



HAL
open science

Analyse microéconomique et modélisation bioéconomique de la pêche artisanale de sardinelles au Sénégal

Aliou Ba

► **To cite this version:**

Aliou Ba. Analyse microéconomique et modélisation bioéconomique de la pêche artisanale de sardinelles au Sénégal. Sciences de l'environnement. Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 2017. Français. NNT: . tel-01710807

HAL Id: tel-01710807

<https://theses.hal.science/tel-01710807>

Submitted on 16 Feb 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR
ÉCOLE DOCTORALE: SCIENCES DE LA VIE DE LA SANTÉ ET DE L'ENVIRONNEMENT
FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNIQUES

Année : 2017

N° d'ordre : 201720



THÈSE DE DOCTORAT

Spécialité : Sciences Halieutiques et Aquacoles

Présentée par :

M. Aliou BA

Analyse microéconomique et modélisation bioéconomique de la pêche artisanale de sardinelles au Sénégal

Soutenue le 05 mai 2017 devant le jury composé de :

Président : Diaraf SECK

Professeur titulaire à la FASEG/UCAD (Dakar, Sénégal)

Rapporteurs : Philippe CURY

Directeur de recherche à l'IRD (Bruxelles, Belgique)

France-Lyse CLOTILDE BA

Maitre de conférences CAMES à la FST/UCAD (Dakar, Sénégal)

Patrice BREHMER

Chargé de recherche à l'IRD (Brest, France)

Examineurs : Massal FALL

Maitre de recherche à l'ISRA (Dakar, Sénégal)

Christian CHABOUD

Chargé de recherche à l'IRD (Sète, France)

Jörn SCHMIDT

Maitre de conférences à CAU (Kiel, Allemagne)

Directeur de thèse : Malick DIOUF

Maitre de conférences CAMES à la FST/IUPA/UCAD (Dakar, Sénégal)

Dédicaces

A mon défunt père Bourang BA et ma très chère mère qui m'ont toujours soutenu ;

A toute la famille BA, frères, sœurs, nièces, neveux, fils, filles, oncles, tantes, cousins, cousines,.... pour leurs encouragements ;

A ma tendre épouse pour sa patience pour son soutien.

Remerciements

Je remercie vivement toutes les personnes qui m'ont apporté de près ou de loin leur aide pour l'exécution de ce travail.

Plus particulièrement, mes remerciements vont naturellement aux membres du jury, qui malgré leurs multiples occupations, n'ont ménagé aucun effort et ont accepté de juger ce travail : Pr Diaraf SECK pour la présidence du Jury, Dr Philippe CURY Directeur de recherche IRD et Pr France-Lyse CLOTILDE BA pour avoir accepté d'être rapporteurs.

Je remercie chaleureusement Dr Christian CHABOUD pour avoir accepté de m'encadrer mais aussi pour ses conseils et orientations. Sans lui cet exercice serait plus que difficile. A travers lui, je remercie tout le personnel de MARBEC pour leur accueil ;

Un grand merci au Pr Malick DIOUF pour avoir accepté d'être mon directeur de thèse. A travers lui, je remercie tout le personnel de l'IUPA encore une fois pour leur disponibilité ;

Mes remerciements à Dr Patrice BREHMER coordinateur du projet AWA (IRD-BMBF) et à Dr Jörn SCHMIDT (Responsable work package économie du projet AWA) pour leur soutien moral, matériel et financier sans quoi cette thèse n'aurait pas lieu. Je leur remercie aussi de leur disponibilité mais aussi leurs conseils, remarques et corrections effectuées sur ce document durant ces trois années. A travers eux je remercie tous le personnel de l'IRD et de l'université de Kiel en Allemagne;

Mes sincères remerciements à Dr Massal FALL (Directeur du CRODT) pour m'avoir accueilli durant ces trois années et mis à ma disposition les informations que le CRODT dispose sur la pêche artisanale. A travers lui je remercie du fond du cœur tout le personnel du CRODT et de l'ISRA pour leur accueil et leur disponibilité ;

Je remercie le Service de Coopération et d'Action Culturelle (SCAC) de l'Ambassade de France au Sénégal pour avoir accepté de financer mes séjours d'études en France ;

Je remercie tous mes collègues du CRODT/ISRA pour leur enthousiasme et leur solidarité ;

Mes remerciements aux enquêteurs de terrain du CRODT/ISRA pour leur disponibilité ;

Mes remerciements à mes camarades de promotion du Master PRAME ;

Enfin, je remercie ma famille pour sa patience, son soutien permanent et ses encouragements.

LISTE DES ACRONYMES ET ABREVIATIONS

ANSD: Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie
AWA: Ecosystem Approach to the management of fisheries and the marine environment in West African waters (IRD-BMBF)
CAMP : Centre d'Assistance à la Motorisation des Pirogues
CAPAS : Centre d'Aide à la Pêche Artisanale Sénégalaise
CAU: Christian Albrecht University of Kiel
CEDEAO: Communauté Economique des Etats de l'Afrique de l'Ouest
CIEM: Conseil International pour l'Exploration de la Mer
COMFISH: COLlaborative Management for sustainable FISHeries in Senegal
CRODT: Centre de Recherche Océanographique Dakar-Thiaroye
CSRP: Commission Sous Régionale des Pêches
cv : Chevaux
DPM: Direction des Pêches Maritimes du Sénégal
DSRP : Document de Stratégie pour la Réduction de la Pauvreté au Sénégal
FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations
FCFA: Franc de la Communauté Financière d'Afrique
FME: Filet Maillant Encerclant
GPS: Global Positioning System
HT: Hors Taxes
ICCAT: International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas
IPC: Indice des Prix à la Consommation
IRD : Institut de Recherche pour le Développement
ISIS-FISH: Integration of Spatial Information for Simulation of FISHeries
ISRA: Institut Sénégalais de Recherches Agricoles
IUC: Indice d'Upwelling Côtier
IUPA : Institut Universitaire de Pêche et d'Aquaculture
LEMAR : Laboratoire des sciences de l'Environnement MARin
LG: Ligne Glaciaire
MARBEC: MARine Biodiversity, Exploitation and Conservation
MEY: Maximum Economic Yield
MSY: Maximum Sustainable Yield
PIB: Produit Intérieur Brut
PPC : Petits Pélagiques Côtiers
PSF : Plan de Sortie de Flotte
ST: Senne Tournante
TCAM : Taux de Croissance Annuel Moyen
TTC : Toute Taxe Comprise
TVA: Taxe sur la Valeur Ajoutée
UCAD : Université Cheikh Anta Diop de Dakar
UEMOA : Union Economique et Monétaire Ouest Africaine
UP: Unité de pêche
US\$: Dollar American
USAID: US Agency for International Development
VAN : Valeur Actuelle Nette
VB : Von Bertalanffy
VPA: Virtual Population Analysis
ZEE: Zone Economique Exclusive

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	7
Chapitre 1: Le contexte de la pêche au Sénégal	11
1.1 Introduction	11
1.2 Présentation de la zone d'étude	11
1.3 L'environnement côtier du Sénégal	12
1.4 Les conditions hydrologiques et l'upwelling	13
1.5 La pêche au Sénégal	14
1.6 Pêche artisanale au Sénégal	14
1.6.1 Définition de la pêche artisanale	14
1.6.2 Les communautés de pêcheurs artisans	15
1.6.3 Les centres de débarquement	16
1.7 Conclusion	17
Chapitre 2: La pêcherie de sardinelles et sa dynamique	18
2.1 Introduction	18
2.2 Nature, sources et méthodologies de traitement des données	18
2.2.1 Les bases de données utilisées	18
2.2.2 Traitements préliminaires des données	19
2.2.3 Données économiques sur la pêcherie de sardinelles	32
2.3 La dynamique de la pêcherie de sardinelles	34
2.3.1 La ressource halieutique	35
2.3.2 La flottille de pêche aux petits pélagiques	42
2.3.3 L'exploitation de la pêcherie de sardinelles	47
2.3.4 Les marchés et les circuits de distributions	64
2.3.5 Les changements du marché national et international	66
2.3.6 Création d'emplois dans le secteur de la pêche	71
2.4 Les changements dans la pêcherie depuis un demi-siècle	73
2.4.1 Introduction du moteur	73
2.4.2 Introduction de la senne tournante	73
2.4.3 Les changements dans la politique sectorielle de la pêche au Sénégal	74
2.5 Conclusion	77
Chapitre 3: Modélisation bioéconomique	79
3.1 Introduction : Le modèle, un outil au service de la science	79
3.2 La modélisation bioéconomique et son utilité	79
3.3 Objectifs et rôle des modèles bioéconomiques	80
3.4 Structure des modèles bioéconomiques	81
3.5 Typologie des modèles bioéconomiques	82
3.5.1 Le modèle de Gordon-Schaefer et ses variantes	82
3.5.2 Les modèles bioéconomiques analytiques	91
3.5.3 Vers des modèles bioéconomiques plus réalistes et complexes	93
3.6 Limite des modèles bioéconomiques	95
3.7 Conclusion sur les modèles bioéconomiques	96

Chapitre 4: Un modèle bioéconomique spatialisé de l'exploitation des sardinelles au Sénégal.....	97
4.1 Introduction	97
4.2 Dynamique de la ressource.....	97
4.2.1 Evolution des cohortes dans le temps	97
4.2.2 Spatialisation de la ressource biologique.....	99
4.2.3 Recrutement	100
4.3 Les captures	102
4.4 Dynamique de flottille	103
4.4.1 Détermination de la capacité de pêche	104
4.4.2 Répartition spatiale des flottilles	105
4.4.3 Détermination de la flotte active	105
4.5 Composantes économiques du modèle	106
4.5.1 Revenu.....	106
4.5.2 Les coûts d'exploitation	106
4.5.3 Profit et marge privés.....	107
4.5.4 Rente économique	108
4.5.5 Valeur ajoutée	108
4.5.6 Revenus nets de l'Etat et subventions	109
4.5.7 Emploi.....	111
4.6 Variables de contrôle du modèle	111
4.6.1 Licences et redevances de pêche.....	111
4.6.2 Fermetures spatio-temporelles.....	112
4.6.3 Coûts fixes et variables, subventions et exemptions de taxes	112
4.6.4 Limites de captures.....	112
4.7 Autres paramètres de simulation	113
4.8 Variables de sortie du modèle	113
4.9 Une simulation sans prise en compte de la relation stock-recrutement.....	114
4.9.1 Dynamique de la ressource	114
4.9.2 Dynamique de l'activité.....	116
4.9.3 Captures	116
4.9.4 Résultats économiques	117
4.9.5 Revenus	117
4.9.6 Coût.....	118
4.9.7 Profit.....	118
4.9.8 Revenus du travail	119
4.9.9 Les revenus de l'Etat	119
4.9.10 Valeur ajoutée nette, nette de subventions	120
4.9.11 La rente économique annuelle courante.....	120
4.9.12 Rente économique, valeur ajoutée et autres indicateurs actualisés.....	120
4.9.13 Les optimums.....	121
4.10 Reconsidération des hypothèses initiales	122
4.10.1 Dynamique endogène de la capacité de pêche	122
4.10.2 Croissance de l'efficacité technique	123
4.10.3 Prise en compte de l'incertitude environnementale	123
4.10.4 Existence d'une relation stock recrutement	123
4.11 Conclusion.....	126
Chapitre 5: Les scénarios de gestion de la pêcherie de sardinelles au Sénégal.....	127

5.1	<i>Introduction</i>	127
5.2	<i>Définition des scénarios</i>	127
5.3	<i>Simulation de la pêche en environnement certain</i>	128
5.3.1	Scénario de référence	128
5.3.2	Scénarios prospectifs	133
5.3.3	Scénarios normatifs.....	144
5.3.4	Scénarios mixtes.....	158
5.4	<i>Simulation de la pêche en environnement incertain</i>	165
5.4.1	L'évolution de la biomasse et des indicateurs économiques courants selon les différents scénarios en environnement incertain avec des chocs annuels aléatoires.....	166
5.4.2	L'évolution de la biomasse et des indicateurs économiques actualisés selon les différents scénarios en environnement incertain avec des simulations de type Monte Carlo	168
5.5	<i>Discussion</i>	173
5.5.1	Le scénario de référence ou <i>statu quo</i>	173
5.5.2	Les scénarios prospectifs.....	174
5.5.3	Les scénarios normatifs.....	176
5.5.4	La prise en compte de l'incertitude sur le recrutement.....	178
5.5.5	Les limites du modèle.....	179
5.6	<i>Conclusion</i>	179
	CONCLUSION GENERALE	181
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	184
	Annexes	196
	Liste des figures	223
	Liste des tableaux	228

INTRODUCTION GENERALE

Les pêcheries mondiales génèrent des moyens de subsistance pour plus de 100 millions de personnes et représentent une source vitale pour la fourniture en protéines animales [1]. Le marché international des produits halieutiques a représenté plus de 148 milliards US \$¹ en 2014 ce qui fait de la pêche une importante source de devises pour les pays en développement [2]. L'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) estime le nombre total de pêcheurs dans le monde en 2012 à près de 40 millions, dont 77 % en Asie et 14 % en Afrique [1]. A ces chiffres, s'ajoute le nombre des emplois indirects dans les secteurs liés à la pêche, en particulier l'industrie agroalimentaire et le commerce.

Au Sénégal, l'activité de pêche contribue à hauteur de 1,7 % au PIB national, génère près de 200 milliards de FCFA de recette par an et produit environ 600 000 emplois directs et indirects soit 17% de la population active [3]–[5]. L'emploi dans le secteur artisanal représente environ 70 % de l'emploi global du secteur halieutique et l'effectif des marins pêcheurs artisanaux représente 10 % de cet emploi global, soit environ 61 000 personnes [3]. Le reste est composé d'autres types d'emplois dans des secteurs tels que la manutention au niveau des plages de débarquement (porteurs), la distribution des produits (mareyeurs et micro-mareyeurs) et la transformation artisanale qui emploie essentiellement des femmes.

La pêche contribue par ailleurs fortement à la sécurité alimentaire au Sénégal. Ainsi, avec une consommation per capita de plus de 25 kg, les produits halieutiques fournissent plus de 75% des apports en protéines animales des populations sénégalaises aussi bien urbaines que rurales. De plus selon la Commission Sous Régionale des Pêches (CSRP) [6] cette consommation est majoritairement satisfaite par le recours aux petits pélagiques (plus de 70 %).

Cette importance socioéconomique de la pêche est liée à plusieurs facteurs dont l'abondance de la ressource et le dynamisme du secteur halieutique. En effet, le Sénégal se trouve dans une zone de forte productivité biologique favorisée par la présence d'un upwelling saisonnier [7]–[10]. Par ailleurs, les politiques de pêche ont favorisé depuis les années 1950 un développement de la pêche artisanale avec la motorisation des pirogues et les subventions accordées sur les intrants des unités de pêche [4], [11], [12].

Au Sénégal plus de 80 % des débarquements sont assurés par la pêche artisanale. Cette dernière assure en priorité l'approvisionnement des marchés locaux, régionaux et du secteur de la transformation artisanale [13]–[15]. Les débarquements de la pêche artisanale assurent aussi une bonne partie de l'approvisionnement de l'industrie de transformation de la pêche.

L'essentiel des débarquements de la pêche artisanale est composé de petits pélagiques (80 %) dont principalement des sardinelles. Ces dernières sont composées de sardinelles rondes (*Sardinella aurita*)

¹ 1 US \$ = 587,356 XOF (25 mars 2016)

et de sardinelles plates (*Sardinella maderensis*). Ces deux espèces représentent 89 % des débarquements de petits pélagiques soit 52 % de sardinelles rondes et 37 % de sardinelles plates [16]. Ces deux espèces possèdent de fortes affinités bioécologiques. La sardinelle ronde effectue un déplacement saisonnier du Maroc aux Iles Bissagos en passant par la Mauritanie et le Sénégal, alors que la sardinelle plate a un comportement migrateur moins prononcé que la sardinelle ronde [7], [17]–[19]. Cette caractéristique migratrice fait des sardinelles des espèces partagées entre les pays qu’elles traversent (voir plus bas dans la figure 2.11).

L’importance de cette pêcherie est fondamentale pour le Sénégal. Mis à part, les emplois créés dans les secteurs secondaires (transformation) et tertiaire (commerce), elle emploie plus de 25 % des pêcheurs artisans (soit 16 000 pêcheurs) et assure environ 70 % de la consommation de produits halieutiques au Sénégal (17 kg per capita).

Toutefois, la pêcherie de sardinelles est confrontée à une multitude de problèmes socio-économiques mais aussi bioécologiques. En effet, les biomasses et les captures de sardinelles sont affectées par une variabilité spatiotemporelle très élevée liée principalement à celle des upwellings côtiers saisonniers mais aussi à l’intensité de l’effort de pêche dans la zone [7], [10], [20]. Par ailleurs depuis 2001, le groupe de travail sur l’évaluation des petits pélagiques au large de l’Afrique nord-occidentale (COPACE) de la FAO [21], [22] n’a cessé d’alerter sur l’état d’exploitation de ces stocks de sardinelles qui seraient de plus en plus surexploités (voir tableau 0-1).

Tableau 0-1 : Etats du stock et recommandations de la FAO (COPACE)

Année	Capture totale autorisée recommandée (tonnes)	Etat d’exploitation	Recommandations
2001 à 2002	500 000 (pour les deux espèces)		Eviter toute hausse élevée dans l’effort de pêche
2003	420 000 (pour les deux espèces)		Eviter toute hausse élevée dans l’effort de pêche
2004 à 20005	400 000 (pour les deux espèces)	Surexploitation de sardinelle ronde	Réduction de 50 % de l’effort de pêche
2006 à 2011	220 000 (pour sardinelle ronde)	Surexploitation de sardinelle ronde	Baisse de 50 % de l’effort de pêche, qu’un mécanisme d’aménagement concerté des stocks de sardinelles soit entrepris.
2012		Les captures ne sont pas durables et elles doivent être réduites de façon à éviter un épuisement futur du stock.	Renforcer les mesures sur la réduction de l’effort de pêche
2015		Surexploitation des sardinelles	Réduire l’effort de pêche

Malgré toutes ces mises en garde successives, les recommandations de la FAO [21], [22] n’ont pas été respectées. D’autant plus que le Sénégal seul a débarqué plus de 300 000 tonnes de sardinelles en 2013 contre 220 000 tonnes recommandées dans toute la zone. La pêcherie de sardinelles dans la zone ouest-africaine peut être considérée comme une « pêcherie à risque » dans la mesure où un effondrement du stock de petits pélagiques n’est pas un phénomène rare. Ce fut le cas notamment de

l'anchois du Pérou (1972-1973), du hareng de la Mer du Nord (1970), de la sardine et du maquereau de Californie (1950), de la sardine de Namibie (1970), de la sardine du Japon (1943-1945), etc. Ces phénomènes sont essentiellement causés par des modifications de l'environnement naturel mais les conséquences sur le stock sont aggravées par une exploitation trop intensive [20]. Cela d'autant plus que le comportement grégaire des sardinelles [23] permet aux flottes de maintenir des rendements élevés alors même que l'abondance est réduite [24].

Dans la zone sénégal-mauritanienne, le stock est exploité par une flottille plutôt industrielle en Mauritanie et une flottille plutôt artisanale au Sénégal. La destination des captures est différente selon que l'on soit en Mauritanie ou au Sénégal. Au Sénégal, pour des besoins de sécurité alimentaire, les débarquements de sardinelles sont principalement destinés au marché local même si une partie est exportée dans la sous-région sous forme transformée. L'essentiel des débarquements de sardinelles en Mauritanie est destiné à l'industrie minotière développée récemment pour satisfaire la demande internationale de farine de poisson. La demande de sardinelles augmente dans la sous-région tant pour la consommation directe que dans le monde pour la farine de poisson. Cela, du fait des prix au débarquement relativement bas et de la disponibilité des sardinelles en quantité dans la zone [25]. Durant cette dernière décennie, la Mauritanie a développé une forte industrie minotière principalement approvisionnée par le débarquement de sardinelles [26]. Selon Caillart et Beyens [25], ce nouveau marché pourrait fortement compromettre la sécurité alimentaire dans la sous-région Ouest africaine.

En dépit de la dynamique du marché des petits pélagiques dans la sous-région et dans le monde, la situation socio-économique du secteur de la pêche artisanale devient de plus en plus inquiétant, les rendements et revenus de la pêcherie diminuent alors que les conditions de vie des pêcheurs se dégradent [15], [27], [28].

Cette situation nous emmène à poser la question de la durabilité de l'exploitation de cette ressource dans le contexte actuel.

Pour trouver une réponse à cette question, il sera nécessaire de comprendre d'une part:

- la dynamique de la ressource ;
- la dynamique des facteurs qui entrent dans l'exploitation de la ressource (e.g l'effort de pêche) ;
- la dynamique des marchés de petits pélagiques ;
- la relation entre les éléments qui composent la pêcherie ;
- les facteurs exogènes qui influent sur l'exploitation de la ressource ;
- le mode de gestion de la pêcherie et les politiques publiques en vigueur.

D'autre part, il sera question de combiner tous ces facteurs dans un même ensemble pour comprendre la dynamique issue de leur interaction d'ensemble.

Cette étude aura pour premier objectif de comprendre la pêcherie en détail et pour un second de construire un modèle bioéconomique pour pouvoir tester l'impact de mesures de gestion sur la pêcherie, ainsi que sa réponse à la variation des facteurs exogènes non contrôlables.

Pour atteindre ce dernier objectif, un moyen proposé ici consiste à modéliser la pêcherie en premier lieu et ensuite de faire des simulations pour observer les trajectoires suivies à la suite d'un changement de paramètres de nature économique, biologique ou de gestion.

Pour atteindre ces objectifs, le travail sera réparti sur cinq chapitres :

- Chapitre 1 : Le contexte de la pêche au Sénégal. Nous présentons dans ce chapitre le contexte physique, biologique et social de la pêche artisanale au Sénégal ;
- Chapitre 2 : La pêcherie de sardinelles et ses dynamiques. Nous présentons dans la dynamique de la ressource, de la flottille, du marché de la sardinelle au Sénégal et dans la région;
- Chapitre 3 : La modélisation bioéconomique. Nous avons fait une revue sur les différents modèles bioéconomiques rencontrés dans la littérature et susceptibles d'être utilisés dans notre cas d'étude ;
- Chapitre 4 : Le modèle bioéconomique de la pêcherie de sardinelles au Sénégal. Nous exposons la méthodologie utilisée pour construire le modèle bioéconomique de la pêcherie de sardinelles au Sénégal, ainsi que le modèle qui en est issu ;
- Chapitre 5 : La production de scénarios et simulation de la pêcherie de sardinelles au Sénégal. Nous présentons les différents scénarios utilisés et le résultat des simulations effectuées et en faisons une discussion.

CHAPITRE 1: LE CONTEXTE DE LA PECHE AU SENEGAL

1.1 Introduction

De par sa position géographique privilégiée et les conditions météorologiques particulières, le Sénégal possède parmi les eaux maritimes les plus productives en ressources halieutiques [29]. Cette productivité associée au dynamisme des acteurs qui exploitent la ressource font du Sénégal l'un des plus grands producteurs de produits halieutiques en Afrique de l'ouest. Dans ce chapitre, nous présenterons les conditions physiques et environnementales qui conditionnent la productivité des eaux maritimes sénégalaises, les communautés de pêcheurs et les grands centres de débarquements.

1.2 Présentation de la zone d'étude

Le Sénégal est un pays intertropical de l'Afrique de l'Ouest. Il bénéficie sur toute sa partie Ouest, d'une côte longue de 700 km et d'une Zone économique exclusive (ZEE) de 180 895 Km² [6]. Cette côte est ouverte aux masses d'eau de l'Océan Atlantique d'une part et caractérisée d'autre part par l'existence de trois zones deltaïques (Fleuves Sénégal, Sine Saloum et Casamance). La partie littorale est caractérisée par de grandes agglomérations urbaines et une multitude de villages autour des différents points de débarquements.

Traditionnellement, cinq (5) grandes zones géographiques de pêche (figure 1.1) sont distinguées :

- La Grande Côte de Saint-Louis à Yoff
- Le Cap-Vert
- La Petite-Côte
- Le Sine-Saloum
- La Casamance

L'activité de pêche artisanale est concentrée généralement sur la bande côtière à proximité des villages des pêcheurs. Cependant, il existe une pêche d'estuaire non négligeable dans certaines zones telles que le Sine-Saloum et la Casamance.

L'hydrologie de la zone est caractérisée par deux saisons bien distinctes :

- La saison chaude ou hivernage (de mai à novembre) : durant cette période la productivité est relativement faible du fait de la remontée des eaux chaudes du Golfe de Guinée,
- La saison froide à partir de novembre, caractérisée par la remontée des eaux froides (upwelling) déclenchée par les vents alizés. Ces masses d'eaux froides sont très riches en sels nutritifs et favorisent un développement de production primaire et ensuite de la biomasse animale.

L'ampleur de ces phénomènes saisonniers conditionne en grande partie l'abondance des espèces exploitées par la pêche artisanale maritime et par la pêche industrielle [8], [30].

La richesse spécifique des eaux sénégalaises est classée en cinq grands groupes [29] :

- Les stocks pélagiques côtiers qui évoluent en pleine eau ou en surface sur l'ensemble du plateau continental ;
- Les stocks pélagiques hauturiers qui sont présents en dehors du plateau continental ;
- Les stocks démersaux profonds entre 100 à 200 mètres de profondeur ;
- Les stocks démersaux côtiers ;
- Les stocks estuariens.

Parmi ces groupes d'espèces, la pêche artisanale exploite majoritairement les pélagiques et les démersaux côtiers, ainsi que les stocks estuariens.

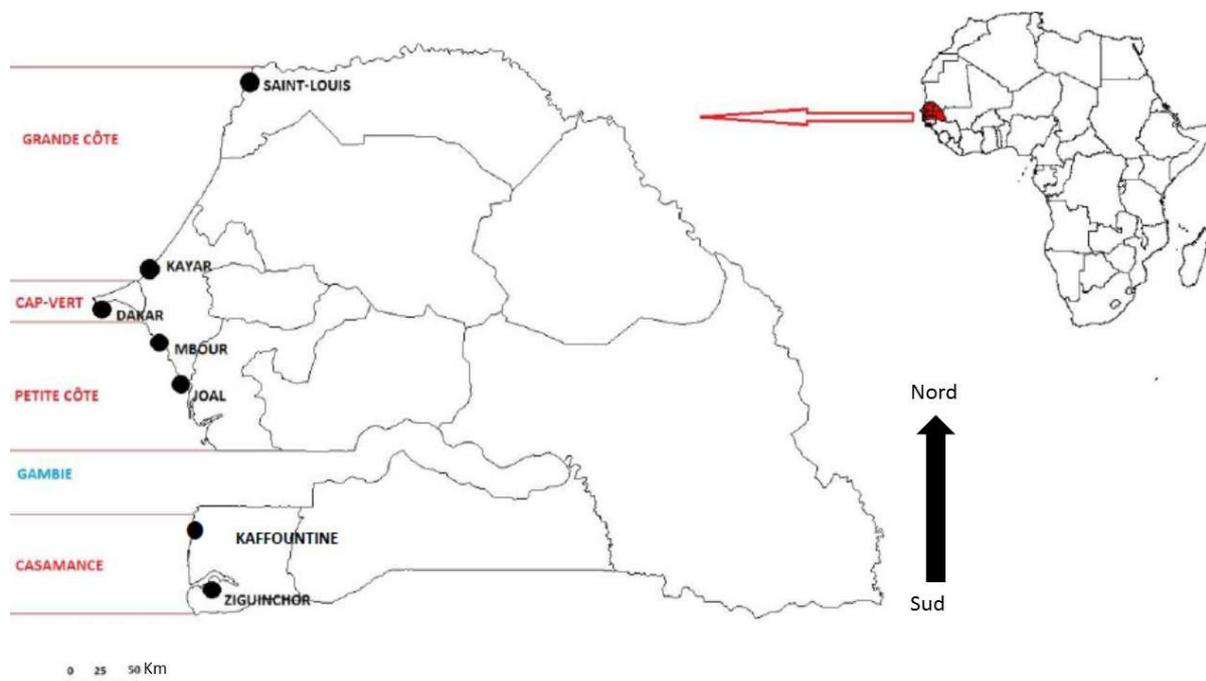


Figure 1.1: Carte de la zone d'étude (élaboration personnelle)

1.3 L'environnement côtier du Sénégal

Le Sénégal est un pays subsaharien doté d'une superficie terrestre d'environ 200 000 km² et d'un espace maritime vaste de 180 895 Km². Ouverte sur l'Océan Atlantique, la côte maritime sénégalaise est principalement orientée nord-sud, elle s'étend de 16°00 N, 20°00 W, 16°30 W, 12°15 N. Avec une ouverture sur l'Océan Atlantique centre-est, le Sénégal bénéficie d'un littoral marqué par la presqu'île du Cap-Vert qui forme l'extrémité occidentale du continent à la pointe des Almadies, avec des îles

(Gorée, Ngor), des îlots (les Madeleines) et une ample baie (Hann). Située entre 14°30 N et 15°00 N, la presqu'île du Cap-Vert divise la côte en trois grandes zones aux caractéristiques géomorphologiques distinctes qui sont, du nord au sud [31]:

- La Grande Côte qui est une zone dunaire avec un hinterland occupé par une frange côtière à forte activité agricole (les Niayes). Cette zone, fortement marquée par le delta du fleuve Sénégal, se prolonge vers le nord par la côte sud mauritanienne qui présente le même biotope. Dans cette zone, le littoral est principalement sableux avec un relief peu marqué, caractérisé essentiellement par des massifs dunaires ;
- La presqu'île du Cap-Vert, d'orientation est-ouest, est une zone à côte escarpée bordée de falaises, d'îles et de quelques plages sableuses ;
- La Petite Côte et la Casamance forment une zone basse au sud, d'abord sableuse jusqu'à Joal, puis parsemée d'embouchures de fleuves (les fleuves Sine-Saloum, Gambie et Casamance et les rivières du sud) occupées par la mangrove.

Le plateau continental a une superficie de l'ordre de 28 700 km² et est limité par l'isobathe des 200 m [31]. Il est réparti sur 4700 km² de fonds de 0 à 10 m, 14200 km² de 10 à 50 m et 9800 km² de fonds de 50 à 200 m [9]. La largeur du plateau est très variable selon qu'on soit au Nord ou au Sud. De Saint-Louis à la presqu'île du Cap-Vert, il se réduit de 27 milles à 5 milles nautiques. Au sud de la presqu'île du Cap-Vert, le plateau continental s'élargit progressivement pour atteindre 87 milles nautiques au niveau de la Casamance. Globalement, le plateau continental sénégalais est peu accidenté, avec toutefois, quelques canyons sous-marins dont le plus important sur la côte nord est la fosse de Kayar. Il existe également deux falaises sous-marines au sud de la presqu'île du Cap-Vert à 45 et 70 m de profondeur.

1.4 Les conditions hydrologiques et l'upwelling

La circulation générale des courants dans la région ouest-africaine est assez bien connue [31]. Les eaux côtières du Sénégal ont sans doute été les premières à faire l'objet de mesures systématiques en Afrique de l'Ouest [32]. L'hydrologie du plateau continental sénégalais a été décrite par plusieurs auteurs tels que Rebert et Rossignol [32]–[34].

Les eaux de surface sont sous influence de deux principaux courants océaniques dont les effets sur le plateau continental sont variables. De janvier à avril, les vents alizés donnent naissance à un phénomène d'upwelling qui s'accompagne d'une remontée d'eaux profondes riches en sels nutritifs, froides (16 à 18°C) et salées. Ensuite en mai-juin, les vents alizés et l'upwelling diminuent. Les mois de juillet et août correspondent à l'extension maximale des eaux tropicales chaudes (28°C) et salées venant du nord. Puis de septembre à novembre, se produit une invasion d'eaux libériennes chaudes et dessalées venant du sud. Et enfin en novembre-décembre, les vents alizés reprennent d'abord dans le nord et les upwellings repoussent vers le large, les eaux libériennes. La rétention côtière est

également un processus local lié à la topographie du plateau continental ouest-africain. Elle est directement induite par la topographie au niveau du Banc d'Arguin (Mauritanie) alors qu'au niveau de la Petite Côte du Sénégal, c'est un processus saisonnier lié à l'upwelling [30].

Le phénomène d'upwelling est une remontée d'eau froide côtière riche en sels minéraux. C'est un phénomène qui est permanent au Nord de la Mauritanie et saisonnier depuis le Sud de la Mauritanie jusqu'au sud du Sénégal, et selon les années et son intensité, il peut s'étendre jusqu'en Guinée Bissau. Ces remontées sont liées aux alizés qui soufflent de novembre à mai. Sous l'effet du vent et de la force de Coriolis, une couche superficielle ou couche d'Ekman (quelques dizaines de mètres) se déplace vers le large. Ainsi, un flux vertical d'eau profonde (chargée en sels minéraux) se crée le long du talus continental afin de permettre la compensation du déséquilibre. L'intensité de l'upwelling dépend de la vitesse des alizés qui le génèrent [10]. Ainsi, l'upwelling est plus intense de janvier à avril. Cependant, on note une forte variabilité interannuelle de l'indice d'upwelling dans la zone sénégal-mauritanienne [7]. Son intensité de part et d'autre de la presqu'île du Cap Vert peut aussi être différente du fait de l'orientation de la côte. Ce phénomène est la principale source d'enrichissement des eaux dans cette zone [7]. Ainsi, l'apport de phosphore par an et par kilomètre de côte est estimé à 0,7 million de tonnes [32]. De plus, la concentration en nitrates est 12 fois plus forte en saison froide qu'en saison chaude [35]. Ces eaux riches en nutriments permettent une intense efflorescence de phytoplancton et le développement de l'ensemble de la chaîne alimentaire, depuis le zooplancton et les organismes invertébrés, jusqu'aux maillons supérieurs, poissons, mammifères marins et colonies d'oiseaux de mer. Cette forte productivité biologique dont dépendent les communautés de pêcheurs connaît une forte variabilité saisonnière [7]. Même s'il n'est pas démontré que l'indice d'abondance des sardinelles n'est lié qu'à l'indice d'upwelling, il est observé cependant que les grandes concentrations de sardinelles se trouvent dans les zones d'upwelling [8], [17].

1.5 La pêche au Sénégal

Les pêcheries sénégalaises sont constituées par une flotte piroguière artisanale essentiellement nationale et des bateaux industriels nationaux ou étrangers. Ces derniers sont très divers en taille, en puissance et en zone d'intervention. Dans le cas de cette étude nous nous intéressons à la pêche aux petits pélagiques et principalement à la pêche artisanale. Ceci est motivé d'une part par le déclin de la pêche industrielle nationale aux petits pélagiques (sardiniers) mais aussi par l'état parcellaire des données sur la pêche étrangère aux petits pélagiques dans le cadre d'accords de pêches.

1.6 Pêche artisanale au Sénégal

1.6.1 Définition de la pêche artisanale

Divers organismes ont tenté de trouver une définition qui soit mondialement acceptable pour la pêche artisanale, mais sans succès [28]. Il n'y a aucune définition satisfaisante du terme «artisanal» dans le sens de «pêcheries artisanales». Quelques paramètres d'ordres très généraux existent bien mais même ceux-ci prêtent à discussion. Par exemple, en termes sociaux et économiques «pêcheries

artisanales», laissent quelquefois sous-entendre l'utilisation de main-d'œuvre familiale et des investissements limités mais dans bien des cas cela n'est pas vrai. L'utilisation de critères tels que les moyens techniques et financiers nécessaires pour les opérations de pêche, les distances parcourues ou le nombre de jours en mer ne fournissent pas non plus d'indications fiables. Bien que l'expression «pêcheries artisanales» signifie généralement tous types de pêche autres que la pêche industrielle, certaines sont toutefois presque semi-industrielles, et l'échelle de production atteinte dans certains centres de débarquements est plus industrielle qu'artisanale (par exemple les débarquements annuels à Joal sur la Petite Côte sénégalaise sont supérieurs à ceux de bien des ports français).

Les pêcheries artisanales du Sénégal considérées dans la présente étude ne sont donc pas définies de manière claire et précise. Généralement on peut dire que les bateaux concernés sont des pirogues parfois de grande taille (jusqu'à 21 m de longueur), équipées le plus souvent de moteurs hors-bord et possédant parfois des moyens permettant de conserver le poisson dans de la glace lorsqu'elles restent en mer plusieurs jours.

Les propriétaires, l'équipage, le personnel chargé des opérations de transformation du poisson et les distributeurs de poisson peuvent appartenir à la même communauté et sont souvent apparentés, bien que cela ne soit pas une règle générale, notamment dans les centres de pêche les plus importants. Les captures sont utilisées soit à l'intérieur du pays, soit exportées. En conséquence certains auteurs préfèrent utiliser l'expression « pêches piroguières » que ce soit pour le Sénégal ou l'ensemble des pays d'Afrique de l'Ouest [14].

1.6.2 Les communautés de pêcheurs artisans

L'activité de pêche artisanale est pratiquée par trois grands groupes ethniques : les Wolofs de Guet-Ndar, les Lébous de Kayar, du Cap-Vert et de la Petite-Côte et les Nyominkas (sous-groupe Sérère) des îles du Saloum. D'autres groupes de pêcheurs tels que les Diolas et les Socès moins importants pratiquent aussi la pêche dans les îles du Saloum et en Casamance. De tous ces pêcheurs, seuls les Guet-Ndariens à l'origine tirent tous leurs revenus de la pêche [11]. Concernant les autres communautés, la plupart des pêcheurs ont d'autres activités alternatives telles que l'agriculture et l'élevage. Les pêcheurs Wolofs Guet-Ndariens sont de grands migrants, ils se déplacent le long de la côte de la Mauritanie jusqu'en Guinée Bissau et parfois même plus loin. Ceci leur permet de suivre les bancs de poissons sur leur zone d'expansion. Ils influencent les autres pêcheurs dans les autres zones de pêche en terme de transferts de savoirs faire et de technologie [11]. Les Nyominkas et les Lébous migrent en dehors de la saison agricole le long de la Petite-Côte vers la Gambie et la Casamance (voire la Guinée Bissau). Mais la sécheresse et la baisse des rendements agricoles ont causé le déclin, voire la disparition de la plupart des activités agricoles, ce qui a renforcé la vocation halieutique des communautés côtières comme les Nyominkas et les Lébous pour qui aujourd'hui l'exploitation des ressources marines est devenue la principale source de revenus. D'autres communautés telles que les Baol-Baol effectuent aussi des migrations saisonnières lors des saisons sèches du bassin arachidier (Baol) vers la petite côte pour fournir du travail « peu qualifié » dans la pêche à la senne tournante.

1.6.3 Les centres de débarquement

Entre Saint-Louis au Nord et la Casamance au Sud du Sénégal, 226 centres de pêche ont été recensés par le CRODT/ISRA. En fonction des quantités débarquées, du niveau d'activité et du parc piroguier, les centres de pêche maritime sont classés en grands, moyens et petits.

Les grands centres de pêche sont des sites permanents dans lesquels les débarquements sont continus et supérieurs à 2 500 tonnes en moyenne sur l'année. Il s'agit de Saint Louis, Kayar, Yoff, Soumbédioune, Hann, Rufisque, Mbour, Joal et Djifère. Ces centres concentrent environ 80 % des activités de pêche artisanale, ils sont pour la plupart d'accès facile. A l'exception de Soumbédioune, ils possèdent tous une halle couverte équipée de quais pour le chargement des véhicules transportant le poisson, des sites de transformation, des chantiers de construction de pirogues artisanales, des stations de distribution de carburant et des ateliers d'entretien des moteurs.

Les centres de débarquement sont agrégés en six régions halieutiques dans les analyses statistiques effectuées par le CRODT/ISRA:

- Fleuve qui regroupe Saint Louis et ses environs ;
- Thiès-Nord qui regroupe Kayar et ses environs ;
- Cap-Vert qui concentre Dakar et ses environs ;
- Thiès-Sud qui regroupe Mbour, Joal et leurs environs ;
- Sine Saloum regroupant Fatick, Foundiougne et les Iles du Saloum ;
- Casamance concentrant les centres du Sud de la Gambie à la limite Sud du Sénégal.

Les quatre premières régions (Fleuve, Thiès-Nord, Cap-Vert, Thiès-Sud) sont les plus couvertes en termes d'enquête (figure 1.2). La zone la plus importante du point de vue des débarquements est celle de Thiès-Sud avec plus de 50 % des captures artisanales maritimes. C'est le centre de Joal qui enregistre les plus importantes mises à terre avec environ 150 000 tonnes par an.

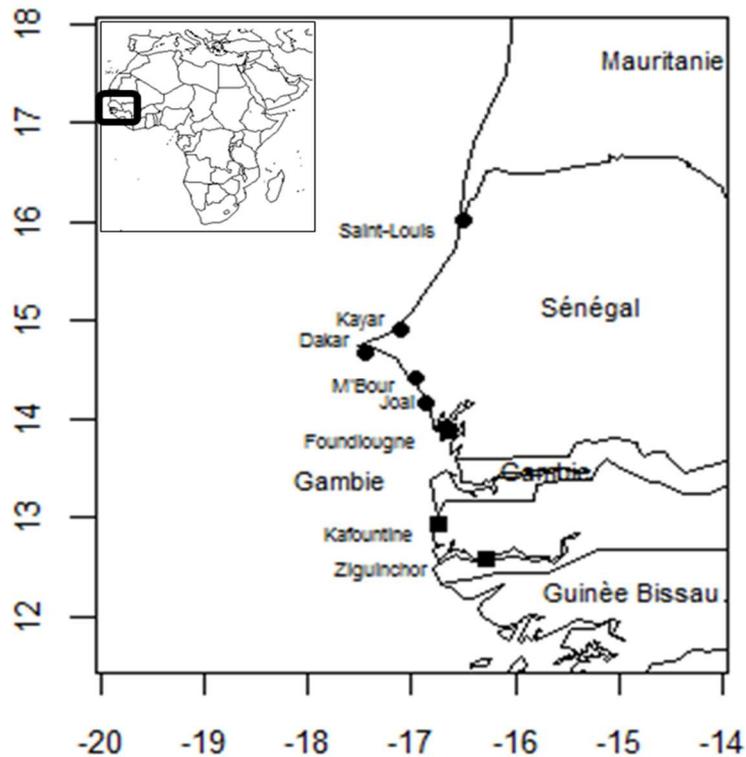


Figure 1.2 : Les centres de débarquements sur la côte sénégalaise (les disques représentent les centres les plus couverts par les enquêtes du CRODT et les carrés représentent les moins couverts)

Les centres de pêche moyens à petits sont temporaires et sont souvent satellites des grands centres de pêche. Ils sont pour la plupart mal desservis par le réseau routier et souvent mal reliés aux marchés d'éclatements et d'écoulement des produits halieutiques.

1.7 Conclusion

Sur le plan halieutique, le Sénégal peut être considéré comme un pays riche. Cette richesse, caractérisée par une grande biodiversité marine, est sans nul doute liée aux caractéristiques géographiques et hydrologiques du domaine maritime sénégalais. L'exploitation des ressources halieutiques est en majorité assurée par une flotte artisanale. La pêche artisanale est assurée par des communautés de pêcheurs très dynamiques et assez diversifiées selon les modes de pêches pratiqués mais aussi par les degrés de dépendance aux ressources. A ces communautés s'ajoute une main d'œuvre créée par l'exode rural consécutif aux sécheresses répétées dans le bassin arachidier. Cette main d'œuvre « peu qualifiée » est principalement utilisée dans la pêche de sardinelles. Cette dernière très demandeuse en main d'œuvre et sa dynamique fera l'objet d'étude du chapitre suivant.

CHAPITRE 2: LA PECHERIE DE SARDINELLES ET SA DYNAMIQUE

2.1 Introduction

La pêcherie de sardinelles au Sénégal est très ancienne [12], [36]. Elle a connu depuis les années 1950 divers changements et principalement dans la technique de pêche. Dans ce chapitre, nous allons dans un premier temps effectuer un inventaire des données disponibles sur la pêcherie et par la suite présenter les méthodologies utilisées pour les traiter. Enfin, nous allons analyser les dynamiques biologique, économique, politique et sociale qui régissent la pêcherie de sardinelles au Sénégal. A cet effet, une large revue de la littérature disponible sur la pêche de petits pélagiques côtiers a été effectuée. Il s'agit plus spécifiquement des publications telles que les articles scientifiques, les livres, les thèses, les mémoires, les rapports d'étude, les communications à des colloques et symposiums et les documents institutionnels (projets, programmes, plans, etc.). Certains sites internet aussi ont été utilisés en complément.

2.2 Nature, sources et méthodologies de traitement des données

2.2.1 Les bases de données utilisées

La majeure partie des données utilisées dans ce travail est issue des bases de données du CRODT/ISRA. Il s'agit principalement des informations concernant les flottilles de pêche, l'effort de pêche, les captures, les mensurations biologiques et les prix au débarquement. Ces données sont issues d'un travail de collecte régulièrement (enquêtes quotidiennes, recensements, etc.) conduit au CRODT/ISRA. Les méthodologies d'enquêtes et la structure des bases de données sont détaillées par plusieurs auteurs [37]–[41]. En plus de ces bases de données, nous avons aussi utilisé la base de la FAO (Système mondial de l'information sur les pêches (FIGIS)) mais aussi celles disponibles au niveau des différents services techniques du ministère chargé de la pêche, en particulier celle de la Direction des pêches maritimes (DPM). Ces dernières sont utilisées pour avoir non seulement un aperçu sur les importations et les exportations de sardinelles au Sénégal mais aussi pour connaître les principales destinations des débarquements.

D'autres données (Infrastructures, démographie, inflation, etc.) sont obtenues à travers diverses sources telles que la Banque mondiale, l'UEMOA et l'Agence Nationale de Statistique et de la Démographie du Sénégal.

En complément de ces données, dans le cadre du projet AWA, une enquête socioéconomique a été réalisée sur tout le littoral sénégalais, 800 pêcheurs, transformateurs et mareyeurs ont été interrogés.

En plus des enquêtes, nous avons mené des entretiens et des focus groupes avec des acteurs de la filière (pêcheurs, mareyeurs et transformateurs). Ces entretiens ont été réalisés à Saint Louis, Kayar, Mbour, Joal, Foundiougne et Kafountine. Cinq focus groupes ont été réalisés par centre de débarquement. Les différents thèmes abordés se résument à leurs perceptions sur la dynamique de la

ressource, la dynamique de la pêche, leur niveau de richesse, l'impact du changement climatique, etc.

Généralement, les acteurs de la pêche artisanale disposent de savoirs empiriques qui constituent aujourd'hui une source d'information très importante pour la compréhension de la dynamique des populations de poissons. En plus de cela, ils détiennent les informations pouvant expliquer ou aider à expliquer au mieux les dynamiques socioéconomiques qui s'opèrent au fil du temps dans les pêcheries. Il s'agit de connaissances non écrites, elles sont liées aux vécus, à l'expérience et à la culture. Ces types d'informations permettent de pallier l'irrégularité, voir l'imperfection ou l'absence totale de séries temporelles sur certains indicateurs. Les informations sur les savoirs empiriques sont collectées à partir d'entretiens semi-directifs individuels ou en groupe. Au-delà d'une meilleure compréhension des évolutions bioécologiques et socioéconomiques locales, ces entretiens nous permettent de mieux concevoir le modèle à mettre en œuvre.

2.2.2 Traitements préliminaires des données

Les données obtenues nous ont permis de constituer des séries spatio-temporelles pour pouvoir effectuer les premières analyses. La première étape du traitement consiste à faire un contrôle de cohérence afin de détecter les irrégularités et les erreurs de saisie. Les séries chronologiques utilisées sont de l'ordre de deux à trois décennies et parfois plus. Les données brutes sont agrégées en moyenne (ou en cumul) temporelle (mois et/ou année). Pour certaines séries, l'irrégularité de la collecte entraîne parfois quelques valeurs manquantes. Les données manquantes sont remplacées par des valeurs obtenues par la méthode des moyennes mobiles.

A partir des traitements préliminaires des données, une analyse descriptive de l'évolution des principales caractéristiques de la pêche de sardinelles est effectuée pour la mise en exergue des mutations subies. Il sera question ici d'étudier l'évolution des différentes séries chronologiques et spatiales. L'analyse quantitative est également complétée et renforcée par une interprétation des informations basées sur la bibliographie et les savoirs empiriques des acteurs.

2.2.2.1 *Données biologiques*

Il s'agit ici des données de capture par classe de taille, des paramètres de reproduction, de mortalité naturelle, de la croissance, de l'estimation du recrutement, et de la capturabilité des deux espèces de sardinelles.

Les données de capture par classe de taille sur le littoral sénégalais (Grande Côte et Petite Côte) sont étalées sur 15 mois entre mars 2012 et mai 2013. Ces données sont issues d'une enquête mensuelle menée par le CRODT/ISRA et financé par le projet COMFISH. Les échantillonnages sont effectués au niveau des centres de débarquements de Kayar, de Mbour et de Joal. Les échantillons sont prélevés à partir des captures de la pêche artisanale. Les mensurations et les poids totaux des individus de l'échantillon sont relevés.

Au total 5105 individus de *S. aurita* et 5315 individus de *S. maderensis* ont été échantillonnés au niveau des centres de débarquements de mars 2012 à mai 2013. Dans chacun de ces sites, les poissons sont échantillonnés au hasard au sein des captures de différents engins de pêche artisanale (essentiellement ST et FME) utilisés pour la capture des sardinelles. L'analyse des fréquences de taille est présentée au paragraphe 2.2.2.4.1.

Les paramètres de croissance et de reproduction (tableau 2-1) utilisés ici sont issus de la littérature et plus spécifiquement de Camarena Luhrs et de Fréon [18], [42].

Tableau 2-1: Les paramètres biologiques des sardinelles au Sénégal

		<i>Sardinella aurita</i>	<i>Sardinella maderensis</i>
Paramètres de la relation taille-poids	A	0,006392	0,0098535
	B	3,274	3,1673
Paramètres de la relation de croissance de von Bertalanffy	k/mois	0,10083333	0,04083333
	L_{inf} (cm)	30,63	30,34
	t₀ (mois)	-0,72	-7,08
	Mortalité naturelle (an)	1,24	0,54
	Taille de maturité sexuelle (cm)	18,9	17,5
	Sources	[18]	[42]

2.2.2.2 Données de captures et d'effort

Les données de captures sont essentiellement issues de la base de données du CRODT/ISRA. Elles concernent les captures par mois de sardinelles rondes et de sardinelles plates par principaux centres de débarquement de 1981 à 2013.

Les données d'effort sont aussi issues de la base de données du CRODT/ISRA. Elles concernent l'effort de pêche des sennes tournantes et des filets maillants encerclants par principaux centres de débarquement par mois sur la période de 1981 à 2013. L'effort de pêche artisanale est exprimé en nombre de jours de sorties.

Les principaux centres de débarquement sont : Saint Louis, Kayar, Yoff, Soumbédioune, Hann, Rufisque, Mbour et Joal.

Par ailleurs les données sur l'évolution des unités semi-industrielle de pêche sardinière sont issues de différents rapports du CRODT/ISRA et de la DPM. Il n'en existerait plus qu'une en activité en 2014.

Les séries chronologiques de capture et d'effort seront présentées plus loin dans la section 2.3.3

2.2.2.3 Les captures accessoires

Les sennes tournantes et les filets maillants encerclants ne capturent pas que des sardinelles. En effet, le filet maillant encerclant capture aussi beaucoup d'ethmalose et dans une moindre mesure d'autres espèces telles que *Arius spp.*, *Caranx spp.*, *Pseudolithus spp.* et *Sphyraena spp.* Les sennes tournantes aussi capturent d'autres espèces telles que *Scomber japonicus*, *trichiurus lepturus*, *Trachurus trachurus*, *Trachurus trecae*, *Chloroscombus chrysurus* et *Ethmalosa fimbriata*.

2.2.2.4 Estimation du recrutement par l'analyse de population virtuelle (VPA : Virtual Population Analysis)

A partir des données biologiques et de captures, nous avons estimé le recrutement pour chacune des deux espèces à partir de la méthode d'analyse des populations virtuelles (VPA). Au vu de la qualité et de la quantité des données disponibles, l'estimation du recrutement est basée sur un certain nombre d'hypothèses qui sont les suivantes :

- La structure des captures par taille des deux espèces est supposée constante de 1995 à 2013 ;
- La VPA se limite aux données de débarquements réalisées au Sénégal ;
- La mortalité naturelle est constante pour toutes les tailles et sur tout la période ;
- Les captures et les débarquements sont assimilés. On suppose qu'il n'y a pas de rejets.

2.2.2.4.1 Analyse des fréquences de taille

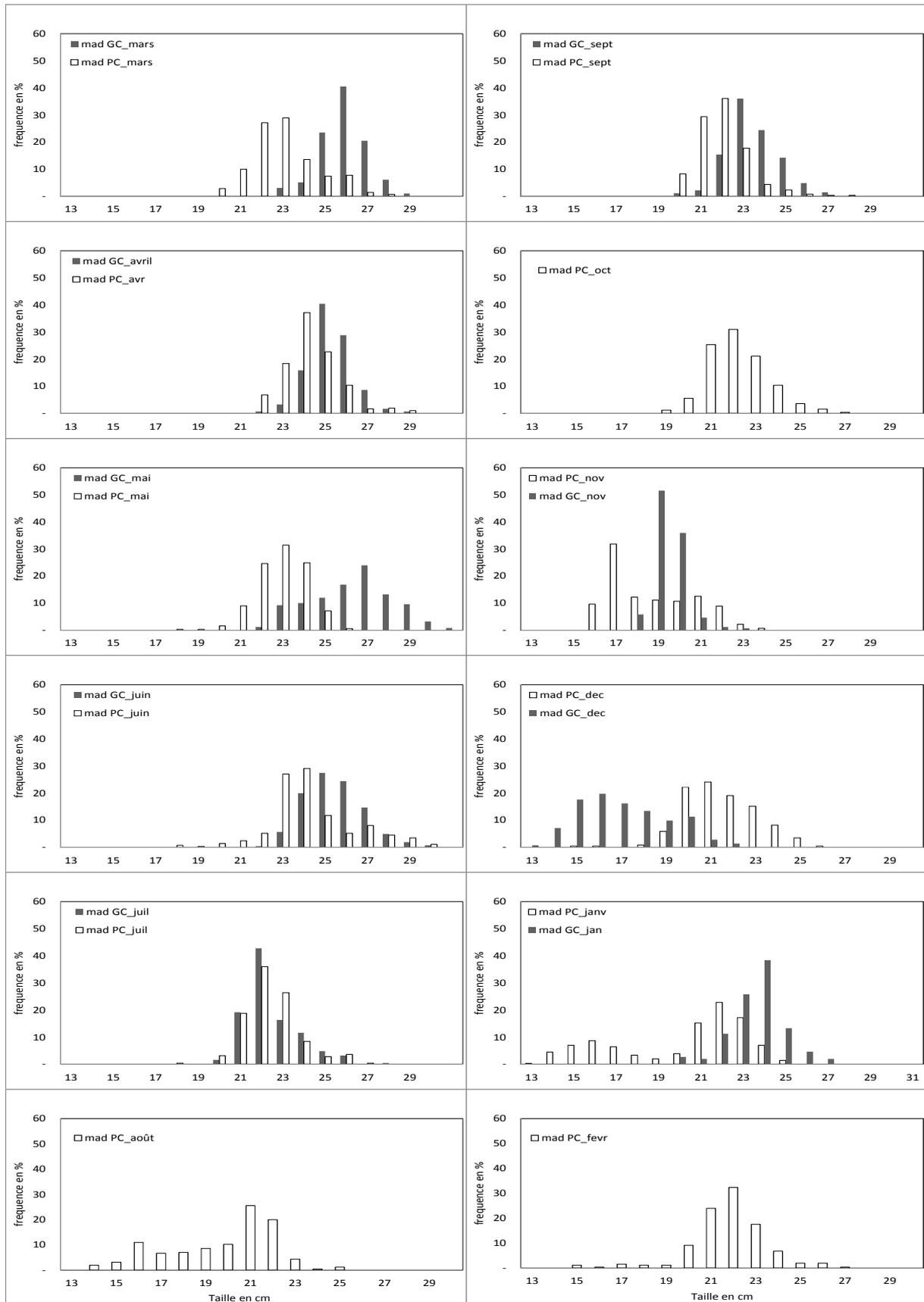
Pour avoir un aperçu sur la structure des captures par classe de taille, nous avons effectué une analyse mensuelle des fréquences de taille des captures dans la zone d'étude.

A. Analyse des fréquences de taille de *Sardinella maderensis*

L'analyse des fréquences de taille des captures de *Sardinella maderensis* nous montre qu'il existe un large spectre de taille sur la Petite Côte (figure 2.1). On note pour les mois d'août, novembre et de janvier des distributions bimodales qui pourraient correspondre à des recrutements. Hormis ces trois mois, le spectre de taille dépasse la taille de première maturité (17.5 cm) et les individus observés sont plutôt de grande taille. Les plus grandes tailles sont observées en juin-juillet.

Pour ce qui concerne la Grande Côte, l'analyse nous montre un spectre de taille beaucoup plus réduit. On note au mois de décembre une distribution bimodale avec des individus allant une taille inférieure à la taille de première maturité qui laisse supposer un recrutement. Pour le mois d'août correspondant à la saison des pluies, une absence relative de sardinelle plate est constatée sur la Grande Côte. Par ailleurs pour le reste de l'année les individus sont plutôt de taille moyenne à grande.

Globalement l'observation des fréquences de taille de *Sardinella maderensis* laisse supposer qu'il existe trois périodes de recrutement qui coïncident aux périodes d'août, de novembre et de janvier-février pour la Petite Côte et une seule au mois de décembre pour la Grande Côte.



(source : nos calculs à partir des données du CRODT/ISRA)

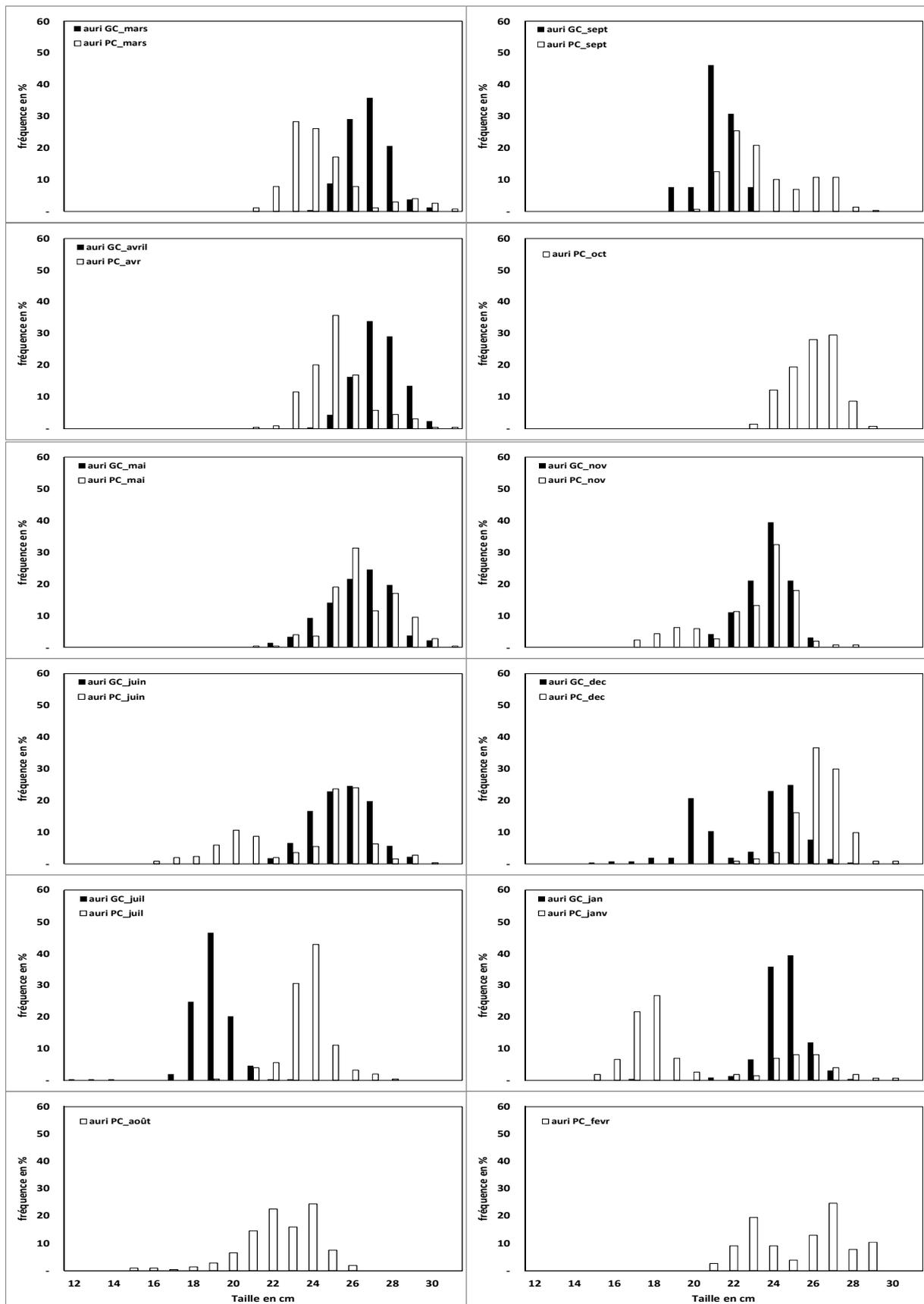
Figure 2.1 : Fréquence des tailles de *Sardinella maderensis* capturées entre mars 2012 et février 2013 au Sénégal (les tailles en abscisse sont des mesures de la longueur à la fourche).

B. Analyse des fréquences de taille de *Sardinella aurita*

L'analyse des fréquences de taille des captures de *Sardinella aurita* nous montre qu'il existe un plus grand spectre de taille sur la Petite Côte (figure 2.2). On note pour les périodes de juin-août et janvier des distributions très étalées avec des individus qui ont des tailles inférieures à la taille de première maturité (18.9) qui pourraient correspondre aux recrutements. Hormis ces périodes, le spectre de taille dépasse la taille de première maturité et les individus observés sont plutôt de grande taille.

Concernant la Grande Côte, les tailles sont plutôt grandes de janvier à juin. On observe par ailleurs entre juillet et décembre des tailles plutôt moyennes à petite, inférieures à la taille de première maturité pour juillet et décembre.

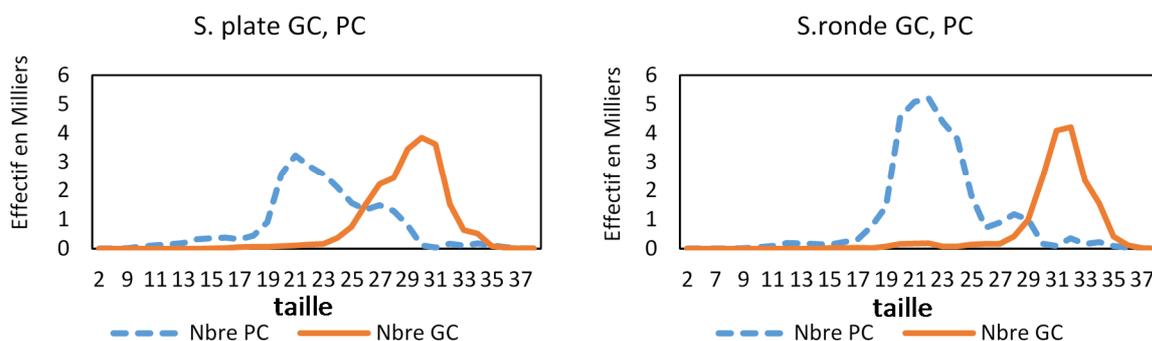
Pour ce qui s'agit de l'analyse globale des fréquences de taille, elle suggère un recrutement en juin et en janvier sur la Petite Côte et en juillet et décembre pour la Grande Côte.



(source : nos calculs à partir des données du CRODT/ISRA)

Figure 2.2 : Fréquence des tailles de *Sardinella aurita* capturées entre mars 2012 et février 2013 au Sénégal (les tailles en abscisse sont des mesures de la longueur à la fourche).

Selon les observations d'abondance par classes de taille par site, la taille des sardinelles est significativement différente selon la zone et paraît plus grande sur la Grande Côte (figure 2.3). Cependant ceci ne nous permet pas de dire qu'il existe plusieurs stocks ou sous-stocks de sardinelles car ces dernières sont caractérisées par une migration saisonnière et constituent des stocks partagés entre la Mauritanie, le Sénégal et la Gambie. La VPA sera appliquée en conséquence sur l'ensemble des données de débarquements au Sénégal et non par zones.



(source : Nos calculs à partir des données du CRODT/ISRA)

Figure 2.3 : Distribution des structures de tailles de sardinelles au Sénégal sur la Grande Côte (GC) et sur la Petite Côte (PC). Les tailles en abscisse sont des mesures de la longueur à la fourche

2.2.2.4.2 Principes et hypothèses de l'analyse de population virtuelle

A partir des captures d'une espèce, la VPA permet d'estimer l'abondance et la biomasse de la population qui devait se trouver en mer pour permettre de produire ces captures [43]–[48]. Les résultats fournis par ce type d'analyse sont les effectifs du stock et les mortalités par pêche, par classe d'âge. La VPA fait partie des méthodes les plus utilisées dans l'évaluation des stocks halieutiques particulièrement dans les zones tempérées ou froides où les pêcheries sont généralement mono spécifiques et se caractérisent par la présence d'arrêts de croissance qui facilitent la détermination des âges des espèces. En Europe le CIEM et l'ICCAT utilisent ces méthodes depuis plusieurs décennies pour évaluer les stocks. Cependant, ces méthodes restent moins utilisées en zone tropicale du fait de la présence de pêcheries multi spécifiques, de la difficulté de la détermination des âges et du manque des moyens financiers et humains nécessaires [49]. La méthode est considérée parmi celles les plus exigeantes en termes de données et les plus puissantes et les plus appropriées pour décrire l'impact de la pêche sur les ressources. Elle s'intéresse aux différents processus qui agissent sur l'abondance du stock [44] et permet de réaliser une description historique détaillée de la dynamique passée de l'espèce tout en en détaillant les processus de base (recrutement, croissance, mortalité, etc.) qui l'affectent. L'analyse des populations virtuelles appelée aussi analyse séquentielle ou analyse des cohortes est l'une des méthodes les plus utilisées de l'approche structurale. Elle constitue un préalable à tout diagnostic et à toute modélisation prédictive et décisionnelle par l'approche structurale [50].

2.2.2.4.2.1 La méthodologie de la VPA

Les données de fréquence par classe de taille et des captures de sardinelles sont utilisées pour estimer le recrutement à partir de la méthode de VPA au Sénégal. Pour estimer le recrutement, il est nécessaire d'effectuer un prétraitement de ces données pour obtenir une matrice des captures aux âges.

Le pas de temps utilisé ici est trimestriel, pour tenir compte de la biologie des deux espèces de sardinelles: croissance rapide, d'une courte durée de vie de l'ordre de 5 ans et forte productivité. Les différents paramètres biologiques utilisés sont dans le tableau 2-1. Les données de captures par classe de taille sont regroupées dans une matrice par trimestre. A partir du nombre d'individus échantillonnés, du poids de l'échantillon et des captures trimestrielles, on effectue une extrapolation pour obtenir le nombre d'individus correspondant aux captures totales trimestrielles. Ces dernières sont alors ventilées à l'aide de la matrice des fréquences de taille en nombre d'individus par classe de taille. Le nombre d'individus par classes de taille représente la matrice des captures par tailles.

Pour passer des captures par taille aux captures par âges, les données de classe de taille sont converties en classe d'âge (Clé taille-âge) avec l'aide de la relation suivante issue de l'équation de croissance de von Bertalanffy. Elle nous permet d'obtenir l'âge (t) en fonction de la longueur L_t .

$$t = t_0 - \frac{(\ln(1 - \frac{L_t}{L_\infty}))}{K} \quad \text{Équation 2-1}$$

Les captures par taille sont donc transformées en captures par groupe d'âge trimestriel.

La VPA est ajustée selon l'approximation de Pope [51]. Cette approximation revient à faire comme si l'ensemble de la capture était réalisée instantanément au milieu du trimestre. Cela conduit ainsi à une simplification de l'équation de survie qui permet de calculer les effectifs N directement à partir du taux de mortalité naturelle et des données de captures. Cette équation exprime l'effectif en début de la période considérée du groupe d'âge d'une cohorte en fonction de l'effectif du groupe d'âge précédent.

$$N_{t+1} = N_t * e^{(-Z_t) * \Delta_t} \quad \text{Équation 2-2}$$

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

N_{t+1} = l'effectif du trimestre suivant

N_t = l'effectif du trimestre en cours

Δ_t = 1 (soit un trimestre)

L'équation de capture détermine les captures réalisées sur une cohorte en tenant compte de l'effectif de ce dernier en début de trimestre :

² L_t est la longueur du poisson à l'âge t, L_∞ la longueur asymptotique, K le coefficient de croissance, t l'âge absolu du poisson et t_0 l'âge théorique qu'aurait un poisson de longueur nulle s'il avait grandi de tout temps selon l'équation en question.

$$C_t = \frac{N_{(t)} * F_t [1 - e^{-Z_t}]}{Z_t}$$

Équation 2-3

Une valeur de la mortalité par pêche F_t est utilisée pour initialiser les calculs. La mortalité par pêche terminale est le paramètre d'initialisation de l'analyse de cohortes [47] qui s'effectue par rétro-calcul et s'appuie sur la propriété de convergence mise en évidence par Jones [46]. Une éventuelle erreur relative commise sur la mortalité par pêche terminale s'estompe vers les groupes d'âges de poissons plus jeunes, mais elle est fonction de la mortalité par pêche cumulée et si la pêche n'est pas la cause majeure de la mortalité, la convergence n'aura pas lieu [51].

La valeur de $F_{terminale}$ choisie sera celle pour laquelle la capturabilité q des dernières classes d'âges reste constante. Si le $F_{terminale}$ introduit est trop faible, la capturabilité va décroître, par contre si il est trop élevé, le nombre de survivants des dernières classes d'âges sera inférieur aux captures et la capturabilité augmente.

Ce calcul est conduit par itération en partant d'une valeur arbitraire de $F_{terminale}$, puis en répétant les calculs jusqu'à ce que la mortalité par pêche terminale soit égale à la mortalité par pêche moyenne des derniers âges.

L'équation suivante est utilisée pour déterminer l'effectif du dernier groupe d'âge

$$N_t = \frac{C_{(t)} * Z_t}{F_t [1 - e^{-Z_t}]}$$

Équation 2-4

L'équation de Pope (1972) est utilisée pour calculer les effectifs des autres groupes d'âges d'une manière ascendante selon l'équation suivante :

$$N_t = (N_{t+1} * e^{M_t}) + (C_{(t)} * e^{M_t * \frac{1}{2}})$$

Équation 2-5

L'équation de la mortalité par pêche par âge est :

$$F_t = \ln \left(\frac{N_{(t)}}{N_{(t+1)}} \right) - Z_t$$

Équation 2-6

Sachant que la mortalité naturelle et le $F_{terminale}$ sont des constantes le résumé des calculs est représenté dans les tableau 2-2, tableau 2-3 et tableau 2-4

Après avoir choisi un $F_{terminale}$ on calcule l'effectif du dernier groupe d'âge dans le tableau 2-3. A partir de cet effectif, la mortalité naturelle et les captures on peut calculer l'effectif de la cohorte en $t - 1$. Avec l'effectif à t et $t-1$ dans le tableau 2-3, on peut calculer la mortalité par pêche correspondante à $t-1$ dans le tableau 2-4.

Les calculs sont effectués comme suite à partir d'une feuille Excel. Les effectifs du premier groupe d'âge de la matrice des effectifs (N) par groupe d'âge sont considérés comme le recrutement.

Tableau 2-2 : Matrice des captures (C_t) par groupe d'âge (trimestre)

	T1	T2	T3	T4
1	$C_{1,1}$			
2		$C_{2,2}$		
3			$C_{3,3}$	
4				$C_{4,4}$

Tableau 2-3 : Matrice des effectifs (N) par groupe d'âge (trimestre)

	T1	T2	T3	T4
1	$N_{1,1} = N_{(t+1)} * e^{M_t * \Delta t} + C_{(t)} * e^{M_t * \frac{\Delta t}{2}}$			
2		$N_{2,2} = N_{(t+1)} * e^{M_t * \Delta t} + C_{(t)} * e^{M_t * \frac{\Delta t}{2}}$		
3			$N_{3,3} = N_{(t+1)} * e^{M_t * \Delta t} + C_{(t)} * e^{M_t * \frac{\Delta t}{2}}$	
4				$N_{4,4} = \frac{C_{(t)} * Z_t}{F_t [1 - e^{(-Z_t) * \Delta t}]}$

Tableau 2-4 : Matrice des mortalités par pêche (F) par groupe d'âge (trimestre)

	T1	T2	T3	T4
1	$F_{1,1} = \ln \left(\frac{N_{(t)}}{N_{(t+1)}} \right) - Z_t$			
2		$F_{2,2} = \ln \left(\frac{N_{(t)}}{N_{(t+1)}} \right) - Z_t$		
3			$F_{3,3} = \ln \left(\frac{N_{(t)}}{N_{(t+1)}} \right) - Z_t$	
4				$F_{terminale}$

2.2.2.4.2.2 Le recrutement de sardinelles

Dans cette analyse, les recrutements sont assimilés aux individus ayant entre trois et six mois. Ils sont considérés comme n'ayant pas atteint la taille de première maturité sexuelle (voir tableau 2-1).

L'estimation du recrutement par année pour la sardinelle ronde montre qu'il présente une grande différence d'une année à l'autre. L'évolution peut être analysée en trois phases figure 2.4 :

- de 1995 à 1999 une baisse du nombre d'individus entrants dans la pêcherie ;
- de 1999 à 2007 une augmentation considérable et l'effectif qui est plus que doublé ;
- depuis 2007, on observe une baisse considérable du recrutement.

Pour ce qui s'agit du recrutement moyen trimestriel (figure 2.5), on constate un minimum en trimestre 3 (juillet, août et septembre), ce qui correspond à la période chaude.

Cette analyse se reflète aussi sur les captures. La tendance des captures est similaire à la tendance des recrutements. Ces variations d'abondance pourraient être principalement expliquées par les conditions environnementales (température, upwelling, etc.).

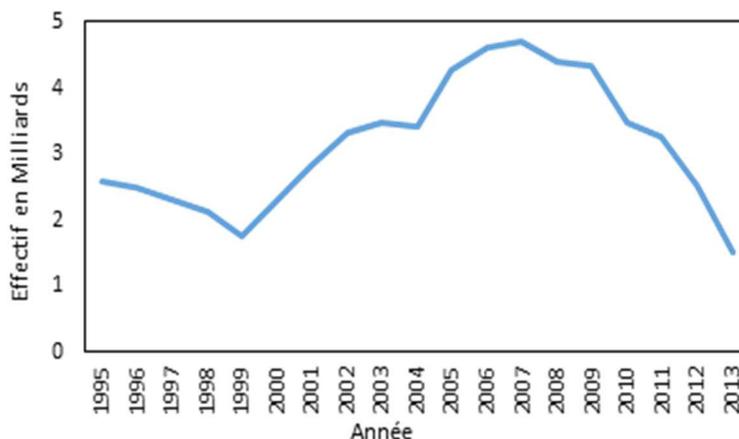


Figure 2.4 : Evolution du recrutement annuel de la sardinelle ronde de 1995 à 2013.

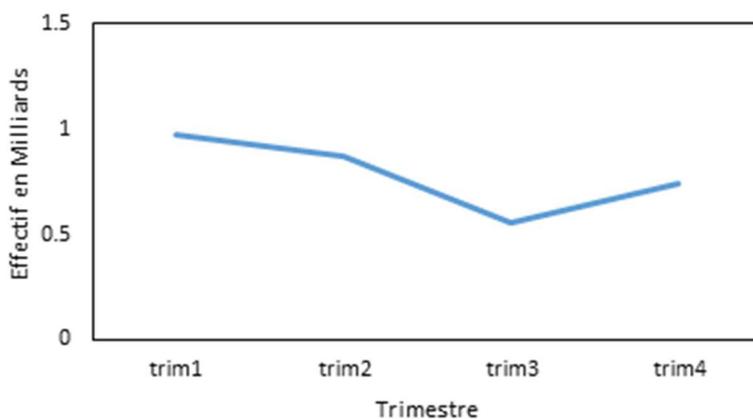


Figure 2.5 : Evolution moyenne trimestrielle du recrutement de la sardinelle ronde de 1995 à 2013.

Pour la sardinelle plate (figure 2.6), on constate une variabilité inter annuelle du recrutement de moindre importance que pour la sardinelle ronde. Le niveau de recrutement a connu une hausse de 1996 à 2002, mais depuis lors, il a baissé et est plus ou moins stable de 2004 à 2013.

Pour ce qui s'agit du recrutement de sardinelle plate par trimestre (figure 2.7), on constate un minimum en trimestres 1 et 2.

Ceci semble se refléter sur les captures. La tendance des captures est similaire à la tendance des recrutements. Cette variation pourrait être expliquée par les mêmes facteurs que ceux influençant le recrutement de la sardinelle ronde.

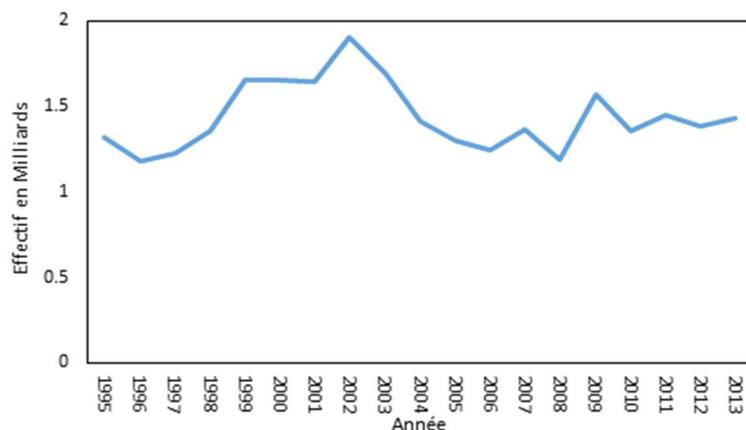


Figure 2.6 : Evolution du recrutement annuel de la sardinelle plate de 1995 à 2013

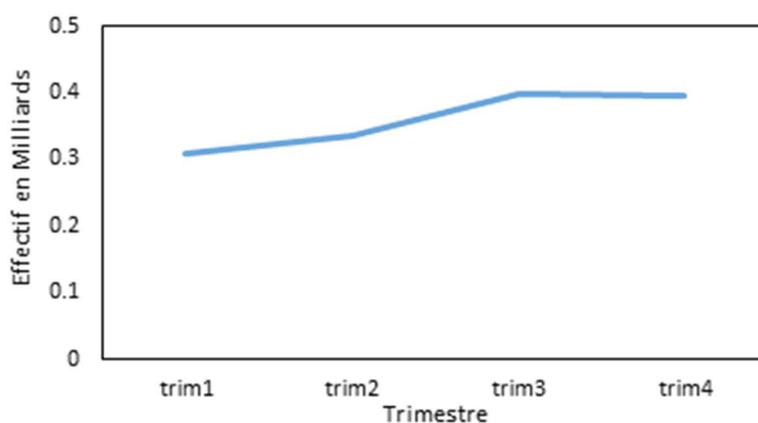


Figure 2.7 : Evolution moyenne trimestrielle du recrutement de la sardinelle plate de 1995 à 2013

Pour les besoins du modèle, nous avons estimé la moyenne des effectifs des individus sur les 5 dernières années.

Nous avons obtenu pour la sardinelle ronde 3 milliards d'individus recrutés. A cela on ajoute un recrutement « extérieur » d'individus provenant de la Mauritanie. Cependant on n'a aucune information nous permettant de quantifier cet apport. A partir des quelques simulations du modèle, une augmentation de 30 % de l'effectif des individus recrutés au Sénégal semble pertinent. Le nombre de recrues correspondant à 30 % des recrues du Sénégal soit environ 0,9 milliard d'individus ajouté aux nombre d'individus produits à partir de l'estimation de notre VPA (à partir des captures sénégalaises), nous donne les captures proches de celles réalisées au Sénégal. L'hypothèse qu'une part importante de la ressource en sardinelle au Sénégal provenant de la Mauritanie semble plausible

Pour la sardinelle plate, nous avons estimé le nombre de recrues à 1,5 milliards. Il n'est pas retenu dans ce cas d'apport de zones extérieures. Le nombre de recrues estimées pour la sardinelle plate nous donne les captures assez proches de celles réalisées dans la zone sénégalaise. Cette espèce étant moins mobile que la sardinelle ronde, ce résultat semble confirmer cette caractéristique.

2.2.2.5 Estimation de la capturabilité

La capturabilité d'un stock (ou d'une fraction du stock) est la probabilité d'être capturé pendant une unité de temps, par une unité d'effort de pêche nominal, pour un poisson pris au hasard dans le stock (ou la fraction de stock) [50]. L'effort étant nominal, la capturabilité est donc prise dans un sens large, elle intègre un terme de disponibilité, lié à la biologie, à l'écologie et au comportement de l'espèce [52]. Dans notre cas d'étude, l'estimation de la capturabilité est effectuée avec les données d'effort (jours de mer par trimestre provenant de la base de données du CRODT/ISRA) et de mortalité par pêche aux âges estimées par l'analyse des cohortes. Dans notre cas, la capturabilité par âge est le rapport entre la mortalité par pêche aux âges et l'effort de pêche. Les groupes d'âges et l'effort de pêche sont en trimestre. Les estimations de la capturabilité aux âges nous serviront de paramètres d'entrée pour le module ressource du modèle bioéconomique. Pour avoir une capturabilité proche de la situation actuelle, nous avons effectué une moyenne de la capturabilité aux âges sur les 5 dernières années (voir tableau suivant). Les résultats trouvés sont présentés à l'annexe 5C.

Tableau 2-5 : Méthodologie de calcul de la capturabilité

Effort	E	E	E	E	E		Qmoy
1	Q=F/E	Q=F/E	Q=F/E	Q=F/E	Q=F/E		Qmoy ₁
2	Q=F/E	Q=F/E	Q=F/E	Q=F/E	Q=F/E		Qmoy ₂
3	Q=F/E	Q=F/E	Q=F/E	Q=F/E	Q=F/E		Qmoy ₃
4	Q=F/E	Q=F/E	Q=F/E	Q=F/E	Q=F/E		Qmoy ₄

2.2.3 Données économiques sur la pêcherie de sardinelles

En ce qui concerne les informations économiques, les coûts et prix sont exprimés en unité monétaire (FCFA) constante, base 100 2014. L'indice des prix à la consommation (IPC), utilisé comme déflateur est calculé à partir du taux d'inflation obtenu dans la base de données de la Banque Mondiale³. Ceci permet d'enlever l'effet de l'inflation sur les prix et d'avoir l'évolution des prix réels. Le passage d'un prix courant à un prix réel pour une année x est permis par la formule suivante :

$$\text{prix réel année } (x) = \frac{\text{prix courant année } (x)}{\text{IPC année } (x) \text{ base } 100 (2014)} * 100 \quad \text{Équation 2-7}$$

³ <http://donnees.banquemondiale.org/indicateur/FP.CPI.TOTL.ZG> consulté le 28 04 2016

2.2.3.1 Les données de prix

Les données de prix concernent les prix moyens mensuels au débarquement des deux sardinelles dans tous les grands centres. Ces données sont issues de la base de données du CRODT/ISRA. Elles sont estimées à partir d'enquêtes journalières du CRODT/ISRA dans les centres de débarquements.

2.2.3.2 Les données de coût

Les données de coût concernent les charges d'exploitation et elles sont issues de la base de données du projet AWA. Les charges d'exploitation sont composées d'éléments variables et fixes.

Les assurances et les amortissements des différents éléments qui constituent le capital équipement de l'unité de pêche forment les coûts fixes pour la pêche artisanale.

Les frais d'assurances sont constitués par les dépenses engagées par les pêcheurs et ou propriétaires des équipements de pêche pour s'assurer d'une bonne pêche et se protéger contre tout accident en mer. Leur montant annuel est estimé à partir des indications des armateurs. Ces coûts ne sont pas liés au niveau d'activité des unités de pêche.

Les pirogues sont amorties sur 10 ans et les moteurs hors-bords sur 3 ans. Du fait qu'ils sont continuellement réparés et renouvelés, les sennes tournantes et les filets maillants encerclants ne font pas l'objet d'amortissement mais uniquement de réparation pour éviter tout risque de double comptabilité. Tous ces éléments bénéficient d'une détaxe et d'exemption de droits de douane.

Les coûts variables quant à eux varient proportionnellement à l'activité des unités de pêche. Ils sont composés par le coût du carburant, de la nourriture de l'équipage, des frais d'entretien et de réparation du capital équipement.

2.2.3.3 Le taux d'actualisation

L'actualisation permet de comparer des coûts et des avantages qui s'échelonnent dans le temps. Pour ce faire, elle consiste à ramener la valeur future d'une dépense ou d'un bien à sa valeur actuelle. Le taux d'actualisation est le taux de substitution entre le futur et le présent, il traduit la valeur du temps, c'est en quelque sorte le « prix du temps » ou encore le taux de change pour lequel un individu serait prêt à reporter une satisfaction immédiate dans le futur. Toutefois, le choix de ce taux par le décideur public, ne peut se faire comme celui de l'investisseur privé dans la mesure où ce dernier ne s'attache qu'à l'examen de la rentabilité purement financière. L'évaluation de la rentabilité socio-économique, prenant en compte l'intérêt de l'ensemble de la collectivité, doit être l'approche privilégiée par le décideur public [53]. A cet effet, le décideur public se doit donc de définir un taux d'actualisation social qui est un préalable à l'usage du calcul économique pour une allocation optimale des ressources publiques.

