

UNIVERSITÉ CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR



INSTITUT UNIVERSITAIRE DE PECHE ET D'AQUACULTURE (IUPA)

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du

Diplôme de Master 2 "Ecologie et Gestion des Ecosystèmes Aquatiques"

Présenté par :

Mlle Tacko NIANG

THEME

Dynamique spatio-temporelle des ressources pélagiques côtières en relation avec la chlorophylle-a et la température de surface de l'océan au niveau de la zone économique exclusive (ZEE) du Sénégal

Soutenu le 09/08/2019 devant la commission d'examen composée de :

Président :	Malick	DIOUF	Professeur, UCAD/IUPA
Membres :	Alioune	FAYE	Enseignant vacataire, IUPA
	Alassane	SARR	Maître Assistant, UCAD/IUPA
Superviseur :	Malick	DIOUF	Professeur, UCAD/IUPA
Encadreur :	Waly	NDIAYE	Maître Assistant, UCAD/IUPA
Co-encadreur :	Abdoul Aziz	DIOUF	PhD, CSE

UNIVERSITÉ CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR



INSTITUT UNIVERSITAIRE DE PECHE ET D'AQUACULTURE

(IUPA)

.....
MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du

Diplôme de Master "Ecologie et Gestion des Ecosystèmes Aquatiques"

Présenté par :

Mlle Tacko NIANG

THEME

Dynamique spatio-temporelle des ressources pélagiques côtières en relation avec la chlorophylle-a et la température de surface de l'océan au niveau de la zone économique exclusive (ZEE) du Sénégal

Soutenu le 09/08/2109 devant la commission d'examen composée de :

Président :	Malick	DIOUF	Professeur, UCAD/IUPA
Membres :	Alioune	FAYE	Enseignant chercheur, IUPA
	Alassane	SARR	Maître Assistant, UCAD/IUPA
Superviseur :	Malick	DIOUF	Professeur, UCAD/IUPA
Encadreur :	Waly	NDIAYE	Maître Assistant, UCAD/IUPA
Co-encadreur :	Abdoul Aziz	DIOUF	PhD, CSE

Dédicaces

Je dédie ce travail à mon père Samba NLANG (Paix et salut sur votre âme, que la terre de TIVAOUANE, la SAINTE, vous soit légère).

A ma grande sœur Ndiarka NLANG et mon cousin Abdoulaye SY que la terre de TIVAOUANE vous soit légère.

Que DIEU les accueille dans son paradis.

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail. Je prie sur le prophète Mouhamed (PSL),

Une grand merci à la meilleure des mères, ma maman ADJA FATOU NDIAYE, que j'adore plus que tout au monde. Tu n'as ménagé aucun effort pour la réussite de tes enfants. Maman, je te souhaite une longue vie et une santé de fer. Je ne saurais jamais assez te remercier, maman.

Je remercie le Dr Abdoul Aziz DIOUF, du Centre de Suivi Ecologique, qui a guidé mes premiers pas dans la recherche. Malgré son calendrier très chargé, il a toujours été à ma disposition. Son expérience m'a permis d'avoir une autre facette de la recherche, tant sur les données de l'océan que sur les outils de travail. Je lui en suis profondément reconnaissante.

Je remercie le Dr Waly NDIAYE d'avoir accepté d'encadrer ce travail, pour son aide dans l'analyse et l'interprétation des résultats, pour sa bienveillance et sa disponibilité malgré son emploi de temps chargé. Je le remercie également pour son précieux conseil et son aide durant toute la période du travail.

Mes vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Je remercie le Pr Malick DIOUF pour sa présence et d'avoir accepté de présider le jury

Je tiens à remercier Dr Alassane SARR et Dr Alioune FAYE pour leur disponibilité et pour avoir à juger ce travail et à être parmi les honorables membres du jury.

J'exprime mes sincères remerciements à tous les professeurs qui m'ont enseignée et qui par leurs compétences m'ont soutenue dans la poursuite de mes études.

Enfin, je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Je remercie profondément les enseignants de l'IUPA, de leur connaissance qu'ils m'ont transmise au cours de cette formation de master.

Je remercie le Dr Marième Diagne (Mme NDIAYE), du Centre de Suivi Ecologique pour son soutien, son aide dans la relecture du fond du document et dans la mise en forme, malgré qu'elle soit en congé.

Je remercie tout le personnel de la Direction des Pêches Maritimes (DPM) : Mme Mame Diarra loum MBAYE chef du bureau des statistiques, Mme Ousseynatou Bah DIALLO, Mme Hortence Koussaye Diatta DIALLO, M. Mamadou SEYE Chef Division Gestion et Aménagement des pêches, M. Cherif SAMBOU Chef bureau de valorisation et M. Abdoulaye Ndep SENE.

Je remercie Ibrahima DIACK pour les discussions et les échanges.

Je remercie mon oncle Ibra TOP, mes tantes Ndèye et coumba.

Je remercie tous mes frères et sœurs, particulièrement notre frère aîné Bollé NIANG qui est plus qu'un frère mais plutôt un père pour nous.

Je remercie tous mes amis, mes camarades de l'IUPA, particulièrement la promotion de Master EGEA.

Je remercie tout le personnel du CSE et du Ministère de la Pêche et de l'Economie maritime.

Liste des figures

Figure 1:Délimitation de la zone économique exclusive du Sénégal (Source : Station-DPM, 2018)	4
Figure 2: Sardinelle ronde (a) (<i>Sardinella aurita</i>)Sardinelle plate (b) (<i>Sardinella maderensis</i>)	7
Figure 3 : Ethmalose (<i>Ethmalosa fimbriata</i>)	8
Figure 4 : Chinchard jaune (a) (<i>Caranx ronchus</i>) et Chinchard noir (b) (<i>Trachurus trecae</i>).....	8
Figure 5 : Maquereau espagnol (<i>Scomber japonicus</i>) et Maquereau bonite (<i>Scomberomorus tritor</i>)	9
Figure 6 : Carangue du Sénégal (a) (<i>Caranx senegallus</i>), Carangue commune (b) (<i>Caranx crysos</i>) et Petite carangue (c) (<i>Chloroscombrus chrysurus</i>).....	10
Figure 7 : Sardine (<i>Sardina pilchardus</i>).....	10
Figure 8 : Variation moyenne annuelle de la chlorophylle-a au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal.....	11
Figure 9 : Variation moyenne annuelle de la température de surface de l'océan au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal.....	12
Figure 10 : Variation moyenne annuelle du rayonnement photosynthétiquement actif au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal.....	13
Figure 11 : Indice d'upwelling côtier interannuel lié à la température de surface de l'océan et à la chlorophylle-a	13
Figure 12 : Variation moyenne mensuelle de la concentration de la chlorophylle-a au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal.....	14
Figure 13 : Variation moyenne mensuelle de la température de surface de l'océan au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal.....	15
Figure 14 : Variation moyenne mensuelle du rayonnement photosynthétiquement actif au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal	16

Figure 15 : Anomalie mensuelle de la température de surface de l’océan sur la période 2003-2017.....	17
Figure 16 : Relation des valeurs moyennes mensuelles entre a) Chla et SST, b) Chla et PAR, et c) SST et PAR.	18
Figure 17 : Relation des valeurs moyennes annuelles entre a) la Chla et la SST, b) Chla et PAR, et c) SST et PAR.....	19
Figure 18 : Relation entre les valeurs moyennes mensuelles de la concentration de la chlorophylle-a et des débarquements des espèces pélagiques : Sardinelle (A), Ethmalose (B), Chinchard (C), Maquereau (D), Carangue (E), et Sardine (F) au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal entre 2003 et 2017	20
Figure 19 : Relation entre les valeurs moyennes mensuelles de la température de surface de l’océan et des débarquements des espèces pélagiques : Sardinelle (A), Ethmalose (B), Chinchard (C), Maquereau (D), Carangue (E), et Sardine (F) au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal entre 2003 et 2017	22
Figure 20 : Relation entre les valeurs moyennes mensuelles du rayonnement photosynthétiquement actif et des débarquements des espèces pélagiques : Sardinelle (A), Ethmalose (B), Chinchard (C), Maquereau (D), Carangue (E), et Sardine (F) au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal entre 2003 et 2017	23
Figure 21 : Relation entre l’anomalie de la température de surface de l’océan et les débarquements des especes pelagiques: Sardinelle (A), Ethmalose (B), Chinchard (C), Maquereau (D), Carangue (E), et Sardine (F) au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal entre 2003 et 2017	24
Figure 22: Relation entre les valeurs moyennes annuelles de la concentration de la chlorophylle-a et des débarquements des espèces pélagiques : Sardinelle (A), Ethmalose (B), Chinchard (C), Maquereau (D), Carangue (E), et Sardine (F) au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal entre 2003 et 2017	26
Figure 23 : Relation entre les valeurs moyennes annuelle de la température de surface de l’océan et des débarquements des espèces pélagiques : Sardinelle (A),	

Ethmalose (B), Chinchard (C), Maquereau (D), Carangue (E), et Sardine (F) au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal entre 2003 et 2017	27
Figure 24 : Relation entre les valeurs moyennes annuelles du rayonnement photosynthétiquement actif et des débarquements des espèces pélagiques : Sardinelle (A), Ethmalose (B), Chinchard (C), Maquereau (D), Carangue (E), et Sardine (F) au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal entre 2003 et 2017	28
Figure 25 : Relation entre l'indice d'upwelling côtière lié à la chlorophylle-a et les débarquements des espèces pélagiques: Sardinelle (A), Ethmalose (B), Chinchard (C), Maquereau (D), Carangue (E), et Sardine (F) au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal entre 2003 et 2017	29
Figure 26 : Relation entre l'indice d'upwelling côtière lié à la température de surface de l'océan et les débarquements des espèces pélagiques: Sardinelle (A), Ethmalose (B), Chinchard (C), Maquereau (D), Carangue (E), et Sardine (F) au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal entre 2003 et 2017	30

Table des matières

I. INTRODUCTION	1
II. MATERIEL ET METHODES.....	2
1.1. Présentation de la zone d'étude	2
1.2. Données satellitaires utilisées	4
1.3. Variables satellitaires et indicateurs dérivés.....	5
1.4. Ressources pélagiques et débarquements	6
1.4.1. <i>Sardinelle</i>	7
1.4.2. <i>Ethmalose</i>	8
1.4.3. <i>Chinchard</i>	8
1.4.4. <i>Maquereau</i>	9
1.4.5. <i>Carangue</i>	9
1.4.6. <i>Sardine</i>	10
III. RESULTATS	11
3.1. Variation inter-annuelle moyenne des variables satellitaires	11
3.1.1. <i>Variation de la chlorophylle-a</i>	11
3.1.2. <i>Variation de la température de surface de l'océan</i>	11
3.1.3. <i>Variation du rayonnement photosynthétiquement actif</i>	12
3.1.4. <i>Les indices d'upwelling côtier</i>	13
3.2. Variation intra-annuelle des variables satellitaires	14
3.2.1. <i>Variation de la chlorophylle-a</i>	14
3.2.2. <i>Variation de la température de surface de l'océan</i>	15
3.2.3. <i>Variation du rayonnement photosynthétiquement actif</i>	15
3.2.4. <i>Anomalie mensuelle de température</i>	16
3.3. Ressources pélagiques et variables satellitaires.....	17
3.3.1. <i>Relation entre les variables satellitaires</i>	17
3.3.2. <i>Relation entre débarquements et variables satellitaires</i>	20
IV. DISCUSSION	31
V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES	34

Résumé

La fréquence élevée et le caractère synoptique des données d'observation de la terre sont un outil indispensable aujourd'hui pour une appréhension globale du fonctionnement de la terre et plus particulièrement de l'océan. Les données de télédétection ont été utilisées dans cette étude qui a consisté à mettre en relation les caractéristiques biophysiques de l'océan et les prises de poissons pélagiques dans la zone économique exclusive (ZEE) du Sénégal de 2003 à 2017. La procédure adoptée a été d'une part, l'analyse de la variation interannuelle et intra-annuelle des variables satellitaires et d'indicateurs dérivés et d'autre part, l'étude de leur relation avec les débarquements de poissons pélagiques côtiers à travers la ZEE.

Les variations interannuelles et intra-annuelles ont montré que les variables satellitaires (chlorophylle-a, température de surface de l'océan et PAR) varient d'une année à l'autre et d'une saison à l'autre. Les résultats obtenus ont montré que les variables satellitaires sont directement liées, les fortes valeurs de concentrations en chlorophylle-a et du PAR correspondent aux faibles valeurs de la SST et vice versa sauf pour les années 2011, 2012 et 2015 au cours desquelles la chlorophylle-a et le PAR n'évoluent pas dans le même sens. L'analyse des variations intra-annuelles montre l'identification de deux saisons distinctes par l'anomalie mensuelle de la température de surface de l'océan : (i) une saison froide de novembre à mai correspondant à une forte concentration en chlorophylle-a et en PAR avec des prises très importantes des espèces pélagiques: (ii) et une saison chaude de juin à octobre correspondant à une faible concentration en chlorophylle-a, en PAR et une diminution des prises a été observée. Cependant, la relation moyenne annuelle des débarquements et des variables satellitaires n'est pas très importante. Les débarquements moyens annuels ont été caractérisés par l'indice d'upwelling côtier dans la ZEE du Sénégal, cet indice permettant de quantifier l'intensité de l'upwelling dans cette zone. Les années de faibles intensités d'upwelling correspondent aux années de faible concentration en chlorophylle et de forte température de surface de l'océan comme l'année 2010.

Mots clés : Chlorophylle-a, SST, PAR, ZEE, espèces pélagiques

Sigles et abréviations

Chla	: Chlorophylle-a
CSE	: Centre de Suivi Ecologique
CZCS	: Costal Zone Color Scanner
DPM	: Direction des pêches maritimes
DPEE	: Direction de la Prévision et des Etudes Economiques
EGEA	: Ecologie et Gestion des Ecosystemes Aquatiques
FAO	: Food and Agriculture Organisation
IUC	: Indice d'Upwelling Côtier
IUPA	: Institut Universitaire de Pêche et d'Aquaculture
MODIS	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
PAR	: Photosynthetically Active Radiation (rayonnement photosynthétiquement actif)
SST	: Sea Surface Temperature (température de surface de l'océan)
UCAD	: Université Cheikh Anta Diop de Dakar
ZEE	: Zone économique exclusive

I. INTRODUCTION

Dans la zone nord-ouest africaine, les ressources pélagiques représentent, sur le plan quantitatif, les principales ressources vivantes exploitées. Le Sénégal est parmi les pays de la sous-région dont les captures sont les plus importantes avec un taux annuelles de 450000 tonnes par an (DPEE, 2016)¹. Les ressources pélagiques côtières qui constituent plus de 70% des prises réalisées dans la Zone économique exclusive sénégalaise, principalement via la pêche artisanale, constituent la part la plus importante de la consommation locale (Deme *et al*, 2012). Le foisonnement, la qualité et la diversité des espèces pélagiques dans les eaux sénégalaises sont dus à plusieurs facteurs environnementaux comme la variation de l'abondance du phytoplancton et la remontée d'eaux froides profondes et chargées en sels minéraux (phénomène de l'upwelling). Cette variabilité physique et biologique, ainsi que les conditions d'éclairement, influencent fortement la production primaire. Cette dernière, essentiellement liée au développement du phytoplancton en domaine pélagique, supporte l'ensemble de la chaîne alimentaire jusqu'aux espèces pélagiques exploitées dont elle explique une part des variabilités spatio-temporelles.

Le phytoplancton est un composé essentiel du milieu marin et regroupe l'ensemble des organismes végétaux microscopiques incapables de maintenir une distribution spatiale indépendante de celle des masses d'eau qui les contiennent (Alvain, 2005). Ils se trouvent dans toutes les eaux de surface du globe et ils peuvent représenter jusqu'à 95% de la production primaire marine (Alvain, 2005). En tant que principal producteur primaire, le phytoplancton est à la base des écosystèmes aquatiques et est capable de réagir rapidement aux perturbations du milieu.

La chlorophylle-a qui est le principal pigment du phytoplancton, permet de déterminer la couleur de l'océan pour avoir une vue globale de la biosphère marine. Elle absorbe la lumière dans les longueurs d'ondes rouge et bleue et la réfléchit dans le vert ; ce qui donne la couleur verte que nous voyons. Lorsque la lumière solaire illumine la surface des océans, elle est sujette à plusieurs effets optiques, tels que la réflexion et l'absorption de la lumière. Une partie est directement réfléchi, mais la majeure partie pénètre sous la surface de l'océan et interfère avec les molécules d'eau et les matières en suspension rencontrées (Gohin, 2012).

De nombreuses méthodes d'observation de la couleur de l'océan existent, avec en premier lieu les campagnes en mer qui offrent la possibilité d'acquérir des données à haute fréquence et à petite échelle spatio-temporelle. En deuxième lieu la télédétection de la couleur

¹ Direction de la prévision et des études économiques, 2016, pêche et ressources halieutiques au Sénégal

de l'océan qui a débuté vers la fin des années 70 (Pedrocca, 2013). L'observation spatiale, grâce à la couverture spatio-temporelle, permet de suivre la variabilité de la couleur de l'océan pour des échelles allant de la journée à la décennie, et de la méso-échelle à l'océan global. En effet, les capteurs embarqués sur satellites mesurent la réponse spectrale de la surface océanique, en exploitant un intervalle de fréquences dans le spectre électromagnétique (Pottier, 2007). Cette télédétection de la couleur de l'océan a commencé avec le lancement du capteur CZCS (*Costal Zone Color Scanner*) en 1978. Il s'est poursuivi depuis, avec toutefois une interruption assez longue jusqu'aux plus récents instruments tels que MERIS (*Medium Resolution Imaging Spectrometer*) lancé en 2002, SeaWiFS (*Seaviewing Wide Field-of-view Sensor*) lancé en 1997 et MODIS (*Moderate Résolution Imaging Spectroradiometer*) lancé en 2002. Ce dernier offre la résolution spatiale et spectrale la plus fine et présente la particularité d'être le seul à couvrir la période 2002 à nos jours (Pedrocca, 2013). En utilisant des capteurs hyper spectraux, il a été possible de classifier et de quantifier des environnements aquatiques complexes, y compris l'identification du phytoplancton par groupe et des blooms de phytoplancton.

