces au niveau mi-trophique. Cela se montre surtout, si on compare la richesse en espèces des petits pélagiques avec celle du plancton invertébré et des espèces prédatrices (Bakun et al. 1996; Cury et al. 2000; Rice 1995). Ainsi, une hypothèse a été émise par Bakun et al. (2010) disant que dans la plupart des écosystèmes, les petits pélagiques

peuvent exercer un contrôle descendant du zooplancton et un contrôle ascendant sur les prédateurs, dans une structure de «guêpe» contrôlée par très peu d'espèces de niveaux trophiques moyens (Bakun et al. 1996).

Le rôle des espèces fourrages est plus complexe qu'une relation prédateur-proie vu qu'elles peuvent exercer la prédation sur les stades jeunes de leurs prédateurs (S Guénette et *al* 2014).

Les petits pélagiques occupent par ailleurs une place majeure dans la pyramide trophique exerçant ainsi un contrôle sur le transfert d'énergie entre les niveaux inférieurs et supérieurs des réseaux trophiques. Un effondrement de ces espèces peut générer des changements drastiques aussi bien dans les niveaux trophiques supérieurs qu'inférieurs, affectant ainsi le fonctionnement et l'intégrité de l'écosystème dans son ensemble.

La figure12. montre que l'effet d'une diminution en abondance des poissons-fourrages a des conséquences différentes selon qu'ils s'agit des prédateurs ou des proies : Une diminution pour les prédateurs dépendants vu la diminution en proie. Par contre, elle porte une opportunité pour les zooplanctons de croitre sans risque d'être une proie pour les espèces fourrages. Par conséquent une pression sur le phytoplancton aura lieu, causée par sa consommation par les zooplanctons.

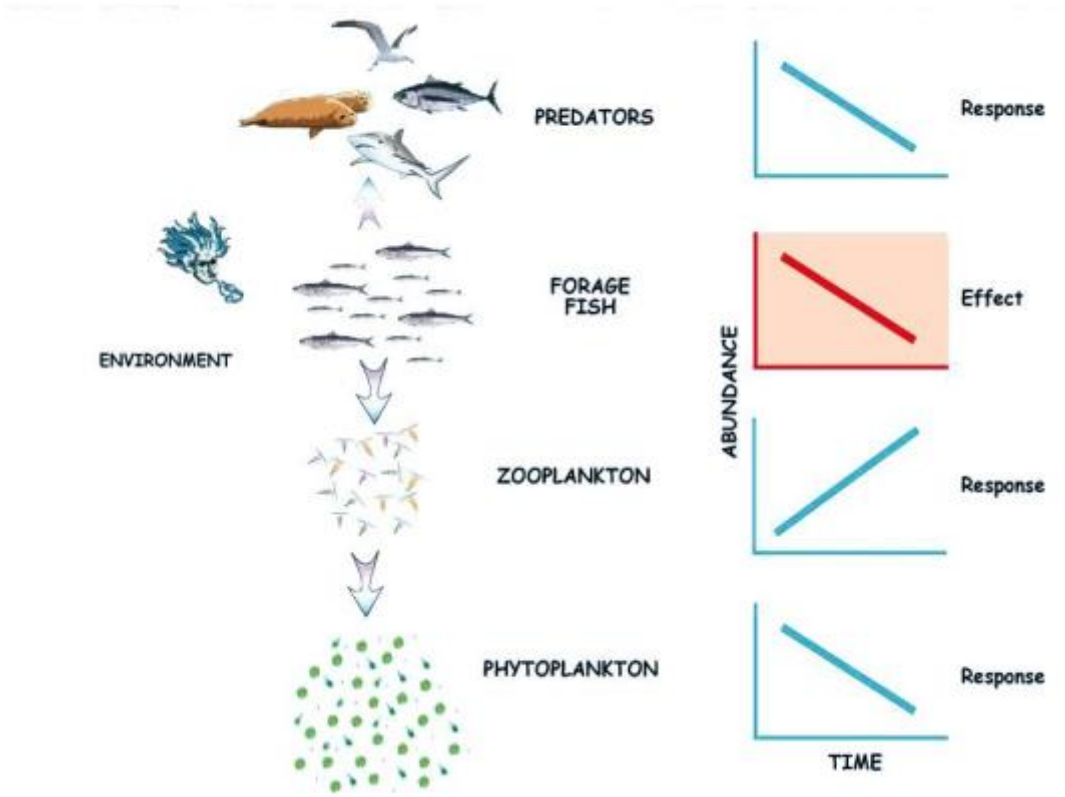

Figure 12 Effets du Contrôle "Taille de guêpe" des poissons-fourrages sur le reste du réseau trophique

Conclusion

La ZEE de la Mauritanie est le siége de plusieurs phémoménes biotiques et abiotiques, qui font d'elle un milieu nécessitant beaucoup d'étude pour mieux comprendre les différentes phénoménes en relation avec la biodivdrsité marine, l'upwelling et les migrations des petits pélagique. La présence de stocks partagés avec des pays voisins comme le Maroc et le sénégal nécessite une coordination entre ces différents pays pour mener une gestion globale permettant ainsi d'assurer la durabilité de ces ressources pour les générations à venir.

Partie 2 :

Matériel et méthodes

Partie 2 : Matériel et méthodes

Pour construire notre modèle nous avons choisi les données de l'année 2018 vu l'émergence de la pêcherie côtière dans la zone nord depuis 2017, également cette année présente plus de données sur les biomasses et les captures de pêche ce qui nous permet d'ancrer ce modèle Ecopath par des informations réelles et locales.

Chapitre1 : Construction du modèle Ecopath Nord Mauritanie

La construction de ce modèle fait référence aux modèles antérieurs construits sur les côtes atlantiques mauritaniennes, en termes d'importance d'espèces dans l'écosystème mais avec une autre approche de regroupement d'espèces constituant les groupes fonctionnels.

I. Les sources d'acquisition des paramètres d'Ecopath

Pour paramétrer un modèle Ecopath, il faut avoir pour chaque groupe fonctionnel (composant « i ») les valeurs de :

• **Biomasse : Bi,**
• **Rapport production / biomasse : P/Bi ;**
• **Rapport consommation / biomasse : Q/Bi ;**
• **Efficacité écotrophique : EEi**

Ecopath peut estimer une de ces valeurs si les autres sont disponibles (il s'agit d'équations linéaires à une inconnue) ; nous avons donc les options suivantes (l'inconnu en caractère gras) :

B, P/B, Q/B, EE ;
B, **P/B,** Q/B, EE ;
B, P/B, **Q/B,** EE ;
B, P/B, Q/B, **EE ;**

Vu les difficultés d'estimation de EE, c'est la dernière option qui est la plus utilisée.

Avec les trois autres paramètres de base, les paramètres suivants doivent être entrer pour tous les groupes :

- **Compositions diététiques (Publications scientifiques et modèles antérieurs) ;**
- **Taux de capture (Statisiques de l'IMROP) ;**

- **Taux d'assimilation** par défaut égale 0.2 sauf pour les organismes herbivores**.**
- **Taux de migration net ; Taux d'accumulation de biomasse** sont supposés égales à 0.

- **Biomasse (B) :**

Elle doit être entrée relativement à l'habitat où le groupe se produit. Elle est exprimée en t/km^2. Les données sur les biomasses de notre modèle sont issues des campagnes acoustiques d'évaluation du stock des petits pélagique et les campagnes démersales effectuées par l'IMROP.

- **Rapport Production/biomasse (P/B) :**

Le rapport P / B (par an) est équivalent au taux instantané de mortalité totale (« Z ») à l'équilibre (Allen 1971).

Les sources d'acquisition de ce paramètre sont :

-Les données sur les captures et biomasses.

-Autres modèles Ecopath portés sur des systèmes semblables à notre zone d'étude.

- Publications scientifiques.

- **Rapport Consommation/biomasse Q/B**

La consommation est la prise d'aliment par un groupe sur une période considérée, elle est entrée comme ratio de consommation par biomasse, ce rapport Q/B est de même unité que P/B(an^{-1}).

Les sources d'acquisition de ce paramètre sont :

-Équation empirique (Palomares et Pauly 1989) implémentée depuis la base de données "Fishbase".

- Autres modèles Ecopath portés sur des systèmes semblables à notre zone d'étude.

- Publications scientifiques.

- **Rapport Production/consommation P/Q**

Il s'agit de l'efficacité brute de la conversion alimentaire. Sans dimension, il varie de 0,05 à 0,3 ; la consommation de la plupart des groupes est 3 à 10 fois plus haute que leur production. Les exceptions sont les prédateurs supérieurs, qui peuvent avoir des valeurs P/Q bas, et les petites larves de poissons à croissance rapide ou nauplius ou les bactéries, qui peuvent avoir

des P/Q plus élevés. Ce rapport est tiré des autres modèles Ecopath portés sur des systèmes semblables à notre zone d'étude.

- **Consommation non assimilée GS**

Ce paramètre est entré comme proportion. D'après Winberg (1956), une valeur par défaut de 0,2 est suggérée pour les groupes de poissons carnivores si d'autres estimations ne sont pas disponibles. Pour les herbivores, la proportion non assimilée peut être considérablement plus élevée, par exemple jusqu'à 0,4 dans le zooplancton.

- **Efficacité écotrophique EE**

EE est la partie de la production utilisée dans le système. Sans dimension, elle varie de 0 à 1. Pour le détritus, ce paramètre est toujours calculé.

Les informations complémentaires sur le nom scientifique, nom vernaculaire, habitat et famille viennent de 3 bases de données :

- Fishbase : C'est une base de données en ligne largement citée dans les publications scientifiques **:** (www.fishbase.se).
- INPN : L'« Inventaire National du Patrimoine Naturel » français : (www.inpn.mnhn.fr).

- **Worms :** World Register of Marine Species » (WoRMS) qui fournit une liste des noms d'organismes marins : (www.marinespecies.org).

II. Définition des groupes fonctionnels

En se basant sur les données des campagnes démersales et acoustiques menées par l'Institut Mauritanien de Recherche en Océanographie et des Pêches (IMROP), ainsi que le journal des pêches industrielles et les enquêteurs de l'IMROP nous avons constitué nos groupes fonctionnels en suivant l'approche suivante :

-Utilisation d'espèces isolées comme groupes fonctionnels et cela pour les espèces cibles (petits pélagiques) et les grands prédateurs de ces espèces (Maigre et Merlu), ainsi que les espèces présentant des intérêts économiques comme les céphalopodes. Cela présente des avantages vu qu'on va utiliser les paramètres par espèces sans avoir recours à la moyenne entre ces espèces.

Ce qui est conseillé d'habitude, pour les groupes monospécifiques d'espèce d'une ontogenèse trophique complexe, c'est de les séparer par différents stades de vie : juvénile et adulte.

-Utilisation des groupes multispécifiques comme groupes fonctionnels, en faisant recours à la moyenne pondérée par biomasse pour leurs paramètres de consommation.

Pour les groupes multispécifiques, de nombreux modélisateurs choisissent de séparer les groupes par habitat, ou bien par taille et régime alimentaire. Cette approche se présente comme étant difficile à réaliser durant la période de cette étude, elle sera considérée comme élément d'amélioration de ce modèle Ecopath.

Ainsi, pour mieux représenté notre écosystème 34 groupes fonctionnels ont été définis. Mais pour but de calibrer le modèle Ecopath, ce chiffre a été réduit à 32 groupes (Tableau 1).

Tableau 1Groupes fonctionnels du modèle Ecopath Nord Mauritanie.

Numéro du groupe	Groupe Ecopath avant calibration	Numéro du groupe	Groupe Ecopath après calibration
1	Oiseaux marins	1	Oiseaux marins
2	Mammifères marins	2	Mammifères marins
3	Tortues	3	Tortues
4	Calamar	4	Calamar
5	Seiche	5	Seiche
6	Poulpe	6	Poulpe
7	Requins	7	Requins

8	Raies	8	Raies
9	Maigre	9	Maigre
10	Autres poissons benthopélagiques	10	Autres poissons benthopélagiques
11	Merlu	11	Merlu
12	Autres poissons démersaux	12	Autres poissons démersaux
13	Thons hauturiers	13	Thons hauturiers
14	Thons côtiers	14	Thons côtiers
15	Autres poissons pélagiques	15	Autres poissons pélagiques
16	Maquereaux	16	Maquereaux
17	Chinchards	17	Chinchards
18	Anchois	18	Anchois
19	Ethmalose	19	Ethmalose
20	Sardine	20	Sardine
21	Sardinelles	21	Sardinelles
22	Poissons bathypélagiques	22	Poissons bathypélagiques
23	Poissons bathydémersaux	23	Poissons bathydémersaux
24	Coquillage	24	Coquillage
25	Autres invertébrés	25	Autres invertébrés
26	Crevettes / Crabes	26	Crustacés
27	Autres Crustacés		
28	Méduses		
29	Macrozooplancton	27	Macrozooplancton
30	Mésozooplancton	28	Mésozooplancton
31	Microzooplancton	29	Microzooplancton
32	Algues et herbiers	30	Algues et herbiers
33	Phytoplancton	31	Phytoplancton
34	Détritus	32	Détritus

III. Inputs du modèle Ecopath

Les inputs du modèle Ecopath sont globalement déjà disponibles à partir de l'évaluation des stocks, des études écologiques ou de la littérature : estimations de la biomasse, estimations de la mortalité totale, estimations de la consommation, compositions diététiques et prises halieutiques.

A. Paramètres biologiques

Tous les composants d'un écosystème (autre que les détritus même) produisent des **détritus**, en forme de matière fécale, d'excrétions et de carcasses ; donc, un minimum d'un composant est nécessaire pour représenter les détritus ;

Détritus : La biomasse des détritus a été calculée d'après l'équation de Pauly et al. (1993) :

$$LogD=0,954.logPP+0,863.logE-2.41$$

Où : log est en base 10, D est la biomasse de détritus en $gC.m^{-2}$; PP est la production primaire égale à 895,6 $gC.m^{-2}.an^{-1}$, E est la profondeur euphotique évaluée à 50m. La biomasse des détritus qui en résulte atteint 74,6 $gC.m^{-2}$, soit 671,1$g.m^{-2}$ en poids frais.

- **Les producteurs primaires**

Phytoplanctons :

La productivité primaire provient de la banque de données SeaWIFS, incorporées dans la data du projet « Sea Around Us » sur la ZEE de la Mauritanie. Elle est évaluée à 895,6 $gC.m^{-2}.an^{-1}$ ou 8060,4$g.m^{-2}$.année$_{-1}$ poids frais en utilisant un facteur de conversion de 1gC = 9g poids frais (D. Pauly et Christensen 1995). La biomasse, 80,6 $t.km^{-2}$, a été obtenue en divisant la production primaire par le P/B, fixé à 100 an^{-1}. Ce rapport Production/Biomasse a été tiré du modèle Ecopath de la ZEE mauritanienne (Sidi, M.T., Guénette, S,2004).

Algues et herbiers :

Vu l'absence des données récentes sur les herbiers et les algues, la biomasse et le rapport Q/B de ce groupe proviennent du modèle Ecopath de Mauritanie, construit antérieurement pour représenter l'écosystème marin mauritanien de 1991-2006 (Guénette, Meissa et Gascuel,2014) actualisé en 2010.Ainsi une biomasse de 246,47 t/km^2 et un rapport Q/B de 4,06 an^{-1} ont été retenus.