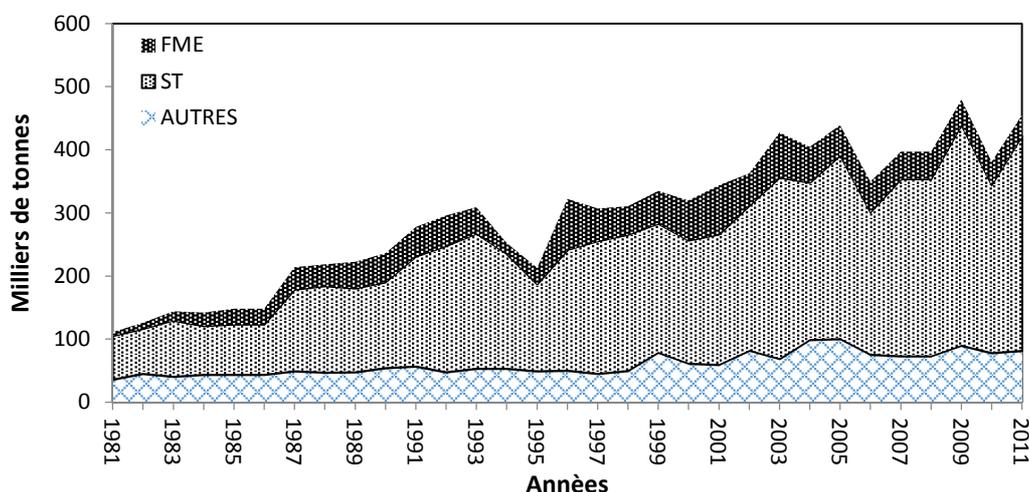
Dans le cas de la pêche, le taux d'actualisation reste difficile à mesurer. Cela est dû au fait du caractère intrinsèque de la ressource exploitée (caractère commun et renouvelable). Selon le niveau du taux

d'actualisation retenu, les pêcheurs choisiront de capturer des jeunes poissons ou de les laisser grossir. Dans le cas des pêcheries libres d'accès ou peu régulées comme dans notre cas, en l'absence de règlement, le pêcheur n'a pas intérêt à attendre que les poissons grossissent pour gagner plus (caractère commun de la ressource). En effet le pêcheur n'est pas sûr de retrouver le poisson au moment opportun. Dans les pêcheries artisanales sénégalaises, les pêcheurs sont caractérisés par une importante préférence pour le présent. Ceci peut aussi être expliqué par leurs faibles revenus et capacité à épargner d'une part mais aussi par les risques et incertitudes liés au futur.

Au Sénégal, le taux d'actualisation souvent utilisé (10 à 12 %) dans l'évaluation des projets n'avait pas un fondement théorique et empirique [53]. C'est fort de ce constat que Bah et Diop [53] ont utilisé la formule de Ramsey⁴ [54] et ses extensions pour estimer le taux d'actualisation sociale pour le Sénégal. Ce taux se situe en 8 et 9 %. Cependant, vu le contexte de la pêche nous avons préféré utiliser un taux de 10 %.

2.3 La dynamique de la pêche de sardinelles

Les sardinelles rondes constituent la principale ressource de la pêche artisanale en Afrique Nord-Ouest (70 % de débarquement de PPC au Sénégal). Elles sont d'une importance majeure tant pour la sécurité alimentaire que pour l'emploi au Sénégal et en Gambie et plus récemment en Mauritanie. Il existe aussi une importante pêche industrielle de sardinelles en Mauritanie et au Maroc. Au Sénégal, 80 % des débarquements de la pêche artisanale (figure 2.8) sont effectués par les unités de pêche pélagiques (65 % par les ST et 15 % par les FME). Les captures des unités de pêche pélagiques sont largement dominées par les sardinelles (80 %)



(source CRODT/ISRA)

Figure 2.8 : Evolution des débarquements totaux par engins dans la pêche artisanale sénégalaise (1981-2011)

⁴ Le modèle de Ramsey est un modèle de croissance néoclassique issu des travaux de Franck Ramsey (1928). Dans ce modèle, on endogénéise l'épargne en considérant un consommateur altruiste qui vit une période et choisit la part de son revenu qu'il consomme et la part de son revenu qu'il lègue à ses descendants.

2.3.1 La ressource halieutique

La pêcherie de sardinelles exploite essentiellement deux espèces de sardinelles. Il s'agit de la sardinelle ronde (*Sardinella aurita*) et la sardinelle plate (*Sardinella maderensis*) (figure 2.9). Ces deux espèces ont des similitudes de forme, de taille et d'apparence mais n'ont pas les mêmes aires de distribution ni les mêmes modèles de migrations même si elles sont souvent capturées ensemble. Le principal trait distinctif est la tache noire sur l'opercule de la sardinelle ronde. Pour la sardinelle plate, la tache sombre diffuse est située en arrière de l'opercule et il en existe une autre à la base des premiers rayons de la dorsale.



(source : fishbase)

Figure 2.9 : *S. aurita* (a) et *S. maderensis* (b)

2.3.1.1 La sardinelle ronde (*Sardinella aurita*)

A. Bioécologie

La sardinelle ronde a été décrite pour la première fois par Valenciennes en 1847. Elle a été ensuite décrite par de nombreux auteurs dont notamment Regan [55]. Son nom scientifique est *Sardinella aurita* Valenciennes, 1847 même si on rencontre parfois le nom de *Clupea aurita*. C'est une espèce qui appartient à la famille des clupéidés à corps oblong plus ou moins comprimé.

L'espèce préfère les eaux non turbides de 18 à 24 °C [18], [56], [57] et elle se reproduit au niveau du plateau continental. Dans la région sénégal-mauritanienne, cette espèce effectue des pontes étalées sur la totalité de l'année avec une période de reproduction maximale de mai à septembre (tableau 2-6). Selon Chavance et al [58], le stock de sardinelles rondes dans la zone nord-ouest africaine, utiliseraient aussi la nurserie du Nord de la ZEE mauritanienne à des périodes différentes de l'année pour se reproduire. La zone de ponte principale s'étend de la Gambie au cap Blanc. Pour la période de ponte principale, le maximum se situe au niveau de la Gambie au début du mois de juin et au Cap Blanc en septembre. La ponte est plutôt côtière pour la sardinelle ronde et s'effectue entre les isobathes 30 et 50 mètres. Les juvéniles et les jeunes reproducteurs de la fraction sénégalaise du stock restent au niveau de la Petite Côte. Ceci rend ainsi le sous-stock de la Petite Côte disponible toute l'année. Cette disponibilité sur la Petite Côte explique l'importante exploitation des sardinelles par la pêche artisanale sénégalaise durant toute l'année.

Tableau 2-6 : Périodes de reproduction de *Sardinella aurita* issues de la littérature dans la zone Nord-Ouest Africaine

Pays	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Auteurs
Sénégal													Goudiaby et al [59]
													Cury et Fontana [60]
													Boëly et al. [61]
													Boëly et al. [61]
													Conand [62]
Mauritanie													Wagué et al. [63]
													Chavance et al. [58]
													Chavance et al. [61]

B. Croissance

Les paramètres de croissance des clupéidés en milieu tropical sont en général difficiles à étudier. Les méthodes utilisées sont souvent confrontées à des problèmes tels que la croissance rapide des sardinelles, les difficultés de la lecture d'âge à partir des pièces osseuses et l'interprétation des résultats. De même, le suivi des tailles modales est difficile à faire du fait de l'existence de plusieurs périodes de reproduction par année [61] mais aussi de plusieurs types de pêches.

La croissance annuelle peut-être décrite par une courbe asymptotique et le modèle de croissance le plus fréquemment utilisé dans la recherche en halieutique est celui de Von Bertalanffy⁵. Sa forme basée sur la longueur, s'énonce comme suit :

$$L_t = L_\infty(1 - e^{-k(t-t_0)}) \quad \text{Équation 2-8}$$

Etudiée par plusieurs auteurs et avec différentes méthodes (tableau 2-7) (lecture des écailles, distribution des tailles et lecture des otolithes), la croissance de la sardinelle ronde est qualifiée de rapide dans la zone sénégal-mauritanienne comme c'est le cas dans d'autres zones comme la Côte d'Ivoire, la Grèce et le Congo [18]. La croissance de la sardinelle basée sur les paramètres de Fréon [18] tirés des travaux de Boëly [61] peut s'expliquer en deux phases. Une croissance rapide de la naissance à environ 8-12 mois qui fait passer la longueur à 20-22 cm et une croissance plutôt lente par la suite jusqu'à 36 mois voir plus pour atteindre la taille maximale (figure 2.10).

⁵ L_t est la longueur du poisson à l'âge t , L_∞ la longueur asymptotique, k le coefficient de croissance, t l'âge absolu du poisson et t_0 l'âge théorique qu'aurait un poisson de longueur nulle s'il avait grandi de tout temps selon l'équation en question.

Boëly et al [61] estiment les paramètres de l'équation de Von Bertalanffy à partir de résultats de l'étude de la distribution des tailles pour les juvéniles (tailles <15cm) et par la lecture des écailles chez les adultes. Il existe certaines différences entre les résultats des différents auteurs (tableau 2-7) mais celles-ci peuvent être expliquées par les approches méthodologiques et les valeurs du paramètre de la longueur infinie qui diffèrent. Tous constatent que la croissance reste rapide dans la zone sénégalomauritanienne.

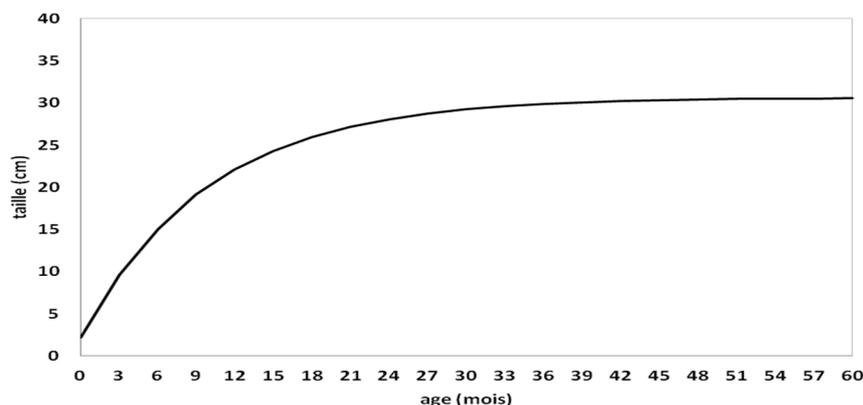


Figure 2.10 : Courbe de croissance von Bertalanffy de *S. aurita* d'après Fréon [18]

Tableau 2-7 : Paramètres de l'équation de Von Bertalanffy pour *Sardinella aurita* issues de la littérature dans la zone Nord-Ouest Africaine

Zone d'étude	Méthode utilisée	L_{∞} (cm)		k (/an)	t_0 (/an)	Auteurs
		LF	LT			
Sénégal	Fréquence de taille et lecture d'écaille	31,23	36,92	0,97	0,21	Boëly [17]
Sénégal	lecture d'écaille	36,25	43	0,3	-0,95	Krzepkowski [64]
		34,34	40,69	0,27	-0,99	
		35,52	42,12	0,28	-0,99	
Sénégal	Fréquence de taille et lecture d'écaille	30,60	36,20	1,21	-0,06	Boëly <i>et al.</i> [61]
Sénégal	Lecture d'écaille	31,93	37,77	0,61	-0,75	Camarena Luhrus [42]
Sénégal	Lecture d'écaille	30,63	36,2	1,21	-0,06	Fréon [18]
Sénégal	Fréquence de taille	30,63	36,2	1,2	-0,05	
Sénégal	Lecture d'otolithe	26,7	31,45	1,79	0,55	
Sénégal - Mauritanie	Lecture d'écaille	38,10	45,22	0,36	-0,69	Maxim and Maxim [65]
Mauritanie	Lecture d'écaille	34,35	40,70	0,33	-0,63	Pham-Thuoc et Szypula [66]
Mauritanie	Lecture d'écaille	35,12	41,63	0,26	-0,87	Chesheva [67]

(LF, longueur à la fourche ;LT longueur totale)

C. Mortalité naturelle

La mortalité naturelle peut être définie comme tout type de mortalité hormis celles dues à la pêche. Elle peut être causée par la prédation, la maladie ou la sénescence entre autres. La mortalité naturelle est un paramètre qui est difficile à estimer. Pour les clupéidés la mortalité naturelle est estimée à partir de plusieurs méthodes indirectes et elle se situe entre les valeurs 0,4 et 1 par an [15].

Camarena et Fréon [18], [42] sont les deux auteurs qui ont le plus travaillé sur cette problématique dans la zone sénégal-mauritanienne et ils ont chacun estimé la mortalité naturelle des deux sardinelles en utilisant la méthode de Pauly [68]. Cette méthode repose sur l'hypothèse que, plus une espèce bénéficie d'une croissance rapide, plus son taux de mortalité est élevé. De plus, la méthode de Pauly intègre le paramètre température du milieu et admet une spécificité pour les clupéidés (correction par un facteur multiplicatif de 0,6).

La mortalité naturelle de la sardinelle ronde est estimée par Camarena [42] à 0,61 (à 17 °C) et 0,75 (27°C) par la méthode de Pauly. Tandis que Fréon [18] estime la mortalité naturelle de la Sardinelle ronde entre 0,8 et 1,2. Les différences entre les valeurs trouvées par les deux auteurs proviendraient de l'écart existant entre les deux estimations de la croissance de *Sardinella aurita*.

D. Répartition

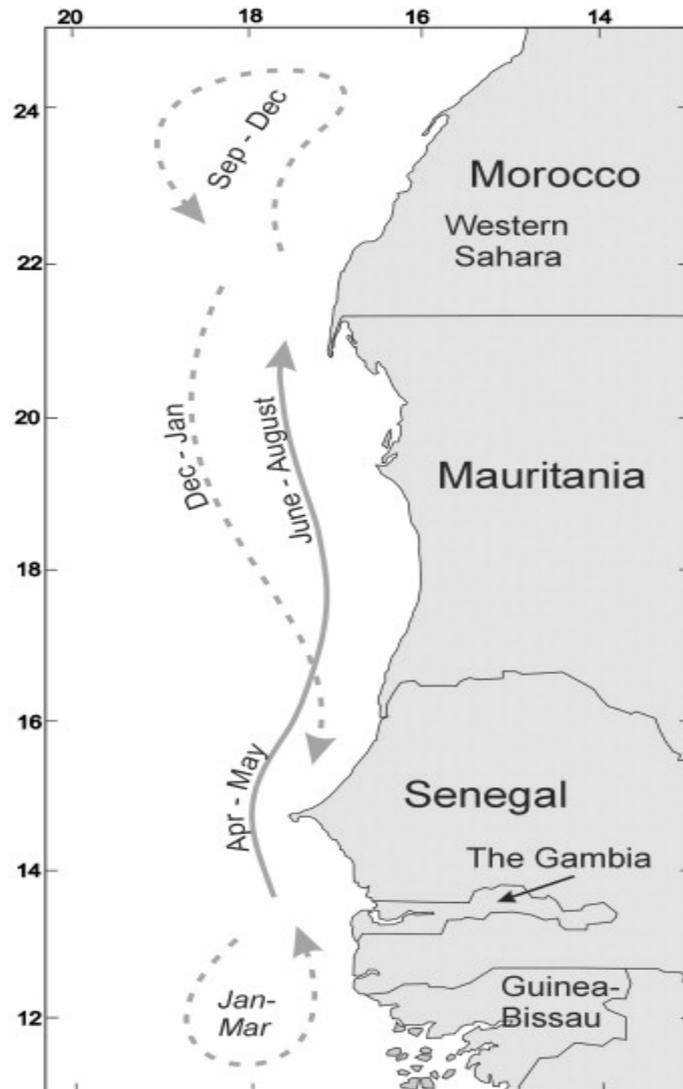
Cette espèce se rencontre du Portugal au Cap Frio (Angola, 18°S). Elle fréquente aussi certaines eaux tempérées, comme la Méditerranée, bien que de façon moins importante [69], [70]. Elle a été aussi décrite dans l'Océan Pacifique, au large de la Chine et du Japon, ainsi qu'autour des Philippines et de l'archipel Indo- Australien [56], [71]. Elle est également présente en mer Noire et en Adriatique [71], ainsi qu'au niveau des Açores [56]. *Sardinella aurita* fréquente le plateau continental et évite les eaux dessalées inférieures à 34‰. L'espèce préfère les eaux non turbides de 18 à 24 °C [18], [56], [57]. Malgré son immense aire de répartition, cette espèce semble inféodée aux zones de forte production primaire que sont les zones d'upwellings. Ces remontées d'eaux froides apportent des sels minéraux qui permettent le développement du phytoplancton puis du zooplancton servant de nourriture aux sardinelles. Bien que présente dans beaucoup de zones géographiques, la sardinelle ronde n'est vraiment abondante que dans les trois secteurs en l'Atlantique centre-est caractérisés par l'apparition saisonnière d'importantes remontées d'eaux froides [17] à savoir :

- de la Mauritanie (26°N) à la Guinée (10°N), c'est-à-dire dans les divisions COPACE Sous-groupe Nord;
- devant la Côte-d'Ivoire et le Ghana;
- du sud du Gabon (0°) au sud de l'Angola (18°S).

Dans le cas particulier de la zone nord-ouest africaine, l'existence de deux stocks est souvent évoquée à savoir le stock sédentaire saharien (30° - 22° N) et le stock Sénégal-mauritanien (environ 22° - 12° N) [58], [65], [72].

E. Migration Nord-Sud

Les populations de *Sardinella aurita* du nord-ouest africain se déplacent parallèlement à la côte en recherchant les zones de convergence à proximité des upwellings. De façon générale, les adultes dispersés d'octobre à janvier au large de la Mauritanie, descendent rapidement vers le sud en janvier-février et ne remontent vers le nord qu'à partir de mai à juillet [18]. Les jeunes, au terme de leur première année, se joignent à ce mouvement tout en se reproduisant pour la première fois (taille de 20 cm). Ces poissons atteignent la partie nord de la ZEE mauritanienne et séjournent entre le 20°N et le cap Barbas (22°N30') jusqu'aux mois d'octobre et de novembre qui marquent le début de refroidissement des eaux et le début du mouvement inverse vers le sud. Les adultes de taille supérieure à 25cm arrivent dans les eaux sénégalaises, repoussés par le refroidissement des eaux en décembre-janvier (figure 2.11). Ils se concentrent alors sur les accores entre la presqu'île du Cap Vert et la Guinée-Bissau jusqu'au mois d'avril. Il faut cependant noter que cette migration reste mal connue. Une nouvelle description du schéma migratoire saisonnier de la sardinelle ronde, basée sur les données de campagnes acoustiques récentes et de débarquements de la pêche artisanale en Mauritanie, a été présentée par Corten [6]. D'après cet auteur, la descente des sardinelles de la Mauritanie vers le Sénégal se fait par concentration dense, très près de la côte. De plus, les enquêtes acoustiques effectuées en Mauritanie montrent qu'en novembre les poissons sont plus à la côte qu'en décembre. Ceci expliquerait les grosses captures entre les mois d'octobre et de novembre par la pêche artisanale à Nouadhibou. La distribution côtière de ces poissons lors de la migration retour (Sud-Nord) explique pourquoi la flotte industrielle n'a jamais pu localiser les poissons en cette période de l'année en Mauritanie.



(Source : Zeeberg [73])

Figure 2.11 : Migration de *Sardinella aurita* dans la zone Nord-Ouest africaine, reflétant les caractéristiques océanographiques régionales et saisonnières.

2.3.1.2 La sardinelle plate (*Sardinella maderensis*)

A. Bioécologie

La sardinelle plate a été décrite pour la première fois par Lowe en 1838 sous le nom de *Sardinella maderensis*. Elle a aussi été nommée *Alausa eba* Valenciennes, 1847 [55], *Sardinella cameronensis* (Regan, 1917) et *Sardinella eba*. *Sardinella maderensis*, elle se nourrit de plancton comme les diatomées, les dinoflagellés et les larves de crustacés [74]. La sardinelle plate réalise des pontes continues toute l'année, mais il existe un maximum de reproduction en début de saison chaude au Sénégal (tableau 2-8). Ce pic présente une forte variabilité interannuelle [17], [18], [42], [59], [75], [76]. Certaines années, une ponte de moindre importance a lieu en novembre-décembre [42], [76]. Les résultats obtenus par Diouf *et al.* [59] montrent une reproduction continue durant toute l'année.

Tableau 2-8 : Période de reproduction de *Sardinella maderensis* issue de la littérature dans la zone Nord-Ouest Africaine

Pays	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Auteurs
Sénégal													Bâ et al. [77]
													Diouf et al. [59]
													Camarena-Luhrs [42]
													Boëly [17]
Mauritanie													Boëly [17]

B. Croissance

La croissance de la sardinelle plate dans les côtes sénégalaises est aussi qualifiée de rapide. La sardinelle plate montre, comme la sardinelle ronde, une croissance à deux phases, elle est rapide la première année et plus lente entre deux et cinq ans (figure 2.12). A partir de trois ans la sardinelle plate atteint pratiquement la taille maximale. Le tableau 2-9 montre les différents paramètres de croissance estimés dans la zone d'étude.

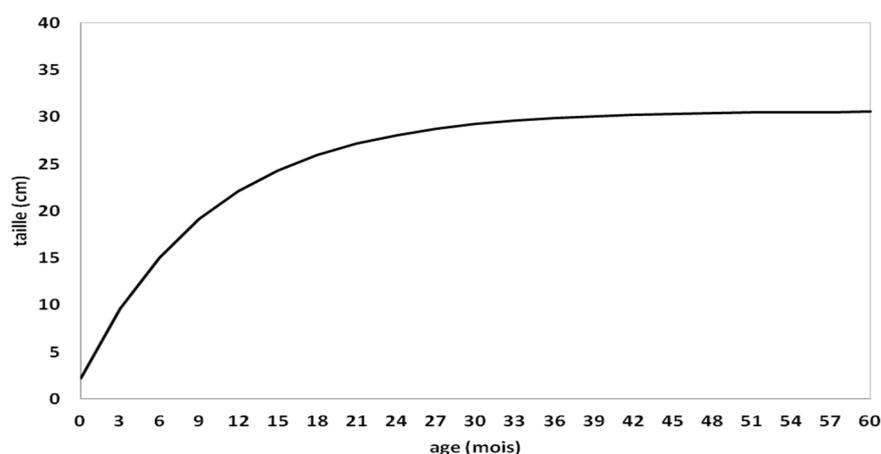


Figure 2.12 : Courbe de croissance (von Bertalanffy) de *Sardinella maderensis* d'après Camarena-Luhrs [42]

Tableau 2-9 : Paramètres de l'équation de von Bertalanffy pour *Sardinella maderensis* issues de la littérature dans la zone Nord-Ouest Africaine

Zone d'étude	Méthode utilisée	L_{∞} (cm)		k (/an)	t_0 (/an)	Auteurs
		LF	LT			
Sénégal	Fréquence de taille et lecture d'écaille	33,4		0,34	-	Bâ [77]
Sénégal	Fréquence de taille et lecture d'écaille	30,34	37,24	0,49	-0,59	Camarena Luhrs [42]
Sénégal	Nd	28,5	35	0,61	-0,25	Postel [78]

C. Mortalité naturelle

Dans la zone d'étude, seul Camarena Luhrs [42] a estimé la mortalité naturelle de la sardinelle plate de façon explicite. Il l'estime à 0,53 (17°C) et 0,66 (27°C) par la méthode de Pauly.

D. Répartition

Sardinella maderensis occupe une aire plus restreinte que la sardinelle ronde, c'est une espèce à affinité biogéographique tropicale. Selon certains auteurs [57], [75], *S. maderensis* est une espèce tolérant les gammes de températures allant de 20 à 23 °C. Cependant, selon les régions, elle peut supporter des eaux de température allant de 15°C (en Algérie) à 25°C et des salinités allant de 20 ‰ dans les estuaires des grands fleuves (Niger, Congo, Nil) à 40 ‰ dans l'est de la Méditerranée [56]. On la trouve dans l'Atlantique Est de Gibraltar à l'Angola mais aussi en Méditerranée méridionale. Elle est absente des côtes américaines. Elle a une distribution très côtière, occupant le plus souvent les fonds entre 0 et 50 m. La sardinelle plate est euryhaline, elle vit sur le plateau continental en zone côtière, souvent plus abondante au voisinage des estuaires, de préférence dans des eaux de température supérieure à 24°C et semble éviter les eaux turbides [17], [79]–[81]. Elle forme des bancs à la surface ou au fond jusqu'à 50 mètres [80]. Dans la zone subtropicale nord, deux nurseries importantes ont été localisées, l'une du sud de Dakar aux îles Bissagos, l'autre au niveau du banc d'Arguin et au sud du cap Timiris [18]. 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 d'échantillonnage existantes sont insuffisantes pour différencier les populations locales [6].

E. Migration Nord-Sud

La sardinelle plate est moins active et a un comportement migrateur moins prononcé que la sardinelle ronde [19]. Elle possède à peu près la même aire de répartition mais elle est plus côtière et plus euryhaline. La sardinelle plate est une espèce relativement sédentaire et les mouvements au Sénégal et en Mauritanie ne dépassent guère l'étendue des zones de développement larvaire [60]. Ces mouvements s'effectuent en saison chaude vers le nord de la Petite Côte et en saison froide vers la Gambie. Les jeunes reproducteurs effectuent des déplacements saisonniers de faibles amplitudes à l'intérieur des nurseries. Les individus de grandes tailles qui sont supérieurs à 24 cm sont faiblement représentés au Sénégal, alors qu'en Mauritanie la longueur à la fourche peut atteindre 32 cm [18], [58].

2.3.2 La flottille de pêche aux petits pélagiques

Au Sénégal, la pêche aux petits pélagiques est principalement assurée par une flotte artisanale. Il existe aussi une flotte industrielle peu développée qui a tendance à disparaître ces dernières années. La flotte artisanale fait appel à des pirogues de type traditionnel qui sont très diversifiées, à partir d'un modèle de base unique (pirogue Guet-Ndarienne) [11]. Les caractéristiques des embarcations (longueur,

matériaux de construction, emplacement du moteur, etc.) sont autant de facteurs dépendant des types d'engins de pêche utilisés et les conditions du milieu. En effet, il existe une multitude de types d'engins utilisés pour la pêche artisanale et nous allons décrire les plus importants concernant la pêche pélagique.

2.3.2.1 La pêche aux petits poissons pélagiques semi-industrielle au Sénégal

La pêche semi-industrielle aux petits pélagiques est pratiquée au Sénégal par une flotte nationale appelée « les sardiniers dakarois ». Dans le but d'intensifier la pêche aux petits pélagiques, la flotte semi-industrielle nationale a débuté en 1961 avec un seul bateau [82]–[84]. C'est une pêcherie qui a été considérée par le gouvernement du Sénégal comme un prolongement de la pêche artisanale. Mais ce type de pêche n'a pas attiré, pour autant, les industriels. En effet, de 1961 jusqu'en 1967 un seul sardinier a opéré à côté d'embarcations subventionnées dans le cadre du programme financé par le Fonds d'Aide et de Coopération pour la modernisation de la pêche artisanale. Cette pêcherie est en fait confrontée, depuis l'introduction de la senne tournante dans les années 1970, à la concurrence de la pêche artisanale qui fournit des prises importantes à bas prix [12], [36]. Malgré cela, les politiques de développement de cette pêcherie ont fini par mettre en place une flottille de 19 bateaux en 1982 [15]. Celle-ci est passée à 5 dans la fin des années 80 et le niveau record a été observé en 1992 avec 29 bateaux. Depuis cette période, cette flotte n'a cessé de perdre de la vitesse avec successivement 15, 5, 3 et 1 bateaux respectivement en 1994, 2000, 2010 et 2013 (figure 2.13). La flotte semi-industrielle ne sera pas prise en compte dans le modèle bioéconomique présenté plus loin car il ne reste qu'un bateau avec des débarquements bien inférieurs à ceux d'une senne tournante artisanale.

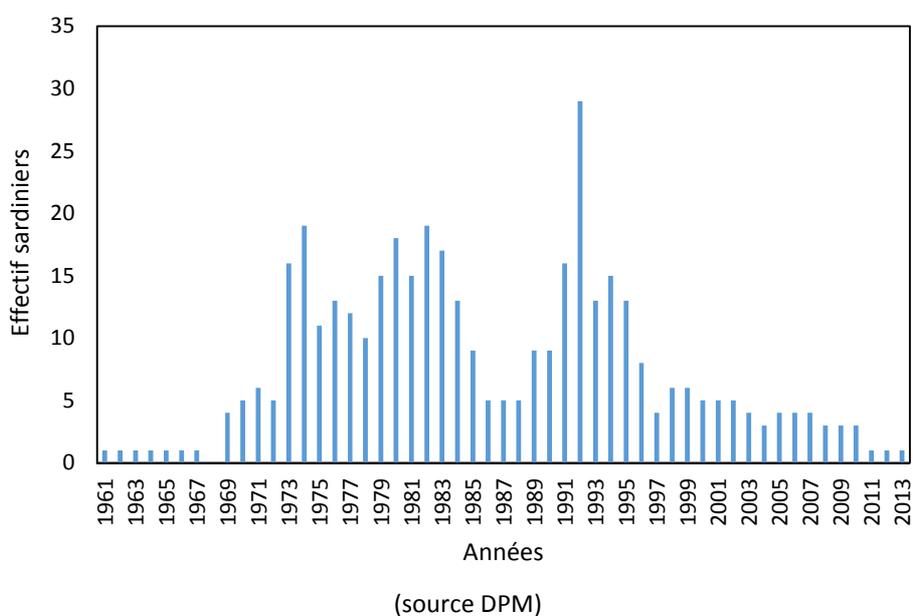


Figure 2.13 : Evolution du nombre de sardiniers dakarois au Sénégal de 1961 à 2013

2.3.2.2 La pêche aux petits poissons pélagiques industrielle « étrangère » au Sénégal

Ce type de pêche est essentiellement effectué par des bateaux étrangers dans le cadre d'accords de pêche entre le Sénégal et d'autres pays. Bien que nous ayons quelques informations parcellaires sur des accords de pêche entre le Sénégal et certains pays étrangers sur les petits pélagiques (tableau 2-10), les flottilles étrangères ne feront pas l'objet d'un traitement dans la suite du document. Ceci, du fait d'un manque d'informations et de transparence sur les débarquements, l'effort de pêche et la structure des coûts et des revenus de ces bateaux.

Tableau 2-10 : Historique des différents accords de pêche entre le Sénégal et les pays étrangers sur les petits pélagiques

	Chalutiers		Senneurs		Licences de pêche pélagique	Périodes
	Nombre	Capacité	Nombre	Capacité		
Pologne	13	NA	0	0	NA	1977-1980
Danemark	NA	NA	NA	NA	NA	1980-1985
	0	0	NA	280 TJB		1987-1991
	0	0	3	320 TJB		1987-1991
Russie	7 à 19	2000 TJB	2 à 16	700 TJB	NA	1991-1998
	29	NA	NA	NA		2008-2012
UE					22	1997-2001

(source : issue de Greenpeace [85] et Caramelo et al [86])

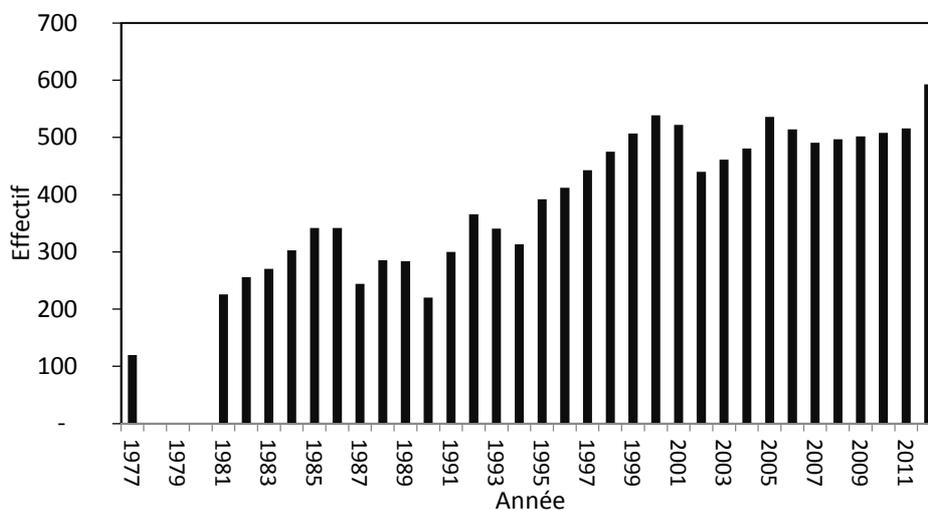
2.3.2.3 Les techniques de pêches artisanales

Les techniques de pêches artisanales sont différentes selon les types d'espèces ciblées. Concernant les petits pélagiques, il existe trois techniques de pêche que sont la senne tournante, le filet maillant encerclant et la senne de plage. Cette dernière, moins performante, est de moins en moins utilisée et ne fera pas l'objet de traitement dans la suite du document. Dans cette partie, seules les unités de pêche à la senne tournante et au le filet maillant encerclant feront l'objet de description.

2.3.2.3.1 Les unités de pêche à la senne tournante

Elle a été introduite au Sénégal en 1973 par un projet de la FAO [87]. L'opération de pêche est effectuée généralement à l'aide de deux pirogues. Celle de moindre taille (16 à 18 mètres) sert à porter le filet et la plus grande (18 à 23 m) porte les prises. Les pirogues sont dotées de moteurs hors-bord d'une puissance de 40 cv ou 60 cv. Le filet mesure entre 300 à 1 000 mètres de long pour une chute de 40 mètres et permet la capture de poisson par encerclement et enfermement dans une poche refermée au moyen d'une coulisse. La puissance motrice et la taille du filet dépendent fortement des zones et des rayons d'action. Chez les Guet Ndariens, les filets de petite taille et les faibles puissances motrices sont désormais révolues, les filets utilisés sont de 800 à 1 000 mètres et les moteurs sont généralement

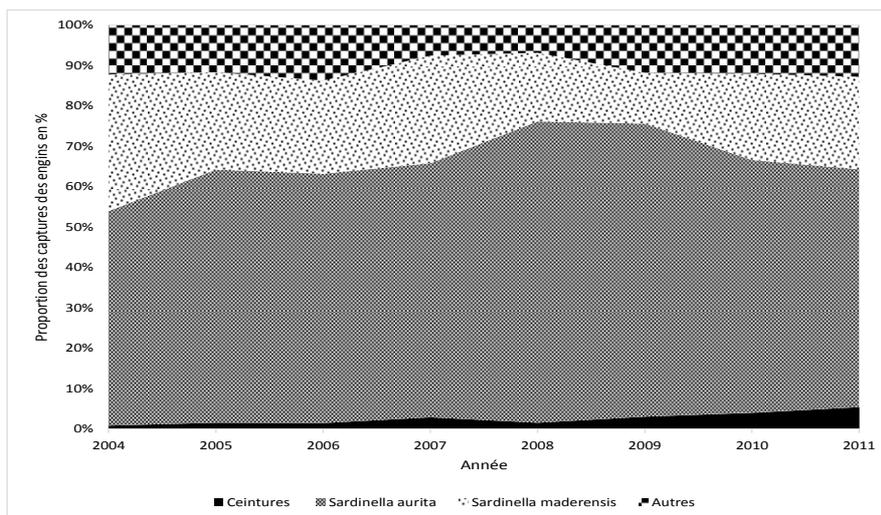
de 60 cv. La plupart des unités de pêche à la senne tournante possèdent un autre moteur de secours en cas de panne. Les principales espèces ciblées sont les sardinelles, le chinchard, le maquereau bonite, la thonine, la grande carange. Récemment avec l'arrivée des chinois et des coréens sur le marché sénégalais, les sennes tournantes ciblent aussi les ceintures (*Trichiurus lepturus*) (figure 2.15). L'unité de pêche embarque en moyenne 20 pêcheurs. Ce nombre dépend de la taille de l'engin et de la capture espérée car le travail est essentiellement manuel. Les unités de pêche sont distribuées sur tout le littoral sénégalais avec une forte présence à Saint Louis et à Joal. Les derniers recensements du CRODT/ISRA ont fait état d'environ 600 unités de pêche soit environ cinq fois l'effectif (120) en 1977 (figure 2.14). Depuis son introduction en 1973 le nombre d'UP ST n'a cessé de croître jusqu'à la fin des années 1990. Ceci reflète la rentabilité élevée de ce type d'investissement durant cette période. A partir des années 2000, l'augmentation de la flotte est restée moindre autour de 0,8 % par an et le nombre d'UP ST est passé de 539 à 593 entre 2000 et 2012. Il faut noter que durant ces deux dernières décennies (1993-2014), certains paramètres du compte d'exploitation d'UP ST se sont détériorés, le taux de rentabilité interne (TRI) passant de 82,8 % à 22,1 % et les délais de récupération de l'investissement de 1,2 à 4,5 ans [27]. Tout cela dans un contexte de quasi-stagnation des captures en sardinelles. En plus de cet environnement d'investissement risqué, l'acquisition d'unités de sennes tournantes reste un investissement très lourd pour les pêcheurs (25,3 millions de FCFA⁶ en 2014). Ces deux éléments peuvent expliquer la stabilisation du nombre d'unités de pêche à la senne tournante au Sénégal depuis le début des années 2000 (voir paragraphe 2.3.3.9).



(source : CRODT/ISRA)

Figure 2.14 : Evolution du nombre d'unités de pêche à la senne tournant

⁶ 1 euro = 655,957 FCFA



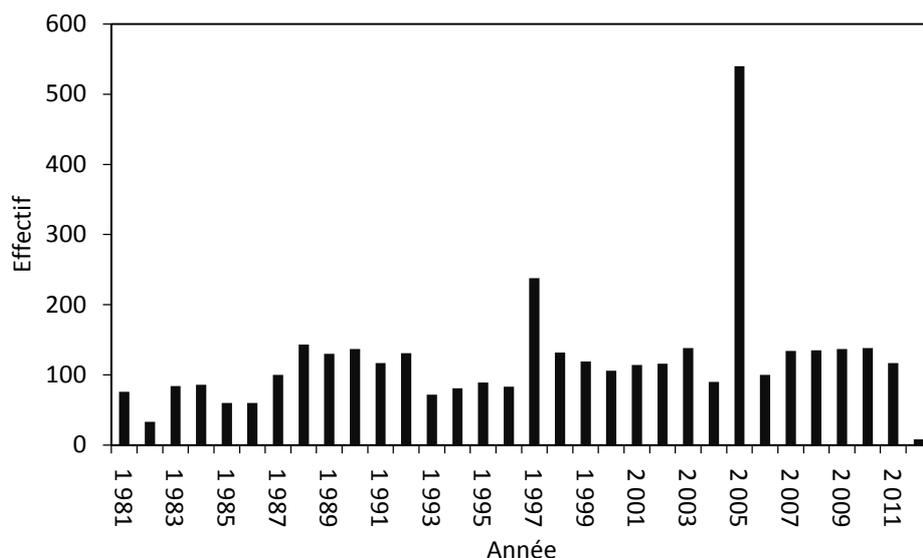
(source : CRODT/ISRA)

Figure 2.15 : Evolution des proportions de captures par espèce de la senne tournante

2.3.2.3.2 Les unités de pêche au filet maillant encerclant

L'unité de pêche type est constituée d'une pirogue de 20 mètres de long en moyenne, de 5 tonnes de capacité et propulsée par un moteur de 40 cv. Le filet est long de 300 à 500 mètres avec une chute de 10 à 20 mètres. Le maillage est différent selon l'espèce ciblée. Les mailles sont grandes si l'ethmalose est recherchée et petite s'il s'agit de sardinelle plate. Le poisson est ici capturé par maillage, à la différence de la senne tournante.

L'évolution de ce type d'unité de pêche est mal suivie sur l'ensemble du littoral sénégalais. Les enquêtes quotidiennes et les recensements effectués ne couvrent pas toujours toutes les zones de débarquement de ces unités de pêche qui se trouvent plutôt dans les îles du Sine Saloum et en Casamance. En effet, les UP FME évoluent surtout dans les zones côtières, près des embouchures, notamment dans les mangroves et estuaires des îles du Saloum et en Casamance à la recherche d'ethmaloses et ou de sardinelles plates. Or les îles du Saloum et la Casamance ne sont pas toujours couvertes par les enquêtes du CRODT. Ceci explique l'évolution disparate d'une année à l'autre des effectifs d'UP FME recensés (figure 2.16) et tout essai d'interprétation de ces chiffres semble difficile.



(source : CRODT/ISRA)

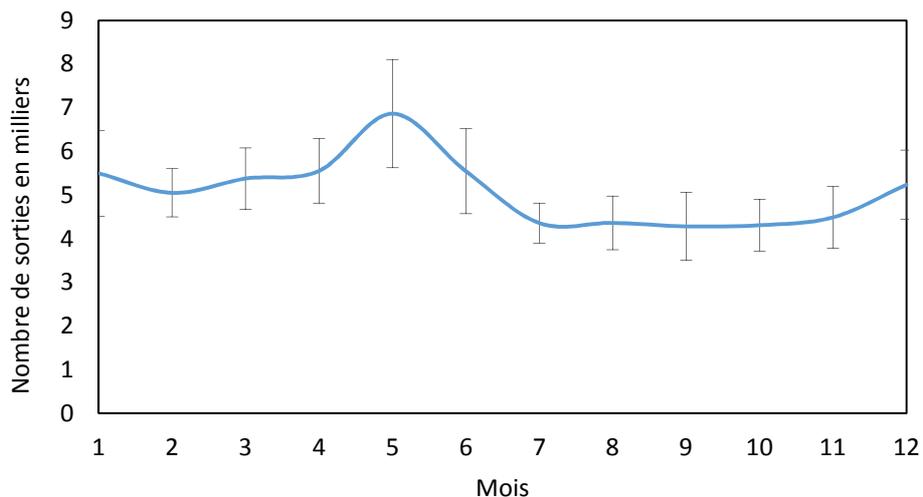
Figure 2.16 : Evolution du nombre d'unités de pêche au filet maillant encerclant

2.3.3 L'exploitation de la pêcherie de sardinelles

2.3.3.1 Effort de pêche des unités de pêche à la senne tournante

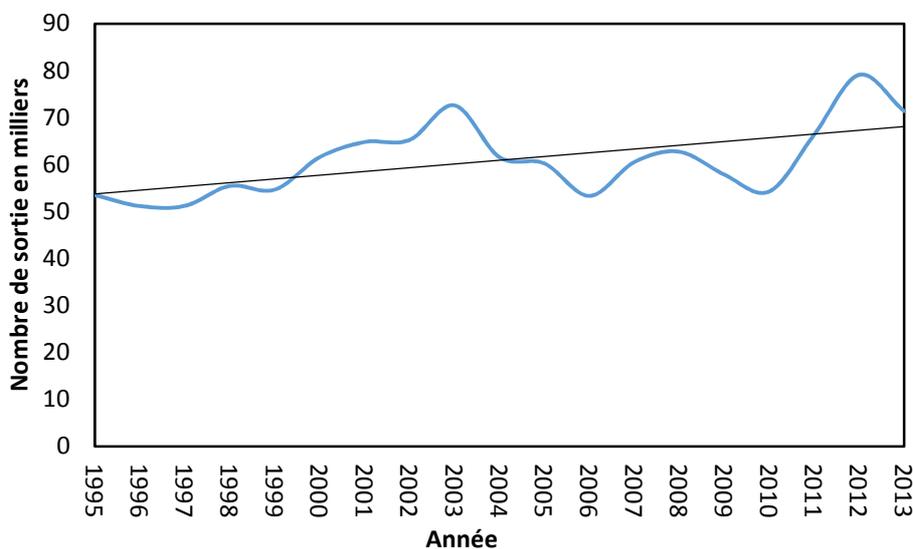
L'effort de pêche moyen mensuel des sennes tournantes tourne autour de 5000 sorties sur la période 1995-2013 avec un pic d'environ 7000 au mois de mai (figure 2.17). On note les minimums de sorties entre juillet et août (moins de 4500 sorties) correspondant à la période de rareté des sardinelles dans les côtes sénégalaises. Après cette période, l'effort augmente jusqu'à son pic au mois de mai. Cette période correspond à une présence massive de sardinelles. L'intensité de l'effort de pêche semble donc expliquée par l'abondance liée à l'arrivée des bancs de sardinelles dans la ZEE sénégalaise. Une forte variation saisonnière de l'effort de pêche est observée au niveau des centres de débarquements. En suivant les bancs de sardinelles, les pêcheurs migrent entre les différents centres de débarquement.

Durant ces deux dernières décennies, l'analyse de l'effort de pêche total annuel des sennes tournantes montre un taux de croissance moyen annuel de 2 %. Cette croissance est beaucoup plus marquée entre 1995 et 2003 (3,5 %) avec une augmentation des sorties de pêche de 50 à 70 000. A partir de 2003, l'évolution de l'effort de pêche annuel est devenue très variable autour de 60 mille sorties avec un maximum de 79 000 sorties en 2012 (figure 2.18).



(source : Nos calculs à partir des données du CRODT/ISRA)

Figure 2.17 : Profil de l'effort de pêche des UP à la ST mensuel moyen sur la période (1995-2013)



(source : Nos calculs à partir des données du CRODT/ISRA)

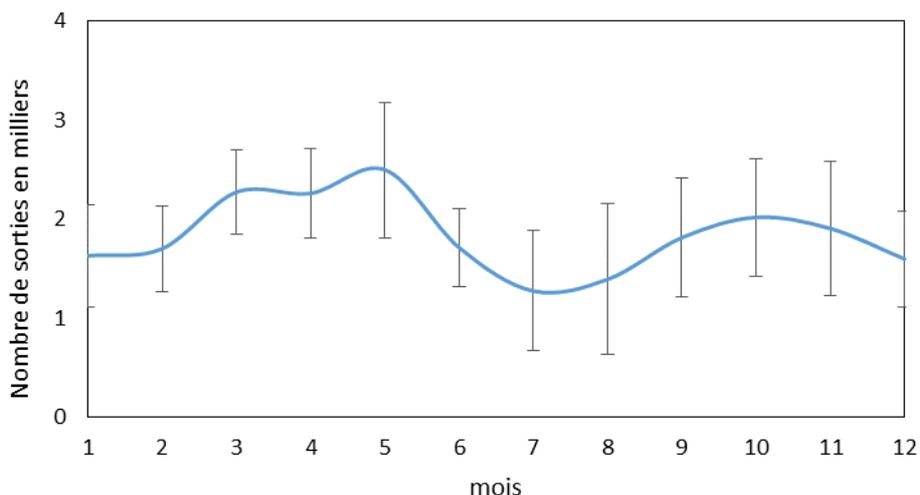
Figure 2.18 : Evolution de l'effort de pêche annuel des UP à la ST

2.3.3.2 Effort de pêche des unités de pêche au filet maillant encerclant

L'effort de pêche moyen mensuel des UP FME tourne autour de 1800 sorties par mois sur la période 1995-2013 avec des pics d'environ 2500 et 2000 aux mois de mai et octobre (figure 2.19). On note les minimums de sorties entre juillet et août (moins de 1300 sorties) correspondant par ailleurs à la période de rareté des sardinelles dans les côtes sénégalaises et à la période de travaux agricole chez les Nyominkas avec un retour des pêcheurs au village d'origine. A partir cette période, l'effort recommence à augmenter jusqu'à atteindre son pic au mois d'octobre (fin de la saison d'hivernage).

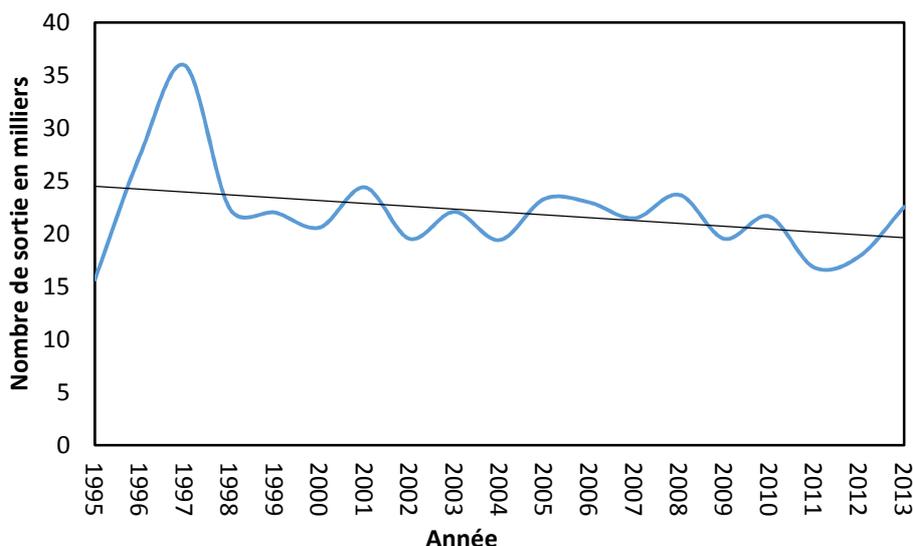
Durant ces deux dernières décennies, l'analyse de l'effort de pêche annuel des UP au FME montre une tendance globale décroissante de -1,2 % par an. Cette décroissance a débuté au milieu des années

1990 (figure 2.20). Cette réduction d'activité des UP FME pourrait être expliquée par le développement de sennes tournantes jugées plus efficaces.



(source : Nos calculs à partir des données du CRODT/ISRA)

Figure 2.19 : Evolution de l'effort de pêche moyen mensuel des UP au FME sur la période (1995-2013)



(source : Nos calculs à partir des données du CRODT/ISRA)

Figure 2.20 : Evolution de l'effort de pêche moyen annuel des UP au FME

2.3.3.3 Débarquements

2.3.3.3.1 Débarquement de *Sardinella aurita* par les unités de pêche à la senne tournante

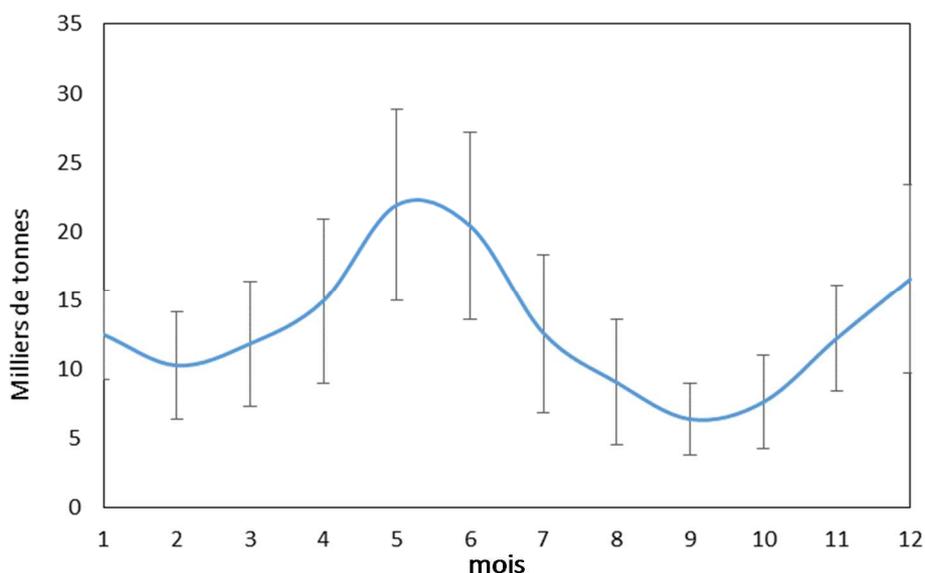
Les débarquements mensuels de sardinelles rondes montrent une très forte saisonnalité (figure 2.21). Les ST débarquent en moyenne 13 000 de sardinelles rondes par mois sur la période (1995-2014). On observe un pic mensuel d'environ 20 000 entre mai et juin et un autre de 16 000 tonnes en fin d'année.

L'analyse des débarquements annuels de sardinelles rondes par les UP à la ST entre 1995 et 2014 (figure 2.22) montre une forte variabilité interannuelle mais une tendance croissante (100 000 à 200 000 tonnes) avec une moyenne d'environ 150 000 tonnes. Le taux de croissance moyen est de 3,7 % par an entre 1995 et 2014. Cette croissance s'explique en partie par les effets d'apprentissage, les pêcheurs maîtrisent de mieux en mieux la pratique de l'engin de pêche.

On observe des baisses de débarquements au cours de certaines années (1999, 2006, 2010 et 2013). La cause de ces dernières sera cependant difficile à expliquer du fait des multiples de facteurs qui influencent cette pêcherie (upwelling, augmentation de l'effort de pêche national et étranger, l'exploitation dans les pays limitrophes, etc.).

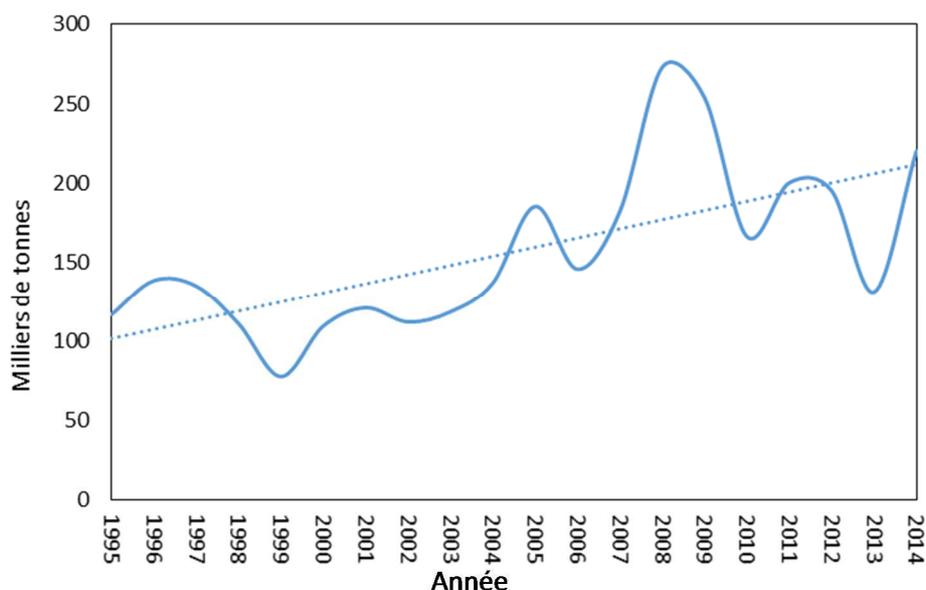
Les périodes de fortes baisses correspondent en outre à celle des accords de pêche avec la Russie (7 à 29 senneurs et chalutiers pélagiques) et l'Union Européenne sur les petits pélagiques avec 22 licences de pêche pélagiques entre 1997 et 2001. A partir de 2008, les débarquements ont montré une baisse de 273 000 tonnes à 131 000 tonnes en 2013 soit - 52 %. Cette période correspond aussi à l'autorisation accordée à 29 chalutiers pélagiques russes. Même si on ne dispose pas de données précises sur l'effort de pêche et les débarquements de ces derniers, Il semble que leur activité eu une influence sur les débarquements de sardinelles de la pêche artisanale, fortement médiatisée au sein de la société civile locale [85].

Les débarquements de sardinelles rondes par les UP au FME ne seront pas traités ici, car très faibles (entre 100 et 300 tonnes par an).



(source : Nos calculs à partir des données du CRODT/ISRA)

Figure 2.21 : Profil des débarquements moyens mensuels de *Sardinella aurita* des UP à la ST (1995-2014)



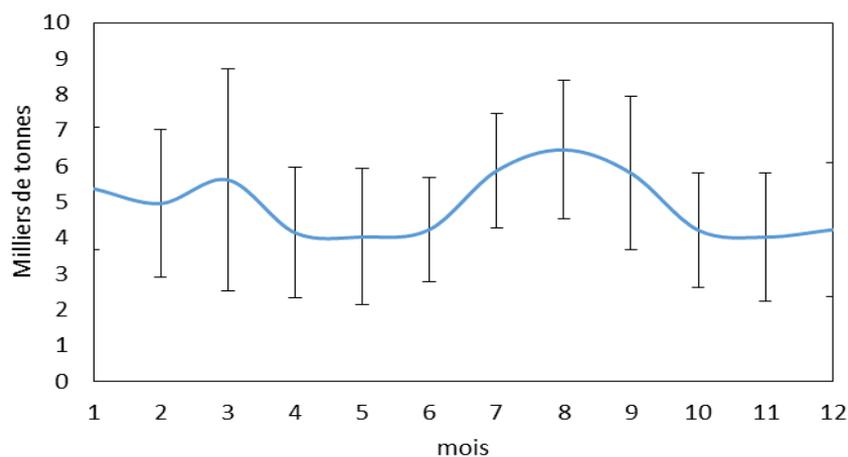
(source : Nos calculs à partir des données du CRODT/ISRA)

Figure 2.22 : Evolution débarquements annuels de *Sardinella aurita* des UP à la ST (1995-2014)

2.3.3.3.2 Débarquement de *Sardinella maderensis* par les unités de pêche à la senne tournante

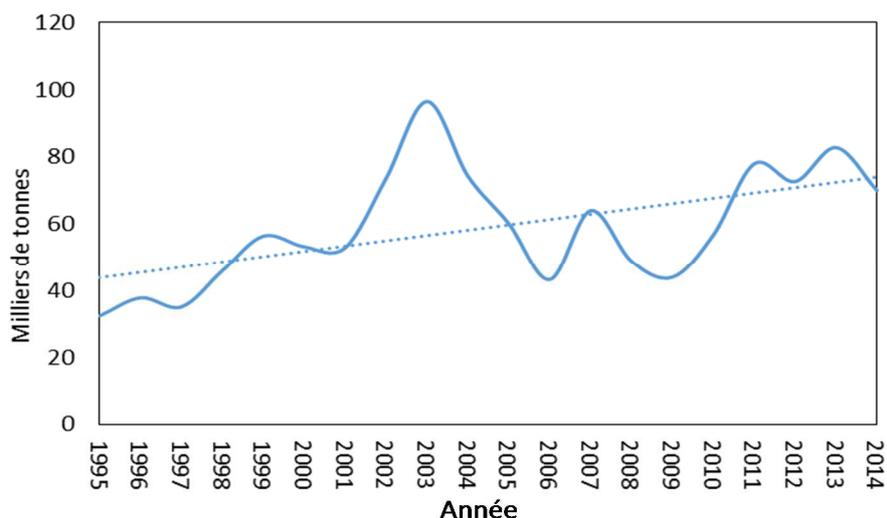
Les débarquements mensuels de sardinelles plates montrent une forte saisonnalité mais de moindre ampleur que pour ceux de la sardinelle ronde (figure 2.23). Les ST débarquent en moyenne 5 000 de sardinelles plate par mois sur la période. On observe un pic d'environ 6 000 tonnes au mois de mars et un autre d'environ 7 000 tonnes au mois d'août. Il est à noter que la variabilité des quantités débarquées est moins marquée que celle de la sardinelle ronde

La moyenne des débarquements annuels de sardinelles plates est de 60 000 tonnes. L'analyse interannuelle des débarquements de sardinelles plates effectués par les ST entre 1995 et 2014 (figure 2.24) montre une forte variabilité interannuelle mais une tendance croissante (moins de 40 000 à plus de 70 000 tonnes) soit un taux de croissance annuel moyen de 2,8 %.



(source : Nos calculs à partir des données du CRODT/ISRA)

Figure 2.23 : Evolution des débarquements de *Sardinella maderensis* moyens mensuels des UP à la ST (1995-2014)



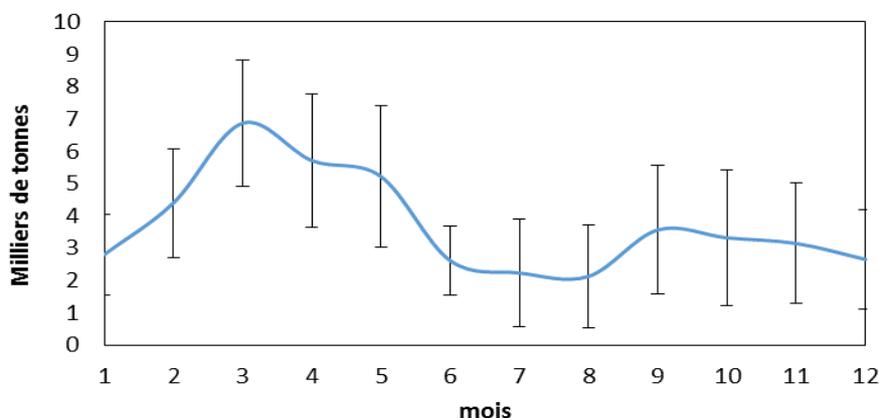
(source : Nos calculs à partir des données du CRODT/ISRA)

Figure 2.24 : Evolution des débarquements annuels de *Sardinella maderensis* des UP à la ST (1995-2014)

2.3.3.3 Débarquement de *Sardinella maderensis* par les unités de pêche au filet maillant encerclant

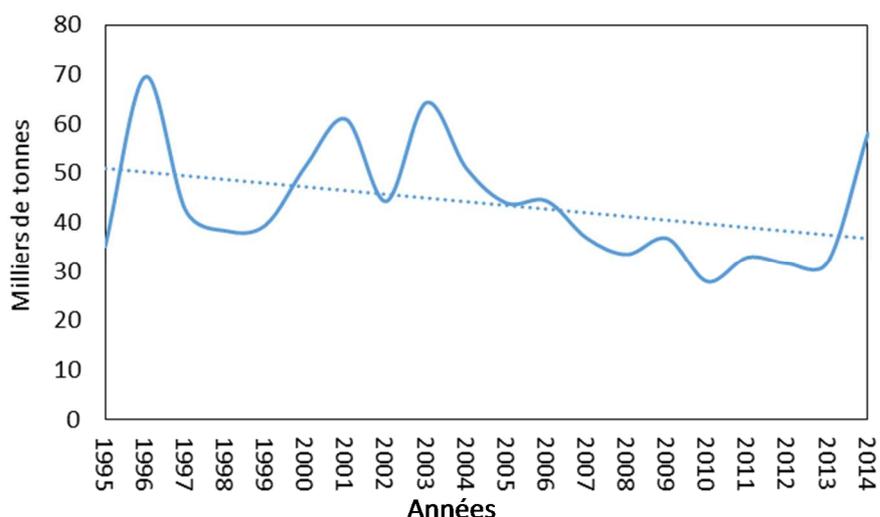
Les débarquements de sardinelles plates des FME sont moins importants que ceux des ST. Comme pour les ST, on observe une saisonnalité dans les débarquements mensuels de sardinelles plates (figure 2.25). Les FME débarquent en moyenne 3 700 tonnes de sardinelles plate par mois sur la période 1995-2014. On observe un pic d'environ 7 000 tonnes au mois de mars, durant les autres mois les débarquements sont de l'ordre de 3 000 à 4 000 tonnes.

La moyenne des débarquements annuels est de sardinelles plates par les FME est de 45 000 tonnes. L'analyse interannuelle des captures de sardinelles plates des FME entre 1995 et 2014 (figure 2.26) montre une forte variabilité interannuelle mais une tendance décroissante (de 50 000 à 38 000 tonnes). Cette baisse des débarquements de sardinelles par les FME pourrait être due d'une part au développement et à l'efficacité des sennes tournantes et d'autre part à la baisse de l'effort de pêche des FME.



(source : Nos calculs à partir des données du CRODT/ISRA)

Figure 2.25 : Profil des débarquements de *Sardinella maderensis* moyens mensuels des UP au FME (1995-2014)



(source : Nos calculs à partir des données du CRODT/ISRA)

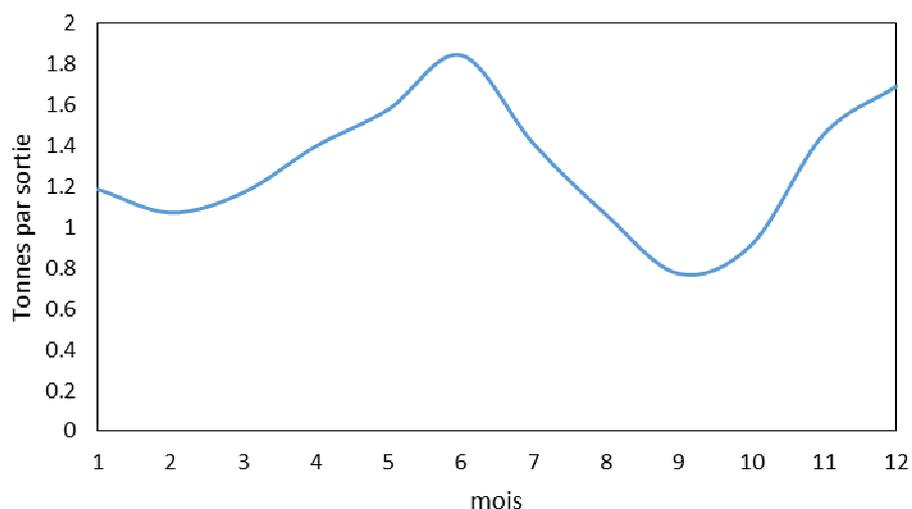
Figure 2.26 : Evolution des débarquements de *Sardinella maderensis* moyens annuels des UP au FME (1995-2014)

2.3.3.4 Les captures de sardinelle ronde par unité d'effort des UP à la ST

Les captures par unité d'effort (cpue) sont obtenues à partir du rapport entre les captures totales et le nombre de sorties totales considéré comme indicateur pertinent pour l'effort de pêche. Pour une espèce, c'est le ratio entre la capture totale de l'espèce et le nombre de sorties des unités de pêche la ciblant.

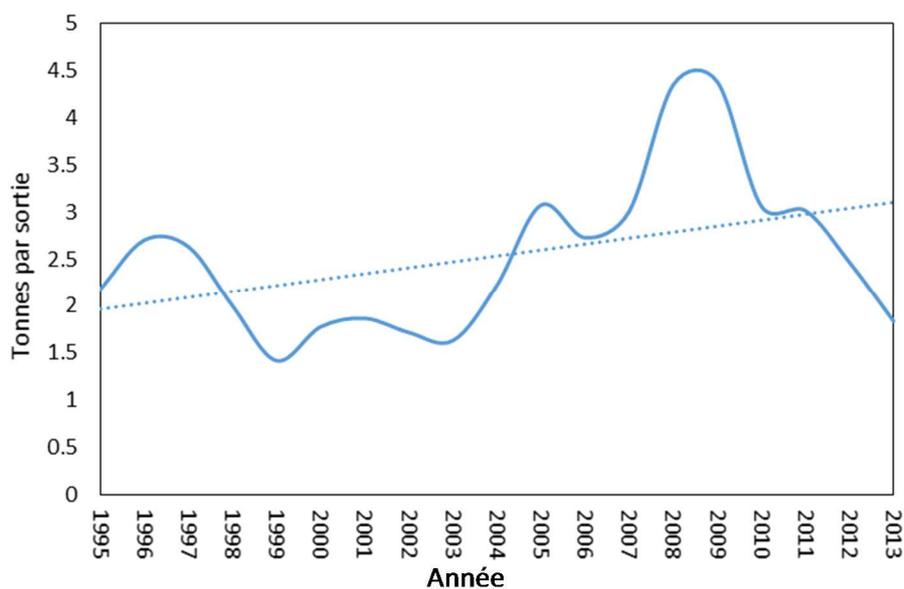
Comme pour les débarquements, l'évolution de la cpue des sardinelles rondes est saisonnière. Elle montre deux pics (1,8 et 1,6 tonnes par sortie) au mois de juin et à la fin de l'année (figure 2.27). Les cpue les plus basses sont observées au mois de septembre (0,8 tonnes par sortie). La variabilité mensuelle des cpue au Sénégal pourrait être liée aux caractéristiques migratrices de la sardinelle ronde, ainsi qu'aux variations d'activité des UP.

En dépit de la baisse de la cpue ces dernières années, l'analyse interannuelle montre une tendance à la hausse de 2 % par an entre 1995 et 2013 (figure 2.28). Les tendances mensuelles et annuelles des cpue reflètent les débarquements de sardinelles rondes effectuées par les ST.



(source : Nos calculs à partir des données du CRODT/ISRA)

Figure 2.27 : Evolution des CPUE moyennes mensuelles de sardinelles ronde (Up St) (1995-2014)



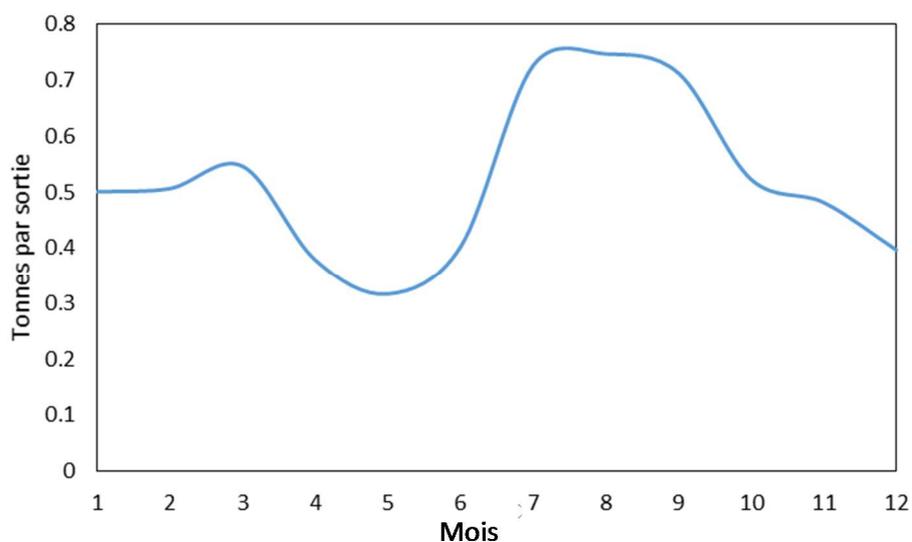
(source : Nos calculs à partir des données du CRODT/ISRA)

Figure 2.28 : Evolution des CPUE moyennes annuelles de sardinelles ronde (Up St)

2.3.3.5 Les captures de sardinelle plate par unité d'effort de ST

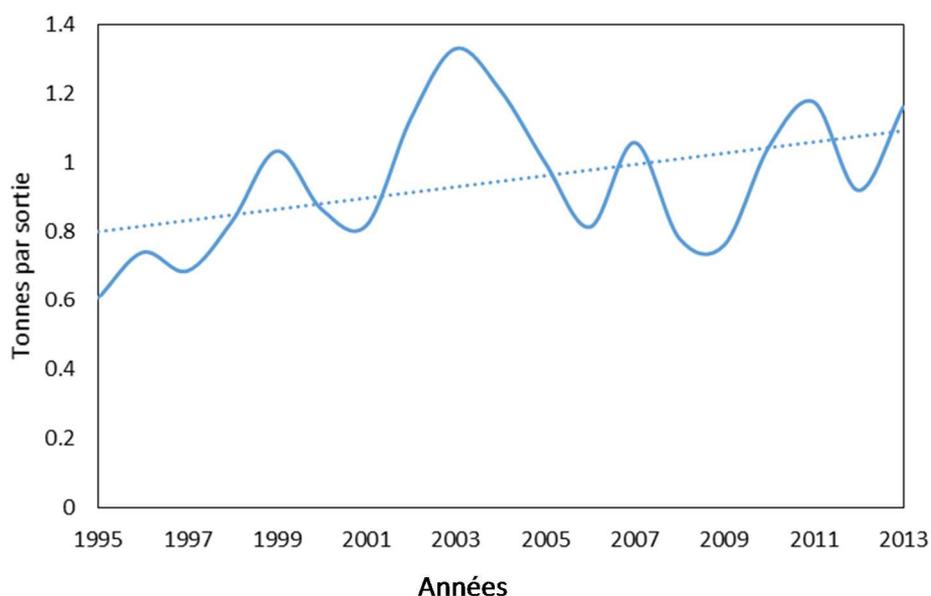
Depuis l'introduction de la ST et son adoption par la pêche artisanale, la cpue des sardinelles plates est en général inférieure à celle de la sardinelle ronde au Sénégal. Elle est de 0,5 tonnes par sortie en moyenne sur la période. Les cpue sont maximales durant la période d'hivernage (juillet à septembre). Le pic est observé au mois d'août avec 0,75 tonnes par sortie (figure 2.29). Le mois de mai correspond à la période où on observe les plus faibles cpue de sardinelle plate par les ST (0,3 tonne par sortie).

L'analyse interannuelle montre une tendance à la hausse de 1,6 % par an entre 1995 et 2013, passant de 0,6 à 1,2 tonne par sortie (figure 2.30).



(source : Nos calculs à partir des données du CRODT/ISRA)

Figure 2.29 : Evolution des CPUE moyennes mensuelles de sardinelles plates (Up St)



(source : Nos calculs à partir des données du CRODT/ISRA)

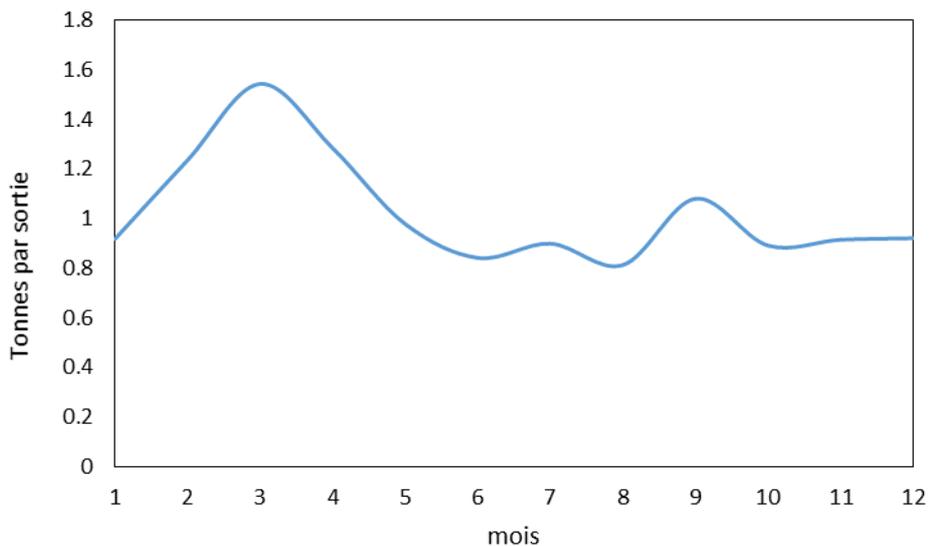
Figure 2.30 : Evolution des CPUE moyennes annuelles de sardinelles plates (Up St)

2.3.3.6 Les captures de sardinelle plate par unité d'effort de FME

Les cpue de sardinelles plate par les Up au FME montrent une variation moindre que celle des UP à la ST (figure 2.31). L'analyse de la saisonnalité cpue montre un pic de 1,5 tonne par sortie au mois de mars et durant les autres mois elle reste proche d'une tonne par sortie, ce qui est supérieure à la cpue des UP à la ST pour la même espèce.

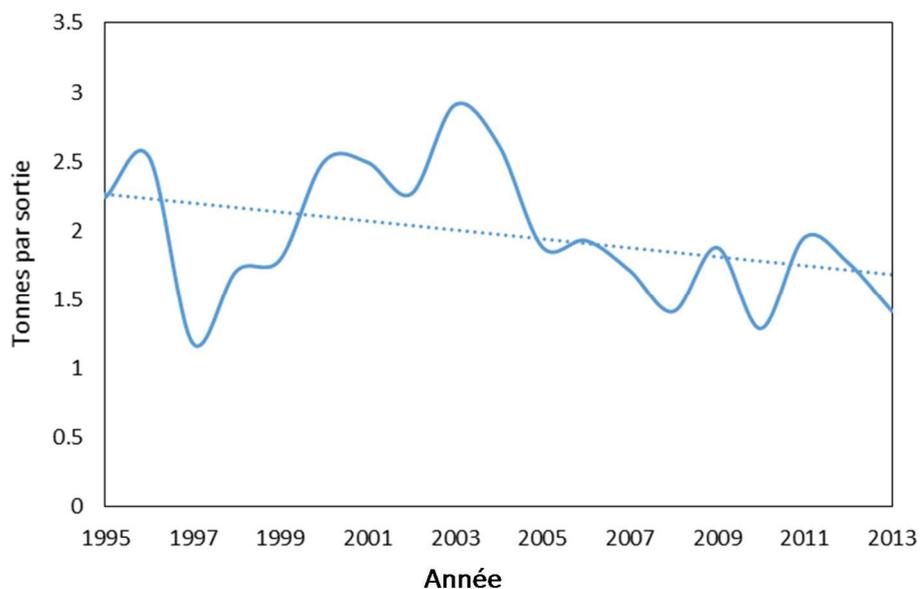
L'analyse interannuelle de la cpue montre cependant une tendance baissière (figure 2.32) de -1,3 % par an entre 1995 et 2013. Il semble que les unités de pêche FME perdent de plus en plus en efficacité pour la capture de la sardinelle plate. Ceci est d'autant plus plausible que les performances des deux types d'unités de pêche ont des tendances opposées. Si cette tendance des débarquements et des

cpue de sardinelles plates des unités de pêche FME se poursuit, on pourrait assister, à terme, à leur disparition dans la pêcherie de sardinelles.



(source : Nos calculs à partir des données du CRODT/ISRA)

Figure 2.31 : Evolution des CPUE moyennes mensuelles de sardinelles plates (Up FME)



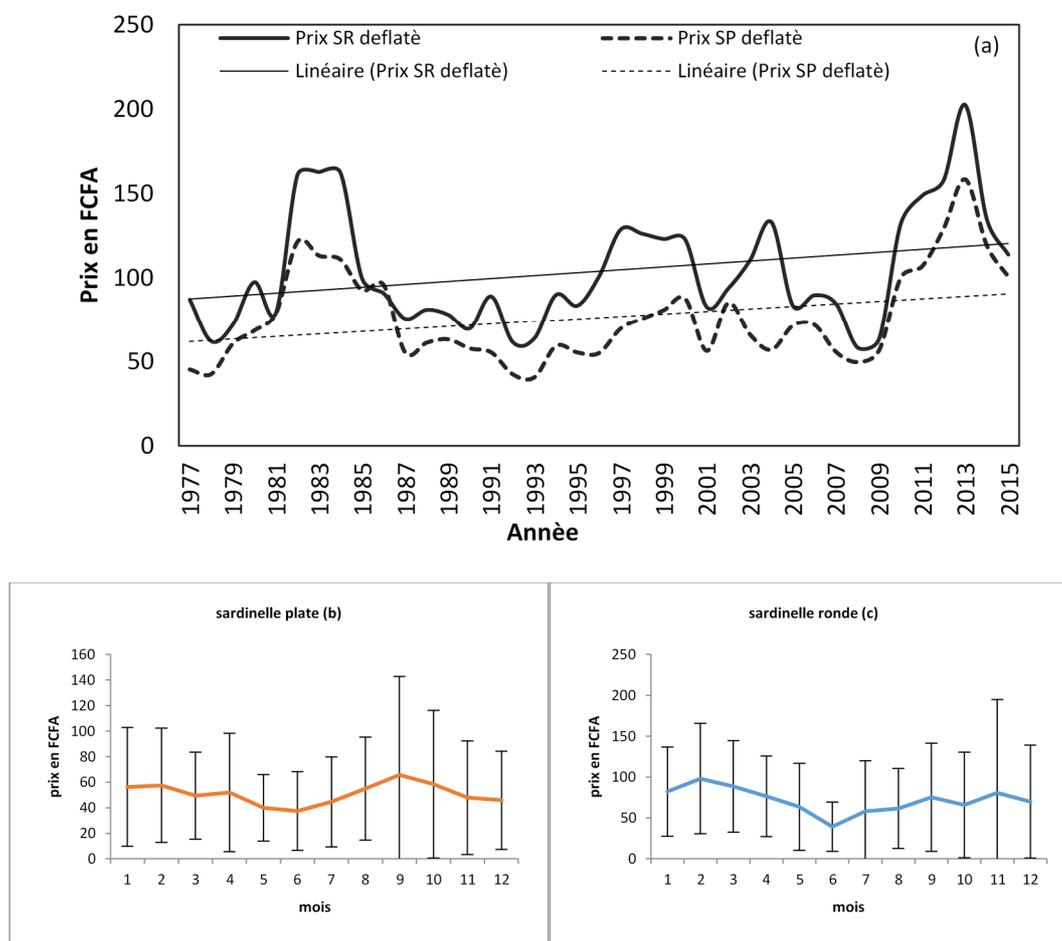
(source : Nos calculs à partir des données du CRODT/ISRA)

Figure 2.32 : Evolution des CPUE moyennes annuelles de sardinelles plates (Up FME)

2.3.3.7 L'évolution annuelle et mensuelle des prix des sardinelles entre 1977 et 2015

La première observation de l'évolution des prix nous montre mis à part les années 1982, 1983, 1984, une variation interannuelle faible (figure 2.33 a). En plus de trois décennies, les prix réels de la sardinelle ronde et de la sardinelle plate n'ont connu qu'une faible croissance soit respectivement 0,7 % et 0,6 % par an.

Les variations mensuelles sont par contre plus marquées (figure 2.33b,c). Les plus bas prix des sardinelles sont observés entre mai et juillet. Ceci est probablement dû à l'abondance des débarquements.



(source : Nos calculs à partir des données du CRODT/ISRA)

Figure 2.33 : Evolution des prix annuels (a) et mensuels moyens des sardinelles (b et c) (1977-2015)

2.3.3.8 Les coûts fixes et variables d'exploitation des unités de pêche à la senne tournante et au filet maillant encerclant

Bien que la pêche artisanale bénéficie d'une détaxe de 15 % sur le carburant, le coût de ce dernier représente de loin l'élément le plus important dans les coûts variables (entre 88 et 90 % en 2014). Le coût de la nourriture dépend essentiellement de la taille de l'équipage et du temps passé en mer. Les coûts en FCFA sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 2-11: Les coûts fixes et variables annuels des unités de pêche pélagiques

Eléments (2014)	ST	FME
Coûts fixes (en milliers de FCFA)		
Amortissements pirogue	827	290
Amortissements moteur	2 100	661
Autres (assurances)	400	350
Permis pêche	25	25
Total coûts fixes	3 352	1 327
Coûts variables (en milliers de FCFA)		
Carburant	36 318	11 371
Nourriture	2 615	1 294
Réparations	2 294	2 054
Total coûts variables	41 228	14 720
Coût total d'exploitation	44 580	16 047
source : Ba [27]		

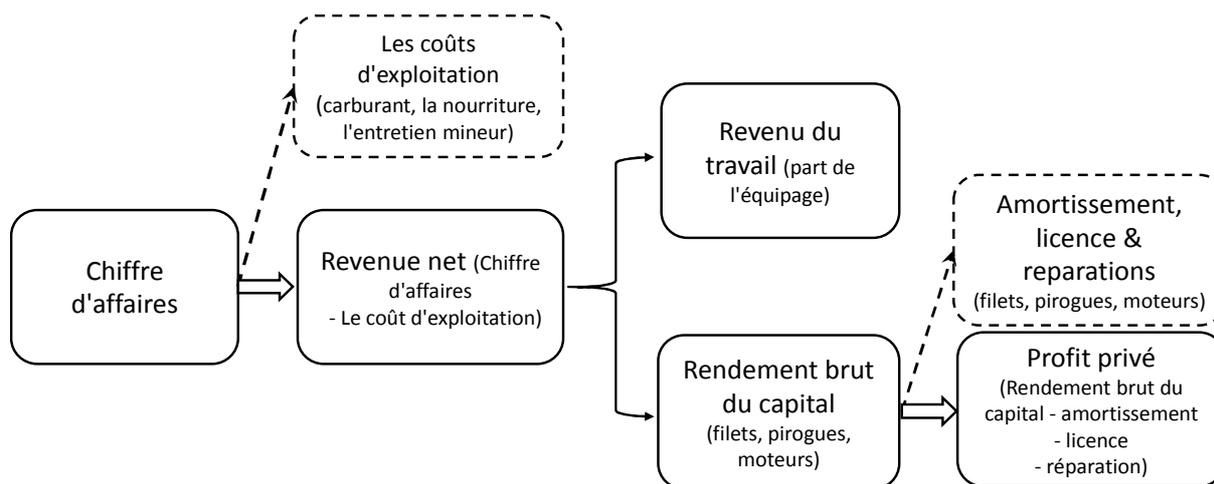
2.3.3.9 Rentabilité des unités de pêche à la senne tournante et au filet maillant encerclant

2.3.3.9.1 Les systèmes de partage

Contrairement à d'autres activités où la diffusion du progrès technique est accompagnée de la progression du salariat, la permanence des systèmes de rémunération à la part semble remarquable dans la pêche artisanale malgré l'ampleur des bouleversements technologiques.

En effet dans la pêche artisanale, les membres de l'équipage partagent les risques économiques des sorties en mer. Le mode de distribution basé sur la rémunération à la part montre que ce n'est pas le travail qui est rémunéré mais son résultat [11]. La rémunération est donc soumise aux aléas de la production. Les formes de partage du produit de la pêche sont spécifiques selon le type d'unité de pêche.

La recette issue de la vente de la production à chaque sortie de pêche est d'abord destinée à couvrir les frais communs liés à la sortie c'est-à-dire le carburant, l'appât, la nourriture et le petit entretien des équipements. Une fois les frais communs déduits, le solde est partagé entre le capital et le travail selon un principe dépendant du type d'unité de pêche (Figure 2.34).



(source : Ba et al. [27])

Figure 2.34 : Le système de partage (les tirets représentent les soustractions)

2.3.3.9.1.1 Les principes généraux de partage

Pour l'unité de pêche à la senne tournante, le tiers du solde est accordé au filet du fait de sa cherté. Les deux tiers restants sont partagés à part égales entre le moteur, la ou les pirogues et les membres d'équipage.

Pour le filet maillant encerclant, le revenu net est ainsi réparti en raison d'une part par pêcheur, une part pour le moteur, une part pour le filet et une part pour la pirogue.

Dans les cas les plus fréquents pour les unités de pêche à la senne tournante, le capital perçoit 45 % du résultat brut d'exploitation et le reste (55 %) représente la part du travail. Pour les unités de pêche au filet maillant encerclant, la rémunération du capital est égale à 28 % du résultat brut d'exploitation. Les 73 % restant du résultat brut d'exploitation sont affectés à la rémunération du travail [88].