L'objectif principal de cette étude est de contribuer à l'amélioration du suivi et à l'évaluation de la répartition spatio-temporelle des ressources pélagiques par l'étude de l'abondance du phytoplancton (à travers la chlorophylle-a et le rayonnement photosynthétique actif) et de la variation de la température de surface de l'océan. De manière spécifique, il s'agit de :

- caractériser la dynamique spatiale et temporelle des variables satellitaires que sont la chlorophylle-a, la température de surface de l'océan et le rayonnement photosynthétiquement actif sur la période 2003 à 2017 ;
- analyser le lien entre les différentes variables satellitaires ;
- étudier la relation entre les variables satellitaires et la disponibilité des ressources pélagiques.

II. MATERIEL ET METHODES

1.1. Présentation de la zone d'étude

Le Sénégal possède une zone économique exclusive (ZEE) longue de 718 km et qui s'étend sur près de 159000 km² (Greenpeace, 2012)². En superficie, le territoire maritime du Sénégal occupe la 85^{ème} place dans le monde et le 24^{ème} en Afrique. Une ZEE est, d'après le

² Greenpeace, 2012, Vers un avenir durable pour les pêcheurs sénégalais

droit de la mer, un espace maritime sur lequel un Etat côtier exerce des droits souverains en matière d'exploration et d'usage des ressources halieutiques (<https://www.senegal-export.com/les-ressources-halieutiques.html>). Elle s'étend à partir de la ligne de base de l'Etat jusqu'à 200 milles marins (environ 370 km) de ses côtes au maximum ; au-delà, s'étendent les eaux internationales. Au Sénégal la ZEE est divisée en deux parties: la Zone nord qui s'étend de la Mauritanie jusqu'en Gambie, et la Zone sud qui va de la Gambie jusqu'en Guinée-Bissau (Figure 1).

La zone d'étude a été partitionnée en deux sous-zones: la Grande-Côte qui s'étend de l'embouchure du fleuve Sénégal au nord, jusqu'à la Presqu'île du Cap-Vert, et la Petite-Côte qui s'étend de la presqu'île du Cap-Vert jusqu'au Sine Saloum au sud y compris la Casamance. En effet, il existe une nette disparité écologique entre la Petite-Côte et la Grande-Côte, aussi bien au niveau de l'influence directe de l'upwelling qu'au niveau des processus d'enrichissement qui en découlent (Demarcq *et al.*, 1991).

La Petite-Côte : l'enrichissement des eaux est relativement permanent pendant toute l'année (upwelling plus régulier que sur la grande côte). En saison chaude les apports fluviaux provenant du Saloum, de la lagune de Mbodiène, etc., sont importants et favorisent le développement du phytoplancton, ce qui explique le maintien d'une activité de pêche durant toute l'année, même si certaines espèces sont saisonnières (Niang, 2011). La faible turbulence de la couche marine de surface qui s'ensuit est propice à un fort développement phytoplanctonique superficiel (Demarcq *et al.*, 1991).

La Grande-Côte : qui s'étend de Dakar à Saint Louis avec une côte sableuse et rectiligne. C'est une zone à forte houle avec un plateau continental moins large qui favorise la présence d'une barre importante au large de Saint Louis. Elle est aussi caractérisée par la présence d'un canyon important à Kayar. La Grande-Côte concentre des centres de pêche très importants tel que Saint-Louis, Fass Boy et Kayar en rapport avec les conditions écologiques présentes et à forte présence de communauté de pêcheurs (Niang, 2011).

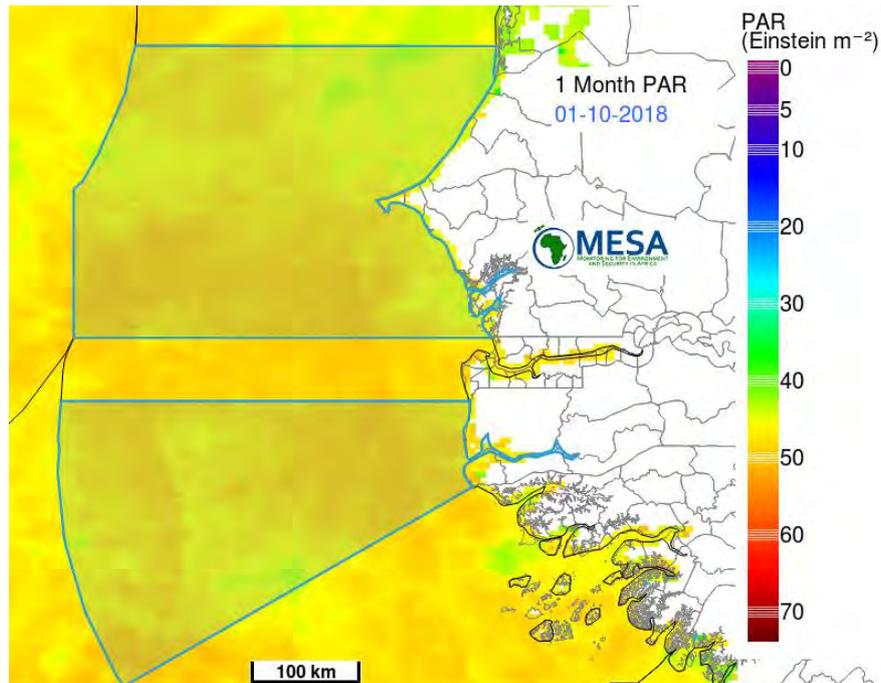


Figure 1: Délimitation de la zone économique exclusive du Sénégal (Source : Station-DPM, 2018)

1.2. Données satellitaires utilisées

Les données utilisées ont été choisies en tenant compte de leur accessibilité et des objectifs fixés. Plusieurs capteurs sont disponibles pour les données de la chlorophylle-a, de la température de surface et du rayonnement photosynthétique actif, mais le capteur MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) du satellite Aqua a été considéré dans cette étude à cause de l'accès plus facile des données mais aussi de la série historique plus longue qui va de 2002 à maintenant. Le capteur MODIS a été installé à bord des satellites Terra et Aqua par la NASA le 18 décembre 1999 (Terra) et le 4 mai 2002 (Aqua). Fréquemment utilisés comme source de données environnementales dans de nombreuses régions du monde, les divers produits issus de MODIS décrivent les caractéristiques terrestres, océaniques et atmosphériques. Les satellites tournent continuellement autour de la terre et servent à étudier les processus et tendances à toutes les échelles, du local au global. Les instruments enregistrent des données dans 36 bandes spectrales avec des longueurs d'ondes allant de 0.4 à 14.4 μ m avec une résolution spatiale de 4km. Les données du capteur MODIS-Aqua sont disponibles sur le site de la NASA (<https://modis.gsfc.nasa.gov/data/>) et sont distribuées suivant quatre niveaux de traitement :

i) Niveau L0 : constitué des données brutes qui sont stockées dans un format « pds » (*Production Data Set*), de manière à pouvoir être traitées par n'importe quel utilisateur ;

ii) Niveau L1 : qui renferme des données de radiances de types L1A (données brutes calibrées) et L1B (données brutes calibrées et géoréférencées) ;

iii) Niveau L2 : ce sont des données de type L1B auxquelles on a appliqué les corrections atmosphériques. Elles sont directement exploitables pour traiter les paramètres de surface ;

iv) Niveau L3 : ce sont des données de niveau L2 qui sont améliorées en composant deux ou plusieurs images (composition de bandes ou composition des périodes d'observation).

Dans cette étude, une série de données mensuelles de résolution spatiale de 4km et de niveau de traitement L3 a été utilisée sur une période de 15 ans (2003 à 2017), pour permettre de détecter et étudier la variation spatio-temporelle de la concentration de la chlorophylle-a, du rayonnement photosynthétique actif et de la température de la surface de l'océan à travers la ZEE du Sénégal.

1.3. Variables satellitaires et indicateurs dérivés

Des indicateurs biophysiques tels que les anomalies mensuelles et l'indice d'upwelling ont été calculés à partir des images satellitaires pour le suivi des ressources pélagiques.

Dans un premier temps, ont été calculées : i) la moyenne historique des trois variables, ii) les moyennes mensuelles des variables sur toute la série, de janvier à décembre, pour l'étude des variations intra-annuelles, iii) la moyenne de chaque année de la série pour étudier les variations interannuelles, et iv) l'anomalie mensuelle de la température. L'anomalie mensuelle correspond à la différence entre la valeur de température d'un mois donné et la valeur moyenne du même mois sur toute la série d'observation disponible (Ndiaye, 2018). Les moyennes historiques ont été calculées à partir de la formule suivante :

$$\text{Moy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Où Moy = moyenne; n= nombre de mois/année; xi = valeur d'un(e) mois/année.

Un upwelling côtier est un processus physique qui crée, sous l'action du vent, un flux vertical ascendant à la côte. Ce flux prend naissance le long du talus continental et est dirigé vers la surface. Il apporte sur le plateau continental des eaux d'origine sub-superficielle; ces eaux sont ensuite entraînées vers le large, en dehors de la zone de remontée, par la dérive de surface (Roy, 1991).

L'indice d'upwelling côtier a été calculé à partir des formules données par Demarcq et Faure (2000). Il s'agit des indices d'upwelling liés à la chlorophylle-a et à la température de

surface de l'océan. L'indice d'upwelling lié à la chlorophylle-a (IUC_{chla}) est le rapport de l'écart entre le maximum de chlorophylle ($chl_{a_{max}}$) relevé au large et le minimum de chlorophylle ($chl_{a_{min}}$) relevé près de la côte, le long du même parallèle et le maximum de chlorophylle ($chl_{a_{max}}$). Cet indice est calculé avec la formule suivante :

$$IUC_{chla} = (chl_{a_{max}} - chl_{a_{min}}) / chl_{a_{max}}$$

L'indice d'upwelling côtier lié à la température de surface de l'eau (IUC_{sst}) est le rapport de l'écart entre le maximum de température (SST_{max}) relevé au large et le minimum de température (SST_{min}) relevé près de la côte, le long du même parallèle, et l'écart entre le maximum de température (SST_{max}) et la température théorique (SST_{up}). La température théorique des masses d'eaux résurgentes résulte d'un mélange des Eaux Centrales de l'Atlantique Sud et de l'Atlantique Nord à l'endroit observé, et est obtenue par des mesures in situ. Dans la littérature la SST_{up} de référence dans la zone nord-ouest africaine est de 14°C (Diba, 2013).

$$IUC_{sst} = (SST_{max} - SST_{min}) / (SST_{max} - SST_{up})$$

Tous les calculs ont été effectués avec la version 3.5.3 du logiciel R (<https://cran.r-project.org/bin/windows/base/>) via son interface RStudio. Plusieurs scripts ont été élaborés pour calculer les moyennes annuelles et mensuelles, mais aussi de visualiser les images des différentes variables satellitaires et indicateurs dérivés.

1.4. Ressources pélagiques et débarquements

Les caractéristiques biologiques des poissons pélagiques (durée de vie courte, grande fécondité, taux de mortalité naturel élevé, dépendance du plancton pour leur alimentation) font qu'ils sont très sensibles aux forçages environnementaux (Jeyid, 2016). De plus, étant très mobiles et bons nageurs, les poissons pélagiques peuvent réagir rapidement aux changements de leur environnement. Il s'agit d'espèces très importantes, jouant un rôle social et économique majeur en dépit de leur faible valeur marchande et contribuant, de façon significative, à nourrir les populations nationales, à créer de nombreux emplois et soutenir la balance commerciale du Sénégal avec des effets bénéfiques sur les richesses nationales (Mbengue, 2012). Elles constituent des ressources marines d'importance stratégique et représentent 71% des débarquements totaux de la pêche maritime sénégalaise (Mbengue, 2012).

Les données de débarquements provenant de la Direction des Pêches Maritimes (DPM) ont été analysées en relation avec les variables satellitaires. Ces données disponibles dans les rapports de la DPM entre 2003 et 2017.

Pour cette étude, seules les mises à terre mensuelles par espèce de la pêche artisanale et de la pêche industrielle des ressources pélagiques (poissons) ont été considérées. Les six espèces de poisson étudiées sont la sardinelle, l'ethmalose, le chinchard, le maquereau, la carangue et la sardine. Ces espèces ont été choisies car elles représentent sur le plan quantitatif, les principales ressources pélagiques exploitées au Sénégal.

1.4.1. *Sardinelle*

Les sardinelles capturées dans la ZEE du Sénégal sont composées de deux espèces en l'occurrence la sardinelle ronde (*Sardinella aurita*) et la sardinelle plate (*Sardinella maderensis*). Les nombreuses campagnes effectuées montrent que ces deux espèces sont distribuées dans une vaste zone allant du sud du Maroc au sud du Sénégal. Les migrations effectuées par ces espèces sont en étroite relation avec le front thermique.

Pour la sardinelle ronde, la présence de juvéniles est notée le long des zones côtières aussi bien en saison froide qu'en saison chaude. Ces observations confirment la présence de nurseries au sud du Sénégal. Les adultes de cette espèce effectuent des migrations saisonnières (Deme *et al*, 2012).

La sardinelle plate est aussi une espèce à affinité biogéographique tropicale. Le stock à une distribution très côtière. La même nursery décrite pour la sardinelle ronde est celle de la sardinelle plate.

Une grande partie de la pêche artisanale est dominée par les sardinelles qui sont essentiellement destinées à la consommation nationale et à la transformation. Ces pélagiques jouent un grand rôle dans la sécurité alimentaire et constituent de ce fait des ressources extrêmement sensibles.

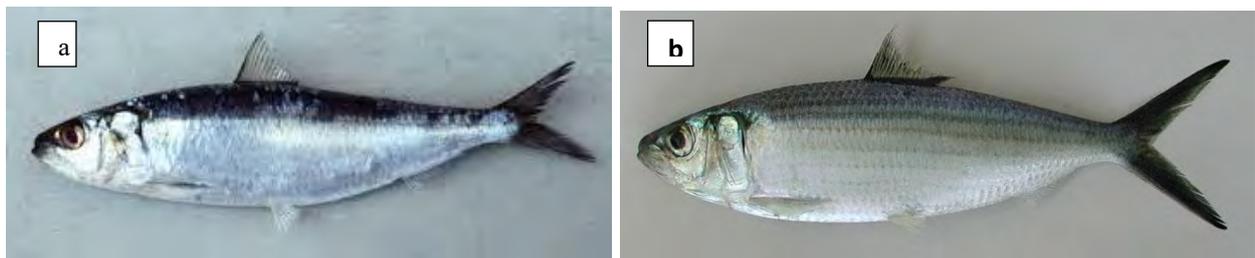


Figure 2: Sardinelle ronde (a) (*Sardinella aurita*) Sardinelle plate (b) (*Sardinella maderensis*)

1.4.2. Ethmalose

L'ethmalose (*Ethmalosa fimbriata*) est une espèce euryhaline qui fréquente les zones littorales, en général proches de l'embouchure des grands fleuves, pouvant passer une partie ou toute sa vie dans les eaux mixohalines intérieures (fleuves, estuaires, deltas, lagunes). Les ethmaloses pénètrent saisonnièrement loin à l'intérieur des terres, remontant notamment les fleuves Sénégal à 140 km de l'embouchure (Kébé *et al.*, 2015) ; et en mer, elles restent très près du littoral. Au Sénégal, les débarquements de cette espèce sont issus de la pêche artisanale et sont destinés à la consommation nationale et à la transformation.



Figure 3 : Ethmalose (*Ethmalosa fimbriata*)

1.4.3. Chinchard

Les chinchards sont des espèces qui préfèrent les eaux tropicales et tempérées. Elles se répartissent le long des côtes à plus de 300 m et occupent de préférence les secteurs les plus profonds du plateau continental. Au Sénégal, la plupart des débarquements sont constitués du chinchard jaune (*Caranx rhonchus*) et du chinchard noir (*Trachurus trecae*) qui représentent un important potentiel économique.

Le chinchard noir se rencontre toute l'année sur les côtes sénégalaises (Boely *et al.*, 1973) et le chinchard jaune est abondant sur le plateau continental. Cependant, les meilleurs rendements sont obtenus dans le domaine pélagique au-dessus du rebord du talus continental. Le chinchard jaune est nettement plus pélagique que le chinchard noir.