- **Zooplancton**

Microzooplancton :

Ce groupe est composé principalement de copépodes, mais inclut aussi les cladocères, *Noctiluca sp*., les Balanidae et les larves de gastéropodes et de lamellibranches. Vu l'absence de données sur la biomasse des microzooplanctons nous avons laissé au modèle Ecopath pour l'estimer, en fixant depuis le modèle trophique de la ZEE mauritanienne (Sidi, M.T., Guénette, S, 2004), les ratios P/B et P/Q de 25 et 0,3 respectivement (Morato et Guénette 2001). Le régime alimentaire de ce groupe est tiré du modèle trophique de la ZEE mauritanienne (Sidi, M.T., Guénette, S, 2004)

Mésozooplancton :

Ce groupe comprend les polychètes, chaetognathes, ostracodes, mysidacés, amphipodes, Isopodes parasites, Cumacés, larves de décapodes, larves de poissons, radiolarians et leptostracés. Pour ce groupe aussi ,vu l'absence de données sur la biomasse on a laissé au modèle Ecopath pour l'estimer, en fixant depuis le modèle trophique de la ZEE mauritanienne (Sidi, M.T., Guénette, S,2004),les valeurs de P/B et Q/B qui sont de 5 et 32 an^{-1} respectivement (Morato et Guénette 2001).mais afin de calibrer le modèle nous avons fixé le rapport P/Q à 0,3 au lieu du rapport P/B. Le régime alimentaire de ce groupe est tiré du modèle trophique de la ZEE mauritanienne (Sidi, M.T., Guénette, S,2004)

Macrozooplancton :

Ce groupe est représenté surtout par les euphausiacés, hydrozoaires et les scyphozoaires. La biomasse a été aussi estimée par le modèle Ecopath. Le rapport P /B a été fixé à 4,3 an^{-1} depuis le modèle Ecopath de Mauritanie construit pour représenter l'écosystème marin mauritanien de 1991-2006 (Guénette, Meissa et Gascuel,2014), Le rapport Q/B est fixé à 23 an^{-1} depuis le modèle trophique de la ZEE mauritanienne (Sidi, M.T., Guénette, S, 2004). Le régime alimentaire de ce groupe est tiré du modèle trophique de la ZEE mauritanienne (Sidi, M.T., Guénette, S, 2004)

Crustacés :

Les espèces les mieux représentées de ce groupe sont : les crevettes, *Paneus kerathurus*, *Paneus notialis*, *Parapenaeus longirostris*, *Aristeus variden* ; le crabe *Geryon maritae* ; et les langoustes *Palinurus mauritanicus* et *Palinurus regius*. Vu l'absence de données exactes sur la biomasse de ce groupe une estimation a été faite par le modèle en fixant le rapport Q/B de 7 an^{-1} depuis le modèle Ecopath de Mauritanie (Guénette, Meissa et Gascuel, 2014), ainsi que le rapport P/Q qui a été fixé à 0,3 lors du calibrage. Le régime alimentaire de ce groupe est tiré du modèle trophique de la ZEE mauritanienne (Sidi, M.T, Guénette, S, 2004)

- **Mollusques**

Poulpe :

La biomasse de ce groupe estimée par les campagnes démersales est jugée faible, pour remédier à cela nous l'avons l'a fixé à 3,726 t/km^2 en se basant sur la biomasse donnée par les modèles de production (Meissa, B., and Gascuel, D.2014).Le rapport P/B de 1,048 est la somme de F(Y/B) et la mortalité naturelle M tiré de Fishbase (Pauly, 1980). Le rapport Q/B de 11,7 an^{-1} est fixé depuis le modèle trophique de la ZEE mauritanienne (Sidi, M.T., Guénette, S, 2004), Le régime alimentaire de ce groupe est tiré du modèle du Maroc (Macha-allah.R, 2017), vu l'absence d'une étude locale sur le régime alimentaires des mollusques.

Seiche :

Comme pour le groupe de Poulpe, la biomasse estimée par les campagnes démersales est jugée faible, alors la biomasse est fixée à 0,9 t/km^2 en se basant sur la biomasse donnée par les modèles de production (Meissa, B., and Gascuel, D.2014). Le rapport P/B de 1,346 est la somme de F(Y/B) et la mortalité naturelle M tiré de Fishbase (Pauly, 1980),un rapport Q/B de 11,7 an^{-1} est fixé depuis le modèle trophique de la ZEE mauritanienne (Sidi, M.T., Guénette, S, 2004), Le régime alimentaire de ce groupe aussi est tiré du modèle du Maroc (Macha-allah, 2017),vu l'absence d'une étude locale sur le régime alimentaires des mollusques.

Calamar :

Comme les deux autres groupes de céphalopodes, pour estimer la biomasse on a fait référence aux modèles de production (Meissa, B., and Gascuel, D.2014), alors une biomasse de 0,736 est fixée. Le rapport P/B de 1,875 est la somme de F(Y/B) et la mortalité naturelle M tiré de Fishbase (Pauly, 1980).Le rapport Q/B de 11,7 an^{-1} est fixé depuis le modèle trophique de la ZEE mauritanienne (Sidi, M.T., Guénette, S,2004), Le régime alimentaire de ce groupe aussi est tiré du modèle du Maroc (Macha-allah.R,2017),vu l'absence d'une étude locale sur le régime alimentaires des mollusques.

Coquillage :

Les principales espèces composant ce groupe sont : les praires, *Venus verrucosa et Venus rosalina ;* les gastéropodes *Cymbium Cymbium, Cymbium marmoratum,* ainsi que les moules. La biomasse de ce groupe est fixé à 17,8 t/km^2 depuis le modèle Ecopath de Mauritanie (Guénette, Meissa et Gascuel, 2014). Le rapport P/B et Q/B de 2,5 an^{-1} et 8,3 an^{-1} respectivement, sont fixés depuis le modèle de Guinée-Bissau (P. Amorim et al, 2004). Le régime alimentaire de ce groupe est tiré du modèle Ecopath de Mauritanie (Guénette, Meissa et Gascuel, 2014).

Autres invertébrés :

Ce groupe est constitué des échinodermes, vers, Porifera, le reste de Macrobenthos et le zoobenthos microscopique. La biomasse a été estimée par le modèle Ecopath. Les rapports P/B et Q/B ont été fixés respectivement à 2,6 an^{-1} et 15 an^{-1} utilisés dans le modèle du Maroc (Macha-allah.R, 2017).Le régime alimentaire de ce groupe est tiré du modèle trophique de la ZEE mauritanienne (Sidi, M.T., Guénette, S, 2004).

- **Sélaciens**

Raies :

Ce groupe est composé essentiellement de Rajidae et Rhinobatidae ainsi que d'autres familles de Torpedinida, Myliobatidae et Dasyatidae, la biomasse de ce groupe est issue des campagnes démersales de l'IMROP en 2018, qui est égale à 1,16 t/km^2, le rapport P/B de 0,47 an^{-1} est la moyenne de M tirée de la Base de données Fishbase (Pauly, 1980) +F(Y/B). Le rapport Q/B de 6,3 an^{-1} est fixé depuis le modèle trophique de la ZEE mauritanienne (Sidi, M.T., Guénette, S, 2004), Le régime alimentaire est la moyenne des régimes des espèces *Rhinobatos rhinobatos* (Abdel-Aziz, S. H et al 1993), *Pleromylaeus bovinus (*Capapé, C. 1977), *et Raja undulata (*Moura, T et al 2008)

Requins

Ce groupe est composé de Triakidae, Carcharhinidae, Sphyrnidae, Scyliorhinidae, la biomasse de ce groupe est issue des campagnes démersales de l'IMROP en 2018, qui est égale à 0,68 t/km^2, le rapport P/B de 0,64 an^{-1} est la moyenne de M tirée de la Base de données Fishbase (Pauly, 1980) +F (Y/B). Le rapport Q/B de 3 an^{-1} est fixé depuis le modèle trophique de la ZEE mauritanienne (Sidi, M.T., Guénette, S, 2004), Le régime alimentaire est la moyenne des régimes des espèces : *Mustelus mustelus (*Khallahi, 2004*),* Sphyrna *lewini* (Béavogui Balla II.2011) et *Rhizoprionodon acutus (*Ba, B. A, et al 2013).

- **Petits pélagiques**

Sardinelles :

Le groupe de sardinelles est composé de 2 espèces *sardinella aurita* (Sardinelle ronde), et *sardinella maderensis* (Sardinelle plate). La biomasse (33,21 t/km^2) est issue de 2 campagnes acoustiques effectuées par l'IMROP en 2018. Un rapport de P/B (1.127 an^{-1}) vient de la somme des moyennes de M(Fishbase) et F (Y/B) de ces 2 espèces. Le rapport Q/B (13 an^{-1}) vient de l'équation empirique de Palomares et Pauly (1989), implémenté par des données complémentaires de Fishbase. Le régime alimentaire de ce groupe est tiré de (A.V. Gushchin, A. Corten, 2015).

Sardine :

La biomasse de *Sardina pilchardus* provient de 2 campagnes acoustiques effectuées par l'IMROP en 2018. Avec une biomasse de 25,21 t/km^2 elle occupe la deuxième position après les sardinelles. Le rapport de P/B (1,68 an^{-1}) est la somme de M(Fishbase) et F (Y/B). Le rapport Q/B (12,5 an^{-1}) est fixé depuis le modèle Maroc (Macha-allah.R, 2017). Le régime alimentaire de ce groupe est tiré de (A.V. Gushchin, A. Corten, 2015).

Chinchards :

Ce groupe est composé de *Trachurus trachurus* (chinchard d'Europe), *Trachurus trecae* (chinchard cunène), *Caranx rhonchus* (chinchard jaune). La biomasse de ce groupe est de 17 t/km^2 provient également de campagnes acoustiques effectuées par l'IMROP en 2018, un rapport de P/B (1,1 an^{-1}) vient de la somme des moyennes de M(Fishbase) et F (Y/B) de ces 3 espèces. Le rapport Q/B (5 an^{-1}) vient de l'équation empirique de Palomares et Pauly (1989), implémenté par des données complémentaires de Fishbase.

Le régime alimentaire est la moyenne pondérée par biomasse de ces trois espèces *Caranx rhonchus* (A.V. Gushchina and A. Corten.2016) et celui des autres chinchards (A.V. Gushchina and A. Corten.2017).

Maquereau :

Le *Scomber colias* (maquereau espagnol atlantique) est l'espèce représentative des maquereaux dans notre zone d'étude, la biomasse est estimée à 10 t/km^2 par les campagnes acoustiques effectuées par l'IMROP en 2018. Le rapport de P/B (1,68 an^{-1}) est la somme de M(Fishbase) et F (Y/B). Le rapport Q/B (2,7 an^{-1}) vient de l'équation empirique de Palomares et Pauly (1989), implémenté par des données complémentaires de Fishbase. Le régime alimentaire est tiré de (A.V. Gushchina and A. Corten.2017).

Anchois :

Engraulis encrasicolus, sa biomasse est estimée à 4 t/km^2 par les campagnes acoustiques effectuées par l'IMROP en 2018. Le rapport de P/B (0,96 an^{-1}) est la somme de M(Fishbase) et F (Y/B). Le rapport Q/B (9,13 an^{-1}) est fixé depuis le modèle Maroc (Macha-allah.R, 2017). Le régime alimentaire de ce groupe est tiré de (A.V. Gushchin, A. Corten, 2015).

Ethmalose :

Ethmalosa fimbriata, la biomasse de cette espèce qui vie dans les estuaires et les zones côtières est laissée au modèle Ecopath pour l'estimer, vu que les campagnes de prospection ne couvrent que les zones de plus de 20 m de profondeur. Les deux rapports P/B (1,5 an^{-1}) et Q/B (7 an^{-1}) sont fixés depuis le modèle du plateau continental guinéen, (I. Diallo et al.2004). Le régime alimentaire de ce groupe est tiré aussi du modèle du plateau continental guinéen, (I. Diallo et al.2004).

Maigre :

Argyrosomus regius, La biomasse estimée par les campagnes démersales est jugée très faible, alors la biomasse (0,5 t/ km^2) est fixée comme la moyenne de 2 biomasses des années 1991 et 2010 du modèle Ecopath de Mauritanie (Guénette, Meissa et Gascuel, 2014). Le rapport de P/B (0,44 an^{-1}) est la somme de M(Fishbase) et F (Y/B). Le rapport Q/B (2,1 an^{-1}) est tiré du modèle Ecopath de Mauritanie (Guénette, Meissa et Gascuel, 2014). Le régime alimentaire d'*Argyrosomus regius* est tiré du rapport de stage de Ould Limam, A. (2010).

Merlu :

Trois espèces de merlus sont rencontrées en Mauritanie. Il s'agit des *Merluccius merluccius* (Merlu européen, *Merlucciu senegalensis* (Merlu du Sénégal) et *Merluccius polli* (Merlu d'Afrique). Ces deux dernières espèces sont souvent groupées sous l'appellation merlus noirs et sont les plus abondantes en Mauritanie. Les merlus sont présents sur la partie du talus continental jusqu'à 800 m, raison pour laquelle la biomasse avancée par les campagnes démersales est multipliée par 10 lors du calibrage du modèle et fixée à 1,5 t/$km^{2.}$. Le rapport de P/B (1,2 an^{-1}) est fixé depuis Maroc (Macha-allah.R, 2017). Le rapport Q/B (3,4 an^{-1}) est tiré du modèle de Golf de Gascogne (Moullec 2015). Le régime alimentaire retenu provient de travaux soviétiques dans la région (Anonyme, 1981)

- **Thonidés**

Thons côtiers

Ce groupe est composé de *Sarda sarda* **(**la bonite à dos rayé)**,** *Auxis rochei* (Bonitou), *Auxis thazard* (l'auxide) *Orcynopsis unicolor* (la palomète) et *Euthynnus alletteratus* (la thonine).La biomasse de ce groupe est laissée au modèle Ecopath pour l'estimer en fixant les autres paramètres. Le rapport P/B (0,65 an^{-1}) est la somme de M moyenne (Fishbase) et F (Sidi, M.T., Guénette, S, 2004) Le rapport Q/B (7,29 an^{-1}) moyen est tiré de Fishbase : Palomares and Pauly (1989). Le régime alimentaire de ce groupe est la moyenne entre les régimes de *Sarda sarda* (A.V. Gushchina and A. Corten.2016), *Euthynnus alletteratus* (Bahou 2007) et (*Auxis rochei)* (Mostarda, E et al .2007)

Thons hauturiers

Ce groupe est composé de 3 espèces *Thunnus albacares*(Albacore), *Katsuwonus pelamis* (Bonite À Ventre Rayé) et *Thunnus obesus* (Thon Obèse). Comme le groupe des autres thonidés, la biomasse de ce groupe est laissée au modèle Ecopath pour l'estimer en fixant les autres paramètres. Le rapport P/B (0,658 an^{-1}) est la somme de M moyenne (Fishbase) et F (Sidi, M.T., Guénette, S, 2004). Le rapport Q/B(14,37 an^{-1}) moyen est tiré de Fishbase : Palomares and Pauly (1989).Le régime alimentaire de ce groupe provient du modèle de la ZEE mauritanienne (Sidi, M.T., Guénette, S,2004).

- **Autres groupes de poissons**

Autres poissons benthopélagiques

Il s'agit des poissons vivant et/ou s'alimentant sur ou près du fond, aussi bien que dans l'eau même, entre 0 et 200 m. Ce groupe est composé de plusieurs espèces de différentes familles. Les espèces les plus représentatives sont : les mulets : *Mugil capurii, Mugil cephalus* ;Sabre commun : *Trichiurus lepturus ;* Saint Pierre *:Zeus faber,* ainsi que plusieurs espèces de la famille de Sparidea. L'estimation de biomasse de ce groupe par les campagnes démersales est jugée faible, vu leur comportement pélagique. Par conséquent la biomasse est fixé à 10 t/km^2 en se basant sur la biomasse donnée par les modèles de production (Meissa, B., and Gascuel, D.2014). Le rapport Q/B (4,5 an^{-1}) moyen est tiré de Fishbase : Palomares and Pauly (1989).Le rapport P/Q est calculé par le modèle en fixant une EE de 0,95.

Le régime alimentaire et la moyenne pondérée par biomasse des espèces suivantes : *Spondliosoma cantharus (*Pita C. 2002), *Trichiurus lepturus* (A.V. Gushchina and A.

Corten.2016), *Mugil capurii, Mugil cephalus* (A. V. Gushchin 2013),*Diplodus puntazzo, Diplodus vulgaris* (Sala, E., et Ballesteros, E. 1997) et *Zeus faber* (Silva, A. 1999)

Autres poissons démersaux

Il s'agit des poissons vivant et/ou s'alimentant sur ou près du fond, entre 0 et 200 m.Ce groupe est composé d'un nombre important d'espèces appartenant aux différentes familles. Les principales espèces sont de la famille des sparidae, soleidae, serranidae, ariidae**.** La biomasse (16 t/km^2) est donnée par les campagnes démersales menées par l'IMROP en 2018.Le rapport P/B (1,82 an^{-1}) est fixé depuis le modèle d'Azores (Morato et Guénette 2001), Le rapport Q/B (5,2 an^{-1}) est la moyenne pondérée par biomasse des Q/B tirés de Fishbase - Palomares and Pauly (1989).

Le régime alimentaire est la moyenne pondérée par biomasse des espèces suivantes : *Epinephelus aeneus* (Kouassi et al.2010), *Dentex Canariensis* (G.CHEIKHNA et al 2011), *Solea senegalensis, Diplodus sargus Stephanolepis hispidus et Diplodus bellottii* (A. V. Gushchin 2013),*Pagrus caeruleostictus* (M. Dia, et al 2000) ,*pomadasys incisus (* Mamadou DIA et M. GHORBEL 2010) et *plectorhynchus mediterraneus* (C GANDEGA et al 2009).

Autres poissons pélagiques

Il s'agit des poissons qui se trouvent principalement dans la colonne d'eau entre 0 et 200 m, et ne s'alimentant pas des organismes benthiques. Les espèces représentatives de ce groupe sont: *Trachinotus ovatus*(Palomine*), Dicentrarchus punctatus(*Bar Tacheté) ,*Pomatomus saltatrix* (Tassergal) et *Lichia amia*(Liche Ne-Bé). Le rapport Q/B (5an^{-1}) est la moyenne pondérée par biomasse des Q/B tirés de Fishbase - Palomares and Pauly (1989). Le rapport P/B (0.96) est tiré du modèle Ecopath de Mauritanie (Guénette, Meissa et Gascuel,2014). La biomasse est estimée par le modèle en fixant l'efficacité écotrophique à 0,95.

Le régime alimentaire et la moyenne pondérée par biomasse de des espèces : *Trachinotus ovatus, Dicentrarchus punctatus* (A. V. Gushchin 2013), *Pomatomus saltatrix* (A.V. Gushchina and A. Corten.2016).