2.3.3.9.1.2 Les variantes dans le système de partage

Chaque système connaît cependant des variantes et quelques changements sont observés suivant l'évolution de la pêche :

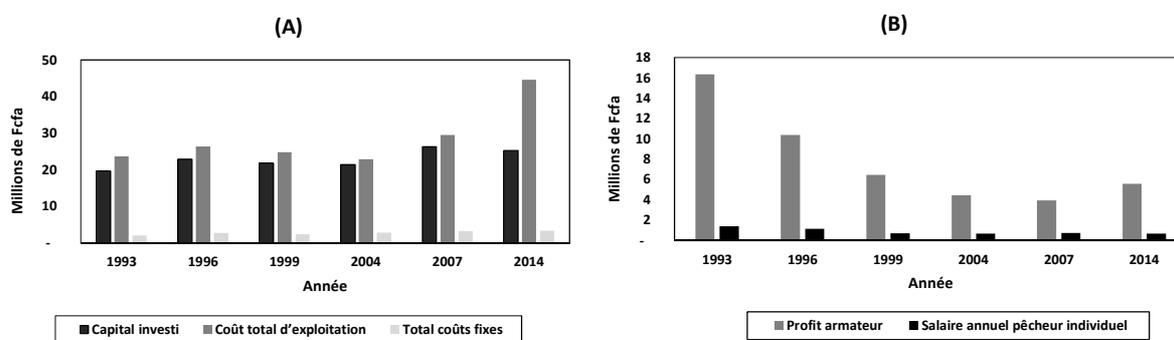
- Suivant l'importance de la part du capital dans l'investissement, l'armateur peut recevoir entre 30 à 50 % du chiffre d'affaire net (exemple du cas de la senne tournante) ;
- Selon l'expérience et le degré de compétence, le pêcheur individuel peut bénéficier de prime ou de part supplémentaires ;
- Dans le cas d'unités de pêche familiale (souvent le cas des UP au FME), d'autres types de rapports économiques peuvent survenir. En effet, dans ces cas, la part des enfants et jeunes célibataires est réduite et est gérée par leur parents ou leurs aînés dans un « compte familial » ;

- Selon que l'unité de pêche soit sédentaire ou migrante, le mode de partage peut différer. Pour les unités sédentaires, le type de partage est celui décrit ci-dessus. Pour les unités de pêche migrantes, le partage est tout autre et est sujet à de profondes mutations durant ces dernières années. En effet, les migrants ne procèdent au partage du gain qu'à la fin de la campagne de migration. Ce type d'opération entraîne souvent des problèmes à la fin de la campagne car le gain est soumis aux risques et aux aléas de la nature sur la période de la campagne. Dans le cas de perte, de détérioration d'engins et/ou de rareté des ressources le pêcheur peut se retrouver après une campagne de travail avec des sommes dérisoires. C'est souvent le cas des sennes tournantes de Saint-Louis migrantes en Mauritanie.

Dans la suite de ce travail, le modèle présenté ci-dessus (figure 2.34) sera utilisé.

2.3.3.9.2 Rentabilité des unités de pêche à la senne tournante

Les coûts d'investissement et d'exploitation des sennes tournantes ont augmenté respectivement de 30 et 90 % entre 1993 et 2014. Au cours de la même période, les revenus des propriétaires et des pêcheurs ont respectivement baissé de 66 et 52 % (figure 2.35). Le revenu du propriétaire est 10 fois plus élevé en moyenne que le revenu d'un pêcheur ordinaire. Le délai de récupération du capital investi a doublé en vingt ans. Le taux de rendement interne est passé de 83 à 22 % (tableau 2-12). Les coûts d'exploitation sont plutôt dominés par le coût du carburant. La part du carburant dans les coûts d'exploitation a augmenté, elle est passée de 60 à 80 % au cours de la période[27].



(source : Ba et al. [27])

Figure 2.35 : Evolution des indicateurs économiques des unités de pêche à la senne tournante entre 1993 et 2014

Tableau 2-12 : Indicateurs de la rentabilité ((revenu des membres d'équipage, profit privé, exprimés en milliers de FCFA constants, taux de rentabilité interne (%) et période de récupération (années)) de l'unité de pêche à la senne tournante au cours des 20 dernières années.

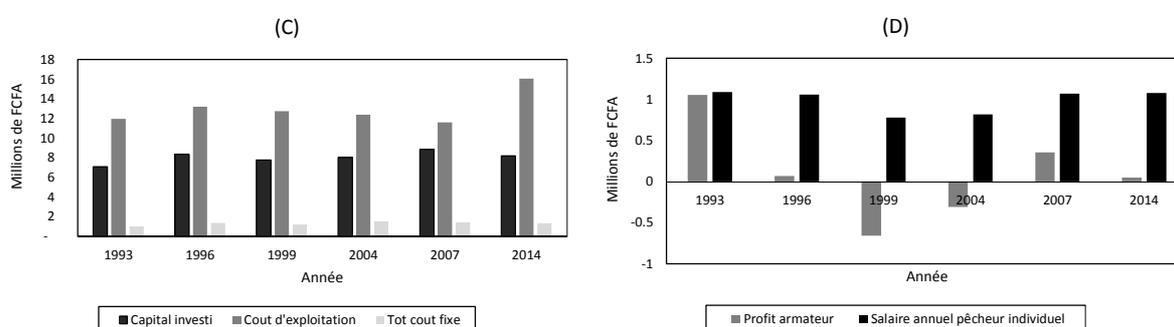
Rentabilité de l'unité de pêche senne tournante	1993	1996	1999	2004	2007	2014
Revenu d'un membre d'équipage par an	1 413	1 156	722	676	744	678
Revenu de l'équipage par an	28 254	23 134	14 448	13 518	14 881	13 546
Profit de l'armateur par an	16 341	10 376	6 443	4 446	3 948	5 590
Taux de rentabilité interne (%)	82,90	45,42	29,55	20,75	15,05	22,12
Délai de récupération (années)	1,21	2,20	3,38	4,82	6,65	4,52

(source : Ba et al. [27])

2.3.3.9.3 Rentabilité des unités de pêche au filet maillant encerclant

Les coûts d'investissement n'ont pas beaucoup changé entre 1993 et 2014. Cependant, les coûts d'exploitation ont fortement augmenté (25 %) sur la période. Les profits générés par ces types d'unités de pêche sont relativement faibles comparé ceux des sennes tournantes. Le profit de l'armateur est en moyenne inférieur à celui d'un membre d'équipage (figure 2.36). Le délai de récupération du capital investi est multiplié par 26 au cours de ces 20 années. Le taux de rendement interne des filets maillants encerclants est passé de 15 à 1 % (tableau 2-13). Les coûts d'exploitation sont fortement dominés par le coût du carburant, qui représente 70 % du coût total d'exploitation [27]. Cependant, au cours de la période, la part du carburant dans les coûts d'exploitation est relativement constante.

Par contre en fin de période la rémunération par tête est supérieure à celle observée pour les UP à la ST, ce qui peut expliquer le maintien en activité de ces unités en dépit du faible retour sur le capital. En plus dans le contexte d'une organisation plutôt familiale des UP au FME, la distinction entre revenu du travail et du capital est moins pertinente que pour les UP à la ST plutôt organisées de façon capitaliste.



(source : Ba et al. [27])

Figure 2.36 : Evolution des indicateurs économiques des unités de pêche filet maillant encerclant entre 1993 et 2014

Tableau 2-13 : Indicateurs de la rentabilité ((revenu des membres d'équipage, profit privé, exprimés en milliers FCFA constants, taux de rentabilité interne (%) et période de récupération (années)) du filet maillant encerclant au cours des 20 dernières années.

Rentabilité de l'unité de pêche filet maillant encerclant	1993	1996	1999	2004	2007	2014
Revenu d'un membre d'équipage par an	1 088	1 057	780	819	1 069	1 074
Revenu de l'équipage par an	8 707	8 458	6 238	6 549	8 556	8 598
Profit de l'armateur par an	1 052	68	659	310	356	47
Taux de rentabilité interne (%)	14,8	0,8	-	-	4,0	0,6
Délai de récupération (années)	6,7	122,6	-	-	24,8	174,6

(source : Ba et al. [27])

2.3.3.9.4 Les facteurs influençant la rentabilité des unités de pêche

Plusieurs facteurs peuvent expliquer les variations observées de la rentabilité au cours des vingt dernières années. Parmi les facteurs qui influencent la rentabilité, le prix du carburant semble être le principal même si ces cinq dernières années, une baisse de la CPUE est observée. L'observation de la capacité de pêche et des taux de rentabilité interne reflète une surcapacité de pêche dans cette pêcherie.

2.3.3.10 Les produits de la pêche artisanale aux sardinelles

2.3.3.10.1 Les produits frais

Le produit frais est essentiellement constitué de sardinelles débarquées n'ayant pas subi de traitement préalable. Il s'agit des sardinelles plate et ronde fraîchement débarquées qui sont directement consommées ou bien réfrigérées et/ou glacées pour l'approvisionnement des marchés nationaux urbains, ruraux et sous régionaux. Ces produits sont d'une importance majeure sur le plan socioéconomique et culturel, avec une consommation annuelle de poisson au Sénégal de 25 kg / habitant , dont plus de 75 % est constituée de petits pélagiques [89] et majoritairement de sardinelles.

2.3.3.10.2 Les produits transformés

2.3.3.10.2.1 La transformation artisanale : les produits traditionnels

La transformation artisanale de poisson, selon des techniques variées, est une tradition ancestrale au Sénégal. Son importance sur le plan économique, social et culturel n'est plus à démontrer. Déjà en 1954, 37 % de la production de la pêche artisanale étaient consacrés à la transformation du fait de manque de moyens de conservation notamment mais aussi d'acheminement des produits à l'intérieur du pays [12]. Du fait de leur grande abondance (environ 70 % des captures), les sardinelles sont les espèces les plus transformées en quantité. La transformation de ces espèces représente plus de 65 % des produits transformés en poids [90]. La transformation artisanale est une activité présente dans

tous les grands centres de débarquements de la pêche artisanale dont elle absorbe environ plus de 20 % des mises à terre.

Les principaux produits de transformation artisanale des sardinelles sont le kéthiakh et le méthora.

✓ Kéthiakh

Les espèces utilisées sont les sardinelles et dans une moindre mesure les ethmaloses. Le processus comprend l'étêtage, l'éviscération, le braisage, le refroidissement, et le séchage. Selon le marché de destination, le produit peut être salé ou non. Les consommateurs burkinabais préfèrent le produit non salé. Le séchage dure de deux à quatre jours selon la saison, la teneur en eau et en lipides du poisson. Cette activité a connu une croissance concomitante au développement de la pêche à la senne tournante. C'est une activité qui emploie aujourd'hui plusieurs milliers de femmes dans les grands centres de pêche artisanale au Sénégal.

✓ Méthora

C'est un produit qui est peu consommé par les sénégalais. Le méthora est un produit très prisé en Guinée et est exclusivement destiné à ce marché. Il s'agit d'un fumage à chaud pour cuire le poisson suivi d'un séchage à la fumée et/ou au soleil. Les espèces utilisées sont variées (petits pélagiques, espèces démersales, raies et requins) mais vu l'abondance des sardinelles, elles constituent la majeure partie de la matière première.

2.3.3.10.2.2 La transformation industrielle : Sardinelles congelées, Farine et huile de poisson

Certaines industries de transformations sont spécialisées sur la congélation des petits pélagiques au Sénégal. Les sardinelles constituent la matière première principale de ces industries. Les produits sont pour la plupart destinés au marché africain sous régional.

La farine et l'huile de poisson sont des dérivées du poisson. La farine est obtenue par broyage et séchage après extraction de l'eau et des liquides du poisson. Pour le cas du Sénégal, jusqu'aux années récentes, la matière première était pour l'essentiel constituée de déchets des industries de transformation (carcasses de poissons et déchets de filetage) et des méventes de la production artisanale en petits pélagiques. Cependant, l'activité de production de farine connaît aujourd'hui un essor important, en raison d'une demande croissante de l'industrie internationale de l'aquaculture [2] proposant des prix bien supérieurs à ceux du marché du frais sénégalais. L'offre mondiale de farine et d'huile de poisson est en augmentation constante depuis 10 ans, mais est loin de satisfaire la demande, provenant essentiellement de l'aquaculture, qui connaît une croissance soutenue de 7 % par an [1]. Avec la multiplication des usines de farine de poisson au Sénégal (environ une dizaine aujourd'hui, contre deux, de 1978 aux années 2000), la production de farine pourrait devenir un concurrent potentiel de la consommation directe nationale et sous régionale. Les usines actuelles transforment, non pas les déchets, mais du poisson frais débarqué pour la plupart par la pêche artisanale. Ces entreprises n'ont pas d'exigence sur la taille et la qualité des poissons et leur le développement laisse

donc la porte ouverte à la pêche des juvéniles et autres petits poissons plus faciles à transformer en farine.

En plus des unités industrielles, de petites unités de production de farine de poisson sont implantées dans tous les centres de débarquement dotés d'une aire de transformation. Ces petites unités utilisent pour la plupart les déchets de la transformation artisanale pour produire de la farine de poisson de moins bonne qualité destinée à la demande locale provenant de la filière avicole.

2.3.4 Les marchés et les circuits de distributions

La production de sardinelle est essentiellement absorbée par le marché intérieur (produit frais et transformé) et le marché régional africain (produit frais, congelé et transformé). La figure 2.37 nous résume le circuit de distribution de la sardinelle et ses dérivés.

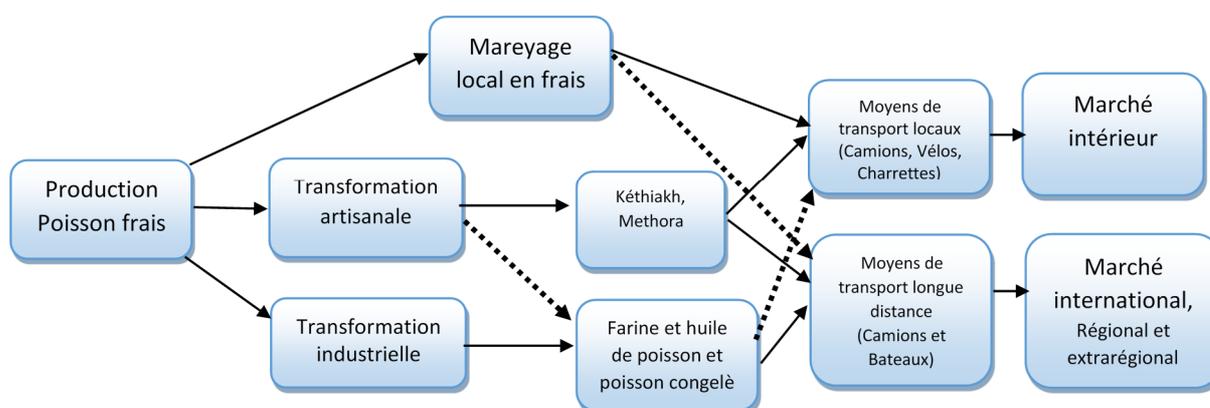


Figure 2.37 : Circuit de distribution des produits

2.3.4.1 Distribution nationale des produits de la pêche

On distingue globalement deux marchés de distribution des produits halieutiques au Sénégal : le marché des produits frais et le marché des produits transformés.

Deux types de circuits de distribution du poisson frais sont distingués dans le marché sénégalais. Il s'agit des circuits courts, alimentés par les micro-mareyeurs et longs alimentés par les mareyeurs professionnels

- Le circuit court alimente l'arrière-pays du littoral, les zones urbaines voisines des centres de débarquement et marchés d'approvisionnement en poisson frais en détail proche des côtes. Ce circuit ne nécessite pas de moyens matériels onéreux, l'utilisation de capital y est réduite. Les micros-mareyeurs ont juste besoin d'un contenant (moyen de stockage e.g. bassine) et d'un petit fond financier pour l'achat de poissons au débarquement (pour le littoral) ou au niveau des grands marchés d'éclatement régionaux (pour l'intérieur du pays). Ils se débrouillent, pour assurer la redistribution vers les marchés ruraux, urbains et périphériques, dans les transports en commun ou en charrette. Ils sont majoritairement des femmes. Il s'agit

d'un circuit très actif sans lequel la disponibilité de poissons frais pour la consommation serait compromise.

- Le circuit long alimente les zones urbaines loin des centres de débarquements et l'intérieur du pays. Ce circuit est alimenté par des mareyeurs disposant de véhicules dont l'usage est réservé aux transports du poisson. Il s'agit ici d'une activité qui nécessite d'importants moyens financiers (camion frigorifique et fonds de roulement). Cette activité se développe au rythme du développement des infrastructures routières pour amoindrir leurs coûts en glace, en carburant et entretien des véhicules. Cette activité a besoin de routes de bonne qualité. Ainsi avec le développement des routes au Sénégal depuis les années soixante, les mareyeurs parviennent à desservir toutes les capitales régionales du Sénégal.

Pour les produits transformés, le circuit est alimenté par des commerçants spécialisés dans ce commerce. Ils s'approvisionnent au niveau des sites de transformation tels que Joal et Mbour pour alimenter les marchés urbains et l'intérieur du pays. Le produit est acheminé par des camions et parfois par les transports en commun.

2.3.4.2 Distribution des produits de la pêche destinés au marché africain

En Afrique les gros consommateurs de petits pélagiques transformés provenant du Sénégal restent le Burkina Faso (25 000 t), la République Démocratique du Congo (5 500 t), le Mali et la Côte d'Ivoire (entre 1 000 et 2 000 t) [90]. Le commerce transfrontalier du poisson transformé de la pêche artisanale connaît une activité intense liée à l'amélioration des voies de communication et la mise en œuvre même très progressive de coopérations et de concertations régionales : les principaux circuits sont ceux au départ du Sénégal vers la Guinée Conakry, le Mali et le Burkina Faso [89].

Le circuit transfrontalier des produits transformés est presque exclusivement tenu par des étrangers. Ils s'installent au niveau des sites de transformation proches des sites de débarquements (comme à Joal et à Kafountine). Ils achètent la matière première par l'intermédiaire des mareyeurs locaux et la transforment au goût des consommateurs de leur pays d'origine. Ils disposent des magasins de stockage et des matériaux d'emballage. Les produits finis emballés sont mis dans des camions de forte capacité et acheminés dans leur pays d'origine. Cette activité constitue une économie tout entière, car faisant vivre toute une communauté à travers les emplois créés (vente de paille, de bois, fumage, décorticage, etc.), l'achat des produits débarqués par les pêcheurs, le transport, etc. L'activité de transformation artisanale dans les zones de pêche stimule leur économie. Dans les Iles du Saloum, la réinstallation des fours de transformation pour la production de méthora qui avaient disparu constitue un bel exemple avec le retour des FME qui étaient jadis à Joal, Mbour et Kafountine à la recherche d'éventuels mareyeurs.

Pour le poisson frais ou congelé, le Mali vient en tête des destinations avec 5 000 tonnes, suivi du Burkina Faso, de la Guinée et de la Guinée Bissau. Le circuit de distribution est ici un circuit long. Il

s'agit d'une activité menée par les industries et par les gros mareyeurs ayant à leur disposition des moyens de transport adaptés. Cette activité demande des moyens financiers conséquents.

Le circuit de transport du poisson frais est aussi assuré pour la plupart des cas par des étrangers. Cette activité aussi demande des moyens financiers assez conséquents car en effet il faut des camions frigorifiques/isothermes et assez de trésorerie (fond de roulement) pour l'acquisition de produit frais mais aussi de glace. L'approvisionnement du Mali se fait à partir de Saint-Louis et les mareyeurs s'approvisionnent directement au niveau des pêcheurs lors du débarquement. Les camions frigorifiques/isothermes empruntent la route Dagana-Podor-Matam-Bakel puis le Mali la nuit pour profiter de la fraîcheur et économiser la glace.

L'approvisionnement du Burkina Faso en produit frais est aussi assuré par les camions frigorifiques/isothermes. Ce circuit est assuré par des étrangers (Burkinabès pour la plupart) qui s'approvisionnent à Mbour et à Joal.

L'approvisionnement en produit frais de la Guinée et de la Guinée Bissau est fait à partir de la Casamance et est plutôt assuré par des mareyeurs sénégalais. Il s'agit là aussi de grands mareyeurs qui acheminent les produits à bord de camions frigorifiques.

L'approvisionnement des autres pays africains se fait à partir de grands marchés d'éclatement africains de produits halieutiques.

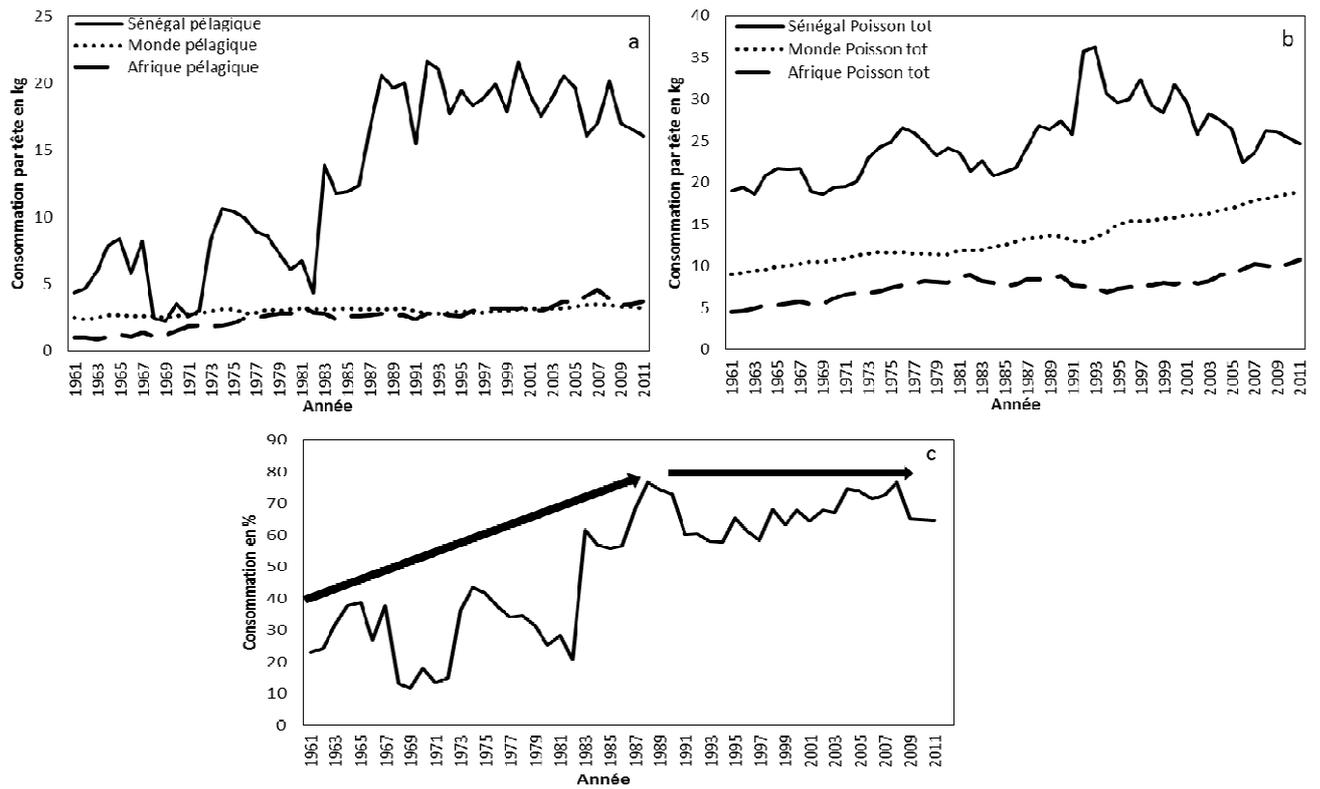
2.3.5 Les changements du marché national et international

2.3.5.1 *Marché intérieur*

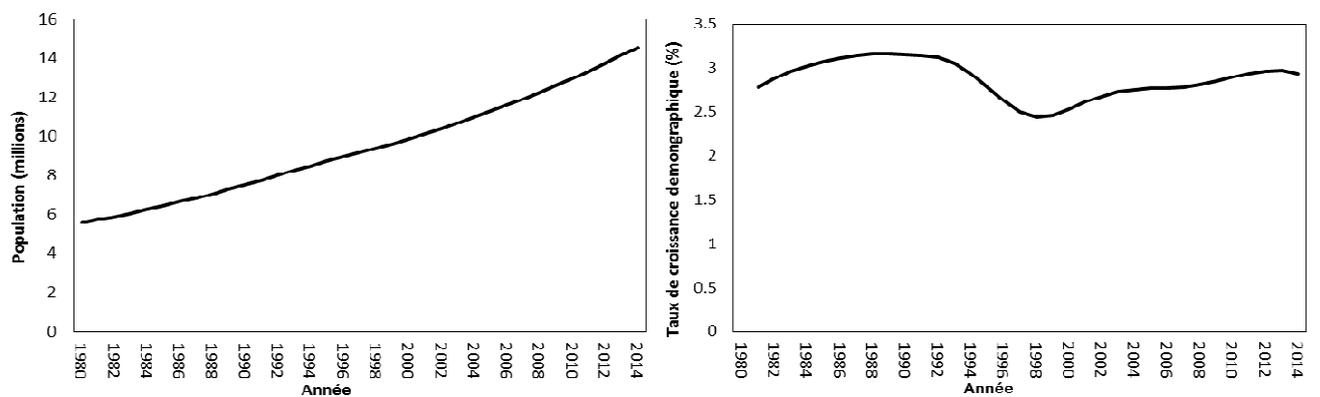
La demande du marché intérieur des produits halieutiques au Sénégal a connu, en tendance, une croissance durant ces trois dernières décennies. Elle s'explique principalement par la croissance démographique qui se situe entre 2,5 et 3 % ces deux dernières décennies (figure 2.39) et la meilleure accessibilité des zones les plus éloignées des zones de débarquements par la mise en place de routes par l'Etat (figure 2.40) mais aussi la chaîne de froid assurée par des moyens de transport plus adaptés. Pour l'acheminement des produits, les camions isothermes ont progressivement remplacé les camions bâchés utilisés jusqu'aux années 2000.

Cependant la croissance de cette demande peu s'interpréter en deux phases (figure 2.38b). Une consommation par tête croissante 20 à 36 kg par tête entre 1961 et 1993 et une baisse jusqu'à 24 kg dans les années 2000. Cette baisse de consommation pourrait être due à l'augmentation du prix de certains poissons (e.g poissons dit « nobles ») du fait du marché de l'exportation. Cette consommation nationale est de ce fait dominée par les espèces pélagiques (70 % de la consommation) plus abondantes, moins sujettes à l'exportation et à plus bas prix. L'utilisation des petits pélagiques pour la consommation humaine peut être cependant remise en cause par le développement récent de la production de farine de poissons.

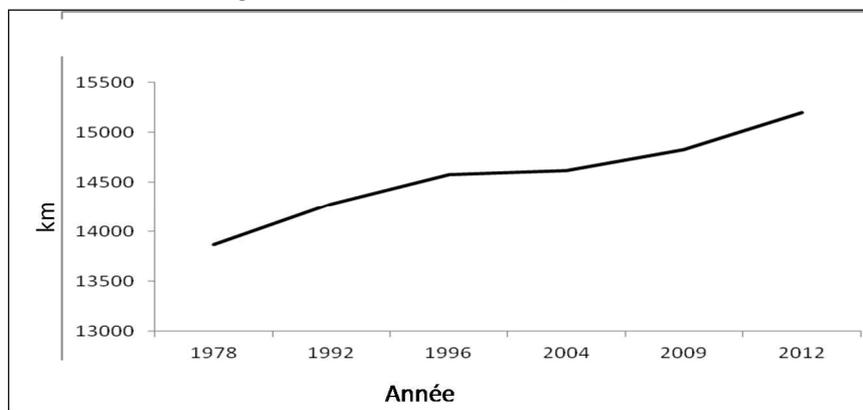
La consommation de petits pélagiques est composée essentiellement de sardinelles (figure 2.38a,c) et la demande sénégalaise en sardinelle est principalement constituée de produits frais et produits transformés en kéthiakh. La sardinelle était jadis moins consommée dans les milieux urbains ou côtiers. Elle était transformée en kéthiakh pour être vendue dans les régions non côtières et/ou stockée jusqu'en période de soudure pour être consommée en milieu rural. De nos jours, avec le développement de l'exportation des autres espèces, la raréfaction de la ressource et la situation difficile de la majorité des ménages urbains, les sardinelles et le kéthiakh sont de plus en plus présents dans la consommation de la majorité des ménages Sénégalais. En effet, au-delà de sa valeur nutritionnelle, ce produit est le plus accessible pour la majorité des bourses.



(source : FAOSTAT (<http://www.fao.org/fishery/statistics/global-consumption/fr>))
 Figure 2.38 : Consommation de produits halieutiques au Sénégal et dans le monde



(source : ANSD)
 Figure 2.39 : Croissance démographique



(source : ANSD)
 Figure 2.40 : L'évolution des infrastructures routières au Sénégal

2.3.5.2 *Marché extérieur*

A. Le marché régional et extra régional africain

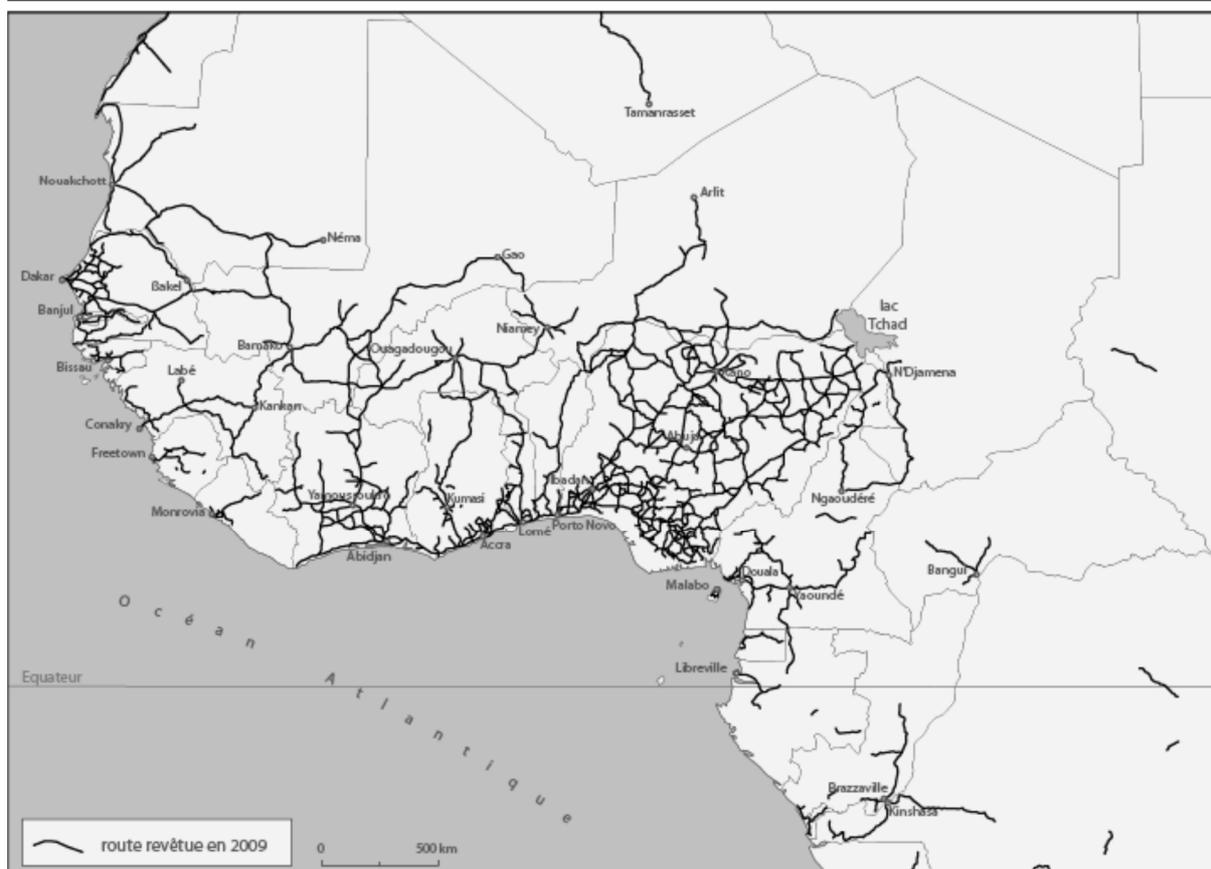
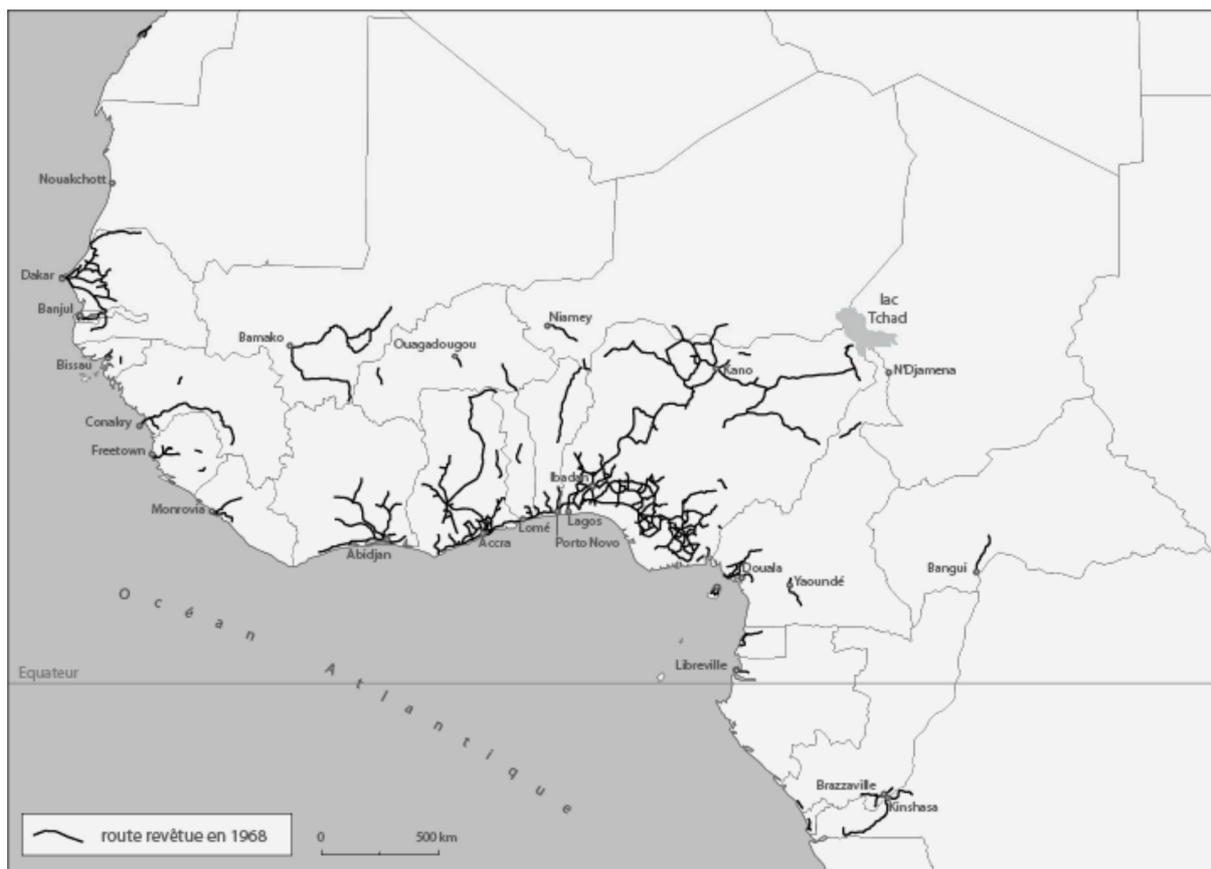
Le marché africain constitue un important débouché pour les produits halieutiques sénégalais. Dans la plupart des pays proches tels que le Burkina Faso, le Niger, le Mali, la Guinée, d'autres pays africains (Congo, République Démocratique du Congo, Ghana) plus éloignés du Sénégal, la demande de poisson est supérieure à l'offre. Ils sont constitués pour la plupart de pays déficitaires en protéines animales et fortement demandeurs de poissons frais ou sec à bon prix. La création de l'espace économique régional (CEDEAO) avec le développement des infrastructures routières (Figure 2.41) et les coopérations douanières ont eu un impact considérable sur les exportations du Sénégal. Ce contexte a facilité la pénétration des produits sénégalais dans la sous-région ouest-africaine et les a rendus très compétitifs par rapport aux produits provenant des Etats non membres de cet espace.

Sur le marché Burkinabé, les produits importés hors Communauté sont assujettis à un droit de douane de 42 % et de 12 à 30 %, selon le niveau d'élaboration du produit, sur le marché ivoirien. Ce régime privilégié fait du Sénégal l'un des principaux fournisseurs de poisson congelé et transformé des pays de la CEDEAO.

La sous-région ouest-africaine est habitée par une majorité de consommateurs à faible revenu. Leur demande de produits halieutiques est de plus en plus croissante (51 % des exportations de poissons du Sénégal). Elle est plutôt constituée d'espèces à faible valeur telles que les sardinelles [90]. Cette situation pourrait sur le long terme compromettre la satisfaction de la demande intérieure et la sécurité alimentaire sénégalaise.

D'autre part, l'ensemble du continent africain est devenu, depuis la politique de mise aux normes des produits halieutiques importés instituée par l'Union Européenne, la première destination des produits halieutiques sénégalais avec 68 000 tonnes [90], soit la moitié des exportations.

A ces barrières à l'exportation en Europe, jadis première destination des produits halieutiques sénégalais, s'ajoute la raréfaction des espèces habituellement exportées vers le marché européen (mérus, daurades, crevettes, céphalopodes ...) entraînant la réorientation géographique des exportations vers le reste de l'Afrique des espèces encore disponibles et jusqu'ici destinées au marché national (sardinelles).



(carte Michelin, édition 1970-2009 issue de Lombard et Ninot [91])
 Figure 2.41 : Évolution de la construction des routes revêtues entre 1968 et 2009

B. Le marché international hors Afrique

Le marché international (hors Afrique) est plutôt dominé par l'Asie depuis 2007. Le marché asiatique représente environ 35 000 tonnes [90] devant le marché européen (30 000 tonnes) mais peu demandeur de sardinelles sous forme congelée. Le marché international est plus demandeur de farine et huile de poisson. Or depuis la fermeture de l'industrie de transformation de Djifère (SOPESINE, Société de Pêche du Sine Saloum), qui absorbait plus de 20 % des débarquements de la pêche artisanale pour la fabrication de farine et huile de poisson [92], il n'y a pas eu d'industrie de cette envergure. Cependant, durant ces dernières années, il y a eu une volonté manifeste d'installations d'industries de farine de poisson dans presque tous les centres de débarquements (un projet à Kayar, deux fonctionnelles à Joal et à Mbour et environ six à Dakar). Implantées le plus souvent dans les centres de pêche artisanale, ces usines sont en concurrence avec les transformateurs locaux et les mareyeurs pour l'accès aux débarquements de sardinelles. Cette situation crée des difficultés d'approvisionnement pour les femmes micro-mareyeuses et les formatrices et les transformateurs artisanaux (cas de Joal).

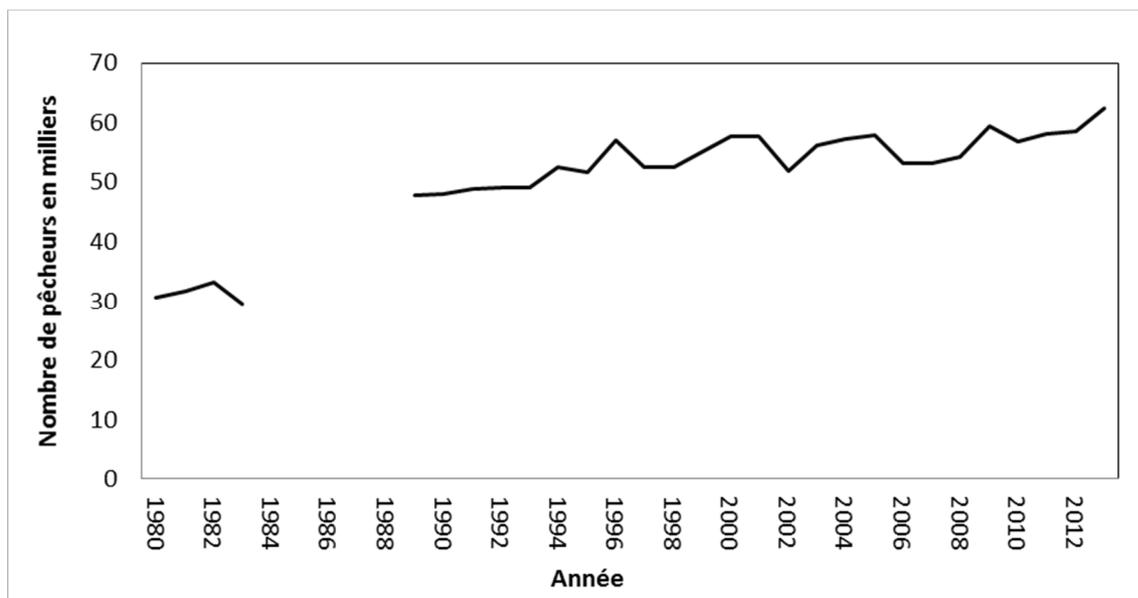
2.3.6 Création d'emplois dans le secteur de la pêche

La création d'emplois par la filière pêche est très importante, elle s'élève à environ 600 000 et occupe environ 15 % de la population (CSRP, Site web). Ce nombre concentre les emplois directs (ceux qui pratiquent directement la pêche) et les emplois indirects (ceux qui sont créés par la pêche). Dans cette partie, nous mettrons plus l'accent sur les emplois créés par la pêche aux sardinelles

2.3.6.1 *Les emplois directs*

La croissance et le développement de la pêche artisanale se sont traduits par une rapide évolution du nombre de pêcheurs entre 1980 et 2011 et donc des emplois directs de la pêche en général estimés à 62 000 en 2013 [90](figure 2.42).

Entre 1980 et 2013, le nombre de pêcheurs est passé de 30 000 à 62 000 soit un taux de croissance moyen annuel de 2 %, inférieur de celui de la population totale (2,7 %). Il faut noter que cette croissance a connu deux phases dont une accélération (1980-1996) et une décélération semblant à une saturation du secteur (1996-2013). Ainsi de 1980 à 1996, le nombre de personnes exerçant ce métier a connu une hausse de 88 % (de 30 000 à 57 000 pêcheurs). La phase de décélération entre 1996 et 2013 correspond à une croissance de 0,1 % par année faisant passer le nombre de pêcheurs de 57 000 à 62 000. Les emplois dans la pêche pélagique représentent 26 % des emplois directs de la pêche artisanale au Sénégal. Les emplois dans la pêche pélagique peuvent être très variables dans le temps car l'abondance des sardinelles est très saisonnière. Il est à noter qu'il n'y a pas de recensement direct de la population de pêcheurs au Sénégal, l'estimation des emplois se fait de manière indirecte à partir du nombre d'embarcation et le nombre moyen d'individus à bord. Il serait en conséquence difficile d'estimer la variabilité de l'emploi dans le secteur.



(source : ANSD)

Figure 2.42 : Evolution des emplois directs de pêche artisanale

2.3.6.2 Les emplois indirects

L'estimation de ces emplois concerne généralement ceux présents dans la transformation et la commercialisation. Cependant on devrait aussi prendre en compte entre autres les porteurs de poissons (de la pirogue au quai), les décortiqueuses des produits transformés, les mécaniciens, les charpentiers marins et les charretiers chargés du transport des matériels de pêche.

Selon la dernière étude de Dème et al [15], il existerait 6631 transformateurs propriétaires d'ateliers (composés de 92 % de femmes) en 2004. Les 8 % d'hommes transformateurs de produits halieutiques sont plutôt spécialisés dans la fabrication de produits d'exportation. Chaque transformateur propriétaire d'atelier emploie en moyenne cinq personnes chargées du portage, du lavage, de l'écaillage, du fumage et du décorticage des produits [15]. Ce qui fait près de 40 000 personnes qui seraient impliquées dans les activités de transformation artisanale. Environ 75 % des acteurs de la transformation artisanale s'occupent du braisage et du fumage des petits pélagiques côtiers avec une forte prépondérance des sardinelles. Au-delà de ces emplois, un grand nombre d'individus, non encore évalué, s'active dans la commercialisation du sel, des combustibles et des emballages pour le conditionnement des produits finis.

Pour la commercialisation, le dernier recensement remonte à 2006 et a été réalisé par le WWF. Au total, 9500 individus ont été dénombrés et ces derniers ne concernent que ceux qui se trouvent au niveau des plages. Ce total dénombré est composé de 10 % de mareyeurs, 22 % de micro-mareyeurs et 13 % de détaillants. Le reste est constitué d'autres acteurs non moins importants impliqués dans le mareyage tels que les vendeurs de glaces, d'emballages, les peseurs, les conditionneurs, les porteurs, et les convoyeurs des produits.

2.4 Les changements dans la pêche depuis un demi-siècle

2.4.1 Introduction du moteur

Motivé par la rentabilité et l'approvisionnement de la métropole en produits halieutiques, les premières réflexions sur la motorisation des embarcations sénégalaises ont débuté en 1929. Après une longue attente, puis inspiré par une tentative de la FAO dans l'océan Indien, ce n'est qu'en 1950 que les premières expériences avec les pêcheurs ont démarré sous l'égide des services des pêches de l'époque [36]. Cependant, la phase d'expérimentation, débutée à Kayar, n'a fini par convaincre les pêcheurs qu'à partir de 1952. Ce fut un succès et la motorisation des pirogues a débuté entre 1952 et 1953 en premier lieu dans les secteurs de Saint-Louis, Kayar, Cap-Vert, Mbour et Joal sous la direction du service de l'océanographie et des pêches maritimes (DOPM actuel DPM) [12]. Rapidement, les pêcheurs se sont adaptés à son utilisation et ont augmenté leurs capacités de production en allant plus loin en un temps plus court.

2.4.2 Introduction de la senne tournante

Après la motorisation, le second bouleversement technologique majeur qu'a connu la pêche piroguière depuis 1960 est l'introduction de la senne tournante. Elle a été introduite par la FAO au Sénégal au début des années 1970 dans un contexte où les petits pélagiques étaient très abondants dans les eaux maritimes sénégalaises et peu exploités par la pêche artisanale. Cet engin de pêche a initialement été introduit pour permettre le développement d'une pêche semi-industrielle (sardiniers). Mais du fait du caractère côtier des sardinelles, l'innovation a été finalement appliquée à la pêche artisanale plus efficace pour la pêche côtière. Le nombre d'unités de pêche à la senne tournante est estimé à environ 600 en 2013 et semble ne plus évoluer depuis le début des années 2000.

Les principales conséquences de cette innovation sont :

- Accroissement sans précédent des débarquements induisant un développement de la commercialisation en frais (certes limité en raison des contraintes pesant sur cette activité) et de l'industrie du braisage artisanale (kétiaikh), notamment sur la Petite Côte,
- Effets technologiques induits par la construction de pirogues de grande taille capables de transporter des prises importantes (jusqu'à 30 tonnes),
- Introduction de nouvelles formes d'organisation du travail et de nouveaux rapports de production. Les équipages nombreux rendus nécessaires par cette technique (près de 20 membres d'équipage) sont formés en partie grâce à un appel de la main d'œuvre non spécialisée originaire de l'agriculture. Ceci contribue à la résorption du sous-emploi chronique durant la saison sèche (de novembre à juin).

- Enfin l'importance du capital investi (25,3 millions de FCFA en 2014) est à l'origine de l'introduction d'un nouveau système de partage des gains, plus favorable à la rémunération du capital par rapport aux systèmes préexistants pour les autres unités de pêche.

2.4.3 Les changements dans la politique sectorielle de la pêche au Sénégal

Au Sénégal, le secteur de la pêche a toujours été un secteur stratégique que l'Etat a promu à travers des politiques de développement, de subventions et de modernisations telles que la motorisation des embarcations, l'introduction de nouvelles techniques plus productives (e.g senne tournante) souvent avec le soutien des bailleurs de fonds étrangers. Cependant face à la raréfaction de certaines ressources halieutiques, le nombre important d'embarcations et la précarité des pêcheurs entre autres, des tentatives de réponses ont été fournies par les autorités publiques sous forme d'orientations stratégiques. C'est ainsi qu'en l'espace de quelques années, l'objectif de la politique des pêches au Sénégal est passé de l'augmentation de la productivité à la gestion durable et à la conservation des ressources halieutiques [4].

2.4.3.1 *Les politiques de modernisation*

La plupart des politiques de pêche avant et après l'indépendance du Sénégal étaient de nature expansionnistes, de celle-ci on peut retenir les tentatives de modernisation des embarcations et de motorisation en 1952 [12]. Ainsi, au lendemain de l'indépendance, les autorités sénégalaises ont choisi d'assigner à la pêche artisanale un rôle d'approvisionnement du marché local compte tenu de l'importance des produits d'origine halieutique dans la consommation des populations. Le secteur industriel devait pour sa part essentiellement alimenter les industries de pêche et l'exportation. C'est ainsi que l'Etat a opté pour une politique volontariste de développement de la pêche artisanale maritime, d'octroi de licences de pêche à des bateaux étrangers et de promotion de l'exportation des produits halieutiques.

Les allègements fiscaux et les détaxes ont été les premiers instruments économiques dans la gestion des pêcheries sénégalaises. Cela a consisté à exonérer de taxe les engins de pêche et le carburant. La facilitation et l'octroi de crédits pour l'équipement par l'intermédiaire des coopératives primaire d'avitaillement. L'un des volets le plus important est la création du Centre d'Assistance à la Motorisation des Pirogues (CAMP) en 1972 sur fonds canadien. La difficulté à valoriser de façon satisfaisante les débarquements croissants de la pêche artisanale a finalement réorienté les investissements sur la commercialisation en mettant en place un système coopératif de distribution (CAPAS) [11]. D'autres projets sont venus en complément au CAMP pour assurer l'aménagement des sites de débarquement et l'amélioration des techniques de transformation. Nous pouvons en citer, entre autres :

- le Projet d'aménagement de la pêche artisanale dans la Petite Côte (PAPEC) (1988-1996), financé par la Banque africaine de développement (BAD) et dont les objectifs étaient

d'aménager de sites de débarquement, réaliser des complexes frigorifiques, améliorer la pirogue sénégalaise, financer les professionnels de la pêche ;

- le Projet d'Appui à la Pêche Artisanale (PAPA Sud) financé par l'Union Européenne (UE) (1995-2005). Les objectifs étaient d'améliorer la qualité des produits, le système de distribution des produits, les conditions de travail des acteurs de la pêche, l'évaluation des ressources, l'organisation des professionnels et de réaliser des complexes frigorifiques.

Cependant, cette politique expansionniste a eu des effets pervers [4]. Les pêcheurs ont pour la plupart ciblé les espèces dites « nobles » qui ne sont pas à la portée de la majorité des populations au détriment des espèces qui leur sont accessibles. Ceci est notamment dû à l'attractivité des prix à l'export suite à la dévaluation à 50 % du franc CFA en 1994 (ajustements structurels) et à la mondialisation des marchés à travers les politiques de libéralisation du commerce de l'OMC. Les conséquences sur le court et moyen terme n'ont pas tardé avec une augmentation des prix des produits pêchés, une « course au poisson » et la surexploitation de nombreux stocks notamment les démersaux côtiers à forte valeur marchande destinés à l'exportation telle que le thiof (*Epinephelus aeneus*) [93].

Des politiques tentant de redresser la situation ont été mises en place mais n'ont pas eu l'effet escompté. On peut citer le plan directeur des pêches, adopté en 1998, qui a été handicapé dans la mise en œuvre par l'absence de soutien des professionnels qui n'ont pas été associés à son élaboration [4]. L'application et le respect de la réglementation de la pêche reste en effet inefficace du fait des problèmes de surveillance et de contrôle des pêches. Le débarquement de juvéniles, l'utilisation de filets monofilament malgré leur interdiction par la législation et le refus de l'immatriculation par de nombreux pêcheurs artisans sont des exemples d'insuffisances susmentionnées. Par ailleurs, la réglementation des pêches s'est avérée insuffisante et inadaptée pour une gestion durable des ressources halieutiques conduisant à l'adoption d'un nouveau code de la pêche en 2015.

2.4.3.2 Tentative de redressement de la politique des pêches

Au début des années 2000, l'Etat du Sénégal a commencé à réfléchir sur la réforme non seulement des institutions de gestion et d'encadrement du secteur mais aussi sur les processus qui les régissent. La recommandation majeure était de réguler l'accès à la ressource. Il a été ainsi procédé à des révisions majeures du contenu et de la mise en œuvre du Plan Directeur des Pêches [94] et du Code de la Pêche Maritime de 1998 qui définissaient mal cet aspect. Ainsi en 2006, la Lettre de politique sectorielle des pêches et de l'aquaculture [95] découle de la révision du Plan Directeur des Pêches Maritimes. Celle-ci reprend les objectifs du Document de Stratégie de Réduction de la Pauvreté au Sénégal de 2002 [96] en matière de pêche et qui peuvent être déclinés en cinq points : (i) la gestion durable et restauration des ressources halieutiques ; (ii) la satisfaction de la demande nationale ; (iii) la valorisation maximale des ressources ; (iv) la qualification des professionnels du secteur ; et (v) la mise à disposition auprès des professionnels du secteur d'instruments financiers susceptibles de satisfaire les besoins

d'investissement et d'exploitation dans des conditions compatibles avec la viabilité financière des activités de pêche.

Cette nouvelle politique s'axe désormais sur l'implication et la responsabilisation des acteurs de base aux processus de décision et la délégation de pouvoirs au niveau local. Les autorités ont ainsi opté pour un contrôle de l'accès aux ressources halieutiques grâce à la mise en place d'un permis de pêche et d'un système de concession de droits d'accès aux ressources halieutiques. Ce dernier n'est pas encore mis en place.

L'Etat s'est également engagé à ajuster les capacités de pêche au potentiel halieutique, à instaurer progressivement des plans d'aménagement et à promouvoir une gestion intégrée des zones côtières, à renforcer et adapter la recherche halieutique et à optimiser les moyens de la surveillance des pêches.

Cependant toujours est-il que toutes ses politiques de gestion sont combinées avec la subvention sur le carburant, le moteur et les accessoires de pêche. Cette subvention ayant pour effet direct l'augmentation de capacité de pêche se trouve donc en contre-courant avec les récentes orientations de la politique des pêches de l'Etat du Sénégal. On peut donc encore se questionner sur la cohérence des politiques publiques en matière de pêche.

2.4.3.3 Quelques points saillants du code de la pêche de 2015 pour la pêche artisanale

Le nouveau code de la pêche apporte des innovations dans le droit de la pêche au Sénégal en mettant l'accent sur la durabilité de l'activité de pêche. Nous allons en présenter quelques points jugés intéressants pour la durabilité de l'exploitation.

C. La cogestion

La cogestion des ressources dans les zones de pêche est devenue une obligation. Il s'agit d'un partage de prises de décision et de responsabilités pour la gestion des ressources, entre les communautés de pêcheurs et la gestion centralisée du gouvernement.

D. Les concessions de droit de pêche

Dans des conditions fixées par décrets, l'Etat peut concéder le droit de pêche à certaines catégories de personnes morales qui s'organisent soit sur une base locale ou nationale, soit en fonction de la pêcherie.

E. Le contrôle de l'accès à la pêche artisanale

La pêche dans les eaux sénégalaises quelle qu'en soit la forme est soumise à une autorisation. Cette dernière est donnée sous forme d'une licence de pêche ou d'un permis de pêche artisanale délivrés après paiement d'une redevance. Ci-dessous les différentes catégories de permis de pêche artisanale et les redevances correspondantes :

- Catégorie A : concerne les pêcheurs à pied, coûte 5 000 FCFA ;

- Catégorie B : pour les pirogues de 0 à 13 mètres, coûte 15 000 FCFA ;
- Catégorie C : pour les pirogues de plus de 13 mètres et coûte 25 000 FCFA.

La pêche sans autorisation étant punie d'une amende pouvant aller de 200 000 à 300 000 FCFA.

F. Les plans d'aménagement des pêcheries

Le code de la pêche rend obligatoire l'établissement d'un plan d'aménagement pour chaque pêcherie. Ceci doit être établi sur une base annuelle ou pluriannuelle et doit être révisé périodiquement en fonction de l'évolution des données qui caractérisent la pêcherie.

G. L'usage du monofilament

Bien qu'interdit depuis 1998, les pêcheurs continuent à utiliser le filet monofilament. Ceci du fait de sa facilité d'utilisation, de son faible prix et notamment de son accessibilité sur le marché. Cependant dans le code de la pêche de 2015, l'interdiction est non seulement inscrite mais elle est étendue à l'achat, à la vente, à l'importation, à la détention et l'utilisation des nappes et filets maillants fabriqués à partir d'éléments mono filaments, sauf dérogation spéciale. Outre la confiscation et destruction de l'engin de pêche, l'infraction est punie d'une amende allant de 150 000 à 300 000 FCFA.

2.5 Conclusion

Les sardinelles sont des espèces à durée de vie courte. Elles effectuent des migrations plus ou moins de grande ampleur dans l'année entre différentes ZEEs (Maroc, Mauritanie, Sénégal, Gambie et Guinée Bissau) qui rendent difficile la compréhension de leur dynamique. La migration saisonnière de *Sardinella aurita* entre des ZEEs différentes rend vulnérable le stock car il est sujet à une maximisation des captures dans chaque pays qu'il traverse (course au poisson). Ce qui pourrait donc conduire à terme à la tragédie des communs entre pays voisins.

Croissant jusqu'à la fin des années 1990, le nombre d'unités de pêche qui ciblent les sardinelles est apparu relativement constant au cours de ces dernières années. L'effort de pêche (nombre de sorties) est resté cependant croissant depuis les années 1980. Les débarquements de sardinelles aussi ont une tendance croissante. L'activité des sennes tournantes a un rendement croissant (croissance de la cpue de 1,6 % par an) et le profit des armateurs reste positif. Les filets maillants encerclants quant à eux semblent être en difficulté dans la pêcherie de sardinelles au Sénégal. Ils enregistrent des rentabilités de captures décroissantes (baisse de la cpue de 1,3 % par an) et des difficultés financières.

Pour ce qui s'agit de la pêche industrielle étrangère sur les petits pélagiques, on ne dispose pas assez de données pour analyser son impact sur la pêcherie de sardinelles. Pour cela, il est nécessaire de disposer des données relatives à leurs activités.

En dépit des changements observés dans la structure du marché des petits pélagiques, la contribution de la pêche aux sardinelles à la sécurité alimentaire et à la création d'emplois est toujours une réalité au Sénégal. Elle reste cependant menacée par un certain nombre de facteurs que sont la production

de farine de poisson et les exportations dans les pays africains ces dernières années. En effet la production de farine de poisson et l'ouverture au marché sous régional facilité par la création des routes augmentent davantage la demande de ce produit et à terme, la demande extérieure pourra fortement concurrencer la demande nationale et poser un problème de sécurité alimentaire.

Quant à la politique des pêches au Sénégal, elle reste ambiguë. Même si elle commence à s'intéresser à la durabilité de la pêche artisanale à travers le nouveau code de la pêche (2015), elle continue tout de même à contribuer à son développement à travers le maintien des subventions. Au Sénégal, il y a une volonté de maîtriser la capacité de pêche mais aussi un maintien voire même augmentation des subventions (subvention à hauteur de un million par moteur en plus des subventions déjà existantes). Cette dernière mesure est à contre-courant d'une politique de pêche durable car elle incite de nouveaux acteurs à entrer dans l'activité de pêche et ou inciter les pêcheurs existants à augmenter leur activités.

Quant à la répartition régionale de ces espèces et de leur exploitation, il n'existe pas pour le moment une politique commune de gestion des ressources, ce qui à la longue pourrait fortement contribuer à la surexploitation de cette pêcherie. Même s'il y a des efforts fournis par la CSRP pour trouver un moyen de gérer conjointement cette ressource entre les pays qui la partagent, il faut rappeler que la gestion diffère selon les pays. Les recommandations de TAC (Total Autorisé de Capture) sur les petits pélagiques n'ont pas été traduites dans les politiques nationales, la grande difficulté étant de répartir le TAC global entre les différents pays concernés par l'exploitation.

Les développements de la pêcherie de petits pélagiques notés dans ce chapitre nous ont permis de produire un article sur l'évolution de la rentabilité des unités de pêche pélagiques au Sénégal (annexe 7). Par ailleurs ce chapitre était indispensable pour concevoir le modèle bioéconomique de la pêcherie de sardinelles au Sénégal.

CHAPITRE 3: MODELISATION BIOECONOMIQUE

3.1 Introduction : Le modèle, un outil au service de la science

Un modèle peut être défini comme une représentation logique de tout savoir à priori ou théorique. Il s'agit d'une abstraction de la réalité pour réduire la variété et la complexité du monde réel à un niveau qui peut être compris et clairement spécifié. Cependant selon Legay [97], le terme « représentation simplifiée de la réalité » est un terme très dangereux à proscrire car en effet selon lui, il n'y a qu'un pas pour faire du modèle la réalité elle-même or il y'a un gouffre entre les deux. Le modèle est une construction finie humaine et nous appartient tandis que la réalité est inépuisable, elle va bien au-delà de nous-mêmes et reste éternellement à maîtriser.

Pour modéliser, il faudra donc procéder à un choix sélectif des caractères à représenter. Ce qui induit une perte d'information qui doit être minimale. C'est un compromis tripartite entre la simplicité, la représentativité et l'information véhiculée. Ainsi, la pertinence et l'efficacité du modèle dépendent de ce compromis. Les modèles sont utilisés dans tous les domaines de la science.

En économie, les modèles sont généralement composés d'équations mathématiques qui expriment un comportement économique théorique. Ces équations représentent une simplification du système représenté et traduisent des informations utiles sur le comportement d'agents supposés rationnels ou le fonctionnement d'une économie. En pratique, les modèles économiques peuvent être très simples, il s'agit par exemple de la demande d'une espèce de poisson, qui évolue inversement au prix, toutes choses égales par ailleurs: plus le poisson est cher, moins il est demandé. Cependant d'autres peuvent être assez complexes, c'est le cas par exemple de la modélisation de toute une pêcherie intégrant la dynamique des capitaux naturels et économiques ainsi que les résultats de leurs interactions.

3.2 La modélisation bioéconomique et son utilité

La bioéconomie des pêches est l'analyse du comportement du système pêche représenté par les interactions entre les différentes formes de capital (capital naturel, le capital économique), la force de travail, des décisions (choix des pêcheurs en matière d'investissement mais aussi les politiques publiques en matière d'aménagement de la pêcherie) et enfin des éléments exogènes mais dont l'influence est très importante (marché des intrants ou des produits halieutiques, cadre législatif et réglementaire national ou supranational) [98].

Le comportement bioéconomique d'une pêcherie repose sur des relations entre les facteurs de la production (ressource biologique, capital, main-d'œuvre) et de l'environnement (marchés, institutions, mécanismes de régulation). La production (volume débarqué et valeur des captures), les rendements et les profits varient en fonction de l'abondance de la ressource, des capacités de capture déployées (définies comme une combinaison de main-d'œuvre et de capital) et des relations fonctionnelles entre ces paramètres [99]. La modélisation bioéconomique consiste en la prise en compte de l'ensemble des variables et des paramètres pour représenter les relations et la dynamique

qui en résulte. Les cas les plus fréquents sont ceux de la surexploitation ou de la surcapacité en l'absence de régulation efficace.

C'est dans un contexte de diminution des revenus dans le monde de la pêche que la théorie économique des pêches fait son apparition dans les années cinquante [100]–[102]. Elle se présente comme une application conjointe de l'économie publique et de l'économie des ressources naturelles renouvelables, elle s'appuie largement sur le développement de modèles qualifiés de «bioéconomiques» parce qu'intégrant une représentation de la dynamique des stocks exploités par les pêcheurs [103]–[105]. Instrument d'investigation théorique, la modélisation bioéconomique se veut aussi outil de diagnostic et d'aide à la décision dans le cadre de l'aménagement des pêcheries [106].

Les modèles bioéconomiques ont longtemps été présentés comme un outil important dans la gestion des pêches. En effet, ils peuvent être utilisés pour montrer le chemin d'exploitation pour atteindre des niveaux d'équilibre d'une pêcherie mais aussi de déterminer plusieurs indicateurs tels que : les niveaux de capture et d'effort soutenables, les niveaux de rendement, de rente, de profit et d'emplois durables dans une pêcherie. Ils peuvent aussi être utilisés pour la reconstitution des stocks surexploités [103], [105], [107], [108]. Aujourd'hui, les modèles bioéconomiques sont utilisés comme outils d'analyse afin d'évaluer l'impact des politiques alternatives sur les ressources naturelles et le bien-être humain [109]. Ils permettent en effet de produire des scénarios variés laissant le choix final aux décideurs publics de prendre la décision la plus adaptée aux politiques de pêches.

3.3 Objectifs et rôle des modèles bioéconomiques

La gestion des pêches a pour objectif général d'atteindre une exploitation rationnelle et durable des ressources halieutiques. En général, les modèles classiques existants proposent deux principaux objectifs : le niveau maximal de production durable c'est-à-dire la production maximale équilibrée (MSY, Maximum Sustainable Yield) et le rendement économique maximum c'est-à-dire le niveau de capture qui produit la rente économique maximale (MEY, Maximum Economique Yield). Cependant, dans la réalité, les gestionnaires des pêches utilisent des modèles poursuivant plusieurs objectifs parfois contradictoires. Ils veulent souvent allier des objectifs tels que la maximisation de la rente économique, le maintien ou l'augmentation des emplois, des revenus des pêcheurs, de la production et du niveau de la biomasse. Ces objectifs sortent largement du domaine scientifique et relèvent purement de la politique. Une fois le modèle bioéconomique établi, il revient aux politiques de décider quels sont les objectifs à atteindre en fonction des priorités du moment.

En tant qu'outils d'aide à la décision, les modèles permettent la production de scénarios alternatifs (simulation) et/ou la production d'optimum de gestion (optimisation) pour éclairer les choix de gestion possibles.

3.4 Structure des modèles bioéconomiques

Dans la plupart des cas, un modèle bioéconomique est composé de quatre modules (figure 3.1) : un module biologique, un module d'activité de pêche, un module économique et un module de gestion.

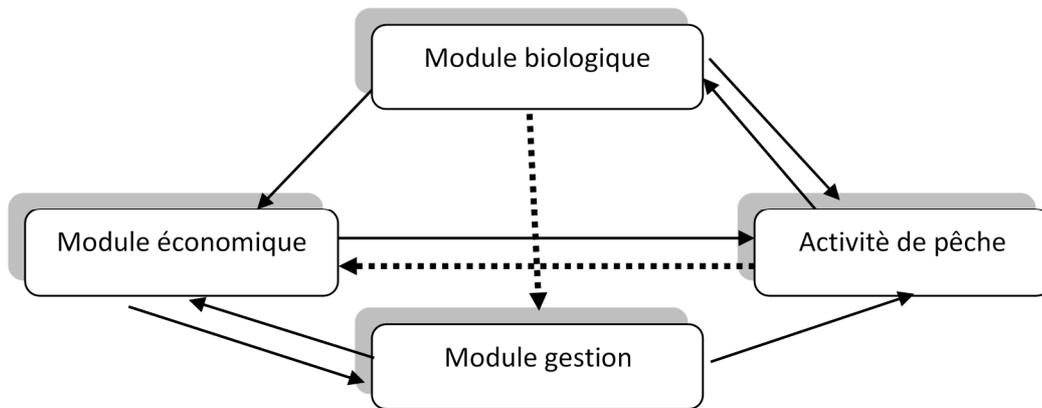


Figure 3.1 : Structure d'un modèle bioéconomique de base

Le module biologique est la partie qui traite de la dynamique de la ressource. Selon le modèle, l'auteur, les données disponibles ou la pêcherie étudiée, la formulation utilisée pour le module biologique peut changer. L'approche choisie peut être soit globale soit analytique. Cette dernière sera utilisée dans le cas de notre étude.

Le module d'activité de pêche traite de la dynamique de l'effort de pêche appliqué sur la ressource. Dans le cas de notre étude, l'activité de pêche est caractérisée par le nombre d'unités de pêche multiplié par le taux d'activité. Dans certaines simulations, la capacité de pêche est endogène et fonction du profit généré par les pêcheurs. La caractérisation de l'effort de pêche dans les modèles peut varier d'un modèle à l'autre. L'effort de pêche peut être représenté par le nombre de sorties, le nombre de marées, les tonneaux de jauge brute ou le nombre d'unités en activités.

Le module économique calcule les différents indicateurs de résultats économiques à partir des paramètres de coûts, de prix et d'efforts de pêche (si la dynamique de l'effort de pêche est endogène). Les inputs de ce module sont les outputs des deux premiers modules. L'effort de pêche est transformé en coût (fixes et variables) lié à l'activité de pêche. Les captures sont issues de la combinaison entre le module biologique et le module d'activité. Les captures sont multipliées par le prix de vente pour former le chiffre d'affaire.

Le module de gestion représente le centre de décision de la pêcherie. N'ayant pas un contrôle direct sur la ressource, ce module agit directement sur le module de l'activité de pêche et/ou sur le module économique. La limitation des captures, l'augmentation des mailles, la réduction de l'effort de pêche, la taxation, la subvention représentent quelques exemples d'outils pour le module de gestion.

Il existe entre ces différents modules des relations en sens unique et ou des rétroactions. Les éléments de ces modules et leurs relations représentent la pêcherie étudiée.

3.5 Typologie des modèles bioéconomiques

A partir de la production du modèle bioéconomique de référence dit de Gordon-Schaefer en 1954, une abondante littérature s'est développée par la suite en bioéconomie. A partir du modèle de Gordon-Schaefer, de nombreux développements théoriques et méthodologiques ont été opérés [98]. Aujourd'hui, les modèles bioéconomiques sont divers et variés et il est difficile de les classer de façon universelle. Cependant, ils peuvent être regroupés en deux grands groupes selon l'approche de la modélisation de la ressource. Le premier groupe concerne le modèle bioéconomique de Gordon-Schaefer et ses variantes. Le second concerne les modèles bioéconomiques dit analytiques.

3.5.1 Le modèle de Gordon-Schaefer et ses variantes

Il s'agit ici des modèles qui ont une approche globale de la ressource. Ils sont souvent appelés « modèles de production ». Cette approche de la dynamique de population marine exploitée consiste à décrire l'évolution de sa biomasse sous l'effet de l'activité de la pêche. Pour estimer la biomasse, le module de la dynamique des ressources a seulement besoin de deux séries de données (l'effort de pêche et la prise totale). Des généralisations peuvent être faites quant au comportement d'ensemble de la population cependant tous les processus biologiques qui s'y déroulent sont inconnus. Globalement trois types de modèles peuvent découler du modèle de Gordon-Schaefer. Il s'agit des modèles dit statiques, des modèles dynamiques inspirés du modèle de Smith [110] et des modèles dynamiques qui prennent en compte le taux d'actualisation. Ces derniers s'inspirent de la théorie du capital. Nous commencerons par présenter le modèle statique de base de Gordon-Schaefer.

3.5.1.1 Le modèle statique (Gordon-Schaefer, 1954)

L'objectif principal du modèle de base d'un modèle statique dans le cadre des hypothèses formulées est de montrer comment une pêcherie avec un régime d'accès libre entraîne une surcapacité de moyens et une dissipation de la rente par rapport à la situation optimale.

Les modèles de type déterministe sont souvent basés sur des hypothèses simples telles que : pêcherie monospécifique avec un seul métier ; les producteurs en concurrence parfaite ; les coûts et les prix aux débarquements sont supposés constants ; le coefficient de capturabilité est aussi constant et chaque producteur cherche à maximiser son profit. La règle d'utilisation des ressources est la maximisation de la rente à l'équilibre. L'exemple du modèle de Gordon-Schaefer est une belle illustration de ces modèles statiques. Il s'agit, dans sa version de base, d'un modèle simple décrivant une pêcherie commerciale mono-spécifique, couramment utilisé pour décrire et comparer des solutions d'équilibre. Le développement du modèle de Gordon-Schaefer montre l'inefficacité économique d'une pêcherie en libre accès par rapport à un niveau de prélèvement économiquement efficace qui maximise la rente à l'équilibre. Il permet aussi de démontrer comment atteindre l'optimum économique (MEY)

Le modèle de Gordon-Schaefer considère un seul stock de biomasse X dont la croissance est basée sur une fonction logistique [111]:

$$G(X) = \frac{dX}{dt} = rX\left(1 - \frac{X}{K}\right) \quad \text{Équation 3-1}$$

où X exprime la biomasse du stock, r le taux de croissance intrinsèque et K la capacité de charge environnementale. La fonction de prélèvement est la suivante :

$$H = qEX \quad \text{Équation 3-2}$$

avec E exprimant l'effort et q le paramètre de capturabilité. Le prélèvement est équilibré lorsque les captures correspondent à l'accroissement naturel du stock :

$$H = G(X) = rX\left(1 - \frac{X}{K}\right) \quad \text{Équation 3-3}$$

Autrement dit à ce niveau de prélèvement la population se stabilise à un niveau constant.

Lorsque le taux de prélèvement dépasse la croissance du stock, la population va décliner et vice versa. En remplaçant dans l'équation 3-3 l'expression de X donnée par l'équation 3-2, on obtient la formulation du prélèvement équilibré :

$$H = H(E) = qKE\left(1 - \frac{qE}{r}\right) \quad \text{Équation 3-4}$$

Le niveau de stock pour lequel la croissance naturelle du stock est au maximum, correspondant à la production maximale équilibrée (Maximum Sustainable Yield, MSY) est obtenu en maximisant G(X) :

$$X_{MSY} = \frac{K}{2} \quad \text{Équation 3-5}$$

La production maximale équilibrée est obtenue en remplaçant l'expression de X_{MSY} dans l'équation 3-1 :

$$MSY = G(X_{MSY}) = \frac{rK}{4} \quad \text{Équation 3-6}$$

En égalisant le MSY avec la fonction de prélèvement (Équation 3-2), on trouve le niveau de prélèvement (E_{MSY}) assurant le rendement maximum (figure 3.2) :

$$E_{MSY} = \frac{r}{2q} \quad \text{Équation 3-7}$$

En supposant les prix (p) et les coûts unitaires (c) sont des constantes, et que les coûts totaux sont fonction linéaire de l'effort, le profit total généré par la pêche est généré par :

$$\pi(E) = pH(E) - cE = pqKE\left(1 - \frac{qE}{r}\right) - cE \quad \text{Équation 3-8}$$

En libre accès, l'équilibre bioéconomique est atteint lorsque $\pi(E) = 0$, autrement dit lorsque l'effort de pêche va augmenter jusqu'à ce que les revenus tirés de la pêche soient égaux aux coûts (E_{OA}). Le niveau de prélèvement correspondant à l'équilibre de libre accès est donné par :

$$E_{OA} = \frac{r}{q}\left(1 - \frac{c}{pqK}\right) \quad \text{Équation 3-9}$$

Ce niveau de prélèvement dépend aussi bien de paramètres biologiques que de paramètres économiques. En remplaçant la valeur de E_{OA} dans l'expression du prélèvement équilibré (équation 3-4), on obtient le niveau de prélèvement correspondant à l'équilibre de libre accès :

$$H_{OA} = \frac{cr}{pq} \left(1 - \frac{c}{pqK}\right) \quad \text{Équation 3-10}$$

En substituant H par H_{OA} et E par E_{OA} dans l'équation 3-2, on obtient le stock d'équilibre de libre accès:

$$X_{OA} = \frac{c}{pq} \quad \text{Équation 3-11}$$

On constate que l'expression du stock à l'équilibre de libre accès ne dépend que de paramètres économiques et technologiques. Le niveau du stock en libre accès sera d'autant plus faible que l'espèce en question a un prix élevé, est facilement capturable et à faible coût. Il est supposé dans ce cas que la capturabilité dépend uniquement de la technologie.

Cependant si la pêche est gérée par une seule entité ou une grande coalition de pêcheurs, ce dernier tentera de maximiser la rente liée à la ressource. Autrement dit, il va mettre en œuvre uniquement la l'effort de pêche qui donne le maximum de profit (en assimilant ici profit à la rente) et correspond à la production économique maximale (Maximum Economic Yield, MEY). En égalisant à zéro la dérivée première de la fonction de profit (Équation 3-8), on obtient le niveau d'effort correspondant à la production économique maximale :

$$E_{MEY} = \frac{r}{2q} \left(1 - \frac{c}{pqK}\right) \rightarrow E_{MEY} = \frac{E_{OA}}{2} \quad \text{Équation 3-12}$$

Par identification avec l'équation (Équation 3-9), on constate que l'effort de pêche réalisant le MEY est égal à la moitié de celui observé en libre accès et par conséquent le coût total est égal à la moitié de celui du libre accès. En remplaçant la valeur de E_{MEY} dans l'expression du prélèvement équilibré (Équation 3-4), on obtient le niveau de prélèvement correspondant à l'optimum économique :

$$H_{MEY} = \frac{rK}{4} \left(1 - \left(\frac{c}{pqK}\right)^2\right) \quad \text{Équation 3-13}$$

En substituant H par H_{MEY} et E par E_{MEY} dans l'équation (Équation 3-2), on obtient le stock correspondant à l'optimum économique :

$$X_{MEY} = \left(\frac{K}{2} + \frac{c}{2pq}\right) \quad \text{Équation 3-14}$$

Par identification avec les équations (Équation 3-11) et (Équation 3-5), on trouve :

$$X_{MEY} = X_{MSY} + \frac{X_{OA}}{2} \quad \text{Équation 3-15}$$

Ainsi le niveau de stock maximisant la rente est plus élevé que celui assurant une production maximale équilibrée.

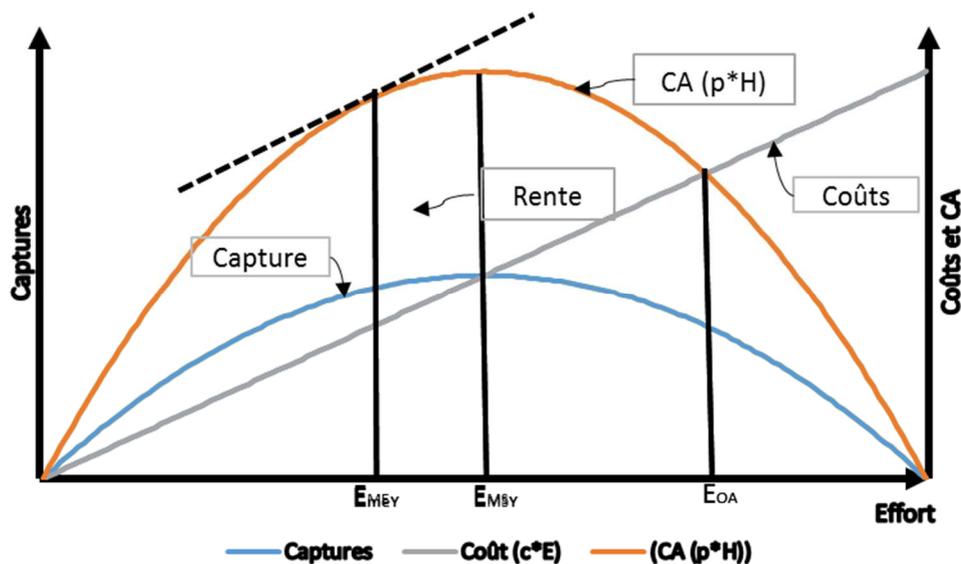


Figure 3.2 : Modèle bioéconomique de Gordon-Schaefer

Alors que le MSY est un point de repère essentiel pour la gestion des pêcheries, le MEY est également considéré comme une norme minimale internationale pour les stratégies de reconstitution des stocks. En effet d'après la FAO, les stocks surexploités doivent être reconstitués de manière à ce que le niveau de biomasse permette de produire au moins le MEY [112]. Bien que le MEY soit le critère le plus conversationniste et le moins coûteux pour la société, son utilisation reste plus théorique que pratique dans les pêcheries.

L'avantage du MEY par rapport au MSY est à la fois économique et biologique [113]. Du point de vue économique, le MEY est sensible aux variations des coûts de production liés à la production (capacité de pêche) et les profits sont toujours maximisés. Quant à l'avantage du point de vue biologique, le MEY correspond à l'utilisation efficace des ressources pour la pêche avec un moindre effort et une biomasse plus élevée.

3.5.1.2 Le modèle dynamique de déséquilibre (Smith, 1969)

Dans le modèle précédent, la principale hypothèse repose sur l'équilibre entre la croissance naturelle et la capture. Il ne prend pas en compte le temps et est qualifié de statique.

Dans le modèle dynamique de déséquilibre inspiré du modèle de Smith [110], le temps est pris explicitement en compte et il n'est plus basé sur l'hypothèse d'équilibre entre capture et croissance naturelle du stock. Par ailleurs, ce modèle introduit une fonction d'investissement qui découle de la relation entre profit et capacité de pêche.

Dans ce modèle la croissance de la biomasse et les captures sont représentées comme dans le modèle de Gordon-Schaefer mais la variable décrivant la biomasse et les captures prennent désormais en compte le temps.

La croissance de la biomasse ($G(X)$) et les captures (H) sont exprimées respectivement dans les équations suivantes.

$$G(X_t) = rX_t \left(1 - \frac{X_t}{K}\right) \quad \text{Équation 3-16}$$

$$H_t = qE_t X_t \quad \text{Équation 3-17}$$

La biomasse X en t est égale à la somme de la biomasse et de sa croissance moins les captures en $t-1$:

$$X_t = X_{t-1} + G(X_{t-1}) - H_{t-1} \quad \text{Équation 3-18}$$

La partie économique du modèle est identique à celle du modèle statique. La seule chose qui change est la prise en compte du temps.

La deuxième grande différence entre le modèle statique et modèle de dynamique de déséquilibre est la prise en compte d'une fonction d'investissement. Cette dernière dépend essentiellement du profit de l'année. A chaque période, la variation nette de capital économique dans la pêcherie, c'est à dire l'investissement I , est proportionnelle au profit π .

$$I_t = S_1 * \pi_t \quad \text{si } \pi_t > 0 \quad \text{Équation 3-19}$$

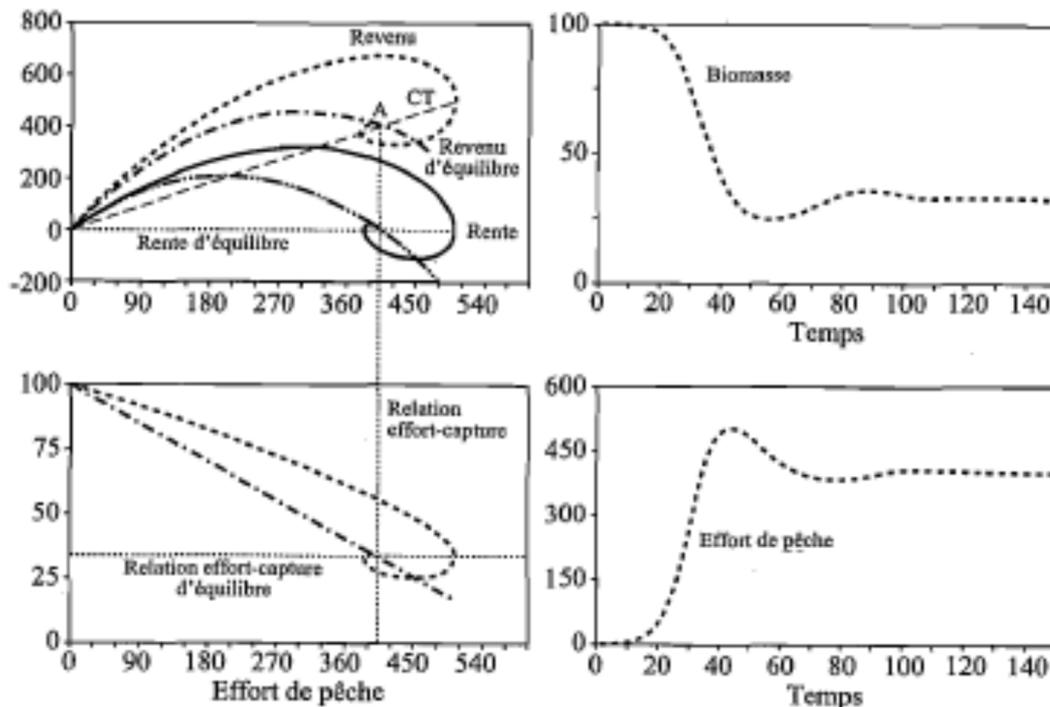
$$I_t = S_2 * \pi_t \quad \text{si } \pi_t \leq 0 \quad \text{Équation 3-20}$$

Si le profit est positif, cette part sera égale à S_1 s'il est négatif, elle sera égale à S_2 . Cette différence entre à S_1 et S_2 est introduit car on considère que le comportement d'entrée dans la pêcherie peut ne pas être analogue de celui de sortie. Ceci du fait que les pêcheurs investissent rapidement durant les périodes de développement et sont plus réservés pour sortir quand les choses se dégradent, chacun espérant que d'autres partiront avant eux et qu'ils pourront ainsi bénéficier d'une amélioration.

L'effort de pêche en t est donc déterminé par la somme de l'effort de pêche en $t-1$ et de l'investissement en $t-1$.

$$E_t = E_{t-1} + I_{t-1} \quad \text{Équation 3-21}$$

Les équilibres bioéconomiques des deux modèles sont identiques, c'est la trajectoire suivie pour atteindre ces équilibres qui change pour les deux cas. Dans le cas du modèle de déséquilibre, les trajectoires des captures et de la rente ne sont pas similaires à celles du modèle statique. Dans les pêcheries en développement, les trajectoires des revenus (ou des captures) et de la rente sont supérieures à celles du modèle d'équilibre. La cinétique du système dynamique conduit l'effort de pêche et la rente au-delà de leur valeur de libre accès et la biomasse en dessous de sa valeur d'équilibre [98] voir figure 3.3.



(source : Chaboud [98])

Figure 3.3 : Comparaison des équilibres et des trajectoires du modèle statique de Gordon-Schaefer et le modèle de déséquilibre dynamique de Smith

3.5.1.3 Le modèle dynamique de Clark-Munro (1975): La prise en compte de du taux d'actualisation

La différence essentielle introduite dans le modèle dynamique de Clark-Munro [114] vient de l'emploi d'un taux d'actualisation qui pondère la valeur de la rente économique obtenue à des périodes différentes. Plus le taux d'actualisation est élevé, plus le poids donné à la valeur de la rente économique dans une période éloignée est faible, et donc plus la valeur de la ressource disponible à la fin de cette période éloignée diminue. Cela peut être de nature à modifier la stratégie d'exploitation d'un stock au cours du temps. Cette approche est très économique, voire financière. On considère qu'un stock de poisson peut être assimilé à un actif dont la gestion relève d'une stratégie d'arbitrage inter-temporel entre des usages immédiats et des usages futurs.

La règle d'exploitation est transformée en analyse dynamique, l'objectif devenant la maximisation de la valeur actualisée de la rente au terme de la période d'exploitation. En situation d'accès libre, le résultat est analogue à celui du modèle statique, aucun producteur n'ayant intérêt à limiter son prélèvement dans les premières périodes pour le reporter sur les suivantes : l'existence d'un surplus potentiel au cours des premières périodes attirerait de nouveaux entrants qui prélèveraient sur la part épargnée.