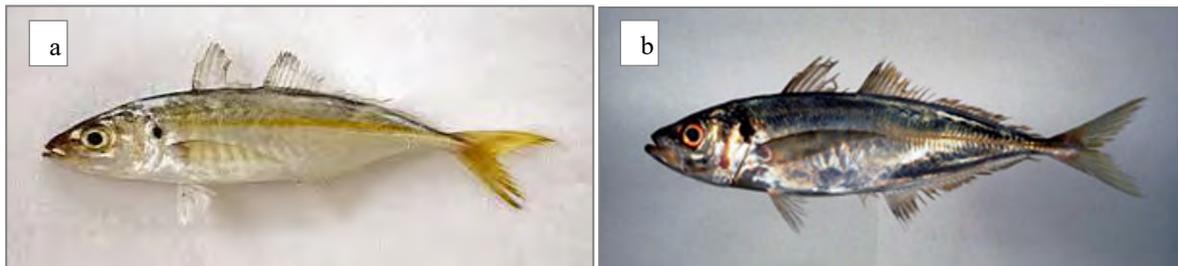


Figure 4 : Chinchard jaune (a) (*Caranx rhonchus*) et Chinchard noir (b) (*Trachurus trecae*)

1.4.4. Maquereau

Les débarquements des espèces de maquereaux au Sénégal concernent essentiellement le maquereau espagnol et le maquereau bonite. Le maquereau espagnol (*Scomber japonicus*) vit en bancs, effectuant de grandes migrations saisonnières et se rapprochant des côtes durant l'été. Il se nourrit de poissons et de plancton. Il vit à la fois en surface et en profondeur, sans dépasser les 300 m et son abondance est observée au sud de la presqu'île du Cap-Vert à une température de surface de la mer comprise entre 22,5°C et 24,5°C (Thiaw *et al.*, 2013), et il est présent dans toute la Méditerranée. Le maquereau bonite (*Scomberomorus tritor*) habite les eaux chaudes près des côtes, pénètre dans les lagunes côtières et se nourrit de clupéidés, en particulier d'*Ethmalosa fimbriata*. Il est présent de la surface jusqu'à une profondeur maximale de 40 m, mais, le plus souvent, entre 20 et 25 m. Il est utilisé pour la consommation et la transformation.

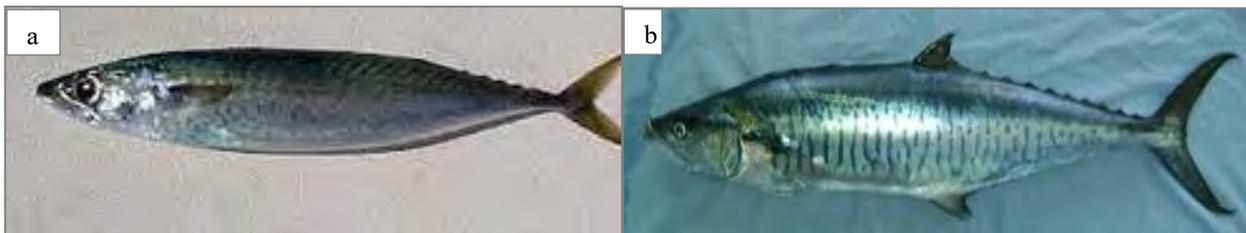


Figure 5 : Maquereau espagnol (*Scomber japonicus*) et Maquereau bonite (*Scomberomorus tritor*)

1.4.5. Carangue

Les carangues appartiennent à une même famille, leur mode de vie et leur comportement ne varie pas d'une espèce à l'autre. Les juvéniles adoptent souvent un comportement grégaire et se regroupent en banc durant la journée. Ce sont des espèces qui adoptent un comportement pélagique. La carangue du Sénégal est pélagique côtière et peut pénétrer dans les estuaires et les lagunes. Son aire de distribution est limitée aux côtes de l'Afrique tropicale (<https://www.fishbase.se/summary/1897>). Les petites carangues (*Chloroscombrus chrysurus*) sont des espèces pélagiques marines très courantes dans les lagons et les estuaires côtiers. Son aire de distribution est très large de l'Atlantique ouest à l'Atlantique Est (Fishbase). Les adultes se trouvent sur les fonds meubles du plateau continental, formant parfois des bancs près de la surface. La carangue commune (*Caranx crysos*) est une espèce grégaire qui se déplace en bancs ; elle est subtropicale et fréquente les eaux côtières. Elles se nourrissent principalement de

poissons (petits pélagiques) mais aussi d'invertébrés crabes, crevettes... La reproduction se déroule en été et les œufs sont pélagiques (Casamajor et *al.*, 2013).

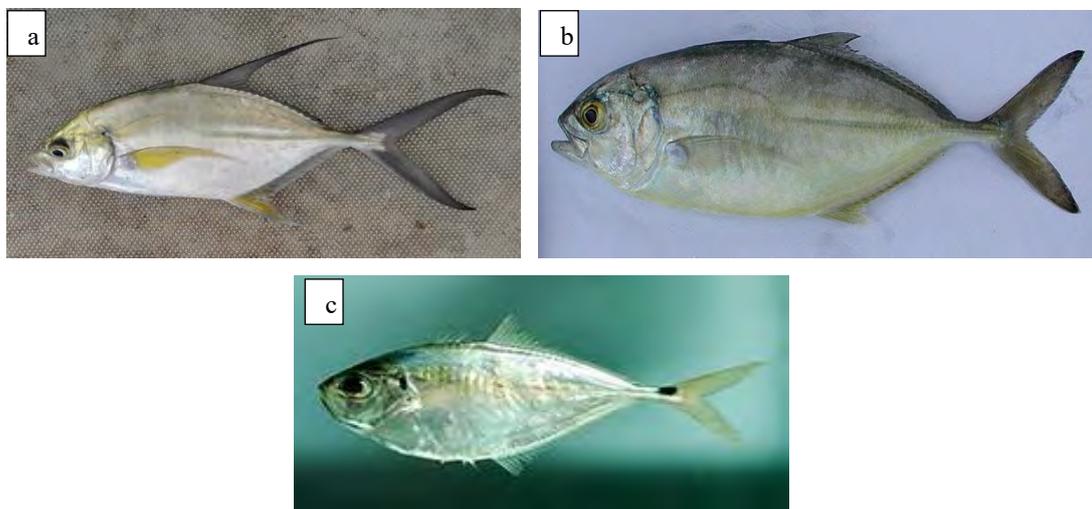


Figure 6 : Carangue du Sénégal (a) (*Caranx senegallus*), Carangue commune (b) (*Caranx crysos*) et Petite carangue (c) (*Chloroscombrus chrysurus*)

1.4.6. Sardine

La sardine est une espèce pélagique côtière, migratrice atteignant généralement en profondeur entre 25 et 55 ou même 100 m le jour et 10 à 35 m la nuit. Elle aime les eaux fraîches, saumâtres (FAO, 2001)³. Elle est très commune à l'ouest de la mer méditerranéenne et on trouve souvent les juvéniles dans les baies. Son nom varie selon la région. Elle représente l'unique espèce de son genre.

Les données statistiques des débarquements annuels et mensuels de cette espèce ont été traitées à l'aide du tableur MS Excel pour la création des graphes avec les paramètres spatio-temporels (chlorophylle-a, température de surface de l'océan et PAR), la création de droite de régression, ainsi que la détermination des équations de droite et des coefficients de détermination.



Figure 7 : Sardine (*Sardina pilchardus*)

³ FAO, 2001 Rapport sur les pêches n°685

III. RESULTATS

3.1. Variation inter-annuelle moyenne des variables satellitaires

3.1.1. Variation de la chlorophylle-a

Au cours de la période 2003-2017, la distribution spatiale de la chlorophylle-a a évolué d'une année à l'autre sur toute la zone économique exclusive du Sénégal avec des valeurs contrastées entre la côte et le large (Figure 8). Au cours des années 2004, 2006, 2007, 2008, 2009 et 2016, la concentration de la chlorophylle-a est en moyenne plus importante au niveau de la côte, surtout dans la partie sud de la ZEE (2004, 2008 et 2009). Durant les années 2003, 2014, 2015 et 2017 la concentration de la chlorophylle est très importante sur toute la zone. En 2005, 2010, 2011, 2012 et 2013, la concentration de la Chla est faible, surtout en 2010 où les fortes concentrations se trouvent sur la cote.

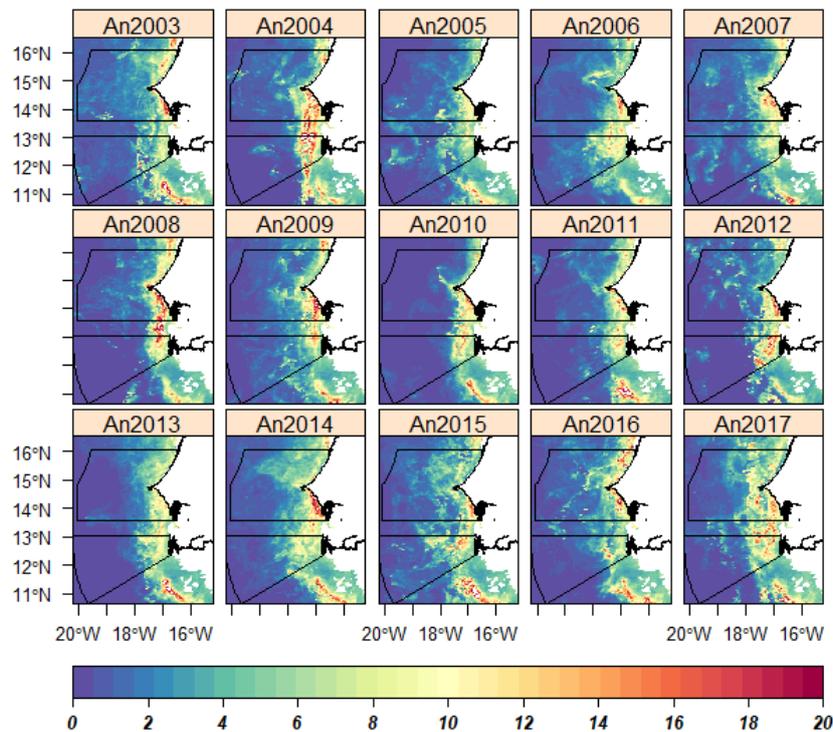


Figure 8 : Variation moyenne annuelle de la chlorophylle-a au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal

3.1.2. Variation de la température de surface de l'océan

La température de surface de l'océan montre une variation relativement faible entre 2003 et 2017 à travers la ZEE, avec des valeurs nettement plus élevées dans la zone sud. Durant les années 2005, 2006, 2008, 2010 et 2013, la température moyenne globale est supérieure à 25°C et la partie nord est plus froide que la partie sud de la zone économique

exclusive. Pour les années 2004, 2011 et 2015, la température est en moyenne de 25°C et les valeurs les plus élevées sont obtenues au sud de la zone économique exclusive. En 2003, 2007, 2009, 2012, 2014 et 2017, la température moyenne est inférieure à 25°C et les valeurs les plus faibles sont observées au nord de la zone économique exclusive et au sud de Dakar.

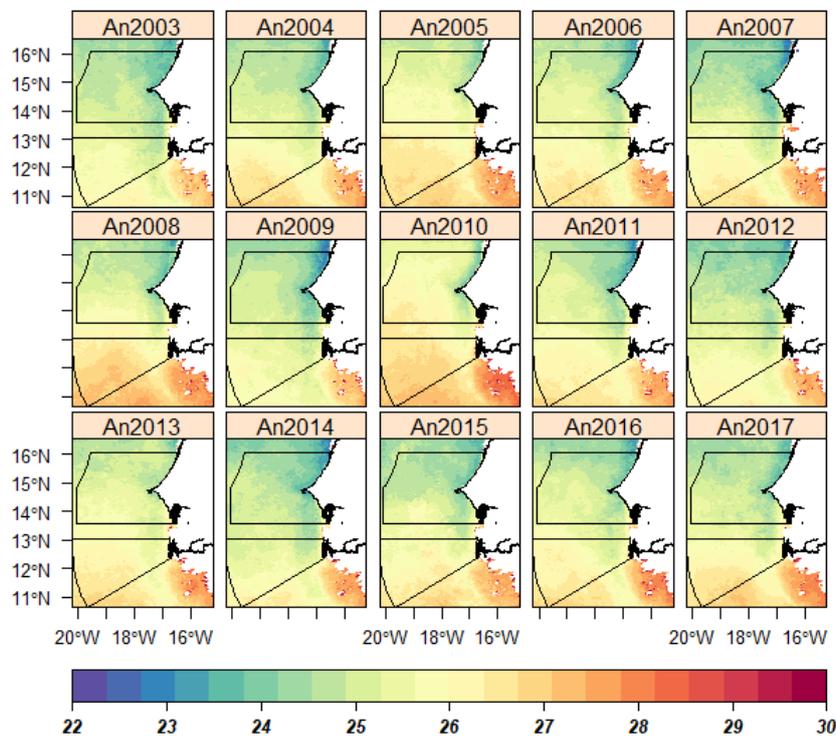


Figure 9 : Variation moyenne annuelle de la température de surface de l’océan au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal

3.1.3. Variation du rayonnement photosynthétiquement actif

Le rayonnement photosynthétiquement actif (PAR) montre une variation spatiale et interannuelle avec des valeurs relativement plus élevées dans la partie nord de la ZEE (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Le PAR est plus fort au cours des années 2006, 2007, 2008, 2011, 2014 et 2017 avec des valeurs supérieures à 47,5 einstein.m⁻² sur toute la zone économique exclusive. Pour les années 2005, 2012, 2013, 2015, le PAR est globalement inférieur à 47 einstein.m⁻².

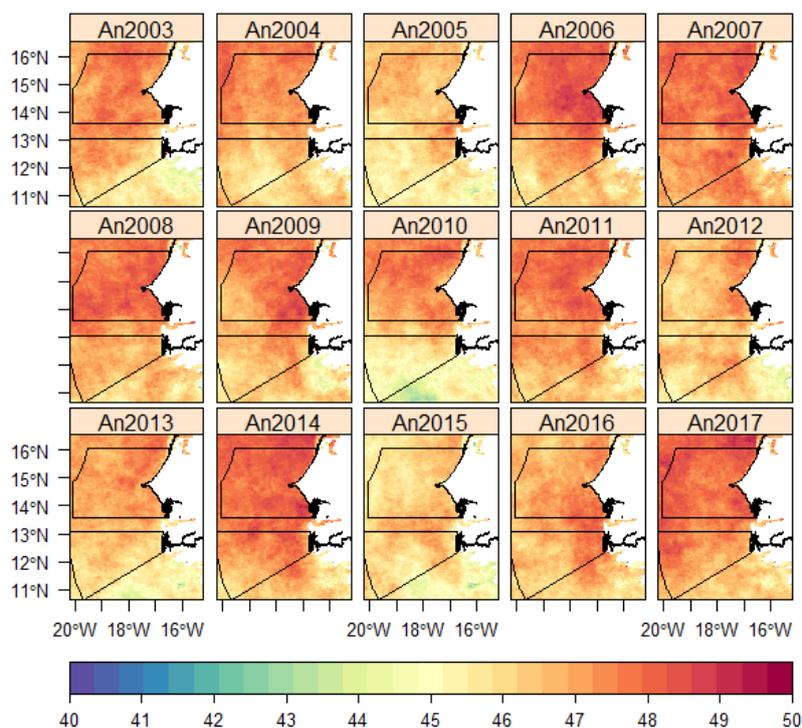


Figure 10 : Variation moyenne annuelle du rayonnement photosynthétiquement actif au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal

3.1.4. Indices d'upwelling côtier

Les indices d'upwelling côtier interannuel liés à la température de surface de la mer et à la chlorophylle-a montrent une grande variation entre les années. L'indice d'upwelling lié à la température de surface de la mer de 2003 à 2017 montre que ces valeurs oscillent entre 0,5 et 0,8. Les maximums d'upwelling sont observés en 2009 et 2012. Durant les années 2003, 2007, 2008, 2014 et 2017, l'indice d'upwelling est en moyenne élevé. Au cours des années 2004, 2005, 2006, 2010, 2011, 2013, 2015 et 2016, l'IUC est faible pour ces années et les indices les plus faibles sont observés en 2005, 2010 et 2013.

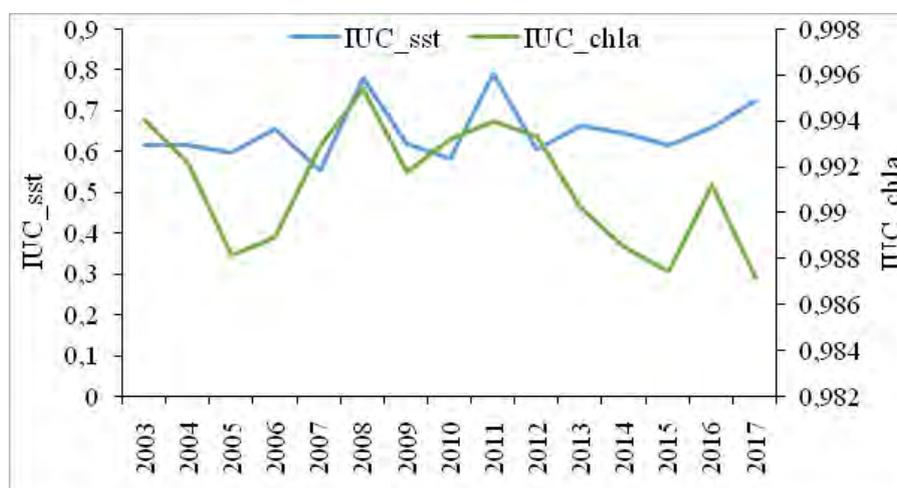


Figure 11 : Indice d'upwelling côtier interannuel lié à la température de surface de l'océan et à la chlorophylle-a

3.2. Variation intra-annuelle des variables satellitaires

La distribution spatiale de la concentration en chlorophylle-a, de la température de surface de l'océan et du rayonnement photosynthétiquement actif montre une grande disparité intra-annuelle ou saisonnière.