Poissons bahtypélagiques

Il s'agit des poissons qui se trouvent principalement dans l'eau ouverte en dessous de 200 m, et ne s'alimentant pas des organismes benthiques. Ce groupe est représenté dans notre modèle par les espèces suivantes : *Diaphus metopoclampus, Malacocephalus laevis, Diplospinus multistriatus* (Escolier rayé) *Bathysolea profundicola* (Sole des profondeurs) et *Astronesthes niger*. Vu le manque de données sur les poissons de ce groupe, les rapports P/B (1 an^{-1}) et Q/B (5 an^{-1}) sont fixés depuis le modèle du Maroc (Macha-allah.,2017), puis ajustés lors du calibrage de notre modèle. La biomasse est estimée par le modèle Ecopath.

Le régime alimentaire de ce groupe est basé sur ceux de *Diaphus metopoclampus (*Taylor, P.,et al,2014), et *Malacocephalus laevis* (Hartwig. H .1982).

Poissons bathydémersaux

Il s'agit des poissons vivant et/ou s'alimentant sur ou près du fond, en dessous de 200 m. Les principales espèces de ce groupes sont : *Helicolenus dactylopterus* (Sébaste Chèvre), *Chlorophthalmus atlanticus* (Eperlan) *Lophius piscatorius* (Baudroie Commune), et *Pterothrissus belloci.* Le manque de données sur les espèces de ce groupe aussi nous a laissé faire recours aux rapports P/B (0,32 an^{-1}) et Q/B (5 an^{-1}) du modèle du Maroc (Macha-allah.R, 2017). La biomasse est estimée par le modèle Ecopath. Le régime alimentaire de ce groupe est basé sur modèle Ecopath de La ZEE mauritanienne (Sidi, M.T., Guénette, S, 2004).

Tortues :

Un total de 47 tortues ont été recensés en Novembre 2016 (C.J. Camphuysen et *al*, 2017) ce groupe est dominé par Tortue carette (*Caretta caretta),* suivi par Tortue verte (*Chelonia mydas).* La biomasse de ce groupe est fixée à 0,01 t/km^2 en se basant sur le modèle écotrophique du Banc d'Arguin (M.T. Sidi et M.K. Diop, 2004), ainsi que le rapport (P/B=0,5 an^{-1}). Le rapport (Q/B=3,5 an^{-1}) est tiré du modèle d'Azores (Morato et Guénette 2001). Le régime alimentaire des tortues est tiré du modèle de Banc d'Arguin (M.T. Sidi et M.K. Diop, 2004).

- **Prédateurs supérieurs**

Oiseaux marins :

Vingt-huit espèces des oiseaux ont été recensées en novembre 2016 sur les côtes mauritaniennes (C.J. Camphuysen et *al*, 2017).Les espèces les plus importantes de ce groupe sont : Océanite tempete (*Hydrobates pelagicus*), Guifette noire (*Chlidonias niger*), Fou de Bassan (*Morus bassanus*) et Puffin cendré (*Calonectris borealis*). La biomasse (0,01 t/km^2) ainsi que les rapports P/B (0,28 an^{-1}) et Q/B(67 an^{-1}) sont tirés du modèle Ecopath de Mauritanie (Guénette, Meissa et Gascuel,2014). Egalement, le régime alimentaire de ce groupe est tiré de ce modèle.

Mammifères marins :

Plusieurs espèces de Dauphins, Rorquals, Cachalot et Orque utilisent les côtes mauritaniens comme lieu de résidence ou d'hivernage mais beaucoup d'informations sur leurs migration et saisonnalité sont inconnues (C.J. Camphuysen et *al*, 2017). La biomasse (0,01 t/km^2) ainsi que les rapports P/B (0,04 an^{-1}) et Q/B (12,5 an^{-1}) sont tirés du modèle Ecopath de Mauritanie (Guénette, Meissa et Gascuel, 2014). Le régime alimentaire de ce groupe provient de (Pauly D, et al 1998).

B. Matrice diététique

Nous utilisons, pour chaque composant, la composition alimentaire de l'espèce dominante, ou d'une espèce typique, ou une moyenne entre espèces. Les « importations » sont des items consommés qui ne sont pas inclus comme composants de l'écosystème (par ex., les poissons d'un système continental, consommant des insectes tombés dans l'eau).

En principe, notre matrice diététique (Tableau 2) est construite à la base des proportions massiques comme conseillée dans les bonnes pratiques de Heymans et al. (2016), Cette matrice est constituée des fractions qui expriment la contribution de chaque proie dans l'alimentation globale de chaque groupe fonctionnel. Pour les groupes multispécifiques nous avons utilisé les moyens pondérés par biomasse de ses composantes.

Concernant les groupes pour lesquels aucune information sur le régime alimentaire n'est disponible dans notre zone d'étude, nous avons fait recours à des études de régimes alimentaires dans d'autres écosystèmes, ainsi que'aux modèles Ecopath de systèmes semblable à notre zone d'étude, comme les zones d'upwelling.

Tableau 2 Matrice diététique du modèle Ecopath Nord Mauritanie.

	Proie \ prédateur	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Oiseaux marins	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Mammifères marins	-	0,002	-	-	-	-	-	-	-
3	Tortues	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Calamar	-	0,1	-	0,016	-	-	-	0,029	0,005
5	Seiche	-	0,1	-	0,006	-	0,01	0,005	0,019	0,005
6	Poulpe	-	0,1	-	0,005	-	0,01	0,054	0,03	0,01
7	Requins	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	Raies	-	-	-	-	-	-	-	0,003	-
9	Maigre	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	Autres poissons benthopélagiques	-	0,04	-	0,04	0,04	0,036	0,13	-	0,05
11	Merlu	-	-	-	0,03	0,025	0,015	-	0,015	-
12	Autres poissons démersaux	0,1	0,1	-	0,059	0,076	0,052	0,121	0,1	0,2
13	Thons hauturiers	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	Thons côtiers	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	Autres poissons pélagiques	-	-	-	0,02	-	-	0,005	-	0,144
16	Maquereau	-	0,04	-	-	-	0,018	-	-	-
17	Chinchard	-	-	-	0,1	-	-	0,021	-	0,043
18	Anchois	-	-	-	-	-	0,016	-	-	-
19	Ethmalose	-	0,1	-	-	-	-	0,05	-	-
20	Sardine	-	0,04	-	0,15	0,026	0,009	-	-	-
21	Sardinelles	0,18	0,12	-	-	-	-	0,08	-	0,44
22	Poissons bathypélagiques	-	0,02196	-	0,127	-	-	-	-	-
23	Poissons bathydémersaux	-	-	-	-	-	-	0,01	-	-
24	Coquillage	0,2	0,0296762	-	0,08	0,193	0,249	0,1	0,22	-
25	Autres invertébrés	0,2	-	-	0,06	0,117	0,083	0,023	0,0326	-
26	Crustacés	0,3	0,04	-	0,187	0,184	0,314	0,025	0,36	0,04
27	Macrozooplancton	-	-	-	-	0,017	-	0,32	0,0002	0,04
28	Mésozooplancton	-	-	-	-	0,016	0,009	0,056	0,0002	-
29	Microzooplancton	-	-	-	-	0,048	0,024	-	-	-
30	Algues et herbiers	-	-	1	-	-	-	-	-	-
31	Phytoplancton	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	Détritus	-	-	-	0,115	0,168	0,075	-	-	-

	Proie \ prédateur	10	11	12	13	14	15	16
1	Oiseaux marins	-	-	-	-	-	-	-
2	Mammifères marins	-	-	-	-	-	-	-
3	Tortues	-	-	-	-	-	-	-
4	Calamar	-	-	-	-	0,0025	-	-
5	Seiche	-	-	0,004	-	0,005	-	-
6	Poulpe	-	-	0,0052	0,02	-	-	-
7	Requins	-	-	-	-	-	-	-
8	Raies	-	-	-	-	-	-	-
9	Maigre	-	-	-	-	-	-	-
10	Autres poissons benthopélagiques	-	0,05	-	-	0,1375	0,1	-
11	Merlu	-	-	-	-	-	-	-
12	Autres poissons démersaux	0,04	-	0,1	0,08	-	0,072	0,02
13	Thons hauturiers	-	-	-	-	-	-	-
14	Thons côtiers	-	-	-	-	-	-	-
15	Autres poissons pélagiques	-	-	-	0,18	-	-	0,05
16	Maquereau	-	0,3	-	0,033	0,015	-	-
17	Chinchard	0,04	0,25	-	0,3	0,105	0,1	0,05
18	Anchois	0,01	-	-	-	0,155	-	0,08
19	Ethmalose	0,05	-	-	-	-	-	0,06
20	Sardine	0,058	0,2	-	-	0,1375	0,12	0,09
21	Sardinelles	0,05	0,13	-	0,26	0,16	0,12	0,09
22	Poissons bathypélagiques	-	-	-	-	-	-	-
23	Poissons bathydémersaux	-	-	-	-	-	-	-
24	Coquillage	0,05	-	0,145	-	0,005	-	0,03
25	Autres invertébrés	0,1	-	0,28	0,04	-	0,04	-
26	Crustacés	0,1	-	0,0675	0,003	0,195	-	-
27	Macrozooplancton	0,05	-	0,0876	-	0,025	0,103	0,07
28	Mésozooplancton	0,05	-	0,1875	0,03	-	0,2	0,17
29	Microzooplancton	0,013	-	-	-	-	-	0,19
30	Algues et herbiers	0,1	-	0,07	-	-	-	-
31	Phytoplancton	-	-	0,0125	-	-	-	-
32	Détritus	0,2	-	-	-	-	-	0,01

	Proie \ prédateur	17	18	19	20	21	22	23
1	Oiseaux marins	-	-	-	-	-	-	-
2	Mammifères marins	-	-	-	-	-	-	-
3	Tortues	-	-	-	-	-	-	-
4	Calamar	-	-	-	-	-	-	-
5	Seiche	-	-	-	-	-	-	-
6	Poulpe	-	-	-	-	-	-	-
7	Requins	-	-	-	-	-	-	-
8	Raies	-	-	-	-	-	-	-
9	Maigre	-	-	-	-	-	-	-
10	Autres poissons benthopélagiques	-	-	-	-	-	-	-
11	Merlu	-	-	-	-	-	-	-
12	Autres poissons démersaux	0,08	-	-	-	-	-	-
13	Thons hauturiers	-	-	-	-	-	-	-
14	Thons côtiers	-	-	-	-	-	-	-
15	Autres poissons pélagiques	0,02	-	-	-	-	-	-
16	Maquereau	-	-	-	-	-	-	-
17	Chinchard	-	-	-	-	-	-	-
18	Anchois	-	-	-	-	-	-	-
19	Ethmalose	0,006	-	-	-	-	-	-
20	Sardine	0,006	-	-	-	-	-	-
21	Sardinelles	0,05	-	-	-	-	-	-
22	Poissons bathypélagiques	-	-	-	-	-	0,2	0,1
23	Poissons bathydémersaux	-	-	-	-	-	-	0,1
24	Coquillage	0,03	-	-	-	-	-	-
25	Autres invertébrés	0,062	-	-	-	-	0,2	-
26	Crustacés	-	-	-	-	-	0,1	0,3
27	Macrozooplancton	0,2	-	0,1	-	0,053	0,35	-
28	Mésozooplancton	0,2	0,03	0,6	-	0,09016	0,15	0,16
29	Microzooplancton	0,3	0,861	-	0,275	0,268	-	0,08
30	Algues et herbiers	-	-	-	-	-	-	-
31	Phytoplancton	-	0,109	0,3	0,549	0,339	-	-
32	Détritus	-	-	-	0,176	0,1893	-	0,2

	Proie \ prédateur	24	25	26	27	28	29
1	Oiseaux marins	-	-	-	-	-	-
2	Mammifères marins	-	-	-	-	-	-
3	Tortues	-	-	-	-	-	-
4	Calamar	-	-	-	-	-	-
5	Seiche	-	-	-	-	-	-
6	Poulpe	-	-	-	-	-	-
7	Requins	-	-	-	-	-	-
8	Raies	-	-	-	-	-	-
9	Maigre	-	-	-	-	-	-
10	Autres poissons benthopélagiques	-	-	-	-	-	-
11	Merlu	-	-	-	-	-	-
12	Autres poissons démersaux	-	-	-	-	-	-
13	Thons hauturiers	-	-	-	-	-	-
14	Thons côtiers	-	-	-	-	-	-
15	Autres poissons pélagiques	-	-	-	-	-	-
16	Maquereau	-	-	-	-	-	-
17	Chinchard	-	-	-	-	-	-
18	Anchois	-	-	-	-	-	-
19	Ethmalose	-	-	-	-	-	-
20	Sardine	-	-	-	-	-	-
21	Sardinelles	-	-	-	-	-	-
22	Poissons bathypélagiques	-	-	-	-	-	-
23	Poissons bathydémersaux	-	-	-	-	-	-
24	Coquillage	-	-	-	-	-	-
25	Autres invertébrés	-	0,05	0,3	-	-	-
26	Crustacés	-	-	0,01	-	-	-
27	Macrozooplancton	-	-	-	-	-	-
28	Mésozooplancton	-	0,05	0,15	-	0,01	-
29	Microzooplancton	-	0,1	0,13	0,8	0,25	-
30	Algues et herbiers	-	-	-	-	-	-
31	Phytoplancton	0,4	0,3	-	0,1	0,45	0,9
32	Détritus	0,6	0,5	0,4	0,1	0,29	0,1

C. Captures

Les données de captures sont issues de base de données de l'IMROP, A ce niveau on distingue les données de la pêche industrielle qui sont issues du journal de pêche et celles de la pêche artisanale à base des enquêtes.

Après traitement des données nous avons pu classer les débarquements au niveau de la zone nord selon 8 types de flottes (Tableau 3) :

- **Côtier démersal**
- **Hauturier démersal**
- **Hauturier pélagique**
- **Côtier pélagique**
- **Cephalopodier**
- **Crevettier**
- **Merlutier**
- **Artisanal**

Tableau 3 Captures par type de flotte de l'année 2018

Débarquement en (t/km²/année)

Nom des groupes	Côtier démersal	Hauturier démersal	Hauturier pélagique	Côtier pélagique	Cephalo-podier	Crevettier	Merlutier	Artisanal	**Total**
Oiseaux marins	-	-	-	-	-	-	-	-	**-**
Mammifères marins	-	-	-	-	-	-	-	-	**-**
Tortues	-	-	-	-	-	-	-	-	**-**
Calamar	-	-	0,0006	0,0002	0,0909	-	-	-	**0,092**
Seiche	0,0000	0,0000	-	-	0,0783	-	-	-	**0,078**
Poulpe	0,0000	0,0001	-	-	0,3996	-	0,0001	0,5247	**0,924**
Requins	0,0009	0,0000	-	-	0,0000	0,0000	0,0005	0,2305	**0,232**

Raies	0,0005	0,0000	-	-	0,0001	-	0,0005	0,1443	**0,145**
Maigre	0,0060	0,0007	-	-	0,0003	-	-	0,1452	**0,152**
Autres poissons bentho-pélagiques	0,0002	-	0,1188	0,4013	-	-	-	1,7204	**2,241**
Merlu	0,0312	0,0025	0,0407	0,0125	0,0005	0,0000	0,2214	0,0191	**0,328**
Autres poissons démersaux	0,3063	0,0828	0,0979	0,0326	0,1477	0,0008	0,0280	0,3374	**1,034**
Thons hauturiers	-	-	0,3820	-	-	-	-	-	**0,382**
Thons côtiers	-	-	-	0,0342	-	-	-	0,0056	**0,040**
Autres poissons pélagiques	0,0005	0,0006	0,8859	0,6187	0,0297	-	-	0,0166	**1,552**
Maquereau	-	-	4,2179	0,5986	-	-	-	0,3723	**5,189**
Chinchards	0,0101	0,0003	4,0915	0,4561	0,0177	-	0,0016	-	**4,577**
Anchois	-	-	0,0108	0,0394	-	-	-	-	**0,050**
Ethmalose	-	-	-	-	-	-	-	0,0042	**0,004**
Sardine	0,0159	-	2,2696	15,6195	-	-	-	-	**17,905**
Sardinelles	0,0010	0,0001	1,1989	10,3792	0,0004	-	-	5,9210	**17,501**
Poissons bahty-pélagiques	-	-	-	-	-	-	-	-	**-**
Poissons bathy-démersaux	-	-	-	-	-	-	-	-	**-**
Coquillage	-	0,0000	-	-	0,0718	-	-	0,1387	**0,211**
Autres invertébrés	-	-	-	-	-	-	-	-	**-**
Crustacés	0,0004	-	-	-	0,0005	0,0425	0,0003	0,0154	**0,059**

Macro-zooplancton	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Méso-zooplancton	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Micro-zooplancton	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Algues et herbiers	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Phytoplancton	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Détritus	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	**0,373**	**0,087**	**13,315**	**28,192**	**0,838**	**0,043**	**0,252**	**9,595**	**52,696**

.