La valeur choisie pour le taux d'actualisation est essentielle pour caractériser la solution optimale. Les solutions se positionnent entre les deux cas extrêmes suivants : dans le cas où le taux d'actualisation est nul, l'optimum statique et l'optimum dynamique sont identiques, les surplus n'étant pas pondérés

différemment selon les périodes ; dans le cas où le taux d'actualisation tend vers l'infini, l'optimum tend vers le résultat obtenu en situation d'accès libre et la valeur implicite de la ressource est nulle. L'optimum dynamique se situe ainsi entre la situation d'accès libre et l'optimum statique renouvelable (à l'équilibre).

L'expression simple du modèle de Clark amélioré dans [98] est la suivante :

L'analyse du modèle présenté ici ne tient pas compte, dans un premier temps, de la relation entre le coût unitaire d'exploitation par unité de capture c_y et la biomasse X . On considère par ailleurs que le prix est indépendant des captures.

On considère qu'on part du niveau optimal du stock X^* et que l'on s'en écarte d'une valeur marginale ΔX , le gain économique immédiat retiré de ce changement sera égal à $-(p - c_y) * \Delta X$. Une réduction du stock entraînera une augmentation immédiate des captures et donc de gain et inversement pour une augmentation du stock.

Ce gain économique immédiat doit être comparé avec les conséquences à long terme du changement dans l'abondance du stock X . Cet effet à long terme est dû à un changement dans le niveau de production équilibré H . Ce dernier est toujours équilibré, donc égal à $G(X)$. Un changement ΔX entraîne une variation de la production équilibrée égale à $G'(X) * \Delta X$ qui correspond à un gain économique de $(p - c_y) * G'(X) * \Delta X$ par période de temps. L'effet économique à long terme est la somme actualisée (en utilisant le taux d'actualisation i) sur une période temps infinie de l'expression précédente soit:

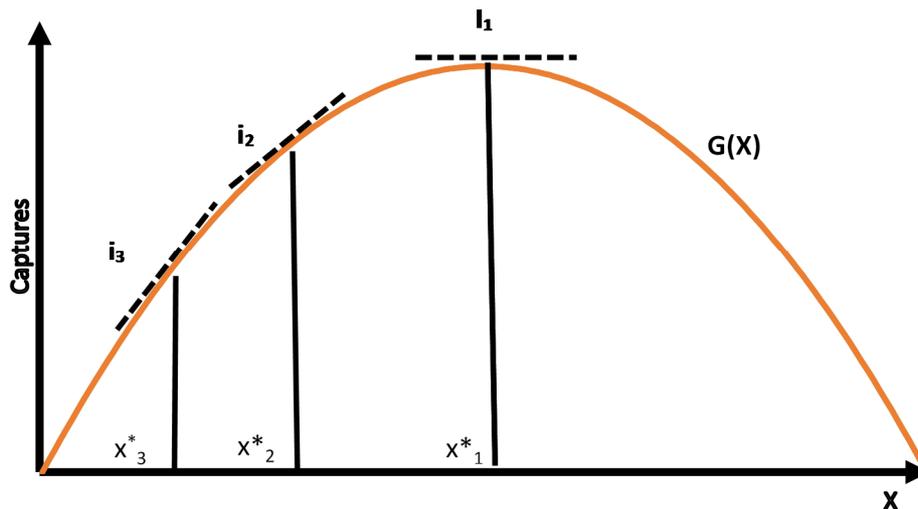
$$\sum_{t=0}^{t=\infty} [(p - c_y) * G'(X) * \Delta X] / (1 + i)^t \quad \text{Équation 3-22}$$

Cette série géométrique converge vers :

$$\frac{[(p - c_y) * G'(X) * \Delta X]}{i} \quad \text{Équation 3-23}$$

Au niveau du stock optimal X^* les deux effets de court et long termes doivent se compenser, et l'on retrouve le résultat qui est démontré graphiquement dans la figure 3.4 à savoir l'égalité entre la dérivée première de la fonction de croissance $G'(X)$ et le taux d'actualisation i :

$$-[(p - c_y)] * \Delta X + \frac{[(p - c_y) * G'(X^*) * \Delta X]}{i} = 0 \Rightarrow G'(X^*) = i \quad \text{Équation 3-24}$$



(source : Chaboud [98])

Figure 3.4 : Des niveaux optimaux du stock en fonction du taux d'actualisation

La taille optimale du stock X^* est déterminée par l'égalité entre le taux d'intérêt (ou d'actualisation) i et la pente de la tangente (la dérivée première) de la fonction de croissance $G(X)$. On représente ici trois situations correspondant à un taux d'actualisation nul i_1 (indifférence entre présent et futur), à un taux élevé (i_3) et un taux intermédiaire (i_2). Lorsque le taux d'actualisation est nul, la biomasse optimale est égale à celle qui permet d'obtenir la production maximale équilibrée (MSY). En revanche, dès que le taux d'actualisation est positif, ceci tend à réduire la biomasse. On peut donc constater que si le taux d'actualisation tend vers l'infini, $G(X)$ tendra vers zéro. Ce qui correspond à la situation de libre accès.

Ce résultat est obtenu en considérant que c_y (le coût unitaire de la capture) est indépendant de X . Cette hypothèse doit être reconsidérée dans le cas où la capture par unité d'effort est proportionnelle à la biomasse, ce qui implique que le coût unitaire des captures devient une fonction décroissante de X soit $c'_y(X) < 0$.

L'expression du gain permis par une variation de la biomasse ΔX doit désormais prendre en compte le changement de coût. Il est égal au produit de $c'_y(X)$, de la variation de stock ΔX et de la production équilibrée égale à $G(X)$. L'équation 3-24 s'en trouve modifiée et devient:

$$-[(p - c_y(X^*))] * \Delta X + \frac{[(p - c_y(X^*)) * G'(X^*) - c'_y(X^*) * G(X^*)] * \Delta X}{i} = 0 \quad \text{Équation 3-25}$$

Après transformation de l'équation précédente, on obtient la «règle d'or» de la gestion optimale d'un stock de poisson (Clark, 1975) :

$$G'(X^*) - \frac{[c'_y(X^*) * G(X^*)]}{p - c_y(X^*)} = i \quad \text{Équation 3-26}$$

Cette équation exprime le taux d'intérêt intrinsèque du stock de poisson, qui doit être égal au taux d'actualisation sociale i . Le taux d'intérêt intrinsèque du stock a deux composantes. La première

$G'(X^*)$ est la production marginale instantanée de la ressource, elle peut être négative, positive ou nulle. La seconde est appelée effet marginal de stock à la suite de Clark et Munro. Ce dernier est toujours positif car $c'_y(X) < 0$. L'effet marginal de stock a comme conséquence un niveau optimal de stock plus élevé et donc plus favorable à la conservation de la ressource, et cela sera d'autant plus important que le coût unitaire c_y est élevé. En revanche, un prix plus élevé aura comme conséquence un niveau de biomasse optimale moindre. Plus l'écart entre prix et coût unitaire est important, plus sera réduit le niveau optimal de biomasse (figure 3.5).

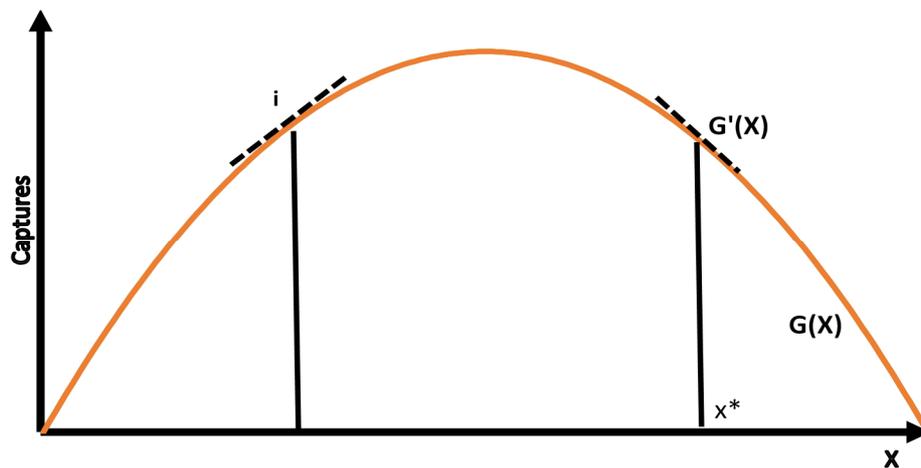


Figure 3.5 : Impact de l'effet marginal de stock sur la détermination de la biomasse optimale (Chaboud, 2014).

Dans cette figure la différence entre le taux d'intérêt i et la tangente à la fonction de croissance $G(X)$ en X^* est égale à l'effet marginal de stock.

Les deux valeurs extrêmes du taux d'actualisation i doivent être discutées. Dans le cas d'une préférence absolue pour le présent ($i = +\infty$), l'optimum est atteint pour $p = c_y(X)$, donc avec une rente économique unitaire nulle et une dissipation de la rente économique totale. Dans ce cas, la biomasse optimale X est égale à la biomasse de libre accès X_{OA} , telle que définie précédemment.

Si le taux d'actualisation est nul, c'est-à-dire si l'on est indifférent entre présent et futur, la biomasse optimale X^* sera inférieure à X_{MSY} , pour laquelle $G'(X)$ est nul. Cet écart sera d'autant plus important que l'effet marginal de stock est élevé, donc avec un coût unitaire c_y élevé et/ou un prix p moindre. Il est démontré dans ce cas que l'optimum X^* correspond à celui qui maximise la rente économique courante soit X_{MEY} [107].

L'approche d'économie du capital naturel développée ici, qui peut sembler élégante d'un point de vue mathématique, reste cependant très théorique et éloignée des perceptions d'application attendues de l'économie des pêches en termes d'appui à la gestion [98], [115]. Elle a néanmoins le grand mérite d'expliquer les choix rationnels des gestionnaires des ressources renouvelables en fonction de leur préférence pour le présent. Ceci permet de mieux comprendre la nature de la problématique de la gestion de la ressource entre conservation et exploitation, qui sont d'autant plus aigus que les

décideurs sont confrontés à la nécessité de satisfaire des besoins essentiels immédiats (cas de nombreux pays du Sud).

3.5.2 Les modèles bioéconomiques analytiques

La modélisation analytique cherche à comprendre et à quantifier tous les processus de croissance, de reproduction et de mortalité de chaque classe d'âge. Chaque terme est étudié et décrit séparément. La population peut elle-même être subdivisée en groupes d'âge ou en classe de tailles, chacun ayant des paramètres distincts pour chaque processus. Cette approche est dite analytique ou structurale. Dans le cas d'une population exploitée, l'approche analytique cherche à identifier les changements affectant le stock. Le recrutement, croissance et la mortalité naturelle sont utilisés comme données d'entrées et la mortalité par pêche comme donnée de sorties [52]. Ces modèles, pour la plupart s'inspirent des travaux de modélisation de Beverton and Holt [42] et de Thompson and Bell [115]. Les modèles analytiques peuvent être construits à l'échelle d'une cohorte unique, suivie depuis son recrutement jusqu'au décès du dernier individu. Le plus souvent on considère une seule cohorte dont le recrutement est égal à la somme des individus recrutés dans la même année. Il est cependant possible de prendre en compte plusieurs cohortes (modèle multi-cohorte) dans ce cas le recrutement est égal à la somme des recrues de toutes les cohortes. Dans l'exemple ci-dessous, nous présenterons l'exploitation d'une cohorte unique.

Il s'agit, dans ce modèle, de suivre l'évolution d'un ensemble d'individus appartenant à la même cohorte depuis son arrivée dans la pêcherie (recrutement) jusqu'à son épuisement total. On considère que la variation de l'effectif de la cohorte au temps t est fonction de la mortalité totale qui est la somme de la mortalité naturelle et de la mortalité par pêche.

La mortalité totale Z est représentée par un modèle de survie qui permet d'estimer N_t représentant l'effectif de la cohorte à l'âge t .

$$Z_t = M + F_t = -\frac{dN}{Ndt} \quad \text{Équation 3-27}$$

Avec $dt = 1$; F : Mortalité par pêche ; M : Mortalité naturelle

Pendant son histoire de vie l'effectif N d'une cohorte décroît de façon exponentiel,

$$N_{t+1} = N_t * e^{-Z_t} \quad \text{Équation 3-28}$$

$$\text{Avec } Z_t = M + F_t \quad N_0 = R \quad \text{et} \quad F_t > 0 \text{ si } t > t_c$$

t_c = âge de première capture

La mortalité totale en nombre dans l'intervalle $[t, t+1]$ est déduite de l'équation précédente :

$$N_t - N_{t+1} = N_t(1 - e^{-Z_t}) \quad \text{Équation 3-29}$$

Les captures estimées en effectifs sont obtenues en multipliant la mortalité totale en nombre par le ratio entre le taux de la mortalité par pêche et le taux de la mortalité naturelle.

$$H = \left(\frac{F_t}{Z_t}\right) * N_t(1 - e^{-Z_t}) \quad \text{Équation 3-30}$$

Pour l'estimation de la biomasse, il est nécessaire de calculer la croissance en longueur et la croissance pondérale pour pouvoir transformer les effectifs en poids. On dispose désormais des effectifs de la cohorte et du nombre d'individus capturés. Il s'agit maintenant de calculer les mêmes grandeurs en poids. Pour cela, on utilise une loi de croissance individuelle qui fournit le poids individuel, W_t . La fonction de croissance en longueur la plus couramment utilisée pour les poissons est celle de Von Bertalanffy [117], mais d'autres lois sont envisageables.

La relation taille-âge du modèle de Von Bertalanffy :

$$L_t = L_\infty * (1 - e^{-k(t-t_0)}) \quad \text{Équation 3-31}$$

Et la relation taille-poids :

$$W_t = \alpha * L_t^\beta \quad \text{Équation 3-32}$$

Où W est le poids individuel, t_0 l'âge à laquelle le poisson a une taille nulle, L_∞ est la longueur asymptotique, k est le paramètre de croissance, α et β ceux de la relation poids-longueur.

La biomasse instantanée B_t est le produit des effectifs N_t par le poids individuel W_t :

$$B_t = N_t * W_t \quad \text{Équation 3-33}$$

D'un point de vue économique, il peut être également judicieux d'estimer la croissance individuelle en valeur, notamment lorsque le prix moyen augmente avec la taille. Ceci est le cas des crevettes, mais aussi des poulpes et des thons destinés à la conserve[118]. Pour d'autres espèces telles que les sardines destinées à la conserve, des relations inverses ou non linéaires peuvent être observées [98]. La valeur individuelle v_i est égale au produit du poids individuel w_i par un prix qui est fonction lui-même du poids individuel, soit :

$$v_i = w_i * p(w_i) \quad \text{Équation 3-34}$$

Connaissant le poids et la valeur individuelle d'un individu d'âge t , il est possible en reprenant les équations du taux de mortalité totale et de la capture, de calculer l'évolution de la cohorte et des captures en poids et en valeur. Les biomasses en poids B et en valeur Bv sont obtenues à partir des équations suivantes :

$$B_t = N_t * w_t \quad \text{Équation 3-35}$$

$$Bv_t = N_t * v_t \quad \text{Équation 3-36}$$

Les captures en poids et en valeur sont exprimées par :

$$H_t = \left(\frac{F_t}{Z_t} \right) * N_t (1 - e^{-Z_t}) * w_t \quad \text{Équation 3-37}$$

$$HV_t = \left(\frac{F_t}{Z_t} \right) * N_t (1 - e^{-Z_t}) * v_t \quad \text{Équation 3-38}$$

Les captures totales en poids et en valeur réalisées sur la durée de vie de la cohorte sont obtenues par sommation des captures réalisées à chaque période :

$$H = \sum H_t$$

$$Hv = \sum Hv_t$$

Enfin, la version biologique initiale du modèle, qui vise à déterminer les conditions de maximisation de la capture totale sur une cohorte, propose comme indicateur le rendement total par recrue.

Les modèles bioéconomiques structurés en âge sont particulièrement adaptés pour rendre compte de certaines mesures d'aménagement qui s'appuient sur la saisonnalité et la structure en âge du capital naturel. La surexploitation économique est identique à celle du modèle de Gordon-Schaefer. Cependant la grande différence est que dans le modèle structuré en âge, il y a la possibilité de distinguer la surexploitation de croissance et la surexploitation de recrutement. Dans le premier cas lorsque l'effort de pêche s'exerce sur des individus trop jeunes, la majorité n'atteindra pas leur valeur commerciale maximale. Dans le second cas, la réduction de la biomasse féconde implique une baisse ultérieure de recrutement s'il existe une relation stock-recrutement. Bien que ces phénomènes relèvent de la biologie, ils ne doivent pas être ignorés par les économistes, tout d'abord parce qu'ils conditionnent la soutenabilité à long terme du principal facteur de production et ensuite parce qu'ils impactent aussi les résultats économiques à court, moyen et long termes [98]. Ces types de modèles sont par ailleurs très coûteux en information et les résultats sont très sensibles à la qualité des paramètres biologiques.

3.5.3 Vers des modèles bioéconomiques plus réalistes et complexes

La complexité et la grande diversité des modèles ne nous permettent pas de décrire tous les types de modèles bioéconomiques dans leurs complexités. Nous allons donc vous en énumérer quelques exemples.

La plupart des modèles développés, à la suite du modèle de Gordon (Gordon, 1954), peuvent être qualifiés de déterministes, dans la mesure où ils ne prennent pas en compte les sources de variabilité et d'incertitude [99]. Pour tenir compte de ces incertitudes (sur les prix et les coûts) et de la variabilité du recrutement, des modèles dit stochastiques ont été développés [107], [119], [120].

Certains modèles prennent en compte la dimension spatiale et permettent de ce fait de décrire les processus dans un espace discret [120]–[124]. Quelle qu'en soit la résolution, tous ces modèles quantifient la relation entre les populations exploitées et les flottilles qui les exploitent par le biais de

la mortalité par pêche. Les modèles spatialement explicites de pêcheries mixtes sont encore moins nombreux [125]. L'un des premiers modèles spatialisés qui prend en compte les migrations saisonnières et le report d'effort en cas de fermeture de zone est celui de Holland [126]. Plusieurs modèles sont utilisés juste dans le cadre théorique [127], certains proposent une description incomplète de la dynamique de population [128] et bon nombre d'entre eux abordent les pêcheries mixtes sous l'angle d'une variété de lieux de pêche [126] caractérisés par une composition spécifique [129]. Une présentation générale des modèles bioéconomiques spatialisés est proposée par Anderson et Seijo [103]. Cette approche ambitieuse a débouché sur la production du modèle bioéconomique appliqué à la pêche crevettière malgache [120] mais aussi à des applications génériques telles que le modèle ISIS-FISH [124], [130] qui a été utilisé pour simuler les réponses de nombreuses pêcheries à différentes mesures de gestion, entre autres les aires marines protégées[131].

Jusqu'ici, la plupart des modèles bioéconomiques présentés assimilent directement le choix du pêcheur aux relations entre le profit et l'effort de pêche. Ils ne décrivent donc pas les choix du pêcheur à changer de tactique de pêche selon la zone de pêche, l'espèce cible et la période. Ces types de choix sont très courants dans la pêche artisanale qui est caractérisée par une très grande diversité mais aussi une flexibilité dans la pratique. Ces types de modèles ont été développés pour la pêche artisanale sénégalaise [132]–[136]. Ils permettent ainsi de représenter le redéploiement des flottilles (stratégies de pêche) entre les différentes tactiques (métiers) selon leurs intérêts économiques relatifs immédiats et passés (un an plus tôt), en s'inspirant de l'approche des choix discrets de Mc Fadden [137]. Il faut cependant noter que l'application de ces modèles reste faible dans la pratique.

Ces différents types de modèles listés ci-dessus peuvent être utilisés pour estimer la configuration initiale permettant de réaliser un objectif donné (Modèle d'optimisation) ou pour étudier les résultats attendus d'une configuration initiale donnée (Modèle de simulation). Ces deux approches sont en général basés sur les mêmes paramètres, les mêmes équations et simulent le système étudié. Des solutions optimales peuvent être trouvées par des modèles de simulation comme des simulations peuvent être effectuées par des modèles d'optimisation.

Les modèles d'optimisation sont conçus pour trouver une solution optimale à une fonction objective sous les contraintes biologiques et/ou économiques. Ces modèles cherchent à déterminer sous contrainte un objectif à partir d'un jeu de données initiales.

La fonction objectif cherche à maximiser par exemple les recettes, les bénéfices, la capture, l'emploi, etc., ou minimiser certains paramètres tels que les coûts, l'effort, les impacts sur les écosystèmes, etc. Les contraintes peuvent être les quotas de pêche, les jours ou sorties de mer, l'état du stock biologique et la durabilité, la distribution spatiale de l'effort (AMP), la politique, etc.

Les limites des modèles d'optimisation simplistes, basés sur un ou un nombre très limité d'objectifs, ont conduit à utiliser les modèles de façon différentes en cherchant à représenter la complexité des systèmes halieutiques et à en simuler la dynamique sous l'influence de multiples facteurs. Ces

dernières années, de nombreux modèles de simulation de pêche, ou modèles opérationnels [138] ont été développés afin de pouvoir simuler la dynamique du système exploité [121], [125], [130], [131], [139]–[142]. L'objectif commun de ces modèles est de décrire les processus régissant les dynamiques des populations exploitées mais aussi les systèmes d'exploitation. Ils décrivent les processus de manière plus ou moins fine selon les mesures de gestion à évaluer ou encore le type de données disponibles. Selon le modèle, le pas de temps peut aller de la marée à l'année.

Les modèles de simulation visent à effectuer des calculs séquentiels à partir des jeux de données initiales afin de mesurer l'effet d'une combinaison de variables ou des paramètres biologiques et économiques dans des scénarios pour évaluer les stratégies de gestion alternative, ou encore l'impact des variables exogènes telles que le prix du pétrole, des variables environnementales, etc.

Dans les modèles de simulation, les niveaux d'activités sont au préalable définis et fixés. Ces derniers peuvent cependant varier dans le temps (exemple de l'effort endogène). Un niveau d'effort donné correspond à un niveau de capture qui déterminera un niveau de profit.

Bien que les deux types de modèles soient largement utilisés dans beaucoup de pêcheries [109], les modèles de simulations restent beaucoup plus nombreux à ces jours.

Les modèles bioéconomiques ne sont pas fréquents dans les pêcheries Nord-Ouest africaines, à titre d'exemple, sur les pêcheries de petits pélagiques seul deux travaux ont été rencontrés. Il s'agit notamment de :

- Diaby, [143](Economic Impact Analysis of the Ivorian Sardinella Fishery). Il s'agit d'un modèle de simulation dynamique à structure par âge pour la sardinelle de Côte d'Ivoire.
- Dème, [144](A bio-economic simulation model for the Senegalese pelagic fishery). Il s'agit là aussi d'un modèle de simulation de la pêche de petits pélagiques au Sénégal.

3.6 Limite des modèles bioéconomiques

Même si un modèle bioéconomique est censé utiliser les meilleures informations économiques, biologiques, mathématiques et informatiques existant lors de sa conception, certaines variables importantes ne sont pas prises en compte. L'interprétation des résultats d'un modèle doit être faite de manière prudente. En effet, les modèles sont basés sur des hypothèses parfois très simplificatrices. Beaucoup de paramètres économiques et biologiques utilisés dans les modèles sont incertains et leur variabilité souvent mal connue. Cet état de fait limite leur capacité prédictive. La principale fiabilité des modèles bioéconomiques réside en leur capacité à comparer deux politiques de gestion. C'est-à-dire toute chose égale par ailleurs, une politique α est meilleure ou moins bonne qu'une politique β . Alors que l'interprétation des résultats absolus de la simulation d'une pêche peut être délicate, l'effet des changements de politique dans une pêche est moins incertain. En effet, l'outil de

modélisation bioéconomique ne remplace pas le décideur ou la décision politique même s'il s'avère être un outil précieux d'aide à la décision. Les modèles bioéconomiques ne fournissent en aucun cas des événements futurs réels et/ou absolus mais juste une information sur les événements possibles.

3.7 Conclusion sur les modèles bioéconomiques

Un grand nombre de modèles a été construit pour différentes pêcheries dans le monde. L'utilisation de ces modèles en halieutique a souvent amélioré la compréhension du comportement des pêcheries. Les modèles ont par ailleurs permis d'expérimenter et d'expliquer certains phénomènes dans des conditions difficiles à expérimenter dans la réalité. Ce qui fond d'eux donc un laboratoire permettant d'estimer les effets directs et indirects de différents scénarios de gestion d'une pêcherie.

Au moment de la mise en œuvre d'un modèle bioéconomique, il reflète en général l'état de connaissance de la pêcherie concernée. En général, la plupart des modèles sont capables d'être réactualisés si une meilleure information vient s'ajouter.

Dans la prise de décision, le décideur public doit s'appuyer sur les meilleures informations disponibles et prendre en compte les incertitudes sur la dynamique des relations biologiques, économiques et environnementales sous-jacentes des hypothèses de base.

Les modèles globaux comme les modèles analytiques sont utilisés en modélisation bioéconomique. Toujours est-il que les modèles globaux restent les plus utilisés en bioéconomie du fait de leur simplicité mais aussi de leurs besoins en données relativement plus faibles. Cependant dans l'objectif de mieux comprendre les phénomènes qui gouvernent la pêcherie de sardinelles nous avons choisi un modèle analytique dans le cas de notre étude. Ceci est aussi motivé par les caractéristiques des espèces de sardinelles (courte durée de vie et croissance rapide), par la complexité de la pêcherie et mais aussi par la disponibilité des données nous permettant d'appliquer cette méthodologie. Le modèle bioéconomique de la pêcherie de sardinelles au Sénégal sera développé dans le chapitre 4.

CHAPITRE 4: UN MODELE BIOECONOMIQUE SPATIALISE DE L'EXPLOITATION DES SARDINELLES AU SENEGAL

4.1 Introduction

Le modèle proposé ici est un modèle plurispécifique, multi flottilles et spatialisé de l'exploitation des deux principales espèces de petits pélagiques au Sénégal. La ressource est composée de sardinelle ronde (*Sardinella aurita*) et de sardinelle plate (*Sardinella maderensis*). Le pas de temps du modèle est mensuel et il permet des simulations de long terme (jusqu'à 40 années). La composante biologique du modèle est analytique et elle repose sur une simulation de cohortes mensuelles dont l'effectif est décroissant en fonction des mortalités naturelles et des mortalités par pêche. La mortalité par pêche est déterminée par la dynamique de l'effort de pêche qui est elle-même fonction des résultats économiques, de l'évolution technologique et des mesures de gestion mises en vigueur. Les paramètres exogènes du modèle c'est à dire fixés au départ de la simulation ou éventuellement forcés en cours de simulation sont définis à partir d'un fichier Excel (Exemple en annexe 1). Toutes les variables de ce modèle sont présentées en annexe 4 et ses dimensions en annexe 3. Enfin le modèle est développé sur la plateforme de modélisation Vensim®[145] (l'interface est en annexe 2).

4.2 Dynamique de la ressource

4.2.1 Evolution des cohortes dans le temps

4.2.1.1 Evolution en nombre

Le stock exploité, pour chaque espèce i est composé de cohortes c apparaissant à chaque période de simulation t (mois). L'effectif initial d'une cohorte dans chaque zone z est égal au recrutement $R_{i,c,z}$, obtenu à partir du paramètre $ParamR$ lu dans le fichier de paramètres Excel.

$$R_{i,c,z} = ParamR_{icz} \quad \text{Équation 4-1}$$

On considère dans un premier temps que le recrutement est totalement exogène au modèle. Il sera par la suite envisagé plus bas la prise en compte d'un recrutement endogène par l'intermédiaire d'une fonction stock recrutement. Il faut cependant souligner ici que l'existence d'une telle relation n'a pas été mise en évidence empiriquement dans le cas des sardinelles au Sénégal.

Le modèle permettant des simulations sur un horizon de quarante ans, avec un pas mensuel, il y aura donc $12 * 40 = 480$ cohortes. Chacune de ces cohortes c mensuelle est recrutée au temps tr_c à un âge au recrutement égal à ar qui est identique pour toutes les cohortes. Il faut ajouter à ces 480 cohortes, douze cohortes "initiales" permettant d'initialiser la population à un effectif positif. Ces douze cohortes initiales $\{c_1, c_2, \dots, c_{12}\}$ sont recrutées le premier mois ($t=1$), en addition à la cohorte c_{13} , mais à un âge $ar + 12, ar + 11, \dots, ar + 1$.

L'effectif d'une cohorte c à un instant $t > tr$ dans chaque zone z est noté $N_{i,c,z,t}$. Il est égal à l'effectif dans la même zone en $t-1$ $N_{i,c,z,t-1}$, diminué de la mortalité en nombre $D_{i,c,z,t-1}$ et de l'exportation $X_{i,c,z,t-1}$ d'individus vers d'autres zones et augmenté de l'importation $M_{i,c,z,t-1}$ d'individus provenant d'autres zones.

$$\begin{cases} N_{i,c,z,t} = 0 & t < trc \\ N = R_{i,c,z} & t = trc \\ N_{i,c,z,t} = N_{i,c,z,t-1} - D_{i,c,z,t-1} + M_{i,c,z,t-1} - X_{i,c,z,t-1} & t > trc \end{cases} \quad \text{Équation 4-2}$$

La mortalité en nombre $D_{i,c,z,t}$ est obtenue à partir de l'équation suivante où Z est le taux de mortalité totale :

$$D_{i,c,z,t} = N_{i,c,z,t}(1 - e^{-Z_{i,c,z,t}}) \quad \text{Équation 4-3}$$

Le taux de mortalité total Z est la somme des taux de mortalité naturelle $Mortn_i$ (considéré comme constant) et le taux de mortalité par pêche F . Le calcul de la mortalité par pêche sera exposé plus bas.

$$Z_{i,c,z,t} = F_{i,c,z,t} + Mortn_i \quad \text{Équation 4-4}$$

Pour les zones de la ZEE sénégalaise z_{sen} la mortalité par pêche sera déterminée de façon endogène (liée à la dynamique spatio-temporelle des flottilles), par contre, pour les zones extérieures (Nordext, G, Sudext) elle perdra des valeurs exogènes $Ffix$ (définies avant simulation).

La mortalité par pêche F est la somme des mortalités par pêche exercée par chaque flottille Ff . Par ailleurs le modèle prévoit la possibilité de mettre en réserve toute ou une partie des zones de pêches z_{sen} .

$$\begin{cases} F_{i,c,z_{sen},t} = \sum_e Ff_{i,c,e,z_{sen},t} & z \in \{Nordext, G, Sudext\} \\ F_{i,c,z,t} = \sum_e Ffix_{e,z} & z \in \{Nordext, G, Sudext\} \end{cases} \quad \text{Équation 4-5}$$

La mortalité par pêche par flottille est le produit de la flottille active Fla et de la capturabilité q . Cette dernière est définie par espèce i et type de pêche e . Elle est également fonction de l'âge des individus $a_{i,c,t}$ et peut aussi prendre en compte une augmentation tendancielle de la puissance de pêche de chaque type de pêche (paramètre $TxCroisCapt$)

$$Ff_{i,c,e,z,t} = Fla_{e,z,t} \cdot q_{e,i,c,t} \quad \text{Équation 4-6}$$

4.2.1.2 Evolution en poids

La croissance des individus de chaque cohorte c est fonction de leur âge a_c , déterminé comme suit (t est le temps de simulation en mois, tr le temps de recrutement (égal à 1 pour les cohortes c_1 à c_{12}), ar l'âge au recrutement):

$$\begin{cases} a_{i,c,t} = t - tr_c + ar_i & c \in \{c13, c14, \dots, c232\} \\ a_{i,c,t} = t - 1 + ar_i & c \in \{c1, c2, \dots, c12\} \\ s.c. \ a_{i,c,t} \geq 0 \end{cases} \quad \text{Équation 4-7}$$

La longueur individuelle L est calculée au moyen de la fonction de Von Bertalanffy (L_{inf} est la longueur asymptotique, k est le paramètre de croissance et t_0 l'âge théorique pour lequel la longueur est nulle). Le poids W est ensuite obtenu par application d'une relation poids longueur (paramètres α_i et β_i). On considère que la croissance est identique pour l'ensemble des zones :

$$L_{i,c,t} = L_{inf} \cdot [1 - e^{-k_i \cdot (a_{i,c,t} - t_{0i})}] \quad \text{Équation 4-8}$$

$$W_{i,c,t} = \alpha_i \cdot L_{i,c,t}^{\beta_i} \quad \text{Équation 4-9}$$

La biomasse d'une cohorte c peut alors être calculée :

$$BC_{i,c,z,t} = N_{i,c,z,t} \cdot W_{i,c,t} \quad \text{Équation 4-10}$$

Il est alors aisé de calculer la biomasse totale par espèce BI , par sommation sur l'ensemble des cohortes. Enfin le modèle procède à des sommations partielles sur les zones propres au Sénégal z_{sen} pour obtenir la biomasse BIS présente dans sa ZEE.

4.2.2 Spatialisation de la ressource biologique.

A chaque pas de temps, la ressource est redistribuée entre les différences cellules spatiales du modèle. La ressource se répartit dans 6 zones (Nordext, GC, PC, G, CAS, Sudext)⁷ dont 3 au Sénégal. Au Sénégal on n'a procédé pas à une distinction entre zones côtières et zone du large du fait du quasi inexistence d'une flotte industrielle permanente ciblant cette ressource. Durant les périodes où on observe la présence d'une flotte industrielle, il n'en demeure pas moins qu'il y a une compétition spatiale entre ces deux type de pêche [146], [147]. Historiquement les zones les plus côtières ont été exploitées par la pêche artisanale à la senne tournante alors que les zones du large (de 6 à 7 milles selon la zone) ont été plutôt exploitées par les unités industrielles[146], [148].

Le schéma mensuel de migration est introduit par le paramètre $ParamMigr$ qui indique, par espèce et par mois, le taux d'émigration du stock présent dans chaque zone d'origine ori vers chacune des zones possibles de destination $dest$. Pour renseigner la matrice de migration nous avons jugé nécessaire d'utiliser les CPUE mensuelles pour chaque zone comme indice d'abondance locale mensuelle. L'usage de paramètres mensuels nécessite de créer une variable $mois$ comprise en 1 et 12

⁷ Nordext : Mauritanie et Maroc
GC : Grande Côte (Sénégal)
PC : Petit Côte (Sénégal)
G : Gambie
CAS : Casamance (Sénégal)
Sudext : Guinée Bissau

qui permettra de redistribuer les paramètres saisonniers (indiqués par $nmois$) au sein de chaque année ($time$ est le 'temps' de la simulation) :

$$mois = Time - (12 * (an - 1)) \quad \text{Équation 4-11}$$

Le flux mensuel de migrations FMM entre zones est obtenu à partir de l'équation suivante :

$$\begin{cases} FMM_{i,c,ori,dest,nmois,t} = N_{i,c,z,t} \cdot ParamMigr_{i,ori,dest,nmois} & si t \geq tr_c \\ FMM_{i,c,ori,dest,nmois,t} = 0 & si t < tr_c \\ nmois = mois1, mois2, \dots, mois12 & si mois = 1, 2, \dots, 12 \end{cases} \quad \text{Équation 4-12}$$

Il est alors possible de calculer l'immigration et l'émigration par zone (il est important de souligner ici que les éléments des indices z , ori et $dest$ sont les mêmes, ce qui permet d'établir une correspondance entre ces indices) :

$$X_{i,c,z} = \sum_{dest} FMM_{i,c,ori,dest} \quad (nb: z \text{ correspond à } ori) \quad \text{Équation 4-13}$$

$$M_{i,c,z} = \sum_{ori} FMM_{i,c,ori,dest} \quad (nb: z \text{ correspond à } dest) \quad \text{Équation 4-14}$$

4.2.3 Recrutement

Dans la version initiale du modèle le recrutement $R_{i,c,z}$ est considéré comme indépendant de la biomasse. Il s'agit alors d'un paramètre obtenu au départ de la simulation dans le fichier Excel où sont regroupés l'ensemble des constantes exogènes. Il est possible d'introduire deux modifications dans le traitement du recrutement. Tout d'abord en introduisant la possibilité d'un terme stochastique annuel censé représenter l'impact de la variabilité environnementale sur le recrutement. Ensuite en introduisant la possibilité d'une baisse de recrutement lorsque la biomasse est inférieure à une valeur seuil.

4.2.3.1 Recrutement annuel stochastique

Etant donné que le succès du recrutement des sardinelles serait lié aux conditions environnementales variables dans la zone sénégal-mauritanienne [8], [9], [17], [149], [150] nous avons prévu un terme stochastique rendant compte de cette variabilité. Pour cela, deux types d'approches sont proposées. La première vise à introduire un terme stochastique annuel pour une seule simulation. On peut ainsi représenter une trajectoire de la pêcherie soumise à des chocs annuels stochastiques sur le recrutement. La seconde consiste en la réalisation de simulations répétées (méthode de Monte Carlo), un nouveau tirage des paramètres définissant les chocs annuel étant réalisé à chaque simulation.

La prise en compte d'un terme annuel stochastique est permise par quatre paramètres définissant la fréquence relative des chocs annuels ($ParFreqChoc$) et leur intensité ($ParIntChoc$), leur maximum ($MaxChoc$) et leur minimum ($minChoc$). La variable binaire $AnChoc$ indique que si une année a subit un choc de recrutement pour une espèce i (elle prend alors la valeur 1) ou non (0). Pour chaque

année de simulation a , une valeur θ_a est tirée dans une loi de distribution uniforme comprise entre 0 et 1. Lorsque cette valeur est inférieure à celle du paramètre de fréquence $ParFreqChoc$, $AnChoc = 1$. Si $ParFreqChoc = 0.8$, huit années sur dix connaîtront, en moyenne, un choc de recrutement.

$$\begin{cases} AnChoc_{a,i} = 1 & \text{si } \theta_{a,i} < ParFreqChoc_i \text{ ou si simulation de Monte Carlo} \\ AnChoc_{a,i} = 0 & \text{si } \theta_{a,i} \geq ParFreqChoc_i \end{cases} \quad \text{Équation 4-15}$$

θ_a est tiré dans une loi uniforme de bornes $[0, 1]$

Le terme stochastique annuel $ChocAnnuelR$ est ensuite calculé pour chaque année. Si $AnChoc_{a,i} = 1$ il est obtenu par tirage dans une loi de distribution normale de moyenne 1, d'écart-type $ParIntChoc$, bornée par $1 \pm ParIntChoc$.

$$\begin{cases} ChocAnnuelR_{a,i} \rightsquigarrow N(1, \sigma = ParIntChoc_i, Max = MaxChoc, min = minChoc) & \text{si } AnChoc_{a,i} = 1 \\ ChocAnnuelR_{a,i} = 0 & \text{si } AnChoc_{a,i} = 0 \end{cases}$$

Équation 4-16

A titre l'exemple la figure 4.1 présente le terme stochastique obtenu avec $ParFreqChoc = 1$ et $ParIntChoc = 0,5$ pour une espèce et une simulation sur 20 années. Il est aisé de répartir le choc annuel $ChocAnnuelR_{a,i}$ sur les cohortes appartenant aux différentes années. Le terme stochastique devient alors $ChocCoho_{i,c}$ et peut être utilisé pour le calcul du recrutement de chaque cohorte :

$$R_{i,c,z} = ParamR_{i,c,z} \cdot ChocCoho_{i,c} \quad \text{Équation 4-17}$$

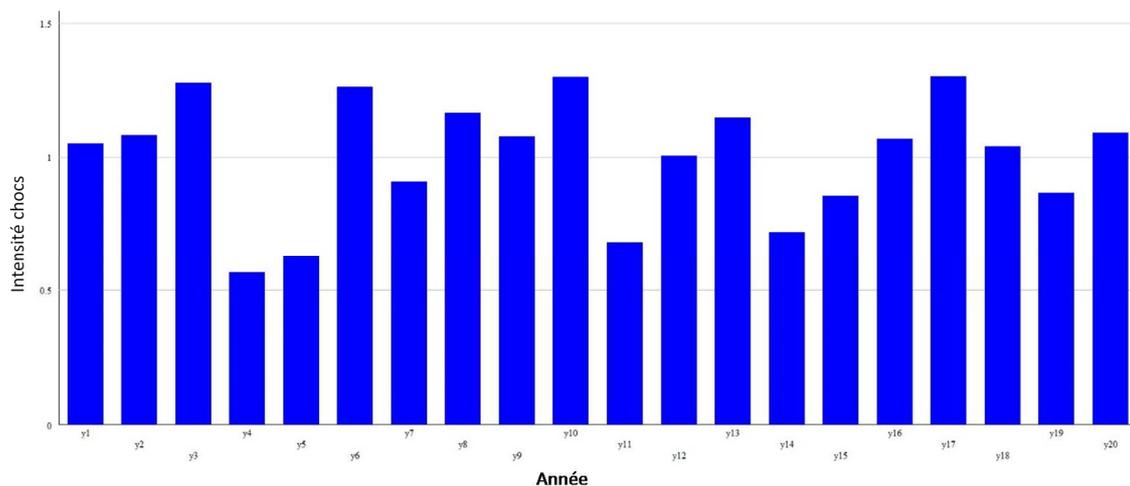


Figure 4.1 : Terme stochastique annuel appliqué au recrutement

4.2.3.2 Prise en compte d'un seuil critique de biomasse

L'existence d'une relation stock-recrutement n'a jamais été mise en évidence pour les petits pélagiques dans la zone sénégal-mauritanienne [151]. Cependant, il paraît vraisemblable que leur recrutement puisse être affecté par une réduction de la biomasse (géniteurs) en dessous d'un seuil critique dans le contexte actuel de la pêche. C'est le cas d'ailleurs dans plusieurs pêcheries de l'atlantique Nord Est où 12 % des stocks sont gravement appauvris et 52 % hors des limites biologiques de sécurité du fait d'une manque d'estimation préalable [152]. Nous avons donc considéré judicieux de prendre en compte cette possibilité. Il faut pour cela définir dans un premier temps le seuil critique de biomasse $Blim_i$, en dessous duquel le recrutement va être affecté par une baisse de biomasse. Le seuil de biomasse critique est une proportion $PartBv$ (définie comme paramètre) de la biomasse vierge Bv . Cette dernière est considérée ici comme un paramètre, estimé par simulation en l'absence d'exploitation des deux espèces de sardinelles. Le modèle en « baton de hokey » sera utilisé pour la prise en compte de l'effet de la pêche sur le recrutement. Les résultats de ces types de modèles sont jugés biologiquement plus plausibles que ceux du modèle de Beverton-Holt donnant lieu à des extrapolations biologiquement incorrectes [153].

$$Blim_i = Bv_i \cdot PartBv_i \quad \text{Équation 4-18}$$

Lorsque la biomasse BI est inférieure à $Blim_i$ le recrutement R tend linéairement vers 0 quand BI tend vers 0.

$$\begin{cases} R_{i,c,z} = ParamR_{i,c,z} & \text{si } BI_i \geq Blim_i \\ R_{i,c,z} = ParamR_{i,c,z} \cdot \left(\frac{BI_{i,t}}{Blim_i} \right) & \text{si } BI_i < Blim_i \text{ et } a_{i,c,t} = 0 \end{cases} \quad \text{Équation 4-19}$$

A titre l'exemple, on présente à la figure 4.2 la relation obtenue pour la sardinelle ronde avec $Bv = 512\ 000$; $PartBv = 0,5$; $ParFreqChoc = 1$; $ParIntChoc = 0,5$. Dans ce cas on a introduit à la fois un effet stochastique annuel et un seuil critique de biomasse égal à 256 000 t.

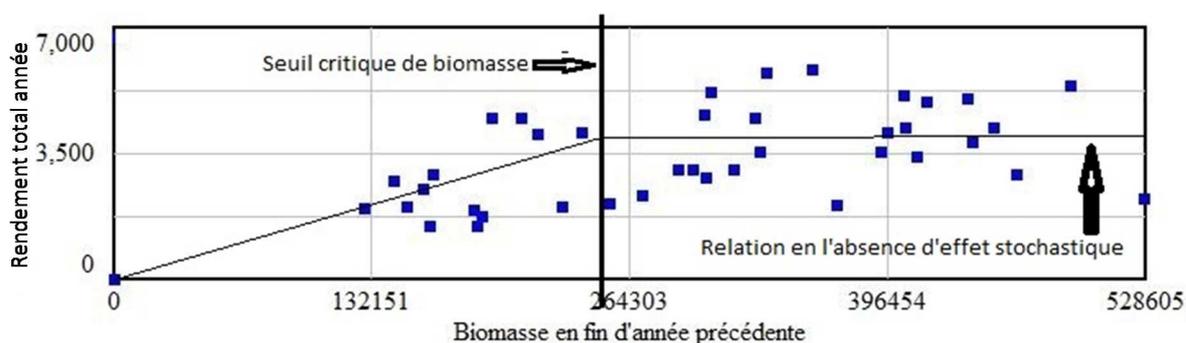


Figure 4.2 : Relation stock-recrutement avec effet stochastique annuel et seuil critique de biomasse (*Sardinella. aurita*)

4.3 Les captures

Les captures ne se sont calculées qu'au sein des zones de la ZEE sénégalaise, on utilisera donc dans ce cas l'indice z_{sen} au lieu de z (les éléments de z_{sen} sont un sous-ensemble de z). Les décès en nombre

dus à la pêche P sont égaux à la part de la mortalité par pêche F dans la mortalité totale Z , multipliée par le nombre de décès totaux D .

$$P_{i,c,zsen,t} = (F_{i,c,zsen,t} / Z_{i,c,zsen,t}) \cdot D_{i,c,zsen,t} \quad \text{Équation 4-20}$$

Les captures instantanées en poids C sont ensuite obtenues en multipliant les captures en nombre P par le poids individuel W :

$$C_{i,c,zsen,t} = P_{i,c,zsen,t} \cdot W_{i,c,t} \quad \text{Équation 4-21}$$

La capture instantanée par espèce CT est obtenue en sommant l'expression précédente par cohorte et zone :

$$CT_{i,t} = \sum_c \sum_{zsen} C_{i,c,zsen,t} \quad \text{Équation 4-22}$$

La capture annuelle cumulée CTC par espèce est obtenue par sommation de CT sur chacun des intervalles de temps annuels :

$$CTC_{i,a} = \sum_{t=tdeb_a}^{tfin_a} CT_{i,t} \quad \text{et } a = a1, a2, \dots, a40 \quad \text{Équation 4-23}$$

($tdeb_a$: Début de l'année a $tfin_a$: fin de l'année a)

La capture instantanée par flottille CF est calculée en multipliant la capture instantanée en poids C par la part de la mortalité par pêche exercée par chaque flottille Ff dans la mortalité par pêche totale F :

$$CF_{i,c,e,zsen,t} = (Ff_{i,c,e,zsen} / F_{i,c,zsen}) \cdot C_{i,c,zsen,t} \quad \text{Équation 4-24}$$

La capture totale instantanée par flottille, CFT est obtenue en sommant l'expression précédente sur l'ensemble des cohortes :

$$CFT_{i,e,zsen,t} = \sum_c CF_{i,c,e,zsen,t} \quad \text{Équation 4-25}$$

4.4 Dynamique de flottille

La dynamique de flottille est la résultante de différents phénomènes. Il convient de distinguer ces phénomènes dans la construction du modèle. Tout d'abord la détermination de la capacité de pêche, c'est à dire l'effectif total des flottilles. Ensuite celui de l'effort de pêche qui va dépendre du taux d'activité et de la répartition mensuels des flottilles entre zones de pêche.

4.4.1 Détermination de la capacité de pêche

La capacité de pêche UP , qui est constante au sein de chaque intervalle annuel (et donc ajustée si nécessaire en début de chaque année) peut être déterminée de différentes façons : 1) elle peut être totalement endogène, c'est à dire fonction du profit réalisé au cours de l'année précédente, tout en étant possiblement bornée par une valeur maximale (nombre de licences de pêche autorisées); 2) sa variation peut être définie arbitrairement tout au long de la simulation; 3) elle peut être fixée en début de simulation et maintenue constante.

4.4.1.1 Détermination endogène de la capacité

Dans le cas des pêcheries à libre accès, les acteurs de la pêche sont libres d'investir ou pas dans la pêcherie. Cet investissement dépend du profit obtenu la saison ou l'année précédente et de l'espérance de gain future. Dans le cas de notre modèle, nous faisons varier le taux d'investissement ou de désinvestissement en fonction du profit de l'année précédente. On considère qu'en fin de chaque année une part fixe du profit total en fin d'année $PROFCF_a$ est réinvestie sous la forme de nouvelles unités de pêche NUP . Dans le cas d'un profit négatif NUP sera négatif et correspondra à une sortie d'unités de pêche (désinvestissement). On a considéré par ailleurs qu'il était pertinent de pouvoir rendre compte d'une relative "viscosité" du capital investi dans les pêcheries durant les périodes de prospérité.

$$\begin{cases} IVT_{e,a} = PROFCF_{ea} \cdot txi & PROFCF \geq 0 \\ IVT_{e,a} = PROFCF_{ea} \cdot txi1 & PROFCF < 0 \end{cases} \quad \text{Équation 4-26}$$

Avec txi étant le taux d'investissement (part de profit réinvestie en cas de profit positif) et $txi1$ le taux de désinvestissement en cas de profit négatif.

Connaissant le prix $PrUP$ d'une nouvelle unité de pêche, on obtient le nombre de nouvelles unités par la relation suivante:

$$NUP_{e,a} = IVT_{e,a} / PrUP_e \quad a = a1, a2, \dots, a40 \quad \text{Équation 4-27}$$

Le nombre d'unités de pêche UP (capacité de pêche) présente au cours d'une année a sera égal à :

$$\begin{cases} UP_{e,a} = UP_{e,a-1} + NUP_{e,a-1} & a = a1, a2, \dots, a40 \\ UP_{e,a} \leq MaxUP_e \end{cases} \quad \text{Équation 4-28}$$

$MaxUP$ est un paramètre initial de la simulation, il représente la valeur maximale du nombre d'unités de pêche autorisées (nombre de licences).

4.4.1.2 Détermination exogène de la capacité

Pour les besoins de simulations, deux options sont réalisables pour le choix du nombre UP :1) il reste fixé à sa valeur initiale, 2) il suit une série de valeurs xUP « forcées » qui sont lues dans le fichier de paramètres du modèle.

$$\begin{cases} UP_{e,t} = UP_{e,0} \quad \forall t & \text{cas 1} \\ UP_{e,t} = XUP_{e,t} & \text{cas 2} \end{cases} \quad \text{Équation 4-29}$$

4.4.2 Répartition spatiale des flottilles

Une fois la capacité totale de pêche annuelle déterminée, cette dernière est répartie chaque mois entre les différentes zones de pêche en fonction de leur attractivité. Cette dernière ($ATRZ$) correspond à la part de la biomasse moyenne de chaque zone dans la biomasse moyenne totale en t et $t-12$. On considère que l'attractivité d'une zone est fonction de l'abondance relative de la ressource biologique dans cette zone. L'abondance moyenne de chaque zone est multipliée par la variable de fermeture de zone $Ferm$ de telle façon que les zones fermées (et donc d'attractivité nulle), ne soient pas prises en compte.

$$ATRZ_{zsen,t} = \frac{\sum_i [(BIZS_{i,zsen,t-1} + BIZS_{i,zsen,t-12}) * Ferm_{zsen,t}]}{\sum_{i,zsen,t} [(BIZS_{i,zsen,t-1} + BIZS_{i,zsen,t-12}) * Ferm_{zsen,t}]} \quad \text{Équation 4-30}$$

La flottille par zone UPZ peut être ensuite déterminée :

$$UPZ_{e,zsen,t} = UP_{e,t} * ATRZ_{zsen,t} \quad \text{Équation 4-31}$$

Cette formule n'est appliquée que pour les sennes tournantes, car aucune migration entre régions (Grande Côte-Petite Côte) n'est observée pour les filets maillants encerclants.

4.4.3 Détermination de la flotte active

Il convient de faire une distinction entre flottille UP (capacité de pêche) et flottille active Fla (effort de pêche nominal). Pour passer de la première à la seconde, il faut utiliser le taux d'activité $txact$ (cf paragraphe 4.5.3) par flottille (Équation 4. 43) qui est déterminé par la rentabilité à court terme de l'activité (marge sur coût variable). On prévoit la possibilité de fermetures de pêche saisonnières affectant les zones de pêche sénégalaises en accord avec les politiques de conservation et/ou de mise en réserve de certaine partie des zones exploitées . La variable $Ferm$ est comprise entre 0 (fermeture totale) et 1 (ouverture intégrale). Une valeur de 0,5 est équivalente à une fermeture de 50 % de la zone considérée. La fermeture peut soit désigner un repos biologique ou un AMP.

$$\begin{cases} Fla_{e,zsen,t} = UPZ_{e,zsen,t} * txact_{e,zsen,t} * Ferm_{zsen,t} \\ 0 \leq Ferm_{zsen,t} \leq 1 \end{cases} \quad \text{Équation 4-32}$$

4.5 Composantes économiques du modèle

4.5.1 Revenu

Le revenu instantané par flottille et par zone est calculé en multipliant la capture totale instantanée par flottille CFT par le prix PR par espèce. Ce dernier est supposé indépendant des prises dans la version actuelle du modèle. L'introduction d'une fonction de demande inverse liant le prix aux captures est envisageable sans difficulté, mais l'état actuel des données ne nous permet pas de la mettre en évidence. Au revenu retiré de la capture des espèces cibles (sardinelles) doit être ajouté celui provenant des captures d'espèces accessoires. Ces dernières ne sont pas modélisées explicitement dans ce modèle. Elles sont intégrées grâce à l'emploi d'un taux de captures accessoires par type de pêche $TxCaptAccess$ défini comme le rapport de la valeur des captures accessoires sur celle de la valeur des captures de sardinelles. Le taux de capture accessoire ($TxCaptAccess$) est une constante exogène, définie en début de simulation.

$$REV_{e,zsen,t} = \sum_i (PR_i \cdot CFT_{i,e,zsen,t}) * (1 + TxCaptAccess_e) \quad \text{Équation 4-33}$$

4.5.2 Les coûts d'exploitation

4.5.2.1 Les coûts matériels fixes et variables

Deux types de coûts sont pris en compte. Les coûts fixes $CFTOT$ sont indépendants du taux d'activité de la flottille mais proportionnels à la capacité de pêche. Ils comprennent les consommations intermédiaires fixes, les amortissements, l'entretien des équipements, les assurances. Les coûts variables $CVTOT$ sont quant à eux principalement proportionnels à la flottille active (effort de pêche nominal) mais peuvent également être liés aux quantités débarquées.

$$CFTOT_{e,zsen,t} = parCF_e \cdot UPZ_{e,zsen,t} \quad \text{Équation 4-34}$$

Où $parCF$ sont les paramètres représentant les coûts fixes de pêche supportés par an.

Le coût de débarquement $CDEB$ est proportionnel aux quantités débarquées CFT

$$CDEB_{e,zsen,t} = \sum_i CFT_{i,e,zsen,t} \cdot parCDEB \quad \text{Équation 4-35}$$

où $parCDEB$ est le coût de débarquement par tonne.

$$CVTOT_{e,zsen,t} = Fla_{e,zsen,t} \cdot (parCV_e) + CDEB_{e,zsen,t} \quad \text{Équation 4-36}$$

4.5.2.2 Rémunération du travail

Dans la pêche la rémunération du travail est en général basée sur un système à la part “pur” ou bien un système mixte associant part de pêche et élément fixe. Le premier système est celui généralement observé en pêche artisanale tandis que le second est plutôt employé en pêche industrielle.

En pêche artisanale, la rémunération du travail, pour l’ensemble de l’équipage, est obtenue à partir du solde à partager, égal à la différence entre chiffre d’affaire REV et coûts variable $CVTOT$, que l’on multiplie par la part relative allant à l’équipage $paramPartPa$.

On calcule ensuite la rémunération annuelle du travail par flottille (LA) et enfin la valeur actualisée de la rémunération totale du travail ($ReTrACT$)

$$L_{e,zsen,t} = (REV_{e,zsen,t} - CVTOT_{e,zsen,t}) \cdot paramPartPa \quad \text{Équation 4-37}$$

$$LA_{e,a} = \sum_{t=tdeb_a}^{tfin_a} \sum_{zsen} L_{e,zsen,t} \quad a = a1, a2, \dots, a40 \quad \text{Équation 4-38}$$

$$ReTrACT = \sum_a (\sum_e (LA_{e,a} \cdot Fact_a)) \quad \text{Équation 4-39}$$

Où $Fact_a$ est le facteur d’actualisation (cf équation 4.45)

4.5.3 Profit et marge privés

Le profit $PROF$ est la rémunération des investisseurs privés armateurs. Il est donc égal au chiffre d’affaires REV diminué des coûts variables $CVTOT$ (assimilé aux charges communes partagées entre équipage et armateur), des coûts fixes $CFTOT$ et de la rémunération du travail L .

$$PROF_{e,t} = \sum_{zsen} (REV_{e,zsen,t} - CVTOT_{e,zsen,t} - CFTOT_{e,zsen,t} - L_{e,zsen,t}) \quad \text{Équation 4-40}$$

Le profit cumulé par année $PROFC$ est obtenu par sommation de $PROF$ sur chacun des intervalles de temps annuels :

$$PROFC_{e,a} = \sum_{t=tdeb_a}^{tfin_a} PROF_{e,t} \quad a = a1, a2, \dots, a40 \quad \text{Équation 4-41}$$

La marge relative sur coût variable $MRCV$ est un indicateur de rentabilité privée à court terme. Elle est obtenue par différence entre le revenu REV et le coût variable $CVTOT$. On considère qu’à court terme l’armateur ne prend pas en compte les charges fixes, il cherche juste à “couvrir” les frais de marée.

$$MRCV_{e,zsen,t} = (REV_{e,zsen,t} - CVTOT_{e,zsen,t}) / REV_{e,zsen,t} \quad \text{Équation 4-42}$$

Le taux d'activité $txact$ est une fonction à pente positive de la marge relative $MRCV$. On considère que les pêcheurs déterminent leur niveau d'activité à court terme en fonction des conditions de rentabilité immédiate, ne prenant pas en compte les coûts fixes:

$$txact_{e,zsen,t} = f(MRCV_{e,zsen,t-1}) \quad \text{Équation 4-43}$$

4.5.4 Rente économique

La rente économique $RENT$ correspond au profit des armateurs corrigé des transferts (subventions et taxes) entre l'État et la pêche. La rente économique est estimée à la fin de chaque intervalle annuel a .

$$RENT_{e,a} = PROF_{e,a} + (RED_{e,a} - SUB_{e,a}) \quad \text{Équation 4-44}$$

Où RED et SUB sont respectivement les redevances (taxes) perçues sur la pêche et les subventions annuelles versées par l'État à ce secteur.

La rente actualisée $RENTACT$ est la somme du flux de rente actuelle multiplié par le facteur d'actualisation $FACT$. Ce dernier est obtenu à partir du taux d'actualisation annuel $TxActu$. Des calculs intermédiaires, non précisés ici, permettent d'estimer également la rente actualisée par flottille $RENTACTF$.

$$FACT_a = \frac{1}{(1+TxActu)^a} \quad \text{Équation 4-45}$$

$$RENTACT = \sum_a (\sum_e RENT_{e,a} \cdot FACT_a) \quad \text{Équation 4-46}$$

4.5.5 Valeur ajoutée

La valeur ajoutée brute (VAB) correspond à la différence entre la valeur des débarquements et les consommations intermédiaires (ensemble des moyens matériels détruits au cours du processus de production). La valeur ajoutée nette (VAN) est égale à la valeur ajoutée brute diminuée des amortissements. Elle aussi égale à la somme des rémunérations des facteurs de production (profit privé et rémunération du travail) et des revenus nets de l'État retirés de la pêche. La valeur ajoutée brute est également un bon indicateur de la création de richesse par la pêche. Elle correspond à sa contribution absolue au Produit Intérieur Brut (PIB) national. A la différence de la rente, elle intègre la rémunération du travail dans la création de richesse, ce qui est un élément important à prendre en compte pour la réduction de la pauvreté. Cette dernière fait partie des objectifs de gestion de la pêche au Sénégal dans le Document de Stratégie de Réduction de la Pauvreté du Sénégal (DSRP III 2010-2015)⁸. Les consommations intermédiaires ont deux composantes. La première est variable et

⁸ Document de stratégie pour la réduction de la pauvreté au Sénégal.

est fonction de la flotte active Fla , la seconde est fixe et est proportionnelle à la capacité de pêche par zone UPZ . $ParCiF$ et $ParCiV$ sont respectivement les paramètres de consommations intermédiaires fixes et variables par unité de pêche et par mois.

$$CI_{e,zsen,t} = (ParCiF_e \cdot UPZ_{e,zsen,t}) + (ParCiV_e \cdot Fla_{e,zsen,t}) \quad \text{Équation 4-47}$$

La valeur ajoutée courante brute par flottille VAB est la différence entre le revenu REV et les CI

$$VAB_{e,t} = \sum_{zsen} (REV_{e,zsen,t} - CI_{e,zsen,t}) \quad \text{Équation 4-48}$$

Connaissant le paramètre d'amortissement par unité de pêche et par mois $ParAmt$, on en déduit la valeur ajoutée nette VAN :

$$VAN_{e,t} = VAB_{e,t} - ParAmt_e \quad \text{Équation 4-49}$$

Enfin la valeur ajoutée nette cumulée $VANC$ est calculée pour chaque intervalle de temps annuel :

$$VANC_{e,a} = \sum_{t=tdeb_a}^{tfin_a} VAN_{e,t} \quad a = a1, a2, \dots, a40 \quad \text{Équation 4-50}$$

Il est important, afin de bien évaluer le poids économique de la pêche, notamment sa contribution au PIB, de retirer la valeur des subventions pour obtenir la valeur ajoutée nette (d'amortissement) annuelle nette de subventions $VANCNS$.

$$VANCNS_{e,a} = VANC_{e,a} - SUB_{e,a} \quad \text{Équation 4-51}$$

La valeur ajoutée nette actualisée, qui peut être considérée, de façon similaire à la rente actualisée, comme une fonction objective de la gestion à long terme de la pêcherie, est obtenue en utilisant le facteur d'actualisation :

$$VANACT = \sum_a (\sum_e VANCNS_{e,a} \cdot FACT_a) \quad \text{Équation 4-52}$$

4.5.6 Revenus nets de l'Etat et subventions

Les revenus annuels de l'Etat $RAET$ sont égaux à la différence des redevances annuelles prélevées sur le secteur RED moins les subventions annuelles SUB distribuées en faveur de la pêche. Les redevances sont déterminées par le montant des licences payées par les flottilles, indépendamment de leur activité. Le montant annuel payé par chaque unité de pêche est égale au paramètre $parLIC$. Dans la pêcherie sénégalaise les subventions passent principalement par la détaxation partielle des intrants (carburants et équipements) et la non perception de la TVA. Le manque à gagner pour l'Etat est assimilé à une subvention en faveur de la pêche. En 2015 une subvention directe de un million de FCFA en plus est également accordée pour chaque achat de moteur. Cette dernière sera prise en compte lors d'un scénario.

$$RED_{e,a} = UP_{e,a} \cdot parLIC_e \quad \text{Équation 4-53}$$

Les subventions comprennent les subventions annuelles sur le carburant $SubCFC$ et sur les équipements de pêche. La subvention mensuelle sur la carburant par flottille $SubCFest$ calculée à partir de la différence entre les valeurs de la consommation mensuelle de carburant “toutes taxes comprises” $ParCicarbTTC$ et de la consommation mensuelle de carburant “hors taxes” $ParCicarbHT$ (lues comme paramètres), multipliées par la flottille active Fla . La subvention sur le carburant affecte aussi les paramètres de coût variable mensuel $ParCv$ et de consommations intermédiaires variables $parCiV$.

$$SubCF_{e,t} = (ParCicarbTTC_e - ParCicarbHT_e) \cdot Fla_{e,zsen,t} \quad \text{Équation 4-54}$$

La subvention annuelle sur le carburant $SubCFC$ est obtenue par sommation sur chaque intervalle de temps annuel.

$$SubCFC_{e,a} = \sum_{t=tdeb_a}^{tfin_a} SubCF_{e,t} \quad a = a1, a2, \dots, a40 \quad \text{Équation 4-55}$$

La subvention annuelle sur les moteurs $ParSubMot$ consiste en un montant fixe accordé à chaque achat de moteur. Ce montant, est estimé en tenant compte de la durée de vie moyenne des moteurs (estimée à trois ans). Elle est assimilée à une réduction de charges fixes intégrée dans la valeur du paramètre de charges fixes $parCF$. Elle est prise également en compte dans les revenus de l’Etat. La subvention annuelle pour les moteurs par flottille est obtenue à partir de l’équation suivante :

$$SubMoteur_{e,a} = ParSubMote \cdot UP_{e,a} \quad \text{Équation 4-56}$$

Il reste maintenant à prendre en compte les exemptions de droits de douanes (38 % du prix d’importation CAF) et de TVA (18 % du prix CAF dédouané) pour les moteurs et les engins de pêche⁹ Les exemptions annuelles pour les moteurs $ParDetaxMot$ par unité de pêche ont été estimées en tenant compte du prix hors taxes actuelle payé par moteur 1 282 000 et 1 985 000 FCFA respectivement pour les unités de FME et de ST¹⁰, de la durée de vie moyenne des moteurs (3 ans) et du nombre de moteurs par type d’unité de pêche (ST : 2 ; FME : 1). Pour les engins de pêche, les exemptions annuelles $ParDetaxEng$ ont été estimées à partir du prix et de la durée de vie estimé des engins de pêche (10 millions de FCFA et 5 ans pour les ST ; 2,7 millions et 5 ans pour les FME). Les exemptions de taxes sont également assimilées à des réductions de charge fixes intégrées dans la valeur du paramètre de charges fixes $parCF$ par flottille. Les montants des détaxes annuelles par flottille sur les moteurs $DetaMot$ et les engins de pêche $DetaxEng$ sont obtenus à partir des deux équations suivantes :

$$DetaxMot_{e,a} = ParDetaxMot_e \cdot UP_{e,a} \quad \text{Équation 4-57}$$

⁹ Pour ces derniers on ne considère que l’exemption de TVA car les pêcheurs procèdent eux-mêmes au montage de leurs engins à partir d’intrant déjà disponible sur le marché local

¹⁰ On a considéré que la majorité des unités utilisent des moteurs 40 cv (ST) et 15 CV (FME)

$$DetaxEng_{e,a} = ParDetaxEng \cdot UP_{e,a} \quad \text{Équation 4-58}$$

Le montant annuel total des aides distribuées par l'Etat peut alors être calculé :

$$SUB_{e,a} = SubCFC_{e,a} + SubMoteur_{e,a} + DetaxMot_{e,a} + DetaxEng_{e,a} \quad \text{Équation 4-59}$$

On peut désormais estimer les revenus nets annuels de l'Etat $RAET$, égaux aux redevances annuelles RED diminuées de l'ensemble des aides SUB . Les revenus de l'Etat sont ensuite actualisés sur l'ensemble de la période de simulation ($REACT$).

$$RAET_{e,a} = RED_{ea} - SUB_{e,a} \quad \text{Équation 4-60}$$

$$REACT = \sum_a (\sum_e RAET_{e,a} \cdot FACT_a) \quad \text{Équation 4-61}$$

4.5.7 Emploi

L'emploi K (en équivalent temps plein par mois) est calculé en multipliant la flotte Active Fla par la taille de l'équipage $ParEquip$.

$$K_{e,t} = ParEquip_e \cdot \sum_{zsen} Fla_{e,zsen,t} \quad \text{Équation 4-62}$$

L'emploi cumulé annuel KC est obtenu par sommation sur chacun des intervalles de temps annuels, il est exprimé en équivalent temps plein annuel :

$$KC_{e,a} = \sum_{t=deb_a}^{tfin_a} \sum_e (K_{e,t} / 12) \quad a = a1, a2, \dots, a40 \quad \text{Équation 4-63}$$

4.6 Variables de contrôle du modèle

Dans ce paragraphe nous rappelons quelles sont les variables de contrôle du modèle et quelles actions de gestion elles permettent de simuler.

4.6.1 Licences et redevances de pêche

Il s'agit des principaux outils de contrôle direct de la capacité de pêche. Les systèmes de régulation par licences ont souvent été introduits dans des situations de surcapacité chronique caractérisées par la surexploitation de nombreux stocks et peu d'opportunités de réallocation nationale des flottes [154]. Il s'agit donc de variables de contrôles très pertinentes pour la gestion de la pêche au Sénégal. En effet une partie de la flotte artisanale sénégalaise bénéficie d'une possibilité de pêche dans les pays voisins (Mauritanie et Guinée) par l'intermédiaire d'accords de pêche qui ne sont pas systématiques toutes les années. Ainsi pour parer à cette situation, il semble pertinent pour le Sénégal d'établir un système de licences qui permettrait de réguler durablement la capacité de pêche. Il sera donc possible

d'indiquer le niveau de redevance qui permettra de réguler la capacité de pêche des unités de pêche pélagique pour atteindre les objectifs recherchés.

4.6.2 Fermetures spatio-temporelles

La création d'aires marines protégées est un des outils majeur des politiques publiques désirant mettre en œuvre l'approche écosystémique des pêches [155]. Des engagements internationaux prévoient la mise en place d'un réseau mondial d'AMP et la protection d'une part significative des ZEE nationales [155]. Les AMP ont souvent visés la protection d'écosystèmes littoraux comme les récifs ou les mangroves [156]. Plus récemment, leur intérêt a été souligné également pour les ressources pélagiques notamment hauturières [157]. Au Sénégal, on assiste depuis la dernière décennie à la mise en place d'AMP sur des fractions d'espaces côtiers ou séjournent de façon permanente ou temporaires des ressources pélagiques côtières comme les sardinelles. Il nous est donc apparu pertinent de prendre en compte cet outil parmi les variables de contrôle du modèle. Des mesures de repos biologique saisonniers sont également appliquées en Afrique de l'ouest, mais plutôt pour des ressources démersales. Il reste néanmoins intéressant de pouvoir simuler l'application de telles mesures au cas des petits pélagiques. Dans le cas de cette étude, la possibilité de fermeture sera utilisée soit partiellement soit entièrement sur une ou plusieurs zones selon la spatialisation du modèle. Une fermeture partielle correspond à un taux de fermeture compris entre $[0 ; 1[$ et une fermeture totale correspond à un taux égal à 1. Le taux de fermeture est applicable sur tout horizon temporel.

4.6.3 Coûts fixes et variables, subventions et exemptions de taxes

Bien que les coûts supportés par les unités de pêche soient pour la plupart des variables exogènes au modèle, ils sont en partie affectés par les subventions et exemptions de taxes qui sont aussi des outils de gestion de la pêche. Les coûts variables sont exprimés en unités monétaires par mois. La consommation de carburant est introduite toutes taxes comprises, et le taux de subvention (Le taux de subvention est égal au rapport de la différence entre prix TTC et prix HT sur le prix TTC) du carburant est estimé à 15 %. Les subventions et exemptions annuelles sur les moteurs et engins de pêche sont considérées comme des réductions de coûts fixes (annuels) et sont introduites à la suite des autres éléments de coûts fixes (dont elles viennent en réduction dans les calculs intermédiaires réalisés). Ces paramètres sont précisés en annexe 5.

4.6.4 Limites de captures.

Bien que les quotas globaux de pêche ne soient pas généralement utilisés à ce jour dans la gestion des pêcheries ouest-africaines (excepté en Mauritanie), il est intéressant de prendre en compte cet outil potentiel de gestion, dans la mesure où il est largement utilisé dans d'autres régions et pourrait, dans

le long terme, être envisagé au Sénégal. Dans le modèle, il s'agit de quotas annuels globaux, pour toutes les flottilles. Une fois le quota atteint, la pêche est arrêtée au pas de temps (mois) suivant. Étant donné le pas de temps mensuel retenu, l'arrêt de la pêche ne peut être instantané : si le quota est atteint en t , la fermeture de la pêche sera effective en $t+1$, ce qui peut conduire à un dépassement de quota, la prise de décision n'étant pas immédiate.

4.7 Autres paramètres de simulation

Il s'agit des paramètres initiaux qui ne représentent pas des variables de contrôle, mais des choix concernant les règles de comportement des unités de pêche, ou bien encore la prise en compte de certains phénomènes biologiques.

La durée de la simulation peut aller jusqu'à 480 pas de temps mensuels, soit 40 ans.

La fréquence de sauvegarde (mensuelle ou annuelle) des résultats de la simulation.

Le type de dynamique de la capacité de pêche : capacité limitée durant toute la simulation aux valeurs initiales (1), capacité endogène fonction des résultats économiques annuels (2), capacité annuelle variable forcée à partir du fichier de paramètres (3)

Paramètres de la fonction d'investissement (si l'option de capacité endogène a été retenue) : il s'agit du taux de réinvestissement (ou de désinvestissement en cas de pertes) du profit annuel en nouvelles unités de pêche. L'entrée (ou la sortie) des unités de pêche a lieu en début d'année.

Prise en compte d'une relation stock recrutement pour chacune des deux espèces. Pour chacune des deux espèces, il faut préciser la biomasse de stock vierge (en l'absence d'exploitation) et la part de la biomasse vierge en dessous de laquelle le recrutement tend linéairement vers zéro quand la biomasse diminue.

Possibilité d'un recrutement annuel stochastique : pour chaque espèce on précise d'abord la fréquence relative (probabilité comprise entre 0 et 1) d'un choc annuel puis le paramètre d'intensité du choc annuel *ParIntChoc*, compris entre 0 et 1.

Le taux d'actualisation utilisé pour calculer certaines variables de sortie économique est spécifié.

Le taux de captures accessoires en valeur par flottille est défini par la part de la valeur des captures autres que les sardinelles dans la valeur de la capture totale.

4.8 Variables de sortie du modèle

Il est important de spécifier ici quelle seront les variables de sorties importantes qui seront retenues pour analyser les résultats des simulations. Il s'agit ici de se concentrer sur l'essentiel et de laisser de côté la complexité des calculs intermédiaires. Quatre grandes catégories de résultats sont proposées : relatifs à la dynamique de la ressource, relatifs à la dynamique de l'activité (effort et capacité de pêche), relatifs aux captures et enfin économiques. La dynamique de la ressource sera observée à travers la trajectoire de la biomasse selon les scénarios. La dynamique de l'activité sera observée à

travers la dynamique de la flotte active dans les différentes zones selon chaque scénario. Les captures et leurs valeurs seront observées selon les scénarios. La dynamique, de la rente, du revenu du travail, de la VAN, du revenu de l'Etat, des coûts et des profits des armateurs seront observés. Enfin selon un multiplicateur de capacité, les optimums des indicateurs économiques seront indiqués pour chaque scénario.

4.9 Une simulation sans prise en compte de la relation stock-recrutement

Les paramètres biologiques et économiques de la simulation de référence sont présentés à l'annexe 5. Les paramètres biologiques (croissance mortalité) sont tirés de la littérature. Un point critique est l'estimation pour chaque espèce du recrutement mensuel (cf paragraphe 2.2.2.4).

La simulation de référence est produite avec une capacité de pêche constante. L'effort de pêche mensuel par zone est alors seulement fonction des résultats économiques de court terme. On observe que très rapidement la simulation tend vers un régime stationnaire (les résultats des années successives sont identiques).

4.9.1 Dynamique de la ressource

L'indicateur retenu ici est la biomasse instantanée. Elle peut être définie par espèce et par région. Il est aussi possible d'obtenir la dynamique spatiotemporelle de la biomasse.

L'évolution de la biomasse totale pour les deux espèces est présentée à la figure 4.3 pour les trois premières années au bout desquelles un régime stationnaire est déjà atteint. Pour la sardinelle ronde, la biomasse totale est comprise, selon les mois, entre 350 et 370 000 t. Il est notable d'observer que la part de la biomasse de cette espèce localisée au Sénégal est variable : elle tend à être maximale de décembre à mai et minimale durant la saison chaude (juillet à octobre). Pour la sardinelle plate, l'aire de déplacement étant assez restreinte [60], notre zonation ne nous permet pas de mettre en évidence un profil de migration saisonnier. En conséquence la biomasse modélisée, qui n'est présente qu'au Sénégal et répartie entre Petite et Grande Côte, ne montre pas de mouvement cyclique.

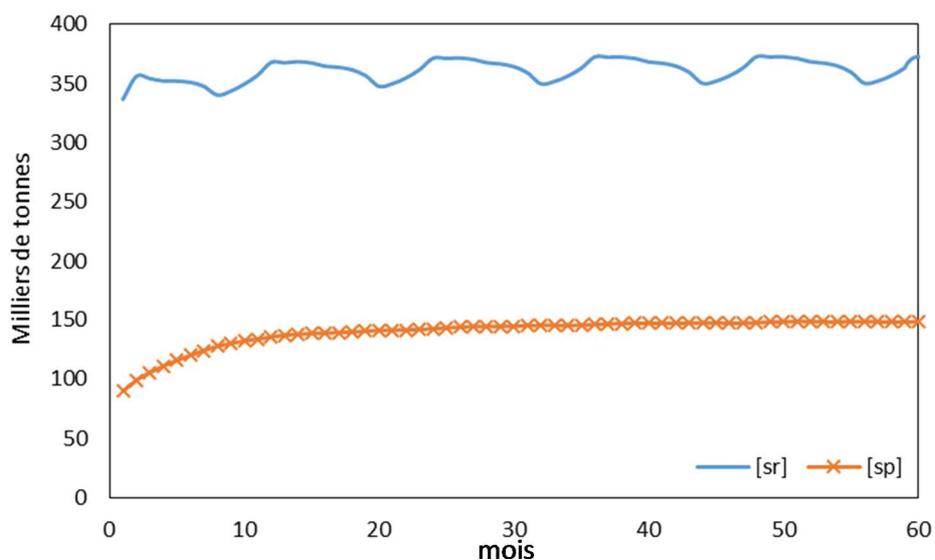


Figure 4.3 : Variation de la biomasse instantanée totale par espèce de sardinelles dans le temps (mois). Sardinelle ronde (sr), sardinelle plate (sp).

La figure 4.4 montre un décalage des pics d'abondance de la sardinelle ronde entre les deux principales zones. Au nord (Grande Côte), l'abondance maximale est observée en décembre. Sur la Petite-Côte l'abondance maximale est observée en mai. Enfin la migration vers le sud de cette espèce conduit à un pic d'abondance d'avril à juin en Casamance, mais pour un niveau de biomasse très inférieur à celui obtenu pour les deux autres régions.

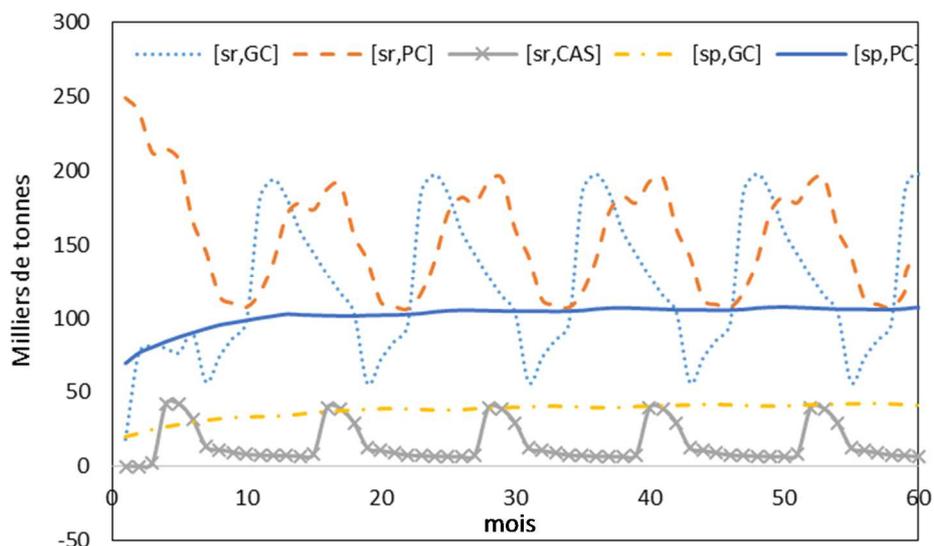


Figure 4.4 : Evolution spatiotemporelle de la biomasse instantanée de sardinelles entre les différentes zones de pêche sénégalaises. Sardinelle ronde (sr), sardinelle plate (sp)

4.9.2 Dynamique de l'activité

Les indicateurs retenus sont la capacité de pêche annuelle et l'effort de pêche. Ce dernier est réparti par région de pêche au Sénégal afin de représenter les mouvements d'unités de pêche entre Grande côte et Petite Côte

Dans la simulation de référence, la capacité de pêche est maintenue égale aux niveaux définis dans le fichier de paramètres. Le modèle ne prévoit pas de migrations pour les filets maillants encerclants. Par contre on observe pour les sennes tournantes un cycle inverse de l'effort de pêche entre la Petite Côte (augmentation de l'effort durant les deux premiers trimestres de l'année puis diminution) et la Grande Côte (augmentation en fin d'année). En Casamance l'effort des sennes tournantes n'est significatif que de mai à juin.

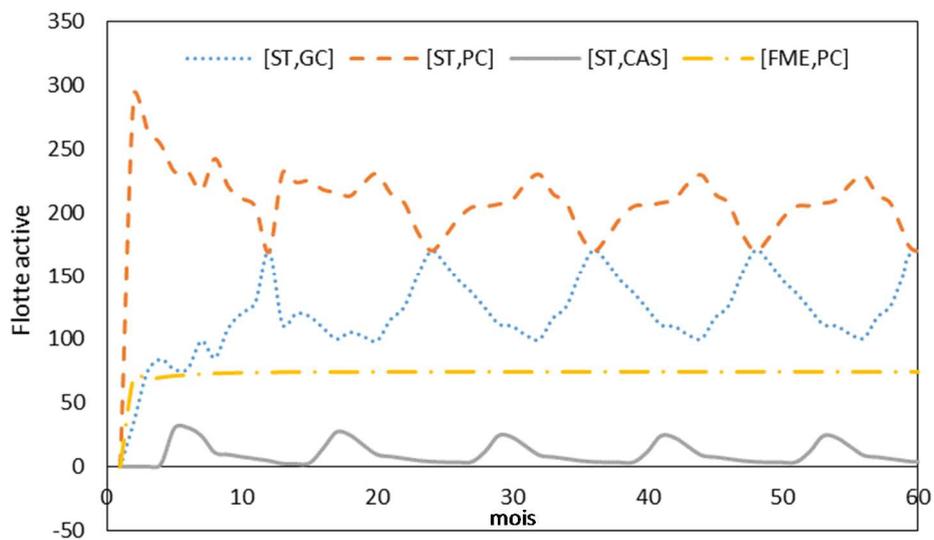


Figure 4.5 : Evolution spatiotemporelle de l'effort de pêche dans les différentes zones de pêche sénégalaises

4.9.3 Captures

On a d'abord retenu les captures mensuelles (c'est à dire instantanées) par région et totales pour le Sénégal. L'exploitation dans les pays voisins n'est pas prise en compte dans ce modèle. Les captures cumulées pour chaque année sont ensuite présentées. Il est aussi possible d'obtenir les captures par classe de taille.

Les captures annuelles cumulées, une fois le régime "stationnaire" de la simulation atteint, s'élèvent, pour les sardinelles rondes et plates à 157 000 t. et 102 000 t. respectivement (figure 4.6). Les captures par classe de taille montrent que les tailles capturées sont plus grandes avec la sardinelle ronde (figure 4.7).

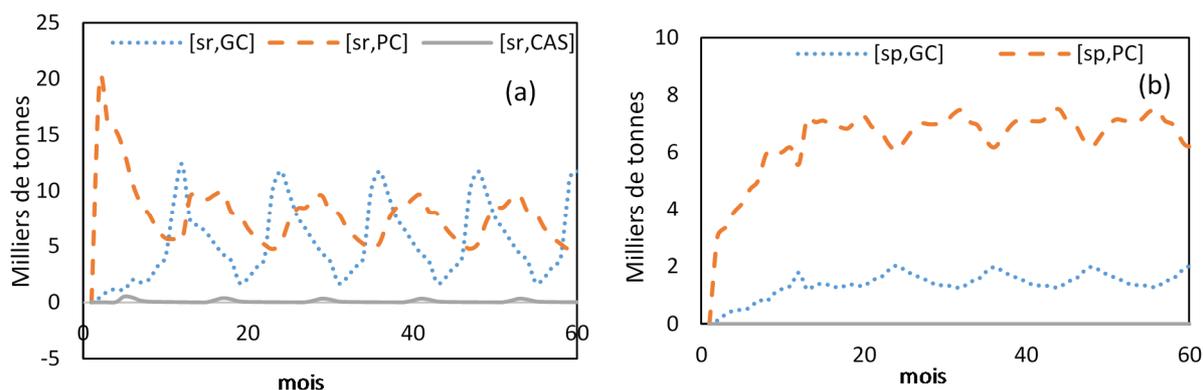


Figure 4.6 : Evolution spatiotemporelle des captures de sardinelles ronde (a) et plate (b) dans les différentes zones de pêche sénégalaises

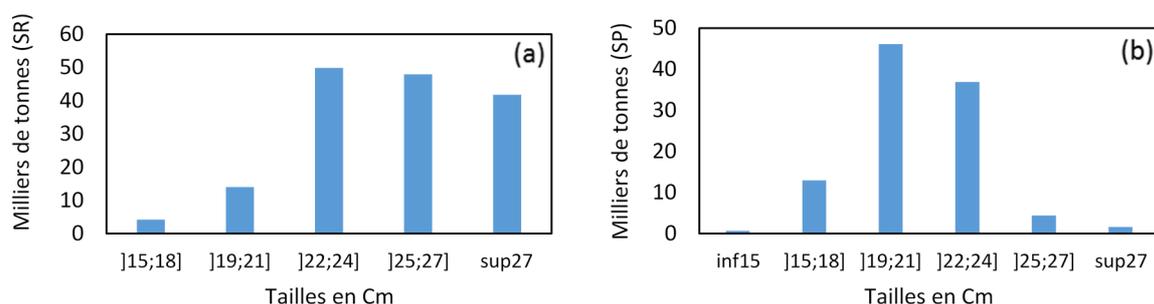


Figure 4.7 : Captures par taille de sardinelles ronde(a) et plate (b) au Sénégal

4.9.4 Résultats économiques

On propose dans un premier temps les résultats économiques courants par flottille et pour l'ensemble de la pêche : revenus, coûts fixes, coûts variables, rémunération du travail, coût total, profit, profit annuel, consommations intermédiaires, amortissement, valeur ajoutée nette, valeur ajoutée nette annuelle, subventions annuelles, redevances de pêche annuelles, revenus net de l'Etat par an. On présente ensuite les résultats actualisés pour un plus petit nombre d'indicateurs pour l'ensemble de la pêche : la rente, la valeur ajoutée nette (subventions déduites), le profit, le revenu net de l'Etat et la rémunération du travail. Les résultats économiques courants ne sont pas présentés pour la première année de simulation, cette dernière étant non significative en raison des ajustements initiaux dus à l'initialisation du modèle.