3.2.1. Variation de la chlorophylle-a

La chlorophylle-a des mois de janvier, février, mars, avril et mai montre des concentrations plus élevées au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal, distribuées le long du littoral. À partir du mois de juin, la teneur de la concentration en chlorophylle diminue progressivement sur toute la zone jusqu'au mois d'octobre. Au mois de novembre, la concentration augmente à nouveau le long du littoral jusqu'au mois de janvier à partir duquel les valeurs maximales sont observées (*Erreur ! Source du renvoi introuvable.*).

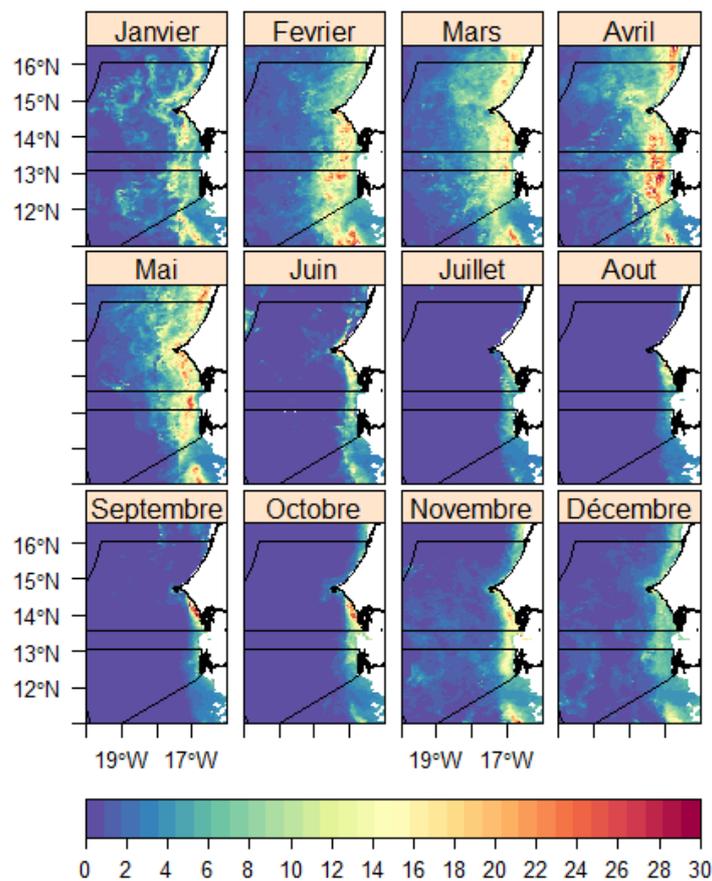


Figure 12 : Variation moyenne mensuelle de la concentration de la chlorophylle-a au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal

3.2.2. Variation de la température de surface de l'océan

L'évolution de la température de surface de l'océan montre que les mois de janvier, février, mars, avril et mai sont les plus froids avec des températures inférieures à 25°C ; février et mars étant plus froids avec en moyenne 21°C. A partir du mois de juin, la température augmente avec des valeurs moyennes de 25°C en juin à 28°C au mois de novembre. Au mois de décembre, la température baisse jusqu'à 25,7°C et continue à diminuer progressivement jusqu'au mois de mai (Figure 13).

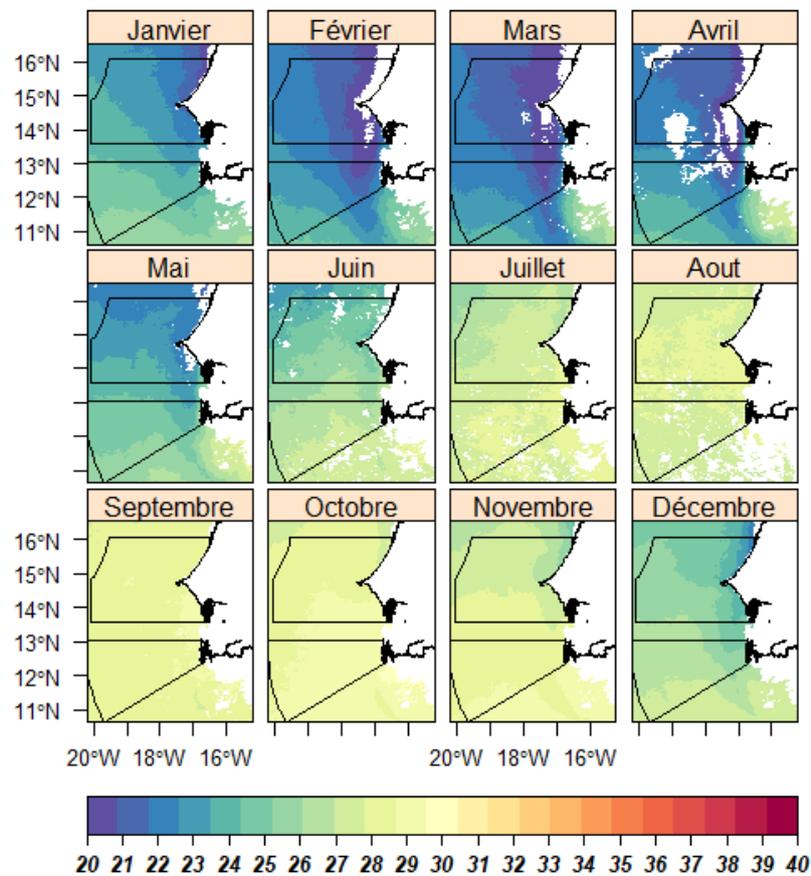


Figure 13 : Variation moyenne mensuelle de la température de surface de l'océan au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal

3.2.3. Variation du rayonnement photosynthétiquement actif

Pour le rayonnement photosynthétiquement actif, les mois de mars, avril, mai et juin ont des valeurs élevées de plus de 60 einstein.m⁻². Au mois de juillet, le rayonnement diminue progressivement jusqu'au mois de janvier de l'année suivante avec des valeurs inférieures à 40 einstein.m⁻². A partir du mois de février, le rayonnement commence à augmenter pour atteindre le maximum au mois d'avril (Figure 14).

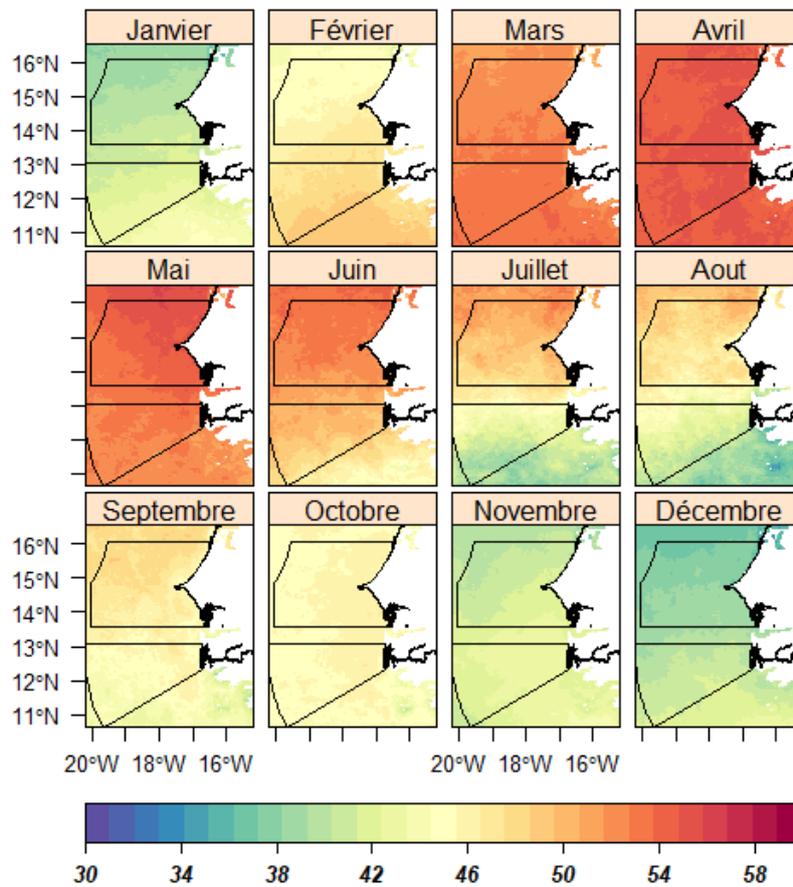


Figure 14 : Variation moyenne mensuelle du rayonnement photosynthétiquement actif au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal

3.2.4. Anomalie mensuelle de température

Les anomalies mensuelles calculées pendant la période 2003-2017 montrent que les valeurs varient de - 6 à 6. De janvier à mai, les résultats ont montré que les anomalies sont négatives. A partir du mois de juin, l’anomalie augmente avec des valeurs positives jusqu’au mois de novembre. A partir du mois de décembre les valeurs commencent à diminuer.

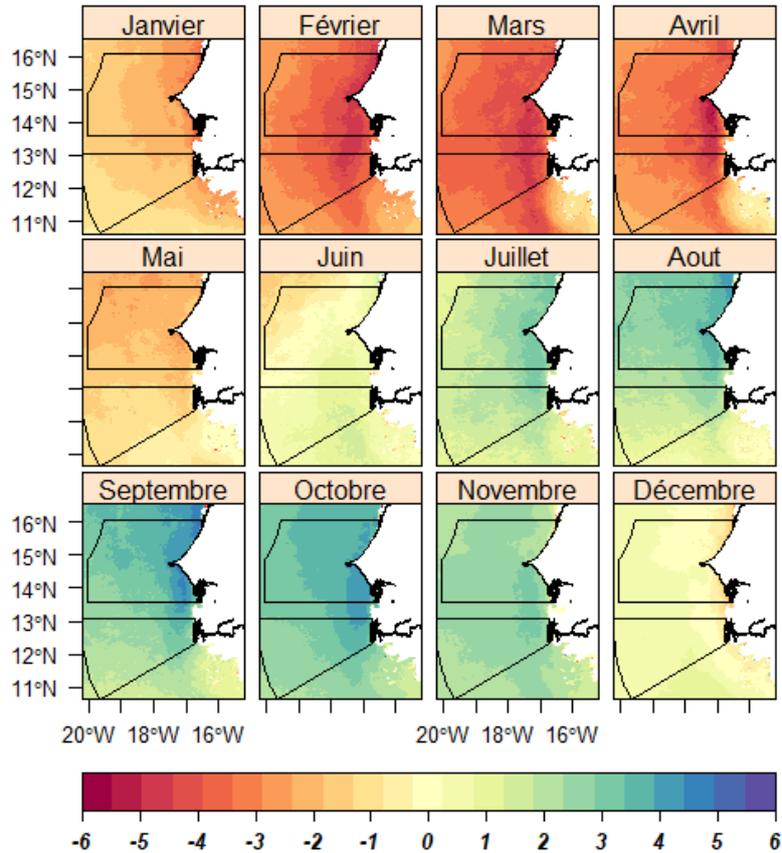


Figure 15 : Anomalie mensuelle de la température de surface de l’océan sur la période 2003-2017

3.3. Ressources pélagiques et variables satellitaires

3.3.1. Relation entre les variables satellitaires

3.3.1.1. Relation moyenne mensuelle

La courbe de variation moyenne mensuelle de la concentration en chlorophylle-a, à laquelle est associée celle de la température de surface, montre que ces deux paramètres sont en déphasage (Figure 16a). L’évolution des courbes montre que les fortes concentrations de la chlorophylle-a correspondent aux faibles valeurs de la température de surface de la mer et la faible concentration de la chlorophylle-a correspond aux fortes valeurs de température de surface de la mer.

L’observation de la courbe de variation moyenne mensuelle de la chlorophylle-a, associée à celle du rayonnement photosynthétique actif, montre que l’augmentation du rayonnement photosynthétiquement actif au mois de novembre jusqu’au mois d’avril correspond à une augmentation de la concentration de la chlorophylle-a et sa diminution à partir du mois de mai est aussi liée à une diminution de la concentration de la chlorophylle jusqu’au mois d’octobre (Figure 16b).

L'association de la courbe moyenne mensuelle de la température de surface de la mer avec celle du rayonnement photosynthétiquement actif montre que les deux paramètres sont directement liés. L'augmentation de l'activité photosynthétiquement active du mois de janvier au mois de mai est liée à une diminution de la température de surface de la mer. A partir du mois de juin, l'activité du rayonnement photosynthétiquement actif diminue jusqu'au mois de décembre, entraînant une augmentation de la température de surface de la mer pour ces mêmes mois (Figure 16c).

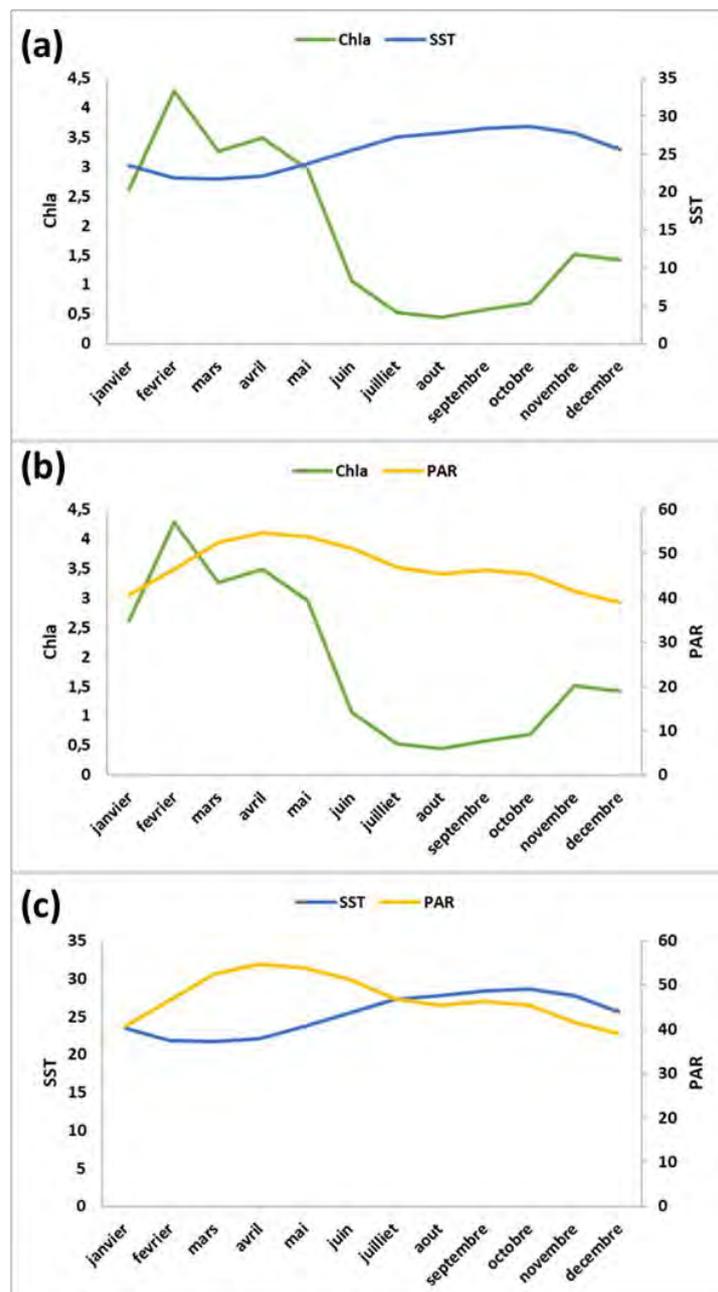


Figure 16 : Relation des valeurs moyennes mensuelles entre a) Chla et SST, b) Chla et PAR, et c) SST et PAR.

3.3.1.2. Relation moyenne annuelle

Les courbes moyennes annuelles entre ces trois paramètres (Chla, SST et PAR) montrent que la chlorophylle-a et la température de surface de la mer sont en déphasage : quand la température augmente, la concentration de la chlorophylle-a diminue, surtout en 2005, 2010 et 2014 (Figure 17a). Il en est de même pour la température et le PAR dont les variations évoluent en déphasage (Figure 17c).

L'évolution de la courbe moyenne annuelle de la concentration de la chlorophylle-a suit directement l'évolution de la courbe du PAR ; quand le PAR augmente, la concentration de la chlorophylle augmente, sauf en 2011, 2012 et 2015 où l'évolution des deux courbes se fait en sens contraire (Figure 17b).