IV. Calibrage du modèle Ecopath

Après l'implémentation en données de notre modèle, l'étape suivante fut le calibrage, qui nécessite une bonne connaissance de l'écosystème vu la complexité des relations trophodynamiques. Pour calibrer le modèle et après consultation de l'EE et le P/Q des modifications et ajustements ont été appliquées à la version témoin pour qu'elle soit calibrée :

- **Matrice diététique**

Plusieurs groupes présentent des efficacités écotrophiques supérieures à 1 ce qui implique une grande contribution de ces groupe dans l'écosystème via la chaine alimentaire. Pour résoudre cela les modifications suivantes ont été faites pour les groupes concernés :

-Groupe : Autres poissons benthopélagiques : La suppression du cannibalisme dans ce groupe en supposant que leurs comportements les rendent moins accessible ainsi que l'abondance des proies alternatives. Egalement la proportion de ce groupe dans le régime alimentaire des autres poissons pélagiques, a été réduite vu que les poissons pélagiques sont plus abondants au niveau de la zone océanique que la zone néritique.

-Groupe : Seiche : La suppression du cannibalisme dans ce groupe qui est de 0.01, en se basant sur le comportement du composant adulte.

-**Autres poissons pélagiques :** La prédation de ce groupe sur le groupe des chinchards a été doublée vu qu'ils sont plus accessibles aux poissons pélagiques.

- **Rapports P/B et Q/B**

Selon Christensen et Pauly (1992), le rapport production/consommation varie entre 0,1 et 0,3 pour la plupart des groupes. Ce paramètre peut être plus faible pour les prédateurs supérieurs ou plus élevés chez les organismes très petits (exemple 0,5 pour les bactéries). Pour remédier aux valeurs extrêmes de P/Q, plusieurs modifications sur les P/B et Q/B des groupes concernés ont été apportées, en se basant sur d'autres modèles sur des écosystèmes semblables à notre zone d'étude (voir la description des groupes fonctionnels).

- **Biomasse**

  Pour ancrer au maximum le modèle Ecopath par des données locales seulement 11 groupes ont été laissés au modèle pour estimer leurs biomasses. Lors de calibrage de notre modèle plusieurs modifications justifiées (voir la description des groupes fonctionnels) ont été apportés aux biomasses de certains groupes fonctionnelles en se basant sur les estimations de modèles de production.

Vu l'absence de données locales sur les liens du groupe **Méduses** avec les autres groupes, la biomasse estimée par le modèle est nulle, en se basant sur l'avis scientifique des chercheurs de l'IMROP. Lors du calibrage du modèle ce groupe est supprimé.

Lors de calibrage du modèle la biomasse estimée pour le groupe : « **Autres crustacés »** parait aberrante. Alors, pour des raisons de similitude dans le régime alimentaire, ce groupe est fusionné avec le groupe **Crevettes /Crabes** formant alors un seul groupe : **Crustacés**

Avec la version v6.5 du logiciel EwE nous avons pu construire notre modèle Ecopath sur la zone nord de la Mauritanie pour l'année 2018, le modèle est composé de 32 groupes fonctionnels : un groupe de détritus, 2 groupes de producteurs primaires, 3 groupes de zooplancton, 2 groupes de benthos, 4 groupes de mollusques, 17 groupes de poissons, 3 groupes de prédateurs supérieurs.

Chapitre 2 : Critères du MSC sur la définition des groupes LTL clé

La Mauritanie cherche à évaluer le rôle écosystémique des sardinelles et des autres petits pélagiques en tant qu'espèces clé pour prétendre à la certification de cette pêcherie de sardinelles selon les standards IFFO-RS et MSC (à long terme). Pour cela on a integré une analyse supplémentaire du rôle de sardinelles en tant qu'espèce clè selon les critères du MSC.

La démonstration qu'un stock sous-évaluation correspond aux espèces clés de bas niveau trophique, doit inclure des informations qualitatives sur l'écosysytème, les matrices de diète pour construire la chaine trophique et/ou des modèles écosystèmiques qui démontrent la connexion entre les espèces et les groupes trophiques de l'écosystème MSC (2014).

Le Marine Stewardship Council (MSC) est un organisme indépendant à but non lucratif fondé à l'origine par le WWF et Unilever afin de garantir que les pêches soiet bien gérées. Le MSC a mis quelques méthodes qui évaluent le rôle écosystémique de l'espèce à bas niveau trophique candidat dans son écosystème. Ces méthodes, par ordre d'importance sont :

I. Connectivité

Ce critère exige que l'espèce de bas niveau trophique (LTL) soit consommée par la majorité des prédateurs, comme indiqué par MSC (2014) : "une grande partie des connexions trophiques dans l'écosystème impliquant cette espèce, ce qui entraîne une dépendance importante des prédateurs".
La matrice de diète peut être utilisée pour étudier la connexion, ce qui peut être exprimé sous la forme d'une **connectivité proportionnelle** non pondérée ou de **l'indice SURF** pondéré.

A. La connectivité proportionnelle (PC)

La connectivité proportionnelle est calculée comme suit, à partir de notre matrice alimentaire d'Ecopath qui a 32 composantes, et nécessite seulement une connaissance de l'interaction entre les groupes, et ne tient pas compte la fraction proportionnelle du régime de chaque groupe :

- La connexion totale T dans une matrice alimentaire est le nombre de toutes les interactions positives (non nulles) entre les composants (c.-à-d. Prédateurs-proies).

- La connexion C d'un composant est le nombre total d'interactions avec les proies plus le nombre total d'interactions prédateurs de ce composant calculé à partir de la matrice alimentaire.
- Ensuite, la connexion proportionnelle de la proie i est **PCi=Ci /T**

Les valeurs de connectivité inférieures à 4% indiquent un stock LTL non-clé. Des valeurs supérieures à 8% indiquent un stock LTL clé.

B. SURF

SURF a l'avantage d'être relativement insensible au regroupement d'espèces de prédateurs et de proies (Essington et Pláganyi 2013). Cet indice est calculé comme suit :

$$\mathrm{SURFi} = \frac{\sum_{j=1}^{n}(Pj,i)^2}{\mathrm{T}}$$

où **Pj,i** est la fraction alimentaire du prédateur j sur la proie i (la proportion du régime du prédateur j qui se compose de la proie i).

Les valeurs SURF inférieures à 0,001 indiqueront un stock LTL non-clé. Les valeurs SURF supérieures à 0,005 indiquent un stock LTL clé.

II. Transfert d'énergie

MSC (2014) exige qu'un grand volume d'énergie passant entre les niveaux trophiques inférieurs et supérieurs passe par ce stock clé LTL candidat, pour évaluer cela les deux méthodes suivantes sont suggérées :

A. B_{LTL} / B consommateurs

C'est le taux de biomasse de ce stock par rapport aux autres consommateurs. Il est égal à la biomasse du stock clé principal candidat (LTL), divisé par la biomasse de tous les consommateurs dans l'écosystème (c.-à-d., Tous les composants de l'écosystème qui ne sont pas des producteurs primaires ou des détritus).

D'après les résultats basés sur la modélisation, MSC suggère que tout stock LTL qui représente plus de 5% de la biomasse des consommateurs dans l'écosystème devrait être considéré comme un stock clé LTL.

B. Taille de capture

La taille des captures peut être considérée comme liée à l'importance écosystèmique du stock et peut être utilisée comme un argument plausible selon lequel une espèce LTL répond ou ne satisfait pas à ce critère :

Selon le MSC(2014) :

- ✓ Les stocks de LTL qui font l'objet de petites prises (<50 000 t de capture totale du stock au cours des 5 dernières années) par les pêches à petite échelle ne seront normalement pas des stocks clés de LTL. Les prises inférieures à ce seuil peuvent encore indiquer les stocks de LTL clés dans les cas où ils sont prélevés dans des écosystèmes exceptionnellement petits.
- ✓ La situation avec des stocks de LTL qui font l'objet de grandes prises (par exemple,> 100 000 t de captures totales du stock au cours des 5 dernières années) en ce qui concerne le statut clé de LTL est moins facile à prévoir. Cependant, l'hypothèse que ces pêches aient accès à des stocks de LTL non clés, ne doit pas être émise.

III. Contrôle Taille de guêpe (Wasp-waisted-ness)

Le critère ici c'est que dans les écosystèmes où les captures du stock de LTL candidat sont inférieures à celles de toutes les autres espèces au même niveau trophique, l'écosystème peut être considéré comme non contrôlé et le stock candidat ne sera pas normalement un stock LTL clé (MSC, 2014).

Partie 3
Résultats et Discussions

Partie 3 : Résultats et Discussions

Dans cette partie nous analysons les sorties du modèle pour préciser certains aspects du fonctionnement trophique de l'écosystème de notre zone d'étude, qui sont utiles pour mieux appréhender ensuite l'impact de la pêche sur les différentes composantes de cet écosystème.

Chapitre 1 : Résultats

Ce chapitre traite en premier leu, les résultats des sorties du modèle. Par la suite , nous procéderons aux tests du réferenciel du MSC pour avoir une idée sur le role des sardinelles dans cet écosystème.

I. Évaluation des sorties du modèle Ecopath

A. Les paramètres de sorties

Les estimations du modèle (Tableau 4) paraissent cohérentes, sauf pour quelques groupes mentionnés dans le chapitre construction du modèle.

Ainsi, les rapports P/Q entrés et estimés sont conformes à l'intervalle de définition du rapport production/consommation, également les EE qui sont comprises entre 0 et 1 comme définie.

La régression linéaire des biomasses par l'outil Pre-Bal(Figure 13), parait logique vu qu'il devrait y avoir plus de biomasse de proies dans les écosystèmes que de biomasse des prédateurs. On constate une baisse de la biomasse en remontant dans la pyramide trophique des producteurs primaires jusqu'aux tops consommateurs.

Tableau 4 Estimations basiques d'Ecopath après calibration

	Nom des groupes	Niveau trophique	Aire d'habitat (fraction)	Biomasse (t/km²)	P/B (/an)	Q/B (/an)	EE	P/Q
1	Oiseaux marins	3,49	1	0,01	0,28	67,00	0,00	0,00
2	Mammifères marins	4,07	1	0,01	0,04	12,50	0,15	0,00
3	Tortues	2,00	1	0,01	0,50	3,50	0,00	0,14
4	Calamar	3,68	1	0,74	1,87	11,70	0,37	0,16
5	Seiche	3,23	1	0,90	1,35	11,70	0,95	0,12
6	Poulpe	3,41	1	3,73	1,05	11,70	0,64	0,09
7	Requins	3,81	1	0,68	0,64	3,00	0,53	0,21
8	Raies	3,67	1	1,16	0,47	6,30	0,32	0,07
9	Maigre	3,95	1	0,50	0,44	2,10	0,69	0,21
10	Autres poissons benthopélagiques	3,06	1	10,00	1,03	4,50	0,95	0,23
11	Merlu	4,06	1	1,50	1,20	3,40	0,96	0,35
12	Autres poissons démersaux	3,30	1	16,00	1,82	5,20	0,98	0,35
13	Thons hauturiers	4,12	1	0,61	0,66	14,37	0,95	0,05
14	Thons côtiers	3,79	1	0,06	0,67	7,29	0,95	0,09
15	Autres poissons pélagiques	3,68	1	7,49	0,96	5,00	0,95	0,19
16	Maquereau	3,52	1	10,00	0,81	2,70	0,99	0,30
17	Chinchard	3,42	1	17,00	1,10	5,00	0,94	0,22
18	Anchois	2,90	1	4,00	0,96	9,13	0,98	0,11
19	Ethmalose	2,94	1	3,44	1,50	7,00	0,95	0,21
20	Sardine	2,28	1	25,21	1,68	12,50	0,77	0,13
21	Sardinelles	2,51	1	33,21	1,13	13,00	0,97	0,09
22	Poissons bahtypélagiques	3,59	1	1,60	1,00	5,00	0,95	0,20
23	Poissons bathydémersaux	3,27	1	0,09	0,32	5,00	0,95	0,06
24	Coquillage	2,00	1	17,80	2,50	8,30	0,81	0,30
25	Autres invertébrés	2,22	1	48,16	2,60	15,00	0,95	0,17
26	Crustacés	2,71	1	17,81	2,10	7,00	0,95	0,30
27	Macrozooplancton	2,80	1	16,06	4,30	23,00	0,95	0,19
28	Mésozooplancton	2,26	1	18,73	9,60	32,00	0,95	0,30
29	Microzooplancton	2,00	1	34,10	25,00	83,33	0,95	0,30
30	Algues et herbiers	1,00	1	246,47	4,06		0,01	
31	Phytoplancton	1,00	1	80,60	100		0,43	
32	Détritus	1,00	1	671,10			0,16	

***Les cases bleues sont les données estimées par le logiciel**

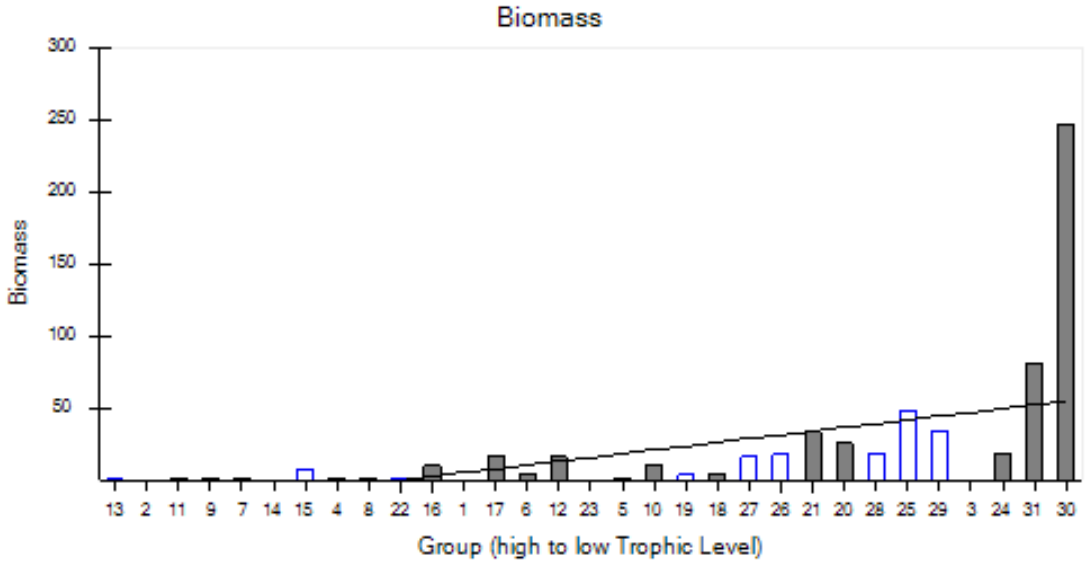

Figure 13 Régression linéaire des biomasses (entrées et estimées) par l'outil Pre-Bal

A travers le module intégré « Ecotroph » on a pu avoir la répartition des captures des différents groupes de notre modèle sur les niveaux trophiques. Les captures de la pêcherie durant l'année 2018 sont faites surtout sur les espèces de faible niveau trophique comme la sardine (2,28) et les sardinelles(2,51) (Figure 14).

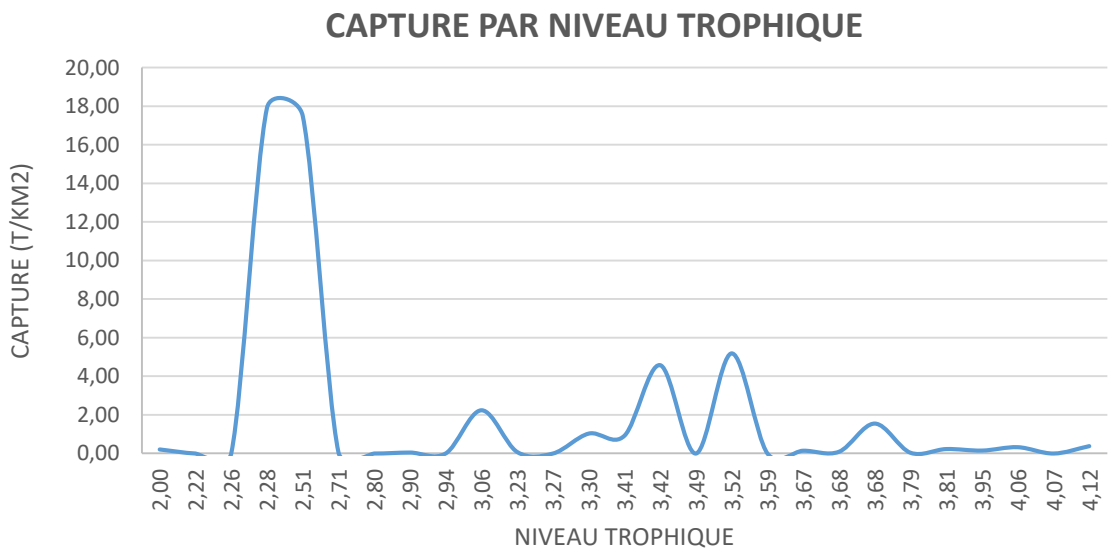

Figure 14 Répartition des captures globalement par niveau trophique (Ecotroph)

Les captures par flotte par niveau trophique (Figure 15) montrent que la pêche côtière pélagique ainsi que la pêche artisanale visent essentiellement des niveaux trophiques faibles. Ces niveaux sont représentés principalement par la sardine et les sardinelles. Les captures de la pêche hauturière pélagique les plus importantes se font sur des niveaux trophiques représentés par le maquereau et chinchards.