4.9.5 Revenus

En régime "stationnaire", le revenu annuel cumulé de la pêche s'établit à 39 milliards de FCFA de FCFA. Le revenu des unités de pêche à la senne tournante représente plus de 90 % du revenu total de la pêche artisanale pélagique.

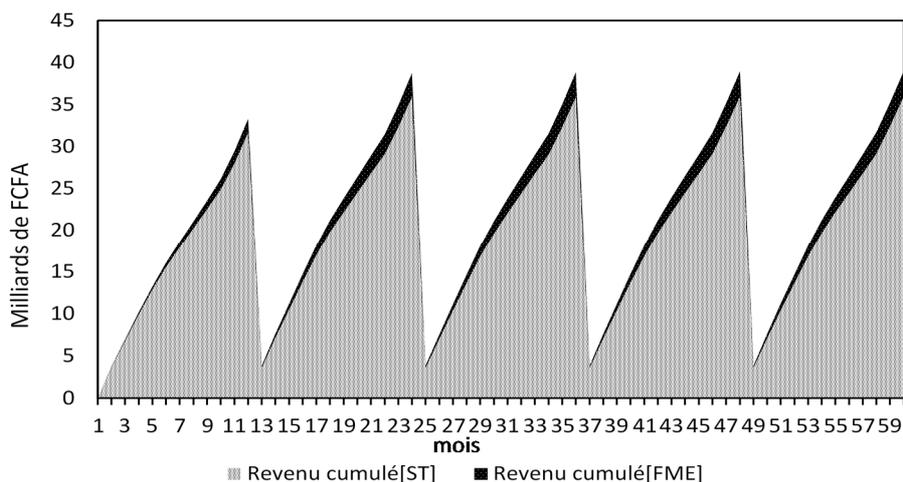


Figure 4.8 : Les revenus annuels cumulés des sennes tournantes et des filets maillants encerclants

4.9.6 Coût

Le coût annuel cumulé de la pêche (somme des coûts fixes et variables) s'élève à 30 milliards de FCFA de F CFA, dont 90 % sont attribuables aux unités de pêche à la senne tournante.

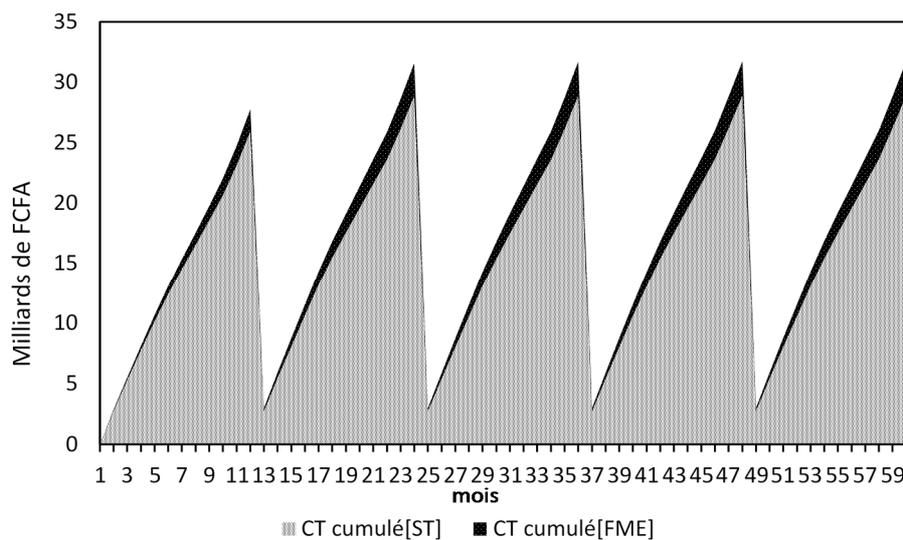


Figure 4.9 : Les coûts annuels totaux cumulés de la pêcherie

4.9.7 Profit

Le profit annuel (rémunération des armateurs) s'élève à 7,2 milliards de FCFA de F CFA, dont la quasi-totalité provient des unités de pêche à la senne tournante.

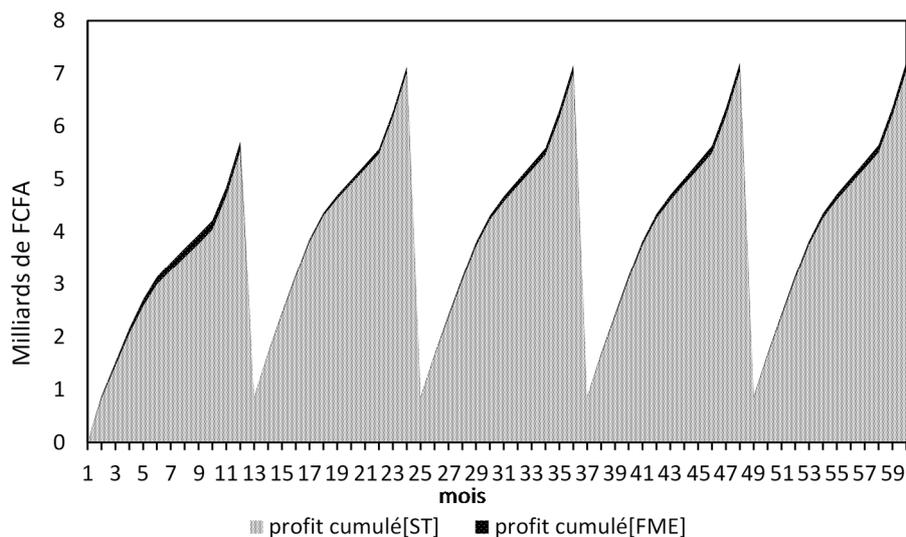


Figure 4.10 : Les profits générés par la pêche

4.9.8 Revenus du travail

La rémunération annuelle du travail s'élève à 13,3 milliards de FCFA de F. CFA, soit près du double du profit. On retrouve ici l'une des caractéristiques des pêches artisanales très souvent avancée dans la littérature [158], à savoir leur capacité à créer des revenus et donc à contribuer à la réduction de la pauvreté au sein des communautés côtières.

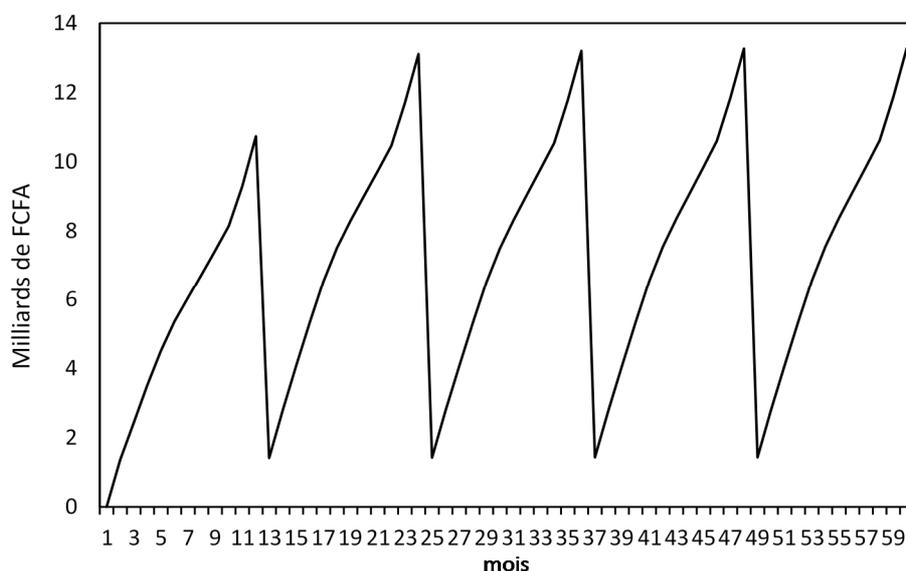


Figure 4.11 : Les revenus du travail cumulés générés par la pêche

4.9.9 Les revenus de l'Etat

Dans la simulation de référence les revenus annuels nets de l'Etat sont négatifs (- 3 milliards de FCFA de FCFA), en raison de l'absence de prélèvements fiscaux ou autres sur la pêche, et de l'importance

des subventions accordées sous forme d'exemption de droits sur le carburant (2,4 milliards de FCFA) et sur les autres intrants (engins et moteurs, soit 0,6 milliard). En valeur absolue, les pertes supportées par l'Etat représentent près de 50 % des profits perçus par les armateurs.

4.9.10 Valeur ajoutée nette, nette de subventions

Une fois corrigée des subventions accordées à la pêche, la valeur ajoutée annuelle s'établit à 17,6 milliards de FCFA de F. CFA. Cette valeur représente sa réelle contribution à la richesse du pays (PIB).

4.9.11 La rente économique annuelle courante

La rente économique annuelle est égale à 4,3 milliards de FCFA. Il est important de souligner ici que, tant selon le critère de la valeur ajoutée que de celui de la rente économique, la pêche génère encore des ressources économiques à court terme. La situation des unités de pêche à la senne tournante semble par contre beaucoup plus profitable que celle des unités de filets maillants encerclant qui génèrent une rente négative (37 millions).

4.9.12 Rente économique, valeur ajoutée et autres indicateurs actualisés

La rente économique, actualisée sur toute la période de simulation (480 mois), s'élève à 40 milliards de FCFA. La valeur ajoutée (nette de subventions) à 168 milliards de FCFA. Le taux d'actualisation retenu étant de 10 % par an, les valeurs actualisées tendent assez rapidement vers leur valeur limite (figure 4.12). La différence entre le profit et la rente actualisé est expliquée par la subvention accordée à la pêche par l'Etat. Le revenu de l'Etat dans cette pêche est négatif. Ce résultat s'explique par la faiblesse de la valeur des licences face à la subvention accordée à la pêche.

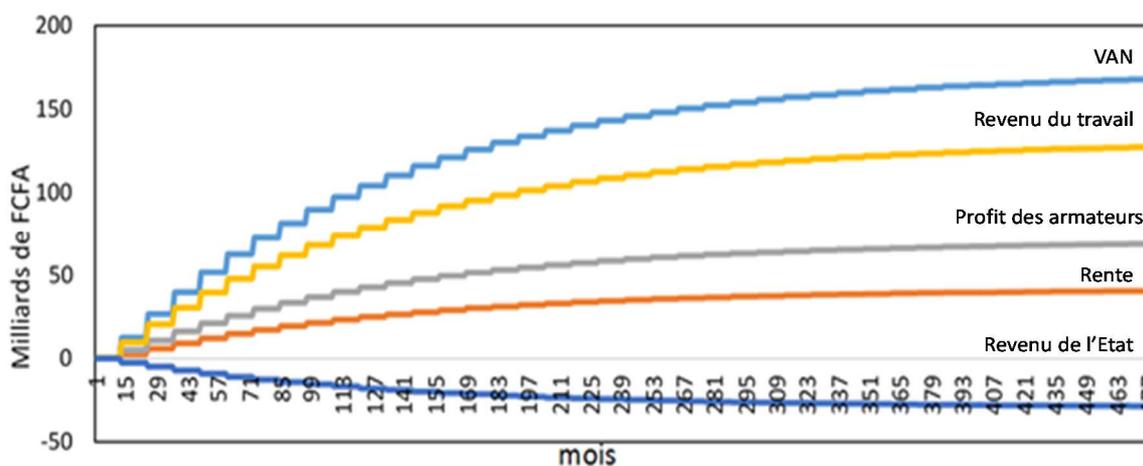


Figure 4.12 : Evolutions de quelques indicateurs économiques actualisés

4.9.13 Les optimums

On a utilisé les paramètres de la simulation de référence en faisant varier la capacité de pêche initiale (on rappelle que dans ce modèle elle reste constante durant une même simulation) au moyen d'un facteur multiplicatif prenant les valeurs suivantes : {0,1 ; 0,2 ; 0,3 ; 0,5 ; 0,6 ; 0,7 ; 0,8 ; 0,9 ; 1 ; 2 ; 3}. La valeur 1 du multiplicateur correspond à la situation de référence (593 unités de pêche à la senne tournante et 128 unités au filet maillant encerclant). Pour chacune de ces valeurs sont obtenues les valeurs actualisées, sur l'ensemble de la période de simulation, soit 40 ans) des indicateurs suivants: revenu total de la pêcherie, rente économique, valeur ajoutée nette de subventions, revenus de l'Etat et revenus du travail. Les résultats sont représentés sur la figure 4.13.

Excepté le revenu de la pêcherie, tous les indicateurs ont dépassé leurs optimums (tableau 4-1). Tant pour la rente que pour la valeur ajoutée ou le profit, la pêcherie montre une situation de surcapacité. La rente économique optimale (55,1 milliards de FCFA) est atteinte avec une baisse de la capacité de pêche de 50 %. L'optimum de profit et de VAN nécessite une baisse de 30 % de la capacité de pêche.

Tableau 4-1 : Evolution de quelques indicateurs actualisés en fonction d'un multiplicatif de capacité (sans relation stock-recrutement). Les optimums des indicateurs sont en gras.

Multiplicateur	Revenu total pêcherie	VAN nette de subv.	Profit	Rente	Revenu Etat	Revenu Travail
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,1	84,8	63,4	26,5	23,6	-2,9	39,8
0,2	148,5	105,9	44,3	38,5	-5,8	67,3
0,3	198,3	134,7	56,3	47,7	-8,6	86,9
0,4	238,4	153,9	64,4	52,9	-11,5	101,0
0,5	271,5	166,2	69,4	55,1	-14,3	111,1
0,6	299,1	173,2	72,2	55,0	-17,2	118,1
0,7	322,5	176,1	73,2	53,2	-20,0	122,8
0,8	342,6	175,7	72,9	50,0	-22,8	125,6
0,9	360,0	172,8	71,4	45,7	-25,6	126,9
1	375,1	167,8	68,9	40,5	-28,4	127,1
2	460,9	55,9	16,8	-39,0	-55,8	94,5
3	495,7	-98,9	-55,3	-137,4	-82,0	38,0

(Unités : milliards de FCFA)

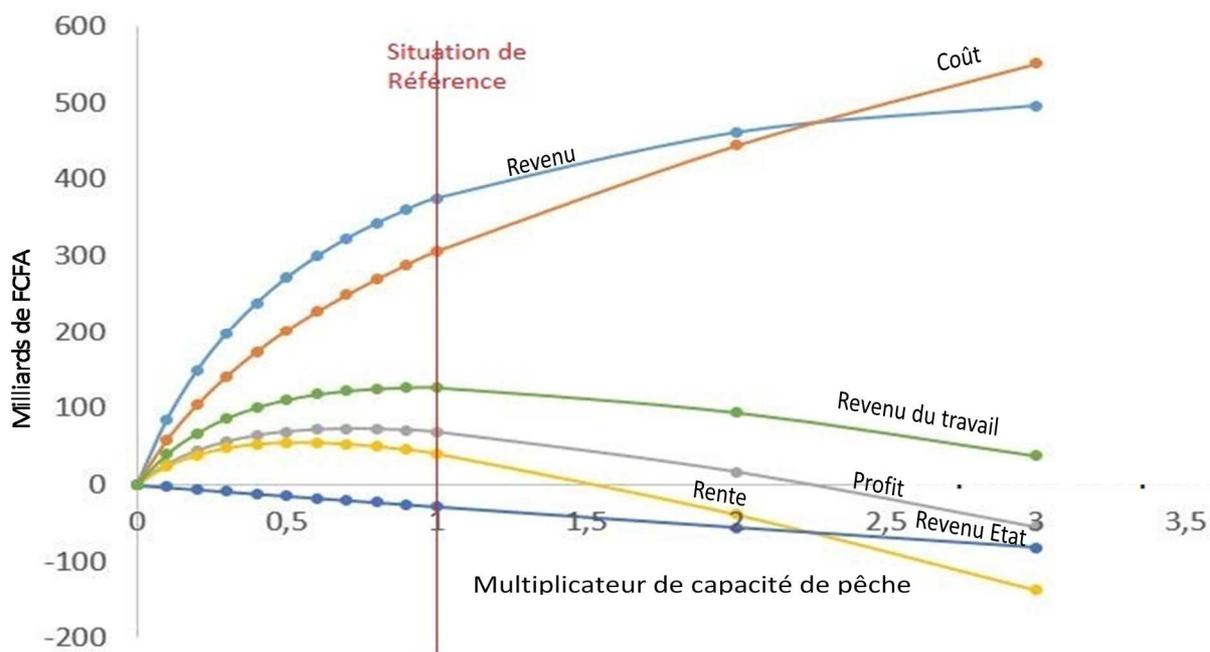


Figure 4.13 : Evolution de quelques indicateurs de la pêche en fonction d'un multiplicatif d'effort (sans relation stock-recrutement)

Il est important de rappeler en conclusion de ce paragraphe que ces résultats reposent, d'une part sur les hypothèses de départ de ces simulations, notamment l'absence de relation stock recrutement, d'autre part sur l'emploi d'une seule variable de contrôle qui est la capacité de pêche. Dans la suite de ce travail les scénarios produits permettront de mettre en œuvre simultanément plusieurs variables de contrôle, entre autres celles relatives aux soutiens financiers de l'Etat au secteur de la pêche.

4.10 Reconsidération des hypothèses initiales

4.10.1 Dynamique endogène de la capacité de pêche

On suppose ici que la capacité de pêche, s'ajuste chaque année en fonction des fonctions du profit réalisé au cours de l'année précédente. En cas de profit positif, 30 % du profit est utilisé pour l'achat de nouvelles unités. Le prix d'achat d'une unité est estimé à 20 millions de FCFA pour l'unité de pêche à la senne tournante et à 10 millions pour l'unité de pêche au filet maillant encerclant. A l'inverse, lorsque le profit est négatif on considère que le désinvestissement est plus lent. Dans les faits la dynamique endogène peut être freinée par diverses contraintes. On peut citer notamment la capacité d'accueil des principaux centres de débarquement (Joal, Mbour, Hann, Kayar, Saint-Louis), qui tend à être saturée lors des périodes d'abondance des captures, même si les aménagements ont été réalisés pour faciliter la mise en marché des produits (quais de débarquement, aires de stationnement des véhicules des commerçants).

4.10.2 Croissance de l'efficacité technique

Trois éléments contribuent logiquement à l'accroissement de la capturabilité des unités de pêche, pour les sennes tournantes :

- a. Changement de taille de la senne, en 1990 sa longueur était de 400 pour une chute de 40 m. Aujourd'hui, certaines sennes tournantes atteindraient 1 km de longueur. Doubler la longueur d'une senne multiplie par 4 le volume d'eau encerclé par l'engin, ce qui, toutes choses égales par ailleurs, revient à augmenter du même facteur la capturabilité de l'engin de pêche.
- b. Taille et capacité des pirogues : on a observé une tendance à l'augmentation de la capacité de charge des pirogues. Dans les années 1990, seules quelques pirogues de la Petite Côte dépassaient 20 t de capacité de charge, Aujourd'hui la majorité des pirogues porteuses de poisson atteignent ou dépassent cette capacité, même sur la Grande Côte où elles étaient habituellement de taille plus réduite en raison des conditions de mer plus difficiles.
- c. Augmentation de la puissance des moteurs : dans les années 1990 de nombreuses unités utilisaient des moteurs de 25 cv, et les mieux équipées des moteurs de 40 cv. L'emploi de ces derniers s'est généralisé au début des années 2000. Aujourd'hui les unités les mieux équipées utilisent des moteurs de 70 cv.

Pour les UP au FME, il n'est pas mentionné de changements aussi importants de leurs caractéristiques. Sur la base des éléments précédents nous proposons d'appliquer une tendance de capturabilité croissante de 2 % par an pour la senne tournante et de 1 % pour le filet maillant encerclant.

4.10.3 Prise en compte de l'incertitude environnementale

Pour les petits pélagiques des travaux déjà anciens ont démontré l'influence des conditions environnementales sur l'abondance et donc sur les résultats de la pêche [8]. Au Sénégal le facteur environnemental principal est la variabilité de l'upwelling saisonnier qui atteint son maximum d'intensité de février à mai et son minima en août-septembre [10], L'intensité de l'upwelling présente par ailleurs une forte variabilité interannuelle. Cette variable sera prise en compte par l'introduction de variables stochastiques.

4.10.4 Existence d'une relation stock recrutement

On a introduit une relation stock recrutement pour l'espèce principale (sardinelle ronde) de la forme présentée précédemment. On a considéré que le seuil à partir duquel le recrutement diminue se situe à 40 % de la biomasse vierge soit 160 000 t. L'introduction de cette modification conduit à une modification de la relation effort-revenu par comparaison avec celle obtenue dans la simulation sans relation stock-recrutement (figure 4.14). Le revenu (ou encore la capture) est maximal lorsque le

multiplicateur de capacité de pêche est égal à 2. Par contre, les valeurs du multiplicateur permettant d'atteindre les différents optimum économiques (profit, rente, VAN, revenu du travail) ne sont pas affectées par l'introduction de la relation stock-recrutement (tableau 4-2). On observe cependant que l'équilibre de libre accès, tant en termes de profit que de valeur ajoutée, se situe désormais au-delà du maximum de revenu. L'introduction de la relation stock-recrutement conduirait par contre à des résultats très différents de la simulation sans relation stock-recrutement si des changements importants des paramètres économiques (augmentation des prix et / ou baisse des coûts) conduisent à la possibilité d'une hausse importante de la capacité de pêche. L'effet de seuil lié à la relation stock-recrutement est visible dans la relation entre biomasse de sardinelles et multiplicateur de capacité pour laquelle une nette rupture de pente apparaît lorsque la valeur du multiplicateur est supérieure à 1 (figure 4.15).

Tableau 4-2 : Evolution de quelques indicateurs actualisés en fonction d'un multiplicatif de capacité dans un contexte de relation stock-recrutement.

Multiplicateur	Revenu total pêche	VAN	Profit	Rente	Revenu Etat	Revenu travail
0	0	0	0	0	0	0
0,1	85,04	63,61	26,59	23,7	-2,89	39,89
0,2	148,77	106,14	44,38	38,62	-5,769	67,5
0,3	198,6	134,96	56,43	47,79	-8,637	87,13
0,4	238,7	154,2	64,44	52,94	-11,49	101,2
0,5	271,68	166,44	69,48	55,14	-14,34	111,23
0,6	299,26	173,39	72,25	55,08	-17,18	118,22
0,7	322,64	176,24	73,27	53,26	-20	122,88
0,8	342,69	175,87	72,87	50,06	-22,82	125,7
0,9	360,05	172,9	71,35	45,73	-25,62	127,05
1	375,23	167,84	68,89	40,48	-28,41	127,22
2	460,01	55,03	16,32	-39,43	-55,75	94,18
3	337,01	-234,23	-117,77	-196,69	-78,92	-37,97
4	283,5	-439,65	-215,29	-315,33	-100,04	-124,88

(Unités : milliards de FCFA ; Les optimums des indicateurs sont en gras.)

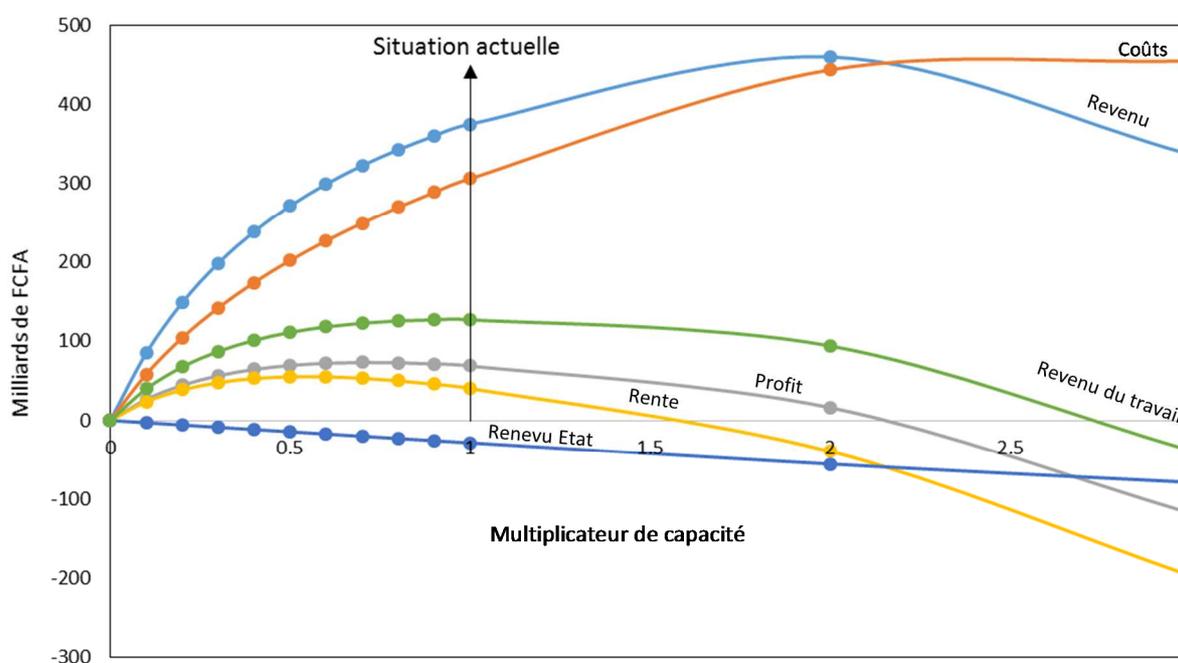


Figure 4.14 : Evolution de quelques indicateurs actualisés en fonction d'un multiplicatif de capacité avec une relation stock-recrutement

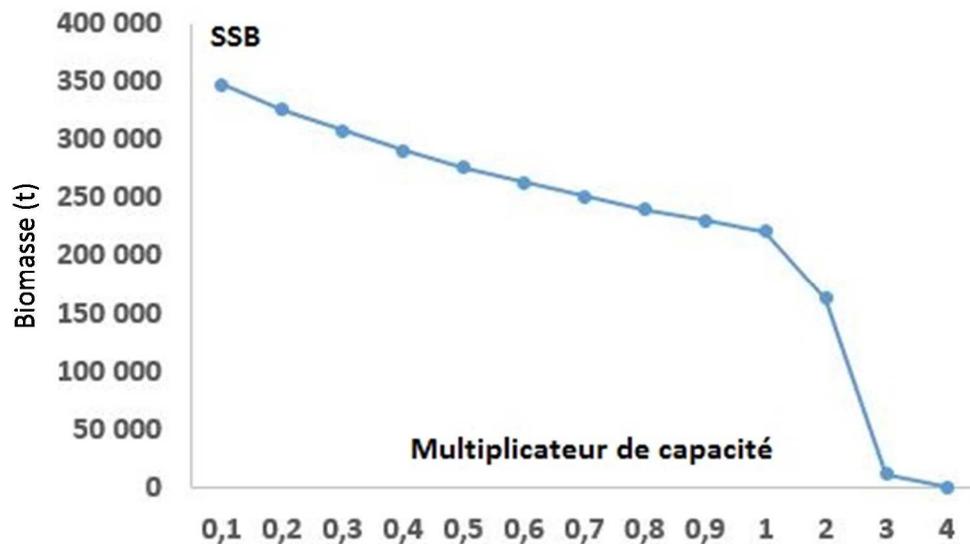


Figure 4.15 : Evolution de la biomasse de sardinelle ronde (tonnes) en fonction d'un multiplicatif de capacité de pêche

4.11 Conclusion

Les connaissances acquises sur la pêche artisanale de petits pélagiques nous ont permis de concevoir un modèle bioéconomique de la pêche de sardinelles au Sénégal. A travers ce modèle, nous avons pu reconstituer la biomasse et les captures qui sont très proches des captures réalisées. Les comptes d'exploitations des unités de pêche ont pu être reconstitués et les indicateurs économiques actualisés tels que la rente, la VAN, le revenu du travail ont été estimés. Les optimums économiques mettent en évidence une situation de surcapacité dans la pêche de sardinelles quelles que soient les hypothèses initiales des simulations. Pour optimiser la rente, il serait nécessaire, dans le cadre de ce modèle, de réduire la capacité de pêche de 50 %. Dans le chapitre qui suit, nous testerons l'effet de facteurs externes et de politiques de gestion sur la pêche à travers des simulations prospectives et d'autres normatives.

CHAPITRE 5: LES SCENARIOS DE GESTION DE LA PECHERIE DE SARDINELLES AU SENEGAL

5.1 Introduction

Comme nous l'avons montré dans le chapitre 2, la gestion de la pêche artisanale au Sénégal ne semble pas être définie et appliquée par une politique claire. L'Etat du Sénégal subventionne la pêche pour développer le secteur et contribuer à la sécurité alimentaire d'une part et, d'autre part, il manifeste la volonté de maîtriser voire réduire la capacité de pêche. De plus, l'Etat du Sénégal mène une politique de protection des ressources par une gestion spatiale en mettant en place des aires marine protégées dans des zones considérées comme sensibles pour les ressources. Ces différentes politiques peuvent avoir des impacts très différents voire contradictoires sur la pêche.

De nos jours, l'ouverture vers le marché international tel que la zone CEDEAO de plus en plus demandeuse de produits halieutiques pourrait avoir une influence sur l'offre et les prix des produits sur le plan national. Les variations du prix du pétrole, non contrôlées par l'Etat, peuvent avoir de grandes influences sur la pêche, le carburant fait partie des postes les plus coûteux de la pêche de sardinelles.

Dans ce chapitre nous allons simuler l'impact de ces différents facteurs sur la dynamique de la pêche de sardinelles. Les réactions du modèle seront étudiées sur le court terme avec les résultats courants et sur le long terme avec les résultats actualisés. Enfin, selon les scénarios, l'optimum de chaque indicateur sera déterminé. L'optimum d'un indicateur correspond ici à sa valeur maximale en fonction du multiplicateur de capacité de pêche.

5.2 Définition des scénarios

Les scénarios qui suivent seront définis en scénarios prospectifs (prenants en compte les facteurs exogènes) et en scénarios normatifs (prenants en compte les mesures de gestion). Tous les scénarios seront présentés en premier lieu dans un environnement déterministe et en second lieu dans un environnement stochastique.

Les impacts des facteurs exogènes tels que les prix au débarquement et du carburant seront étudiés dans les scénarios prospectifs. Les impacts des décisions de l'Etat sur les subventions, la mise en place d'AMP et l'augmentation de la taxe (licence) seront étudiés dans les scénarios normatifs. L'impact de la combinaison de plusieurs facteurs (exogène et endogène) sera étudié dans les scénarios « mixtes ».

L'impact de ces facteurs sera observé sur différents indicateurs tels que : la biomasse totale (sardinelle ronde + sardinelle plate), la flotte active, le revenus de la pêche, le coût total de la pêche, le profit, la rente, la valeur actuelle nette, nette de subvention et le revenu du travail.

Le scénario de référence retenu ici prend en compte l'existence d'une relation stock-recrutement pour la sardinelle ronde avec un seuil de 40 % de la biomasse vierge.

5.3 Simulation de la pêche en environnement certain

Les simulations dans un environnement certain sont effectuées dans un contexte où tous les paramètres du modèle sont fixés au départ de la simulation.

5.3.1 Scénario de référence

Les paramètres biologiques et économiques de la simulation de référence sont présentés à l'annexe 5.

Les prix des espèces au débarquement et le prix du carburant sont supposés constants et ne varient pas au cours de la simulation.

Tableau 5-1 : Résumé des paramètres prise en compte pour le scénario de référence

	Capacité de pêche	Subvention Carburant	Subvention Coûts fixes	Subvention totale	Relation stock-recrutement	Prix des débarquements	Prix du carburant
Scénario de référence (SR)	Endogène (Accès libre)	Oui	Oui	Oui	Oui, seuil de 40 % de la biomasse vierge (sardinelle ronde)	Prix constant	Prix constant

5.3.1.1 Situation de référence et conséquences d'un statu quo de 40 ans sur la pêche de sardinelles au Sénégal

Dans ce travail, le « *statu quo* » peut être assimilé à l'absence de réglementations futures ou bien tout simplement « si rien n'est fait¹¹ ».

Les conséquences du *statu quo* sont étudiées sur les indicateurs biologiques (biomasse), de capacité de pêche (flotte active) et économiques (rente, revenu totale de la pêche, coût total de la pêche, profit, rémunération du travail et valeur ajoutée nette).

5.3.1.1.1 Effet du *statu quo* sur la biomasse et sur la flotte active

On constate que la tendance de la biomasse totale (sardinelle ronde+ sardinelle plate) est décroissante au cours de la simulation avec une stabilisation au bout de 20 ans dans un contexte d'accès libre de la pêche artisanale. Entre la première et la trentième année de simulation, 25 % de la biomasse a été perdue (figure 5.1). Cette diminution de la biomasse est plus rapide au cours des 20 premières années de simulation. Ceci est principalement dû à la croissance rapide du parc piroguier et de la flotte active (figure 5.2) qui se stabilise au bout d'une quinzaine d'années pour connaître ensuite une croissance très lente. Cette croissance est principalement observée pour les sennes tournantes dont l'effectif double sur cette même période. Pour les filets maillants encerclants, on observe une décroissance de leur activité au cours du temps, leur effectif est divisé par plus de six au cours de la simulation.

¹¹ Ce qui correspond aux scénarios « Business As Usual » de la littérature anglo-saxonne

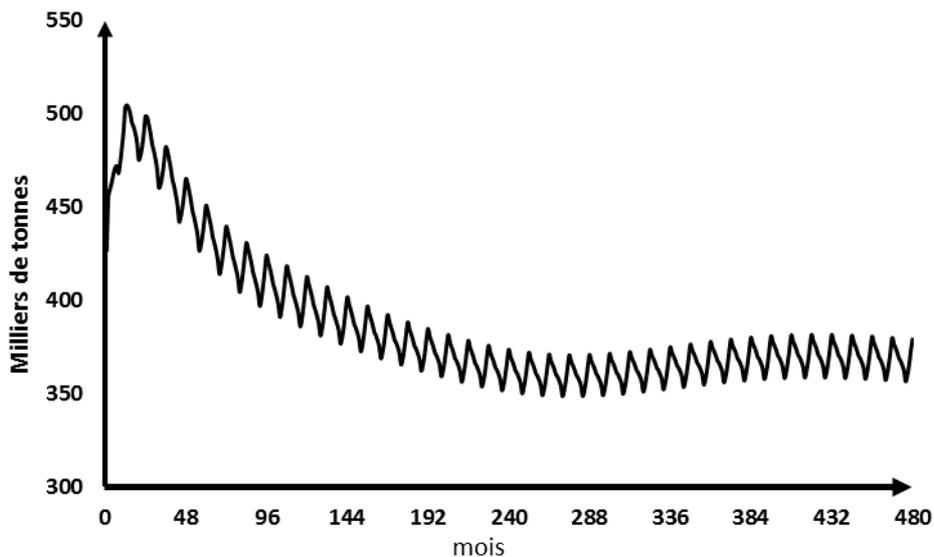


Figure 5.1 : Evolution de la biomasse totale de sardinelles au cours du temps en mois selon la situation de référence

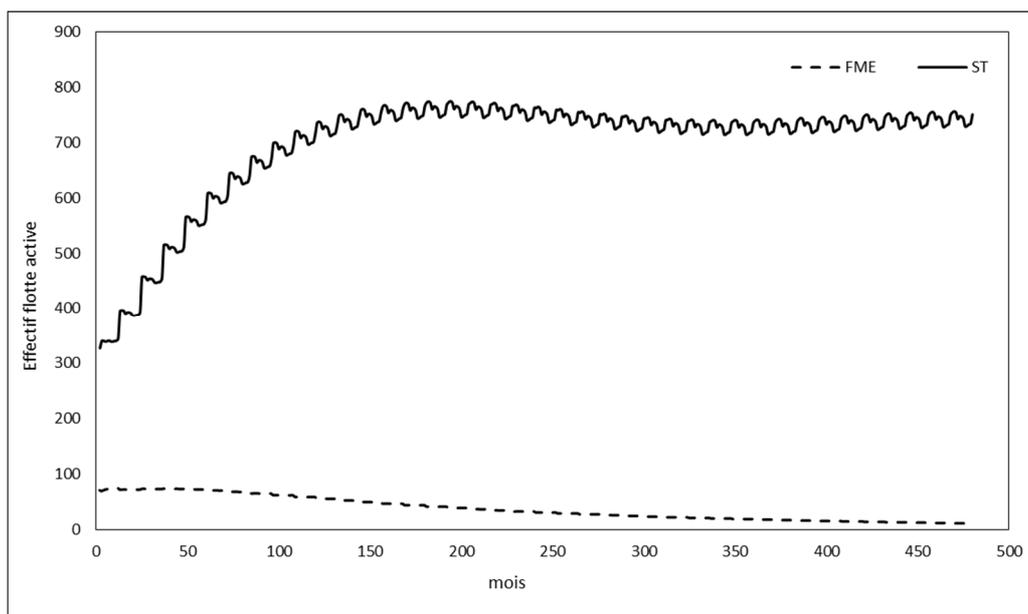


Figure 5.2 : Evolution de l'effectif de la flotte active au cours du temps en mois dans la pêcherie de sardinelles

5.3.1.1.2 Effet du *statu quo* sur les indicateurs économiques actualisés

Le *statu quo* (situation de libre accès dans la pêcherie) conduit à un équilibre à 2,2 fois la capacité de pêche actuelle (multiplicateur de capacité égale à 1). L'activité de pêche est maintenue dans ce cas jusqu'à ce que le revenu total soit égal au coût total de la pêcherie. Ce qui correspond à l'équilibre de libre accès avec un profit nul et une rente négative (-60 milliards de FCFA). L'écart entre la rente et le profit étant égal aux aides distribuées par l'Etat à la pêche. Les indicateurs tels que la VAN et le revenu du travail restent positifs à l'équilibre de libre accès (figure 5.3).

Le *statu quo* conduit à un revenu total supérieur à la situation de référence (lorsque le multiplicateur de capacité est égal à 1). Le niveau de revenu atteint dans la situation de *statu quo* pour un multiplicateur de capacité égale à 2,2 (450 milliards de FCFA) est nettement supérieur au maximum pouvant être atteint avec un multiplicateur de capacité égal à 1 (375 milliards de FCFA). Pour les indicateurs tels que la VAN, la rente, le profit et le revenu du travail, les résultats sont meilleurs avec un multiplicateur de capacité égal à 1.

Pour ce qui s'agit des optima, on observe que le niveau maximum de revenu total pouvant être atteint (460 milliards de FCFA) est largement supérieur à celui de la situation de référence. Ce qui suppose que la pêche n'a pas atteint son MSY et n'est pas biologiquement surexploitée. Pour atteindre le MSY, il sera nécessaire de doubler la capacité de pêche (figure 5.3).

La pêche est cependant économiquement surexploitée. En effet la rente actuelle (40,5 milliards de FCFA) est inférieure au maximum pouvant être atteint (55,1 milliards de FCFA) correspondant au MEY. La rente maximale est atteinte à 0,5 fois la capacité de pêche actuelle (figure 5.3 b).

L'optimum de profit (73,3 milliards de FCFA) de la pêche est atteint avec une diminution de 30 % de la capacité de pêche. Le profit reste cependant positif (69 milliards de FCFA) dans la situation de référence.

Concernant la contribution de la pêche à l'économie nationale, estimée à partir de la VAN nette de subvention, son maximum (176,2 milliards de FCFA) est atteint à 80 % de la capacité de pêche de référence (figure 5.3 b). Pour l'optimiser, il serait donc nécessaire de diminuer de 20 % la capacité de pêche de référence.

Le revenu du travail, correspondant aux salaires des pêcheurs pris dans sa globalité est à son niveau optimal (figure 5.3 b) pour la capacité de pêche de référence.

Si l'objectif premier de la pêche est la réduction de la pauvreté au sein de la pêche, il semble alors que la situation de référence soit la préférable, tout en assurant un profit suffisant aux armateurs. Cette situation coûte cependant au reste de la collectivité sous la forme d'un déficit de revenus de l'Etat égal à 28 milliards de FCFA. Par contre, si l'on cherche à maximiser la contribution du secteur à la réaction de richesse (PIB), il convient alors maximiser la VAN. Enfin si l'objectif est de garantir une rémunération maximale des investisseurs privés (armateurs) une réduction de 30 % s'impose sur la capacité de pêche (figure 5.3 b et tableau 5-2).

Tableau 5-2 : Optimum et variations des indicateurs économiques actualisés en fonction d'un multiplicateur de capacité de pêche.

Multiplicateur de capacité	Revenu total pêche	VAN	Profit	Rente	Revenu Etat	Revenu travail
0	0	0	0	0	0	0
0.1	85.04	63.61	26.59	23.7	-2.89	39.89
0.2	148.77	106.14	44.38	38.62	-5.769	67.5
0.3	198.6	134.96	56.43	47.79	-8.637	87.13
0.4	238.7	154.2	64.44	52.94	-11.49	101.2
0.5	271.68	166.44	69.48	55.14	-14.34	111.23
0.6	299.26	173.39	72.25	55.08	-17.18	118.22
0.7	322.64	176.24	73.27	53.26	-20	122.88
0.8	342.69	175.87	72.87	50.06	-22.82	125.7
0.9	360.05	172.9	71.35	45.73	-25.62	127.05
1	375.23	167.84	68.89	40.48	-28.41	127.22
2	460.01	55.03	16.32	-39.43	-55.75	94.18
3	337.01	-234.23	-117.8	-196.7	-78.92	-37.97
4	283.5	-439.65	-215.3	-315.3	-100.04	-124.88

(Unités : milliards de FCFA ; Les optimums des indicateurs sont en gras.)

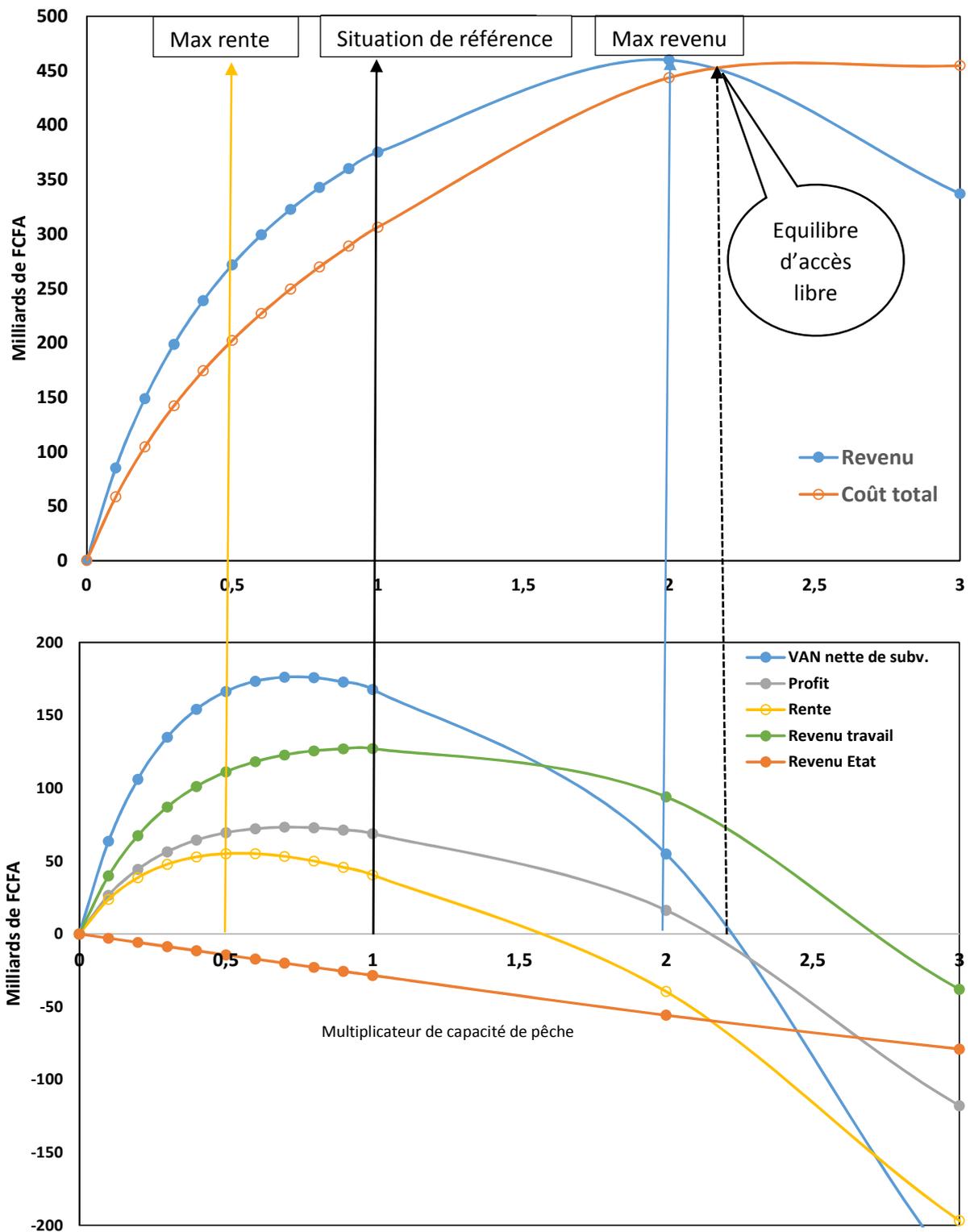


Figure 5.3 : Evolution des coûts et des revenus et de quelques indicateurs économiques de la pêche en fonction du multiplicateur de capacité de pêche (avec une relation stock-recrutement)

5.3.2 Scénarios prospectifs

Ce sont des scénarios qui prennent en compte les changements des paramètres exogènes à la pêcherie. Il s'agit ici des paramètres qui ne peuvent pas être contrôlés par les acteurs de la pêcherie de sardinelles dans un contexte d'ouverture mondiale. Dans ces scénarios nous allons tester les impacts de la variation du prix du carburant et/ou du prix au débarquement. Trois scénarios sont proposés.

Scénario 1 : Ici seul les prix des sardinelles changent. On applique une croissance annuelle de 2 % par année aux prix initiaux de la sardinelle ronde et de la sardinelle plate.

Scénario 2 : Seul le prix du carburant change ici. On applique une croissance annuelle moyenne de 5 % par année au prix initial du carburant.

Scénario 3 : On combine les scénarios 1 et 2 dans ce cas. On applique une croissance annuelle moyenne de 2 % par année au prix des sardinelles et une croissance annuelle moyenne de 5 % par année au prix du carburant.

Pour tous les scénarios on présente l'effet des changements sur l'ensemble des variables de sorties du modèle discutées plus haut.

Tableau 5-3 : Résumé des paramètres pris en compte pour les scénarios prospectifs

	Capacité de pêche	Subvention sur les coûts fixes	Subvention sur le carburant	Subvention totale	Relation stock-recrutement	Prix au débarquement	Prix du carburant
Scénario de référence ou scénario 0	endogène	Oui	Oui	Oui	Oui au seuil de 40 % de la biomasse vierge (sardinelle ronde)	Prix constant actuel	Prix constant actuel
Scénario 1 (S1)	endogène	Oui	Oui	Oui	Oui au seuil de 40 % de la biomasse vierge (sardinelle ronde)	Croissance annuelle moyenne de 2 %	Prix constant actuel
Scénario 2 (S2)	endogène	Oui	Oui	Oui	Oui au seuil de 40 % de la biomasse vierge (sardinelle ronde)	Prix constant actuel	Croissance annuelle moyenne de 5 %
Scénario 3 (S3)	endogène	Oui	Oui	Oui	Oui au seuil de 40 % de la biomasse vierge (sardinelle ronde)	Croissance annuelle moyenne de 2 %	Croissance annuelle moyenne de 5 %

5.3.2.1 La trajectoire de la pêcherie selon les scénarios prospectifs

5.3.2.1.1 Evolution de la biomasse et de la flotte active

La trajectoire de la biomasse change très différemment selon les scénarios (figure 5.5 a). La comparaison avec le scénario de référence montre qu'une augmentation de 2 % du prix baisse de 75 % la biomasse en fin de simulation.

L'augmentation du prix du carburant de 5 % par an a un effet positif sur la biomasse, elle entraîne une augmentation de la biomasse de 143 % en fin de simulation.

La combinaison des scénarios 1 et 2 c'est-à-dire une augmentation du prix du carburant et des prix au débarquement conduit à une tendance similaire à la situation de référence et une baisse de 11 % de la biomasse en fin de simulation.

La réaction de la flotte active est différente selon ces différents scénarios (figure 5.4 b). Le scénario 1 (augmentation des prix au débarquement de 2 % par an) conduit à une augmentation de 47 % de la flotte active. Le scénario 2 (augmentation du prix du carburant de 5 % par ans) conduit à la baisse de 95 % de la flotte active. La combinaison des deux scénarios conduit à un résultat similaire à la situation de référence.

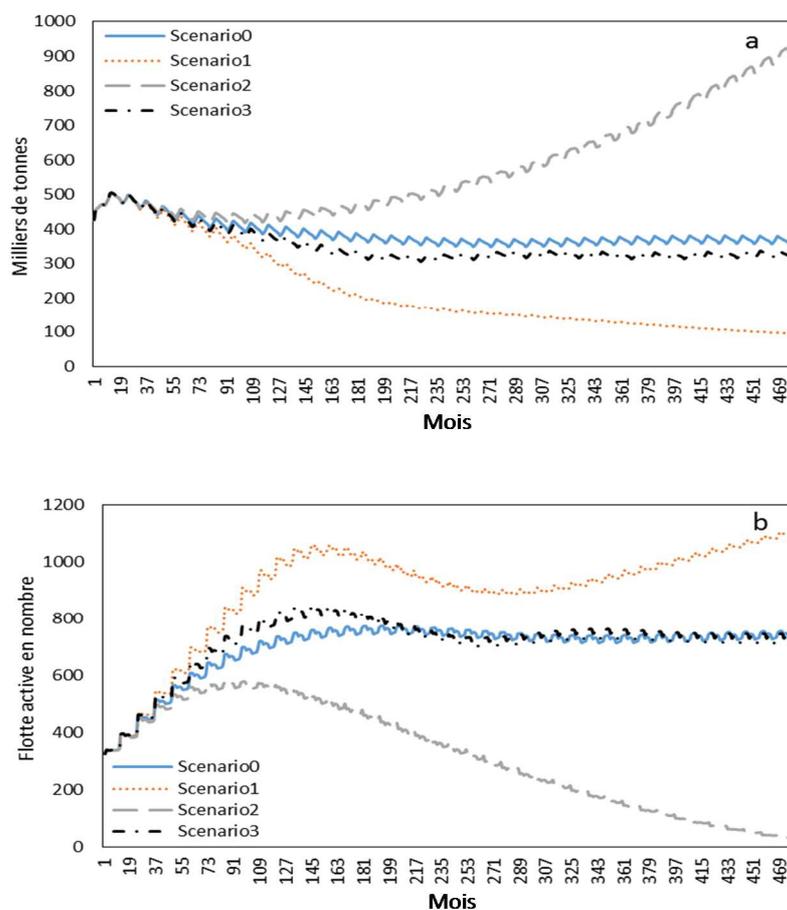


Figure 5.4 : Evolution de la biomasse (a) et de la flotte active (b) selon les scénarios prospectifs

5.3.2.1.2 Evolution des indicateurs économiques courants selon les scénarios prospectifs

Le comportement du revenu total de la pêche selon les différents scénarios prospectifs est très différent (figure 5.5 a). Pour une augmentation de 2 % par an des prix au débarquement (scénario 1), le revenu total conduit une hausse de 40 % pour les 10 premières années et puis une baisse pour presque atteindre le niveau de revenu du scénario de référence au bout de la vingtième année d'exploitation. A partir de là, il augmente jusqu'à la dernière année de simulation pour atteindre 1,7 fois le revenu de la situation de référence.

Une augmentation du prix de carburant de 5 % par an (scénario 2) conduit par contre le revenu à un niveau très faible en fin de simulation (baisse de 90 % par rapport à la situation de référence). La combinaison des deux scénarios, c'est-à-dire une augmentation des prix au débarquement et du prix du carburant conduit à une amélioration du revenu de la pêche (multiplication du revenu par cinq par rapport à la situation de référence).

Le comportement du coût total de la pêche est similaire à celui du revenu total de la pêche quel que soit les scénarios simulés (figure 5.5 b).

Le comportement du profit (figure 5.5 c) est cependant très différent de celui des indicateurs cités plus haut. Avec une augmentation des prix au débarquement, le profit devient nul au bout de 12 ans d'exploitation et reste encore négatif pendant dix ans. Il redevient ensuite positif et atteint en fin de simulation 1,4 fois le profit de référence. L'augmentation du prix du carburant de 5 % par an, conduit à un profit nul au bout de 8 ans d'exploitation. Le profit reste négatif tout au long de la simulation.

La combinaison des deux scénarios conduit à un profit très variable dans le temps. Il tend vers zéro comme celui de la situation de référence.

L'impact des scénarios sur le revenu du travail est très différent (figure 5.5 d). Il reste positif pour tous les scénarios excepté lorsque le coût du carburant augmente de 5 % par an. Le revenu des pêcheurs croît avec une augmentation du prix des produits. Il reste cependant variable au cours du temps et n'atteint pas une situation de stabilité au cours des quarante ans simulés. Le revenu du travail le plus élevé est obtenu avec l'augmentation des prix. Cependant le revenu le plus stable est observé avec la situation de référence. L'augmentation de carburant de 5 % entraîne une perte de revenu des pêcheurs au bout de vingt ans d'exploitation. Ceci démontre encore une fois l'importance du carburant dans le poste budgétaire de cette pêche. Le troisième scénario (augmentation du carburant à 5 % par an accompagné d'une augmentation des prix au débarquement de 2 % par an) met en évidence une variabilité du revenu moins contrastées que dans le cas précédent. Le revenu du travail devient stable au bout de trente ans et se retrouve au niveau de la valeur de référence. Il est donc observé un effet de compensation due à l'augmentation des prix au débarquement. Les deux situations stables et durables dans le temps semblent donc être celle de référence et celle avec augmentation simultanée du carburant et des prix au débarquement.

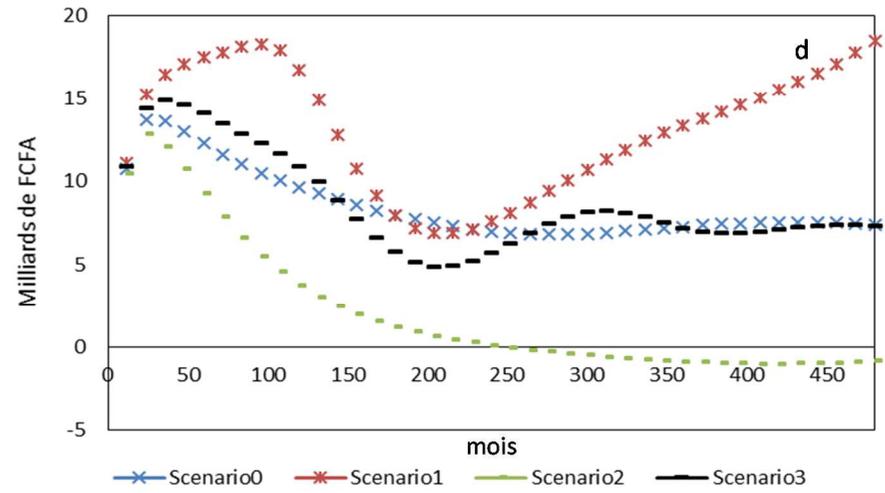
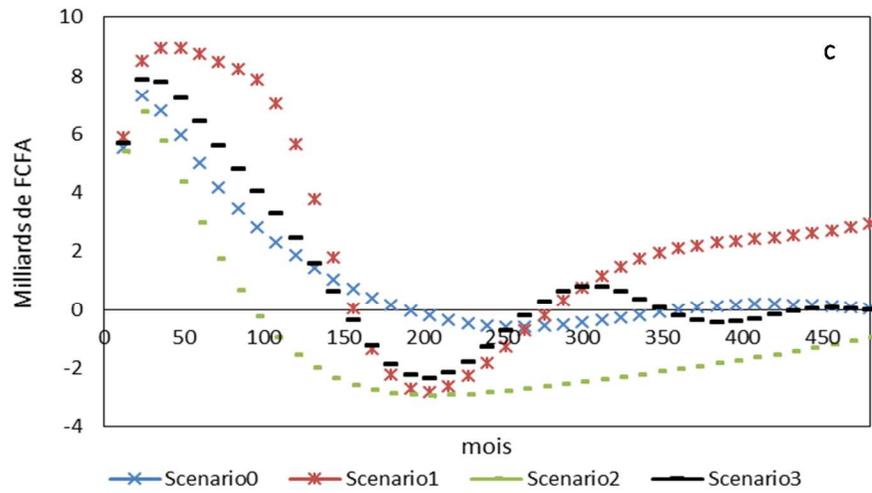
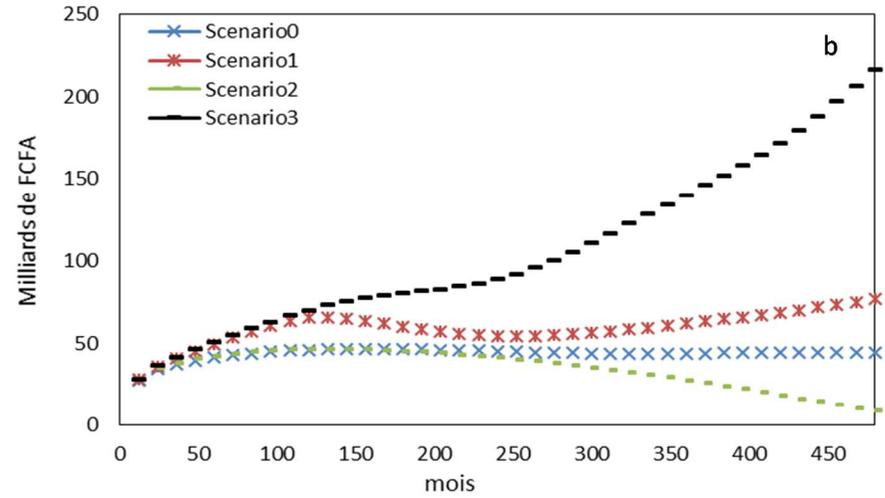
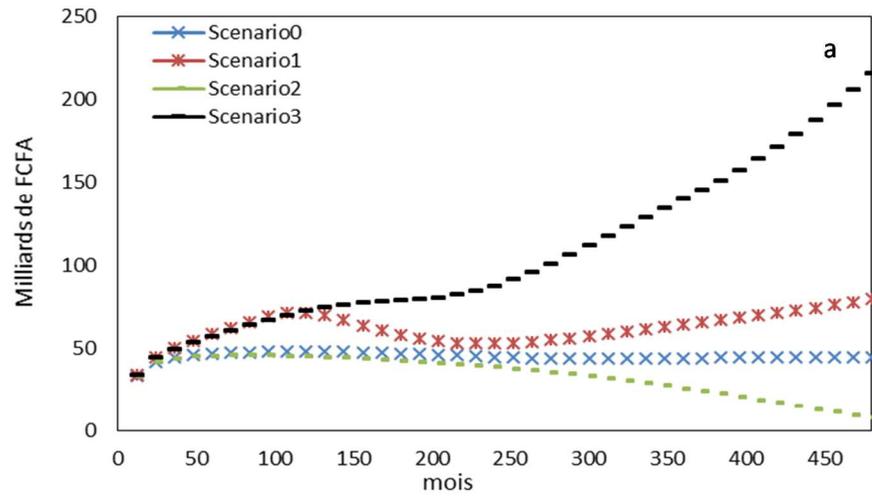


Figure 5.5 : Evolution des indicateurs économiques courants selon les scénarios prospectifs en fonction du temps (mois): revenu ou chiffre d'affaire (a), coût (b), profit (c) et revenu du travail (d)

5.3.2.2 Les optimums selon chaque scénarios prospectifs

5.3.2.2.1 Scénario 1

On constate qu'une augmentation de 2 % par an des prix au débarquement double la rente actualisée (81 milliards de FCFA) par rapport à la situation de référence c'est-à-dire pour un multiplicateur de capacité de pêche égal à un (40,9 milliards de FCFA) en quarante ans d'exploitation. Toutefois la pêcherie reste économiquement surexploitée car l'optimum de la rente pour le scénario 1 est de 89 Milliards de FCFA et pour l'atteindre il sera nécessaire de baisser de 30 % la capacité de pêche (tableau 5-4).

Le profit des armateurs s'est lui aussi augmenté de 60 % par rapport à la situation de référence en passant de 69 à 110 milliards de FCFA en quarante ans d'exploitation. L'optimum du profit montre par contre une surcapacité car il est de 111 milliards de FCFA et pour l'atteindre dans ces conditions il sera nécessaire de réduire la capacité de pêche de 10 % (tableau 5-4).

Le revenu des pêcheurs reste toujours optimal pour un multiplicateur de capacité de pêche égal à un mais montre une augmentation en passant de 127 à 180 milliards de FCFA soit 42 % par rapport au scénario de référence.

Pour revenu de l'Etat, on n'observe pas d'optimum et il reste négatif quel que soit le multiplicateur de capacité. L'augmentation de la capacité de augmente d'avantage les pertes de l'Etat. L'augmentation du prix au débarquement de 2 % fait perdre d'avantage à l'Etat (29 Milliards) comparait au scénario de référence (28 Milliards).

La VAN connaît une croissance de 44 % par rapport à la situation actuelle en passant de 168 à 262 Milliards de FCFA en quarante ans d'exploitation. L'optimum de la VAN (264 milliards de FCFA) peut être atteint avec une baisse de 10 % de la capacité de pêche (tableau 5-4).

Tous les indicateurs économiques actualisés traités dans ce cas montrent une surcapacité dans la pêcherie excepté l'emploi (figure 5.6). De plus, le revenu maximum qu'on peut tirer de la pêcherie n'est pas atteint, il correspond à deux fois la capacité actuelle.

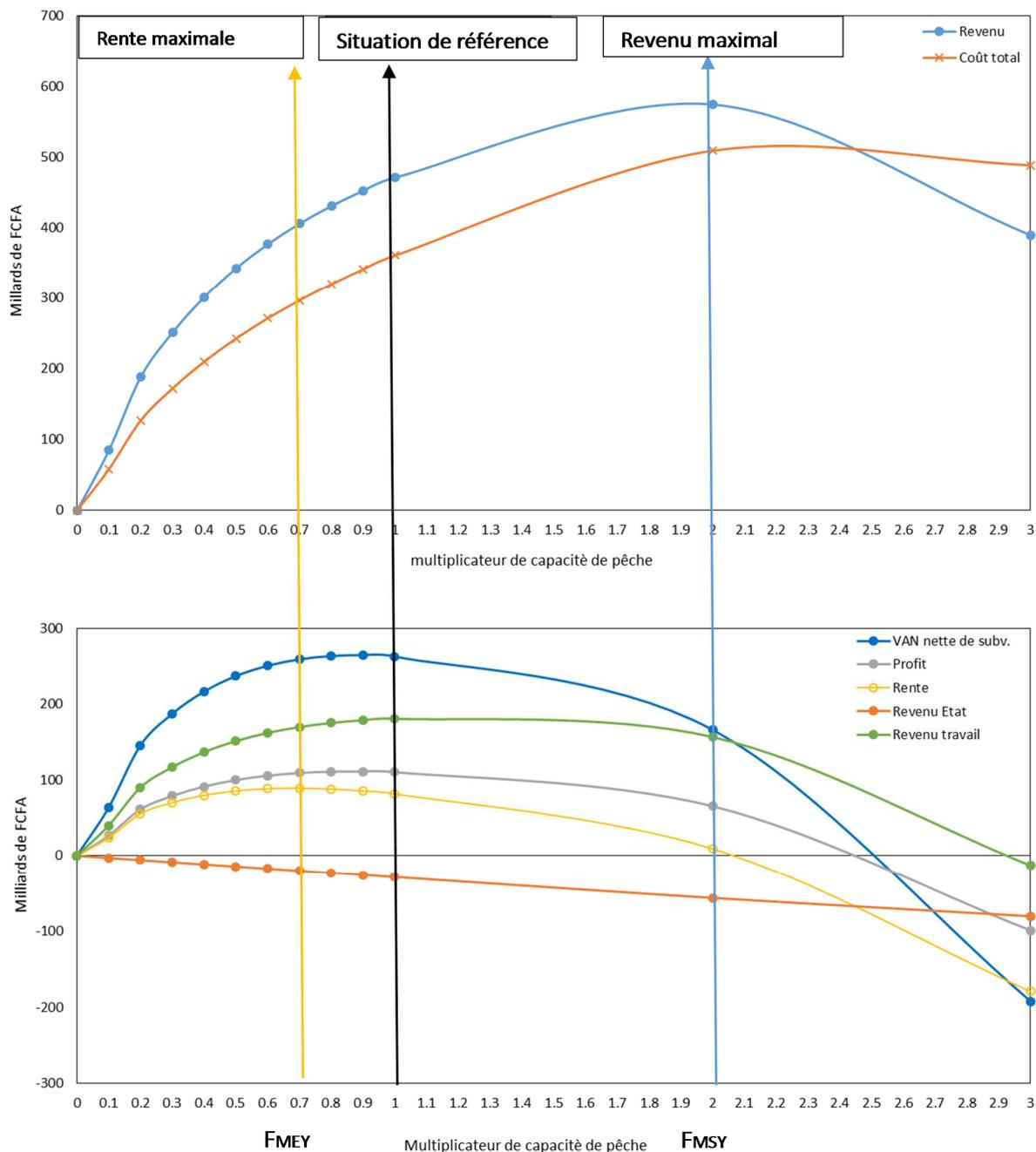


Figure 5.6 : Modèle bioéconomique dans le cas d'une croissance annuelle de 2 % des prix au débarquement. Les indicateurs sont actualisés et représentés en fonction du multiplicateur de capacité de pêche

5.3.2.2.2 Scénario 2

On constate qu'une augmentation du prix du carburant de 5 % par an dissipe la rente actualisée (-6 milliards de FCFA) par rapport à la situation de référence (40,48 milliards de FCFA) en quarante ans d'exploitation. L'optimum de la rente baisse et devient égal à 33 milliards de FCFA. Par rapport au niveau de capacité actuelle, la pêche est en situation de surcapacité. Pour atteindre l'optimum, il serait nécessaire de baisser de 60 % la capacité de pêche (tableau 5-4).

Le profit des armateurs est réduit de 60 % par rapport à la situation de référence en passant de 69 à 21 milliards de FCFA en quarante ans d'exploitation. L'optimum du profit montre par contre une surcapacité car il est de 44,5 milliards de FCFA et pour l'atteindre dans ces conditions il sera nécessaire de réduire la capacité de pêche de 50 %.

Le revenu des pêcheurs s'est aussi drastiquement réduit, passant de 127 à 62 Milliards de FCFA soit 50 % de réduction. L'optimum est de 77 Milliards de FCFA et pour l'atteindre il sera nécessaire de réduire de 40 % la capacité de pêche.

L'Etat continue à perdre environ 28 milliards de FCFA à travers les subventions et l'augmentation de la capacité de pêche accentue les pertes.

La VAN connaît une baisse de 60 % par rapport à la situation de référence en passant de 168 à 70 Milliards de FCFA en quarante ans d'exploitation. L'optimum de la VAN (113 milliards de FCFA) peut être atteint avec une baisse de 50 % de la capacité de pêche.

Tous les indicateurs économiques actualisés (figure 5.7) traité dans ce cas montrent une surcapacité dans la pêcherie. De plus, le revenu maximum qu'on peut tirer de la pêcherie ne pourrait pas être atteint en raison du coût très élevé de la pêche. Alors que le maximum de revenu se situe à deux fois la capacité de pêche actuelle, l'équilibre bioéconomique (profit nul) est atteint avec une augmentation de 20 % de la capacité de pêche.

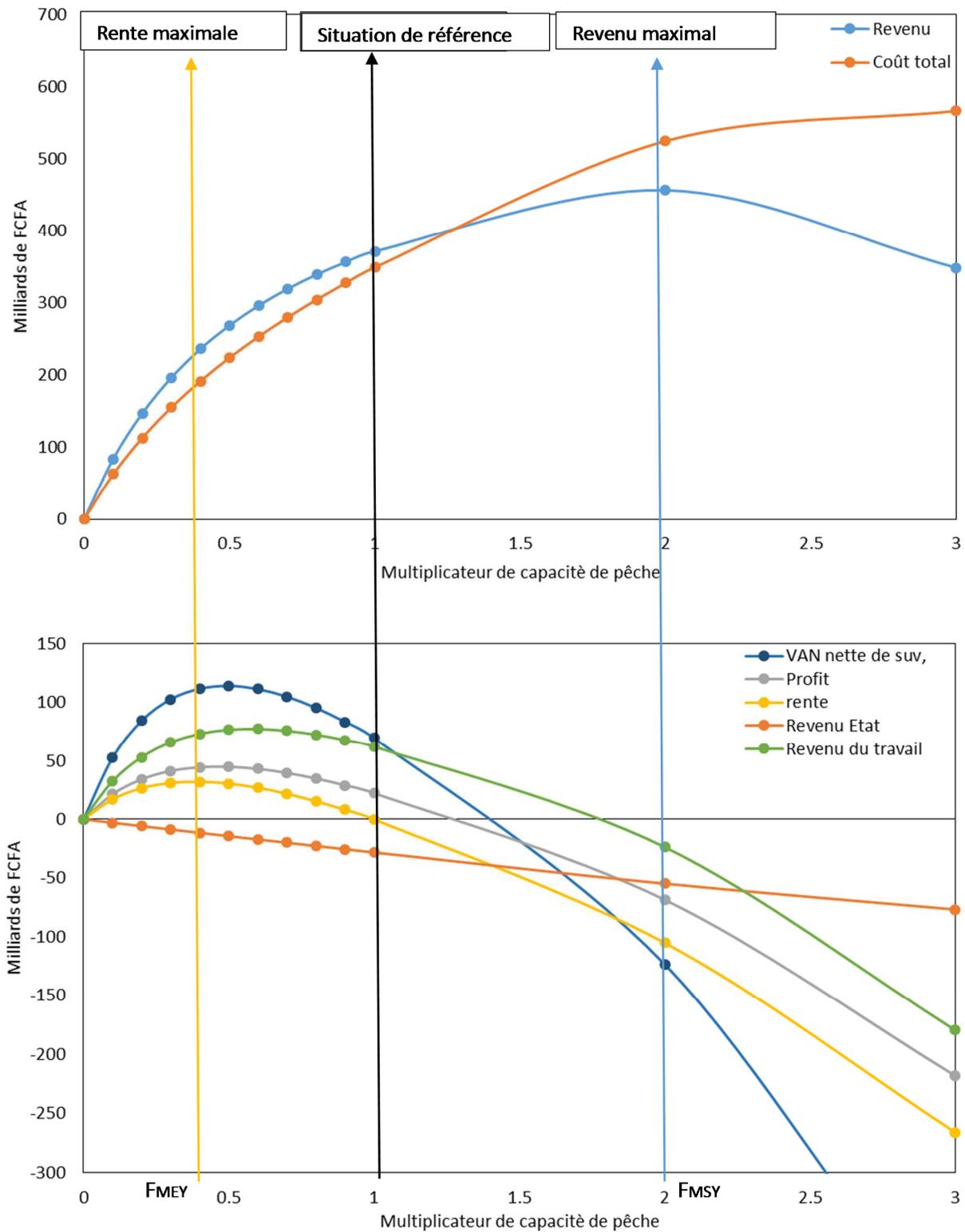


Figure 5.7 : Modèle bioéconomique dans le cas d'une croissance annuelle de 5 % du carburant. Les indicateurs sont actualisés et représentés en fonction du multiplicateur de capacité de pêche

5.3.2.2.3 Scénario 3

On constate qu'une augmentation annuelle de 2 % des prix au débarquement accompagné d'une augmentation annuelle du prix du carburant de 5 % permet de plus que doubler la rente actualisée (94 milliards de FCFA) par rapport à la situation de référence (40,5 milliards de FCFA). Toutefois la pêcherie reste économiquement surexploitée car l'optimum de la rente est de 108 milliards de FCFA et il est nécessaire de baisser de 40 % la capacité de pêche pour l'atteindre.

Le profit des armateurs est augmenté de 77 % par rapport à la situation de référence en passant de 69 à 122 milliards de FCFA. Le profit optimal est de 127 milliards de FCFA et pour l'atteindre dans ces conditions il faut réduire la capacité de pêche de 20 % (tableau 5-4).

Le revenu des pêcheurs optimal est atteint avec une réduction de 10 % de la capacité de pêche actuelle. Il connaît une augmentation de 64 % par rapport à la situation de référence.

L'Etat continue à perdre environ 28 milliards de FCFA en raison des subventions. L'augmentation de la capacité de pêche accentue d'avantage les pertes de l'Etat.

La VAN montre une croissance de 79 % par rapport au scénario de référence en passant de 168 à 299 Milliards de FCFA. L'optimum de la VAN (308 milliards de FCFA) peut être atteint avec une baisse de 20 % de la capacité de pêche.

Tous les indicateurs économiques actualisés présentés ici mettent en évidence une surcapacité (figure 5.8).

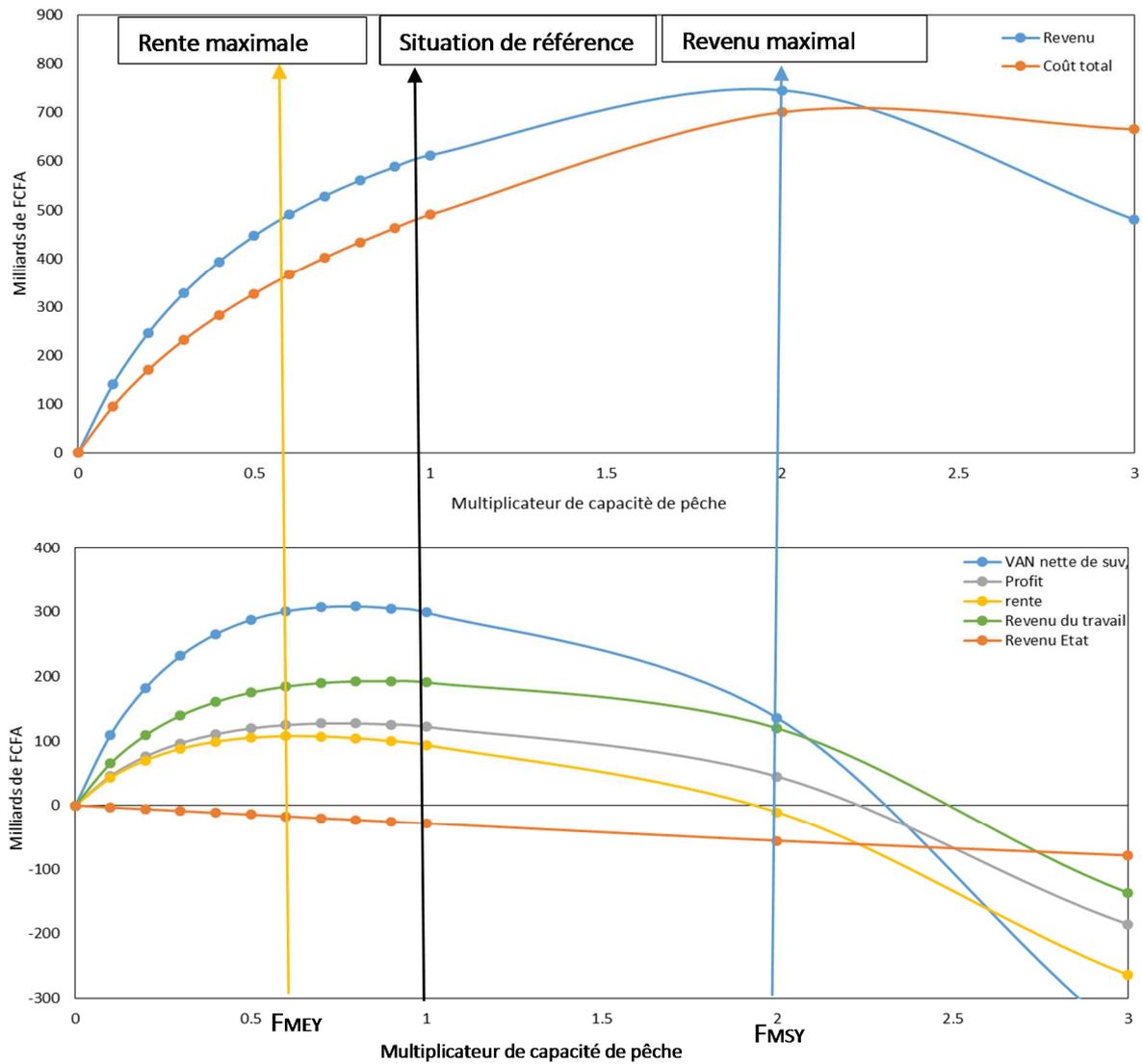


Figure 5.8 : Modèle bioéconomique dans le cas d'une croissance annuelle des prix au débarquement de 2 % et du carburant de 5 %. Les indicateurs sont actualisés.

Tableau 5-4 : Les optimums par scénarios prospectifs et par indicateurs

Simulations	Multiplicateur de capacité de pêche	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	2	3	4
Scénario 0 : Reference	Revenu	85,04	148,77	198,6	238,7	271,68	299,26	322,64	342,69	360,05	375,23	460,01	337,01	283,5
	VAN	63,61	106,14	134,96	154,2	166,44	173,39	176,24	175,87	172,9	167,84	55,03	-234,23	-439,65
	Profit	26,59	44,38	56,43	64,44	69,48	72,25	73,27	72,87	71,35	68,89	16,32	-117,77	-215,29
	Rente	23,7	38,62	47,79	52,94	55,14	55,08	53,26	50,06	45,73	40,48	-39,43	-196,69	-315,33
	Revenu Etat	-2,89	-5,769	-8,637	-11,49	-14,34	-17,18	-20	-22,82	-25,62	-28,41	-55,75	-78,92	-100,04
	Revenu travail	39,89	67,5	87,13	101,2	111,23	118,22	122,88	125,7	127,05	127,22	94,18	-37,97	-124,88
Scénario 1 : Augmentation prix 2 %/an	Revenu	85,04	188,32	251	301,3	342,56	376,98	406,1	431,03	452,58	471,38	574,78	389,66	324,29
	VAN	63,61	145,57	187,14	216,48	236,88	250,54	259	263,35	264,41	262,8	166,11	-192,09	-413,57
	Profit	26,59	61,28	78,87	91,3	99,94	105,71	109,23	110,97	111,27	110,39	65,4	-99,08	-203,47
	Rente	23,7	55,49	70,2	79,76	85,54	88,45	89,13	88,04	85,51	81,81	9,14	-179,45	-305,54
	Revenu Etat	-2,89	-5,787	-8,667	-11,54	-14,4	-17,25	-20,1	-22,93	-25,76	-28,58	-56,26	-80,37	-102,07
	Revenu travail	39,89	90,05	116,9	136,66	151,27	162,01	169,77	175,2	178,78	180,85	156,69	-13,06	-108,59
Scénario 2 : Augmentation prix carburant 5 %/an	Revenu	84,11	147,1	196,4	236,1	268,7	296	319,2	339,1	356,3	371,4	456,6	348,4	288,6
	VAN	52,37	84,1	102,5	111,5	113,9	111,2	104,7	95,15	83,19	69,31	-123,3	-442,6	-670,4
	Profit	21,28	33,94	41,01	44,19	44,51	42,69	39,21	34,41	28,57	21,88	-69,18	-219,3	-329,8
	Rente	18,42	28,25	32,5	32,88	30,42	25,84	19,6	12,08	3,527	-5,856	-123	-294,7	-423,7
	Revenu Etat	-2,856	-5,693	-8,512	-11,31	-14,09	-16,86	-19,6	-22,33	-25,04	-27,73	-53,81	-75,37	-93,87
	Revenu travail	32,48	52,95	65,65	73,01	76,5	77,12	75,55	72,28	67,68	62,02	-23,62	-179,6	-286,1
Scénario 3 : Augmentation prix 2 %/an et prix carburant 5 %/an	Revenu	141,5	246,5	328,1	393,3	446,8	491,2	528,8	560,9	588,6	612,8	746,2	480,4	388,3
	VAN	109,2	182,2	231,9	265,6	287,7	301	307,5	308,8	305,8	299,4	136	-362,9	-669
	Profit	45,54	75,95	96,64	110,6	119,6	124,8	127,2	127,3	125,5	122,3	45,02	-185,4	-330,2
	Rente	42,65	70,18	88,01	99,09	105,3	107,7	107,2	104,5	99,95	93,9	-10,5	-263,8	-429,5
	Revenu Etat	-2,888	-5,763	-8,627	-11,48	-14,32	-17,15	-19,97	-22,77	-25,57	-28,35	-55,52	-78,44	-99,34
	Revenu travail	65,04	109	139,4	160,6	175	184,4	190	192,6	192,8	191,1	120	-136,5	-287,2

(Unités : milliards de FCFA ; Les optimums sont en gras)

5.3.3 Scénarios normatifs

Il s'agit ici de tester des mesures de gestion et de politiques publiques que l'Etat peut envisager pour la pêche. Etant donné le contexte national de surcapacité mais aussi l'ouverture du pays au marché international, nous avons testé l'impact de l'arrêt des subventions dans la pêche. Ces dernières font l'objet de critiques sévères par la plupart des économistes des pêches du fait de leurs effets pervers d'une part mais aussi du fait de leur rôle dans la concurrence déloyale sur le marché international [98], [159].

Le Sénégal s'est engagé ces dernières années dans une politique de conservation et de gestion durable des ressources halieutiques. Des zones de réserve ou des aires marines protégées ont été mises en place dans la zone côtière dans différents endroits (Grande Côte, Petite côte, Sine Saloum, etc.). Nous allons donc tester à travers le modèle l'effet que peut avoir la fermeture d'une ou de plusieurs zones sur la pêche de sardinelles.

A travers le Programme National d'Immatriculation des pirogues, le Sénégal entend à terme réguler la capacité de pêche en contrôlant les entrées dans la pêche. A cet effet, nous testons l'effet que peut avoir le gel de la capacité de pêche à son niveau actuel sur les différents indicateurs de la pêche de sardinelles.

Les différents scénarios normatifs proposés sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau 5-5 : Résumé des paramètres pris en compte pour les scénarios normatifs

Simulations	Capacité de pêche	Subvention Carburant	Subvention Coûts fixes	Subvention coûts fixes et coûts variables	Relation stock-recrutement	Prix des débarquements	Prix du carburant	AMP	Licence
Scénario0 Reference	endogène	Oui	Oui	Oui	Oui au seuil de 40 % de la biomasse vierge (sardinelle ronde)	Prix constant	Prix constant	Non	Oui
Scénario0a : Augmentation du prix de la licence de pêche	endogène	Oui	Oui	Oui	Oui au seuil de 40 % de la biomasse vierge (sardinelle ronde)	Prix constant	Prix constant	Non	Oui avec facteur multiplicatif
Scénario4 : Suppression totale des subventions	endogène	Non	Non	Non	Oui au seuil de 40 % de la biomasse vierge (sardinelle ronde)	Prix constant	Prix constant	Non	Oui
Scénario5 : Suppression de la subvention sur le carburant	endogène	Non	Oui	Non	Oui au seuil de 40 % de la biomasse vierge (sardinelle ronde)	Prix constant	Prix constant	Non	Oui
Scénario6 : Suppression de la subvention sur les coûts fixe	endogène	Oui	Non	Non	Oui au seuil de 40 % de la biomasse vierge (sardinelle ronde)	Prix constant	Prix constant	Non	Oui
Scénario7 : Fermeture de 30 % de la PC à partir de cinquième années	endogène	Oui	Oui	Oui	Oui au seuil de 40 % de la biomasse vierge (sardinelle ronde)	Prix constant	Prix constant	Oui fermeture de la PC à 30 % à partir de la cinquième année	Oui
Scénario8 : Gel de la capacité de pêche	Fixe à son niveau actuel (593 ST ; 138 FME)	Oui	Oui	Oui	Oui au seuil de 40 % de la biomasse vierge (sardinelle ronde)	Prix constant	Prix constant	Non	Oui

5.3.3.1 La trajectoire de la pêcherie selon chaque scénario normatif

5.3.3.1.1 Évolution de la biomasse et de la flotte active

La trajectoire de la biomasse totale (sardinelle ronde + sardinelle plate) change très différemment selon les scénarios (figure 5.9). L'analyse par rapport au scénario de référence montre qu'une suppression totale de la subvention conduit à une augmentation de la biomasse d'environ 10 % au bout de 40 ans d'exploitation. Cependant sur le court terme la biomasse est supérieure avec un gel de la capacité de pêche. La suppression des subventions sur le carburant ou sur les coûts fixes séparément montre aussi un effet similaire mais moindre à celui de la suppression totale des subventions.

Ceci suppose que dans une pêcherie de libre accès, la subvention quelle que soit sa nature tend à augmenter la pression sur la ressource. Cette pression est exercée à travers une augmentation de la capacité de pêche due à l'investissement. En effet, la suppression des subventions est suivie d'une baisse de 10 % de la flotte active sur le même période (figure 5.10 a).