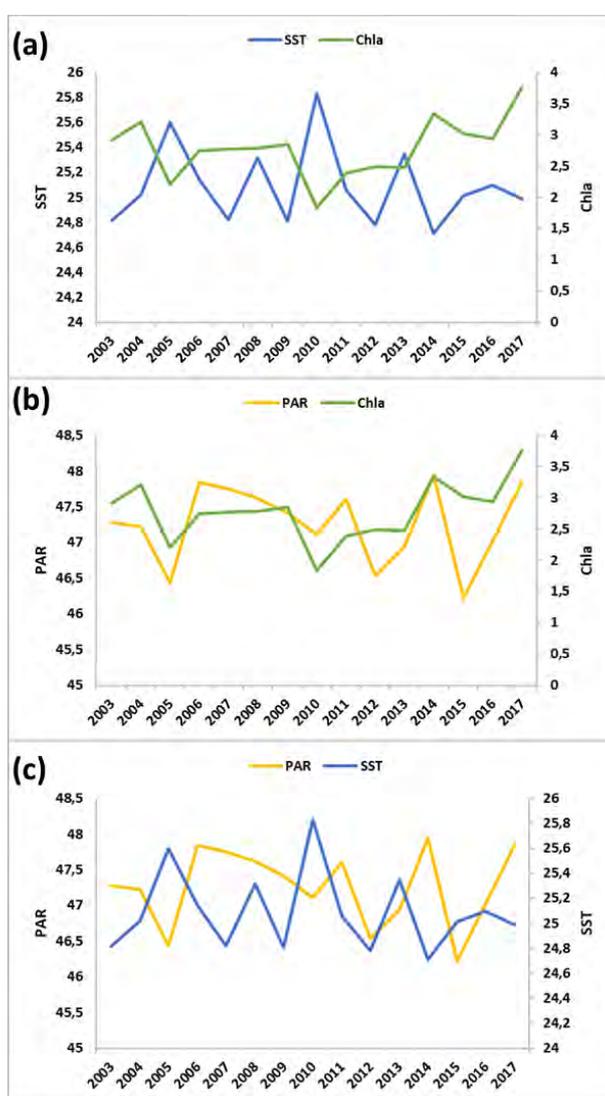


Figure 17 : Relation des valeurs moyennes annuelles entre a) la Chla et la SST, b) Chla et PAR, et c) SST et PAR

3.3.2. Relation entre débarquements et variables satellitaires

3.3.2.1. Relation moyenne mensuelle

Les courbes de variation moyenne mensuelle et moyenne annuelle de concentration en chlorophylle-a, de la température de surface et du rayonnement photosynthétique actif auxquelles ont été associées celles des prises des ressources pélagiques (poissons) dans la zone économique exclusive du Sénégal sur la période 2003 – 2017 montrent une grande variation entre les débarquements et les variables satellitaires. Elles montrent une relation plus ou moins étroite entre les périodes de concentration élevées en chlorophylle-a, les périodes de basse température de surface de la mer et les pics importants de débarquement des ressources pélagiques.

En effet, les mois de janvier, février et mars enregistrent des concentrations importantes en chlorophylle-a avec un pic important au mois de février (Figure 18).

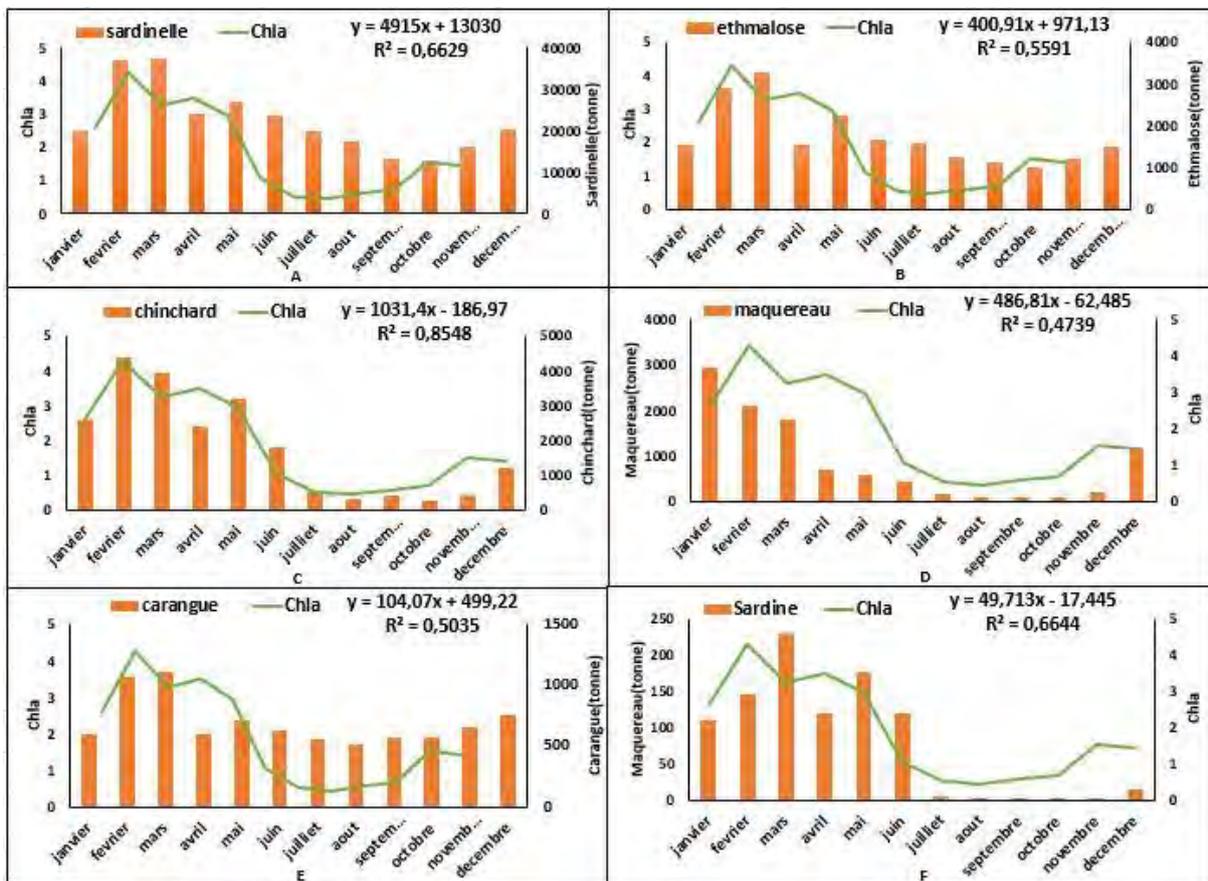


Figure 18 : Relation entre les valeurs moyennes mensuelles de la concentration de la chlorophylle-a et des débarquements des espèces pélagiques : Sardinelle (A), Ethmalose (B), Chinchard (C), Maquereau (D), Carangue (E), et Sardine (F) au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal entre 2003 et 2017

Durant cette même période, une baisse de la température de surface de la mer inférieure à 25°C est observée et une quantité importante de débarquement des ressources pélagiques (poissons) (Figure 19). A partir du mois d'avril, la concentration de la chlorophylle baisse jusqu'au mois de septembre caractérisé par une augmentation de la température de surface de la mer supérieure à 25°C et une baisse de la quantité de débarquements des ressources pélagiques. Au mois d'octobre, la concentration commence à augmenter avec la diminution de la température et l'augmentation des débarquements des ressources pélagiques côtières.

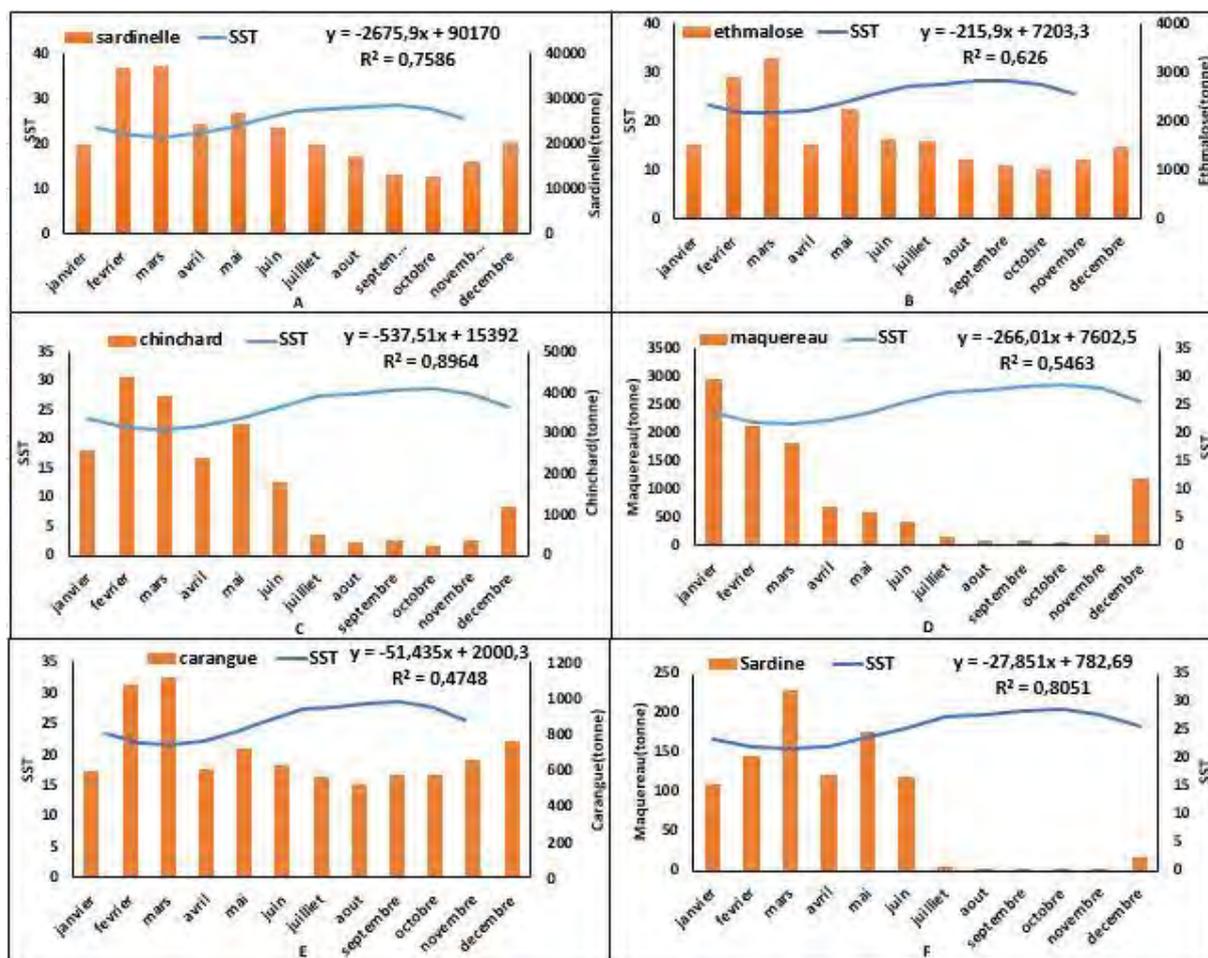


Figure 19 : Relation entre les valeurs moyennes mensuelles de la température de surface de l’océan et des débarquements des espèces pélagiques : Sardinelle (A), Ethmalose (B), Chinchard (C), Maquereau (D), Carangue (E), et Sardine (F) au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal entre 2003 et 2017

Les prises moyennes mensuelles des ressources telles que la sardinelle, l'ethmalose, chinchard, le maquereau, la carangue et la sardine montrent la même variation que celle du rayonnement photosynthétiquement actif (Figure 20).

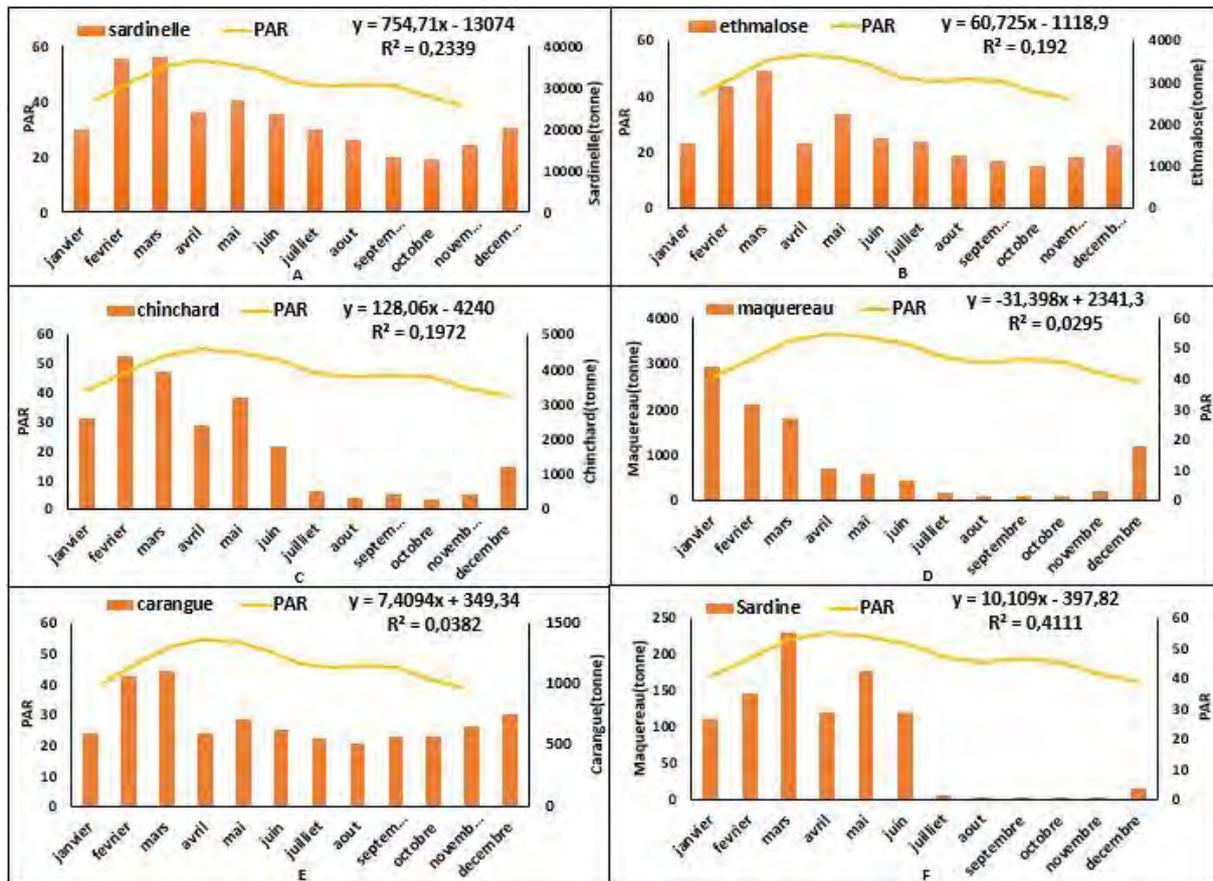


Figure 20 : Relation entre les valeurs moyennes mensuelles du rayonnement photosynthétiquement actif et des débarquements des espèces pélagiques : Sardinelle (A), Ethmalose (B), Chinchard (C), Maquereau (D), Carangue (E), et Sardine (F) au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal entre 2003 et 2017

La courbe de l'anomalie de la température de surface de l'océan a montré une forte corrélation avec les débarquements. Les valeurs de l'anomalie inférieure à 1 correspondent à une augmentation des débarquements et la valeur supérieure à 1 correspond à une diminution des débarquements (Figure 21).

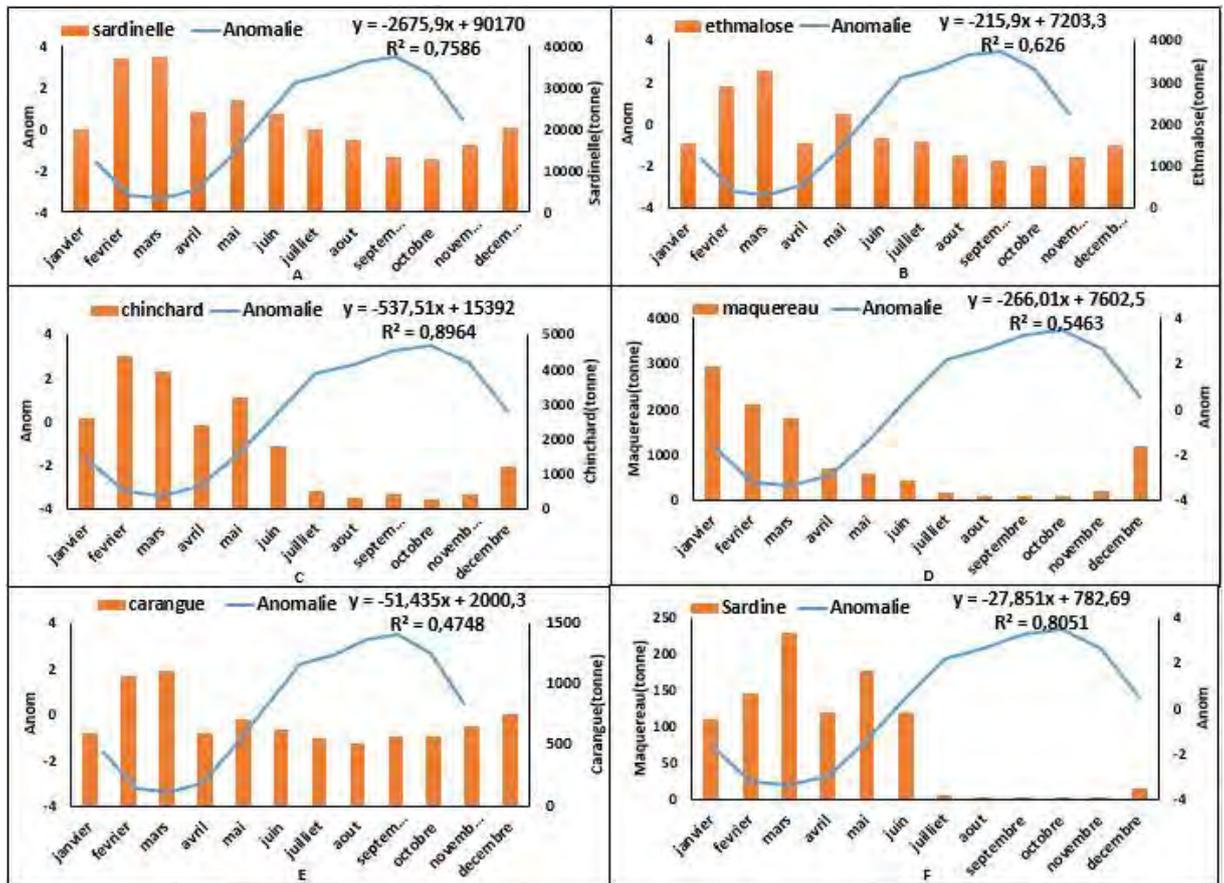


Figure 21 : Relation entre l'anomalie de la température de surface de l'océan et les débarquements des espèces pelagiques: Sardinelle (A), Ethmalose (B), Chinchard (C), Maquereau (D), Carangue (E), et Sardine (F) au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal entre 2003 et 2017

3.3.2.2. Relation moyenne annuelle

Les courbes de l'évolution moyenne annuelle de concentration en chlorophylle-a, de la température de surface de la mer et du rayonnement photosynthétique actif avec les prises des ressources pélagiques (poissons) sur la période 2003 - 2017 montrent une grande variété entre les paramètres et les ressources. En 2003 et 2004, les prises de sardinelle et d'ethmalose sont très élevées, coïncidant avec de fortes valeurs de la concentration de la chlorophylle-a, du PAR et des valeurs de température de surface de l'océan relativement faibles

Pour les sardinelles les débarquements sont plus élevés au cours des années 2003, 2004, 2005, 2008, 2009, 2012, 2013 et 2017, coïncidant avec une baisse de la température et une augmentation de la chlorophylle-a, à l'exception des années 2005, 2012 et 2013 durant lesquelles il a été observé une diminution de la concentration de la chlorophylle-a. Pour les années 2006, 2010, 2011, 2014 et 2016 on a observé une baisse des débarquements qui est directement liée à une baisse de la concentration de la chlorophylle-a et à une augmentation de la température de surface de l'océan, à l'exception de l'année 2014 au cours de laquelle la concentration de la chlorophylle-a augmente et la température de surface diminue.