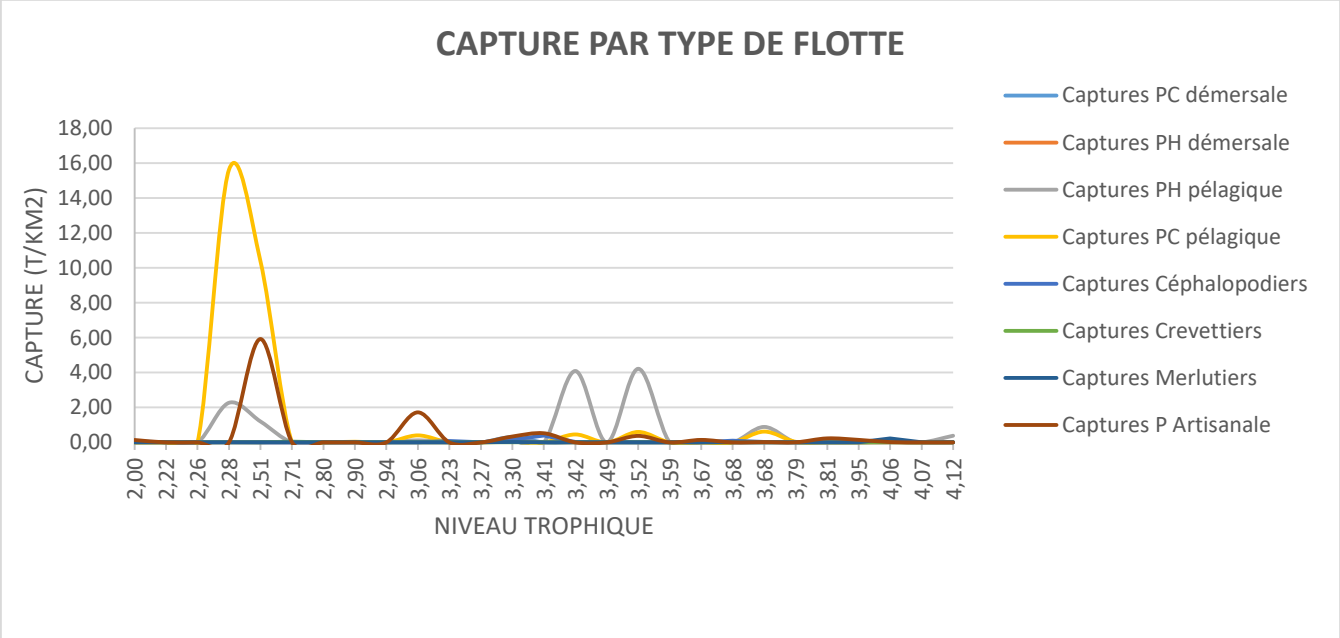

Figure 15 Répartition des captures selon le type de flottes par niveau trophique (Ecotroph)

B. Les indicateurs de l'état de l'écosystème

Notre modèle Ecopath représente une biomasse totale de 617,66 t/km² (hors détritus) avec une production nette du système de 6321,71t/km2/an. La capture de pêche totale de l'écosystème est estimée à 52,69t/km²/an.

1. Niveau trophique

Le modèle Ecopath utilise la notion de niveau trophique proposée par Odum et Heald (1975). Les organismes considérés peuvent se nourrir sur plusieurs niveaux trophiques et sont donc placés à des niveaux trophiques fractionnés. Dans le cas des détritus et des producteurs primaires, cette valeur est, par définition, égale à 1.

Les niveaux trophiques les plus elevés dans notre modèle sont ceux des prédateurs supérieurs, 4,12 chez les thons hauturières et 4.07 chez les mammifères marins. Le niveau trophique moyen des captures évalué par cette étude est de 2,733. Ce qui veut dire, que nos pêcheries ciblent plus les espèces de faible niveau trophique.

2. Rapport (Production primaire/Respiration de l'écosystème)

Considéré par Odum (1971) comme un rapport important pour la description de la maturité d'un écosystème. Dans les premiers stades de développement d'un système, la production devrait dépasser la respiration, ce qui entraînera un ratio supérieur à 1. Dans les systèmes souffrant de pollution organique, ce ratio devrait être inférieur à 1. Enfin, dans les systèmes matures, le ratio devrait s'approcher de 1. Pour notre modèle le rapport PP/R calculé par le modèle est de 3,3 ce qui implique que notre écosystème n'est pas mature.

3. Efficacité des pêcheries

Ce ratio varie largement entre les différents systèmes, avec des valeurs élevées pour les systèmes avec un poisson de récolte de faible niveau dans le réseau trophique (une pêcherie d'upwelling) et de faibles valeurs dans les systèmes dont les stocks de poissons sont sous-exploitées ou lorsque la pêche est concentrée sur les prédateurs supérieurs comme les thons. L'indice est le ratio entre deux flux (Total des captures / Total de la production primaire nette) et est donc sans dimension. Il est généralement beaucoup plus faible que 1,0 (la moyenne mondiale pondérée est d'environ 0,0002). Dans notre étude ce ratio est de 0,006 ce qui est 30 fois supérieur à la moyenne mondiale.

4. Indice de Pedigree du système

Le pedigree des entrées Ecopath est basé sur leurs origines (Annexe 1) en précisant l'incertitude probable associée à ces entrées (Annexe 2). Les scores des indicateurs de pedigree « allant de 0,0 à 1,0 » sont calculés en moyenne sur tous les paramètres et groupes fonctionnels d'un modèle pour fournir un indice de qualité de ce modèle. Notre modèle a un indice de Pedigree de 0,514.

C. Flux trophiques

Le modèle EwE nous donne l'opportunité de voir le réseau trophique ainsi que les flux de biomasse sur un même graphique. Les groupes de haut niveau trophique sont les thons hauturiers, merlu, maigre et les mammifères marins. À la base de la chaîne alimentaire, nous trouverons les producteurs primaires qui sont représentés par le phytoplancton et le groupe «Algues et herbiers ».

Le diagramme de flux (Figure 16) montre bien la position de notre espèce cible « Sardinelles » qui se trouve à un niveau lui permettant de canaliser un flux d'énergie allant des niveaux inférieurs vers les niveaux supérieurs, La couleur verte indique les relations prédateur-proie, tandis que la couleur rouge indique les relations proie-prédateur.

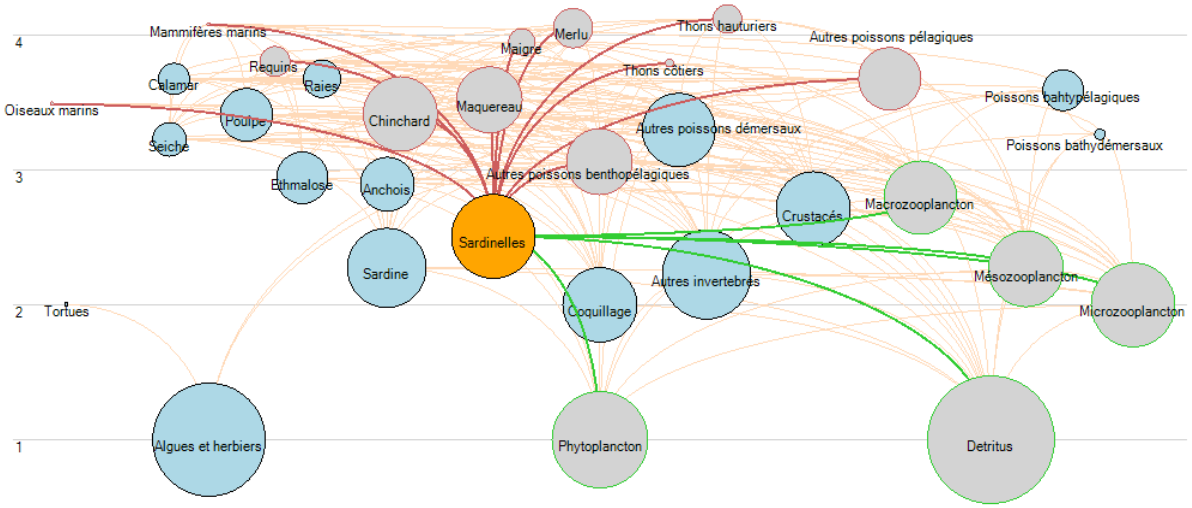

Figure 16 Positionnement et interactions (Proie-Prédateurs) du groupe "Sardinelles" dans tout le réseau trophique du système étudié.

D. Chevauchement des niches

Cet outil du modèle EwE permet de regrouper les groupes fonctionnelles selon la similitude des proies ou/et des prédateurs, mais ne tient pas compte la dimension physique vu que tel groupes ne partagent pas forcément les mêmes biotopes.

Dans notre cas on peut distinguer plusieurs regroupements (Figure 17). Ceux qui partagent les mêmes proies comme la Sardine(20) et les sardinelles (21), et également le coquillage (24) et Autres invertébrés (25). Pour les groupes qui sont plus proches les uns des autres par leur prédateur, nous avons la Seiche (5) et le coquillage(24).

On distingue également le regroupement de seiche (5) et Poulpe (6) qui montre une similarité tant au niveau de prédateurs qu'au niveau de proies.

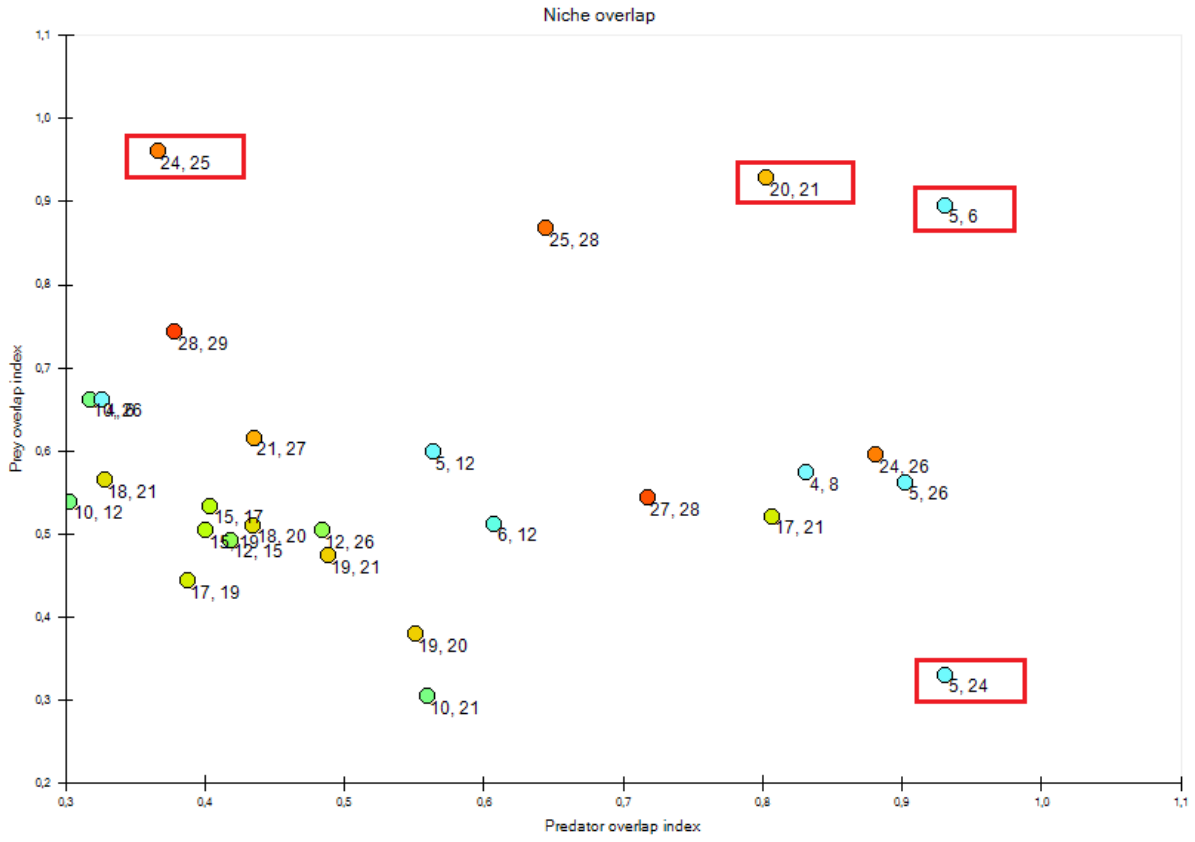

Figure 17 Chevauchement proie - prédateur entre les groupes fonctionnels (N°) du modèle Ecopath.

E. Impact trophique mixte

A travers la matrice d'impact trophique mixte (Figure 18) on peut distinguer plusieurs types d'impact. Des impacts via les relations proies /prédateurs et les impacts par activité de flotte. Par exemple, les proies qui impactent positivement leurs prédateurs : c'est le cas du groupe microzooplancton sur l'anchois, mésozooplancton sur l'Ethmalose et le groupe « Algues et herbiers » sur les tortues. Les groupes Phytoplancton et Détritus impactent positivement presque tous les composants de l'écosystème. La plus part des prédateurs ont un impact négatif sur leurs proies.

Tous les groupes montrent un impact négatif sur eux même, cela peut être expliqué par une compétition sur les ressources comme hypothèse. Certains groupes ont un impact négatif sur d'autres groupes en absence d'une relation directe entre eux, mais vu qu'ils partagent le même type de proie, c'est le cas des groupes : Poissons démersaux et Autres poissons benthopélagiques sur les Tortues.

Cette matrice nous montre également l'impact négatif des flottes sur les groupes cibles, par exemple, l'impact de la pêche artisanale sur les requins et le maigre ; la pêche hauturière pélagique qui impacte négativement les thons hauturiers et le maquereau, et la pêche côtière pélagique qui impacte négativement la sardine et les thons côtiers.

Les autres impacts qui peuvent avoir lieu dans l'écosystéme ne figurent pas dans cette matrice vu que le modèle ne tient compte que les données entrées et cela parmi ces limites.C'est le cas par exemple de l'impact de la pêche sur les espèces vulnérables : les tortues, les mammiféres marins…

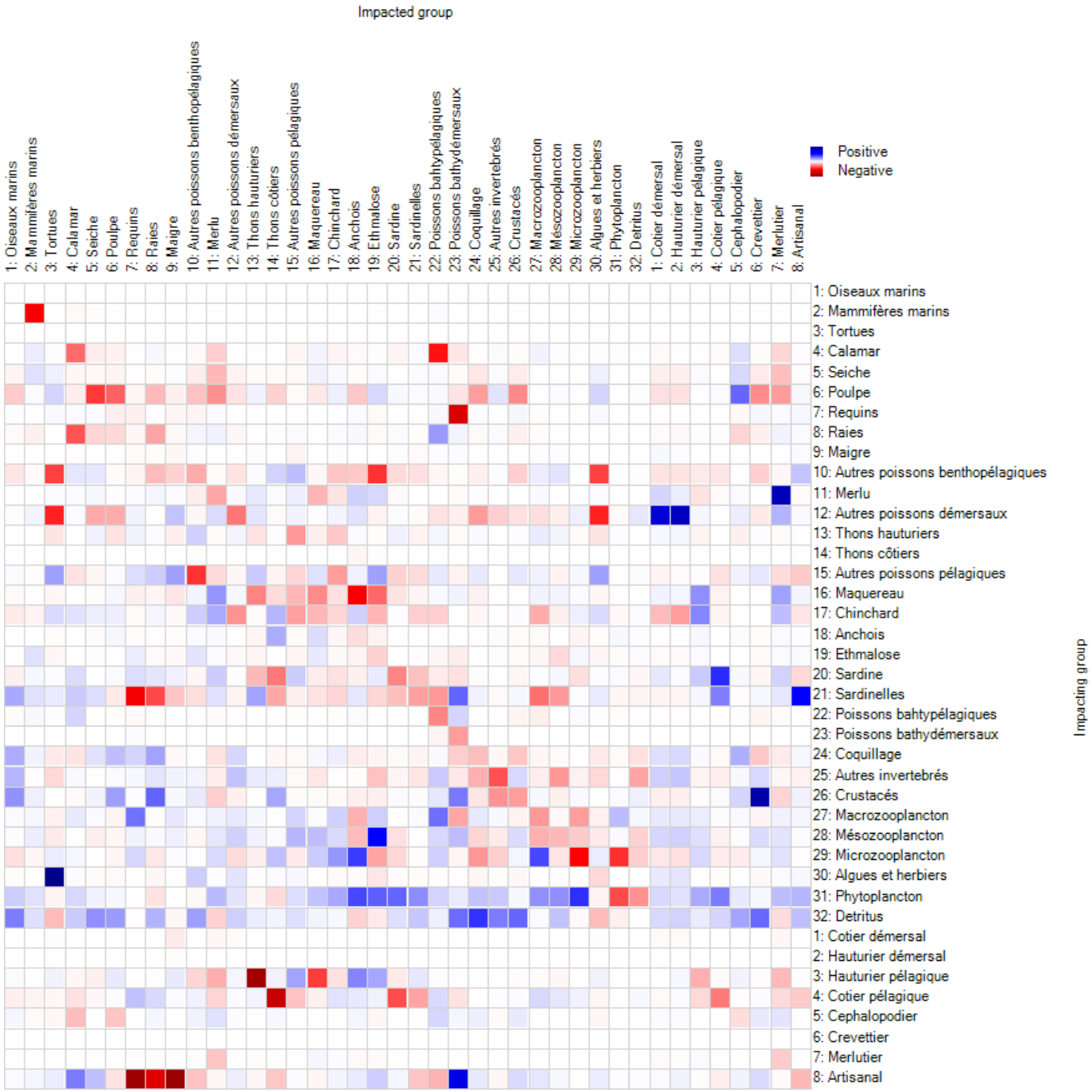

Figure 18 Matrice d'impact trophique mixte

II. Rôle écosystémique des Sardinelles selon le référentiel MSC

Pour répondre aux besoins de certification de la pêcherie de petits pélagiques nous nous sommeq foclisés sur les sardinelles comme espèces à faible niveau trophique (LTL), nous avons examiné à travers les 5 critères d'évaluation établies par le MSC (MSC, 2014) le rôle des sardinelles dans notre écosystème.