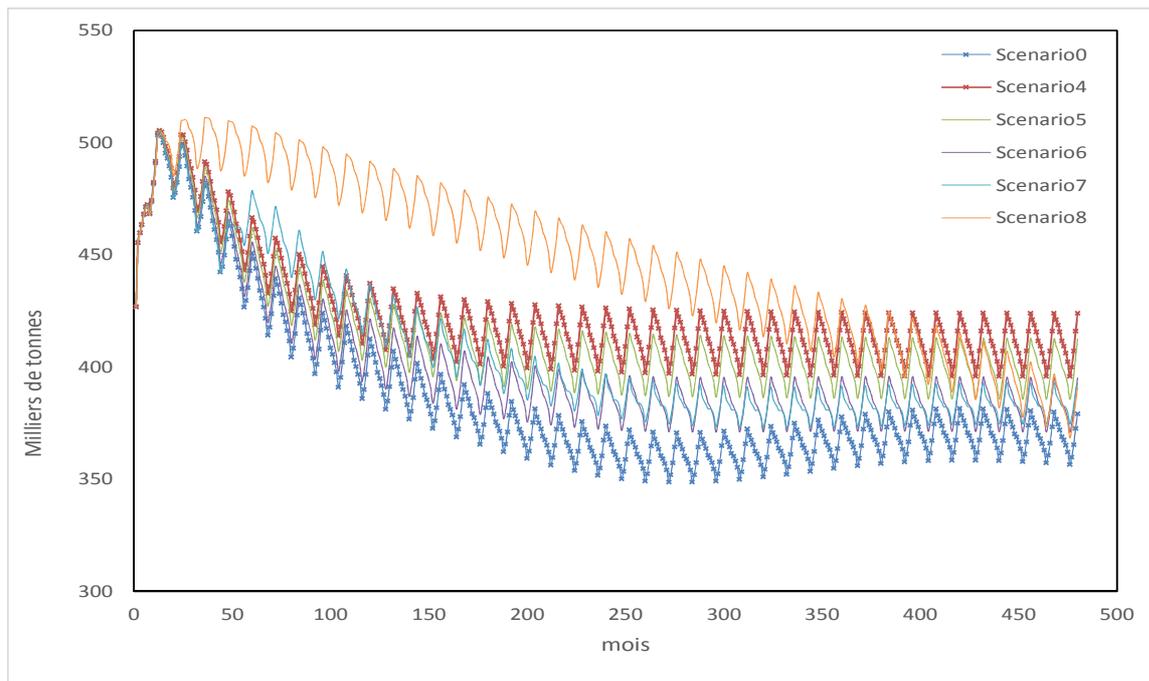


Figure 5.9 : Réponse de la biomasse selon les scénarios de gestion normatifs. En fonction du temps

La fermeture d'une zone signifie sa non-accessibilité pour les pêcheurs. La fermeture de 30 % de la Petite Côte se traduit par une baisse de la flotte active dans la même zone d'environ 26 % (figure 5.10 c) et un report de l'activité sur la Grande Côte avec une augmentation de 25 % de la flotte active (figure 5.10 b). Le même phénomène s'observe en Casamance durant les périodes d'abondance de la ressource avec une augmentation de 30 % de la flotte active (figure 5.10 d).

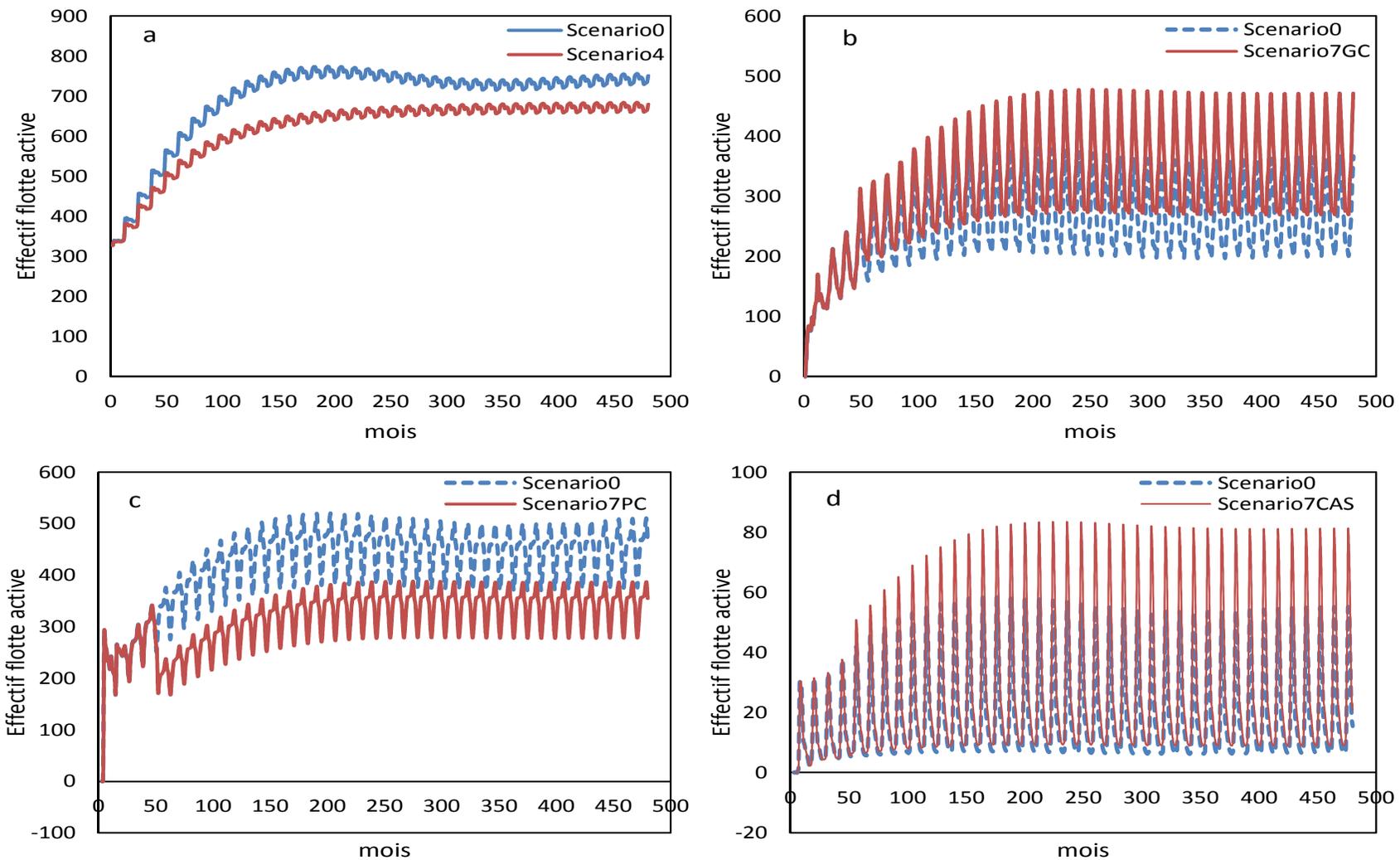


Figure 5.10 : Evolution de la flotte active en fonction du temps (mois) dans le cas des scénarios normatif : suppression totale des subventions (a), fermeture de 30 % PC (flotte active GC=b, flotte active PC=c, flotte active CAS=d)

5.3.3.1.2 Evolution des indicateurs économiques courants

Pour les différents scénarios normatifs le revenu de la pêche suit des trajectoires très différentes de celui du scénario de référence (figure 5.11a). Le revenu de la pêche se stabilise très vite au bout de 10 ans d'exploitation quel que soit le scénario de gestion excepté pour la mise en place d'AMP et le gel de la capacité de pêche. Le revenu de la pêche est plus élevé dans le cas du gel de la capacité de pêche sur le long terme. Le phénomène contraire est observé dans l'évolution du coût de la pêche. Les scénarios de gestion consistant à supprimer les aides stabilisent au bout de dix ans les indicateurs de coûts et de revenu de la pêche. En revanche, les coûts et les revenus deviennent beaucoup plus élevés comparés à la situation de référence de la pêche (figure 5.11a et b).

Excepté le gel de la capacité de pêche, quel que soit le scénario, le profit (figure 5.11c) et le revenu du travail (figure 5.11d) tendent à baisser de plus de 50 % et s'annulent même pour le profit au cours du temps. Les meilleurs profits (environ 11 milliards de FCFA) sont obtenus en gelant la capacité de pêche. Le revenu du travail est doublé quand on gel la capacité de pêche. Le profit nul obtenu au bout de vingt ans d'exploitation représente l'équilibre de libre accès qui caractérise la pêche de sardinelles au Sénégal (figure 5.11c).

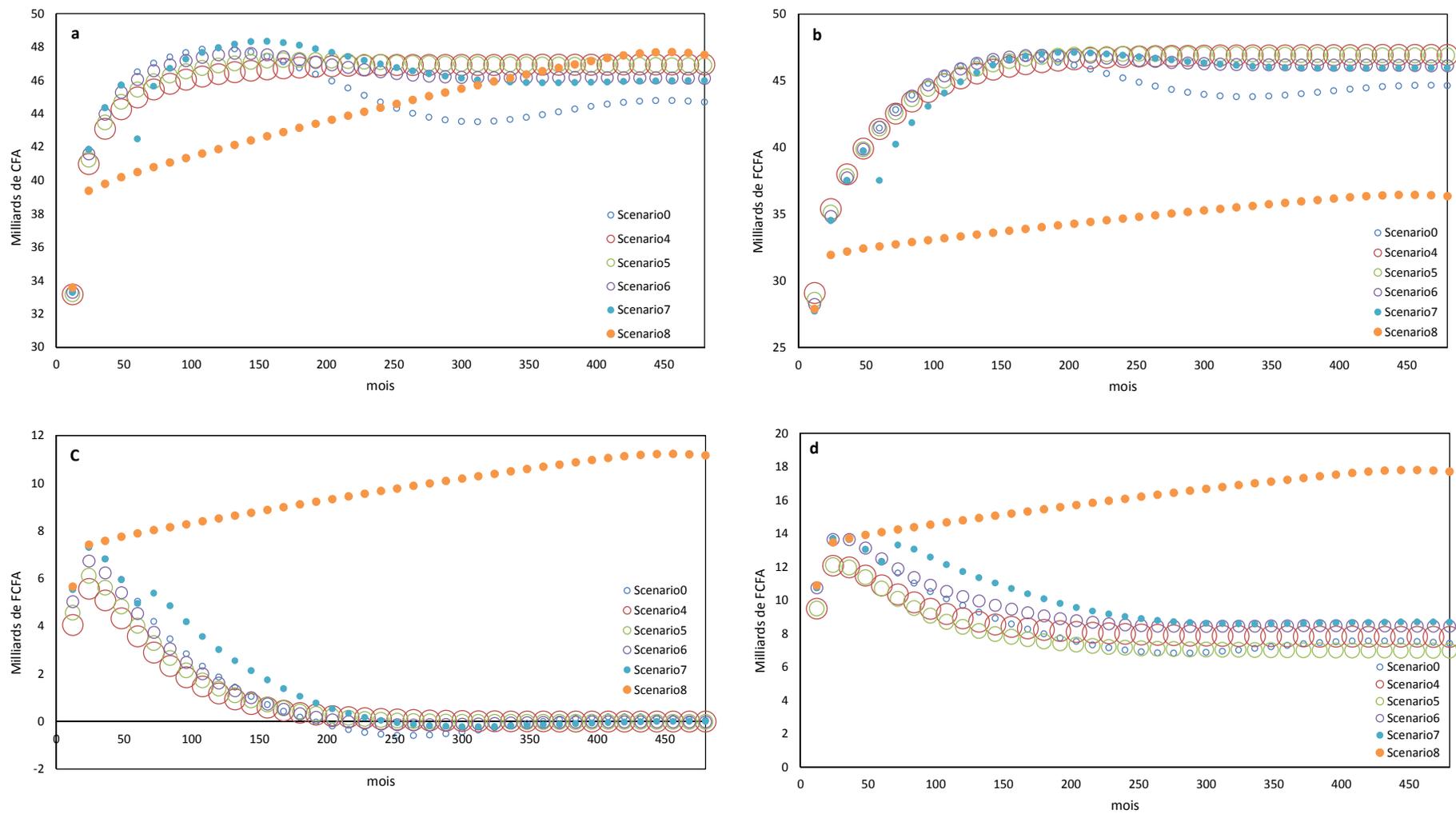


Figure 5.11 : Evolution des indicateurs économiques courants selon les scénarios normatifs en fonction du temps (années): Revenu ou chiffre d'affaire (a), coût (b), profit (c) et revenu du travail (d)

Nous avons testé l'effet du changement du prix du permis (licence) de pêche artisanale sur les indicateurs actualisés. Les valeurs des indicateurs en fin de simulation sont présentées dans le tableau 5-6. On constate que le prix actuel du permis (25 000 FCFA) n'a aucun effet sur ces indicateurs et ceci même si le prix actuel du permis est multiplié par dix soit 250 000 FCFA. Des réactions assez remarquables sont observées à partir de 50 fois le prix actuel du permis de pêche soit 1 250 000 FCFA. Les conséquences sont une augmentation de 3 % pour coût total de la pêche, une baisse du profit de 12 % par rapport à la situation de référence. Dans ces mêmes conditions, l'Etat économise 6,6 Milliards de FCFA mais continue à distribuer environ 20 milliards de FCFA dans la pêcherie. Avec un prix du permis équivalent à 100 fois le prix actuel, on obtient une augmentation de 6 % du coût total de la pêche, une baisse du profit de 25 % par rapport à la situation de référence. On constate donc que le prix du permis agit faiblement sur le total des coûts. Pour que les acteurs privés de la pêcherie et l'Etat se partagent les dépenses ou bien pour internaliser une partie des externalités dues à la pêche, il faudrait multiplier par 100 le prix de la licence soit 2 500 000 FCFA.

Tableau 5-6 : Evolution de quelques indicateurs actualisés en fonction d'un multiplicateur du prix du permis de pêche. Les indicateurs économiques sont en milliards de FCFA

Multiplicateur licence	Profit	Revenu Etat	Coût total
1	68,89	-28,41	306,3
5	68,19	-27,71	307
10	67,31	-26,83	307,9
15	66,43	-25,95	308,8
20	65,55	-25,07	309,7
25	64,67	-24,19	310,6
30	63,79	-23,31	311,4
50	60,27	-19,8	315
70	56,76	-16,28	318,5
80	55	-14,52	320,2
100	51,48	-11	323,7

5.3.3.2 Les optimums selon chaque scénarios normatifs

5.3.3.2.1 Scénario 4

La suppression totale de la subvention entraîne une baisse de 22 et 10 % respectivement du profit et du revenu du travail au niveau actuel de la capacité de pêche (situation de référence, multiplicateur de capacité égal à un). Une augmentation de 33 % de la rente est observée dans les mêmes conditions. Pour les autres indicateurs les variations sont moindres par rapport à la situation de référence. Grâce à cette suppression, l'Etat économise plus de 28 milliards de FCFA avec le niveau actuel de la capacité de pêche. L'étude de l'impact de la suppression de la subvention sur les optimums des indicateurs économiques actualisés, montre quelques changements positifs pour la pêcherie par rapport à la situation de référence (figure 5.12 ;tableau 5-7).

Pour la rente, l'optimum (63 Milliards de FCFA supérieur à celui de la simulation de référence) est obtenu à 60 % de la capacité de pêche actuel au lieu de 50 % dans la simulation de référence. La rente est quasi égale au profit. Le revenu de l'Etat est faible, il est constitué par les redevances sur les permis de pêche. La différence entre la rente et le profit est la somme des redevances sur les permis de pêche.

Le revenu du travail est toujours optimal au niveau actuel de l'effort. Il est par ailleurs inférieur à celui de la situation de référence (114 milliards de FCFA contre 127 milliards de FCFA). Ceci est expliqué par une baisse de la flotte active mais aussi l'augmentation des coûts de la sortie de pêche consécutive à la suppression de la subvention.

L'observation de la variation des coûts et des revenus montre qu'avec la suppression des subventions, la pêcherie ne pourra pas atteindre le MSY car les coûts seront trop élevés et le profit sera négatif au MSY. La pêcherie est donc très dépendante de la subvention de l'Etat. Pour atteindre le maximum de capture dans cette pêcherie il est nécessaire de maintenir les subventions.

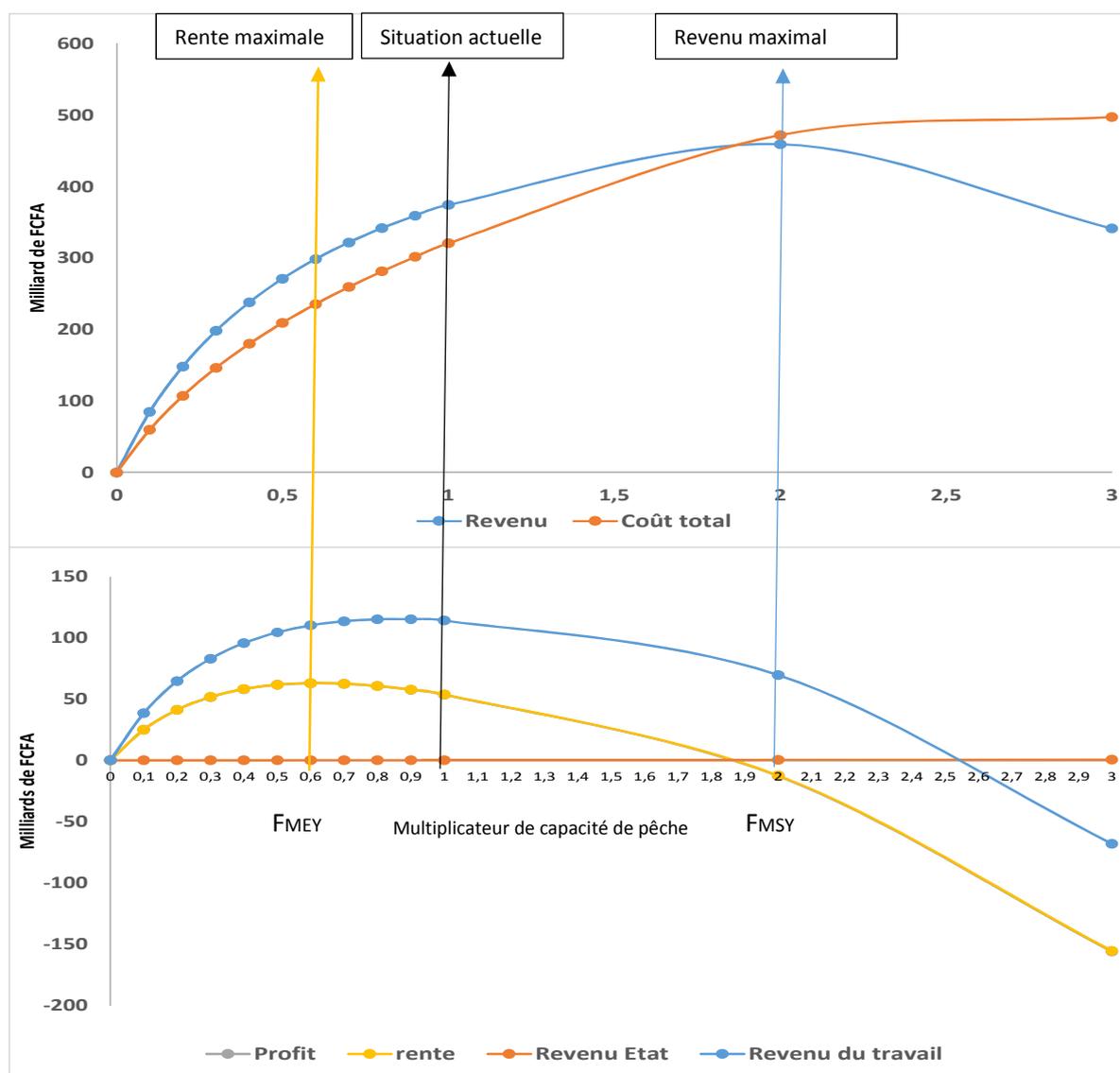


Figure 5.12 : Modèle bioéconomique dans le cas d'une suppression totale des subventions Les indicateurs sont actualisés

5.3.3.2.2 Scénario 5

La suppression de la subvention sur le carburant entraîne une baisse de 15 et 10 % respectivement sur le profit et le revenu du travail au niveau de référence de la capacité de pêche. Cependant une augmentation de 33 % de la rente est observée dans les mêmes conditions. Pour les autres indicateurs les variations sont moindres comparés à la situation de référence. A travers cette suppression, l'Etat économise plus de 24 milliards de FCFA avec le niveau actuel de la capacité de pêche

L'effet de la suppression de la subvention sur le carburant sur les optimums des indicateurs économiques actualisés, montre des résultats semblables à ceux de la suppression totale de la subvention (figure 5.13 ;).

Du point de vue de la rente, l'optimum (63 Milliards de FCFA supérieur à celui de la simulation de référence) est obtenu avec 60 % de la capacité de pêche de référence au lieu de 50 % dans la simulation de référence. Le profit est de l'ordre de 66 milliards de FCFA à son optimum, pour l'atteindre, la capacité de pêche doit être à 30 % de son niveau de référence (tableau 5-7).

Le revenu du travail est toujours optimal au niveau référence de l'effort. Il est par ailleurs inférieur à celui de la simulation de référence (115 milliards de FCFA contre 127 milliards de FCFA). Ceci est expliqué par une réduction de la flotte active mais aussi par l'augmentation des coûts de la sortie de pêche consécutive à la suppression de la subvention sur le carburant. Les coûts liés à la sortie sont partagés entre le capital et le travail après chaque sortie de pêche.

L'observation de la réponse des coûts et des revenus montre que, dans le cas de la suppression des subventions sur le carburant, la pêcherie ne pourra pas atteindre le MSY car les coûts élevés expliquent que le profit soit négatif à ce niveau.

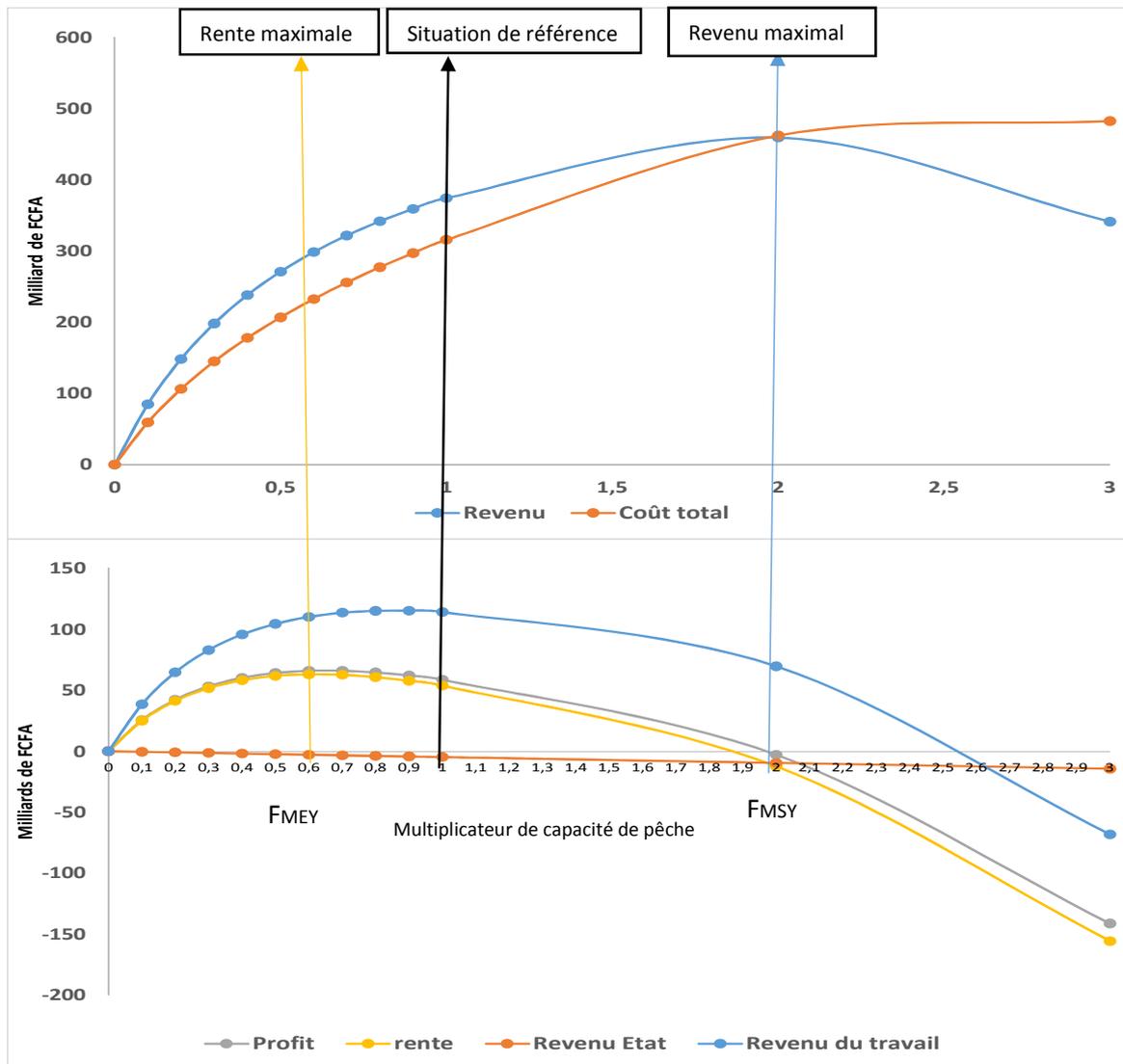


Figure 5.13 : Modèle bioéconomique dans le cas d'une suppression de la subvention sur le carburant Les indicateurs sont actualisés.

5.3.3.2.3 Scénario 6

La suppression de la subvention sur les coûts fixes a les mêmes résultats que pour les autres types de subventions. L'effet est cependant moindre sur les optimums des indicateurs économiques actualisés, comparé à la suppression totale ou à la suppression des subventions sur le carburant (figure 5.14 ; tableau 5-7)

La suppression de la subvention sur les coûts fixes entraîne une baisse de 7 % sur le profit de la simulation de référence et pour le niveau référence de la capacité de pêche. Cependant, pour les autres indicateurs d'infimes baisses sont observées par rapport à la situation de référence. Grâce à cette suppression, l'Etat économise plus de 5 milliards de FCFA.

Du point de vu de la rente, l'optimum (55 milliards de FCFA) est obtenu à 50 % de la capacité de pêche actuelle. Le profit optimal, de l'ordre de 70 milliards de FCFA, est inférieur à celui de la situation de

référence (73 milliards de FCFA) et pour l'atteindre, il sera nécessaire de réduire de 30 % la capacité de pêche par rapport à son niveau de référence.

Le revenu du travail est optimal au niveau référence de la capacité de pêche. Il est par ailleurs égal à la celui de la simulation de référence (127 milliards de FCFA). Ceci est expliqué par le fait que la subvention sur les coûts fixes impacte plus le capital que le travail. L'équipage ne partage pas les coûts fixes liés à l'exploitation. Cette suppression n'a donc pas un effet majeur sur le revenu du travail.

L'observation de la variation des coûts et des revenus montre que dans le cas de la suppression des subventions sur les coûts fixes, la pêcherie pourra atteindre le MSY mais avec des coûts très élevés. Dans ce cas le MSY s'avère très proche de l'équilibre de libre accès (profit nul).

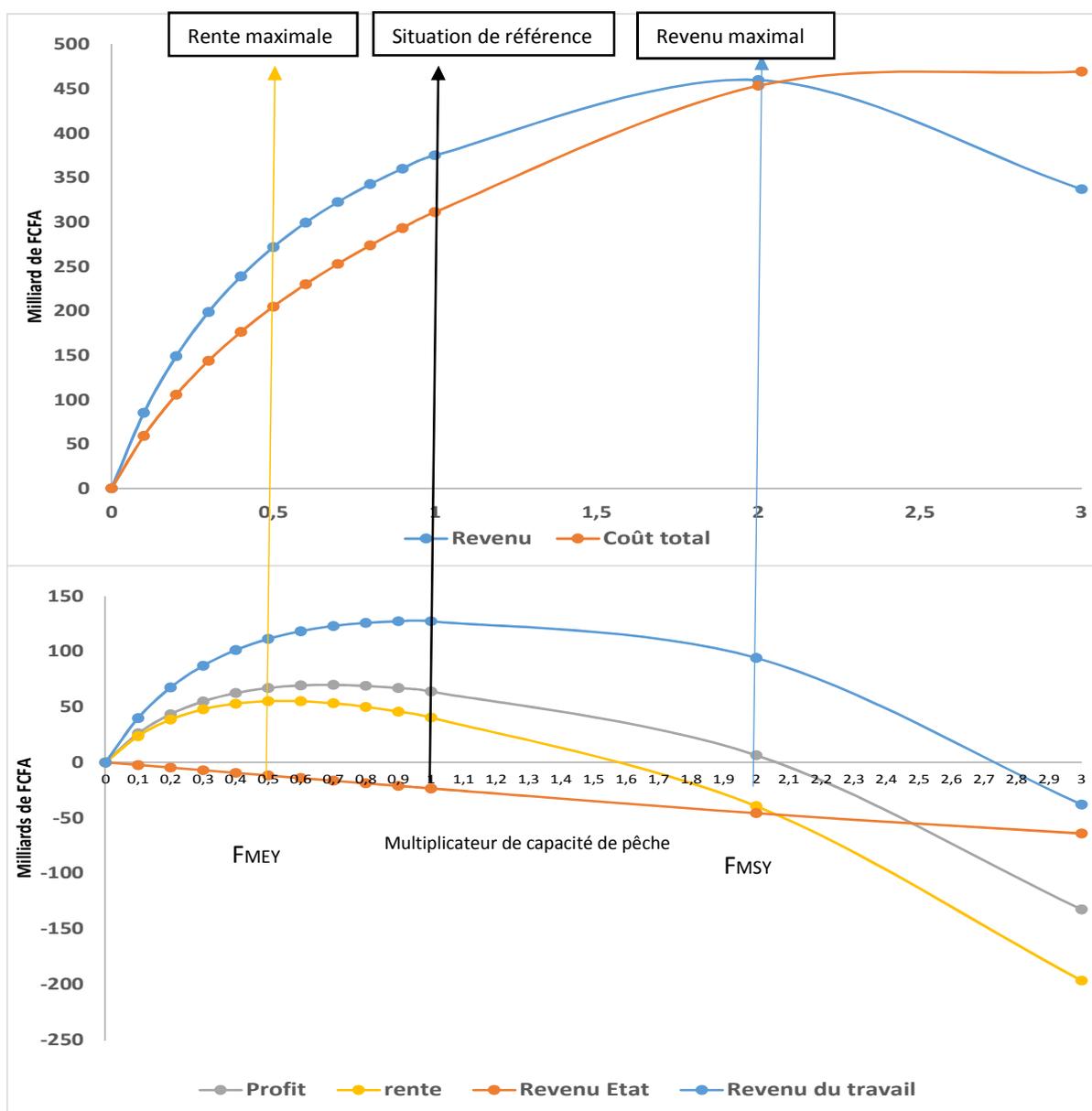


Figure 5.14 : Modèle bioéconomique dans le cas d'une suppression de la subvention sur les coûts fixes. Les indicateurs sont actualisés.

5.3.3.2.4 Scénario 7

La fermeture d'une zone de pêche (30 % de la Petite Côte) entraîne une baisse de 4 % du revenu de la pêcherie au niveau de référence de la capacité de pêche. Cependant, elle revalorise sensiblement les autres indicateurs comparés à la simulation de référence. La rente augmente de 7 %, le profit de 4 %, la VAN de 3 %, le revenu du travail de 1,2 % et l'Etat économise 3 milliards de FCFA.

La mise en place de cette fermeture modifie les optimums des indicateurs économiques actualisés comparés à ceux de la simulation de référence. L'optimum de la VAN (174 milliards de FCFA) est atteint à 90 % de la capacité de pêche de référence contre 70 % pour la simulation de référence. Pour le profit, l'optimum (71 milliards de FCFA) correspond à 80 % de la capacité de pêche référence au lieu de 70 % pour la simulation de référence. L'optimum de la rente (53 milliards de FCFA) est situé à 60 % de la capacité de pêche de référence au lieu de 50 % dans la simulation de référence (tableau 5-7).

L'optimum du revenu du travail reste au niveau de référence de la capacité de pêche et montre une augmentation de 1,2 % par rapport à la simulation de référence (figure 5.15).

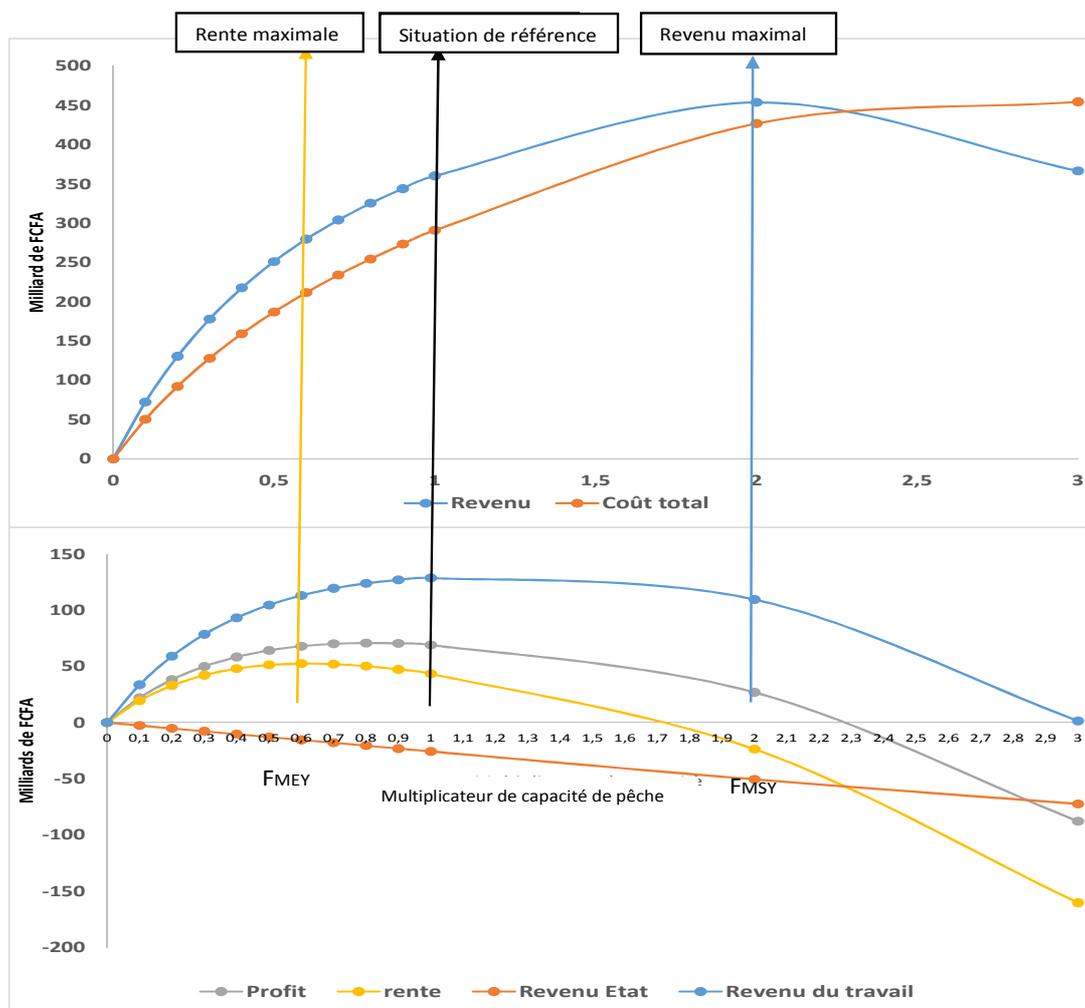


Figure 5.15 : Modèle bioéconomique dans le cas fermeture de 30 % de la Petite Côte. Les indicateurs sont actualisés.

Tableau 5-7 : Les optimums par scénarios normatifs et pour chaque indicateurs en gras. Les indicateurs économiques sont en milliards de FCFA

Simulations	Multiplicateur de capacité de pêche	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	2	3	4
Scénario 0 : Reference	Revenu	0	85,04	148,77	198,6	238,7	271,68	299,26	322,64	342,69	360,05	375,23	460,01	337,01	283,5
	VAN	0	63,61	106,14	134,96	154,2	166,44	173,39	176,24	175,87	172,9	167,84	55,03	-234,23	-439,65
	Profit	0	26,59	44,38	56,43	64,44	69,48	72,25	73,27	72,87	71,35	68,89	16,32	-117,77	-215,29
	Rente	0	23,7	38,62	47,79	52,94	55,14	55,08	53,26	50,06	45,73	40,48	-39,43	-196,69	-315,33
	Revenu Etat	0	-2,89	-5,769	-8,637	-11,49	-14,34	-17,18	-20	-22,82	-25,62	-28,41	-55,75	-78,92	-100,04
	Revenu travail	0	39,89	67,5	87,13	101,2	111,23	118,22	122,88	125,7	127,05	127,22	94,18	-37,97	-124,88
Scénario 4 Suppression totale des subventions	Revenu total pêche	0	84,86	148,44	198,16	238,17	271,08	298,59	321,92	341,93	359,26	374,4	459,36	341,25	286,05
	VAN	0	63,49	105,95	134,73	153,97	166,24	173,24	176,17	175,89	173,05	168,11	57,62	-223,27	-426,37
	Profit	0	24,99	41,2	51,68	58,16	61,67	62,95	62,47	60,6	57,6	53,7	-12,7	-156,07	-264,69
	Rente	0	25	41,23	51,74	58,23	61,76	63,05	62,59	60,74	57,76	53,87	-12,35	-155,54	-263,99
	Revenu Etat	0	0,018	0,035	0,053	0,070	0,088	0,106	0,123	0,141	0,158	0,176	0,352	0,528	0,770
	Revenu travail	0	38,47	64,69	82,95	95,69	104,41	110,11	113,49	115,05	115,16	114,1	69,69	-68,15	-162,94
Scénario 5 sans aide carburant	Revenu total pêche	0	84,86	148,4	198,2	238,2	271,1	298,6	321,9	341,9	359,3	374,4	459,4	341,2	286
	VAN	0	63,49	105,9	134,7	154	166,2	173,2	176,2	175,9	173	168,1	57,62	-223,3	-426,4
	Profit	0	25,48	42,19	53,17	60,13	64,15	65,91	65,93	64,55	62,05	58,64	-2,816	-141,2	-244,9
	Rente	0	25	41,23	51,74	58,23	61,76	63,05	62,59	60,74	57,76	53,87	-12,35	-155,5	-264
	Revenu Etat	0	-0,4769	-0,9537	-1,431	-1,907	-2,384	-2,861	-3,338	-3,815	-4,292	-4,769	-9,537	-14,31	-19,07
	Revenu travail	0	38,47	64,69	82,95	95,69	104,4	110,1	113,5	115	115,2	114,1	69,69	-68,15	-162,9
Scénario 6 sans aide CF	Revenu total pêche	0	85,04	148,8	198,6	238,7	271,7	299,3	322,6	342,7	360,1	375,2	460	337	283,5
	VAN	0	63,61	106,1	135	154,2	166,4	173,4	176,2	175,9	172,9	167,8	55,03	-234,2	-439,7
	Profit	0	26,1	43,39	54,94	62,46	67	69,29	69,8	68,92	66,9	63,95	6,428	-132,6	-235,1
	Rente	0	23,7	38,62	47,79	52,94	55,14	55,08	53,26	50,06	45,73	40,48	-39,43	-196,7	-315,3
	Revenu Etat	0	-2,395	-4,78	-7,153	-9,516	-11,87	-14,21	-16,54	-18,86	-21,17	-23,47	-45,86	-64,08	-80,26
	Revenu travail	0	39,89	67,5	87,13	101,2	111,2	118,2	122,9	125,7	127,1	127,2	94,18	-37,97	-124,9

Simulations	Multiplicateur de capacité de pêche	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	2	3	4
Scénario 7 AMP 30 %PC	Revenu total pêche	0	72,31	130,4	178	217,6	251	279,5	304	325,2	343,8	360,1	453,5	366,4	294,5
	VAN	0	53,14	92,14	120,8	141,5	156,1	165,8	171,7	174,4	174,5	172,4	86,19	-158,6	-364,8
	Profit	0	22,05	38,19	49,97	58,42	64,26	68,04	70,15	70,89	70,5	69,18	26,87	-87,96	-187,1
	Rente	0	19,46	33,01	42,19	48,06	51,32	52,53	52,07	50,26	47,33	43,47	-23,68	-160,5	-278,3
	Revenu Etat	0	-2,591	-5,184	-7,774	-10,36	-12,94	-15,51	-18,07	-20,63	-23,17	-25,71	-50,55	-72,51	-91,21
	Revenu travail	0	33,66	59,1	78,52	93,37	104,7	113,2	119,5	124	127	128,8	109,6	1,415	-87,05

(Unités : milliards de FCFA ; Les optimums sont en gras)

5.3.4 Scénarios mixtes

Dans ces scénarios, on combine des scénarios prospectifs et des scénarios normatifs. Ces types de scénarios nous permettent de tester la destinée de la pêcherie face à des facteurs exogènes non contrôlables et les réponses des gestionnaires à travers les variables de contrôles (scénarios normatifs). Les exemples de scénarios mixtes sont présentés dans le tableau 5-8.

Tableau 5-8 : Résumé des paramètres prise en compte pour les scénarios mixtes

	Capacité-de pêche	Subvention Carburant	Subvention Coûts fixes	Subvention totale	Relation stock-recrutement	Prix des débarquements	Prix du carburant
Scénario0 Référence	Pas de contrôle de la capacité de pêche	Oui	Oui	Oui	Oui au seuil de 40 % de la biomasse vierge (sardinelle ronde)	Prix constant actuel	Prix constant actuel
Scénario9 Arrêt des subventions et croissance du prix du carburant et des débarquements	Pas de contrôle de la capacité de pêche	Non	Non	Non	Oui au seuil de 40 % de la biomasse vierge (sardinelle ronde)	Croissance annuelle moyenne de 2 %	Croissance annuelle moyenne de 5 %
Scénario10 Gel de la capacité de pêche et croissance du prix du carburant et des débarquements	Gel de la capacité de pêche	Oui	Oui	Oui	Oui au seuil de 40 % de la biomasse vierge (sardinelle ronde)	Croissance annuelle moyenne de 2 %	Croissance annuelle moyenne de 5 %

5.3.4.1 La trajectoire de la pêcherie selon chaque scénario mixte

5.3.4.1.1 Evolution de la biomasse et de la flotte active selon les scénarios mixtes

La trajectoire de la biomasse change considérablement selon les scénarios (figure 5.16 a). L'analyse par rapport au scénario de référence montre qu'une suppression des subventions accompagnée d'une augmentation annuelle de 2 % des prix au débarquement et de 5 % du carburant permet une augmentation de la biomasse de 164 % par rapport à la simulation de référence.

Le gel de la capacité de pêche à son niveau de référence accompagné d'une augmentation de 2 % des prix au débarquement et de 5 % du carburant augmente la biomasse de 38 % par rapport à la biomasse de référence.

Pour le scénario 9 on constate une baisse considérable de la flotte active (-98 %) par rapport au scénario de référence (figure 5.16 b).

Pour le scénario 10, la flotte active est réduite de 50 % (figure 5.16 b).

Ces deux scénarios ont donc un effet fortement réducteur sur la flotte active. Le scénario 9 ne paraît cependant pas très réaliste car il conduit à la quasi-disparition de la pêche.

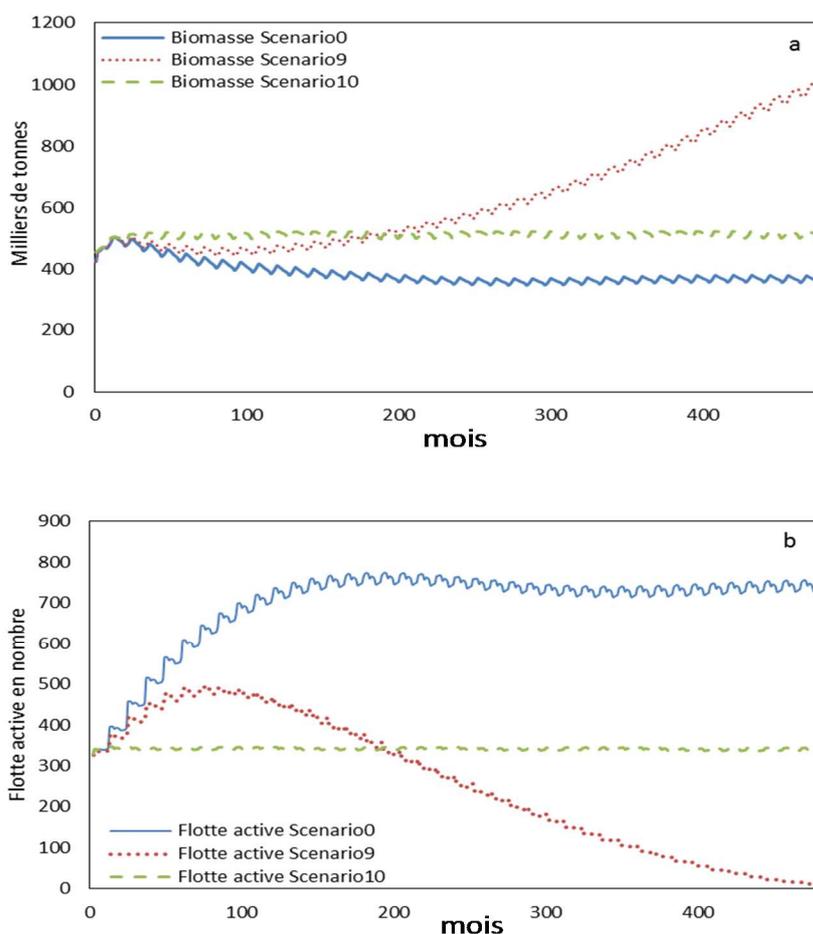


Figure 5.16 : Evolution de la biomasse (a) et de la flotte active (b) selon les scénarios mixtes

5.3.4.1.2 Evolution des indicateurs économiques courants selon les scénarios mixtes

L'évolution des indicateurs économiques montrent globalement que le scénario 9 (une suppression des subventions accompagnée d'une augmentation annuelle de 2 % des prix au débarquement et de 5 % du carburant) tend à faire disparaître la pêche de sardinelles. En effet il conduit à annuler tous les indicateurs que ce soit le revenu (figure 5.17a) le coût (figure 5.17b) le profit (figure 5.17c) ou le revenu du travail (figure 5.17d) en fin de simulation. Ce qui veut dire que si les hypothèses de ce scénario se présentent, la pêche s'arrête au bout de 40 ans d'exploitation.

Le scénario 10 consistant à un gel de la capacité de pêche à son niveau actuel accompagné d'une augmentation annuelle de 2 % des prix au débarquement et de 5 % du carburant montre une croissance de tous les indicateurs (figure 5.17). Cette croissance se matérialise par une augmentation annuelle moyenne de 5,2 % du profit, de 4,2 % du revenu du travail et de 7 % de la rente. La rente atteint 40,4 milliards en fin de simulation. En d'autres termes, si les hypothèses du scénario 10 se confirment, le profit, la rente et le revenu du travail connaîtront de fortes croissances.

Le gel de la capacité de pêche conduit à de meilleurs résultats sur le long terme face à une augmentation des prix au débarquement et des prix du carburant selon nos hypothèses de départ.

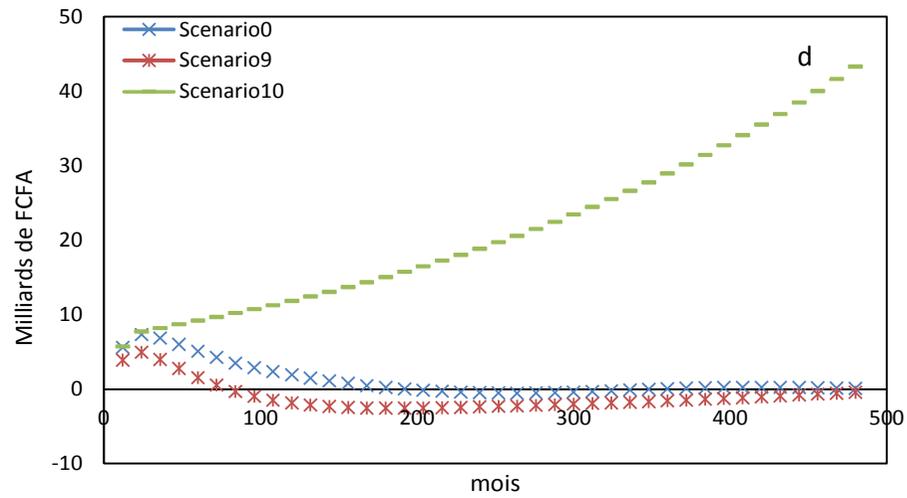
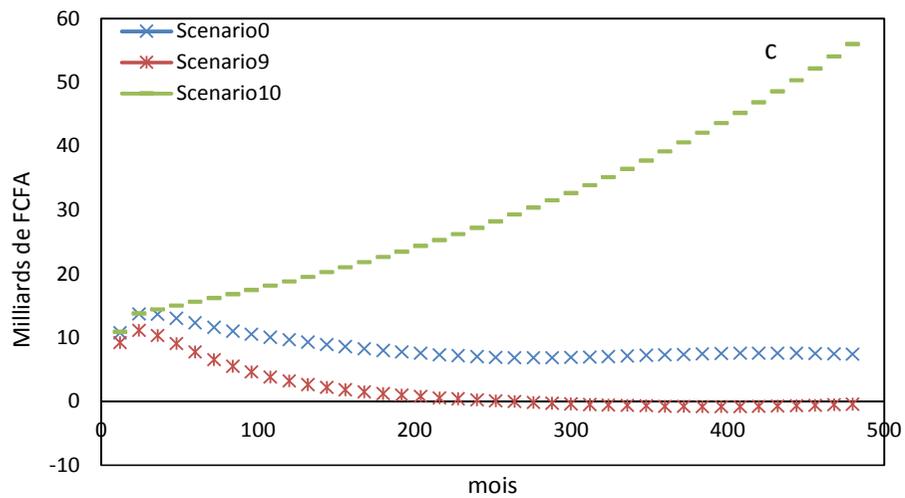
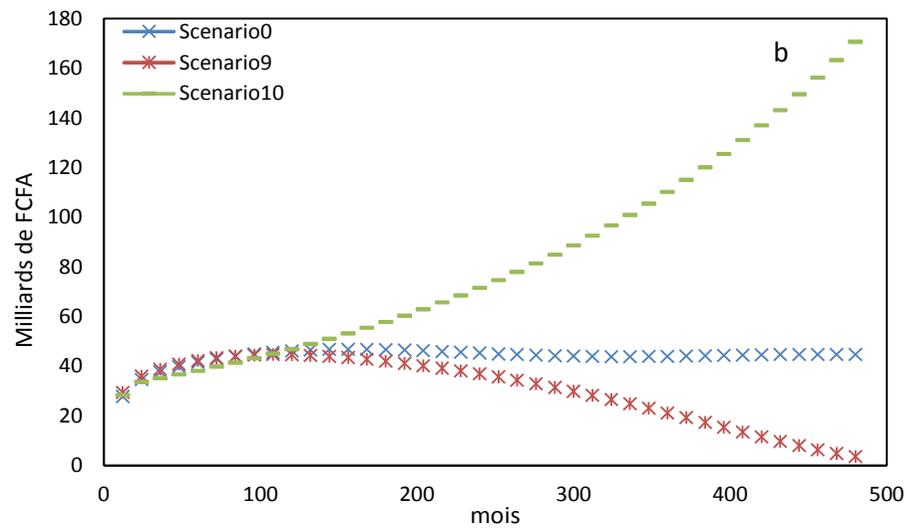
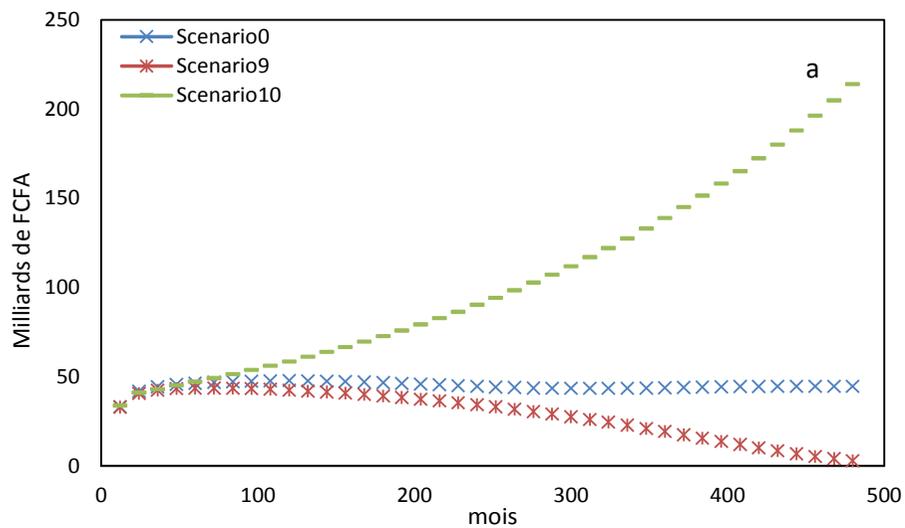


Figure 5.17 : Evolution des indicateurs économiques courants selon les scénarios mixtes en fonction du temps (années): Revenu ou chiffre d'affaire (a), coût (b), revenu du travail (c) et profit (d)

5.3.4.2 *Les optimums pour le scénario 9*

La suppression totale de la subvention accompagnée d'une augmentation des prix au débarquement et du prix du carburant conduit à une augmentation sur tous les indicateurs. Par rapport à la situation de référence, le profit et le revenu du travail augmentent de 43 % et 31 % respectivement, et la rente est multipliée par plus de deux (2,5).

L'impact de ce scénario sur les optimums des indicateurs économiques actualisés, montre des changements positifs par rapport à la situation de référence (figure 5.12 ; tableau 5-7).

Pour la rente, l'optimum (110 milliards de FCFA) est obtenu à 70 % de la capacité de pêche actuelle au lieu de 50 % dans le scénario de référence. La rente représente aussi dans ce cas le profit en l'absence de subventions.

Le revenu du travail est optimal pour 80 % de la capacité de pêche actuelle. Il est par ailleurs supérieur à la celui de la situation de référence (172 milliards de FCFA contre 127 milliards de FCFA).

L'analyse des coûts et revenus montre que dans le cas de la suppression des subventions, le MSY de la pêcherie est en même temps l'équilibre de libre accès car les coûts de la pêcherie sont très élevés. La pêcherie semble très dépendante de la subvention de l'Etat. Pour atteindre le maximum de capture dans cette pêcherie il est nécessaire de maintenir les subventions.

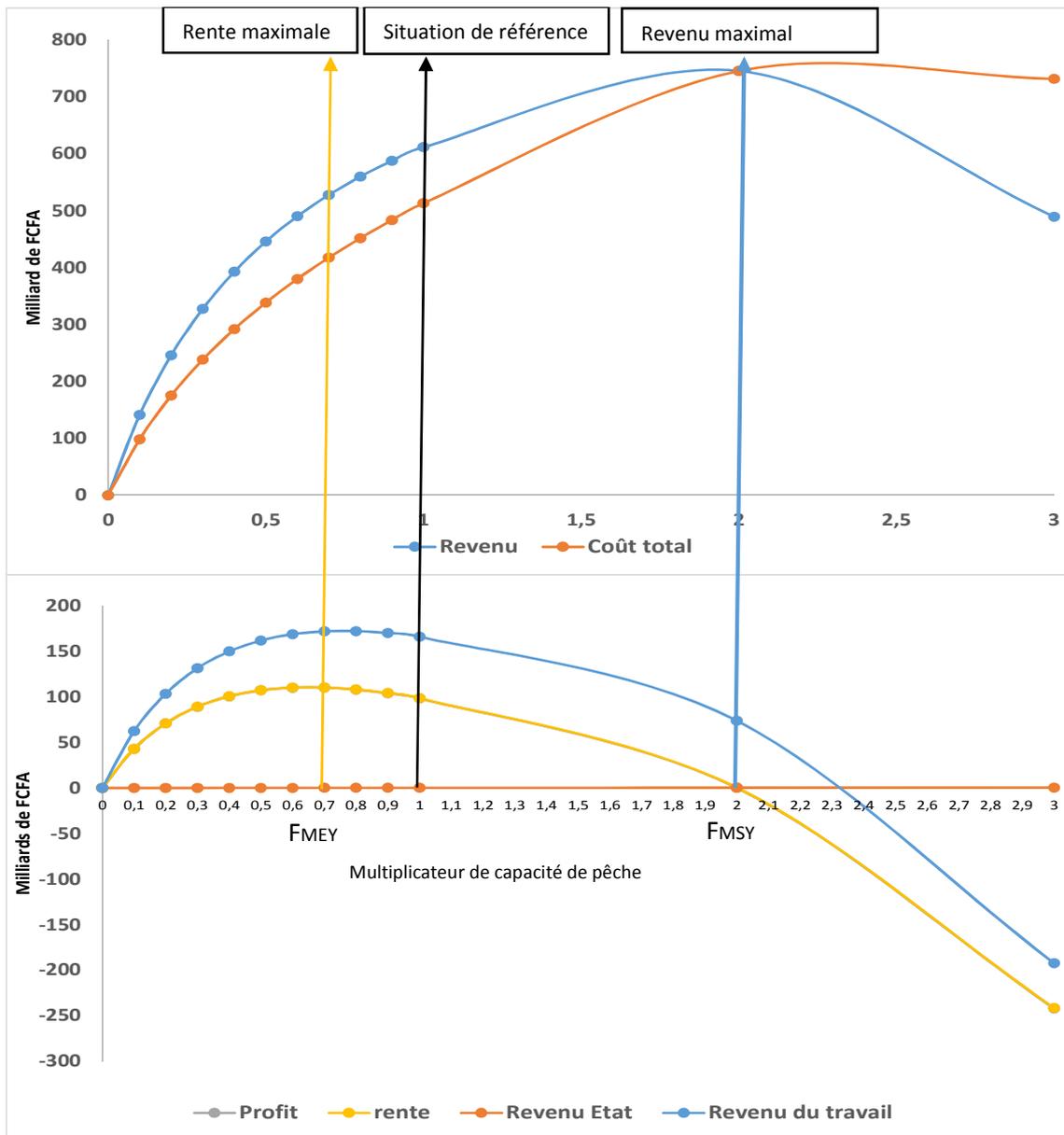


Figure 5.18 : Modèle bioéconomique dans le cas d’une suppression totale des subventions accompagnée de croissance prix débarquement et de prix du carburant. Les indicateurs sont actualisés et représentés en fonction du multiplicateur de capacité

Tableau 5-9 : Les optimums du scénario mixte (suppression des subventions augmentation des prix au débarquement et du prix du carburant) et du scenario de référence en gras.

Simulations	Multiplicateur de capacité de pêche	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	2	3	4
Scénario 0 : Reference	Revenu	0	85,04	148,77	198,6	238,7	271,68	299,26	322,64	342,69	360,05	375,23	460	337,01	283,5
	VAN	0	63,61	106,14	134,96	154,2	166,44	173,39	176,24	175,87	172,9	167,84	55	-234,23	-439,65
	Profit	0	26,59	44,38	56,43	64,44	69,48	72,25	73,27	72,87	71,35	68,89	16,1	-117,77	-215,29
	Rente	0	23,7	38,62	47,79	52,94	55,14	55,08	53,26	50,06	45,73	40,48	-39,1	-196,69	-315,33
	Revenu Etat	0	-2,89	-5,769	-8,637	-11,49	-14,34	-17,18	-20	-22,82	-25,62	-28,41	-55,2	-78,92	-100,04
	Revenu travail	0	39,89	67,5	87,13	101,2	111,23	118,22	122,88	125,7	127,05	127,22	94,2	-37,97	-124,88
Scénario 9 suppression des subventions augmentation des prix au débarquement et du prix du carburant	Revenu	0	56,16	97,13	128,7	153,7	173,92	190,74	204,86	216,81	227,15	236,07	285,2	152,09	109,1
	VAN	0	43,39	71,86	90,84	103,4	111,36	116,01	117,96	117,93	116,4	113,56	49,8	-156,37	-264,05
	Profit	0	16,38	26,49	32,67	36,16	37,72	37,85	36,93	35,03	32,55	29,51	-16,1	-124,23	-186,91
	Rente	0	19,29	32,29	41,36	47,76	52,16	55,12	57,04	58,04	58,37	58,1	39,9	-44,81	-86,17
	Revenu Etat	0	2,91	5,80	8,69	11,56	14,43	17,28	20,12	22,96	25,78	28,59	56,10	79,45	100,74
	Revenu travail	0	22,38	36	44,27	48,7	50,57	50,58	49,02	46,5	42,95	38,88	-20,3	-154,33	-231,92

(Unités : milliards de FCFA ; Les optimums sont en gras)

5.4 Simulation de la pêcherie en environnement incertain

Dans cette partie, la notion d'environnement incertain est utilisée pour prendre en compte l'incertitude d'origine environnementale qui s'exprime essentiellement dans la variabilité du recrutement des sardinelles.

Cette variabilité est estimée directement à partir de celle des captures. Pour cela, la moyenne, le maximum et le minimum du rapport entre les tendances annuelles des captures (estimée par régression linéaire) et les captures observées sont utilisées (tableau 5-10).

La méthode utilisée consiste à introduire des chocs aléatoires dans le recrutement (voir paragraphe 4.2.3.1). Deux approches ont été retenues :

Dans un premier temps ont été réalisées des simulations uniques avec des chocs annuels aléatoires définis à partir des paramètres présentés dans le tableau 5-10. Pour chaque année¹² un facteur stochastique d'espérance mathématique égale à 1 est tiré dans une loi normale d'écart-type et de bornes maximale et minimale égales aux valeurs du tableau 5-10.

Dans un second temps on a utilisé la méthode de Monte Carlo. Cette dernière consiste à réaliser des simulations répétées (1000 dans notre cas). Lors de chaque simulation un facteur stochastique est tiré de façon aléatoire avec la méthode mentionnée plus haut. La méthode de Monte Carlo permet ensuite, pour les variables de sorties sélectionnées, d'analyser leur distribution statistique. Une pratique usuelle est d'analyser les distributions de probabilité (fréquence relatives) cumulées, qui permet d'estimer la probabilité d'atteindre ou de dépasser une valeur pour les variables de sorties sélectionnées.

Tableau 5-10 : Les paramètres des simulations Monte Carlo utilisés pour la sardinelle ronde et la sardinelle plate

	SR	SP
Minimum choc stochastique annuel	0,37	0,22
Maximum stochastique annuel	1,67	1,65
Ecart-type choc stochastique annuel	0,29	0,22

Trois scénarios sont effectués dans un environnement incertain : un premier scénario de référence où aucune mesure de gestion ou changement de variable exogène n'est pris en compte, un second avec une suppression de la totalité des subventions et un dernier où l'on gèle la capacité de pêche à son niveau actuel. Les indicateurs retenus sont la biomasse, la capacité de pêche, la rente, le revenu de la pêcherie, le profit, la VAN et le revenu du travail.

¹² On a décidé d'appliquer un choc aléatoire pour chaque année de simulation, il est aussi possible d'appliquer plusieurs chocs par année

Les résultats de simulation dans l'environnement incertain sont discutés par rapport aux résultats obtenus en l'environnement déterministe.

5.4.1 L'évolution de la biomasse et des indicateurs économiques courants selon les différents scénarios en environnement incertain avec des chocs annuels aléatoires

L'évolution de la biomasse est observée dans le cas de simulations stochastiques uniques avec des chocs annuels d'intensités variables (tableau 5-10). On peut voir que pour les trois simulations (figure 5.19), le niveau de biomasse est plus élevé avec un gel de la capacité de pêche au niveau actuel (2). La simulation de référence montre les niveaux de biomasse les plus faibles (1). En plus, le scénario avec le gel de la capacité de pêche conduit à une tendance constante de la biomasse sur quarante ans d'exploitation contrairement à la simulation de référence et le cas de la suppression de la subvention(3). Ceci sous-entend donc que, sur le court terme, le meilleur scénario pour préserver la biomasse est le gel de la capacité de pêche à son niveau actuel.

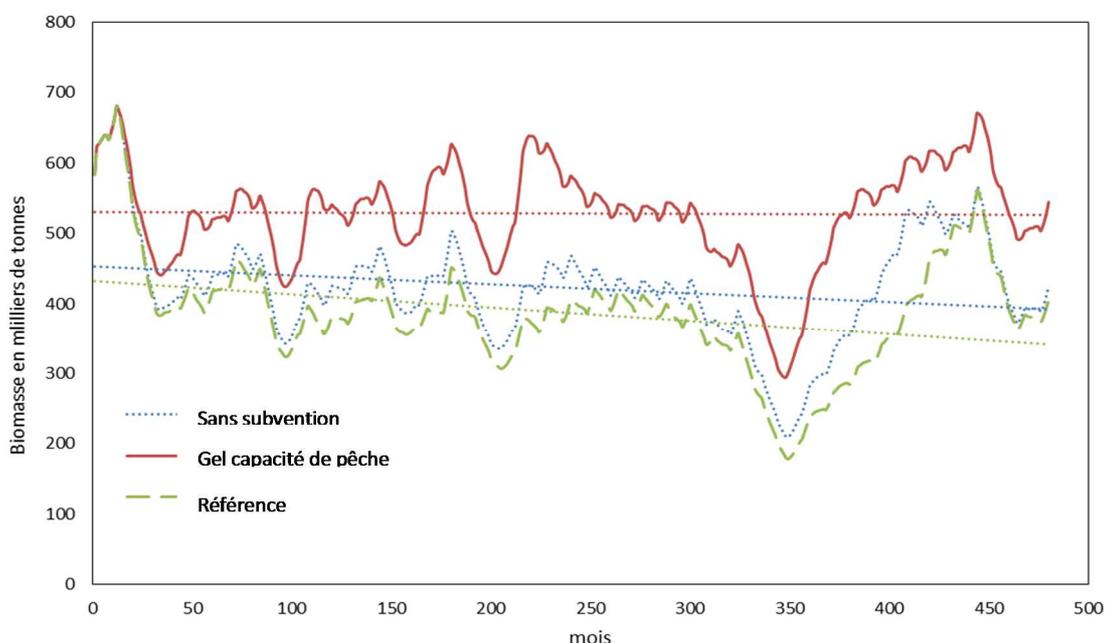


Figure 5.19 : Evolution de la biomasse selon différents scénarios dans un environnement incertain)

L'évolution des indicateurs économiques courants montre une dynamique similaire à celui de la biomasse (figure 5.20). Tous les indicateurs chutent lorsque la biomasse chute. La dynamique du profit et du revenu du travail sont semblables pour le scénario de référence et celui de la suppression de la subvention. Pour la VAN et la rente, le scénario de la suppression des subventions conduit à un résultat meilleur que celui de la référence. A l'exception de quelques années, la rente est toujours négative pour le scénario de référence. Pour tous les indicateurs économiques courants, le scénario du gel de la capacité conduit aux meilleurs résultats.

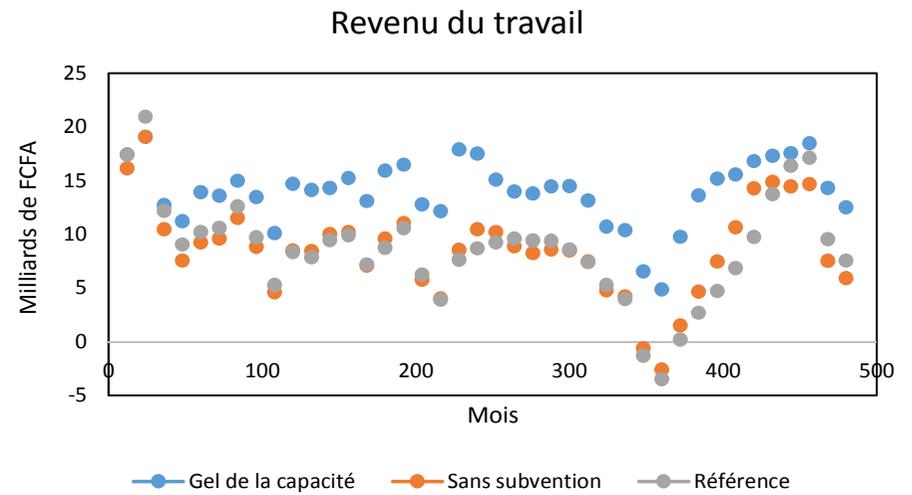
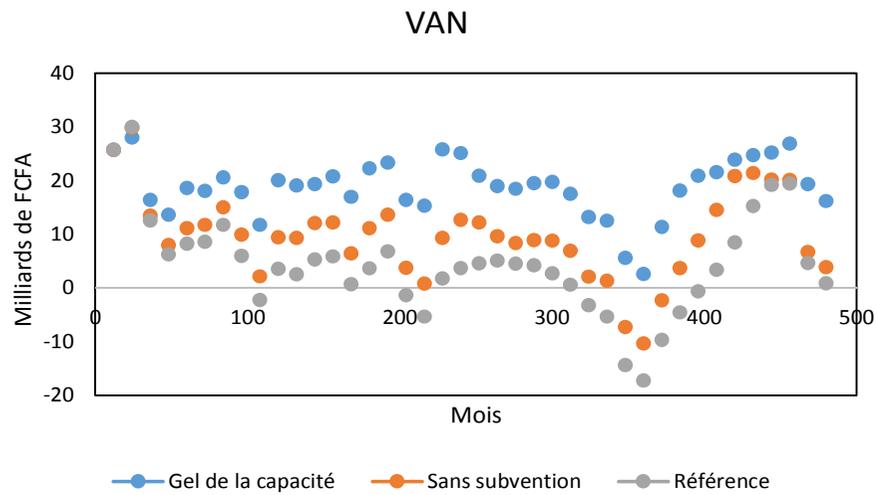
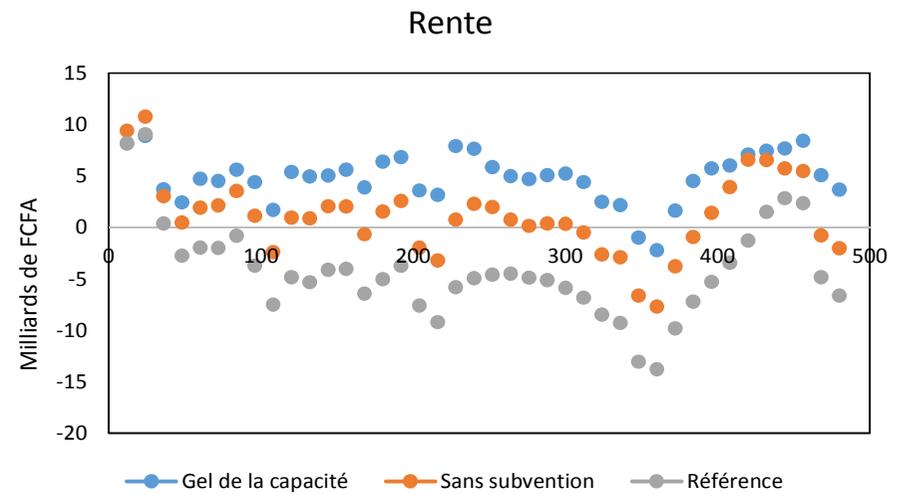
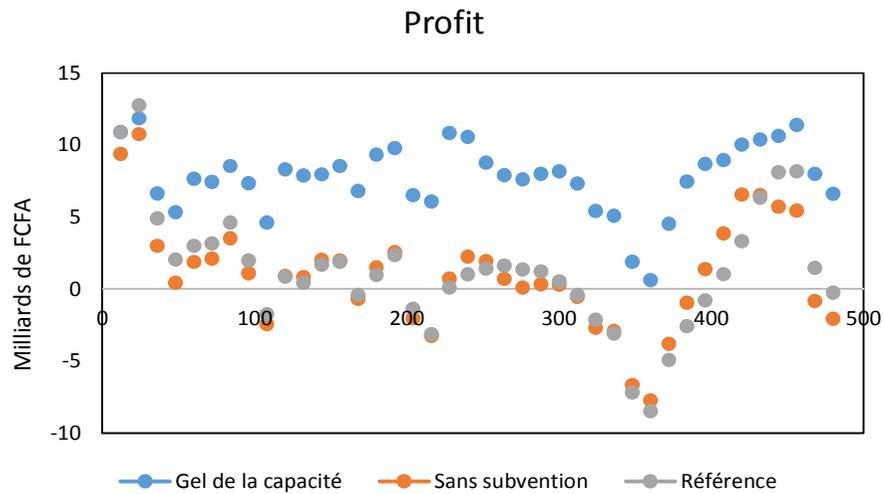


Figure 5.20 : Evolution des indicateurs économiques courants selon les scénarios dans un environnement incertain avec un choc annuel

5.4.2 L'évolution de la biomasse et des indicateurs économiques actualisés selon les différents scénarios en environnement incertain avec des simulations de type Monte Carlo

Nous allons analyser et comparer les résultats de ces indicateurs avec une probabilité cumulée de 50 % et de 100 %. Ces niveaux de probabilités correspondent respectivement à la valeur moyenne et la valeur maximale de ces indicateurs qui peuvent être atteintes en fin de simulation stochastique (figure 5.21). La comparaison des simulations dans un environnement incertain montre que sur le long terme, les valeurs des indicateurs en fin de simulation sont toujours supérieures, avec le gel de la capacité de pêche (figure 5.21), à celles atteintes pour les deux autres scénarios (statut quo et suppression des subventions). Les résultats détaillés de ces scénarios sont en annexe 6.

La biomasse moyenne (probabilité cumulée de 50 %) en fin de simulation (figure 5.21a) est plus élevée dans le scénario du gel de la capacité de pêche (522 000 tonnes). Le scénario de référence, conduit avec la même probabilité à un niveau de biomasse moyen plus faible (360 000 tonnes) comparait aux autres scénarios, la suppression des subventions conduisant à une biomasse moyenne de 405 000 tonnes.

La biomasse maximale pouvant être atteinte (probabilité cumulée de 100 %) en fin de simulation (figure 5.21a) est de 694 000 tonnes quand la capacité de pêche est gelée. La suppression des subventions conduit à une biomasse maximale de 629 000 tonnes. Le scénario de référence conduit au plus faible niveau de biomasse, le maximum pouvant être atteint dans ce scénario est de 578 000 tonnes.

Le revenu moyen de la pêcherie (probabilité cumulée de 50 %) en fin de simulation (figure 5.21b) n'est pas très différent pour le scénario de référence et celui de suppression des subventions (respectivement 413 et 415 milliards). Il est cependant inférieur pour le scénario du gel de la capacité de pêche (374 milliards).

Le revenu maximum de la pêcherie pouvant être atteint (probabilité cumulée de 100 %) en fin de simulation (figure 5.21b) suit la même tendance que le moyen. La simulation de référence conduit à un revenu maximal de 492 milliards, le scénario de la suppression des subventions à 490 milliards. Le gel de la capacité conduit ici aussi au plus faible revenu maximal (425 milliards).

L'analyse de la rente moyenne (probabilité cumulée de 50 %) en fin de simulation (figure 5.21c) montre qu'elle est négative pour la situation de référence (-18,4 milliards) et elle est de 22,4 milliards quand les subventions sont supprimées. La rente est meilleure avec le gel de la capacité de pêche (40,1 milliards).

La rente maximale pouvant être atteinte (probabilité cumulée de 100 %) en fin de simulation (figure 5.21c) est négative pour la situation de référence (-15 milliards). La suppression des subventions peut conduire à une rente maximale de 30,7 milliards. Le gel de la capacité de pêche conduit ici aussi à la rente maximale la plus élevée (62,2 milliards) comparait aux autres scénarios

La VAN moyenne (probabilité cumulée de 50 %) en fin de simulation (figure 5.21d) est de 76,7 milliards dans la simulation de référence. La suppression des subventions peut conduire à une VAN moyenne de 112 milliards. Le gel de la capacité de pêche double la VAN en moyenne (167 milliards) comparait à la simulation de référence.

La VAN maximale pouvant être atteinte (probabilité cumulée de 100 %) en fin de simulation (figure 5.21d) est inférieure dans la simulation de référence (101 milliards). Cette valeur de la VAN est doublée lorsque la capacité de pêche est gelée (216 milliards). Dans le cas de la suppression des subventions, le maximum de la VAN est de 140 milliards.

Le revenu du travail moyen (probabilité cumulée de 50 %) en fin de simulation (figure 5.22e) est de 94,9 milliards dans la simulation de référence. Il est légèrement réduit avec une suppression des subventions (89,9 milliards). Le gel de la capacité de pêche revalorise le revenu du travail de 33 % comparait à la simulation de référence.

Le revenu du travail maximum pouvant être atteint (probabilité cumulée de 100 %) en fin de simulation (figure 5.22e) est de 116 milliards dans la simulation de référence. La suppression des subventions peut conduire à un revenu du travail de 109 milliards. Le gel de la capacité de pêche conduit au meilleur résultat (154 milliards) comparait aux autres scénarios.

La comparaison des résultats de simulations en environnement incertain, pour un niveau de probabilité cumulé de 50 %, à ceux effectués en environnement certain (simulations déterministes) montre des résultats différents selon les trois scénarios retenus.

Pour le *statu quo* (référence), la situation déterministe montre de meilleurs résultats (figure 5.23a). Ceci veut donc dire que la prise en compte de la variabilité de l'environnement conduit à des valeurs espérées plus faibles pour la biomasse et les variables économiques actualisées.

Pour le scénario de suppression de la totalité des subventions, tous les indicateurs sont positifs. Excepté la rente et la VAN, les valeurs des indicateurs en fin de simulation sont plus élevées en environnement déterministe (figure 5.23b).

Pour le scénario de gel de la capacité de pêche à son niveau actuel, tous les indicateurs sont positifs, en situation incertaine ou déterministe. Les indicateurs sont cependant plus élevés en simulation déterministe (figure 5.23c).

Les résultats des simulations stochastiques sont en phase avec ceux des simulations déterministes.

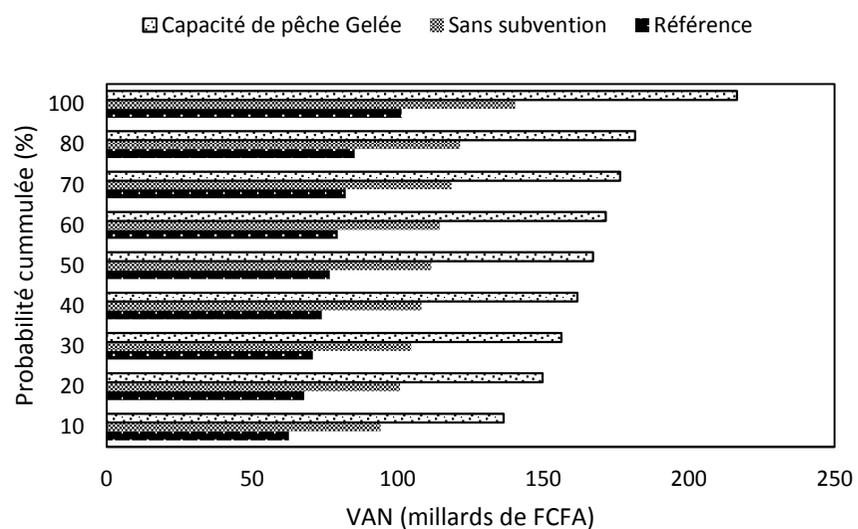
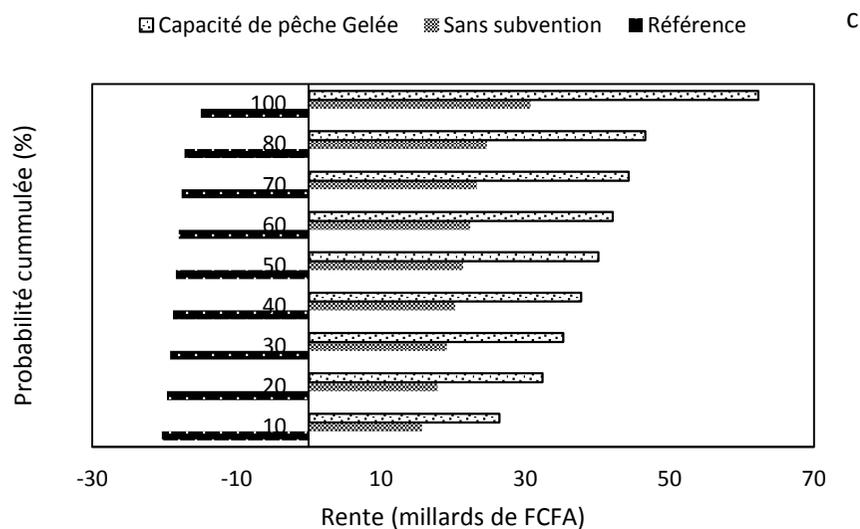
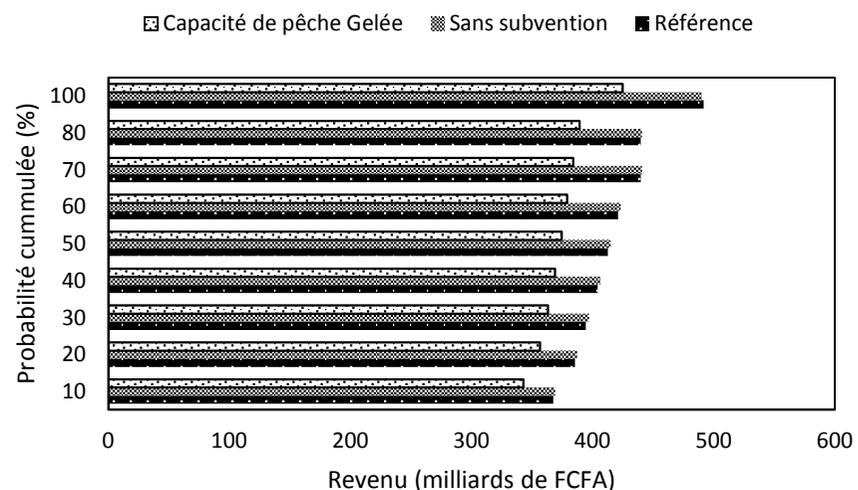
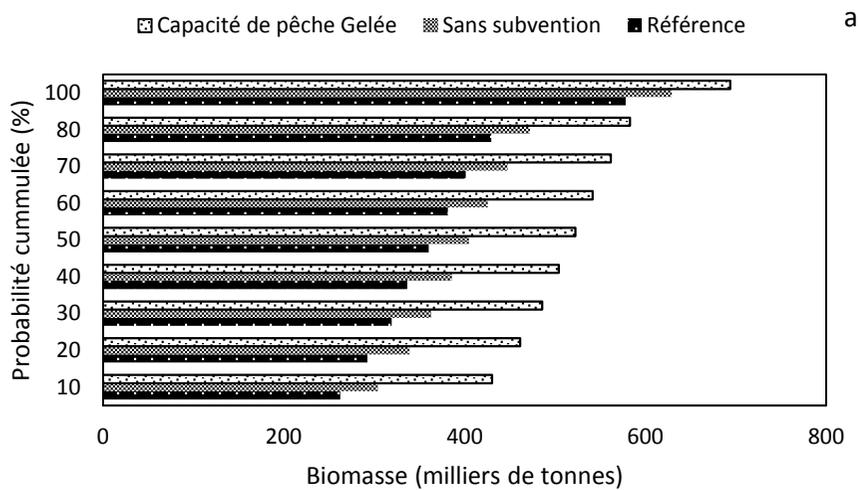


Figure 5.21 : L'évolution de la biomasse et des différents indicateurs économiques actualisés selon les différents scénarios en environnement incertain (simulation Monte Carlo). Biomasse (a), revenu pêcheurie (b), rente (c), VAN (d), revenu du travail (e).

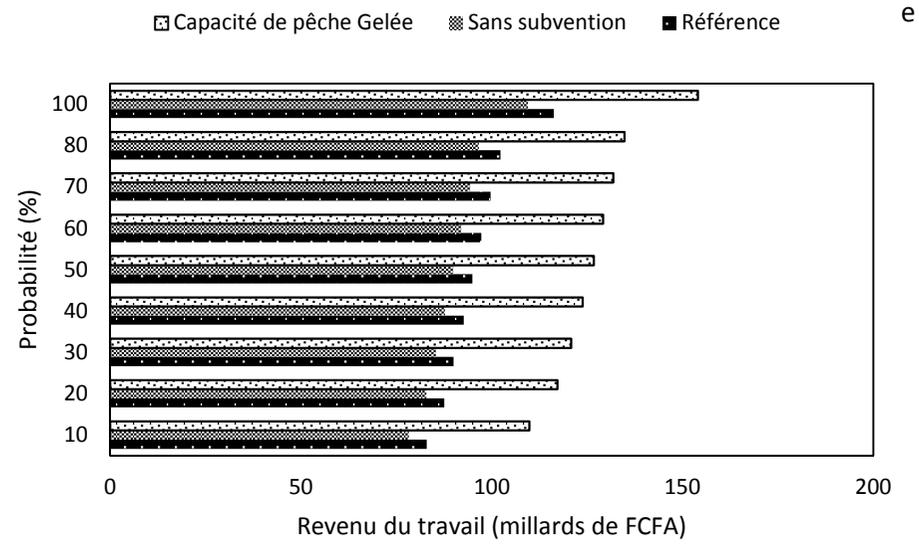


Figure 5.22 : L'évolution de la biomasse et des différents indicateurs économiques actualisés selon les différents scénarios en environnement incertain (simulation Monte Carlo). Biomasse (a), revenu pêcheurie (b), rente (c), VAN (d), revenu du travail (e).