Les débarquements d'ethmalose montrent des pics importants en 2003, 2004, 2005, 2006, 2006, 2016 et 2017 correspondant à une augmentation de la chlorophylle en 2003, 2004, 2006, 2016 et 2017 et une baisse de la température de surface. Par contre, en 2005 et 2010, la température était très élevée, surtout en 2010 alors que la concentration de chlorophylle-a a diminué. Entre 2007 et 2015, les débarquements sont faibles. Par contre la concentration de la chlorophylle est très importante et la température de surface faible.

Les prises de chinchards montrent des pics importants entre 2014 et 2017 avec une concentration importante en chlorophylle-a et une baisse de la température de surface, plus importante en 2016. De 2003 à 2013, les prises ne sont pas trop importantes mais varient avec l'augmentation de la concentration de la chlorophylle-a.

Les prises de maquereaux montrent des pics importants en 2003, 2012, 2014, 2015, 2016 et 2017 avec des concentrations en chlorophylle-a élevées et des valeurs de la température de surface faibles. De 2004 à 2011, les prises de maquereaux étaient faibles avec la variation de la chlorophylle et de la température de surface entre ces années.

Pour les carangues les prises sont plus importantes au cours des années 2003, 2004, 2007, 2008, 2009, 2011 et 2012, correspondant à des concentrations de chlorophylle-a élevées et de faibles valeurs de la température de surface de la mer. En 2005, 2006, 2010, 2013, 2014, 2015, 2016 et 2017 les prises sont très faibles avec une baisse de la concentration

de la chlorophylle-a et une augmentation de la température de surface de la mer en 2005 et 2010. Par contre à partir de 2013 jusqu'en 2017, les prises sont très faibles de même que les valeurs de la température de surface de la mer. Cependant, les valeurs de la concentration de la chlorophylle-a sont élevées.

Les prises de sardine montrent un pic important en 2012 avec une faible valeur de la température de surface de la mer et une concentration en chlorophylle-a élevée. Pour les autres années, les prises de sardine ne dépendent pas directement de la chlorophylle et de la température de surface (Figure 22, Figure 23, Figure 24)

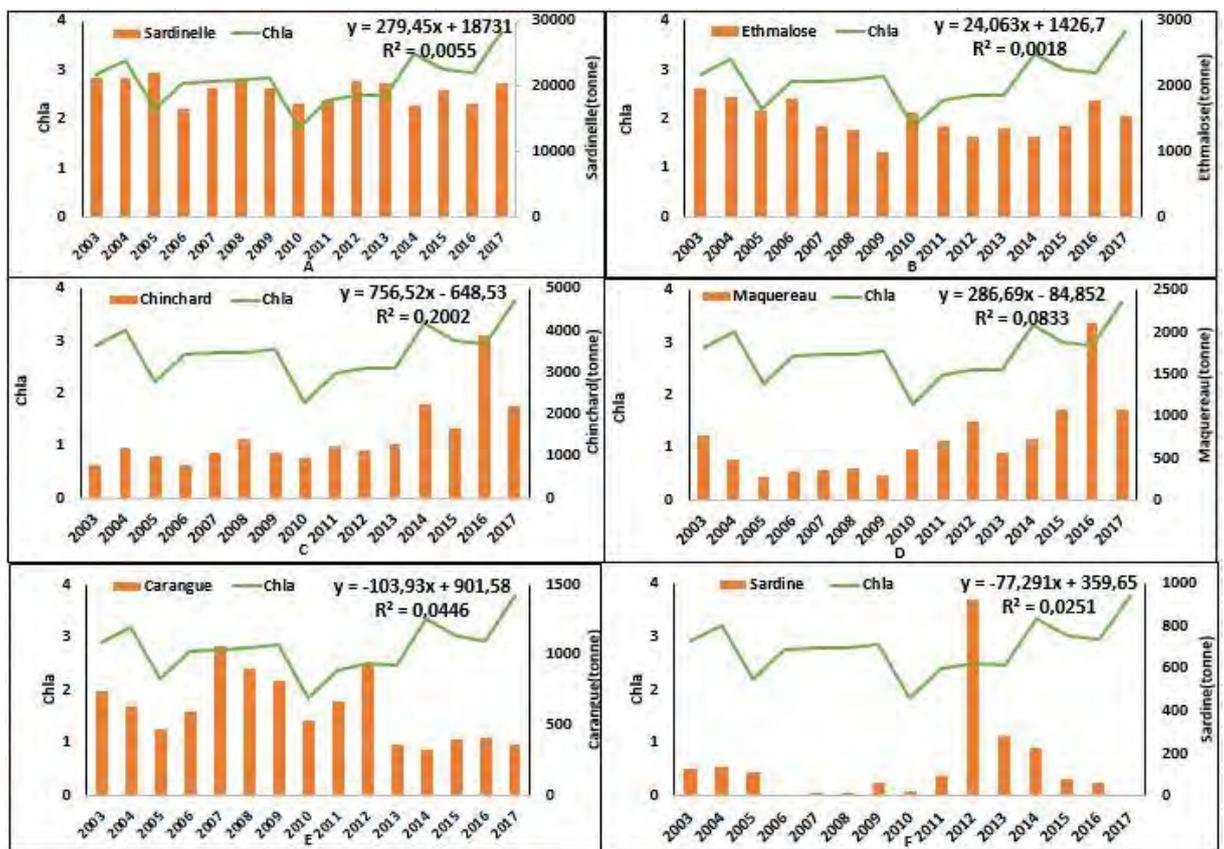


Figure 22: Relation entre les valeurs moyennes annuelles de la concentration de la chlorophylle-a et des débarquements des espèces pélagiques : Sardinelle (A), Ethmalose (B), Chinchard (C), Maquereau (D), Carangue (E), et Sardine (F) au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal entre 2003 et 2017

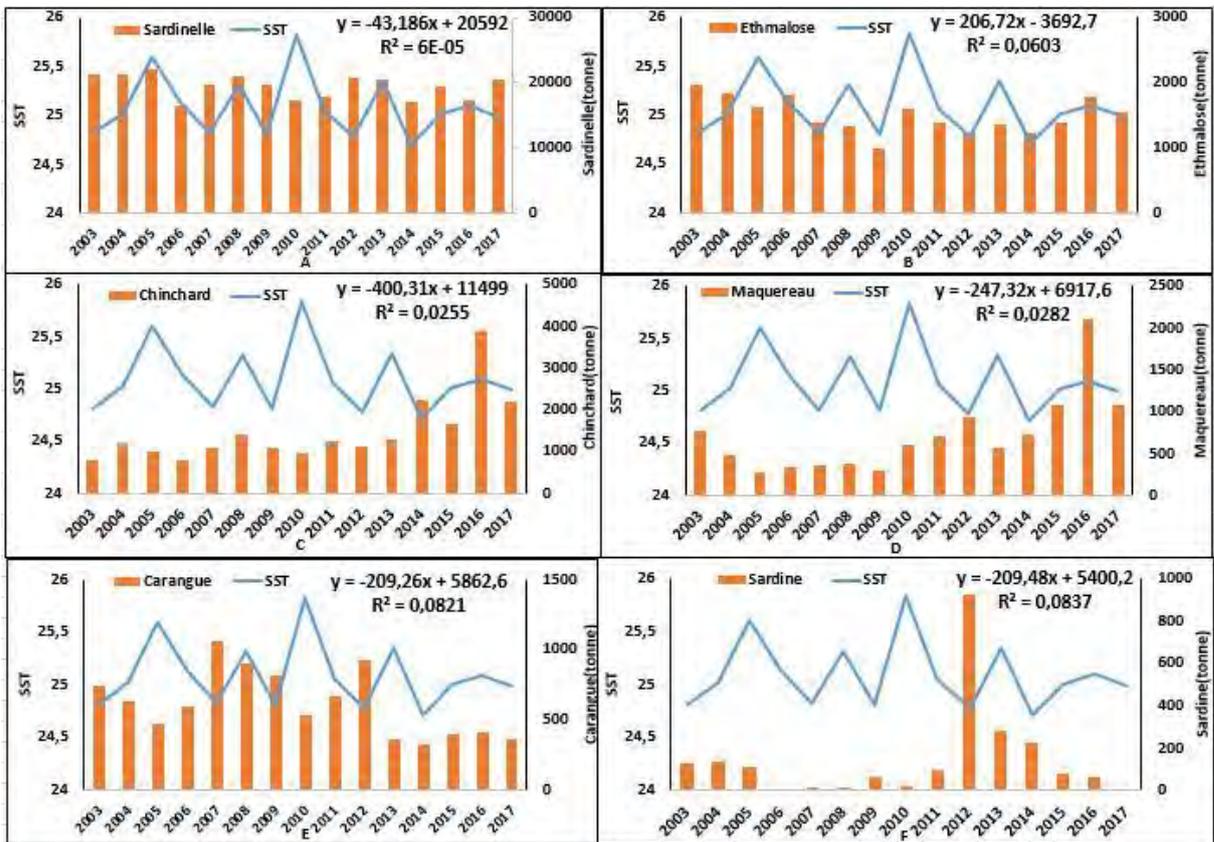


Figure 23 : Relation entre les valeurs moyennes annuelle de la température de surface de l'océan et des débarquements des espèces pélagiques : Sardinelle (A), Ethmalose (B), Chincharde (C), Maquereau (D), Carangue (E), et Sardine (F) au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal entre 2003 et 2017

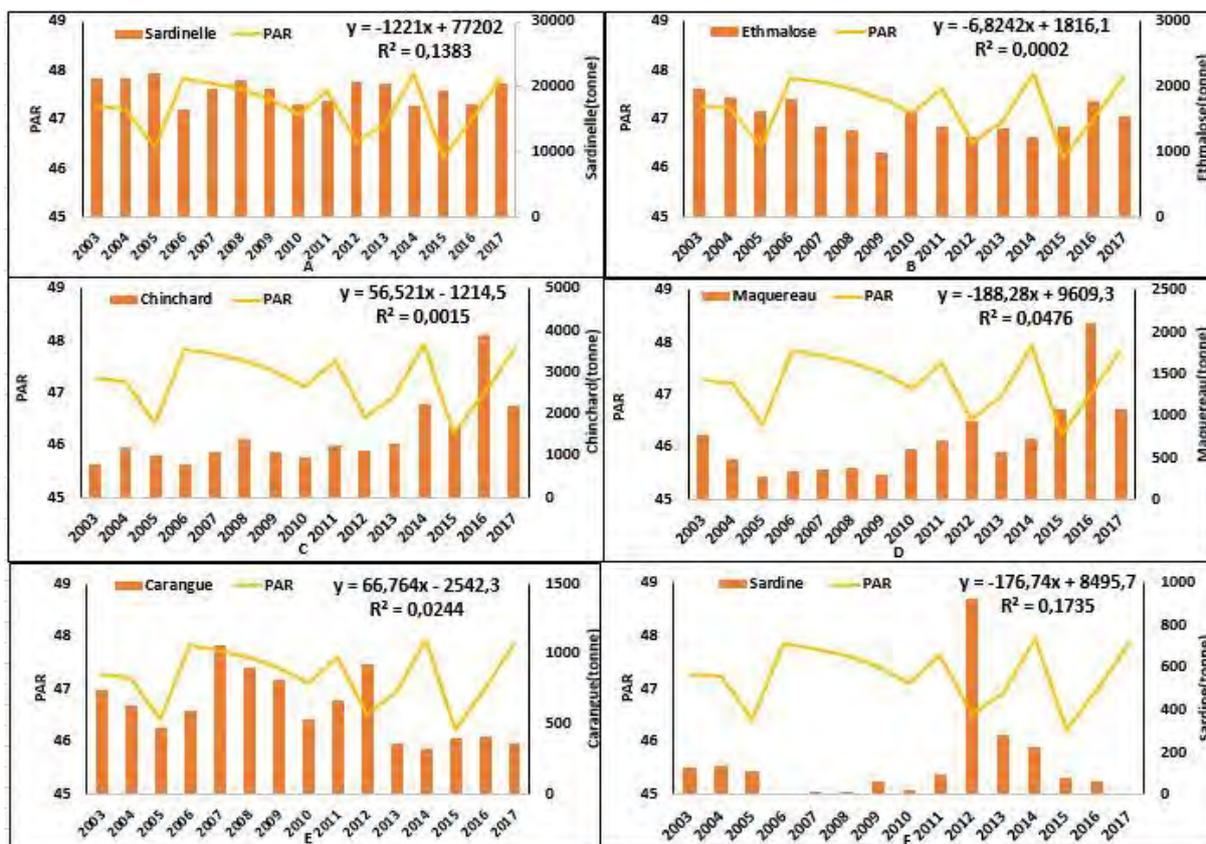


Figure 24 : Relation entre les valeurs moyennes annuelles du rayonnement photosynthétiquement actif et des débarquements des espèces pélagiques : Sardinelle (A), Ethmalose (B), Chinchard (C), Maquereau (D), Carangue (E), et Sardine (F) au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal entre 2003 et 2017

L'analyse de la relation entre l'indice d'upwelling côtier lié à la chlorophylle-a et aux débarquements montre qu'ils ne sont pas directement corrélés sauf pour les carangues où le coefficient de détermination est de 0,544 et l'augmentation de l'IUC correspond à une augmentation des carangues, notamment en 2007, 2008, 2009 et 2012. La diminution de l'indice d'upwelling (0,9881) correspond à une diminution des prises de carangues (471 tonnes) pendant l'année 2005 (Figure 25).

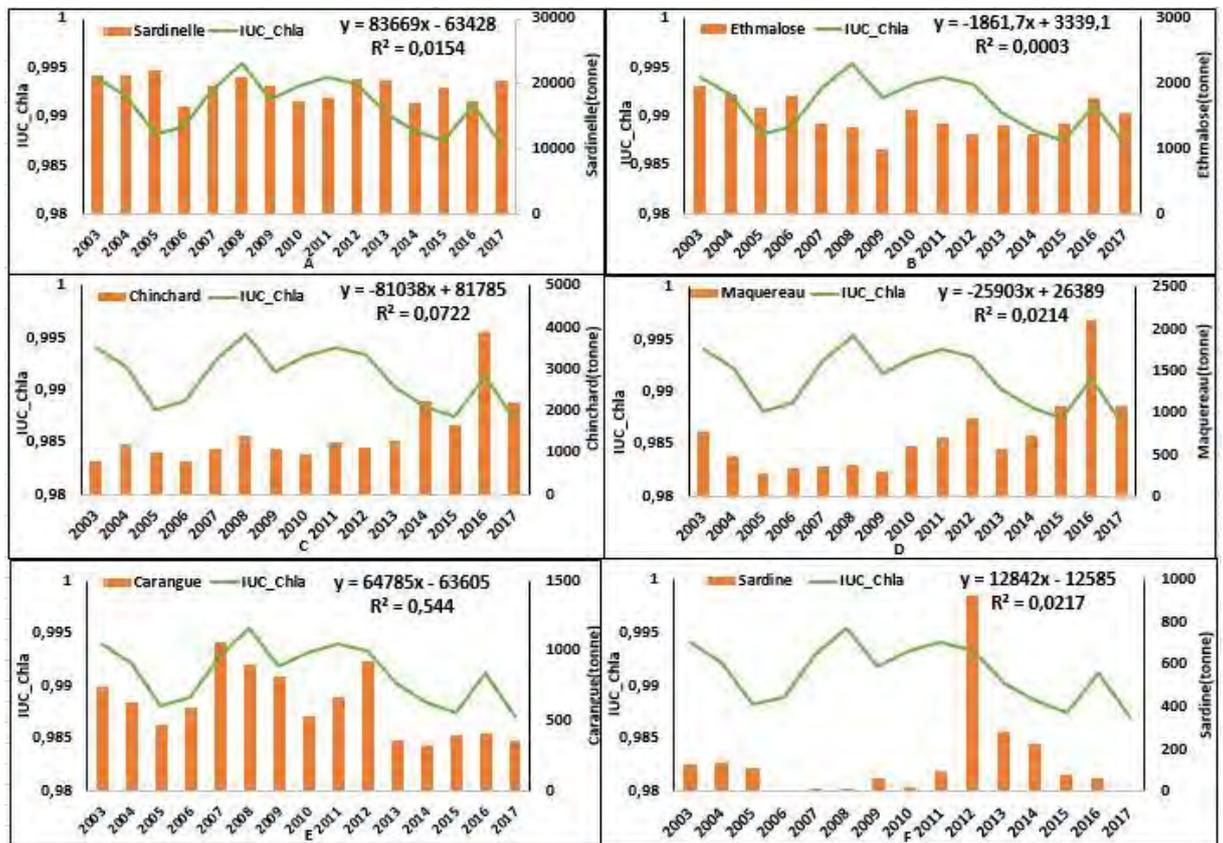


Figure 25 : Relation entre l'indice d'upwelling côtier lié à la chlorophylle-a et les débarquements des espèces pélagiques: Sardinelle (A), Ethmalose (B), Chinchard (C), Maquereau (D), Carangue (E), et Sardine (F) au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal entre 2003 et 2017

Le suivi de la relation entre l'indice d'upwelling côtier lié à la température de surface de l'océan n'a pas une grande corrélation sur les débarquements. Les courbes montrent que pour certaines espèces comme l'ethmalose, les carangues et la sardine quand l'indice diminue les débarquements augmentent (Figure 26).