A. Connectivité

En se basant sur la matrice diététique on examine la connectivité proportionnelle non pondérée et l'indice SURF pondéré.

1. La connectivité proportionnelle (PC)

Les résultats de la connectivité proportionnelle pour notre modèle (Figure 19) montre une CP de 0.039 (<0.08) donc, les sardinelles se positionnent, d'après ce critère, comme une espèce de bas niveau trophique non-clé.

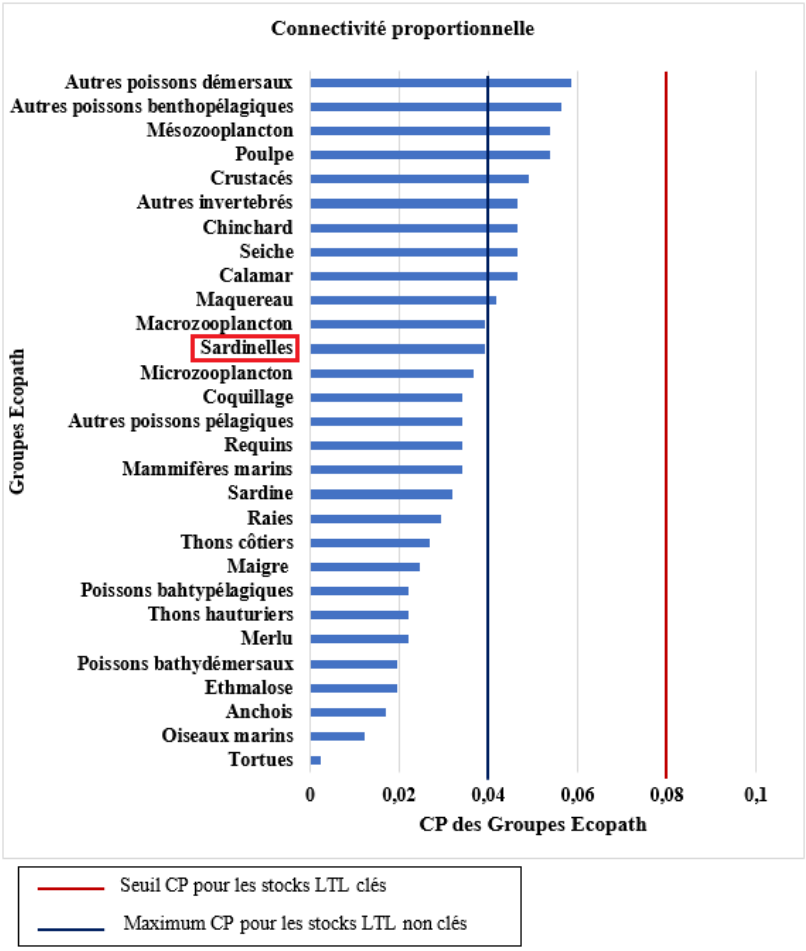

Figure 19 Connectivité proportionnelle des différents groupes de notre modèle Ecopath

2. SURF

Les résultats de l'indice de SURF pour notre modèle (Figure 20) montre un SURF de 0.0009 (<0.005) donc, les sardinelles se positionnent, d'après ce critère, comme une espèce de bas niveau trophique non-clé.

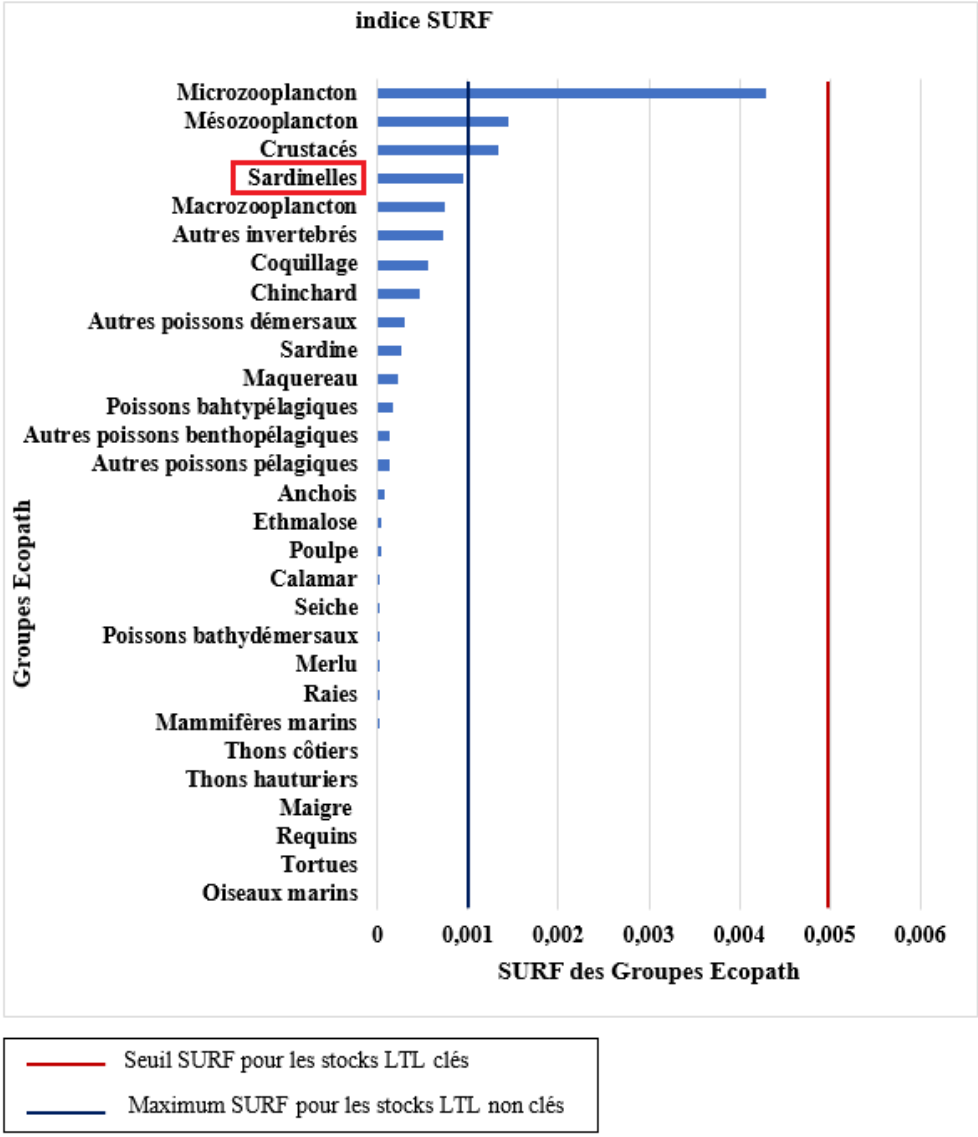

Figure 20 Indice SURF des différents groupes de notre modèle Ecopath

B. Transfert d'énergie

En se basant sur le volume d'énergie passant entre les niveaux trophiques inférieurs et supérieurs des sardinelles, nous avons :

1. B_{LTL} / $B_{consommateurs}$

Dans cet écosystème, les sardinelles contribuent à 11,36% de la biomasse totale des consommateurs, indiquant selon ce critère que les sardinelles constituent une espèce clé dans l'écosystème.

2. Taille de capture

Les captures des sardinelles dans notre zone d'étude excèdent bien les 100 000 t, avec une moyenne sur 5 ans (2014-2018) de 436 000 t. En se basant sur ce critère rien ne peut être conclu sur la position des sardinelles dans notre écosystème.

C. Contrôle Taille de guêpe

En assemblant les captures des groupes du modèle Ecopath, les captures de sardinelles constituent 49% de toute la capture du 2ème niveau trophique. Elles atteignent 17,5 t/km^{-2} contre une capture totale de 18,23 t/km^{2} du reste des groupes du même niveau. Ainsi, les captures de sardinelles sont nettement supérieures à la capture totale des autres groupes du même niveau trophique. Les sardinelles seront donc une espèce clé dans l'écosystème selon ce critère.

Chapitre 2 : Discussions

Notre modèle qui se porte sur la zone nord de la Mauritanie (19,15°-21°N), a été développé comme modèle préliminaire. Ce modèle nous fournit des données importantes qui peuvent aider sur les questions de gestion bien qu'il représente une faiblesse pour certaines données, vu l'absence d'études locales. Dans notre discussion, nous abordons certains résultats qui ressortent de ce modèle également on discutera les limites du modèle Ecopath.

En termes de qualité, malgré l'incertitude qui concerne certaines entrées, notre modèle semble être bien positionné par rapport aux autres modèles dans le monde avec un indice de Pedigree de 0.514. À titre d'information, le nombre des modèles avec un indice de Pedigree entre 0.4 et 0.59 représentent 48% des modèles étudiés par Morissette (2007).

I. État de l'écosystème.

Le niveau trophique moyen des captures dans notre modèle est conforme avec les caractéristiques d'une pêcherie dans un système d'upwelling.

D'après le rapport Production primaire/Respiration de l'écosystème qui est de 3.3 notre écosystème ne semble pas être en phase de maturité. Cela reste à confirmer par d'autres études plus approfondies sur la maturité de l'écosystème.

Par rapport à la structure du modèle, les groupes (oiseaux marins, tortues) montrent une *EE* nulle. En ce qui concerne les groupes planctoniques (phyto et zooplancton), 43% à 95 % de la production sont utilisés dans notre système. Les valeurs d'*EE* pour les producteurs primaires indiquent qu'une grande partie de leurs productions terminent dans le compartiment détritique sous forme de matière organique particulaire. On peu constaté qu'une quantité de la production de notre écosystème est exporté vers d'autres écosystèmes à traver les espèces migratrices comme les petits pélagiques, les thonidés et les oiseaux marins.

II. Limites du modèle

Ecopath ne peut pas donner une explication pour toutes les relations dans l'écosystème. Le seul mécanisme d'interaction considéré est la consommation directe. Le modèle ignore les facteurs tels que l'altération de l'habitat, les changements de régime et d'autres interactions trophiques. Comme indiquent Christensen et Walters(2000) la raréfaction d'un prédateur entraînera une augmentation de sa proie. Cependant, la biomasse de la proie pourrait ainsi rester stable - ou

même diminuer- en raison de la mortalité accrue par prédation d'un autre prédateur moins compétitif.

L’une des sources d’erreur dans le modèle Ecopath est le type de proie dans le régime alimentaire d’un prédateur donné. Une proie accidentelle peut biaiser la composition du régime alimentaire pour certains prédateurs ce qui va se répercuter dans le réseau trophique provoquant une surestimation des biomasses.

Egalement, parmi les limites du modèle EwE est le fait qu’il n'y a pas de considération explicite des changements saisonniers ou de la migration dirigée (Walters et al., 1999), ainsi que la sélectivité de taille de la prédation qui est ignorée. Les phénomènes abiotiques tels que l'absorption des éléments nutritifs par le phytoplancton ne peuvent pas être considérés, ce qui ne permet pas de représenter la limitation des éléments nutritifs, ce qui constitue une limite importante à la production primaire dans la zone d'upwelling.

Conclusion générale

Ce modèle Ecopath construit pour représenter l'écosystème de la zone nord de la Mauritanie (19,15°-21°N) devrait être considéré comme un exercice permettant une actualisation des modèles antérieurs sur l'écosystème mauritanien. Egalement il ouvre des perspectives pour d'autres études locales et sous régionales. Le modèle à ce stade fournit des informations intéressantes pour répondre à des questions de gestion comme celles posées par les besoins du processus de certification et de l'approche écosystémique des pêches.

A part les espèces d'intérêt halieutique (Petits pélagiques et céphalopodes) qui sont bien étudiées sur un plan biologique, Beaucoup d'espèces présentent des lacunes dans les données qui nécessiteront des études pour contribuer à l'amélioration des prochaines modélisations. De nombreuses estimations ont été adoptées à partir d'autres modèles concernant les régimes alimentaires et les paramètres d'entrées des groupes (Biomasse, P/B, Q/B,…). Certaines données ont été laissées au modèle pour les estimer en se basant sur les intervalles de confiances attribués à chaque origine des données. Les espèces qui présentent des interactions importantes, ainsi que les espèces menacées doivent faire l'objet d'études locales pour mettre en évidence leur rôle écologique dans l'écosystème.

Les améliorations requises pour la modélisation peuvent porter sur la division des groupes de poissons par régime alimentaire (herbivore, omnivore, piscivore), ainsi que la séparation des principaux prédateurs de sardinelles (merlu et maigre), par leur stade de vie : Juvénile - adulte. Une amélioration des données qui concernent les prédateurs supérieurs (Oiseux et mammifères marins) est nécessaire vu que ceux-ci permettent de boucler le réseau trophique et équilibrer l'écosystème.

Autres capacités du logiciel peuvent être utilisées prochainement pour prendre en considération les questions relatives aux autres différentes dimensions spatiales et temporelles des interactions, ainsi que les considérations sociales et économiques. A l'aide du module Ecosim, une simulation des scénarios de pêche dans le temps est possible via les séries temporelles. Autres modules, peuvent être utilisés comme, Ecospace qui permet le suivi d'impact des AMP, Ecotracer pour la prédiction de la bioaccumulation des polluants persistants.

Références

- A. V.Gushchin.2013.Feeding of Fish Young from Littoral of the Gulf Arguin (Mauritania). Journal of Ichthyology, 2013, Vol. 53, No. 9, pp. 731–738.
- A.V. Gushchina and A. Corten.2015.Feeding of Pelagic Fish in Waters of Mauritania:1. European Anchovy Engraulis encrasicolus, European Sardine Sardina pilchardus, Round Sardinella Sardinella aurita, and Flat Sardinella S. maderensis.Journal of Ichthyology, 2015, Vol. 55, No. 1, pp. 77–85
- A.V. Gushchina and A. Corten.2016. Feeding of Pelagic Fish in Waters of Mauritania: 2. Representatives of Families Carangidae, Scombridae, Pomatomidae, and Trichiuridae. Journal of Ichthyology, 2016, Vol. 56, No. 1, pp. 98–106
- A.V. Gushchina and A. Corten.2017.Feeding of Pelagic Fish in Waters of Mauritania: 3 :Atlantic Chub mackerel Scomber colias, Atlantic horse mackerel Trachurus trachurus, Cunene horse mackerel Trachurus trecae. Journal of Ichthyology, 2017, Vol. 57, No. 3, pp. 410–423
- Abdel-Aziz, S. H., Khalil, A. N., et Abdel-Maguid, S. A. 1993. Food and feeding habits of the common guitarfish, Rhinobatos rhinobatos in the Egyptian Mediterranean waters.
- Alder, J. et Pauly, D. 2006. « On the multiple uses of forage fish: from ecosystem to markets ». Fisheries Centre Research Reports 14(3):109.
- Amorim, P., Duarte, G., Guerra, M. Morato, T., Stobberup, K.A. 2004. Preliminary Ecopath model of the Guinea-Bissau continental shelf ecosystem (NW Africa), p. 95-112. *In*: Palomares, M.L.D., Pauly, D. (eds.) West African marine ecosystems: models and fisheries impacts. Fisheries Centre Research Reports 12(7). Fisheries Centre, UBC, Vancouver.
- Anonyme, 1981. Contributions soviétiques à l'évaluation des ressources halieutiques dans la région du COPACE. FAO,COPACE/TECH/81/31 (Fr). 75 pp.
- Ba, B. A., Diop, M. S., Diatta, Y., Justine, D., & Ba, C. T. (2013). Diet of the milk shark,*Rhizoprionodon acutus*(Rüppel, 1837) (Chondrichthyes: Carcharhinidae), from the Senegalese coast. Journal of Applied Ichthyology, 29(4), 789–795.
- Bakun, A. 1996. Patterns in the ocean: ocean processes and marine population dynamics. California Sea Grant, in cooperation with Centro de Investigaciones Biologicas del Noroeste, La Paz, Mexico.