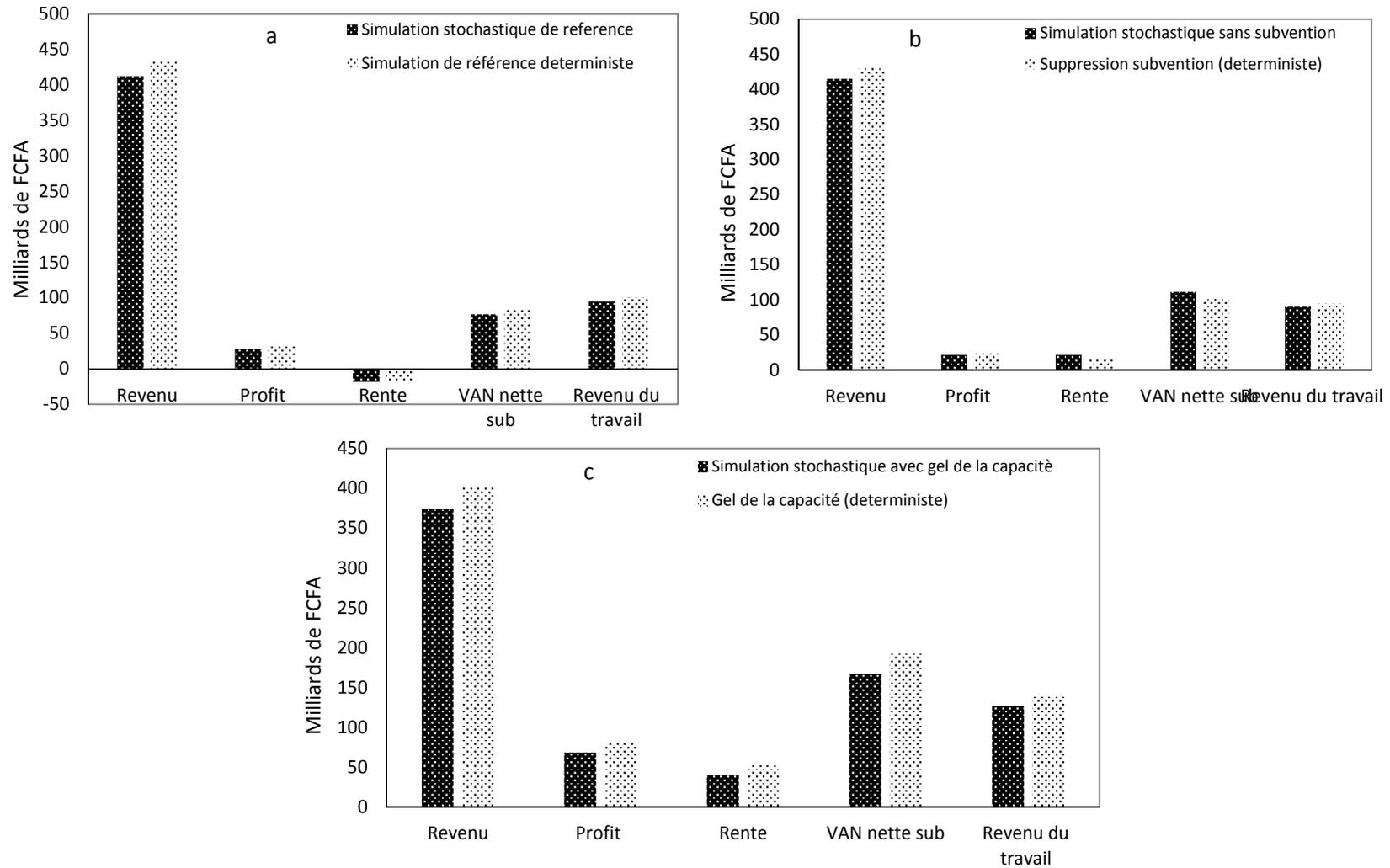


Figure 5.23 : Les différents indicateurs économiques actualisés selon les différents scénarios en environnement incertain comparés aux résultats des scénarios en environnement déterministe. Scénario du *statu quo* (a) scénario de la suppression de la subvention (b) scénario du gel de la capacité de pêche (c)

5.5 Discussion

5.5.1 Le scénario de référence ou *statu quo*

L'analyse de la situation de référence (tableau 5-2) nous montre globalement que la pêcherie de sardinelles est économiquement surexploitée et par rapport à la situation optimale, la société perd environ 15 milliards de FCFA en 40 ans d'exploitation, soit 375 millions par an. Cela sous-entend que la pêcherie est en surcapacité. En d'autres termes, le capital nécessaire pour optimiser les indicateurs économiques est largement dépassé. Ces observations sont en accord avec les constats de plusieurs auteurs [93], [136], [160]–[163] qui montrent comment une pêcherie en libre accès et subventionnée conduit à la surcapacité et à des pertes économiques. Cette surcapacité est par ailleurs confirmée par certains phénomènes tels que les différentes migrations effectuées par les unités de pêche ST entre le Sénégal et la Mauritanie [6]. Ces migrations sont le fruit d'accords de pêche bilatéraux entre le Sénégal et la Mauritanie. Ces accords permettent non seulement aux unités de pêche senne tournantes de suivre la migration naturelle des sardinelles mais aussi de soulager la surcapacité de pêche au Sénégal.

Du point de vue biologique, le niveau des débarquements n'a pas encore atteint son maximum, ils peuvent encore être augmentés. Cela est observé sur le terrain avec la limitation partielle des nombres de sorties de pêche des Sennes tournante en période d'abondance entre les mois de mai et de juin (l'exemple des CLPA de Mbour et de Joal) pour empêcher la baisse des prix et la saturation du marché [88]. Il faut noter qu'une augmentation de l'effort de pêche s'accompagnerait aussi d'une forte augmentation des coûts difficilement supportable pour la pêche artisanale. Ces observations laissent entendre que la pêcherie n'est pas biologiquement surexploitée. Cette dernière observation est en contradiction avec les différentes estimations effectuées par la COPACE entre 2001 et 2015 [21], [22]. Cette différence des résultats pourrait être expliquée par plusieurs facteurs dont la méthodologie d'estimation de la biomasse, la couverture spatiale du modèle et la difficulté d'avoir des données homogènes dans les pays qui se partagent le stock de sardinelles. En effet, les estimations de la COPACE prennent en compte le stock de sardinelles de la Mauritanie au Sénégal alors que le modèle utilisé dans ce travail n'utilise que les données disponibles dans la zone sénégalaise. L'autre fait est que le COPACE utilise un modèle global de type Schaefer sur toute la zone sénégal-mauritanienne alors que cette étude utilise un modèle analytique dans la zone sénégalaise. Il faut aussi noter que les estimations effectuées par le modèle n'ont pas intégré la possibilité d'un accroissement de l'effort de pêche dans les zones extérieures à la ZEE sénégalaise. Or la variation de l'effort de pêche dans les zones extérieures à la ZEE sénégalaise peut fortement influencer les captures de la pêcherie au Sénégal.

L'étude de la rentabilité est basée sur le modèle standard utilisé pour l'estimation des coûts et des revenus de la pêcherie artisanale sénégalaise [15]. Du point de vue économique, les résultats sur le profit renforcent les conclusions des études déjà effectuées au Sénégal sur cette pêcherie [15].

5.5.2 Les scénarios prospectifs

La biomasse réagit très différemment selon les différents scénarios prospectifs. En effet, une augmentation du prix des sardinelles entraîne une baisse de 3,7 % par an. Elle est due à l'augmentation de l'activité de pêche et de la flotte active de 32 % consécutives à l'amélioration temporaire des profits permise par l'augmentation des prix. Cela est dû à l'intérêt des pêcheurs pour augmenter l'effort et la capacité de pêche en augmentant les investissements du fait d'une espérance de gain plus élevée dans un contexte d'ouverture de nouveaux marchés en Afrique de l'Ouest mais aussi du libre accès dans la pêche artisanale. Ce phénomène est aussi observé dans les pêcheries démersales sénégalaises, en l'occurrence, celle du Thiof [93].

Une augmentation des coûts de carburant de 5 % par an entraîne une augmentation considérable (2 % par an) de la biomasse au cours du temps. Ce résultat pourrait s'expliquer par une baisse des investissements et de la capacité de pêche de 95 % durant la simulation. Cela confirme l'importance du prix du carburant dans le compte d'exploitation de la pêche. Ce résultat va dans le sens de ceux de plusieurs études [15], [164], [165]. Les unités de pêche qui ciblent les petits pélagiques sont très dépendantes du carburant du fait de leur temps de recherche et de la puissance des moteurs qu'elles utilisent. Cette dépendance au carburant est de plus en plus mise en exergue par l'augmentation du temps de recherche consécutive à la baisse de l'abondance de la ressource.

La combinaison d'une augmentation du prix des sardinelles et du prix du carburant influe moins sur la destinée de la biomasse. Cette situation montre des niveaux de biomasse et de flotte active assez similaires à la situation de *statu quo*.

Ces scénarios sont certes prospectifs mais il est vraisemblable que la demande en petits pélagiques augmente au Sénégal avec l'implantation récente de quatre usines de farine de poisson (Gandiole, Diamniadio, Mbour et Joal) mais aussi le développement de filières d'exportations de sardinelles dans la sous-région (espace CEDEAO). Ces nouveaux marchés pourront avoir plusieurs conséquences sur la pêche de sardinelles dont l'augmentation des prix et la réorientation de l'offre au détriment du marché national. Cela pourrait constituer une sérieuse menace pour la sécurité alimentaire.

Pour les résultats économiques, sur le court terme, seule une augmentation progressive du prix des produits assure un profit positif en fin de simulation (40 ans d'exploitation). Les autres simulations conduisent à des profits nuls ou négatifs (cas de l'augmentation du prix du carburant). Il semble alors que le prix du produit soit un facteur important pour le profit des armateurs. L'augmentation simultanée des prix des sardinelles et du carburant conduit à des résultats similaires à la situation de *statu quo*.

Les optimums économiques montrent pour que pour tous les scénarios prospectifs, la pêche est en surcapacité et que le maximum de revenus pourrait être obtenu en doublant la capacité de pêche. Cependant, la situation optimale pour la société est que l'augmentation des prix de sardinelles s'accompagne de celle du carburant, sinon, on assiste à une surcapacité de pêche et une perte de

rente, de revenu du travail et de VAN. Face à une ouverture des marchés avec une demande de plus en plus forte, il est très probable que l'on assiste à une augmentation des prix des sardinelles. Dans ce contexte, il serait important pour l'Etat du Sénégal de garantir la durabilité de l'exploitation des sardinelles en trouvant des moyens de contrebalancer l'effet de l'augmentation des prix des sardinelles. Parmi les moyens dont dispose l'Etat figure notamment le gel de la capacité de pêche ou bien encore la suppression des subventions accordées à la pêche d'autant plus que l'Etat n'a pas vocation à subventionner des produits d'exportation.

5.5.3 Les scénarios normatifs

Les subventions font l'objet de critiques sévères en raison du fait de leurs effets pervers sur la dynamique des pêcheries d'une part mais aussi du fait de leurs rôles dans la concurrence déloyale sur le marché international [98], [159]. La suppression des subventions quel que soit le type entraîne une baisse immédiate du profit des armateurs. Elle demeure néanmoins un moyen indirect efficace pour réduire la capacité de pêche. Elle constitue donc un bon moyen de régulation de la capacité de pêche dans les pêcheries d'accès libre et donc de l'amélioration de la création de richesses sur le long terme.

Dans le cadre de ce modèle, la suppression des subventions fait économiser à l'Etat environ 0,7 milliard de FCFA par année et augmente la rente de 33 %. Les grands perdants sont les armateurs qui perdent 22 % de leurs profits par rapport à la situation de référence. Ces résultats sont en accord avec ceux de plusieurs auteurs ayant travaillé sur ce sujet [15], [159], [166]–[168]. Dans les pêcheries libres d'accès, Munro et Sumaila [167] montrent que les subventions conduisent à la surcapitalisation et la surexploitation et deviennent sur le long terme un handicap pour la sécurité alimentaire [168]. Selon certaines estimations, elles étaient comprises entre 25 et 29 milliards de dollars en 2003 [159], et représentaient environ 35 % de la valeur des débarquements mondiaux.

L'existence des subventions dans la pêche artisanale sénégalaise pose un double problème. Aujourd'hui, on n'est plus à l'ère du développement de la filière alors qu'il est observé une surcapacité de pêche d'une part et que d'autre part la plupart des produits de la pêche artisanale sont sujets à l'exportation. Le maintien des subventions favoriserait donc la surcapacité de pêche et le développement de l'exportation des produits de petits pélagiques très demandés par les pays de la sous-région et sur le marché international de la farine de poisson. Subventionner la pêcherie de sardinelles consiste à subventionner les exportations et donc des consommateurs autres que sénégalais.

Si l'Etat a mis en place les subventions pour assurer une production suffisante de protéines animale pour les populations, cette politique doit être revue et bien orientée afin qu'elle ne produise pas des effets pervers. Si les subventions ont été mises en place pour le développement du secteur, elles ont déjà atteint leurs objectifs et elles sont à reconsidérer pour augmenter l'efficacité économique du secteur.

Les fermetures spatiotemporelles entraînent globalement une baisse de l'effort et de la capacité de pêche dans la zone fermée. La plupart des études abordent le comportement de l'effort de pêche et de l'abondance dans le cas des espèces pélagiques ou mobiles [157]. Cette étude aborde non seulement ces aspects, mais aussi elle montre l'efficacité économique que pourrait avoir la mise en place de fermetures spatiotemporelles dans une pêcherie de petit pélagique d'accès libre. Dans le cadre du modèle, la fermeture temporelle de 30 % de la petite côte entraîne une baisse de 26 % de la flotte active dans la zone et des améliorations pour les indicateurs tels que la rente, le revenu du travail, la VAN et permet à l'Etat d'économiser 3 milliards de FCFA sur 40 ans. Cette politique entraîne

cependant un report de l'effort de pêche dans les zones ouvertes à la pêche, soit 25 % dans la Grande Côte et 30 % en Casamance. Cette particularité est essentiellement liée à la mobilité de la flotte et limite en conséquence l'effet de cette mesure sur l'effort de pêche. Cette conséquence de la fermeture de zones de pêche a été notée dans d'autres pêcheries [155], [157], [169]–[171].

Dans ce scénario, il n'est pas prévu des cas de pêche illicite dans la zone fermée, or dans la réalité cela pourrait se produire. Cela veut dire que pour que la fermeture ait les résultats escomptés, il faudrait qu'elle soit strictement respectée. Au Sénégal depuis le début des années 2000, on a créé plusieurs AMP dont celle de Kayar dans la Grande Côte et celle de Joal dans la Petite Côte mais sans effet très net sur la dynamique de la flotte. Le nombre d'unités de pêche surtout les sennes tournantes n'a pas baissé dans ces zones. Il semblerait donc que ces AMP soient peu efficaces pour les petits pélagiques du fait de leur mobilité et de leur aire de répartition. Cet argument est plausible si l'on se réfère à Hilborn et al [169] qui avance les réserves marines fournissent peu d'avantages par rapport aux outils de gestion des pêches conventionnelles pour les pêcheries qui ciblent une seule espèce très mobile avec peu ou pas de prises accessoires. Ce faible impact des AMP dans les pêcheries de petits pélagiques a été signalé dans la pêcherie pélagique du golfe de Gascogne [170], [171]. En outre, il faut que la zone de fermeture soit suffisamment grande pour pouvoir protéger les reproducteurs des espèces mobiles et avoir des retombées positives [172]. Dans notre cas, le taux de fermeture semble suffisamment élevé pour avoir des résultats positifs. Les résultats sont meilleurs que ceux du *statu quo* mais cette différence est expliquée par le fait que dans le modèle, l'interdiction de pêche est totale dans la zone fermée. L'augmentation des coûts de la pêche due à la mise en place des AMP relatée par plusieurs auteurs [98], [157], [169], [173] se fait par contre moins ressentir dans cette pêcherie du fait de la migration saisonnière des pêcheurs et surtout du fait qu'ils changent de port d'attache.

Il faut noter qu'il serait très difficile à réaliser ce type de politique avec ce taux de fermeture (30 % de la PC) car il se posera un problème d'applicabilité et de surveillance. Cette dernière a un coût qui devrait être intégré dans le management [155]. De plus selon Chaboud [98], en l'absence de mesures de contrôle de la capacité, la création d'AMP ne conduira qu'à concentrer un effort de pêche constant ou croissant sur un espace plus restreint et ne résoudra pas à elle seule les problèmes de la pêcherie. Cette dernière remarque est d'ailleurs montrée par le modèle, la fermeture de 30 % de la PC a entraîné une augmentation de 25 % de la flotte active dans la GC et 30 % en Casamance.

Pour le scénario sur le prix de la licence (permis) de pêche, il ressort que le prix actuel (25 000 FCFA) n'a pas d'effet sur le comportement du pêcheur et ceci même si le prix est multiplié par dix. Les pêcheurs commencent à réagir lorsque la redevance atteint 50 fois le montant actuel de la licence. Cela est vraisemblable car en guise d'exemple, le prix actuel du permis ne représente que 0,1 % du profit des ST [88]. Depuis leurs mises en place en 2006, l'acquisition des permis de pêche ne concerne que 50 % des unités de pêche [88]. Même si toutes les unités de pêche s'acquittaient de leur redevance, elle ne permettrait pas d'internaliser les externalités du fait de sa faiblesse car l'Etat perd 28 milliards de FCFA en termes de subventions. Pour que l'Etat partage ces dépenses avec les acteurs

privés de pêche pélagique, il faudrait multiplier le prix de la licence par cent. Cette dernière possibilité semble difficile à envisager du point de vue politique, le prix de licence revenant alors à 2 500 000 FCFA par unité de pêche.

Le gel de la capacité de pêche semble ainsi être la meilleure politique dans le cadre de ce modèle. Les résultats confirment que la première mesure à prendre dans une pêcherie libre d'accès, c'est de contrôler l'accès. En effet, il semble que les gestionnaires de la pêche l'ont bien compris car depuis le début des années 2000, l'Etat du Sénégal s'est engagé à d'abord contrôler la capacité de pêche à travers la PNI (Programme Nationale d'Immatriculation des pirogues) et ensuite à instaurer des permis de pêche artisanale pour pouvoir limiter l'accès aux pêcheries. La limite de cette mesure est qu'elle peut conduire à une augmentation de l'efficacité de pêche. Bien que l'Etat se soit engagé à réguler la capacité de pêche, il n'existe toujours pas de moyens empêchant la création de nouvelles unités de pêche. La régulation de la capacité de pêche dans la pêcherie de sardinelles devrait donc être accompagnée d'une limitation des nouvelles entrées dans la pêcherie.

Toutefois, cette volonté de maîtrise de la capacité de pêche coexiste avec la subvention de la pêcherie et dernièrement (en 2016) l'Etat a accordé une subvention additionnelle de 5 milliards de FCFA à la pêche artisanale pour l'achat de moteurs. La politique de l'Etat sénégalais en matière de pêche artisanale semble contradictoire car les subventions ont pour effet d'inciter à l'investissement dans le secteur et donc à augmenter davantage la surcapacité. Il semble évident que la politique de maîtrise des capacités de pêche est en contradiction avec les politiques de maintien ou d'accroissement des subventions.

Les politiques de gestion testées dans ce travail ne devraient pas être que nationales du fait du caractère partagé de la ressource. En effet, l'effort de pêche ainsi que la capacité de transformation des sardinelles en farine de poisson ne cesse d'augmenter dans les pays voisins, en l'occurrence la Mauritanie avec qui le Sénégal partage la ressource. De 2005 à 2014, outre l'effort de pêche industriel, le nombre d'unités de pêche à la senne tournante est passé de 10 à 136 et le nombre d'industrie de farine de poisson a été multiplié par trois (soit de 7 à 22 unités) avec une capacité journalière de transformation de 2750 tonnes [26]. Cette dynamique de la pêcherie de sardinelles en Mauritanie ne rend pas facile la prise de décision sur cette pêcherie au Sénégal. Car une politique unilatérale conduirait forcément au phénomène du « passager clandestin » entre pays voisins.

5.5.4 La prise en compte de l'incertitude sur le recrutement

La biomasse et les captures de sardinelles sont caractérisées par une variabilité intra et interannuelle très marquée due à leur fort lien avec l'upwelling côtier [6]–[9], [174]. Cette caractéristique rend difficile toute tentative de modélisation. Les modèles de simulation déterministes ne prennent pas en compte l'incertitude concernant l'abondance des sardinelles. Dans le cas de ce modèle, cette particularité a été prise en compte par le biais de simulations stochastiques de type Monte-Carlo. Cela nous a permis d'obtenir des résultats de simulation de la pêcherie accompagnés d'un intervalle de

confiance. Toujours est-il que de toutes les mesures de gestion testées dans les simulations, le gel ou la réduction de la capacité de pêche donnent les meilleurs résultats et ceci même en situation déterministe.

5.5.5 Les limites du modèle

Bien que les résultats obtenus semblent globalement en accord avec la dynamique réelle de la pêcherie de sardinelles, le modèle comporte certaines limites tant dans la conception que dans l'alimentation en données. Dans la méthodologie de conception du modèle, les limites relevées sont pour la plupart spatiales. En effet, l'exploitation dans les zones extérieures à la ZEE sénégalaise est forcée dans le modèle alors que la ressource est partagée entre plusieurs pays. Le modèle devrait prendre en compte explicitement l'effort de pêche dans les autres pays partageant avec le Sénégal la ressource, car la variation de l'effort dans ces pays pourrait avoir un effet dans la pêcherie au Sénégal. Pour ce qui concerne l'alimentation du modèle, les limites concernent la structure en taille des captures et l'effort de pêche dans toute la zone d'expansion de la ressource. En effet, dans le modèle, les données se limitent sur la pêcherie du Sénégal. Cela constitue une faiblesse du modèle, car la ressource est migratrice et partagée entre différents pays.

5.6 Conclusion

Les résultats obtenus dans ce chapitre nous ont permis de simuler sur la réaction de la pêcherie de sardinelles par rapport à certains facteurs externes. Nous pouvons sans risque dire que la pêcherie, en l'état actuel des données, est en surcapacité de pêche.

La pêcherie sénégalaise aux petits pélagiques est très sensible aux chocs externes tels que le prix du carburant et le prix de vente au débarquement des sardinelles. Une augmentation des prix au débarquement de 2 % par an pourrait conduire à une surexploitation plus intense de la pêcherie. Une augmentation du prix du carburant de 5 % par an pourrait conduire à une disparition précoce de la pêcherie.

La suppression des subventions pourrait à court terme conduire à une baisse de l'activité de pêche et à une diminution de la production totale de sardinelles. Cette mesure pourrait compromettre la sécurité alimentaire.

Le prix des licences (permis) de pêche (25 000 FCFA) est trop bas pour influencer sur l'activité de la pêcherie. Pour que le prix de la licence impacte sur l'activité de la pêcherie, il faudrait qu'il soit égal à 250 000 FCFA. Si l'Etat veut partager les coûts réels de la pêcherie avec les acteurs privés, il faudrait multiplier le prix de la licence de pêche par 100. La faisabilité de cette mesure reste politiquement très difficile.

Les fermetures spatiotemporelles (aires marines protégées) entraînent une baisse de la capacité de pêche dans les zones fermées. Cependant, en raison de la mobilité spatiale très grande des unités de

pêche, cette mesure conduit à la concentration de la capacité de pêche dans les zones restantes ouvertes à la pêche.

La meilleure mesure à prendre actuellement pour la pêcherie de sardinelle est le gel ou la réduction de la capacité de pêche. Ces mesures conduisent à de meilleurs résultats sur le court et le long terme.

En termes de modélisation, il semble que la prise en compte de l'incertitude liée au recrutement soit plus pertinente du fait du caractère très variable du recrutement.

Enfin, toutes mesures prises de manière unilatérale par le Sénégal pourraient ne pas avoir d'effet escompté du fait du caractère partagé de la ressource. Il est donc nécessaire de promouvoir la collaboration entre les pays voisins pour la gestion de la pêcherie de sardinelles en Afrique de l'Ouest. Pour ce faire, la CSRP constitue un organe politique à même de pouvoir coordonner les efforts en faveur d'une gestion optimale de la pêcherie de sardinelles.

CONCLUSION GENERALE

Au cours de ce travail de thèse, il a été question de comprendre, d'analyser et de modéliser la dynamique de la pêcherie de sardinelles au Sénégal. Cette dernière a été observée sur une période de plus de vingt ans sous un angle bioécologique mais aussi socioéconomique. L'évolution de la rentabilité de la pêcherie de sardinelles a été étudiée sur deux décennies et un modèle bioéconomique a été développé.

Un des premiers constats est que, sur le plan bioécologique, la dynamique spatiotemporelle de la ressource n'a pas changé depuis les études de Boëly [17] et que les paramètres biologiques des sardinelles sont assez résilients [77] malgré les changements globaux qu'ils subissent (i.e. surexploitation, changement climatique).

Les moyens d'exploitation engagés dans la pêcherie de sardinelles au Sénégal ont par contre significativement évolué dans le temps. En effet, en vingt ans, la puissance des moteurs de la majorité des unités de pêche senne tournantes ont quasiment doublé et sont passés de 25-40 cv à 40-60 cv et pour certaines sennes tournantes dans la Grande Côte, la longueur des filets de pêche est passé de 400 mètres à 1000 mètres. Cette évolution technologique (croissance de la puissance de pêche) s'est traduite par une augmentation du rendement (croissance de 2 % de la CPUE par an) au cours du temps.

La rentabilité économique des unités de pêche de la pêcherie de sardinelles s'est détériorée au cours des deux dernières décennies, alors que les captures totales ont tendance à augmenter [27]. Les unités de pêche engagées dans la pêcherie de sardinelles au Sénégal ont connu une forte baisse de leurs profits au cours des vingt dernières années et l'investissement dans ce secteur devient de plus en plus risqué. Cela démontre la situation de surcapacité de pêche causée principalement par le caractère de libre accès à la ressource. Les unités de pêche à la senne tournante ont encore des profits positifs et semblent résister encore à la situation de surcapacité de pêche du fait de leur organisation plus capitaliste. Les unités de pêche au filet maillant encerclant ont des profits proches de zéro, et semblent plus vulnérables à la situation de surcapacité. L'équipage de ces unités de pêche est majoritairement composé de pêcheurs de même famille, ce qui fait que la gestion est plus familiale.

Le modèle bioéconomique de la pêcherie de sardinelles au Sénégal a montré que la pêcherie est, d'un point de vue économique, surexploitée au Sénégal. Pour atteindre un niveau optimal d'exploitation, il faudra baisser de moitié la capacité de pêche. Cette solution reste cependant difficile à mettre en œuvre, car elle nécessite une acceptabilité de la part des pêcheurs et une indemnisation des acteurs qui acceptent de sortir de la pêcherie comme cela est le cas, en période de crise, dans les plans de sortie de flotte. Par ailleurs, la mise en place d'une telle mesure se heurtera à la nature culturelle de la pêche artisanale au Sénégal qui est plutôt composée d'unités de type familial.

A travers les scénarios simulés, notre modèle démontre que la pêcherie de sardinelles est très sensible aux chocs externes tels que le prix du carburant et le prix de vente au débarquement des sardinelles.

L'ouverture de nouveaux marchés en Afrique de l'Ouest et la production de farine et d'huile de poisson pourront conduire dans une situation de libre accès dans la pêcherie de sardinelles à l'augmentation des prix au débarquement, à la surexploitation de la ressource et à la remise en cause de la contribution de la pêcherie à la sécurité alimentaire. La forte dépendance de la pêcherie au prix du carburant pourrait aussi hypothéquer l'avenir de la pêcherie et sa contribution à la sécurité alimentaire dans un contexte aggravé de crise énergétique.

Par ailleurs, le modèle nous indique aussi que de toutes les mesures de gestion qui ont été testées (fermeture spatiotemporelle, baisse ou suppression des subventions, augmentation du prix du carburant), le gel ou la réduction de la capacité de pêche donnent les meilleurs résultats.

La suppression des subventions dans la pêcherie contribue à une baisse de la capacité de pêche et de la production de sardinelles. Dans le contexte de la pêche au Sénégal, il est urgent de revoir les subventions accordées à la pêche, car elles contribuent à l'accroissement de l'investissement dans une pêcherie déjà en surcapacité. La mise en place d'une telle mesure devra être faite de manière progressive pour réduire les effets immédiats (baisse de profit et de production) et permettre aux acteurs privés de s'adapter.

Les mesures de fermeture spatiotemporelle conduisent aussi à une baisse de la capacité dans les zones fermées. Cependant, dans le contexte actuel d'accès libre de la pêcherie et de mobilité de la ressource et de la flotte, cette mesure conduit aussi à une concentration de la capacité et de l'effort de pêche dans les zones ouvertes à la pêche. Pour que la mise en place de fermetures spatiotemporelles ait un impact sur la pêcherie, il faudrait que les zones fermées soient suffisamment grandes pour couvrir toute l'aire de répartition des sardinelles. Cette mesure reste difficile à prendre, car les sardinelles sont mobiles et elles sont partagées entre plusieurs Etats riverains.

A leur niveau actuel, les licences (permis) de pêche n'ont pas d'effets réels sur la pêcherie de sardinelles. Pour que la valeur des licences de pêche influe sur le comportement des pêcheurs, il faudrait qu'elle soit égale au moins à 50 fois leur prix actuel. Cette mesure reste aussi difficile à mettre en œuvre, car certains pêcheurs tardent à payer les licences à leur niveau actuel. La mise en place de ce type de mesure devrait donc s'accompagner d'une bonne communication auprès des acteurs et d'une forte volonté politique de la part de l'Etat.

Le contrôle de la capacité de pêche fournit les meilleurs résultats en matière de gestion dans le contexte d'accès libre de la pêcherie de sardinelle. Dans une pêcherie en surcapacité et libre d'accès, la première mesure à prendre est de geler la capacité pour limiter les investissements et la surcapacité. Cette mesure reste la plus souple à prendre dans le contexte actuel de la pêcherie de sardinelles au Sénégal. En effet, le gel de la capacité n'impacte ni la production, ni les coûts de production actuels. L'Etat du Sénégal semble d'ailleurs sur cette voie avec les efforts d'identification et d'immatriculation des pirogues.

La principale problématique de la pêcherie de sardinelles est l'absence de politique de pêche commune entre les pays qui partagent la ressource. Ces divergences de politiques entre les pays partageant la même ressource pourraient fortement nuire à sa durabilité dans un futur proche. Pour le Sénégal, cette pêcherie participe plutôt à la sécurité alimentaire en pourvoyant à la population une protéine animale de bas coût ainsi que de nombreux emplois alors que pour le Maroc et la Mauritanie, les débarquements servent plutôt à approvisionner les industries de farine de poisson. Pour ce qui concerne la Gambie et la Guinée Bissau partageant aussi ce stock, nous avons moins d'informations formelles, mais il est vraisemblable que cette ressource est plutôt exploitée par des pêcheurs étrangers (par le biais d'accords de pêche bilatéraux).

Pour la durabilité de l'exploitation de cette ressource, les pays partageant la ressource devraient mettre en place un plan de gestion commun comme cela a été le cas pour Convention relative à la détermination des conditions minimales d'accès et d'exploitation des ressources halieutiques à l'intérieur des zones maritimes sous juridiction des États membres de la CSRP (CMA¹³) entrée en vigueur en 2012 et sous l'égide de la CSRP. Dans le cas où une situation de *statu quo* perdure, et que les États restent sur des positions uni ou bilatérales dans le cadre des négociations d'accords de pêche comme de la mise en place de politique commune concertée, la pêcherie de sardinelles sera toujours sujette à une surexploitation et peut-être même à une disparition (i.e. l'effondrement de la pêcherie). Il est donc nécessaire d'avoir une meilleure coordination dans la gestion des pêches pélagiques entre ces pays. L'absence ou la faible coordination dans la gestion des ressources partagée entre les différents pays peut conduire à une «course au poisson» et ainsi à la tragédie des biens communs [100], [114], [175], [176]. Il est donc important de rappeler que la prise de décision sur cette pêcherie doit être sous régionale du caractère partagé de la ressource.

Notre modèle bioéconomique construit pour la pêcherie de sardinelles au Sénégal pourrait aider à la prise de décision dans un contexte régional au moyen de simulations permettant de produire différents scénarios. En effet, sa conception prévoit la possibilité d'augmenter les types d'unités de pêche, la prise en compte de l'effort et la dynamique de la pêcherie dans les autres pays partageant la ressource. Cette possibilité nécessiterait l'uniformisation des données dans tous les pays partageant la ressource. Ainsi, la perspective naturelle de notre travail, qui a montré son intérêt en matière de gestion, est d'étendre nos travaux de modélisation sur la zone de répartition du stock de sardinelles et stimuler ainsi la collaboration sous-régionale sur un plan scientifique mais aussi en offrant aux institutions sous régionales et étatique un outil de gestion original fondé sur des bases socioéconomiques et intégrant des critères écologiques et halieutiques.

¹³ http://www.spcsrp.org/sites/default/files/csrp/projets/recargao/comp1/an/Rapport_CMA_Senegal.pdf

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] FAO, *Situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2014. Possibilités et défis*. Rome: FAO, 2014.
- [2] FAO, *La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2016. Contribuer à la sécurité alimentaire et à la nutrition de tous*. Rome: FAO, 2016.
- [3] DPM, « Résultats généraux de la pêche maritime sénégalaise en 2014 », Direction des pêches Maritimes du Sénégal, Dakar, Rapport annuel, 2014.
- [4] M. Kébé, « Le secteur des pêches au Sénégal: tendances, enjeux et orientations politiques », Union Européenne, Dakar Sénégal, Rapport technique, 2008.
- [5] ANSD, « Situation économique et sociale du Sénégal en 2013 », Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie, Dakar, Rapport technique, 2016.
- [6] A. Corten, A. Mendy, et H. Diop, « La sardinelle d'Afrique du Nord-Ouest : Pêches, évaluation des stocks et la gestion », CSRP, Dakar Sénégal, Rapport technique, 2012.
- [7] I. B. Braham, « Les pêcheries pélagiques de la ZEE mauritanienne : nouvelles méthodes pour de nouvelles connaissances », Thèse de doctorat en Ecosystèmes et Sciences Agronomiques, Université de Montpellier 2, Montpellier, France, 2013.
- [8] P. Cury et C. Roy, « Optimal Environmental Window and Pelagic Fish Recruitment Success in Upwelling Areas », *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, vol. 46, n° 4, p. 670-680, 1989.
- [9] B. C. Mbaye, « Etude de l'impact de l'environnement biophysique sur les premiers stades de vie de *Sardinella aurita* dans le système d'upwelling sénégal-mauritanien : modélisation saisonnière et interannuelle », Thèse de doctorat en Océanographie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Dakar Sénégal, 2015.
- [10] C. Roy, « Les upwellings: le cadre physique des pêcheries côtières ouest-africaines », in *Pêcheries ouest-Africaines: variabilité, instabilité et changement*, P. Cury et C. Roy, Éd. Paris: ORSTOM, 1991, p. 38-66.
- [11] C. Chaboud et M. Kébé, « Les aspects socio-économiques de la pêche artisanale maritime au Sénégal : mutations technologiques et politiques de développement », in *Conférence internationale sur les pêches*, Rimouski Canada, 1986, p. 23.
- [12] E. Lourdelet, « La pêche maritime artisanale au Sénégal », Thèse de Doctorat en droit, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Faculté de droit et des sciences économiques, Dakar Sénégal, 1966.
- [13] C. Chaboud et M. Kébé, « Les relations entre producteurs et commerçants ou les mareyeurs sont-ils des exploiters ? : le cas du Sénégal », in *La recherche scientifique face à la pêche artisanale = Research and small-scale fisheries*, Symposium International ORSTOM-IFREMER, Montpellier (FRA), 1989/07/3-7., Paris: ORSTOM, 1991, p. 593-602.
- [14] J.-P. Chauveau, E. Jul-Larsen, et C. Chaboud, *Les pêches piroguières en Afrique de l'Ouest: dynamiques institutionnelles--pouvoirs, mobilités, marchés*. Paris: KARTHALA, 2000.

- [15] M. Dème, D. Thiao, F. N. Sow, A. Sarre, et H. D. Diadhiou, « Dynamique des Populations de Sardinelles en Afrique du Nord-Ouest: Contraintes environnementales, biologiques et socio-économiques », University of Rhode Island, USAID COMFISH Project, Dakar, 2012.
- [16] D. Thiao, « Bioécologie et exploitation des petits pélagiques au Sénégal », CSRP, Dakar, Rapport CSRP, 2012.
- [17] T. Boëly, J. Chabanne, et P. Fréon, « Schémas migratoires, aires de concentrations et périodes de reproduction des principales espèces de poissons pélagiques côtiers dans la zone sénégalomauritanienne », in *Rapport du groupe de travail Ad hoc sur les poissons pélagiques côtiers ouest-africains de la Mauritanie au Libéria (26°N à 5°N)*, Rome, 1979, p. 63-68.
- [18] P. Fréon, « Réponses et adaptations des stocks de cupléidés d'Afrique de l'ouest à la variabilité du milieu et de l'exploitation: analyse et réflexion à partir de l'exemple du Sénégal », Thèse de doctorat en Sciences naturelles, Université Aix-Marseille 2, Marseille, Marseille France, 1988.
- [19] A. R. Longhurst et D. Pauly, *Ecology of tropical oceans*. San Diego, California: Academic Press, 1987.
- [20] P. Cury, « Les contraintes biologiques liées à une gestion des ressources instables », in *Pêcheries ouest africaines : variabilité, instabilité et changement*, P. Cury et C. Roy, Éd. Paris: ORSTOM, 1991, p. 506-518.
- [21] FAO, « Rapport de septième session du sous-comité scientifique du comité des pêches pour l'atlantique centre-Est à tenerife, Espagne, 14-16 octobre 2015 », Rome, Rapport technique 1128, 2015.
- [22] FAO, « Rapport du Groupe de travail de la FAO sur l'évaluation des petits pélagiques au large de l'Afrique nord-occidentale. Nouadhibou, Mauritanie, 24-31 mars 2001. », FAO, Nouadhibou, Mauritanie, Rapport technique 657, 2001.
- [23] P. Brehmer, F. Gerlotto, C. Laurent, P. Cotel, A. Achury, et B. Samb, « Schooling behaviour of small pelagic fish: phenotypic expression of independent stimuli », *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, vol. 334, p. 263-272, 2007.
- [24] E. Meuriot, *La flotte de pêche française de 1945 à 1983. Politiques et réalités*. Brest, France: Ifremer, 1986.
- [25] B. Caillart et Y. Beyens, « Etude sur l'évolution des pêcheries de petits pélagiques en Afrique du Nord-Ouest et impacts possibles sur la nutrition et la sécurité alimentaire en Afrique de l'Ouest », Union Européenne-DAI, United Kingdom, Rapport technique 2014/353888-1, 2015.
- [26] A. Corten, C.-B. Braham, et A. S. Sadegh, « The development of a fishmeal industry in Mauritania and its impact on the regional stocks of sardinella and other small pelagics in Northwest Africa », *Fish. Res.*, vol. 186, Part 1, p. 328-336, 2017.
- [27] A. Ba *et al.*, « Profitability and economic drivers of small pelagic fisheries in West Africa: A twenty year perspective », *Mar. Policy*, vol. 76, p. 152-158, 2017.
- [28] A. Fontana et A. Samba, *Artisans de la mer: une histoire de la pêche maritime sénégalaise*. Dakar, Sénégal, 2013.

- [29] A. Fontana et J. Weber, « Aperçu de la situation de la pêche maritime sénégalaise », CRODT/ISRA, Dakar, Sénégal, Rapport technique 8, 1983.
- [30] H. Demarcq et V. Faure, « Coastal upwelling and associated retention indices derived from satellite SST. Application to Octopus vulgaris recruitment », *Oceanol. Acta*, vol. 23, n° 4, p. 391-408, 2000.
- [31] F. Domain, « Contribution à la connaissance de l'écologie des poissons démersaux du plateau continental sénégal-mauritanien: les ressources démersales dans le contexte général du golfe de Guinée », Thèse de doctorat en Sciences naturelles, Université de Paris 6, Paris, France, 1980.
- [32] J.-P. Rebert, « Hydrologie et dynamique des eaux du plateau continental sénégalais », CRODT, Dakar, Sénégal, Document scientifique 89, 1982.
- [33] M. Rossignol, « Contribution à l'étude du complexe guinéen », ORSTOM, Paris, 1973.
- [34] M. Rossignol, M. T. Aboussouan, J.-L. Crémoux, et A. M. Meyrueis, « Hydrologie marine côtière de la presqu'île du Cap Vert : contribution à l'étude de la productivité des eaux », ORSTOM, Dakar, Sénégal, Scientifique, 1965.
- [35] I. Dème-Gningue, C. Roy, et D. Touré, « Variabilité spatio-temporelle de la température, des nitrates et de la chlorophylle devant les côtes du Sénégal », CRODT/ISRA, Dakar, Document scientifique 122, 1990.
- [36] J.-P. Chauveau, « Histoire de la pêche industrielle au Sénégal et politiques d'industrialisation : 2ème partie : l'essor thonier et les limites d'une politique nationale d'industrialisation de la pêche (de 1955 aux premières années de l'indépendance) », *Cah. Sci. Hum.*, vol. 25, n° 1-2, p. 259-275, 1989.
- [37] M. Barry-Gerard et P. Greber, « Analyse de la pêche artisanale au Cap-Vert: Description et étude critique du système d'enquête », CRODT/ISRA, Dakar, Sénégal, Document scientifique 98, 1985.
- [38] J. Ferraris, V. Fonteneau, et A. Sy Bo, « Structuration de la base de données "pêche artisanale" et chaîne de traitement informatique », CRODT/ISRA, Dakar Sénégal, Rapport technique 192, 1993.
- [39] F. Laloë, « Contribution à l'étude de la variance d'estimateurs de biomasse de poissons obtenus par échantillonnage », *Oceanogr. Trop.*, vol. 20, n° 2, p. 163-167, 1985.
- [40] F. Laloë et A. Samba, « La pêche artisanale au Sénégal. Ressources et stratégies de pêche », Thèse de doctorat en Sciences de la Vie, Université de Paris Sud (Orsay), Paris, 1990.
- [41] D. Thiao, « Un système d'indicateurs de durabilité des pêcheries côtières comme outil de gestion intégrée des ressources halieutiques sénégalaises », Thèse de doctorat en Sciences Economiques, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, Ecole Doctorale SOFT (Société du Futur), Sète, France, 2009.
- [42] T. Camarena Luhrs, « La croissance de *Sardinella maderensis* (Lowe, 1841) au Sénégal », *Océan. Trop.*, vol. 2, n° 21, 1986.
- [43] R. J. H. Beverton et S. J. Holt, *On the Dynamics of Exploited Fish Populations*, Fisheries Investigation., vol. 19. Londres, Grande Bretagne: Springer Science & Business Media, 1957.

- [44] D. Gascuel, L. Morissette, M. L. D. Palomares, et V. Christensen, « Trophic flow kinetics in marine ecosystems: Toward a theoretical approach to ecosystem functioning », *Ecol. Model.*, vol. 217, n° 1–2, p. 33-47, 2008.
- [45] J. A. Gulland, « Estimation of mortality rates », in *Annex. to Arctic Fisheries Working Group Report*, Hamburg, Allemagne, 1965, p. 9.
- [46] R. Jones, « The assessment of the long term effects of changes in gear selectivity and fishing effort », *Mar. Resour. Scot.*, n° 2, p. 19, 1961.
- [47] B. Mesnil, « Théorie et pratique de l'analyse de cohortes », *Rev. Trav. Inst. Pêch. Marit.*, vol. 44, n° 2, p. 119-155, 1980.
- [48] P. K. Tomlinson, « A Generalization of the Murphy Catch Equation », *J. Fish. Res. Board Can.*, vol. 27, n° 4, p. 821-825, 1970.
- [49] O. I. C. Baye, « Évaluation du stock de sardinelle ronde en zone Nord-Ouest Africaine: Évaluation et Cartographie de l'abondance du stock de la sardinelle ronde en Zone Nord-Ouest Africaine », Agrocampus Ouest, Rennes France, Mémoire Master, 2010.
- [50] D. Gascuel, A. Fonteneau, et E. Foucher, « Analyse de l'évolution des puissances de pêche par l'analyse des cohortes : application aux senneurs exploitant l'albacore (*Thunnus albacares*) dans l'Atlantique Est », *Aquat. Living Resour.*, vol. 6, n° 1, p. 15-30, 1993.
- [51] J. G. Pope, « An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis », *ICNAF Res. Bull.*, vol. 9, n° 10, p. 65–74, 1972.
- [52] A. Laurec et J.-C. Le Guen, « Dynamique des populations marines exploitées. Tome 1. Concepts et méthodes », CNEXO/Centre Océanologique de Bretagne, Brest, France, Rapport scientifique et technique 45-1981, 1981.
- [53] M. Bah et M. B. Diop, « Détermination d'un taux d'actualisation sociale des projets d'investissement public au Sénégal. », Direction de la Planification Ministère des finances du Sénégal, Document technique, 2015.
- [54] F. P. Ramsey, « A Mathematical Theory of Saving », *Econ. J.*, vol. 38, n° 152, p. 543-559, 1928.
- [55] M. A. C. T. Regan, « A revision of the Clupeid fishes of the genera *Sardinella*, *Harengula*, &c. », *Ann. Mag. Nat. Hist.*, vol. 19, n° 113, p. 377-395, 1917.
- [56] A. Ben-Tuvia, *Synopsis of biological data on *Sardinella aurita* of the Mediterranean Sea and other waters*. Rome: FAO, 1960.
- [57] E. Marchal, « Un essai de caractérisation des populations de poissons pélagiques côtiers : cas de *Sardinella aurita* des côtes ouest-africaines », in *Pêcheries ouest africaines : variabilité, instabilité et changement*, P. Cury et C. Roy, Éd. Paris: ORSTOM, 1991, p. 192-200.
- [58] P. Chavance, Y. Laktionov, et M. Mahfoud, « Importance des saisons de transition hydrologique et impact des anomalies climatiques sur l'activité d'une flotille industrielle pélagique en ZEE mauritanienne », in *Pêcheries ouest africaines : variabilité, instabilité et changement*, P. Cury et C. Roy, Éd. Paris: ORSTOM, 1991, p. 246-258.

- [59] K. Diouf, B. Samb, et M. Sylla, « Contribution à la connaissance de la biologie des sardinelles (*Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis*) du littoral sénégalais », in *Dans: Science et aménagement des petits pélagiques. Symposium sur la science et le défi de l'aménagement des pêcheries de petits pélagiques sur les stocks partagés en Afrique nord-occidentale*. S. Garcia, M. Tandstad, Caramelo AM (eds), 2008, p. 39–56.
- [60] P. Cury et A. Fontana, « Compétition et stratégies démographiques comparées de deux espèces de sardinelles (*Sardinella aurita* et *Sardinella maderensis*) des côtes ouest-africaines », *Aquat. Living Resour.*, vol. 1, n° 3, p. 165-180, 1988.
- [61] T. Boëly, J. Chabanne, P. Fréon, et B. Stéquert, « Cycle sexuel et migrations de *Sardinella aurita* sur le plateau ouest-africain des îles Bissagos à la Mauritanie », in *Symp. sur le courant des Canaries: upwelling et ressources vivantes.*, Las Palmas, 1982, p. 350-355.
- [62] C. Conand, « Contribution à l'étude du cycle sexuel et de la fécondité de la sardinelle ronde, *Sardinella aurita* : pêche sardinière dakaroise en 1975 et premier semestre 1976 », *Cah. ORSTOM Sér. Océan.*, vol. 15, n° 4, p. 301-312, 1977.
- [63] O. B. M'Bodj et A. Wague, « Etude de quelques aspects de la reproduction chez La sardinelle ronde *Sardinella aurita* (valenciennes, 1847) Pêchée le long des côtes mauritaniennes », IMROP, Nouadhibou, Mauritanie, Rapport technique, 2002.
- [64] A. Wysokinski, M. Krzeptowski, A. Fontana, et P. Fréon, « Rapport de la réunion mixte extraordinaire d'experts océanographes du Sénégal et de la Pologne sur l'exploitation rationnelle des ressources pélagiques côtières dans les eaux sous juridiction sénégalaise », présenté à Réunion Mixte Extraordinaire d'Experts Océanographes du Sénégal et de la Pologne sur l'Exploitation Rationnelle des Ressources Pélagiques Côtières dans les Eaux sous Juridiction Sénégalaise, 1981/06/18-23, Dakar, Sénégal, 1981, p. 21.
- [65] C. Maxim et C. Maxim, « Evaluation du stock de sardinelle ronde (*Sardinella aurita*, Valenciennes, 1874) sénégal-mauritanienne », *Cercatori Mar. IRDM Constata*, n° 20/21, p. 313-344, 1988.
- [66] P. Thuoc et J. Szygula, « Biological characteristics of gilt sardine, *Sardinella aurita* Cuv. et Val. 1847, from northwest African coast », *Act Ichth Pisc*, vol. 3, n° 1, p. 19-37, 1973.
- [67] Z. Chesheva, « Methods for age and growth rate determination in the round sardinella *Sardinella aurita* from senegal-mauritania population », *Vopr. Ihtiol.*, vol. 38, n° 6, p. 844-847, 1998.
- [68] D. Pauly, « On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks », *J. Cons.*, vol. 39, n° 2, p. 175-192, 1980.
- [69] J.-C. Quéro, J.-J. Vayne, et T. Monod, *Les poissons de mer des pêches françaises*, Delachaux et Niestlé. Paris, 1984.
- [70] J.-P. Quignard, « La Méditerranée Creuset Ichthyologique », *Bolletino Zool.*, vol. 45, n° 2, p. 23-36, 1978.
- [71] P. J. P. Whitehead, G. J. Nelson, et T. Wongratana, *Clupeoid fishes of the world (Suborder Clupeoidei): An annotated and illustrated catalogue of the herrings, sardines, pilchards, sprats, shads, anchovies and wolf-herrings*, vol. 7. Rome: FAO, 1988.

- [72] S. Garcia, « Distribution, migration and spawning of the main fish resources in the northern CECAF [Fishery Committee for the Eastern Central Atlantic] area. », présenté à Description et évaluation des ressources halieutiques de la ZEE mauritanienne : rapport du groupe de travail CNROP/FAO/ORSTOM, Nouadhibou, 1986, p. 136-146.
- [73] J. Zeeberg, A. Corten, P. Tjoe-Awie, J. Coca, et B. Hamady, « Climate modulates the effects of *Sardinella aurita* fisheries off Northwest Africa », *Fish. Res.*, vol. 89, n° 1, p. 65-75, 2008.
- [74] C. Hilton-Taylor, *2000 IUCN Red List of Threatened Species*. Gland Switzerland and Cambridge UK: IUCN, 2000.
- [75] F. Conand et E. Fagetti, « Description et distribution saisonnière des larves de sardinelles des côtes du Sénégal et de la Gambie en 1968 et 1969 », *Cah. ORSTOM Sér. Océan.*, vol. 9, n° 3, p. 293-318, 1971.
- [76] O. Samba, « Nouvelle évaluation des caractéristiques biologiques de *sardinella aurita* (valenciennes, 1847) et *sardinella maderensis* (lowe, 1841) », IUPA/UCAD, Dakar, Sénégal, Mémoire de DEA, 2011.
- [77] K. Ba *et al.*, « Resilience of Key Biological Parameters of the Senegalese Flat *Sardinella* to Overfishing and Climate Change », *PLOS ONE*, vol. 11, n° 6, p. 20, 2016.
- [78] E. Postel, « Résumé des connaissances acquises sur les clupéidés de l'ouest africain », *Rapp. Cons. D'Exploration Mer*, vol. 137, p. 7, 1955.
- [79] D. Binet, « Rôle possible d'une intensification des alizés sur le changement de répartition des sardines et sardinelles le long de la côte Ouest africaine », *Aquat. Living Resour.*, vol. 1, n° 2, p. 115-132, 1988.
- [80] W. Fisher, G. Bianchi, et W. B. Scott, *Fiches d'identification des espèces pour les besoins de la pêche. Atlantique Centre-Est: zones de pêche 34, 47 (en partie)*, vol. 1. Rome: FAO, 1981.
- [81] S. Holzlohner, *On the species composition and length/age structure of the most important pelagic fish species off Mauritania in 1982*, International Council for the Exploration of the Sea, Pelagic Fish Committee. Mauritanie: International Council for the Exploration of the Sea, Pelagic Fish Committee, 1983.
- [82] T. Boëly et J. Chabanne, « Les poissons pélagiques côtiers au Sénégal : la pêche sardinière à Dakar, état actuel et perspectives », CRODT/ISRA, Dakar, Sénégal, Document scientifique 25, 1975.
- [83] T. Boëly et C. Champagnat, « La pêche industrielle au Sénégal des poissons pélagiques côtiers : 1967 et 1968 », CRODT/ISRA, Dakar, Sénégal, Document scientifique, 1969.
- [84] C. Chaboud et M. Dème, « Ressources instables et pêche semi-industrielle : les exemples sénégalais et ivoirien », in *Pêcheries ouest africaines : variabilité, instabilité et changement*, P. Cury et C. Roy, Éd. Paris: ORSTOM, 1991, p. 489-503.
- [85] Greenpeace, « Main basse sur la Sardinelle, le scandale des autorisations de pêche au Sénégal: un drame en cinq actes », Greenpeace, Dakar, Sénégal, Rapport technique, 2012.
- [86] A. M. Caramelo, M. Lamboeuf, et M. Tandstad, « Rapport de l'Atelier pour la planification des prospections du N/R DR. FRIDTJOF NANSEN dans la zone nord du COPACE en 1999 et la

- standardisation des campagnes acoustiques de la région. Casablanca, Maroc, 18–22 octobre 1999 », FAO, Casablanca Maroc, Rapport technique 636, 2001.
- [87] G. Grasset et A. Seck, « Essais d'adaptation de la senne tournante et coulissante dans la pêche artisanale piroguière au Sénégal. », PNUD, FAO et CRODT/ISRA, Dakar, Sénégal, Rapport technique, 1970.
- [88] A. Ba, « Evaluation de la capacité de pêche artisanale et les mesures visant sa régulation : Cas du Sénégal », Agrocampus Ouest, Rennes France, Mémoire Master Agrocampus, 2013.
- [89] J.-Y. Weigel, « Dynamiques d'exploitation et de valorisation des petits pélagiques marins en Afrique de l'Ouest », FAO, Rome, Document technique 390, 1999.
- [90] DPM, « Résultats généraux de la pêche maritime sénégalaise en 2013 », Direction des pêches Maritimes du Sénégal, Dakar, Rapport annuel, 2013.
- [91] J. Lombard et O. Ninot, « Connecter et intégrer. Les territoires et les mutations des transports en Afrique », *Bull. Assoc. Géographes Fr.*, vol. 87, n° 1, p. 69-86, 2010.
- [92] P. Fréon et J. Weber, « Djifère au Sénégal: la pêche artisanale en mutation dans un contexte industriel », *Rev. Trav. L'Institut Pêch. Marit.*, vol. 47, n° 3-4, p. 261–304, 1983.
- [93] D. Thiao, C. Chaboud, A. Samba, F. Laloë, et P. M. Cury, « Economic dimension of the collapse of the 'false cod' *Epinephelus aeneus* in a context of ineffective management of the small-scale fisheries in Senegal », *Afr. J. Mar. Sci.*, vol. 34, n° 3, p. 305-311, 2012.
- [94] Anonyme, « Plan Directeur des Pêches Maritimes », République du Sénégal, Ministère de la Pêche et des Transports Maritimes, Dakar, Rapport technique, 1998.
- [95] Anonyme, « Lettre de Politique Sectorielle Lettre de Politique Sectorielle des Pêches et de l'Aquaculture », République du Sénégal, Ministère de l'Economie maritime, des Transports maritimes, de la Pêche et de la Pisciculture, Dakar, Rapport technique, 2007.
- [96] Anonyme, « Document de Stratégie de Réduction de la Pauvreté », République du Sénégal, Ministère de l'économie et des finances, Dakar, Rapport technique, 2002.
- [97] J.-M. Legay, « L'expérience et le modèle: Un discours sur la méthode », *Économie Rurale*, vol. 251, n° 1, p. 61-62, 1997.
- [98] C. Chaboud, « Economie des pêches », in *Valorisation et économie des ressources marines*, A. Monaco et P. Prouzet, Éd. Londres: ISTE, 2014, p. 277-344.
- [99] B. Gilly, « Les modèles bio-économiques en halieutique : démarches et limites », *Cah. Sci. Hum.*, vol. 25, n° 1-2, p. 23-33, 1989.
- [100] H. S. Gordon, « The Economic Theory of a Common-Property Resource: The Fishery », *J. Polit. Econ.*, vol. 62, n° 2, p. 124-142, 1954.
- [101] M. B. Schaefer, « A study of the dynamics of the fishery for yellowfin tuna in the Eastern Tropical Pacific Ocean », *Inter-Am. Trop. Tuna Comm. Bull.*, vol. 2, n° 6, p. 243-285, 1957.
- [102] A. Scott, « The Fishery: The Objectives of Sole Ownership », *J. Polit. Econ.*, vol. 63, n° 2, p. 116-124, 1955.

- [103] L. G. Anderson et J. C. Seijo, *Bioeconomics of Fisheries Management*, Wiley-Blackwell. New Jersey: John Wiley & Sons, 2010.
- [104] C. W. Clark, *Mathematical Bioeconomics, the optimal control of renewable resources*. New York: Wiley Interscience, 1976.
- [105] R. Hannesson, *Bioeconomic analysis of fisheries*, Wiley. Virginie USA: Wiley Interscience, 1993.
- [106] B. Le Gallic, C. Ulrich, et J. Boncœur, « Modélisation et gestion d'un système complexe d'exploitation de ressources communes renouvelables. Le cas des pêcheries de la Manche », *Polit. Manag. Public*, vol. 18, n° 4, p. 157-182, 2000.
- [107] C. W. Clark, *Bioeconomic modeling and fishery management*. New York: Wiley Interscience, 1985.
- [108] D. Knowler, « A Review of Selected Bioeconomic Models with Environmental Influences in Fisheries », *J. Bioeconomics*, vol. 4, n° 2, p. 163-181, 2002.
- [109] R. Prellezo *et al.*, « A review of EU bio-economic models for fisheries: The value of a diversity of models », *Mar. Policy*, vol. 36, n° 2, p. 423-431, 2012.
- [110] V. Smith, « On Models of Commercial Fishing », *J. Polit. Econ.*, vol. 77, n° 2, p. 181-98, 1969.
- [111] P. F. Verhulst, « Notice sur la loi que la population suit dans son accroissement. Correspondance Mathématique et Physique », *Quetelet*, vol. 10, p. 113-121, 1838.
- [112] S. M. Garcia et D. Staples, « Indicators for sustainable development of marine capture fisheries », FAO, Rome, technical guidelines for responsible fisheries 8, 1999.
- [113] S. L. Larkin, S. Alvarez, G. Sylvia, et M. Harte, « Practical Considerations in Using Bioeconomic Modelling for Rebuilding Fisheries », OCDE, Paris, Rapport technique 38, 2011.
- [114] C. W. Clark et G. R. Munro, « The economics of fishing and modern capital theory: A simplified approach », *J. Environ. Econ. Manag.*, vol. 2, n° 2, p. 92-106, 1975.
- [115] E. Meuriot, « Les modeles bio-économiques d'exploitation des pecheries, demarches et enseignements », Ifremer, Brest, France, Rapport économiques et juridiques 4, 1987.
- [116] W. F. Thompson et F. H. Bell, « Biological statistics of the Pacific halibut fishery », The International Fisheries Commission, Seattle, Washington, Rapport scientifique 8, 1934.
- [117] L. Von Bertalanffy, « A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. ii) », *Hum. Biol.*, vol. 10, n° 2, p. 181-213, 1938.
- [118] C. Mullon, J. G. Field, O. Thébaud, P. Cury, et C. Chaboud, « Keeping the big fish: Economic and ecological tradeoffs in size-based fisheries management », *J. Bioeconomics*, vol. 14, n° 3, p. 267-285, 2012.
- [119] P. Andersen et J. G. Sutinen, « Stochastic Bioeconomics: A Review of Basic Methods and Results », *Mar. Resour. Econ.*, vol. 1, n° 2, p. 117-136, 1984.

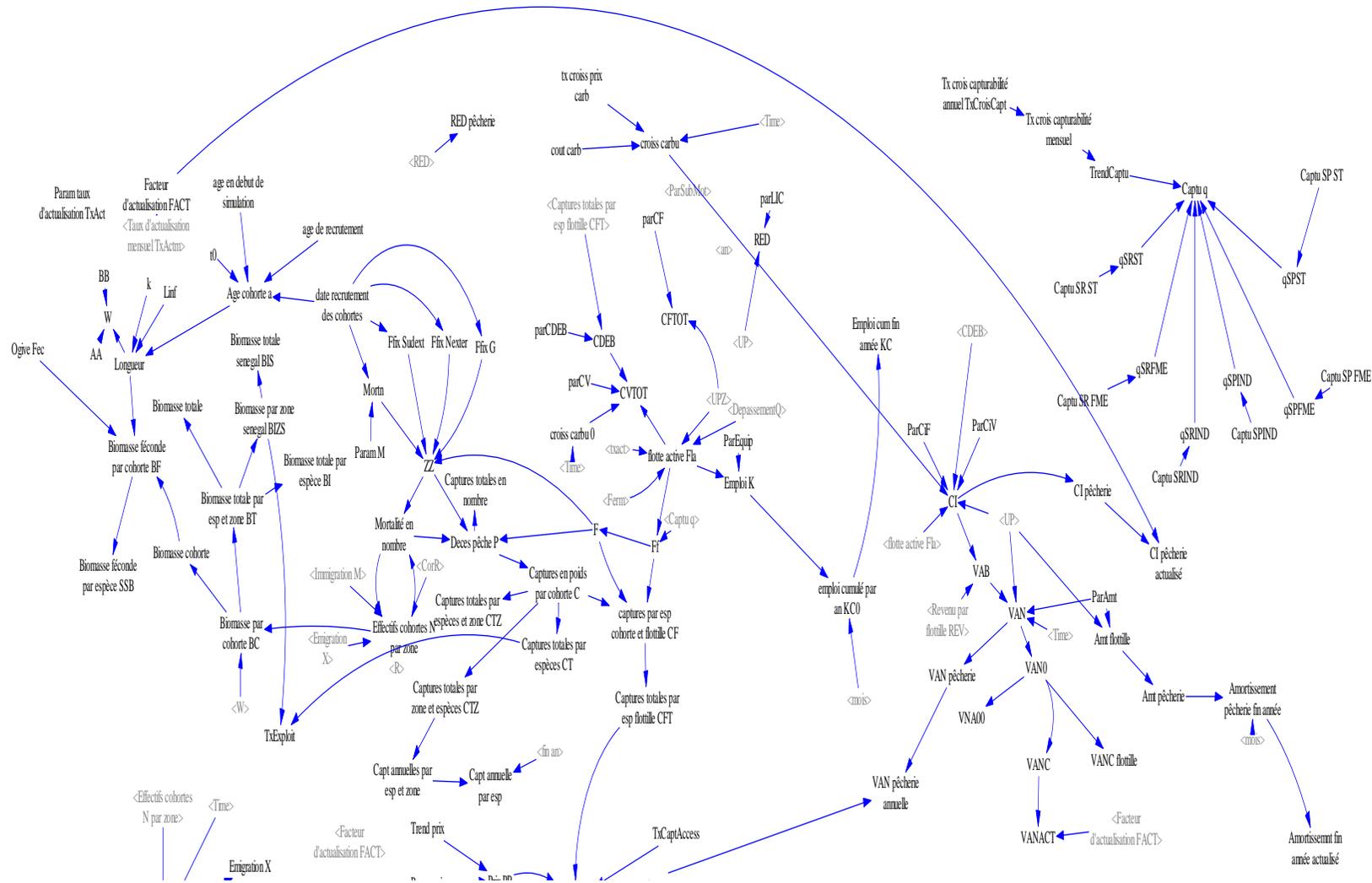
- [120] C. Chaboud, « Modélisation bioéconomique de la pêche crevettière malgache », in *Les crevettes côtières de Madagascar : biologie, exploitation, gestion*, A. Caverivière, C. Chaboud, et T. Rafalimanana, Éd. Marseille: IRD, 2008, p. 261-310.
- [121] C. Chaboud et O. Thebaud, « Bioeconomic model of the dynamics of fisheries facing global economic and environment changes: the French Guyana shrimp fishery », présenté à 18th World IMACS Congress and MODSIM09 International Congress on Modelling and Simulation. Cairns 13–17 July 2009, Australia, 2009, p. 9.
- [122] J. M. Conrad et M. D. Smith, « Nonspatial and spatial models in bioeconomics », *Nat. Resour. Model.*, vol. 25, n° 1, p. 52–92, 2012.
- [123] H. Drouineau, « Développement et ajustement d'un modèle de dynamique des populations structuré en longueur et spatialisé appliqué au stock Nord de merlu (*Merluccius merluccius*) », Thèse de doctorat en sciences Halieutiques, Ecole doctorale Vie, Agro, Santé, Rennes 1, Rennes France, 2008.
- [124] S. Mahévas et D. Pelletier, « ISIS-Fish, a generic and spatially explicit simulation tool for evaluating the impact of management measures on fisheries dynamics », *Ecol. Model.*, vol. 171, n° 1–2, p. 65-84, 2004.
- [125] S. Mahévas, « Simulation de la dynamique de pêche : modélisation, complexité et incertitude », Université Rennes 1, Rennes France, Mémoire pour l'obtention de l'habilitation à diriger des recherches, 2009.
- [126] D. S. Holland, « A bioeconomic model of marine sanctuaries on Georges Bank », *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, vol. 57, n° 6, p. 1307-1319, 2000.
- [127] P. M. Allen et J. M. McGlade, « Modelling complex human systems: A fisheries example », *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 30, n° 2, p. 147-167, 1987.
- [128] P. J. Sparre et R. Willmann, *Software for bio-economic analysis of fisheries, BEAM 4: analytical bio-economic simulation of space-structured multispecies and multifleet fisheries*, vol. 1. Rome: FAO, 1993.
- [129] C. J. Walters et R. Bonfil, « Multispecies spatial assessment models for the British Columbia groundfish trawl fishery », *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, vol. 56, n° 4, p. 601-628, 1999.
- [130] D. Pelletier *et al.*, « Evaluation of the bioeconomic sustainability of multi-species multi-fleet fisheries under a wide range of policy options using ISIS-Fish », *Ecol. Model.*, vol. 220, n° 7, p. 1013-1033, 2009.
- [131] D. Pelletier et S. Mahévas, « Spatially explicit fisheries simulation models for policy evaluation », *Fish Fish.*, vol. 6, n° 4, p. 307-349, 2005.
- [132] M. Fall, « Pêche démersale côtière au Sénégal : essai de modélisation de la dynamique de l'exploitation des stocks », Thèse de doctorat en Ecologie Fonctionnelle, Université Montpellier 2, Montpellier, France, 2009.
- [133] M. Fall, A. Samba, et F. Laloë, « Fishing tactics and strategies in coastal demersal trawling fisheries in Senegal », *Aquat. Living Resour.*, vol. 19, n° 4, p. 307-316, 2006.

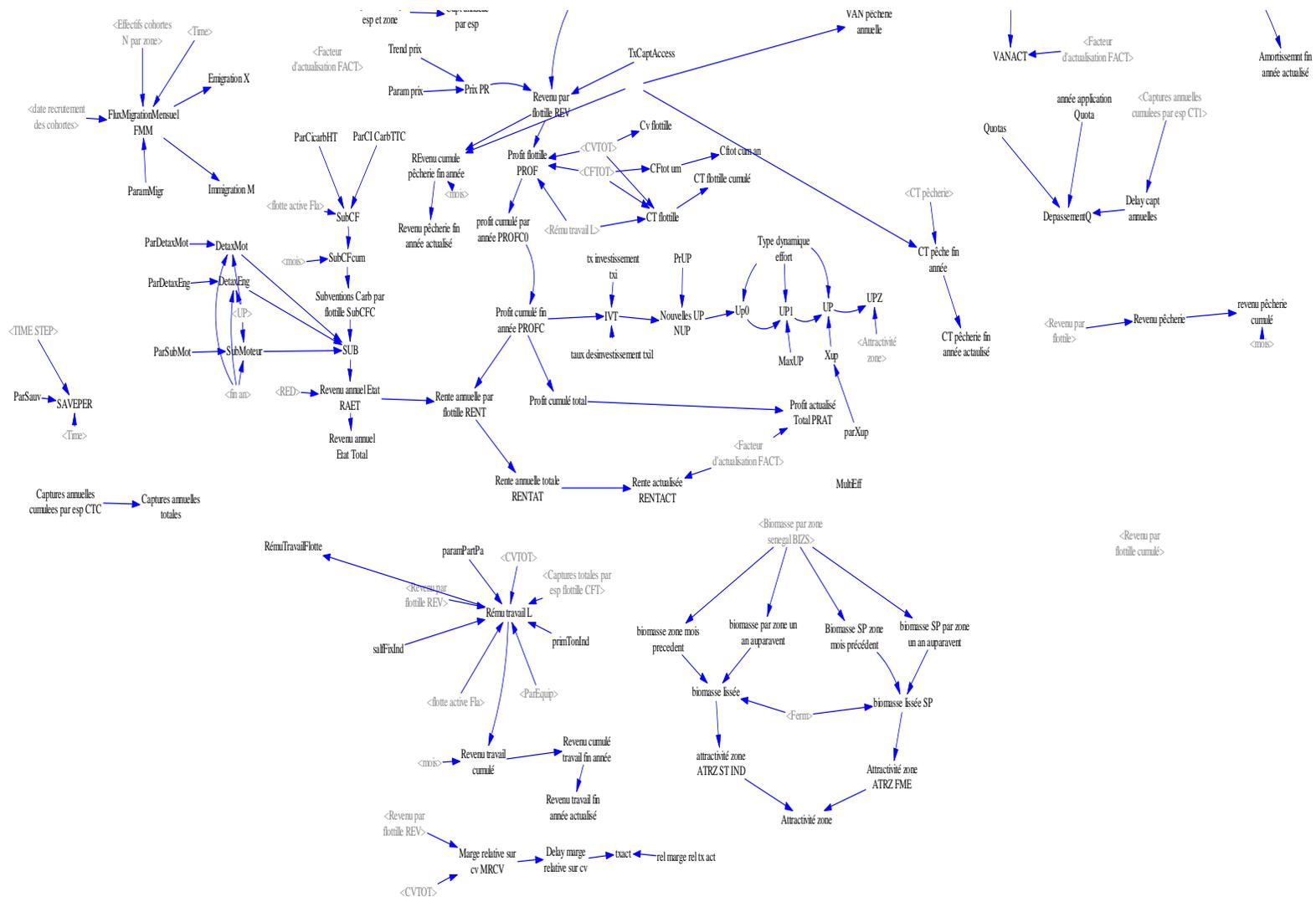
- [134] F. Laloë, « Information at the interface between supply and demand for indicators: the use of a model with estimated parameter values as a base for indication in multicriteria analyses », *Int. J. Sustain. Dev.*, vol. 10, n° 1-2, p. 33-45, 2007.
- [135] F. Laloë et A. Samba, « A simulation model of artisanal fisheries of Senegal », in *ICES Mar. Sci. Symp*, 1991, vol. 193, p. 281–286.
- [136] N. Pech, A. Samba, L. Drapeau, R. Sabatier, et F. Laloë, « Fitting a model of flexible multifleet–multispecies fisheries to Senegalese artisanal fishery data », *Aquat. Living Resour.*, vol. 14, n° 2, p. 81-98, 2001.
- [137] D. McFadden, « Conditional logit analysis of qualitative choice behavior », in *Frontiers in Econometrics*, Wiley., New York: Wiley, 1973, p. 105-142.
- [138] L. Motos et D. Clyde Wilson, « The role of science within modern management processes with the development of model-based evaluation tools », in *The Knowledge Base for Fisheries Management. Developments in Aquaculture and Fisheries Science*, Elsevier., vol. 36, L. Motos et D. Clyde Wilson, Éd. 2006, p. 425-436.
- [139] A. Cisse, « Evaluation, scénarios et viabilité écologique et économique des pêcheries côtières tropicales : application au cas de la Guyane Française », Thèse de doctorat en Sciences Économiques Spécialité économie de l’environnement, Université des Antilles et de la Guyane, 2013.
- [140] H. Drouineau, S. Mahévas, D. Pelletier, et B. Beliaeff, « Assessing the impact of different management options using ISIS-Fish: the French Merluccius merluccius – Nephrops norvegicus mixed fishery of the Bay of Biscay », *Aquat. Living Resour.*, vol. 19, n° 1, p. 15-29, 2006.
- [141] C. Ulrich, B. S. Andersen, P. J. Sparre, et J. R. Nielsen, « TEMAS: fleet-based bio-economic simulation software to evaluate management strategies accounting for fleet behaviour », *ICES J. Mar. Sci. J. Cons.*, vol. 64, n° 4, p. 647-651, 2007.
- [142] C. Ulrich, B. Le Gallic, M. R. Dunn, et D. Gascuel, « A multi-species multi-fleet bioeconomic simulation model for the English Channel artisanal fisheries », *Fish. Res.*, vol. 58, n° 3, p. 379-401, 2002.
- [143] S. Diaby, « Economic impact analysis of the Ivorian sardinella fishery », *Mar. Resour. Econ.*, vol. 11, n° 1, p. 31–42, 1996.
- [144] M. Dème, « A bio-economic simulation model for the Senegalese pelagic fishery », University of Rhode Island, Rhode Island USA, Master of Science in resource economics, 1986.
- [145] « Documentation | Vensim ». .
- [146] M. Diallo, « Analyse des interactions entre la pêche artisanale et la pêche industrielle », CRODT/ISRA, Dakar, Sénégal, Rapport technique 199, 1995.
- [147] A. Fonteneau, « La compétition entre pêche industrielle et pêche artisanale : quelques réflexions sur la problématique des analyses », in *L'évaluation des ressources exploitables par la pêche artisanale sénégalaise*, Dakar, 1994, p. 339-349.
- [148] M. Bakhayokho et M. Kebe, « Problématique des relations entre la pêche artisanale et la pêche industrielle : cas des ressources démersales », in *La recherche scientifique face à la pêche*

- artisanale = Research and small-scale fisheries*, J.-R. Durand, J. Lemoalle, J. Weber, et Symposium International ORSTOM-IFREMER, Montpellier (FRA), 1989/07/3-7, Éd. Paris: ORSTOM, 1991, p. 933-941.
- [149] T. Brochier, A. Ramzi, C. Lett, E. Machu, P. Fréon, et S. Hernández-León, « Modelling the biophysical dynamics of sardine and anchovy ichthyoplankton in the Canary Upwelling System », *J. Plankton Res.*, vol. 30, n° 10, p. 1133–1146, 2008.
- [150] G. A. McFarlane, P. E. Smith, T. R. Baumgartner, et J. R. Hunter, « Climate variability and Pacific sardine populations and fisheries », in *American Fisheries Society Symposium*, Bethesda, Maryland, USA, 2002, vol. 32, p. 195–214.
- [151] P. Fréon, B. Stéquert, et T. Boëly, « La pêche des poissons pélagiques côtiers en Afrique de l’Ouest des îles Bissagos au Nord de la Mauritanie : description des types d’exploitation », *Cah. ORSTOM Sér. Océan.*, p. 209-228, 1978.
- [152] R. Froese, G. Coro, K. Kleisner, et N. Demirel, « Revisiting safe biological limits in fisheries », *Fish Fish.*, vol. 17, n° 1, p. 193-209, 2016.
- [153] N. J. Barrowman et R. A. Myers, « Still more spawner-recruitment curves: the hockey stick and its generalizations », *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, vol. 57, n° 4, p. 665-676, 2000.
- [154] S. Cunningham et D. Greboval, « La Gestion de la Capacité de Pêche: Etude des Politiques et des Aspects Techniques », FAO, Rome, Rapport technique 409, 2002.
- [155] S. M. Garcia, D. Gascuel, L. M. Henichart, J. Boncoeur, F. Alban, et D. D. Monbrison, « Les aires marines protégées dans la gestion des pêches. », CSRP, Dakar Sénégal, Rapport technique, 2013.
- [156] M. M. B. Camara, « Quelle gestion des pêches artisanales en Afrique de l’Ouest? Etude de la complexité de l’espace halieutique en zone littorale sénégalaise », Thèse de Doctorat en Géographie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Dakar Sénégal, 2008.
- [157] L. Mesnildrey, D. Gascuel, et O. L. Pape, « Integrating Marine Protected Areas in fisheries management systems: some criteria for ecological efficiency », *Aquat. Living Resour.*, vol. 26, n° 2, p. 159-170, 2013.
- [158] C. Béné, « When Fishery Rhymes with Poverty: A First Step Beyond the Old Paradigm on Poverty in Small-Scale Fisheries », *World Dev.*, vol. 31, n° 6, p. 949-975, 2003.
- [159] U. R. Sumaila *et al.*, « A bottom-up re-estimation of global fisheries subsidies », *J. Bioeconomics*, vol. 12, n° 3, p. 201-225, 2010.
- [160] D. Greboval et J. Catanzano, « Rapports et documents de l’atelier de réflexion sur le contrôle et la réduction des capacités de pêche en Afrique de l’Ouest », FAO, Rome, Rapport technique 756, 2005.
- [161] D. Pauly, « Small but mighty: elevate the role of small-scale fishers in the world market », *Conserv. Mag.*, vol. 8, n° 3, p. 24, 2007.
- [162] D. Pauly, « Major trends in small-scale fisheries, with emphasis on developing countries and some applications for the social sciences », *Marit. Stud.*, vol. 4, n° 2, p. 7-22, 2006.

- [163] L. Teh et U. R. Sumaila, « Malthusian overfishing in Pulau Banggi? », *Mar. Policy*, vol. 31, n° 4, p. 451-457, 2007.
- [164] T. Binet, P. Failler, et M. Agossah, « Migrations contemporaines des pêcheurs artisans en Afrique de l’Ouest : synthèse et axes de recherche », CSRP et UICN, Dakar, Sénégal, Rapport technique 3, 2010.
- [165] J. D. K. Wilson, « Economies financières et de carburant dans la pêche Artisanale », FAO, Rome, Rapport technique 383, 2003.
- [166] R. Hannesson, « Effects of liberalizing trade in fish, fishing services and investment in fishing vessels », OCDE, Bergen Norvege, Rapport technique, 2001.
- [167] G. Munro et U. R. Sumaila, « The impact of subsidies upon fisheries management and sustainability: the case of the North Atlantic », *Fish Fish.*, vol. 3, n° 4, p. 233-250, 2002.
- [168] U. R. Sumaila, A. Dyck, et W. W. L. Cheung, « Fisheries subsidies and potential catch loss in SIDS Exclusive Economic Zones: food security implications », *Environ. Dev. Econ.*, vol. 18, n° 4, p. 427-439, 2013.
- [169] R. Hilborn *et al.*, « When can marine reserves improve fisheries management? », *Ocean Coast. Manag.*, vol. 47, n° 3-4, p. 197-205, 2004.
- [170] S. Lehuta, « Impact des mesures de gestion sur la dynamique de la pêche pélagique du golfe de Gascogne : Quelles certitudes ? Quels descripteurs ? », Thèse de doctorat en Sciences Halieutiques, Université Européenne de Bretagne, Agrocampus-ouest, 2010.
- [171] S. Lehuta, S. Mahévas, P. Le Floch, et P. Petitgas, « A simulation-based approach to assess sensitivity and robustness of fisheries management indicators for the pelagic fishery in the Bay of Biscay », *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, vol. 70, n° 12, p. 1741-1756, 2013.
- [172] R. Hannesson, « Marine Reserves: What Would They Accomplish? », *Mar. Resour. Econ.*, vol. 13, n° 3, p. 159-170, 1998.
- [173] J. Boncoeur, « Activités halieutiques et activités récréatives dans le cadre d’un espace à protéger : le cas du Parc National de la Mer d’Iroise. Rapport Final. », UBO-CEDEM, Brest France, Projet R-06-2005, 2005.
- [174] P. Failler, « Climate Variability and Food Security in Africa: The Case of Small Pelagic Fish in West Africa », *J. Fish. Livest. Prod.*, p. 11, 2014.
- [175] G. Hardin, « The Tragedy of the Commons », *J. Nat. Resour. Policy Res.*, vol. 1, n° 3, p. 243-253, 1968.
- [176] S. F. McWhinnie, « The tragedy of the commons in international fisheries: An empirical examination », *J. Environ. Econ. Manag.*, vol. 57, n° 3, p. 321-333, 2009.