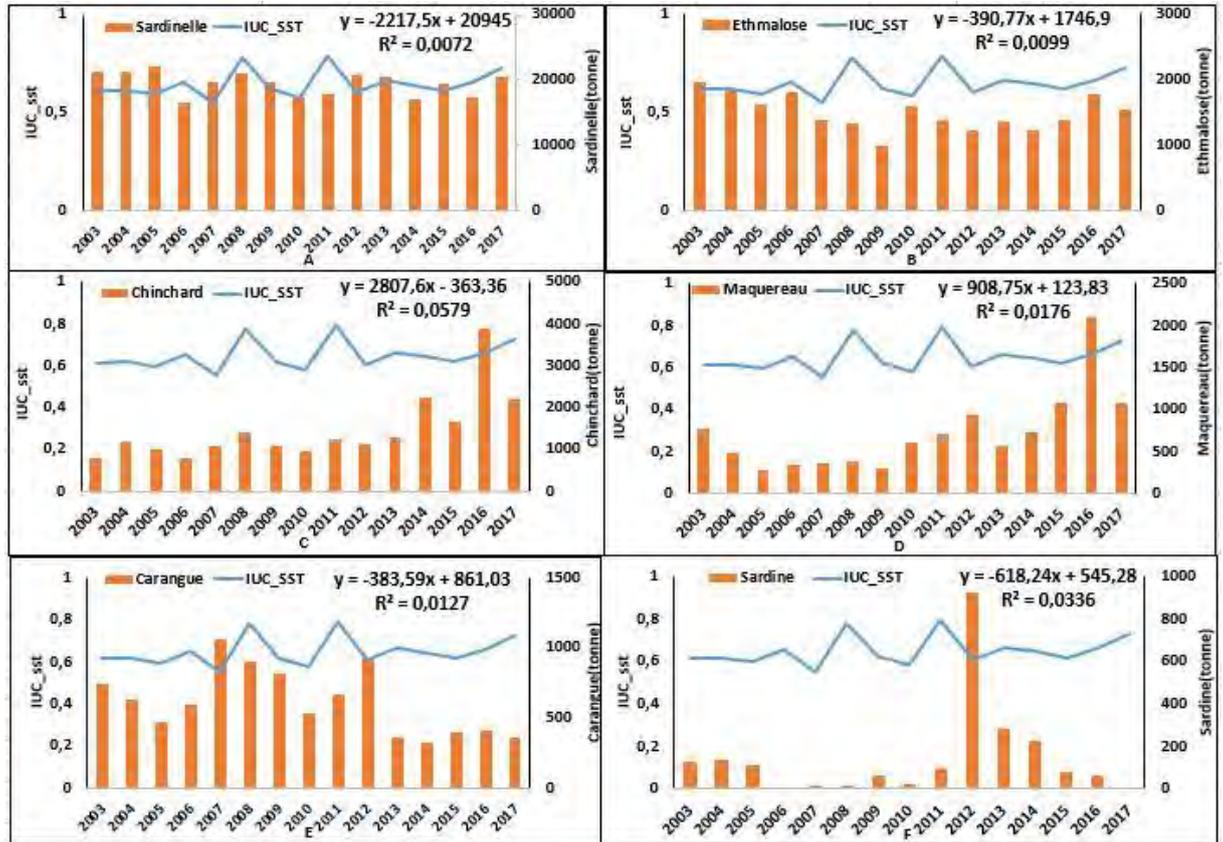


Figure 26 : Relation entre l'indice d'upwelling côtier lié à la température de surface de l'océan et les débarquements des espèces pélagiques: Sardinelle (A), Ethmalose (B), Chinchard (C), Maquereau (D), Carangue (E), et Sardine (F) au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal entre 2003 et 2017

IV. DISCUSSION

Les résultats ont montré qu'il existe une corrélation importante entre les débarquements des ressources pélagiques, la Chla, la SST et le PAR au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal (Annexe). Les résultats sur les relations des valeurs moyennes annuelles et mensuelles des variables satellitaires ont montré que ces derniers sont directement liés et évoluent toujours en déphasage, sauf pour la relation entre la Chla et le PAR où ils évoluent dans le même sens (Figure 16, Figure 17). Cela est dû au fait que le PAR est la source principale d'énergie pour un grand nombre de processus biologiques, c'est-à-dire la part de l'énergie qui est effectivement captée par les végétaux à propos des échanges entre le couvert végétal et l'atmosphère, énergie qui intervient dans les réactions de photosynthèse et de transpiration. C'est cette absorption de l'énergie due au PAR qui entraîne une diminution de la température de surface de l'océan quand le PAR augmente et vice versa. À l'aide des résultats généralisés, nous avons constaté que les paramètres environnementaux (Chla, SST et PAR) au niveau de la zone d'étude jouent un rôle majeur dans l'explication des variabilités mensuelles des débarquements des ressources pélagiques avec des valeurs de coefficient de détermination importante R^2 sauf pour le PAR (voir annexe).

Au cours de cette étude, les pics de forte concentration en chlorophylle-a coïncident en général avec les faibles valeurs de la température de surface de l'océan. Cette observation a été également faite par des auteurs tels que Djagoua *et al.* (2006). Les indicateurs qui ont été étudié permettent de mieux comprendre la relation entre les variables satellitaires et les débarquements. Ces indicateurs permettent de quantifier l'intensité de l'upwelling dans la ZEE du Sénégal comme l'indice d'upwelling côtier et de suivre l'évolution de la température de surface de l'océan comme l'anomalie mensuelle.

Les indices d'upwelling côtier ont été calculés pour mettre en évidence des variations interannuelles du phénomène et sa relation avec les ressources pélagiques dans la zone économique exclusive du Sénégal. L'indice d'upwelling côtier interannuel lié à la température de surface montre une forte intensification de l'upwelling pour les années 2003, 2007, 2008, 2009, 2012, 2014 et 2017 durant lesquelles les faibles valeurs de température de surface de la mer sont aussi observées. Alors que les plus fortes températures sont observées pendant les faibles intensités de l'upwelling. En conséquence l'indice d'upwelling lié à la chlorophylle est important pour ces années qui caractérisent le phénomène d'upwelling. Pendant cette période, la résurgence va donc enrichir la zone néritique de l'océan et les sels nutritifs vont exercer une influence immédiate sur la production biologique, le phytoplancton. En effet, les nutriments

transportés vers la surface par l'upwelling, contribuent au développement du phytoplancton, dont une concentration en chlorophylle-a mesure l'abondance, d'où la productivité importante du milieu. Cette concentration apporte un élément important à la connaissance directe des ressources pélagiques.

Les anomalies de la température de surface de l'océan sont globalement négatives au cours des mois de janvier, février, mars, avril et mai. Ceci traduit que ces mois sont anormalement froids dans la zone économique exclusive du Sénégal. Ce qui a été montré sur la variation moyenne mensuelle de la température de surface de l'océan. Le minimum est observé au cours des mois de février, mars et avril. Ces faibles valeurs d'anomalie de la température de surface de la mer marquent la forte tendance de l'upwelling côtier pour ces mois. Par conséquent, une disponibilité des éléments nutritifs de la surface de la mer pour promouvoir la production biologique est observée (Diouf, 2018). Au cours des mois de juin, juillet, août, septembre, octobre, novembre et décembre les anomalies sont globalement positives. Par conséquent ces mois sont anormalement chauds dans la zone économique exclusive sénégalaise. La présence des eaux chaudes est liée de la diminution de l'upwelling dans la zone avec une diminution des éléments nutritifs au niveau de la surface de l'océan, ce qui entraîne la baisse de la production biologique. Le maximum d'anomalie est observé au cours des mois d'août, de septembre et d'octobre, correspondant à une baisse importante de l'intensité de l'upwelling dans la zone. La concentration en chlorophylle-a observée pendant les saisons chaudes au niveau de la côte sénégalaise indique que les apports terrigènes contribuent à l'enrichissement de la zone côtière. Les apports enrichissants proviennent des eaux de ruissellement qui lessivent des terres défrichées entourant les zones côtières Djagoua *et al.* (2006).

Les images et les séries temporelles de la chlorophylle-a de la température de surface de l'océan et du PAR dans la zone économique exclusive du Sénégal ont montré des variations importantes avec les débarquements, à travers les aires et les saisons de concentration en chlorophylle-a. L'analyse intra-annuelle des débarquements de la pêche artisanale et industrielle, montre que les prises les plus élevées surviennent de novembre à mai. Cette période correspond à la saison de forte concentration en chlorophylle-a, à de faibles valeurs de la température de surface de l'océan et à une forte quantité de débarquement des ressources pélagiques avec de fortes valeurs de coefficient de détermination. La forte présence de ces ressources pélagiques observée de novembre à mai est due aux conditions environnementales adéquates (productivité biologique importante, baisse de la température de surface de l'océan) dans les côtes sénégalaises ; et la faible présence de juillet à octobre est

due aux conditions environnementales défavorables. Ce qui fait que les espèces migrent dans les autres zones plus favorables.

Les résultats intra-annuels montrent que les variations spatio-temporelles de l'abondance des petits pélagiques sont davantage contrôlées par la productivité biologique, le gradient thermique et l'intensité de l'upwelling. Par contre, il n'y a pas de relation interannuelle importante entre les débarquements et les paramètres satellitaires dans la zone économique exclusive du Sénégal avec de faibles valeurs de coefficient de détermination R^2 (voir annexe). Les ressources pélagiques constituent le niveau intermédiaire de la chaîne alimentaire dans l'environnement marin. Les fluctuations d'abondance des stocks de poissons pélagiques traduisent des changements importants de structure et de fonctionnement dans les écosystèmes marins. Cependant le contrôle de la chaîne trophique est réalisé par le maillon intermédiaire. Ainsi, cet échelon intermédiaire va jouer un rôle central dans la structure et la dynamique de l'écosystème, à la fois par le contrôle de type « *top-down* » (contrôle des prédateurs supérieurs sur les maillons trophiques inférieurs), sur le plancton dont il se nourrit, et par le contrôle « *bottom-up* » sur les nombreux prédateurs marins qui les consomment (Jeyid, 2017). Ces espèces sont les plus pêchées au monde et constituent le plus grand groupe d'espèces ciblées par la pêche minotière dont les captures sont destinées à la fabrication de farines et d'huiles de poisson, majoritairement utilisées dans le secteur de l'aquaculture. Avec le développement de l'aquaculture intensive pour satisfaire les besoins toujours plus grands, les ressources pélagiques sont détournées de leur vocation première à savoir nourrir directement les populations les plus pauvres. Dans beaucoup de pays du monde, et en particulier dans les pays en voie de développement, ces espèces constituent une source importante de protéines et de nutriments à des prix abordables (FAO, 2016)⁴. Ces espèces pélagiques occupent ainsi un poids important dans l'alimentation et l'économie de notre pays et jouent des fonctions stratégiques sur le plan environnemental, social et économique. Elles participent à la conservation de la biodiversité marine (Mbengue, 2012) et constituent une source de nourriture pour les populations en général et les communautés les plus défavorisées en particulier.

⁴ FAO, 2016, La situation Mondiale des Pêches et de l'Aquaculture, Contribution à la sécurité alimentaire et à la nutrition de tous, Rome, 224pp.

V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La détermination de la couleur de l'océan est l'une des missions de télédétection les plus utiles pour la société tant pour la recherche scientifique que pour les activités opérationnelles. Les résultats de cette étude ont apporté de nouvelles connaissances sur les paramètres biophysiques de l'océan au niveau de la zone économique exclusive du Sénégal et leurs relations avec les débarquements de poissons pélagiques côtiers. Ces résultats permettent de confectionner des cartes opérationnelles pour l'identification des zones de pêche potentielles. Ils permettent ainsi aux pêcheurs de travailler plus efficacement et d'économiser le carburant. Il ne s'agit assurément pas d'encourager la surpêche mais plutôt d'offrir des moyens pratiques pour assurer une gestion durable et une pêche plus efficiente. Les zones de forte intensité d'upwelling correspondent aux aires qui enregistrent régulièrement les fortes concentrations en chlorophylle-a et les faibles valeurs de température de surface de l'océan et correspondraient très probablement aux zones constamment peuplées par les ressources pélagiques.

En perspective, pour compléter et améliorer notre connaissance sur les relations entre les paramètres biophysiques et les ressources pélagiques côtières, il serait intéressant de:

- valider les variables satellitaires avec des données in situ collectées à travers la ZEE ;
- élargir l'étude de la variation intra-annuelle et inter-annuelle de l'environnement marin de la ZEE sénégalais à d'autres variables satellitaires (salinité, bathymétrie, teneur en nutriment, turbidité...);
- étudier d'autres espèces pélagiques comme les hauturières et leurs relations avec l'environnement.

Références bibliographiques

- Alvain, S.2005. Etude de la distribution des principaux groupes de phytoplancton par Télédétection Satellitaire : Développement de la méthode PHYSAT à partir des données GeP CO et application à l'archive SeaWIFS entre 1998 et 2004, thèse de doctorat, Paris VII.
- Benomostefa, M.A. 2012. Télédétection de la végétation maritime par Radiomètres Optiques Passifs : cas du littoral Algérien, Mémoire Université des sciences et de la technologie U-S-T-OMB, 31p.
- Boely, T. Wysokinski A.Elwertowski J. 1973. Les chinchards des côtes sénégalaises et mauritaniennes, Direction de l'Océanographie et des Pêches Maritimes, Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye, DAKAR, DSP n° 46, 51 pp.
- Casamajor, M.N. Morandau, G. 2013. Espèces inhabituelles capturées dans le sud du golfe d Gascogne, Laboratoire Ressources Halieutique Aquitaine, Ifremer, 55pp.
- Demarcq, H.Samb, B.1991. Influence des variations de l'upwelling sur la répartition des poissons pélagiques au Sénégal, Rapport ,18pp.
- Demarcq, H. Faure, V. 2000. Coastal upwelling and associated retention indices derived from satellite SST.Application to *Octopus vulgaris* recruitment, article, France Montpellier Cedex 1, IRD (Institut de Recherches pour le Développement), 18pp.
- Deme, M., Thiao, D., Fambaye, N.S., Sarre, A. Diadhio, H.D., 2012, Dynamique des Populations de Sardinelles en Afrique du Nord-Ouest : Contraintes Environnementales, Biologiques et Socio Economiques, USAID/COMFISH project, Senegal University of Rhode Island, Narragansett, RI 125pp.
- Diba, I.2013. Développement des indices d'upwelling côtier à partir des observations satellites au large des côtes Mauritano-Sénégal-Guinéennes, Mémoire, Université d'Abomey-Calavi(UAC), Faculté des sciences et techniques(FAST),Cotonou, République de Benin,49pp.
- Diouf, K.S. 2018. Surveillance de l'environnement et sécurité en Afrique : Thématique marine, Rapport, bulletin suivi environnemental pêche et océanographie, Premier Trimestre, 8pp.

- Djagoua, E.V. Affian, K. Larouche, P.Saley, M.B. 2006. Variabilité saisonnière et interannuelle de la chlorophylle en surface de la mer sur le plateau continental de la Côte d'Ivoire à l'aide des images de Seawifs, de 1997 à 2004, Centre Universitaire de Recherche et d'Application en télédétection (CURAT), Abidjan 22, Côte d'Ivoire, vol. 6, n°2, p. 143-151.
- Gohin, F. Helguen, S. 2012. Etat physique et chimique, Caractéristiques Chimiques : Répartition spatio-temporelle de la chlorophylle-a, Rapport IFREMER.
- Gohin, F. Saulquin, B.Bryere, P. 2010. Atlas de la température de la concentration de la chlorophylle et de la turbidité de surface du plateau continental français et des abords de l'ouest Européen, IFREMER, DYNECO/PELAGOS.
- Gohin, F. Trabelsi, A., Daniélou, M.M. 2010. Mise au point de méthode pour la surveillance du phytoplancton : cartographie des biomasses phytoplanctoniques par télédétection, convention Ifremer/Onema 2009-Action 11-b.
- Jeyid, M.A.A. 2016. Relations environnement et évolution spatio-temporelle des petits pélagiques dans le système d'upwelling de la zone NW Africaine, thèse, Université du Littoral Côte d'Opale, 202pp.
- Kébé M. Samba, A. Touré A.O. 2015. L'ethmalose de l'Afrique du Nord-ouest : Biologie, Socio-économie et Gouvernance, Commission Sous Régionale des Pêches, Dakar-Sénégal, 64pp.
- Mbengue, M. 2012. Capitalisation des initiatives de gestion des petits pélagiques au Sénégal, Rapport, projet gestion des petits pélagiques, CSRP, 30pp.
- Ndiaye, O. 2018. Surveillance de l'environnement et sécurité en Afrique : Thématique marine, Rapport, bulletin suivi environnemental pêche et océanographie, Second Trimestre, 8pp.
- Niang, A.ND.2011. Dynamique socio-environnementale et développement locale des régions côtières du Sénégal : Exemple de la pêche artisanale, Thèse, Université de Rouen ,302pp.