- Bakun, A., Babcock, E. A., Lluch-Cota, S. E., Santora, C., et Salvadeo, C. J. 2010. « Issues of ecosystem-based management of forage fisheries in ”open” non-stationary ecosystems: the example of the sardine fishery in the Gulf of California ». Reviews in Fish Biology and Fisheries 20(1):9-29.
- Béavogui Balla II 2011 Etude du régime alimentaire du requin marteau halicorne (Sphyrna *lewini*) débarqué à Kassa, Iles de Loos.Centre National des Sciences Halieutiques de Boussoura (CNSHB).2011 Conakry
- Boëly, T. 1979. Biologie de deux espèces de sardinelles (*Sardinella aurita*, Valenciennes, 1847 et *Sardinella maderensis*, Lowe, 1841) des côtes Sénégalaises. Thèse de doctorat d’Etat, Univ. Paris VI. 219 p.
- Boëly, T. et Fréon, F. 1979. Les ressources pélagiques côtières. In: Troadec et Garcia: Les ressources halieutiques de l’Atlantique centre-ouest. 1ere partie: Les ressources du golf de Guinée, de l’Angola à la Mauritanie. FAO Doc. Tech. 186 p.
- Boëly, T., Chabane, J., Fréon, P. et Stequert, B. 1982b. Cycle sexuel et migration de *Sardinella aurita* sur le plateau continental ouest-africain, des iles Bissagos à la Mauritanie. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer., 180: 350-355.
- Braham, CB ; Fréon, P ; Laurec, A ; Demarcq, H ; Bez, N. 2013. New insights in sardinellas stocks spatial dynamics off Mauritania (North-West Africa) from logbook data analysis
- Braham, CB; Corten A. 2015. Pelagic fish stocks and their response to fisheries and environmental variation in the Canary Current Large Marine Ecosystem. In: Valdés, L. and Déniz-González, I. (eds). Oceanographic and biological features in the Canary Current Large Marine Ecosystem
- C.J. Camphuysen, R. van Bemmelen, T. van Spanje.2017. Ship-based seabird and marine mammal surveys off Mauritania, 1-12 November 2016.
- Capapé, C. (1977) Etude du régime alimentaire de la Mourine vachette, Pteromylæus bovinus (Geoffroy Saint-Hilaire, 1817), (Pisces, Myliobatidæ) des côtes tunisiennes. Journal du Conseil pour l'Exploration de la Mer 37 , 214 – 220 .
- Chavance, P., Ba, I. et Krivospichenko, S. 1991. Les ressources pélagiques de la ZEE mauritanienne. Bull. cent. Nat. Rech. Océanogr. Et des pêches, Nouadhibou., 23: 28-72
- Cheikhna GANDEGA , M. DIA et M. GHORBEL 2009 regime alimentaire du diagramme gris *plectorhynchus mediterraneus* (guichenot, 1850), (poisson,

haemulidae) des cotes mauritaniennes Bull. Inst. Natn. Scien. Tech. Mer de Salammbô, Vol. 37,

- Christensen, V. et D. Pauly. 1997. Placing fisheries resources in their ecosystem context.EC Fish. Coop. Bull., 10: 9-14.
- Christensen, V., et C.J. Walters. 2000b. Ecopath with Ecosim: methods, capabilities and limitations. In D. Pauly and T. Pitcher (Eds.). Methods for assessing the impact of fisheries on marine ecosystems of the North Atlantic. Fish. Cent. Res. Rep., 8: 79-105.
- Christensen, V., et Pauly, D. 1992. « A guide to the ECOPATH II program (version 2.1) ». P. 72 p in ICLARM Software 6.
- Christensen, V., et Pauly, D. 1992. « A guide to the ECOPATH II program (version 2.1) ». P. 72 p in ICLARM Software 6.
- Christensen, V., et Walters, C. J. 2004. Ecopath with Ecosim: methods, capabilities and limitations. Ecological modelling, 172(2), 109-139.
- Corten, A. 2012. Rapport de l'atelier sous regional sur les lacunes dans la connaissance sur les sardinelles. Dakar, les 19, 20 et 21 juin 2012. CSRP.Sous presse.
- Cury, P. et al. 2000. « Small pelagics in upwelling systems: patterns of interaction and structural changes in ”wasp-waist” ecosystems ». ICES Journal of Marine Science 57(3):603-18.
- Dayton, P. K., Thrush, S. F., Agardy, M. T., et Hofman, R. J. 1995. Environmental effects of marine fishing. Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems, 5(3), 205-232.
- Dedah S. O., 1995 – Modelling a multispecies schooling fishery in an upwelling environment, Mauritania, West Africa. Thèse Univ. Etat Louisiane, 177.
- Diallo, I., Cissé, I., Bah, A. 2004. Modèle trophique du système système côtier du plateau continental Guinéen, p. 113-123. *In*: Palomares, M.L.D., Pauly, D. (eds.) West African marine ecosystems: models and fisheries impacts. Fisheries Centre Research Reports 12(7). Fisheries Centre, UBC, Vancouver.
- Domain, F., 1980 Contribution à la connaissance de l'écologie des poissons démersaux du plateau continental sénégalo-mauritanien. Les ressources démersales dans le contexte général du Golfe de Guinée. Thése Doct.Etat, Univ.Pierre et Marie Curie, Paris VI et Museum Nat.Hist.Nat., 2 vol.:342 et 68 p.

- Essington, Tim et Éva E. Pláganyi. 2013. « Model and data adequacy for Marine Stewardship Council key low trophic level species designation and criteria and a proposed new assessment index ». 171-91.
- Fulton, E. A., Link, J. S., Kaplan, I. C., Savina-Rolland, M., Johnson, P., Ainsworth, C., ... et Smith, D. C. 2011. Lessons in modelling and management of marine ecosystems: the Atlantis experience. Fish and Fisheries, 12(2), 171-188.
- Gandega CHEIKHNA, M.MOHAMED, A.WAGUE,M.GHORBEL, A.CHAFI 2011 Ecologie trophique de *Dentex canariensis* (Steindachner,1881)des côtes de Nouadhibou(Mauritanie) ScienceLib Editions Mersenne:Volume3,.www.sciencelib.fr
- Garcia, S. M., et Cochrane, K. L. 2005. Ecosystem approach to fisheries: a review of implementation guidelines. ICES Journal of Marine Science, 62(3), 311-318.
- GASCUEL D., Morissette L., Palomares M. et Christensen V. 2008. Trophic flows kinetics in marine ecosystems : Toward a theorical approach to ecosystem functioning. Ecological Modelling 217 : 33-47.
- Gascuel, D. 2005. « The trophic-level based model: A theoretical approach of fishing effects on marine ecosystems ». Ecological Modelling 189(3-4):315-32.
- Gibbons-Fly, W. 2000. Chairman's report. IATTC Bycatch Working Group, 2nd meeting, 4-6 April 2000, La Jolla, California, USA: 19 pp.
- Guénette S, Meissa B, Gascuel D (2014) Assessing the Contribution of Marine Protected Areas to the Trophic Functioning of Ecosystems: A Model for the Banc d'Arguin and the Mauritanian Shelf. PLoS ONE 9(4): e94742.
- Guénette, S., Melvin, G. D., et Bundy, A. 2014. A review of the ecological role of forage fish and management strategies. Fisheries and Oceans Canada = Pêches et océans Canada.
- Hagen E. et R. Schemainda, 1987 – On the zonal distribution of South Atlantic Central Water (SACW) along a section of Cap Blanc, Northwest Africa. Oceanol. Acta, 6: 61 – 70.
- Halpern, Benjamin S. et al. 2008. « A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems ». Science 319(5865).
- Hartwig. H .1982.The food of three grenadiers,rosy soldier fish,and rockfish from the northwest african slope.Rapp.P.-v.Réun.cons.int.Expoler.Mer,180 :374-378.

- Hay W. W. et J. C. Brock, 1992 – Temporal variation in intensity of upwelling off southern Africa In Upwelling systems: Evolution since the early Miocene. Geol. Soc. Spec., 64: 463 – 497.
- Heymans, J. J., Coll, M., Link, J. S., Mackinson, S., Steenbeek, J., Walters, C., et Christensen, V. 2016. Best practice in Ecopath with Ecosim food-web models for ecosystem-based management. Ecological modelling, 331, 173-184.
- Hilborn, R., Fulton, E. A., Green, B. S., Hartmann, K., Tracey, S. R., et Watson, R. A. 2015. When is a fishery sustainable?. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic sSciences, 72(9), 1433-1441.
- Khallahi Brahim.2004 Ecologie et biologie de l'émissole lisse *Mustelus mustelus* (Linné, 1758) sur les côtes de Mauritanie. Thèse de doctorat de l'Université de Bretagne Occidentale spécialité : océanologie biologique.
- Koff Dongo KOUASSI, Konan N'DA & N'guessan Constance DIAHA .2010 Régime alimentaire du mérou blanc, Epinephelus aeneus (Serranidae), de la pêche artisanale en Côte d'Ivoire, Cybium 2010, 34(3)
- Lange, C., Romero, O.E., Wefer, G., Gabric, A.J., 1998. Offshore influence of coastal upwelling off mauritania, NW Africa, as recorded by diatoms in sediment traps at 2195 m water depth. Deep Sea Research Part I : Oceanographic Research Papers, vol. 45, 985-1013. Lanjamet, I. de, 1988. La grande plage mauritanienne (Géographie, Ecologie, Faune). Centre Culturel Français, Nouakchott, Mauritanie, 92 pp.
- M. Dia, M. Ghorbel, A. Bouain, Y. Kone 2000 Régime alimentaire de Pagrus caeruleostictus (Sparidae) des côtes de Nouakchott (Mauritanie) Cybium, 24(1) : 081-088
- Macha-allah Rochdi ,2017.Construction d'un modèle d'équilibre de masse « Ecopath » sur le réseau trophique de l'écosystème d'upwelling Sud marocain (21° - 26° N). Travail de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur en Halieutique. IAV HASSAN II.
- Majkowski, J., 1982. Usefulness and applicability of sensitivity analysis in a multispecies approach to fisheries management. In: Theory and management of tropical fisheries. ICLARM Conf. Proc. 9. pp. 149-165, Ed. by D. Pauly and G. I. Murphy,

- Mamadou DIA et M. GHORBEL 2010.Etude du régime alimentaire de pomadasys incisus (haemulidae) des cotes de nouadhibou (mauritanie) Bull. Inst. Natn. Scien. Tech. Mer de Salammbô, Vol. 37,
- Marine Stewardship Council (MSC). 2014. « MSC Fisheries Standard and Guidance v2 .0 (Extracted from Annexes SA , SB , SC and SD of the Fisheries Certification Requirements v2 . 0) ». MSC. Scheme documents 0:290.
- Meunier, T., Barton, D., Barreiro, B., Torres, R., 2012. Upwelling flaments off Cap Blanc : Interaction of the NW African upwelling current and the Cape Verde frontal zone eddy feld? Journal of Geophysical Research, sous presse.
- Milliman J.D., (1977) .- Effects of arid climate and upwelling upon the sedimentary regime off southern Spanish Sahara : Deep-Sea Research 34(1):95-103.
- Morato, T. et Guénette, S. 2001. « The Azores Archipelago , 1997 ». Atlantic 241-70.
- Morissette, L. 2007 Complexity, cost and quality of ecosystem models and their impact on resilience: a comparative analysis, with emphasis on marine mammals and the Gulf of St. Lawrence. PhD thesis, University of British Columbia, Vancouver, BC, 260 pp.
- Mostarda, E., Campo, D., Castriota, L., Esposito, V., Scarabello, M. P., et Andaloro, F.2007. Feeding habits of the bullet tuna Auxis rochei in the southern Tyrrhenian Sea. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 87(4), 1007-1012.
- Moullec, F. 2015. La modélisation trophique au service de la gestion écosystémique des pêches: le cas du golfe de Gascogne et de la mer Celtique. Thèse de doctorat.
- Moura, T., Figueiredo, I., Farias, I., Serra-Pereira, B., Neves, A., de Fátima Borges, M., & Gordo, L. S. (2008). (Ontogenetic dietary shift and feeding strategy of Raja undulata Lacepède, 1802 (Chondrichthyes: Rajidae) on the Portuguese continental shelf . Scientia Marina, 72(2), 311-318.
- Odum, E. P., 1971. Fundamentals of Ecology. W.B. Saunders Co, Philadelphia. 574 pp.
- Odum, W. E., et Heald, E. J., 1975. The detritus-based food web of an estuarine mangrove community. In: Estuarine research. pp. 265-286, Ed. by L. E. Cronin, Academic Press, New York, Vol. 1.
- Ould Isselmou C.B., Ould Mohamed El Moustapha A., Ould Sidi Cheikh M.A. et Meissa B, 2012. Etat de lieux de la répartition spatio-temporelle de l'évolution des structures démographiques et des biomasses en Mauritanie de la sardinelle ronde et du

chinchard noir africain suivant les résultats des campagnes scientifiques. Commission SousRégionale de Pêche, p.41.

- Ould Mohamed Ould Limam, Abdallahi.2010 Contribution à l'étude du régime alimentaire, Courbine *Argyrosomus regius* Asso,1801) dans la partie nord des eaux mauritaniennes. Rapport de stage à l'IMROP.
- Palomares, M. L. D., et Pauly, D. 1989. A multiple regression model for predicting the food consumption of marine fish populations. Aust. J. Mar. Freshwat. Res., 40:259-273.
- Pauly D, Trites AW, Capuli E, Christensen V (1998) Diet composition and trophic levels of marine mammals. ICES J Mar Sci 55: 467-481.
- Pauly, D. 1980. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks. J. Cons. int. Explor. Mer, 39:175- 192
- Pauly, D. et V. Christensen. 1995. « Primary production required to sustain global fisheries ». Nature 374(6519):255-57.
- Pauly, D., Soriano-Bartz, M. L., et Palomares, M. L. D., 1993. Improved construction, parametrization and interpretation of steady-state ecosystem models. In: Trophic models of aquatic ecosystems. pp. 1-13, Ed. by V. Christensen and D. Pauly, ICLARM Conference Proceeding, Vol. 26, 390 pp.
- Pikitch, E. K., Rountos, K. J., Essington, T. E., Santora, C., Pauly, D., Watson, R., Sumaila, U. R., Boersma, P. D., Boyd, I. L., Conover, D. O., Cury, P., Heppell, S. S., Houde, E. D., Mangel, M., Plagányi, É., Sainsbury, K., Steneck, R. S., Geers, T. M., Gownaris, N., and Munch, S. B. 2012. The global contribution of forage fish to marine fisheries and ecosystems.
- Pikitch, E. K., Rountos, K. J., Essington, T. E., Santora, C., Pauly, D., Watson, R., ... et Cury, P. 2014. The global contribution of forage fish to marine fisheries and ecosystems. Fish and Fisheries, 15(1, 43-64.
- Pita C., Gamito S., Erzini K., 2002, Feeding habits of the gilthead seabream (Sparus aurata) from the Ria Formosa (southern Portugal) as compared to the black seabream (Spondyliosoma cantharus) and the annular seabream (Diplodus annularis), Journal of Applied Ichthyology, 18, 81-86.

- PNUE. 2001. Ecosystem-based management of fisheries : opportunities and challenges for coordination between marine regional fishery bodies and regional seas conventions. UNEP
- Polovina, J. J. et Ow, M. D. 1985. « An approach to estimating an ecosystem box model ». Fishery Bulletin 83(3):457-60.
- Rice, J. 1995. « Food web theory, marine food webs, and what climate change may do to northern marine fish populations ». CLIMATE CHANGE AND NORTHERN FISH POPULATIONS Canadian s(121.):561-68.
- Rose, Kenneth A. et al. 2010. « End-To-End Models for the Analysis of Marine Ecosystems: Challenges, Issues, and Next Steps ». Marine and Coastal Fisheries 2(1):115 -30.
- Roy, C., Cury, P., Fontana, A. et Belvèze, H. 1989. Stratégies spatio-temporelles de la reproduction des clupéidés des zones d'upwelling d'Afrique de l'Ouest. Aquat. Living Resour., v2. n°1: 21-29
- Sala, E., et Ballesteros, E. 1997. Partitioning of space and food resources by three fish of the genus Diplodus (Sparidae) in a Mediterranean rocky infralittoral ecosystem. Marine Ecology Progress Series, 273-283.
- Schemainda R., D. Nehring et S. Schulz, 1975 – Ozeanologische Untersuchungen zum Produktionspotential der northwestafricanischen wasserauftriebsregion 1970-73. Geod. Geoph. Veröff., R. IV, H., 16: 68.
- Shin, Y. 2001. « Interactions trophiques fondées sur la taille et dynamiques des communautés de poissons marins : exploration à l'aide d'un modéle spatial individuscentré. » Aquatic Living Resources 14(2):65-80.
- Shin, Y. J., et Cury, P. 2004. « Using an individual-based model of fish assemblages to study the response of size spectra to changes in fishing ». Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 61(3):414-31.
- Sidi, M.T., Diop, M.S. 2004. Modèle écotrophique du Banc d'Arguin (Mauritanie) dans la période 1988 à 1998, p. 4-11. In: Palomares, M.L.D., Pauly, D. (eds.) West African marine ecosystems: models and fisheries impacts. Fisheries Centre Research Reports 12(7). Fisheries Centre, UBC, Vancouver.
- Sidi, M.T., Guénette, S. 2004. Modèle trophique de la ZEE mauritanienne: comparaison de deux périodes (1987 et 1998), p. 12-38. *In*: Palomares, M.L.D., Pauly, D. (eds.) West

African marine ecosystems: models and fisheries impacts. Fisheries Centre Research Reports 12(7). Fisheries Centre, UBC, Vancouver.