Annexe 2 : Présentation du modèle sous Vensim





Annexe 3 : Les dimensions du modèle (indices)

Nature	Indice	valeurs
Type de pêche	<i>e</i>	ST, IND, FME
Zones (total)	<i>z</i>	Nordext,GC,PC,G,CAS,Sudext
Zones (Sénégal)	<i>zsen</i>	GC,PC,CAS,CAS
Espèces	<i>i</i>	sr,sp
Cohortes	<i>c</i>	c1,c2...,c492
Années	<i>a</i>	a1,a2,...,a40
Classe de taille	<i>Ctail</i>	petit,moyen,gros
Mois de l'année	<i>nmois</i>	mois1,mois2,...,mois12
Zone d'origine des migrations de poisson	<i>ori</i>	Nordext,GC,PC,G,CAS,Sudext
Zone de destination des migrations de poisson	<i>dest</i>	Nordext,GC,PC,G,CAS,Sudext

Annexe 4 : Les variables du modèle

Variable	Signification	Indices	Unités
<i>N</i>	Effectif d'une cohorte dans une zone	<i>i, c, z</i>	individu
<i>D</i>	Mortalité en nombre	<i>i, c, z</i>	individu
<i>M</i>	Importation dans une zone	<i>i, c, z</i>	individu
<i>X</i>	Exportation à partir d'une zone	<i>i, c, z</i>	individu
<i>Z</i>	Taux de mortalité totale	<i>i, c, z</i>	1/mois
<i>Mort</i>	Fonction de mortalité naturelle	<i>i</i>	1/mois
<i>F</i>	Taux de mortalité par pêche	<i>i,c,z</i>	1/mois
<i>Fla</i>	Flottille active	<i>e, zsen</i>	bateau
<i>a</i>	Age d'une cohorte	<i>c</i>	mois
<i>an</i>	Année de simulation (valeur initiale =1)		
<i>mois</i>	Mois de l'année (1 à 12)		
<i>FMM</i>	Flux mensuel de migration entre zones	<i>i, c, ori, dest, nmois</i>	individu
<i>C</i>	Captures instantanées en poids	<i>i, c, zsen</i>	t
<i>CT</i>	Captures instantanées en poids par espèce	<i>i</i>	t
<i>CTC</i>	Captures annuelles cumulées par espèce	<i>i</i>	t
<i>CF</i>	Captures instantanée par flottille	<i>i, c, e, zsen</i>	t
<i>CFT</i>	Captures totales instantanées par flottille	<i>i,e,zsen</i>	t
<i>REV</i>	Revenu instantané par flottille	<i>e, zsen</i>	um
<i>PR</i>	Prix par espèce	<i>i</i>	um/t
<i>FLZ</i>	Flotte par zone	<i>e, zsen</i>	bateau
<i>PROF</i>	Profit par flottille	<i>e</i>	um

<i>L</i>	Rémunération du travail	<i>e, zsen</i>	um
Variable	Signification	Indices	Unités
<i>PROFC</i>	Profit annuel cumulé par flottille	<i>e</i>	um
<i>tdeb, tfin</i>	Début et fin d'année	<i>a</i>	t
<i>IVT</i>	Investissement (désinvestissement) en fin d'année	<i>a</i>	um
<i>NUP</i>	Entrée ou sorties d'UP en fin d'année	<i>a</i>	um
<i>UP</i>	Nombre d'unités de pêche (capacité de pêche)	<i>e</i>	
<i>ATRZ</i>	Attractivité par zone		
<i>UPZ</i>	Nombre d'unités de pêche (capacité de pêche) par zone	<i>e, zsen</i>	bateau
<i>Txact</i>	Taux d'activité	<i>e, zsen</i>	bateau
<i>CFTOT</i>	Coût fixe	<i>e, zsen</i>	um
<i>CVTOT</i>	Coût variable	<i>e, zsen</i>	um
<i>DDEB</i>	Coût de débarquement	<i>e, zsen</i>	um
<i>RENT</i>	Rente économique	<i>e, a</i>	um
<i>SUB</i>	Subventions	<i>e, a</i>	um
<i>R</i>	Recrutement des cohortes réparti par zone	<i>i, c, z</i>	individu
<i>RED</i>	Redevances (taxes)	<i>e, a</i>	um
<i>Ferm</i>	Fermeture de zone	<i>zsen</i>	-
<i>FACT</i>	Facteur d'actualisation	<i>a</i>	--
<i>RENTACT</i>	Rente actualisée		um
<i>RENACTF</i>	Tente actualisée par flottille		um
<i>MRCV</i>	Marge relative sur coût variable	<i>e, zsen</i>	--
<i>CI</i>	Consommations intermédiaires	<i>e, zsen</i>	um

<i>VAN</i>	Valeur ajoutée nette	<i>e</i>	um
Variable	Signification	Indices	Unités
<i>VAB</i>	Valeur ajoutée brute	<i>e</i>	um
<i>VANC</i>	Valeur ajoutée nette cumulée par an	<i>a</i>	um
<i>VABC</i>	Valeur ajoutée brute cumulée par an	<i>a</i>	um
<i>K</i>	Emploi courant par flottille	<i>e</i>	hommes
<i>KC</i>	Emploi par flottille cumulé par an	<i>a</i>	Equivalent temps plein annuel
<i>AnChoc</i>	Occurrence d'un choc annuel de recrutement (oui=1, non=0)	<i>a, i</i>	
<i>SubMoteur</i>	Subvention moteurs par an, par flottille	<i>e, a</i>	um
<i>SubCF</i>	Subvention (détaxe) mensuelle sur le carburant	<i>e</i>	um
<i>SubCFC</i>	Subvention annuelle sur le carburant	<i>e, a</i>	um
<i>DetaxMot</i>	Montant annuel des exonérations accordées pour les moteurs	<i>e, a</i>	um
<i>DetaxEng</i>	Montant annuel des exonérations accordées pour les engins de pêche	<i>e, a</i>	um
<i>SUB</i>	Montant total annuel des aides	<i>e, a</i>	um
<i>RAET</i>	Revenus annuels nets de l'Etat	<i>e, a</i>	um
<i>REACT</i>	Revenus actualisés de l'Etat		um

Annexe 5 : Les paramètres de la simulation de référence

A. Les paramètres du modèle et leur lecture

Paramètre	Signification	Indices	Unité	valeur dans la simulation de référence
<i>ParamR</i>	Recrutement initial d'une cohorte mensuelle de l'espèce <i>i</i> , dans une zone <i>c</i>	<i>i,z,c</i>	individu	Défini dans le fichier à paramètre
<i>t_r</i>	Date de recrutement de la cohorte <i>c</i>	<i>c</i>	temps	
<i>k</i>	Paramètre de croissance de la fonction de von Bertalanfy	<i>i</i>	temps	S. ronde : 0,100833 S. plate : 0,040833
<i>t₀</i>	"date de naissance" fictive correspondant au temps où la taille serait nulle.		temps	S. ronde : -0,72 S. plate : -7,08
<i>α</i>	Paramètre de la relation poids-longueur	<i>i</i>		S. ronde : 0,006392 S. plate : 0,0098535
<i>β</i>	Paramètre de la relation poids-longueur	<i>i</i>		S. ronde : 3,274 S. plate : 3,1676
<i>ParamMigr</i>	Taux mensuel d'émigration des zones de départ vers les zones d'arrivée	<i>i, nmois, ori, dest</i>		Annexe 5 B
<i>q</i>	Capturabilité	<i>e, i, c</i>		cf annexe 5c
<i>txi</i>	Taux d'investissement	<i>e</i>	%	0,3
<i>txi1</i>	Taux de désinvestissement	<i>e</i>	%	0,1
<i>parCV</i>	Coût variable	<i>e</i>	um/mois	ST : 3,449 millions FME : 1,171 millions
<i>parLIC</i>	Montant licence de pêche (permis)	<i>e</i>	um/an	ST : 25 000 FME : 25 000
<i>parCF</i>	Coût fixe	<i>e</i>	um/an	ST : 372 605 FME : 324 690
<i>parCDEB</i>	Coût de débarquement		um/tonne	1000
<i>Ffix</i>	Mortalité par pêche dans les zones extérieures à la ZEE sénégalaise	<i>z</i> ∈ { <i>Nordext, G, Sudext</i> }		0,08 ; 0,08 ; 0,08
<i>TxActu</i>	Taux d'actualisation		%	10
<i>PR</i>	Prix par espèce	<i>i</i>	um/t	Sr : 130995 Sp : 103670
<i>ParCiF</i>	Consommations intermédiaires fixes	<i>e</i>	um/mois	ST : 126 573.1 FME : 153 207.3
<i>ParCiv</i>	Consommations intermédiaires variables	<i>e</i>	um/mois	ST : 3 448 629 FME : 1 170 857

Paramètre	Signification	Indices	Unité	valeur dans la simulation de référence
<i>Ferm</i>	Fermeture des zones à la pêche	<i>zsen</i>		Défini en fonction des scénarios
<i>FinalTime</i>	Temps final de la simulation		mois	480
<i>ParEquip</i>	Taille de l'équipage par type de flottille	<i>e</i>	hommes	ST : 20 IND : FME : 10
<i>ParIntChoc</i>	Intensité des chocs de recrutement annuels	<i>i</i>		Défini en fonction des scénarios
<i>ParFreqChoc</i>	Fréquence relative des chocs annuels de recrutement	<i>a, i</i>		Défini en fonction des scénarios (Compris entre 0 et 1)
<i>TxCaptAccess</i>	Taux de capture accessoire en valeur	<i>e</i>	%	ST : 0,24 IND : 0 FME : 0,32
<i>TxCroisCapt</i>	Taux annuel de croissance de la puissance de pêche	<i>e</i>	%	ST : 0. IND : FME : 0
<i>ParCicarbTTC</i>	Consommation mensuelle de carburant TTC	<i>e</i>	um	ST : 3150000 IND : FME : 1013000
<i>ParCicarbHT</i>	Consommation mensuelle de carburant HT	<i>e</i>	um	ST : 3706000 FME : 1191000
<i>ParDetaxMot</i>	Exemption de taxes annuelle sur les moteurs, par unité de pêche	<i>e</i>	um	ST : 415666 FME : 268333
<i>ParDetaxEng</i>	Exemption annuelle de taxes sur les engins de pêche, par unité de pêche	<i>e</i>	um	ST : 360000 FME : 97200
<i>Min choc stochastique annuel</i>	Minimum de choc stochastique annuel pour S. ronde	<i>e</i>		Défini en fonction des scénarios
<i>Min choc stochastique annuel</i>	Minimum de choc stochastique annuel pour S. plate	<i>e</i>		
<i>Max choc stochastique annuel</i>	Maximum de choc stochastique annuel pour S. ronde	<i>e</i>		
<i>Max choc stochastique annuel</i>	Maximum de choc stochastique annuel pour S. plate	<i>e</i>		
<i>Ecart-type choc stochastique annuel</i>	Ecart-type choc stochastique annuel S. ronde	<i>e</i>		
<i>Ecart-type choc stochastique annuel</i>	Ecart-type choc stochastique annuel S. plate	<i>e</i>		

B. Les paramètres de migration

S RONDE								S PLATE							
	DEST	GC	PC	G	Cas	Sudext		DEST	GC	PC	G	Cas	Sudext		
Janvier	Next	0	0.7	0	0	0	Janvier	Next	0	0	0	0	0		
ORI	GC	0	0	0.1	0	0	ORI	GC	0	0	0	0	0		
	PC	0	0	0	0.1	0		PC	0	0	0	0	0		
	G	0	0	0	0	0.07		G	0	0	0	0	0		
	Cas	0	0	0	0	0		Cas	0	0	0	0	0		
	Sudext	0	0	0	0	0		Sudext	0	0	0	0	0		
Février	Next	0	0.3	0	0	0	Février	Next	0	0	0	0	0		
ORI	GC	0	0	0.05	0	0	ORI	GC	0	0	0	0	0		
	PC	0	0	0	0.1	0		PC	0	0	0	0	0		
	G	0	0	0	0	0.07		G	0	0	0	0	0		
	Cas	0	0	0	0	0		Cas	0	0	0	0	0		
	Sudext	0	0	0	0	0		Sudext	0	0	0	0	0		
Mars	Next	0	0	0	0	0	Mars	Next	0	0	0	0	0		
ORI	GC	0	0	0.05	0	0	ORI	GC	0	0	0	0	0		
	PC	0	0	0	0.005	0		PC	0	0	0	0	0		
	G	0	0	0	0	0.7		G	0	0	0	0	0		
	Cas	0	0	0	0	0		Cas	0	0	0	0	0		
	Sudext	0	0	0	0	0		Sudext	0	0	0	0	0		
Avril	Next	0	0	0	0	0	Avril	Next	0	0	0	0	0		
ORI	GC	0	0	0.05	0	0	ORI	GC	0	0	0	0	0		
	PC	0	0	0	0.05	0		PC	0	0	0	0	0		
	G	0	0	0	0	0		G	0	0	0	0	0		
	Cas	0	0	0	0	0		Cas	0	0	0	0	0		
	Sudext	0	0	0	0	0		Sudext	0	0	0	0	0		
Mai	Next	0	0	0	0	0	Mai	Next	0	0	0	0	0		
ORI	GC	0	0.2	0	0	0	ORI	GC	0	0	0	0	0		
	PC	0	0.2	0	0	0		PC	0	0	0	0	0		
	G	0	0	0.2	0	0		G	0	0	0	0	0		
	Cas	0	0	0	0.2	0		Cas	0	0	0	0	0		
	Sudext	0	0	0	0	0		Sudext	0	0	0	0	0		
Juin	Next	0	0	0	0	0	Juin	Next	0	0	0	0	0		
ORI	GC	0.7	0	0	0	0	ORI	GC	0	0	0	0	0		
	PC	0	0.2	0	0	0		PC	0	0	0	0	0		
	G	0	0	0.5	0	0		G	0	0	0	0	0		
	Cas	0	0	0	0.5	0		Cas	0	0	0	0	0		
	Sudext	0	0	0	0	0		Sudext	0	0	0	0	0		
Juillet	Next	0	0	0	0	0	Juillet	Next	0	0	0	0	0		
ORI	GC	0.5	0	0	0	0	ORI	GC	0	0	0	0	0		
	PC	0	0.3	0	0	0		PC	0	0	0	0	0		
	G	0	0	0.5	0	0		G	0	0	0	0	0		
	Cas	0	0	0	0.1	0		Cas	0	0	0	0	0		
	Sudext	0	0	0	0	0		Sudext	0	0	0	0	0		
Aout	Next	0	0	0	0	0	Aout	Next	0	0	0	0	0		
ORI	GC	0	0	0	0	0	ORI	GC	0	0	0	0	0		
	PC	0	0.1	0	0	0		PC	0	0	0	0	0		
	G	0	0	0.2	0	0		G	0	0	0	0	0		
	Cas	0	0	0	0.1	0		Cas	0	0	0	0	0		
	Sudext	0	0	0	0	0		Sudext	0	0	0	0	0		
Septembre	Next	0	0	0	0	0	Septembre	Next	0	0	0	0	0		
ORI	GC	0	0	0	0	0	ORI	GC	0	0	0	0	0		
	PC	0	0.1	0	0	0		PC	0	0	0	0	0		
	G	0	0	0.2	0	0		G	0	0	0	0	0		
	Cas	0	0	0	0.1	0		Cas	0	0	0	0	0		
	Sudext	0	0	0	0	0		Sudext	0	0	0	0	0		
Octobre	Next	0	0.6	0	0	0	Octobre	Next	0	0	0	0	0		
ORI	GC	0	0	0	0	0	ORI	GC	0	0	0	0	0		
	PC	0	0	0	0	0		PC	0	0	0	0	0		
	G	0	0	0	0	0		G	0	0	0	0	0		
	Cas	0	0	0	0	0		Cas	0	0	0	0	0		
	Sudext	0	0	0	0	0		Sudext	0	0	0	0	0		
Novembre	Next	0	0.6	0	0	0	Novembre	Next	0	0	0	0	0		
ORI	GC	0	0	0.05	0	0	ORI	GC	0	0	0	0	0		
	PC	0	0	0	0	0		PC	0	0	0	0	0		
	G	0	0	0	0	0		G	0	0	0	0	0		
	Cas	0	0	0	0	0		Cas	0	0	0	0	0		
	Sudext	0	0	0	0	0		Sudext	0	0	0	0	0		
Décembre	Next	0	0.7	0	0	0	Décembre	Next	0	0	0	0	0		
ORI	GC	0	0	0.1	0	0	ORI	GC	0	0	0	0	0		
	PC	0	0	0	0.005	0		PC	0	0	0	0	0		
	G	0	0	0	0	0.07		G	0	0	0	0	0		
	Cas	0	0	0	0	0		Cas	0	0	0	0	0		
	Sudext	0	0	0	0	0		Sudext	0	0	0	0	0		

C. Capturabilité des sardinelles

Ages (mois)	Capturabilité S. ronde
4 à 6	4.2247E-06
7 à 9	1.1574E-05
10 à 12	2.7162E-05
11 à 15	1.5477E-05
16 à 18	6.4401E-05
19 à 21	5.9776E-05
22 à 24	6.6904E-05
25 à 27	6.1756E-05
28 à 30	6.7922E-05
31 à 33	4.677E-06
34 à 36	1.9845E-06
37 à 39	1.7133E-06
Plus	1.6992E-05

Ages (mois)	Capturabilité S. plate
7 à 9	1.1362E-07
10 à 12	9.9849E-07
11 à 15	3.3935E-06
16 à 18	1.4198E-06
19 à 21	9.4787E-06
22 à 24	1.1746E-05
25 à 27	1.3759E-05
28 à 30	7.5257E-06
31 à 33	7.1591E-06
34 à 36	1.4042E-05
37 à 39	7.6991E-06
40 à 42	7.1011E-06
43 à 45	3.2785E-06
46 à 48	5.1656E-06
49 à 51	3.4174E-06
plus	2.2283E-06

Annexe 6 : Les résultats des indicateurs biologiques et économiques dans les cas des simulations stochastiques

Les indicateurs de la pêche dans la situation de référence (Stochastique) (les indicateurs économiques sont en FCFA)

Simulation
stochastique de
référence

Ici les subventions sont maintenues et la pêche est considérée en situation d'accès libre

Variable	Min	Max	Mean	Median	StDev	(Norm)	10,0 %	20,0 %	30,0 %	40,0 %	50,0 %	60,0 %	80,0 %
Biomasse totale	348538,1	504767,1	387671,6	372742,4	36392,13	0,09387	358122,1	362344,4	365820,3	368948,9	372795,7	377817,8	411485,7
Up0[ST]	593	1359,349	1236,664	1310,89	187,4553	0,15158	978,7811	1220,186	1300,29	1304,956	1312,461	1319,527	1343,424
Up0[FME]	20,41442	128	66,07434	56,02373	36,57301	0,55351	24,96969	30,48392	37,28539	46,02908	57,63472	72,96077	113,327
Revenu pêche	2,92E+11	4,92E+11	4,11E+11	4,13E+11	3,35E+10	0,08153	3,68E+11	3,85E+11	3,94E+11	4,04E+11	4,13E+11	4,21E+11	4,4E+11
Profit Pêche	1,12E+10	3,88E+10	2,77E+10	2,80E+10	4,66E+09	1,68E-01	2,17E+10	2,40E+10	2,54E+10	2,68E+10	2,80E+10	2,91E+10	3,17E+10
Rente	-2,36E+10	-1,50E+10	-1,85E+10	-1,84E+10	1,48E+09	-7,99E-02	-2,04E+10	-1,97E+10	-1,92E+10	-1,88E+10	-1,84E+10	-1,80E+10	-1,72E+10
VAN	3,98E+10	1,01E+11	7,62E+10	7,67E+10	1,04E+10	1,37E-01	6,26E+10	6,78E+10	7,09E+10	7,40E+10	7,67E+10	7,94E+10	8,52E+10
Revenu du travail	6,33E+10	1,16E+11	9,45E+10	9,49E+10	8,95E+09	9,47E-02	8,30E+10	8,76E+10	9,00E+10	9,27E+10	9,49E+10	9,73E+10	1,02E+11

Les indicateurs de la pêche dans le cas de la suppression des subventions (les indicateurs économiques sont en FCFA)

Simulation
stochastique sans
subvention

Ici les subventions sont supprimées et la pêche est considérée en situation d'accès libre

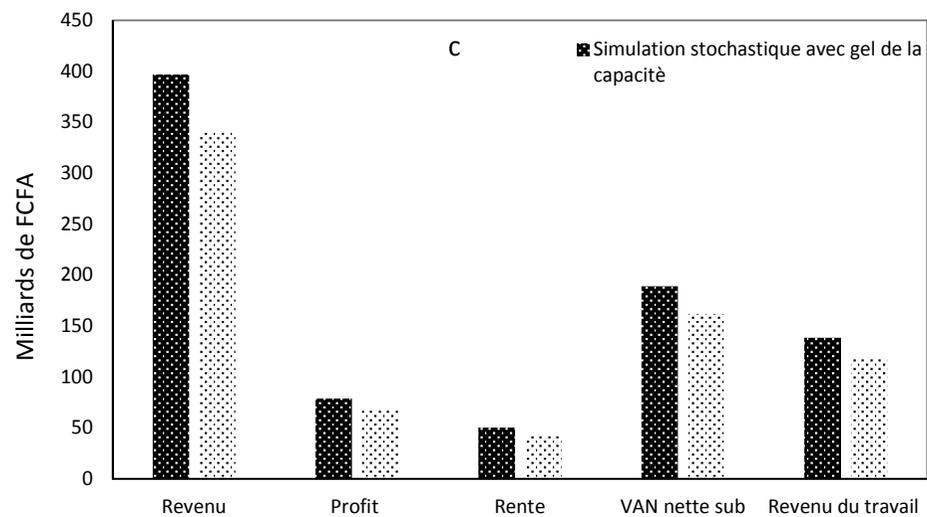
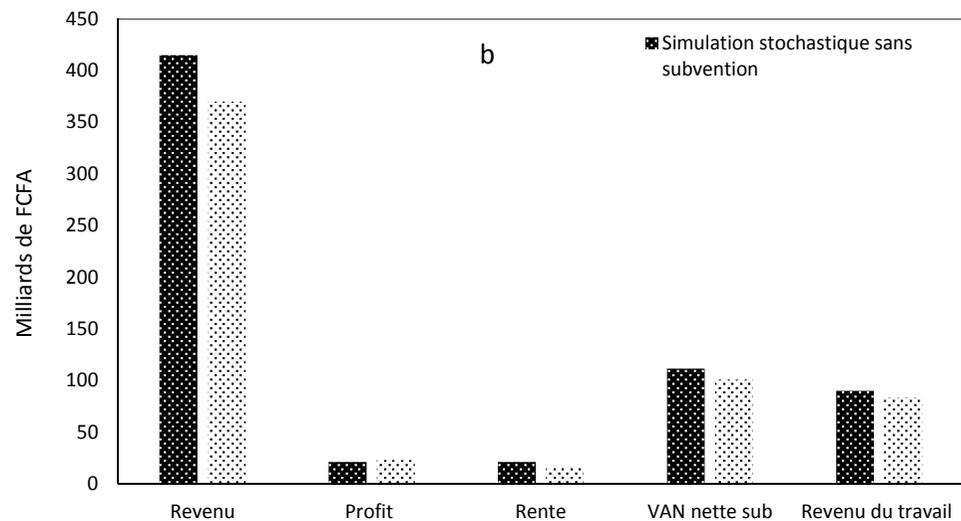
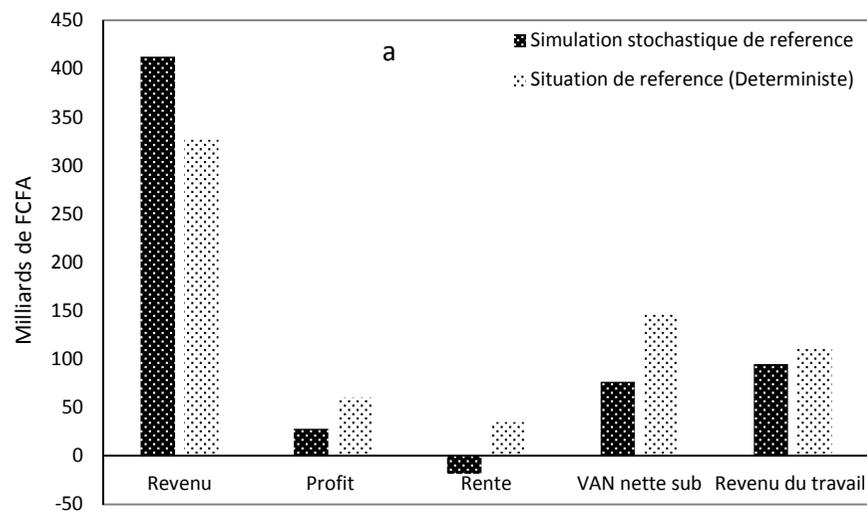
Variable	Min	Max	Mean	Median	StDev	(Norm)	10,0 %	20,0 %	30,0 %	40,0 %	50,0 %	60,0 %	80,0 %
Biomasse totale	225320,3	628811,4	405773,8	404812,9	75186,97	0,18529	304077,7	339133,7	363008,9	386005	404830,8	425520	472190,8
Up0[ST]	558,4509	1444,286	1096,316	1111,531	146,1453	0,13331	903,7695	971,9397	1030,104	1069,282	1112,03	1143,148	1223,151
Up0[FME]	10,34903	72,54834	23,76332	22,30151	7,63989	0,3215	15,71356	17,60334	19,35493	20,66096	22,31929	24,08384	29,01398
Revenu pêche	2,96E+11	4,9E+11	4,13E+11	4,15E+11	3,32E+10	0,08053	3,69E+11	3,87E+11	3,97E+11	4,06E+11	4,15E+11	4,23E+11	4,41E+11
Profit Pêche	6,22E+09	3,04E+10	2,08E+10	2,11E+10	4,15E+09	0,19923	1,54E+10	1,76E+10	1,89E+10	2E+10	2,11E+10	2,21E+10	2,44E+10
Rente	6,41E+09	3,07E+10	2,11E+10	2,14E+10	4,16E+09	0,1976	1,56E+10	1,78E+10	1,91E+10	2,03E+10	2,14E+10	2,24E+10	2,46E+10
VAN	6,68E+10	1,4E+11	1,11E+11	1,11E+11	1,26E+10	0,11404	9,41E+10	1,01E+11	1,05E+11	1,08E+11	1,12E+11	1,14E+11	1,21E+11
Revenu du travail	6,02E+10	1,09E+11	8,94E+10	8,99E+10	8,45E+09	0,09454	7,83E+10	8,29E+10	8,54E+10	8,77E+10	8,99E+10	9,2E+10	9,66E+10

Les indicateurs de la pêcherie dans le cas du gel de la capacité de pêche à son niveau actuel (les indicateurs économiques sont en FCFA)

Simulation
stochastique
avec gel de la
capacité

Ici les subventions sont maintenues et la capacité de pêche est supposée constante

Variable	Min	Max	Mean	Median	StDev	(Norm)	10,0 %	20,0 %	30,0 %	40,0 %	50,0 %	60,0 %	80,0 %
Biomasse totale (t)	4,27E+05	5,23E+05	5,12E+05	5,14E+05	1,09E+04	2,12E-02	5,00E+05	5,04E+05	5,09E+05	5,12E+05	5,14E+05	5,17E+05	5,22E+05
Up0[ST]	5,93E+02	5,93E+02	5,93E+02	5,93E+02	0,00E+00	0,00E+00	5,93E+02						
Up0[FME]	1,28E+02	1,28E+02	1,28E+02	1,28E+02	0,00E+00	0,00E+00	1,28E+02						
Revenu	2,86E+11	4,46E+11	3,95E+11	3,97E+11	2,47E+10	6,27E-02	3,63E+11	3,77E+11	3,84E+11	3,91E+11	3,97E+11	4,03E+11	4,15E+11
Profit	3,05E+10	1,01E+11	7,79E+10	7,89E+10	1,08E+10	1,39E-01	6,42E+10	7,00E+10	7,32E+10	7,64E+10	7,89E+10	8,15E+10	8,68E+10
Rente	2,51E+09	7,22E+10	4,94E+10	5,05E+10	1,08E+10	2,18E-01	3,58E+10	4,16E+10	4,48E+10	4,80E+10	5,05E+10	5,30E+10	5,83E+10
VAN	8,18E+10	2,38E+11	1,87E+11	1,89E+11	2,41E+10	1,29E-01	1,56E+11	1,69E+11	1,76E+11	1,84E+11	1,89E+11	1,95E+11	2,07E+11
Revenu du travail	7,91E+10	1,65E+11	1,37E+11	1,39E+11	1,33E+10	9,69E-02	1,20E+11	1,28E+11	1,32E+11	1,35E+11	1,39E+11	1,42E+11	1,48E+11



Les différents indicateurs économiques actualisés selon les différents scénarios en environnement incertain comparés aux résultats des scénarios en environnement déterministe. Scénario du *statu quo* (a) scénario de la suppression de la subvention (b) scénario du gel de la capacité de pêche (c)

A. Article publié: "Profitability and economic drivers of small pelagic fisheries in West Africa: A twenty year perspective"

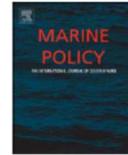
Marine Policy 76 (2017) 152–158



Contents lists available at ScienceDirect

Marine Policy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/marpol



Profitability and economic drivers of small pelagic fisheries in West Africa: A twenty year perspective



Aliou Ba^{a,c,e,*}, Jörn Schmidt^b, Moustpha Dème^c, Kira Lancker^b, Christian Chaboud^d, Philippe Cury^d, Djiga Thiao^c, Malick Diouf^a, Patrice Brehmer^{c,e}

^a Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD), Institut Universitaire de Pêche et d'Aquaculture (IUPA), Dakar, Senegal

^b University of Kiel (CAU), Department of Economics, Wilhelm-Seelig-Platz 1, 24118 Kiel, Germany

^c Institut Sénégalais de Recherches agricoles (ISRA), Centre de Recherches Océanographiques de Dakar Thiaroye (CRODT), PRH, BP 2241 Dakar, Senegal

^d Institut de Recherche pour le Développement (IRD), UMR Marbec (IRD/IFREMER/UM2/CNRS), Avenue Jean Monnet CS 30171, 34203 Sète cedex, France

^e Institut de Recherche pour le Développement (IRD), UMR 195 Lemar, BP 1386 Dakar, Senegal

ARTICLE INFO

Keywords:
Small scale fisheries
Small pelagic fish
Income
Management
Senegal

ABSTRACT

Small pelagics are the main fish resource in North West Africa. In Senegal, these are mainly sardinellas (*Sardinella aurita* and *S. maderensis*) and bonga shad (*Ethmalosa fimbriata*). The fisheries, mainly encircling gillnets and purse seines, are predominantly performed by artisanal fishers and are of great importance for the Senegalese economy and for food security in the region. However, in recent years, the main conditions for these fisheries have changed and recent observations have shown strong declines in profit. An analysis over the last twenty years (1993–2013) show that the fisheries lost profit between 65% and 100% while operating costs increased by 25% and 90%, for encircling gillnet and purse seine, respectively. While the fuel price dominates as determining factor during the survey period, important other drivers during the last five years were a decrease in fish biomass and an increase in fishing effort.

1. Introduction

Small pelagic fish are abundant in the Canary and Guinea current system off West Africa [1,2]. Along the Mauritanian and Senegalese continental shelf, the dominant species of pelagic fish are sardinella (*Sardinella aurita* and *Sardinella maderensis*) [3] and bonga shad (*Ethmalosa fimbriata*). These small pelagic fish, mainly *S. aurita*, perform a seasonal migration between southern Morocco and southern Senegal [2–4]. They are predominant in landings (volume and value) within the small pelagic fishery in Senegal. The fishery in Senegal has expanded significantly in the 1970s with the adoption of purse seines in the artisanal fishery [5]. Since then, small pelagic fish are the main component of the Senegalese artisanal fishery with on average 230,000 t per year and between 70% and 77% of the total landing over the period 1990–2012 and the total value of small pelagic landing was estimated to be 74,000 k€ in 2014 (Fig. 1). Overall, the exploitation of small pelagic fish is strongly marked by the predominance of round sardinella (*S. aurita*) and flat sardinella (*S. maderensis*), with on average 52% and 37% in landings of small pelagics [6]. These species contribute especially to the supply of the local market [7] and play a dual role in the Senegalese economy, through their contribution to food

security, and through employment in the fishery and the processing sector. The revenues generated by sardinella landings are shown in Fig. 1, and are representing 30,000 k€ on average per year between 1995 and 2009. However, the value has doubled since 2009.

The fishery is subsidized by the state since the 1960s in different ways ranging from facilitating credit contracts to direct subsidies on fuel and fixed costs and also zero-rating of inputs. These subsidies are motivated among others by the development of the sector but also to guarantee food security. However this kind of policy is highly criticised to have detrimental effects in a *de facto* open access fishery situation by several authors [8,9].

However, due to the high spatiotemporal variability of sardinella abundance [1,3,10], the increase in fishing effort and in fishing capacity, a decrease in individual income of fishers targeting these species has been observed between 1993 and 2011 [11]. In addition, since 2001, the FAO working group on the assessment of small pelagic fish off Northwest Africa (CECAF) indicated that these stocks are becoming overexploited. They recommended a reduction in fishing effort (see also FAO [12]).

Purse seine and encircling gillnet are the main fishing gears used to catch small pelagic fish. The economic and financial profitability of

* Correspondence to: IRD/CRODT, UMR 195 Lemar, Route des pères Mariste, BP1389 Hann, Dakar, Senegal.
E-mail address: aliou.ba@ird.fr (A. Ba).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2016.11.008>

Received 24 August 2016; Received in revised form 5 November 2016; Accepted 5 November 2016
0308-597X/© 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.

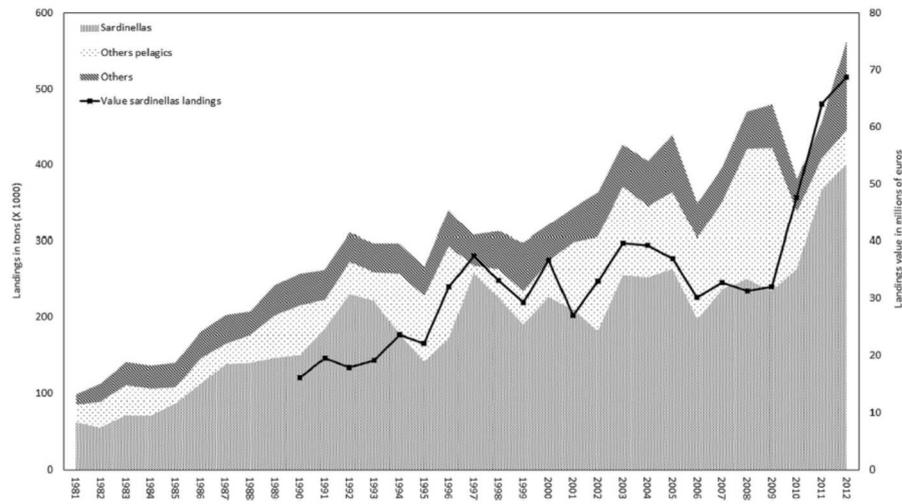


Fig. 1. Senegalese landing and value of landings of sardinella. The proportion of sardinellas, other pelagics and all other landing in the artisanal Senegalese fishery from 1981 to 2012 and the value of sardinella landings (blackline) (source: CRODT, the Senegalese fisheries research center).

artisanal fishing has been monitored fairly regularly between 1993 and 2007 (Senegalese research center (CRODT) and FAO). The last study carried out in 2010 [11] has shown a financial hardship for the small pelagic fishing sector.

Since this last study [11], several important changes have been observed. The first is a contract (2010–2012) between Senegal and a Russian fleet (29 boats) targeting small pelagic fish that had been in place [3,13,14], but which was terminated in 2012 because of political pressure from artisanal fishermen and local NGOs [15].

In addition to subsidies mentioned above, the government decided in 2015 to reserve more than 7600 k€ to subsidize the investment in engines with 1.5 k€ per engine (in addition to preexisting tax exemptions).

Lastly the government implemented a vessel registration program for artisanal boats in 2006 to control the fishing capacity. This included a yearly fishing license of 38€ per purse seine and encircling gillnet. The fishing license is also an obligation in the new fishing code (2015). The objective is to have a better control over the fishing capacity and in addition to cover the externalities of the artisanal fishing sector. However, only a few purse seine and encircling gillnet fishing units have bought this license yet.

The two fleets subject for the analysis are the traditional, coastal and family-oriented encircling gillnet (EG) fishing units, which are compared with the more progressive, flexible and capital-intensive purse seines (PS). The choice of these fishing units is motivated by the fact that 65% of *E. fimbriata* is caught by the EG and 30% by the PS, 40% *S. maderensis* is caught by EG and 55% PS and 98% of *S. aurita* is caught by the PS. The focus of this paper is on the analysis of the development of the economic viability of these two fleets and the drivers behind this development. The results of the short term analysis based on 2014 data are compared with results from previous studies between 1993 and 2007. This enabled us to follow the development over a time horizon of twenty years, but also having a closer look at the more recent years.

2. Material and methods

For this study, several data sources were used:

- (i) The dataset of the Oceanographic Research Centre of Dakar Thiaroye (CRODT) already described by several authors [16–21] for catch per unit of effort (CPUE) by species and catch data landed by PS and EG and ex vessel prices of fish.
- (ii) The reports of the Senegalese Directorate of Marine Affairs and fisheries (DPM) [13] and the FAO¹ reports of the CECAR² for historical data.
- (iii) Investment data of fishing units are complemented by interviews with the main engine, boat and net retailers.

The study area and the major landing sites are presented in Fig. 2. From these various sources of data the investment value fixed costs, variable costs, the net income and the subsidies of the fishing fleet are estimated. The economic and financial analysis of fishing vessels is calculated using their operating accounts, the internal rate of return, the delay to recovery of invested capital and the net added value. To compare this study with previous studies, the same method was used to calculate the income. The methodology (Fig. 3) is adapted from Kébé and Horemans [22], a study done for the West African artisanal fisheries.

We did a review of studies conducted since 1993 for Senegal (the first study took place before the devaluation of the national currency i.e. CFA³ franc “XOF” in 1994) specifically for the years 1996, 1999, 2004 and 2007, to derive a time series of profitability. Deflation was calculated using the consumer price index with 2014 as base year.

The turnover per year per fishing unit is simply derived by multiplication of catch per unit of effort with the number of fishing trips and the price of the species. The catch is composed of the target species (*S. aurita*, *S. maderensis* and *E. fimbriata*) and all other species caught by the fishing vessels.

Operating costs are assumed to be proportional to the fishing units' activity (effort). They include the sum of fuel costs, food and small maintenance costs. The deduction of these total operating costs (TCO) from the turnover gives the gross operating income. This result is divided between capital and labor according to the share system of the

¹ Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).

² Fishery Committee for the Eastern Central Atlantic (CECAF).

³ Local currency (FCFA= Franc Coopération Financière en Afrique).

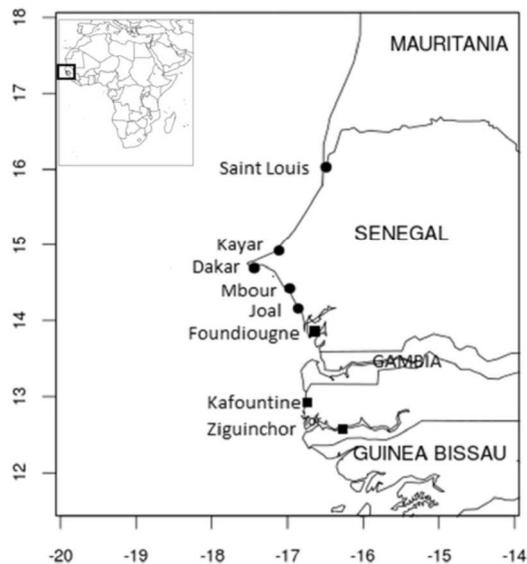


Fig. 2. Map of the study area. Map of the Senegalese marine coastal area, the black circles are the main landing sites and the black squares are the secondary landing sites investigated by the national Senegalese's research center (CRODT).

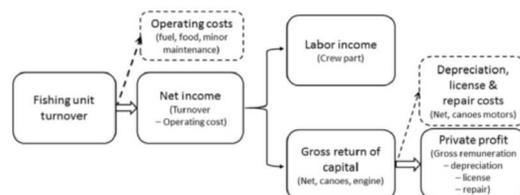


Fig. 3. Income calculation. Income calculation methodology. From the turnover the operating costs is removed and the net income is obtained. The net income is split between labor and capital. From the capital part, the depreciation, the license and the repair costs are removed. From this the private profit is obtained. The dotted arrows mean subtracting and the dashed arrows mean divided.

fishing unit. The share system used to calculate private profit and crew income differs between fisheries. Generally, the boat owner and the crew members share the economic risk of fishing trips. So after deduction of the total operating cost (fuel, food, etc.) from the turnover, the rest (net income) is shared between capital and labor as follows:

- For PS, capital receives 45% of gross operating income and labor 55%.
- For EG, capital and labor receive 27% and 73% of gross operating income [23], respectively.

These percentages can be calculated from the share system rules in place. For a PS, a fairly common practice is to allocate one third of the net income to the fishing gear and the remaining two-thirds are divided between the crew, canoes and engines by one share per crew member and one share for each piece of equipment.

For EG, one share goes to the engine, one share to the fishing gear, one to the boat and one to each crew member. The sum of the shares allocated to fishing gear, motors and canoes represent the gross return on capital.

Finally, the private profit is obtained by deduction of depreciation,

permit cost, and repairs from the gross return on capital.

3. Results

3.1 Purse seine (PS)

Investment and operating costs have increased by 30% and 90% respectively during the period 1993–2014 (Fig. 4a, c). Over the same period, owners and fisher income dropped by 66% and 52% respectively. Over the whole period the owner's income is 10 times higher on average than the income of an ordinary fisher. The Payback period has doubled (Table 1). The internal rate of return decreased from 83% to 22%. Operating costs are rather dominated by the cost of fuel. The share of fuel in operating costs has increased, it changed from 60% to 80% during the period.

3.2 Encircling gillnet (EG)

Investment has only slightly changed for the EG net over the whole period. However, as for the ST, operating costs have risen sharply (25%) over the last 20 years. Profit is relatively low compared to ST. It is on average even lower than that of each crew member (Fig. 4b, d).

The Payback period is multiplied by 26 during these 20 years (Table 2). EG's internal rate of return dropped from 15% to 1%. Operating costs again are highly controlled by the cost of fuel, representing 70% of the total costs. However, over the period, the share of fuel in operating costs is relatively constant.

4. Discussion

4.1. On the investment

To complete our profitability analysis and to estimate the completeness and quality of it, the return on capital should be subject to comparison with alternative returns. As the artisanal Senegalese fishery represents an example of an almost open access case, it is expected that profits go towards zero for both gear types. Put differently, it is expected that the internal rate of return (IRR) is equal to an alternative, comparable investment's return that an artisanal fisherman could get. An alternative approach is that the owner's IRR should roughly equal the cost of outside capital. Data on interest rates in the market are difficult to obtain. One reference cites three development projects undertaken to spur the development of the artisanal market. Capital cost for all three projects is at 11% interest rate per year, with a compulsory cash deposit as collateral [24]. It is likely that the cost of capital is higher on the private market not driven by development targets. In comparison, for fisheries with informal credit markets and interlinked credits, the interest rates have been calculated to be between 18% and 47%, depending largely on the lender, amount and collateral [25]. Mallick [26] found an average informal interest rates in agricultural villages in Bangladesh of 103%, with a minimum of 10%. Variability is high, but it is likely safe to assume that private cost of capital is not below 15–20%.

Considering this, an IRR of 22% in 2014 (15% in 2007) points towards a situation of possibly positive, but very small excess profits in the PS fishery and definitely negative profits for EG fishers. While the market is clearly an open access situation (no government intervention concerning capacity), it is possible that market imperfections, especially concerning access to capital as was shown by Ndiaye [27], hinder investment.

4.2. On the methodology

The method to calculate the profitability in this paper has been adapted from FAO [22]. The method is based on traditional economic and financial calculations and is supposed to reproduce the share

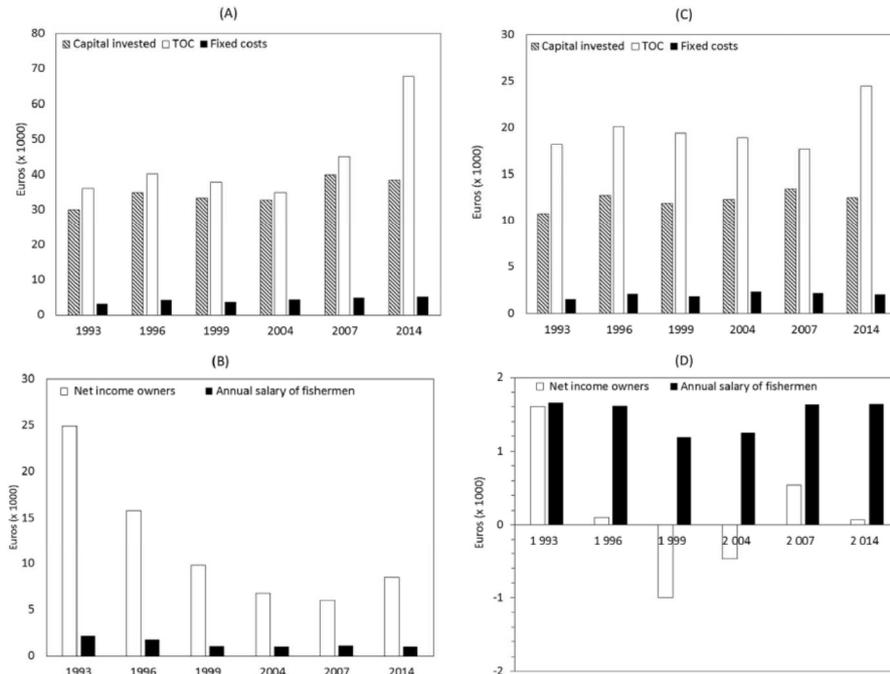


Fig. 4. Change of economic indicators. Change of various economic indicators deflated (2014, base 100) between 1993 and 2014 investment, variation of total operating costs and total fixed costs (a) for purse seine (PS), and (b) for encircling gillnet (EG). In grey the private profit and in black the income per crew member for (c) PS and (d) for EG.

Table 1
Indicators of the profitability ((crew member income, private profit, expressed in Euro the internal rate of return (%) and the Payback period (years)) of purse seine (PS) over the 20 years studied.

Profitability fishing unit PS	1993	1996	1999	2004	2007	2014
Income of crew member per year	2154	1763	1101	1030	1134	1033
Income of the crew per year	43072	35267	22026	20608	22686	20651
Private profit per year	24911	15818	9822	6778	6019	8522
Internal rate of return (%)	82.90	45.42	29.55	20.75	15.05	22.12
Payback period (years)	1.21	2.20	3.38	4.82	6.65	4.52

Table 2
Indicators of the profitability (crew member income, private profit, expressed in Euro the internal rate of return (%) and the Payback period (years)) of encircling gillnet (EG) over the 20 years studied.

Profitability fishing unit EG	1993	1996	1999	2004	2007	2014
Income of crew member per year	1659	1612	1189	1248	1630	1638
Income of the crew per year	13274	12894	9510	9984	13043	13108
Private profit per year	1603	104	-1004	-472	543	72
Internal rate of return (%)	14.8	0.8	-	-	4.0	0.6
Payback period (years)	6.7	122.6	-	-	24.8	174.6

systems used in artisanal fisheries. However, it seems that the method is not totally well adapted to the artisanal fisheries because of the variability in the share system. In fact, there are several specific characteristics of small fishing vessels with respect to fishing techniques, fishing season, but also in relation to the nature of the contract between the onboard fishers and the boat owners. Conventionally,

pelagic artisanal fishing is done by performing one or several trips a day and the owner of the canoe shares the risks of each fishing trip with the crew. However, especially in some cases where migrants are the crew, the level of risk is often higher because the sharing is done at the end of the campaign after having deducted all costs associated with operation, repair and accommodation. The risk is the disbanding of the crew if there is a series of several bad fishing trips. However, in the classical case of the share system, the sharing is done between all fishers. Only afterwards will the boat owner pay all costs associated with repair.

Especially for EG, the method of calculating income might not be well suited to capture the share system in place. On the one hand, the share system is more in favor of the crew compared to the share system applied on PS canoes. On the other hand, new data from a survey⁴ of captains and boat owners in seven landing sites across Senegal shows that the extent to which the fishing unit is a family business varies across gear types. EG have a higher family share. This leads to a capital-labour-remuneration-relationship that is not only characterized by the share systems, but turns out to be more complicated. It is likely that the family members share capital cost and remuneration. In most of the cases the crew lives in the same house and all income from fishing is used for domestic expenses. In addition, the head of family also receives money or part of the share from unmarried fishers. The traditional accounting does not take into account all these aspects and therefore perhaps underestimates the income of the owner of the canoe

⁴ It is a database which is under construction. This part of the work is jointly financed by the IRD, the University of Kiel (Germany) and CRODT. It is in the framework of AWA (Ecosystem Approach to the management of fisheries and the marine environment in West African waters) and Preface (Enhancing prediction of Tropical Atlantic climate and its impacts) projects.

acting as family head. All those aspects might explain the low income of EG owners found after calculating profits with this standard method.

For PS fisheries, the operation cost has doubled in twenty years, while that in EG fisheries increased by 25% only. During the same time, the profit of the PS has been divided by three, but is still positive, while that of the EG is almost zero. The dynamics of costs and benefit shows perfectly that both fisheries are on a path towards zero profit, thus an open access equilibrium, as shown already by several authors [28–32] in other fisheries. Given the importance of this fishery for food security and job creation in Senegal, corrective measures should be envisaged before it is too late.

4.3. Drivers of profitability variation

Several factors can explain observed variations of the profitability during the last twenty years. Some factors that may influence the profitability of artisanal fishing units over time are analyzed. The focus is on factors that have an influence on the level of gross operating income: The prices for fish and fuel, effort, CPUE and biomass are discussed. Most variables discussed vary for the different species (*S. aurita*, *S. maderensis* and *E. fimbriata*) and thus gears. While the former is predominantly fished by PS, the latter is the main target species of EG.

For the fuel price, time series data for the period 1992–1996 from [7] is used. For the period 2000–2014, fuel use and value data provided in the yearly DPM reports are used. The latter are aggregated on national and yearly level. All prices are deflated using the consumer price index from World Bank data and already take into account fuel subsidies. The result shows a hump shaped development in the early 1990s (Fig. 5a). In the early 2000s the price remained at the 1995 level, but from 2005 until the World economic crisis in 2008, a sharp rise in fuel prices was observed. Since 2010, there is only a small yearly increase. From this, it is possible that fuel prices may have played a dominant role in the increase of operating costs between 2004 and 2007. However, the sharp rise in yearly operating costs during the last five years cannot be explained by fuel price development only.

During the last five years, a sharp rise in effort for PS is observed (Fig. 5b). The same could not be observed for fuel use, but it is possible that it can be attributed to the fact that fuel data is only available on aggregate level, and not on gear type level. Assuming that fuel use and effort are linearly dependent, fuel use by PS may have risen a lot recently. Therefore, the sharp rise in operating costs between 2007 and 2014 can be attributed mostly to the used quantity, less to the price, of fuel. While the time series data of other components, such as food and small repairs are not obtained, there is no indication as to a dominating role of one of these in the development of operating costs. Fishing effort has remained largely constant for EG over the whole period discussed.

For the ex-vessel prices, the time series data from CRODT were used. The graph shows that output prices are subject to substantial interannual variation, where *E. fimbriata*, which is the most local species, exhibits the highest price variation. For both sardinella species, a general upward trend of prices is present, and the two move closely together (Fig. 6). A recent peak in 2013 and 2014 is visible. For bonga shad, the price generally exhibits a slight upward trend. During the last five years, there is a price hump, although not as pronounced as for sardinella.

CPUE of PS exhibits a general upward trend for both sardinella species. *S. aurita* is the main target species. *S. maderensis* is a more coastal species and its CPUE is lower (Fig. 7a). The variation for *S. aurita* until 2008 is difficult to explain, due to the lack of data especially for the first years. The complex migration patterns and biological traits, described for example in [4] may explain some variation. In addition, because the resources are shared between several countries, the variation of the fishing efforts in the other EEZ can impact the availability of the resources in the Senegalese EEZ.

CPUE for *S. aurita* reached its maximum in 2009, and then fell

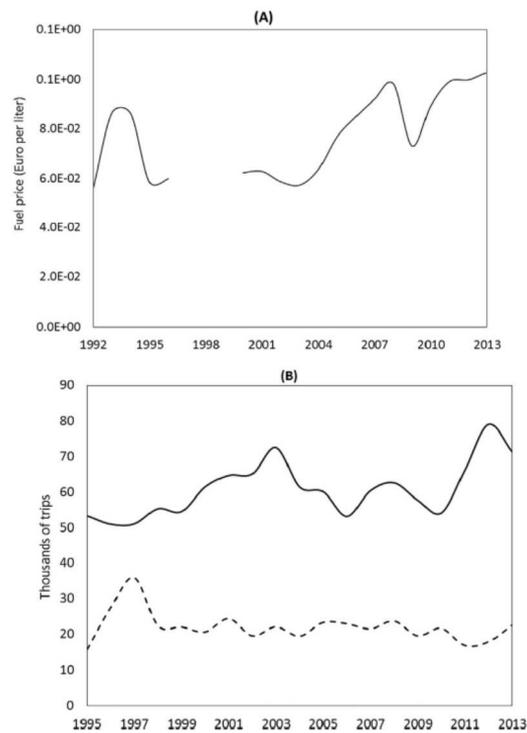


Fig. 5. Fuel price and fishing effort. (a) Change during the study period of the fuel price between 1992 and 2013 and (b) the purse seine (PS) (solid line) and encircling gillnet (dashed line) fishing effort between 1995 and 2013.

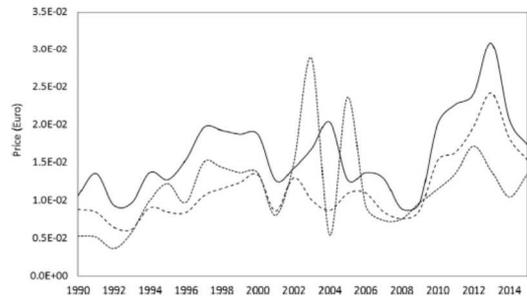


Fig. 6. Ex-vessel prices Ex-vessel prices between 1995 and 2013 of *Sardinella aurita* (solid line), *Sardinella maderensis* (dotted line) and *Ethmalosa fimbriata* (dashed line).

again. The peak in 2009 is in line with the time when prices started to rise. It is strongly assumed that the drop in CPUE over the last five years concerning *S. aurita* may be attributed to a decreasing biomass. First signs of overexploitation may have been explained by the price increase. At the same time, officially starting 2010, a significant amount of sardinella was caught by the Russian fleet according to the contract between the Senegalese state and the Russian fleet [3,13–15]. Since this industrial fleet operates farther from the shore, it is assumed that it mainly targeted *S. aurita*. This contract was heavily opposed by the artisanal fishers and NGOs and finally ended in 2012 [15]. It likely increased fishing pressure heavily. Therefore, it is not surprising that

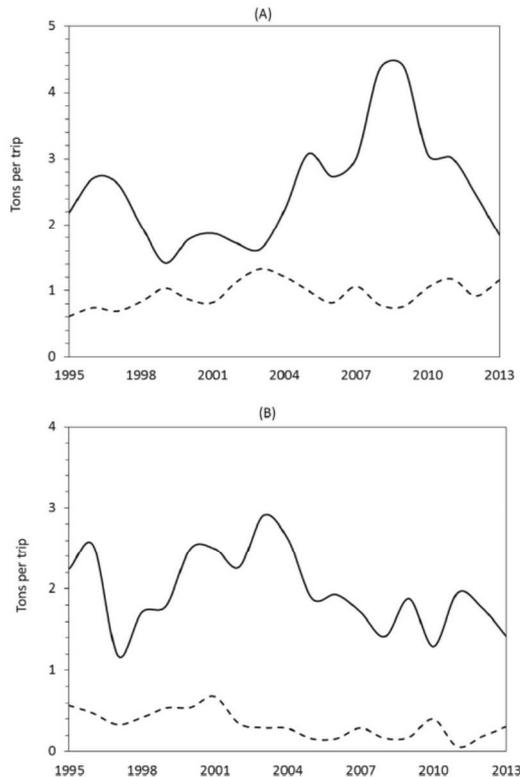


Fig. 7. Catch per unit of effort (CPUE). (a) Catch per unit of effort (CPUE) between 1995 and 2013 for *Sardinella aurita* (solid line) and *Sardinella maderensis* CPUE (dashed line) using purse seine; (b) *S. maderensis* CPUE (solid line) and *Ethmalosa fimbriata* one (dashed line) using encircling gillnet.

after 2012, CPUE dropped significantly. In addition, it is possible that decreasing marginal returns to effort prevail, and part of the drop is attributable to the rise in effort. As visible from the graph, CPUE for *S. maderensis* is far more constant. CPUE of EG concerning both target species exhibits a downward trend (Fig. 7b).

The fishing capacity for both fishing methods has not increased since 2000. While the number of canoes in the purse seine sector has multiplied by more than four between 1970 and 2000 i.e., from 120 to 540, there is only a slight increase afterwards i.e. from 540 to 593 between 2000 and 2012. The encircling gillnet sector showed even a decrease since 1990 (from 137 to 117 between 1990 and 2012). Given that the artisanal fishery is open access, the development in both sectors (PS and EG) can be interpreted as overcapacity. Such context leads to overfishing and could explain the decline in CPUE and the loss of economic performance mentioned above.

In addition to the fishing effort (expressed in days at sea) and the evolution of the fishing capacity, it can be seen that the canoes, the fishing gears and the engine became larger and more powerful. As an example, between 1993 and 2012, most EG canoes have changed from out board engine of 8–15 HP to 25–40 HP (horsepower) and most of the PS canoes changed they engine from 25 to 40 HP to 40–60 HP [7,23,33]. This change led to an increase of effort per fishing day between 1993 and 2014 and increased the fishing capacity. In this work such increase in fishing power over the period considered cannot be integrated directly as not yet estimated.

Summarizing the overview of factors influencing gross operating income, it is concluded that:

During the last five years, a peak in prices has been observed, paired with a peak in effort and a sharp drop in CPUE for PS and *S. aurita*. CPUE for *S. maderensis* is mostly constant. While bonga shad prices also increased slightly for EG fishers, their effort is largely constant and CPUE is falling slightly. It can be concluded that reduced profitability for PS is likely caused by a decrease in biomass, to some extent compensated by the increase in output prices. It is assumed that the inception of the Russian fleet contract may have substantially contributed to the reduced biomass. The substantial drop in EG profitability remains unclear after this analysis. While there is diminishing CPUE for both species (Fig. 7) and the fuel price has risen slightly, both phenomena seem too weak to serve as an explanation.

In the long term, thus over the last 20 years, the most important factor for PS has been the rise in fuel prices over the period since 2003. This suggests that fuel subsidies likely have a large impact on the sector as a whole.

In general, it can be seen, as expected, that the three species and both fleets are closely linked through prices. The next years may show that in more detail: If our hypothesis of a dramatic decrease in *S. aurita* biomass proves correct, PS canoes might redirect their effort towards *S. maderensis*, thus increasing the pressure on EG.

5. Conclusion

During the last twenty years the economic state of the Senegalese artisanal pelagic fishery got worse, with profit decreasing while costs increased. This is linked to several economic (e.g. remuneration of capital, share system) and biological (fish biomass level) factors. The fuel price is identified as a key driver during the last 20 years. Over the last five years, our results showed that a decrease in biomass coupled with an increase in fishing effort is likely responsible for the decrease in profitability. The rise in output prices compensates insufficiently those two adverse impacts. Although the decrease in profitability affects both fisheries, the effect on the PS fishery is less severe than the effect on the EG fishery. The reason might be the difference in the share system, which produces high labor costs for the EG fishery and which led to a slight decrease in numbers of EG boats from 1990 onwards and only more recently (since 2000) in the PS fishing fleets.

Finally, the migration of the resource, making it a shared fish stock, increases the necessity for collaboration in resource management between the countries who share it. So, it is necessary to have a better coordination in small pelagic fisheries management between these countries. No coordination in the management of resources shared between different countries can lead to a “race for fish” and finally the tragedy of the commons as demonstrated by several authors like e.g. Gordon, Hardin, McWhinnie, Clark and Munro [28,34–36].

Obviously, in a poor data fishery, this study has some limitations. Thus in a next step, a deeper understanding of the interactions and dynamics of the fishery could likely only be investigated with the help of an ad hoc bio-economic model, which integrates all system components such as the dynamics of the resource, the fishing effort in the other countries as well as national change, the change in the fishing power (integrating increase of technology efficiency), the market dynamics and the human dimension (social and cultural considerations). This will allow for a more accurate analysis of the fishery, both in the short and the long terms.

Acknowledgements

This work was supported by the AWA project funded by IRD and the BMBF (grant 01DG12073E), the PREFACE project funded by the European Commission's Seventh Framework Program (2007–2013) under Grant Agreement number 603521, and all CRODT technicians working all the year on the main Senegalese landing sites.

References

- [1] P. Cury, C. Roy, Pêcheries Ouest Africaines: Viabilité, Instabilité et Changement dans les Pêcheries Ouest-Africaines, ORSTOM, Paris, 1991, p. 525.
- [2] T. Boely, J. Chabanne, F. P., Schémas Migratoires, Aires de Concentrations et Périodes de Reproduction des Principales Espèces de Poissons Pélagiques Côtiers Dans la Zone Sénégal-mauritanienne, FAO, Dakar, 1978.
- [3] A. Corten, A. Mendy, H. Diop, La Sardine de l'Afrique du Nord-Ouest: Pêches, Evaluation des Stocks et la Gestion, Document CSRP, Dakar, 2012.
- [4] P. Fréon, Réponses et Adaptations des Stocks de Clupéidés d'Afrique de l'ouest à la Variabilité du Milieu et de l'exploitation: Analyse et Réflexion à Partir de l'exemple du Sénégal, Université d'Aix-Marseille, Marseille, 1988.
- [5] M. Dème, M. Kébé, Revue Sectorielle de la Pêche au Sénégal: Aspects Socio-économiques, Document interne du CRODT, Dakar, 2000.
- [6] D. Thiao, Bioécologie et Exploitation des Petits Pélagiques au Sénégal, Rapport CSRP, Dakar, 2012.
- [7] M. Dème, D. Thiao, N. Fambaye, A. Sarre, H. Diadiou, Dynamique des Populations de Sardinelles en Afrique du Nord-Ouest: Contraintes Environnementales, Biologiques et Socioéconomiques, USAID/COMPISH, Dakar, 2012.
- [8] G. Munro, U. Sumaila, The Impact of Subsidies Upon Fisheries Management and Sustainability: The Case of the North Atlantic, Fish and Fisheries, 2002.
- [9] U. Sumaila, J. Andrew, W. William, Fisheries Subsidies and Potential Catch loss in SIDS Exclusive Economic Zones: Food Security Implications, Environment and Development Economics, 2013.
- [10] P. Cury, C. Roy, Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas, Can. J. Fish. Aquat. Sci. 146 (1989) 670–680.
- [11] M. Dème, Etude Des Coûts et Revenus Des Principales Unités De Pêche Artisanale Sénégalaises, CRODT, Dakar, 2010.
- [12] FAO, Rapport de Septième Session du Sous-comité Scientifique du Comité des Pêches Pour l'atlantique Centre-Est à Tenerife, FAO, Tenerife, 2015.
- [13] DPM, Résultats Généraux de la Pêche Maritime Sénégalaise en 2012, Document Direction des Pêches Maritimes du Sénégal, DPM, Dakar, 2012.
- [14] DPM, Résultats Généraux de la Pêche Maritime Sénégalaise en 2012, Document direction des pêches maritimes du Sénégal, Dakar, 2013.
- [15] Greenpeace, Main basse sur la Sardine, le Scandale des Autorisations de Pêche au Sénégal: Un Drame en Cinq Actes, Greenpeace; Dakar, 2012.
- [16] F. Laloë, Etude de la Précision des Estimateurs des Captures et Prises par Unité d'effort Obtenues à l'aide du Système d'enquête sur la pêche artisanale au centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye, CRODT, Dakar, 1985.
- [17] M. Barry-Gérard, P. Gréber, Analyse de la Pêche Artisanale au Cap Vert: Description et Etude Critique du Système d'enquête, CRODT, Dakar, 1985.
- [18] M. Barry-Gérard, Contribution à la Connaissance de la Pêche Artisanale sur la Petite Côte: Description et Etude Critique du Système d'enquête à Mbour et Joal, CRODT, Dakar, 1985.
- [19] F. Laloë, A. Samba, La pêche Artisanale au Sénégal: Ressource et Stratégie de Pêche, ORSTOM, Collection Etudes et Thèses, Paris, 1990.
- [20] J. Ferraris, V. Fonteneau, A. SyBô, Structuration de la Base de Données Pêche Artisanale et Chaîne de Traitement Informatique, CRODT, Dakar, 1993.
- [21] D. Thiao, Un Système d'indicateurs de Durabilité des Pêcheries Côtières Comme Outil de Gestion Intégrée des Ressources Halieutiques Sénégalaises, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, France, Paris, 2009.
- [22] M. Kébé, B. Horemans, Guide Méthodologique pour l'étude des Coûts et Revenus en Pêche Artisanale en Afrique, FAO, Rome, 1998.
- [23] A. Ba, Evaluation de la Capacité de Pêche Artisanale et les Mesures Visant sa Régulation: Cas du Sénégal, Agrocampus de Rennes, Rennes, 2013.
- [24] M. Dème, B. Diop, Aménagement, Législation et Développement des Pêches Artisanales au Sénégal: Bilan et Analyse d'impact, CRODT, Dakar, 1994.
- [25] M. Riekhof, Estimating the Insurance Premium in Interlinked Credit-Output Contracts, Department of Economics, Christian-Albrechts University zu Kiel, Kiel, 2014.
- [26] M. Debdulal, Microfinance and moneylender interest rate: evidence from Bangladesh, World Dev. 40 (16) (2012) 9.
- [27] Y. Ndiaye, Utilisation des Revenus du Capital en Pêche Artisanale: le cas des Armateurs de Hann au Sénégal, FAO, Cotonou, 1996.
- [28] H. Gordon, The economic theory of a common-property resource: the fishery, J. Political Econ. 162 (1954) 124–142.
- [29] M. Schaeffer, A study of the dynamics of the fishery for Yellow for Tuna. in the Eastern Tropical Pacific Ocean., Trop. Tuna Comm, 1957.
- [30] E. Meuriot, Les Modèles Bio-économiques d'exploitation des Pêcheries: Démarches et Enseignements, Ifremer, 1987.
- [31] L.G. Anderson, J.C. Seijo, Bioeconomics of Fisheries Management, Wiley-Blackwell, 2010, p. 319.
- [32] C. Chaboud, Economie des pêches, chez Valorisation et économie des ressources marines, Londre, Iste, 2014, pp. 277–344.
- [33] A.M. Jallow, Rapport de la Première Reunio du Groupe de Travail du DIPA sur Coûts et Revenus en Pêche Artisanale en Afrique de Fouest, FAO, Dakar, Senegal, 1995.
- [34] G. Hardin, The tragedy of the commons, Science 1162 (1968) 1243–1248.
- [35] C. Clark, G. Munro, The economics of fishing and modern capital theory: a simplified approach, J. Environ. Econ. Manag. 12 (1975) 92–106.
- [36] S.F. McWhinnie, The tragedy of the commons in international fisheries: an empirical examination, J. Environ. Econ. Manag. 157 (2009) 321–333.

B. Publications scientifiques en cours

Ousmane Diankha , **Aliou Ba**, Patrice Brehmer, Timothée Brochier , Modou Thiaw , Bamol Ali Sow , Amadou Thierno Gaye , Hervé Demarcq. « Influence of climatic variables on Sardinella recruitment dynamics in Senegalese waters » Soumis à Fisheries Oceanography

Aliou Ba, Christian Chaboud, Jörn Schmidt, Malick Diouf, Adama Mbaye, Modou Thiaw, Patrice Brehmer. « Economics impact of MPA implementation on small pelagic fisheries in Senegal ». en préparation pour à Aquatic Living Resources

C. Participation à des conférences nationales et internationales

Présentation orale sur « **Economics impact of MPA implementation on small pelagic fisheries in Senegal** » à la conférence internationale AWA (ICAWA) en décembre 2016.

Présentation orale sur « **Profitability development and determinants of a key fishery in West Africa from twenty years overview and short term scénarios** » à la conférence internationale AWA (ICAWA) en décembre 2016.

Présentation orale sur « **A Bioeconomic modeling of Sardinella fisheries in Senegal** » à la conférence internationale de l'ICES « MSEAS » à Brest le 30 Juin 2016

Présentation orale sur « **A Bioeconomic modeling of Sardinella fisheries in Senegal** » à « ma thèse en 180 secondes à Montpellier en mai 2016.

Présentation orale sur « l'évolution des pêcheries de petits pélagiques au Sénégal » lors du International Workshop AWA-PREFACE «**Socio economic impact of climate change in West Africa: insight from modeling and questionnaires**» The 17th February 2014, at the Sub Regional Fisheries Commission, Dakar, Senegal.

Participation au meeting annuel du projet européen (DG ENV, FP7) PREFACE à Casablanca, Maroc, 29-31 Octobre 2014.

Présentation orale de la **bio-écologie de l'Ethmalose** à la conférence internationale AWA (ICAWA) en décembre 2014.

Présentation poster de **l'évolution des coûts et revenus dans les pêcheries de petits pélagiques au Sénégal** lors du meeting annuel du projet européen (DG ENV, FP7) PREFACE à Cap Town, Afrique du Sud, 25-27 Août 2015.

Présentation orale du **modèle bioéconomique des pêcheries de sardinelles au Sénégal** lors de la conférence internationale AWA en décembre 2015.

Présentation d'un poster « **A socio-economic analysis of the Senegalese Sardinella small scale fishery: A review over the last 20 years**» aux doctorales de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar.

Les certificats de participation aux workshop et conférences internationales sont en annexe 8.

D. Voyages d'étude

Un séjour de 20 jours à l'université de Kiel (Allemagne), a été réalisé pour la rédaction de l'article « Profitability and economic drivers of small pelagic fisheries in West Africa: a twenty year perspective » en Juillet 2016

Un séjour de 20 jours à l'université de Kiel (Allemagne), a été réalisé pour la présenter mon sujet thèse « A Bioeconomic modeling project of Sardinella and bonga fisheries in Senegal and Gambia » et envisager les possibilités de collaboration en juin 2114.

Deux voyages d'étude d'une durée de 04 mois chacun à l'unité de recherche MARBEC à Sète (France) pour le paramétrage et le calibrage du modèle construit avec Christian Chaboud.

E. Réalisation d'enquêtes

Pour les besoins d'information sur les coûts et les revenus dans les différentes pêcheries, un questionnaire a été mis au point en collaboration avec l'Université de Kiel, l'IRD et le CRODT. Le questionnaire est implanté sur un support de type tablette numérique. L'enquête a été menée dans tous les grands centres de débarquement au Sénégal (Saint-Louis, Kayar, Dakar, Mbour, Joal, Foundiougne et Kafountine) en collaboration avec les enquêteurs du CRODT. La première partie de l'enquête nous a permis d'interroger 700 acteurs composés de pêcheurs, transformateurs et mareyeurs. Un suivi mensuel des enquêtes sur 24 mois est en cours et devra finir en septembre 2017.

F. Certificats de participation aux workshops et conférences internationales





2nd INTERNATIONAL CONFERENCE AWA "ICAWA"

Ecosystem Approach to the Management of Fisheries and the Marine Environment in West African Waters
17th - 19th November 2015 - Hotel Le Ndiambour - Dakar, Senegal

CERTIFICATE

The international scientific committee of ICAWA 2015 is honored to provide this certificate of the best scientific Poster in Session 4: "Economics integrated into the ecosystem approach to marine management", delivered to Aliou BA.

Dakar, Senegal, November 19th, 2015

Patrice BREHMER

Babacar BA

Jörn SCHMIDT



3rd INTERNATIONAL CONFERENCE "ICAWA"

Ecosystem Approach to the Management of Fisheries and the Marine Environment in West African Waters
13rd-15th December 2016, Dakar, Senegal

CERTIFICATE OF ATTENDANCE

Aliou BA had participated to The ICAWA 2016 and we are pleased to provide this certificate of participation to ICAWA and all our congratulation for the presentation "Profitability and economic drivers of small pelagic fisheries in West Africa: a twenty year perspective" performed in session 4: "Economics integrated into the ecosystem approach to marine management".

Dakar, Senegal, December 15th, 2016

Patrice BREHMER (Chair of ICAWA)





MSEAS 2016

Understanding marine socio-ecological systems.
Including the human dimension in integrated
ecosystem assessment

May 30 – June 3, 2016 - Brest, France.

CERTIFICATE OF PARTICIPATION

Aliou BA
UCAD, Dakar, Sénégal

has attended the symposium
MSEAS 2016

For the organising committee,

Séverine Julien





3rd INTERNATIONAL CONFERENCE "ICAWA"

Ecosystem Approach to the Management of Fisheries and the Marine Environment in West African Waters
13rd-15th December 2016, Dakar, Senegal

CERTIFICATE OF ATTENDANCE

Aliou BA had participated to The ICAWA 2016 and we are pleased to provide this certificate of participation to ICAWA and all our congratulation for the presentation "Profitability and economic drivers of small pelagic fisheries in West Africa: a twenty year perspective" performed in session 4: "Economics integrated into the ecosystem approach to marine management".

Dakar, Senegal, December 15th, 2016

Patrice BREHMER (Chair of ICAWA)



Alexander von Humboldt
Stiftung/Foundation



DAAD
Deutscher Akademischer Austausch Dienst
German Academic Exchange Service

CERTIFICATE OF PARTICIPATION

THIS IS TO ACKNOWLEDGE THAT

Aliou BA, CRODT-UCAD Sénégal

HAS PARTICIPATED TO THE

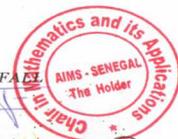
WORKSHOP ON:

'MATHEMATICAL TOOLS FOR UNDERSTANDING AND MANAGING FISHERIES:

SYNTHESIZING AND REFINING DATA AND MODELS'

MAY 7-9, 2014 AT AIMS-SENEGAL

Mouhamed Moustapha FALL



Amadou TALL

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1: Carte de la zone d'étude (élaboration personnelle)	12
Figure 1.2 : Les centres de débarquements sur la côte sénégalaise (les disques représentent les centres les plus couverts par les enquêtes du CRODT et les carrés représentent les moins couverts) 17	
Figure 2.1 : Fréquence des tailles de <i>Sardinella maderensis</i> capturées entre mars 2012 et février 2013 au Sénégal (les tailles en abscisse sont des mesures de la longueur à la fourche).....	23
Figure 2.2 : Fréquence des tailles de <i>Sardinella aurita</i> capturées entre mars 2012 et février 2013 au Sénégal (les tailles en abscisse sont des mesures de la longueur à la fourche).....	25
Figure 2.3 : Distribution des structures de tailles de sardinelles au Sénégal sur la Grande Côte (GC) et sur la Petite Côte (PC). Les tailles en abscisse sont des mesures de la longueur à la fourche.....	26
Figure 2.4 : Evolution du recrutement annuel de la sardinelle ronde de 1995 à 2013.....	30
Figure 2.5 : Evolution moyenne trimestrielle du recrutement de la sardinelle ronde de 1995 à 2013.....	30
Figure 2.6 : Evolution du recrutement annuel de la sardinelle plate de 1995 à 2013	31
Figure 2.7 : Evolution moyenne trimestrielle du recrutement de la sardinelle plate de 1995 à 2013 .	31
Figure 2.8 : Evolution des débarquements totaux par engins dans la pêche artisanale sénégalaise (1981-2011)	34
Figure 2.9 : <i>S. aurita</i> (a) et <i>S. maderensis</i> (b).....	35
Figure 2.10 : Courbe de croissance von Bertalanffy de <i>S. aurita</i> d'après Fréon [18].....	37
Figure 2.11 : Migration de <i>Sardinella aurita</i> dans la zone Nord-Ouest africaine, reflétant les caractéristiques océanographiques régionales et saisonnières.....	40
Figure 2.12 : Courbe de croissance (von Bertalanffy) de <i>Sardinella maderensis</i> d'après Camarena-Luhrs [42].....	41
Figure 2.13 : Evolution du nombre de sardiniers dakarois au Sénégal de 1961 à 2013	43
Figure 2.14 : Evolution du nombre d'unités de pêche à la senne tournant.....	45
Figure 2.15 : Evolution des proportions de captures par espèce de la senne tournante	46
Figure 2.16 : Evolution du nombre d'unités de pêche au filet maillant encerclant.....	47
Figure 2.17 : Profil de l'effort de pêche des UP à la ST mensuel moyen sur la période (1995-2013)...	48
Figure 2.18 : Evolution de l'effort de pêche annuel des UP à la ST.....	48
Figure 2.19 : Evolution de l'effort de pêche moyen mensuel des UP au FME sur la période (1995-2013).....	49
Figure 2.20 : Evolution de l'effort de pêche moyen annuel des UP au FME.....	49
Figure 2.21 : Profil des débarquements moyens mensuels de <i>Sardinella aurita</i> des UP à la ST (1995-2014).....	50
Figure 2.22 : Evolution débarquements annuels de <i>Sardinella aurita</i> des UP à la ST (1995-2014).....	51

Figure 2.23 : Evolution des débarquements de <i>Sardinella maderensis</i> moyens mensuels des UP à la ST (1995-2014).....	51
Figure 2.24 : Evolution des débarquements annuels de <i>Sardinella maderensis</i> des UP à la ST (1995-2014).....	52
Figure 2.25 : Profil des débarquements de <i>Sardinella maderensis</i> moyens mensuels des UP au FME (1995-2014).....	52
Figure 2.26 : Evolution des débarquements de <i>Sardinella maderensis</i> moyens annuels des UP au FME (1995-2014).....	53
Figure 2.27 : Evolution des CPUE moyennes mensuelles de sardinelles ronde (Up St) (1995-2014) ...	54
Figure 2.28 : Evolution des CPUE moyennes annuelles de sardinelles ronde (Up St).....	54
Figure 2.29 : Evolution des CPUE moyennes mensuelles de sardinelles plates (Up St).....	55
Figure 2.30 : Evolution des CPUE moyennes annuelles de sardinelles plates (Up St)	55
Figure 2.31 : Evolution des CPUE moyennes mensuelles de sardinelles plates (Up FME).....	56
Figure 2.32 : Evolution des CPUE moyennes annuelles de sardinelles plates (Up FME)	56
Figure 2.33 : Evolution des prix annuels (a) et mensuels moyens des sardinelles (b et c) (1977-2015)	57
Figure 2.34 : Le système de partage (les tirets représentent les soustractions)	59
Figure 2.35 : Evolution des indicateurs économiques des unités de pêche à la senne tournante entre 1993 et 2014.....	60
Figure 2.36 : Evolution des indicateurs économiques des unités de pêche filet maillant encerclant entre 1993 et 2014.....	61
Figure 2.37 : Circuit de distribution des produits.....	64
Figure 2.38 : Consommation de produits halieutiques au Sénégal et dans le monde.....	68
Figure 2.39 : Croissance démographique	68
Figure 2.40 : L'évolution des infrastructures routières au Sénégal.....	68
Figure 2.41 : Évolution de la construction des routes revêtues entre 1968 et 2009.....	70
Figure 2.42 : Evolution des emplois directs de pêche artisanale	72
Figure 3.1 : Structure d'un modèle bioéconomique de base.....	81
Figure 3.2 : Modèle bioéconomique de Gordon-Schaefer.....	85
Figure 3.3 : Comparaison des équilibres et des trajectoires du modèle statique de Gordon-Schaefer et le modèle de déséquilibre dynamique de Smith.....	87
Figure 3.4 : Des niveaux optimaux du stock en fonction du taux d'actualisation.....	89
Figure 3.5 : Impact de l'effet marginal de stock sur la détermination de la biomasse optimale (Chaboud, 2014).....	90

Figure 4.1 : Terme stochastique annuel appliqué au recrutement.....	101
Figure 4.2 : Relation stock-recrutement avec effet stochastique annuel et seuil critique de biomasse (<i>Sardinella. aurita</i>).....	102
Figure 4.3 : Variation de la biomasse instantanée totale par espèce de sardinelles dans le temps (mois). Sardinelle ronde (sr), sardinelle plate (sp).	115
Figure 4.4 : Evolution spatiotemporelle de la biomasse instantanée de sardinelles entre les différentes zones de pêche sénégalaises. Sardinelle ronde (sr), sardinelle plate (sp)	115
Figure 4.5 : Evolution spatiotemporelle de l'effort de pêche dans les différentes zones de pêche sénégalaises.....	116
Figure 4.6 : Evolution spatiotemporelle des captures de sardinelles ronde (a) et plate (b) dans les différentes zones de pêche sénégalaises	117
Figure 4.7 : Captures par taille de sardinelles ronde(a) et plate (b) au Sénégal	117
Figure 4.8 : Les revenus annuels cumulés des sennes tournantes et des filets maillants encerclants.....	118
Figure 4.9 : Les coûts annuels totaux cumulés de la pêcherie	118
Figure 4.10 : Les profits générés par la pêcherie	119
Figure 4.11 : Les revenus du travail cumulés générés par la pêcherie.....	119
Figure 4.12 : Evolutions de quelques indicateurs économiques actualisés	120
Figure 4.13 : Evolution de quelques indicateurs de la pêcherie en fonction d'un multiplicatif d'effort (sans relation stock-recrutement).....	122
Figure 4.14 : Evolution de quelques indicateurs actualisés en fonction d'un multiplicatif de capacité avec une relation stock-recrutement.....	125
Figure 4.15 : Evolution de la biomasse de sardinelle ronde (tonnes) en fonction d'un multiplicatif de capacité de pêche.....	126
Figure 5.1 : Evolution de la biomasse totale de sardinelles au cours du temps en mois selon la situation de référence	129
Figure 5.2 : Evolution de l'effectif de la flotte active au cours du temps en mois dans la pêcherie de sardinelles.....	129
Figure 5.3 : Evolution des coûts et des revenus et de quelques indicateurs économiques de la pêcherie en fonction du multiplicateur de capacité de pêche (avec une relation stock-recrutement)	132
Figure 5.4 : Evolution de la biomasse (a) et de la flotte active (b) selon les scénarios prospectifs	134
Figure 5.5 : Evolution des indicateurs économiques courants selon les scénarios prospectifs en fonction du temps (mois): revenu ou chiffre d'affaire (a), coût (b), profit (c) et revenu du travail (d)	136
Figure 5.6 : Modèle bioéconomique dans le cas d'une croissance annuelle de 2 % des prix au débarquement. Les indicateurs sont actualisés et représentés en fonction du multiplicateur de capacité de pêche.....	138

Figure 5.7 : Modèle bioéconomique dans le cas d'une croissance annuelle de 5 % du carburant. Les indicateurs sont actualisés et représentés en fonction du multiplicateur de capacité de pêche	140
Figure 5.8 : Modèle bioéconomique dans le cas d'une croissance annuelle des prix au débarquement de 2 % et du carburant de 5 %. Les indicateurs sont actualisés.....	142
Figure 5.9 : Réponse de la biomasse selon les scénarios de gestion normatifs. En fonction du temps	146
Figure 5.10 : Evolution de la flotte active en fonction du temps (mois) dans le cas des scénarios normatif : suppression totale des subventions (a), fermeture de 30 % PC (flotte active GC=b, flotte active PC=c, flotte active CAS=d).....	147
Figure 5.11 : Evolution des indicateurs économiques courants selon les scénarios normatifs en fonction du temps (années): Revenu ou chiffre d'affaire (a), coût (b), profit (c) et revenu du travail (d)	149
Figure 5.12 : Modèle bioéconomique dans le cas d'une suppression totale des subventions Les indicateurs sont actualisés	151
Figure 5.13 : Modèle bioéconomique dans le cas d'une suppression de la subvention sur le carburant Les indicateurs sont actualisés.	153
Figure 5.14 : Modèle bioéconomique dans le cas d'une suppression de la subvention sur les coûts fixes. Les indicateurs sont actualisés.....	154
Figure 5.15 : Modèle bioéconomique dans le cas fermeture de 30 % de la Petite Côte. Les indicateurs sont actualisés.	155
Figure 5.16 : Evolution de la biomasse (a) et de la flotte active (b) selon les scénarios mixtes	159
Figure 5.17 : Evolution des indicateurs économiques courants selon les scénarios mixtes en fonction du temps (années): Revenu ou chiffre d'affaire (a), coût (b), revenu du travail (c) et profit (d).....	161
Figure 5.18 : Modèle bioéconomique dans le cas d'une suppression totale des subventions accompagnée de croissance prix débarquement et de prix du carburant. Les indicateurs sont actualisés et représentés en fonction du multiplicateur de capacité	163
Figure 5.19 : Evolution de la biomasse selon différents scénarios dans un environnement incertain)	166
Figure 5.20 : Evolution des indicateurs économiques courants selon les scénarios dans un environnement incertain avec un choc annuel.....	167
Figure 5.21 : L'évolution de la biomasse et des différents indicateurs économiques actualisés selon les différents scénarios en environnement incertain (simulation Monte Carlo). Biomasse (a), revenu pêche (b), rente (c), VAN (d), revenu du travail (e).	170
Figure 5.22 : L'évolution de la biomasse et des différents indicateurs économiques actualisés selon les différents scénarios en environnement incertain (simulation Monte Carlo). Biomasse (a), revenu pêche (b), rente (c), VAN (d), revenu du travail (e).	171
Figure 5.23 : Les différents indicateurs économiques actualisés selon les différents scénarios en environnement incertain comparés aux résultats des scénarios en environnement déterministe.	

Scénario du *statu quo* (a) scénario de la suppression de la subvention (b) scénario du gel de la
capacité de pêche (c)..... 172

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 0-1 : Etats du stock et recommandations de la FAO (COPACE).....	8
Tableau 2-1: Les paramètres biologiques des sardinelles au Sénégal	20
Tableau 2-2 : Matrice des captures (C_t) par groupe d'âge (trimestre).....	29
Tableau 2-3 : Matrice des effectifs (N) par groupe d'âge (trimestre).....	29
Tableau 2-4 : Matrice des mortalités par pêche (F) par groupe d'âge (trimestre)	29
Tableau 2-5 : Méthodologie de calcul de la capturabilité.....	32
Tableau 2-6 : Périodes de reproduction de <i>Sardinella aurita</i> issues de la littérature dans la zone Nord-Ouest Africaine.....	36
Tableau 2-7 : Paramètres de l'équation de Von Bertalanffy pour <i>Sardinella aurita</i> issues de la littérature dans la zone Nord-Ouest Africaine	37
Tableau 2-8 : Période de reproduction de <i>Sardinella maderensis</i> issue de la littérature dans la zone Nord-Ouest Africaine.....	41
Tableau 2-9 : Paramètres de l'équation de von Bertalanffy pour <i>Sardinella maderensis</i> issues de la littérature dans la zone Nord-Ouest Africaine	41
Tableau 2-10 : Historique des différents accords de pêche entre le Sénégal et les pays étrangers sur les petits pélagiques.....	44
Tableau 2-11: Les coûts fixes et variables annuels des unités de pêche pélagiques	58
Tableau 2-12 : Indicateurs de la rentabilité ((revenu des membres d'équipage, profit privé, exprimés en milliers de FCFA constants, taux de rentabilité interne (%) et période de récupération (années)) de l'unité de pêche à la senne tournante au cours des 20 dernières années.....	61
Tableau 2-13 : Indicateurs de la rentabilité ((revenu des membres d'équipage, profit privé, exprimés en milliers FCFA constants, taux de rentabilité interne (%) et période de récupération (années)) du filet maillant encerclant au cours des 20 dernières années.....	62
Tableau 4-1 : Evolution de quelques indicateurs actualisés en fonction d'un multiplicatif de capacité (sans relation stock-recrutement). Les optimums des indicateurs sont en gras.	121
Tableau 4-2 : Evolution de quelques indicateurs actualisés en fonction d'un multiplicatif de capacité dans un contexte de relation stock-recrutement.	125
Tableau 5-1 : Résumé des paramètres prise en compte pour le scénario de référence	128
Tableau 5-2 : Optimum et variations des indicateurs économiques actualisés en fonction d'un multiplicateur de capacité de pêche.	131
Tableau 5-3 : Résumé des paramètres pris en compte pour les scénarios prospectifs.....	133
Tableau 5-4 : Les optimums par scénarios prospectifs et par indicateurs.....	143
Tableau 5-5 : Résumé des paramètres pris en compte pour les scénarios normatifs	145

Tableau 5-6 : Evolution de quelques indicateurs actualisés en fonction d'un multiplicateur du prix du permis de pêche. Les indicateurs économiques sont en milliards de FCFA.....	150
Tableau 5-7 : Les optimums par scénarios normatifs et pour chaque indicateurs en gras. Les indicateurs économiques sont en milliards de FCFA.....	156
Tableau 5-8 : Résumé des paramètres prise en compte pour les scénarios mixtes	158
Tableau 5-9 : Les optimums du scénario mixte (suppression des subventions augmentation des prix au débarquement et du prix du carburant) et du scénario de référence en gras.	164
Tableau 5-10 : Les paramètres des simulations Monte Carlo utilisés pour la sardinelle ronde et la sardinelle plate	165

Université Cheikh Anta Diop de Dakar

Ecole Doctorale: sciences de la vie de la santé et de l'environnement

Faculté des sciences et techniques

Spécialité : Sciences Halieutiques et Aquacoles

Prénoms et nom: Aliou BA

Titre de la thèse: Analyse microéconomique et modélisation bioéconomique de la pêche artisanale de sardinelles au Sénégal

Date et lieu de soutenance : 05 mai 2017 à l'UCAD

Jury: Président : Pr Diaraf SECK

Membres : Pr Malick DIOUF, Dr Philippe CURY, Pr France-Lyse CLOTILDE BA, Dr Christian CHABOUD, Dr Jörn SCHMIDT, Dr Massal FALL, Dr Patrice BREHMER.

Résumé:

Les petits poissons pélagiques sont les principales ressources exploitées en biomasse dans le Nord-Ouest africain. Au Sénégal, ils sont principalement représentés par les sardinelles (*Sardinella aurita* and *S. maderensis*). Cette pêche, essentiellement artisanale, est composée par des unités de pêche à la senne tournante ou au filet maillant encerclant. Elle est d'une importance majeure pour l'économie et la sécurité alimentaire au Sénégal et dans la sous-région. Cependant, les dernières évaluations de stocks ont montré une baisse de la biomasse mais aussi une situation de surexploitation récurrente. Dans ce contexte, on note ces dernières années que les conditions d'exploitation de la ressource ont changé, ce qui nous amène à réaliser une analyse de la rentabilité de la pêche ainsi que le développement d'un modèle bioéconomique pour simuler l'exploitation des sardinelles au Sénégal. Ce modèle permet d'analyser les réponses de la pêche face aux changements de ses paramètres intrinsèques sur trois composantes *i.e.* économique (prix et coûts), biologique (*e.g.* croissance, mortalité, recrutement) et politique (*e.g.* taxes, subventions, fermetures spatiotemporelles). L'analyse de rentabilité de la pêche sur une période de vingt années a montré une baisse du profit des armateurs allant de 65 jusqu'à 100 % et une augmentation de 25 et 90 % des coûts d'exploitation respectivement pour les filets maillants encerclants et les sennes tournantes. Le modèle bioéconomique montre une situation de forte surcapacité dans la pêche. Pour optimiser l'exploitation de cette pêche selon des aspects socioéconomiques et de durabilité, nous recommandons de baisser de moitié la capacité de pêche. Les mesures de gestion simulées au travers de notre modèle indiquent que le gel ou la baisse de la capacité de pêche offrent les meilleurs résultats plus particulièrement en termes de profit, de rente et de revenu individuel, mais favorisent aussi la durabilité de l'exploitation. La ressource étudiée dans ce travail étant partagée entre plusieurs Etats, notre perspective future est de considérer l'ensemble de l'aire de répartition de la ressource dans la sous-région par le biais d'études concertées avec les Etats partageant cette dernière, ceci afin de doter les décideurs et les instances (nationales et régionales) de gestion d'un outil commun d'investigation et d'aménagement des pêches via des scénarios de gestion.

Mots clés : Bioéconomique, petits pélagiques, Afrique de l'Ouest, politique de pêche, rentabilité, surcapacité.

Abstract:

Small pelagic fish are the main fish resource in North West Africa. In Senegal, they are mainly represented by the sardinellas (*Sardinella aurita* and *S. maderensis*). The fishery, mostly composed by purse seines and encircling gill nets, is predominantly performed by artisanal fishers and is of great importance for the Senegalese economy and for food security in the region. However, the last fish stock assessment has shown a decrease of the biomass and an overexploitation status for the West African *Sardinella* resource. In such context, the operating conditions for this fishery have changed during the recent years, thus a profitability analysis of this Senegalese fishery is performed and a bioeconomic model is developed to simulate the dynamics of sardinella exploitation. This model will allow managers and decision makers to analyze the responses of the fishery to economic (price, costs), biologic (growth, mortality, recruitment) and management (tax, subsidies, licenses, spatial regulations) parameters. The profitability analysis over the last twenty years show that the fisheries had considerably lost in profitability (65 to 100 %) while the operating costs increased by 25 and 90 % for encircling gillnet and purse seine, respectively. The bioeconomic model shows a high overcapacity in the fishery; on this basis, to achieve the goal of optimizing the fishery exploitation according to socio-economic and sustainability objectives we recommend to reduce the fishing capacity by 50 %. Our results showed that for management measures the freeze or decrease of fishing effort allows for better results in terms of profit, rent, and individual income for the fishermen but also promotes a sustainable exploitation. The resources studied in this work are shared among several countries, our future perspective is to apply our approach to the whole distribution area of the species in the sub-region. This can be done by means of concerted studies with the countries sharing the same resources, to support the national management bodies and decision-makers with a common tool for accurate fisheries investigation and management.

Keywords: bioeconomics, small pelagic fish, West Africa, fishing policy, profitability, overcapacity.