- Silva, A. 1999. Feeding habits of John Dory, Zeus faber, off the Portuguese continental coast. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 79(2), 333-340.
- Sprengel C., K. H. Baumann, J. Henderiks, R. Henrich et S. Neuer, 2002 – Modern coccolithophore and carbonate sedimentation along a productivity gradient in the Canary Islands region: seasonal export production and surface accumulation rates. Deep-Sea Research II, 49: 3577 – 3598.
- Taylor, P., Battaglia, P., Esposito, V., Malara, D., Falautano, M., Castriota, L., et Andaloro, F. 2014. Diet of the spothead lanternfish Diaphus metopoclampus (Cocco , 1829) (Pisces : Myctophidae) in the central Mediterranean Sea, (December), 37–41
- Tennenbaum, Stephen et Robert E. Ulanowicz. 1988. « Growth and Development: Ecosystems Phenomenology ». Estuaries 11(1):73.
- Travers, M. et al. 2009. « Two-way coupling versus one-way forcing of plankton and fish models to predict ecosystem changes in the Benguela ». Ecological Modelling 220(21):3089-99.
- Ulanowicz, R. E., et Puccia, C. J. 1990. Mixed trophic impacts in ecosystems. Coenoses, 5: 7–16.
- Walters, C., Christensen, V., et Pauly, D. 1997. « Structuring dynamic models of exploited ecosystems from trophic mass-balance assessments ». Reviews in Fish Biology and Fisheries 7(2):139-72.
- Walters, C., D. Pauly et V. Christensen. 1999. Ecospace: prediction of mesoscale spatial patterns in trophic relationships of exploited ecosystems, with emphasis on the impacts of marine protected areas. Ecosystems, 2: 539-554.
- Winberg, G. G., 1956. Rate of metabolism and food requirements of fishes. In: Transl. Fish. Res. Board Can., Translation Series 194. pp. 1-253
- Wolff, W.J., van der Land, J., Nienhuis, P.H., de Wilde, P.A.W.J., 1993. The functioning of the ecosystem of the Banc d'Arguin, Mauritania : a review. Hydrobiologia, vol. 258, 211-222.

Annexes

Annexe n° 1 : Inventaire des groupes de poissons utilisés dans notre modèle

Groupe Ecopath	Famille	Nom scientifique	Nom français
Requins	Triakidae	*Mustelus mustelus*	Émissole Lisse
	Carcharhinidae	Carcharhinus obscurus	Requin Sombre
	Sphyrnidae	*Sphyrna lewini*	Requin Marteau
	Scyliorhinidae	*Scyliorhinus canicula*	Petite Roussette
	Carcharhinidae	*Rhizoprionodon acutus*	Requin à museau pointu
Raies	Rajidae	*Raja undulata*	Raie Brunette
	Rajidae	*Raja miraletus*	Raie-miroir
	Rajidae	*Raja straeleni*	Raie de Madère
	Rhinobatidae	*Rhinobatos rhinobatos*	Raie-guitare commune
	Torpedinida	*Torpedo torpedo*	Torpille Ocellée
	Torpedinida	*Torpedo marmorata*	Torpille Marbrée
	Myliobatidae	*Pteromylaeus bovinus*	Mourine vachette
	Dasyatidae	*Dasyatis pastinaca*	Pastenague commune
	Dasyatidae	*Dasyatis marmorata*	Pastenague marbrée
Maigre	Sciaenidae	*Argyrosomus regius*	Maigre Commun
Autres poissons benthopélagiques	Mugilidae	*Mugil capurii*	Mulet noir
	Mugilidae	*Mugil cephalus*	Mulet à grosse tête
	Trichiuridae	*Trichiurus lepturus*	Sabre commun
	Zeidae	*Zeus faber*	Saint Pierre
	Sparidae	*Spondyliosoma cantharus*	Dorade Grise

	Sparidae	*Pagrus auriga*	Pagre Rayé
	Sparidae	*Diplodus puntazzo*	Sar à museau pointu
	Sparidae	*Diplodus vulgaris*	Sar à tête noire
Merlu	Merlucciidae	*Merluccius merluccius*	Merlu européen
	Merlucciidae	*Merlucciu senegalensis*	Merlu du Sénégal
	Merlucciidae	*Merluccius polli*	Merlu d'Afrique
Autres poissons démersaux	Sparidae	*Diplodus bellottii*	Petit sar
	Sparidae	*Pagellus bellottii*	Pageot À Tache Rouge
	Sparidae	*Pagrus caeruleostictus*	Pagre à points bleus
	Sparidae	*Sparus aurata*	Dorade Royale
	Sparidae	*Dentex canariensis*	Denté À Tache Rouge
	Sparidae	*Dentex angolensis*	Denté angolais
	Sparidae	*Diplodus sargus*	Sar Commun
	Sparidae	*Dentex macrophthalmus*	Denté à gros yeux
	Sparidae	*Dentex maroccanus*	Denté Du Maroc
	Serranidae	*Epinephelus alexandrinus*	Mérou à capuchon
	Serranidae	*Epinephelus aeneus*	Mérou blanc
	Serranidae	*Serranus cabrilla*	Serran-Chèvre
	Serranidae	*Serranus scriba*	Serran Écriture
	Scorpaenidae	*Scorpaena angolensis*	Rascasse d'Angola
	Scorpaenidae	*Scorpaena elongata*	Rascasse Rose
	Haemulidae	*Pomadasys rogeri*	Grondeur nez de cochon
	Haemulidae	*Plectorhinchus mediterraneus*	Diagramme Gris
	Haemulidae	*Pomadasys incisus*	Grondeur métis
	Soleidae	*Solea senegalensis*	Sole Du Sénégal
	Psettodidae	*Psettodes belcheri*	Turbot épineux tacheté
	Zeidae	*Zenopsis conchifer*	Saint Pierre argenté
	Mullidae	*Pseudupeneus prayensis*	Rouget barbet
	Ariidae	*Arius parkii*	Mâchoiron de Gambie
Thons hauturiers	Scombridae	*Thunnus albacares*	Albacore

	Scombridae	*Katsuwonus pelamis*	Bonite à ventre rayé
	Scombridae	*Thunnus obesus*	Thon Obèse
Thons côtiers	Scombridae	*Sarda sarda*	Bonite à dos rayé
	Scombridae	*Auxis rochei*	Bonitou
	Scombridae	*Auxis thazard*	Auxide
	Scombridae	*Orcynopsis unicolor*	Palomète
	Scombridae	*Euthynnus alletteratus*	Thonine
Autres poissons pélagiques	Carangidae	*Trachinotus ovatus*	Palomine
	Carangidae	*Lichia amia*	Liche Ne-Bé
	Moronidae	*Dicentrarchus punctatus*	Bar Tacheté
	Pomatomidae	*Pomatomus saltatrix*	Tassergal
Maquereau	Scombridae	*Scomber colias*	Maquereau espagnol atlantique
Chinchards	Carangidae	*Trachurus Trachurus*	Chinchard d'Europe
	Carangidae	*Trachurus trecae*	Chinchard cunène
	Carangidae	*Caranx rhonchus*	Chinchard jaune
Anchois	Engraulidae	*Engraulis encrasicolus*	Anchois
Ethmalose	Clupeidae	*Ethmalosa fimbriata*	Ethmalose
Sardine	Clupeidae	*Sardina pilchardus*	Sardine Commune
Sardinelles	Clupeidae	*Sardinella maderensis*	Grande Allache
	Clupeidae	*Sardinella aurita*	Allache
Poissons bahtypélagiques	Myctophidae	*Diaphus metopoclampus*	Escolier rayé
	Stomiidae	*Astronesthes niger*	--
	Macrouridae	*Malacocephalus laevis*	Grenadier barbu
	Gempylidae	*Diplospinus multistriatus*	Escolier rayé
	Soleidae	*Bathysolea profundicola*	Sole des profondeurs
Poissons bathydémersaux	Sebastidae	*Helicolenus dactylopterus*	Sébaste Chèvre
	Chlorophthalmidae	*Chlorophthalmus atlanticus*	Eperlan
	Lophiidae	*Lophius piscatorius*	Baudroie Commune
	Albulidae	*Pterothrissus belloci*	Banane gisu

Annexe n° 2 : Indice de Pédigrée et intervalle de confiance de chaque origine de donnée

Captures				Biomasse			
N°	**Catégorie**	**Intervalle de confiance (+/-%)**	**l'indice (I)**	**N°**	**Catégorie**	**Intervalle de confiance (+/-%)**	**l'indice (I)**
1	Pifomètre	70	0	1	Estimation d'Ecopath	80	0
2	Autre modèle	70	0	2	Autre modèle	80	0
3	Statistiques FAO	80	0.2	3	Pifomètre	80	0
4	Statistiques nationales	50	0.5	4	Approximation ou méthode indirectes	50	0.4
5	Étude locale, faible précision/incomplète	30	0.7	5	Données locales de faible précision	30	0.7
6	Étude locale, haute précision/complète	10	1	6	Données locales de grande précision	10	1
Régime alimentaire				**Production/Biomasse - Consommation/Biomasse**			
N°	**Catégorie**	**Intervalle de confiance (+/-%)**	**l'indice (I)**	**N°**	**Catégorie**	**Intervalle de confiance (+/-%)**	**l'indice (I)**
1	Connaissance générale sur le	80	0	1	Estimation d'Ecopath	80	0

	groupe/espèces relié						
2	Autre modèle	80	0	2	Pifomètre	70	0.1
3	Connaissance générale sur le groupe/espèces étudié	60	0.2	3	Autre modèle	60	0.2
4	Composition qualitative du régime	50	0.5	4	Équation empirique	50	0.5
5	Quantitative, mais avec une composition de régime alimentaire limité	30	0.7	5	Espèces similaires, écosystème similaire, faible précision	40	0.6
6	Quantitative, avec une composition de régime alimentaire détaillée	10	1	6	Espèces similaires, même écosystème, faible précision	30	0.7
				7	Mêmes Espèces, écosystème similaire, haute précision	20	0.8
				8	Espèces similaires, même écosystème, haute précision	10	1

Annexe n° 3 : Origine de données entrées dans le modèle Ecopath selon le numéro

	Nom du groupe	Biomasse	Production /Biomasse	Consommation / Biomasse	Régime alimentaire	Captures
1	Oiseaux marins	2	3	8	2	
2	Mammifères marins	2	3	8	5	
3	Tortues	2	3	8	2	
4	Calamar	5	8	8	2	4
5	Seiche	5	8	8	2	4
6	Poulpe	5	8	8	2	4
7	Requins	5	8	8	5	4
8	Raies	5	8	8	5	4
9	Maigre	5	1	8	5	4
10	Autres poissons benthopélagiques	5	8	8	3	4
11	Merlu	5	8	8	2	4
12	Autres poissons démersaux	5	8	8	3	4
13	Thons hauturiers	1	7	8	2	4
14	Thons côtiers	1	7	8	5	4
15	Autres poissons pélagiques	1	3	8	3	4
16	Maquereau	5	8	8	6	4
17	Chinchard	5	8	8	6	4
18	Anchois	5	8	8	6	4
19	Ethmalose	1	3	8	2	4
20	Sardine	5	8	8	6	4
21	Sardinelles	5	8	8	6	4
22	Poissons bahtypélagiques	1	5	8	3	
23	Poissons bathydémersaux	1	5	8	3	

24	Coquillage	**2**	**3**	**8**	**2**	**4**
25	Autres invertébrés	**1**	**3**	**8**	**2**	
26	Crustacés	**2**	**3**	**8**	**2**	**4**
27	Macrozooplancton	**1**	**3**	**8**	**2**	
28	Mésozooplancton	**1**	**3**	**8**	**2**	
29	Microzooplancton	**1**	**3**	**8**	**2**	
30	Algues et herbiers	**2**	**3**			
31	Phytoplancton	**4**	**3**			
32	Détritus	**4**				

ملخص

يندرج هذا العمل في إطار بناء نموذج للنظام البيئي البحري في المنطقة الواقعة بين الرأس الأبيض 21 درجة شمالاً ورأس تيميريس 19.15 درجة شمالاً ، وذلك بواسطة برنامج نمذجة النظم البيئية " Ecopath with Ecosim v6.5 ". وتتميز هذه المنطقة بظاهرة ارتفاع مياه القاع الى المياه السطحية الساحلية وهو ما جعلها تشتهر بوفرة الأسماك السطحية والتنوع البيولوجي. وتحتوي هذه المنطقة على المحمية البحرية لحوض آرغين التي تغطي مساحة تقدر ب 6450 كيلومتر مربع.

لبناء هذا النموذج، اخترنا بيانات عام 2018 نظرًا لتنامي الصيد الشاطئي في المنطقة الشمالية منذ عام 2017، كما تحتوي معطيات هذا العام مزيدًا من البيانات حول الكتلة الحيوية ومصايد الأسماك التي تسمح لنا بترسيخ هذا النموذج بالمعلومات الحقيقية والمحلية. يتكون النموذج من 32 مجموعة وظيفية: مجموعة من المخلفات، مجموعتان من المنتجين الأوليين، 3 مجموعات من العوالق الحيوانية، مجموعتين من الأحياء القاعية، 4 مجموعات من الرخويات، 17 مجموعة من الأسماك 3 مجموعات من الحيوانات المفترسة العلياء. المدخلات التي يتعين إدخالها لكل مجموعة هي الكتلة الحيوية، ومعدل الإنتاج، ومعدل الاستهلاك، وتكوين النظام الغذائي ومعدل الصيد. تم الحصول على هذه المدخلات إما باستخدام بيانات المعهد الموريتاني لبحوث المحيطات والصيد فيما يتعلق بإحصائيات الصيد ومسوحات تقييم المخزون السمكي أو من خلال البحوث العلمية التي تم استعراضها.

حسب معطيات هذ النموذج، تسجل الأسماك ذات مستوى التغذية المنخفض مثل السردين والسردينيلا أعلى معدلات الصيد خلال العام 2018 في هذه المنطقة. تتراوح المستويات الغذائية لهذا النموذج من 1 للمنتجين الأولين والمخلفات إلى 4.12 لأسماك التونة في أعالي البحار. يبلغ متوسط المستوى الغذائي للمصيد الذي تم تقييمه بواسطة هذه الدراسة 2،733. إن النسبة (الإنتاج الأولي / تنفس النظام الإيكولوجي) التي تساوي 3.3، تجعل نضج النظام البيئي لدينا محل تساءل.

اعتمادا على مؤشرات MSC فإنه باستثناء الكتلة الحيوية المهمة لمجموعة سردينيلا فإن هذه الأخيرة لا يمكن اعتبارها محورية في هذ النظام البيئي.

يمكن اعتبار هذا النموذج أداة مهمة لتحسين إدارة الموارد البحرية من الأسماك السطحية الصغيرة والنظر في أهمية المجموعات الأخرى في هذا النظام البيئي، من أجل ضمان استدامة هذه المصايد

المملكة المغربية
ROYAUME DU MAROC
INSTITUT AGRONOMIQUE ET VETERINAIRE HASSAN II
معهد الحسن الثاني للزراعة والبيطرة

عمل نهاية الدراسات
لنيل شهادة مهندس دولة

تخصص: الصيد البحري وتربية الأحياء المائية

بناء نموذج التوازن الشامل "Ecopath" على الشبكة الغذائية للنظام البيئي الأطلسي للشمال الموريتاني المعروف بظاهرة "upwelling"

(19,15 شمالا – 21 شمالا)

قدم للعموم ونوقش من طرف:

محمدن احمدفال

أمام اللجنة المكونة من:

الأستاذة زينة إداردار	المعهد العالي للصيد البحري، أكادير	رئيسة
الأستاذ حسن الدريوش	معهد الحسن الثاني للزراعة والبيطرة	مقرر
الدكتورة سعاد كيفاني	المعهد الوطني للبحث في الصيد البحري، الدار البيضاء	مقررة
الدكتور عبد الباسط بن باني	المعهد الوطني للبحث في الصيد البحري، أكادير	ممتحن
الدكتور ياسين زاهري	المعهد الوطني للبحث في الصيد البحري، أكادير	ممتحن

يوليو 2019

العنوان: ص. ب 6202 الرباط المعاهد الرباط – المغرب
الهاتف: 59 / 58 17 77 0537 (212 00)
الفاكس: 45 58 77 0537 (212 00)
موقع الأنتيرنت:http://www.iav.ac.ma

Adresse : Madinat Al Irfane, B.P. 6202. Rabat – Maroc
Tél : (00 212) 0537 77 17 58/59
Fax : (00 212) 0537 77 58 45
Site web : http://www.iav.ac.ma