Organisation des Nations Unie pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), 2016, la Situation Mondiale des Pêches et de l'Aquaculture, Contribuer à la sécurité alimentaire et à la nutrition de tous, Rome, 224pp.

Pedrocca, P. 2013. Estimation du niveau de chlorophylle-a dans des lacs en utilisant l'observation à distance par satellite, Mémoire, Université du Québec en Outaouais, département d'informatique et d'ingénierie.

Pottier, C. 2007. Combinaison multi-capteurs de données de couleur de l'eau : application en océanographie opérationnelle, Université Paul Sabatier, Toulouse III, Ecole doctorale science de l'univers, de l'environnement et de l'espace, France, 329pp.

Roy, C. 1991. Les upwellings : le cadre physique des pêcheries côtières ouest-africaines, CRODT/ISRA, Dakar, Sénégal, 29pp.

Thiaw, M. Brochier, T. Ngom, F. Sarre, A. Chnar, V.N. Maslyankin, G. 2013. Situation des ressources halieutiques pélagiques côtières au Sénégal, ISRA/CRODT, 22p.

Web bibliographie

www.fao.org.

<https://modis.gsfc.nasa.gov/data/>

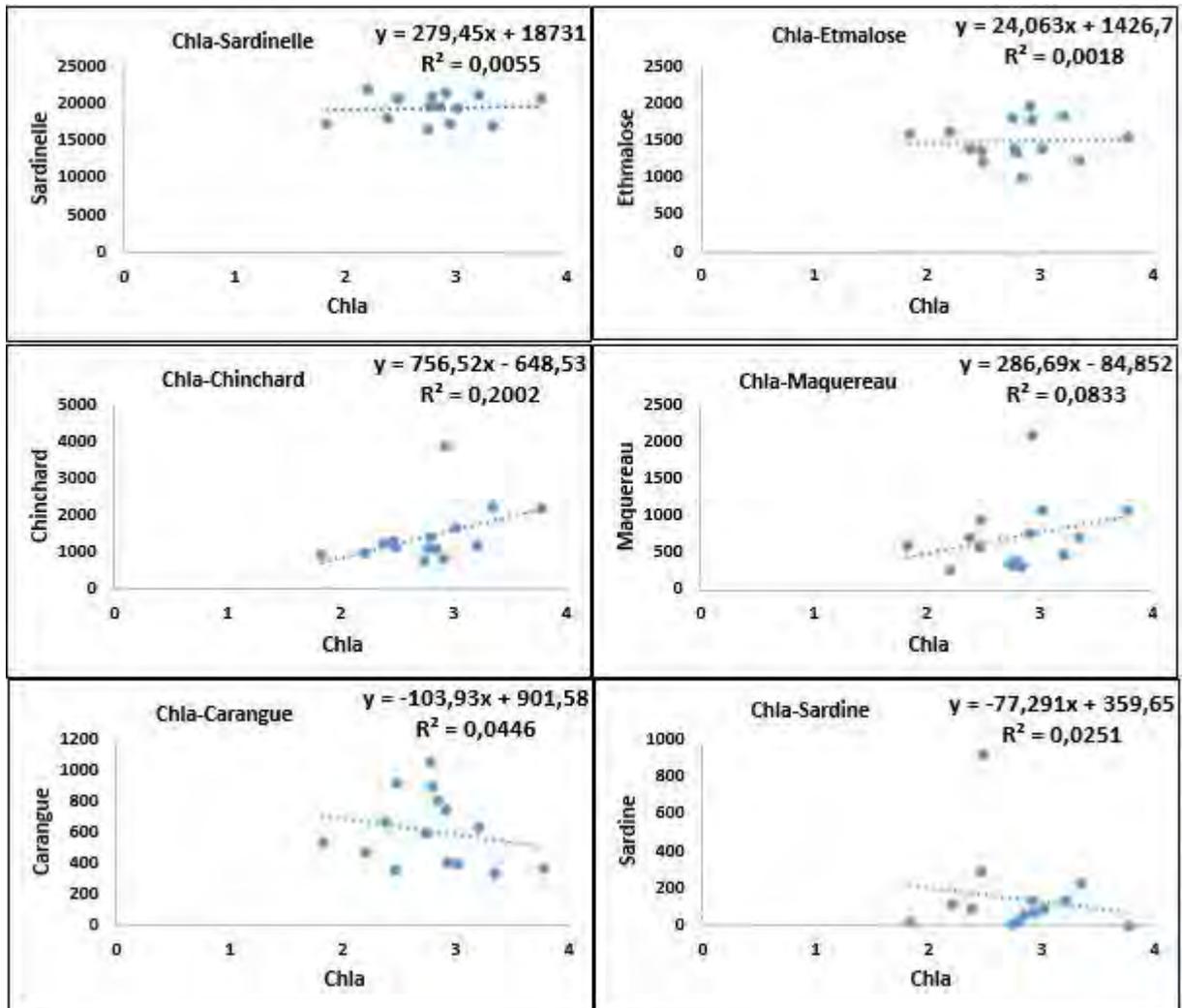
<http://www.fao.org/fishery/species/2910/>

<https://www.fishbase.se/summary/1897>

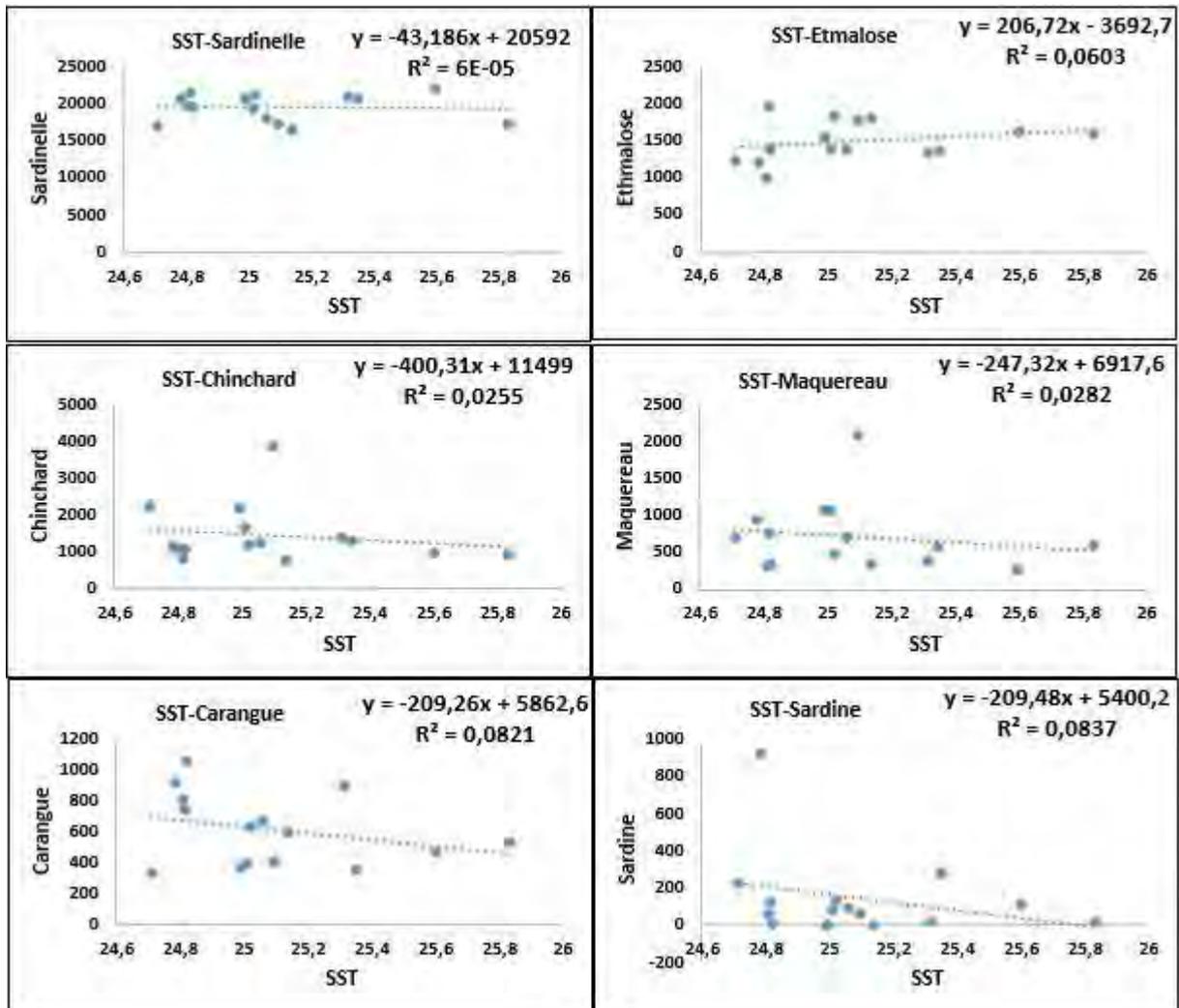
<https://www.senegal-export.com/les-ressources-halieutiques.html>

Annexe

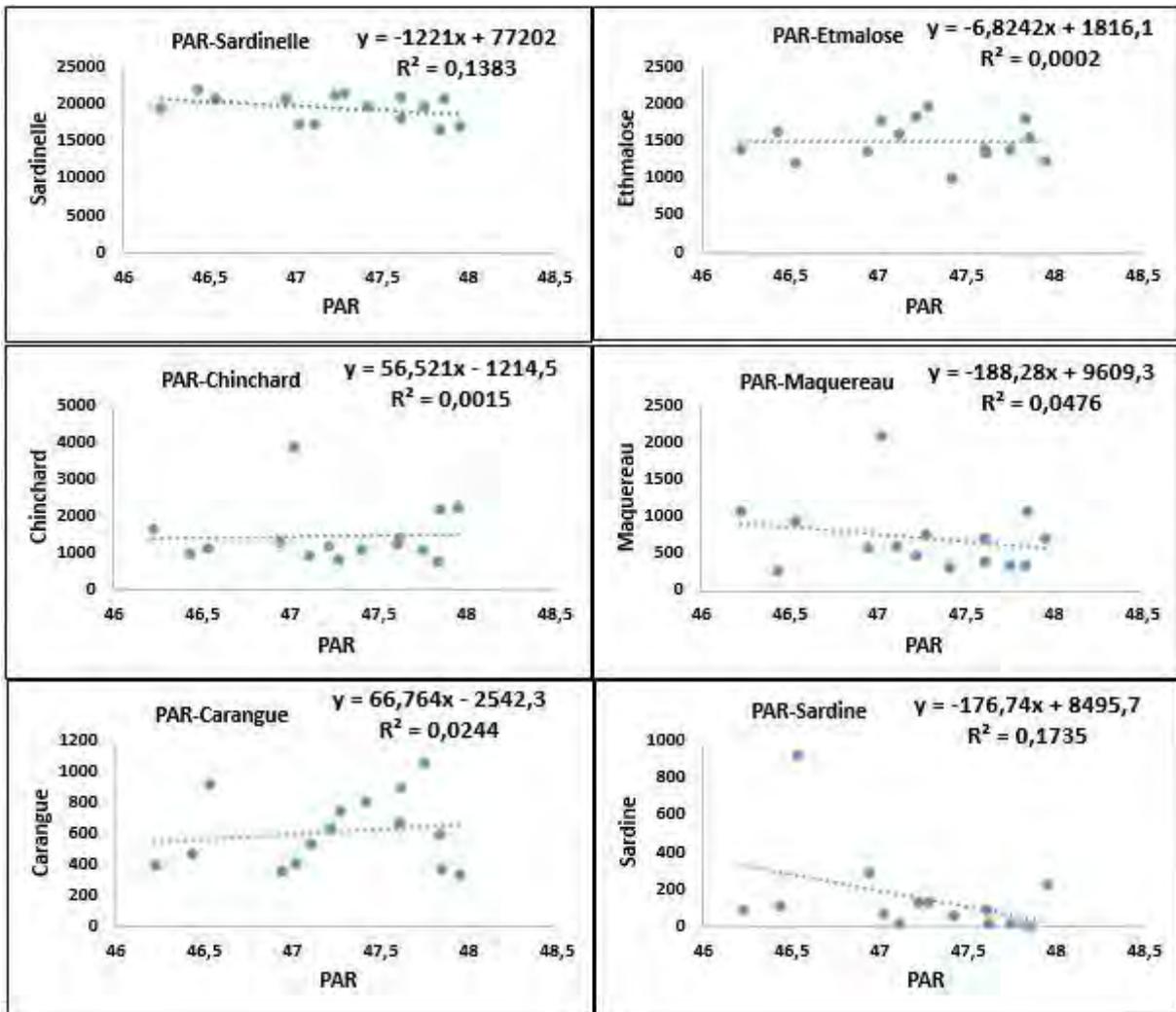
Annexe 1 : Corrélation entre chlorophylle-a et débarquement moyenne annuelle



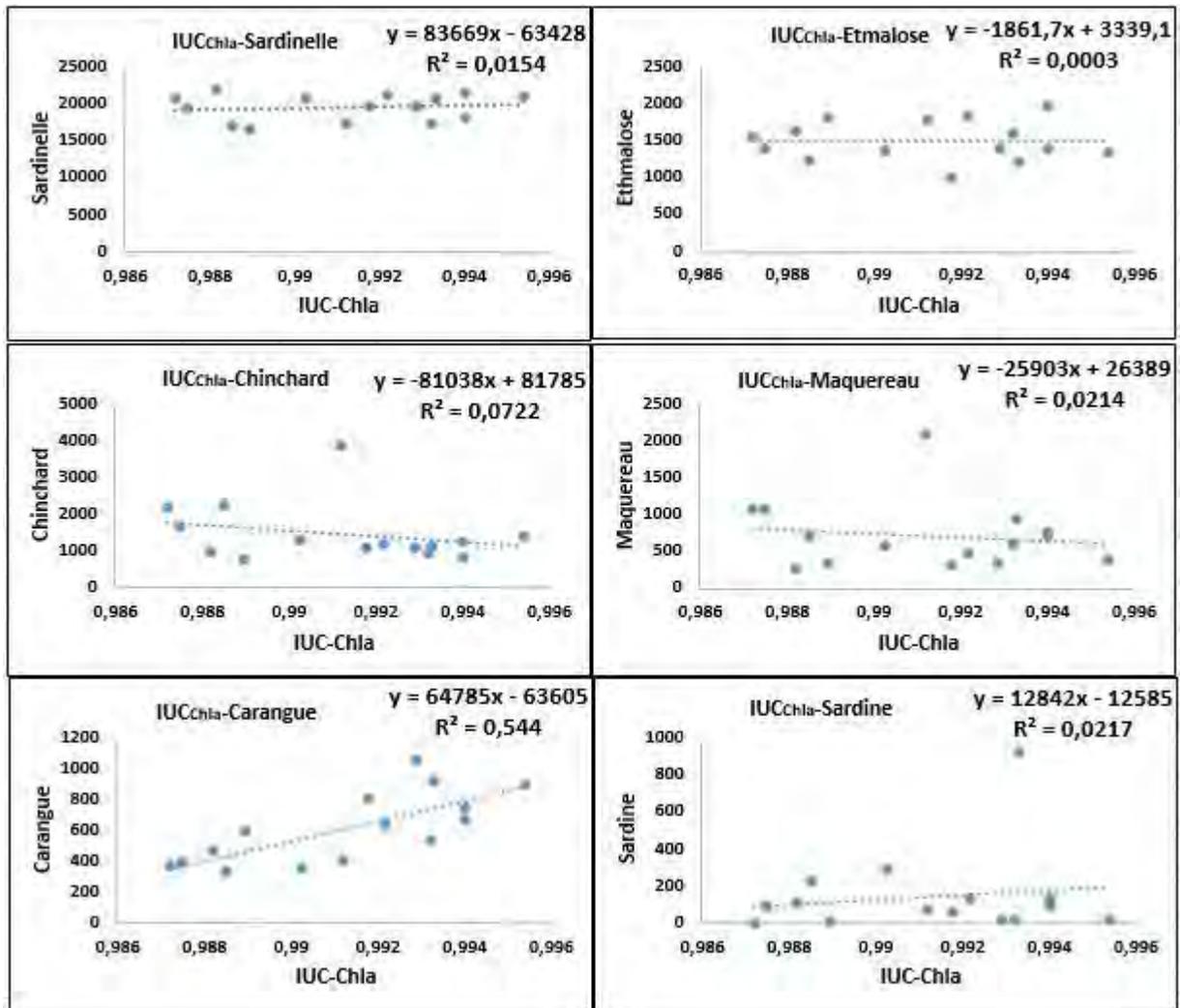
Annexe 2 : Corrélation entre température de surface de l’océan et débarquement moyenne annuelle



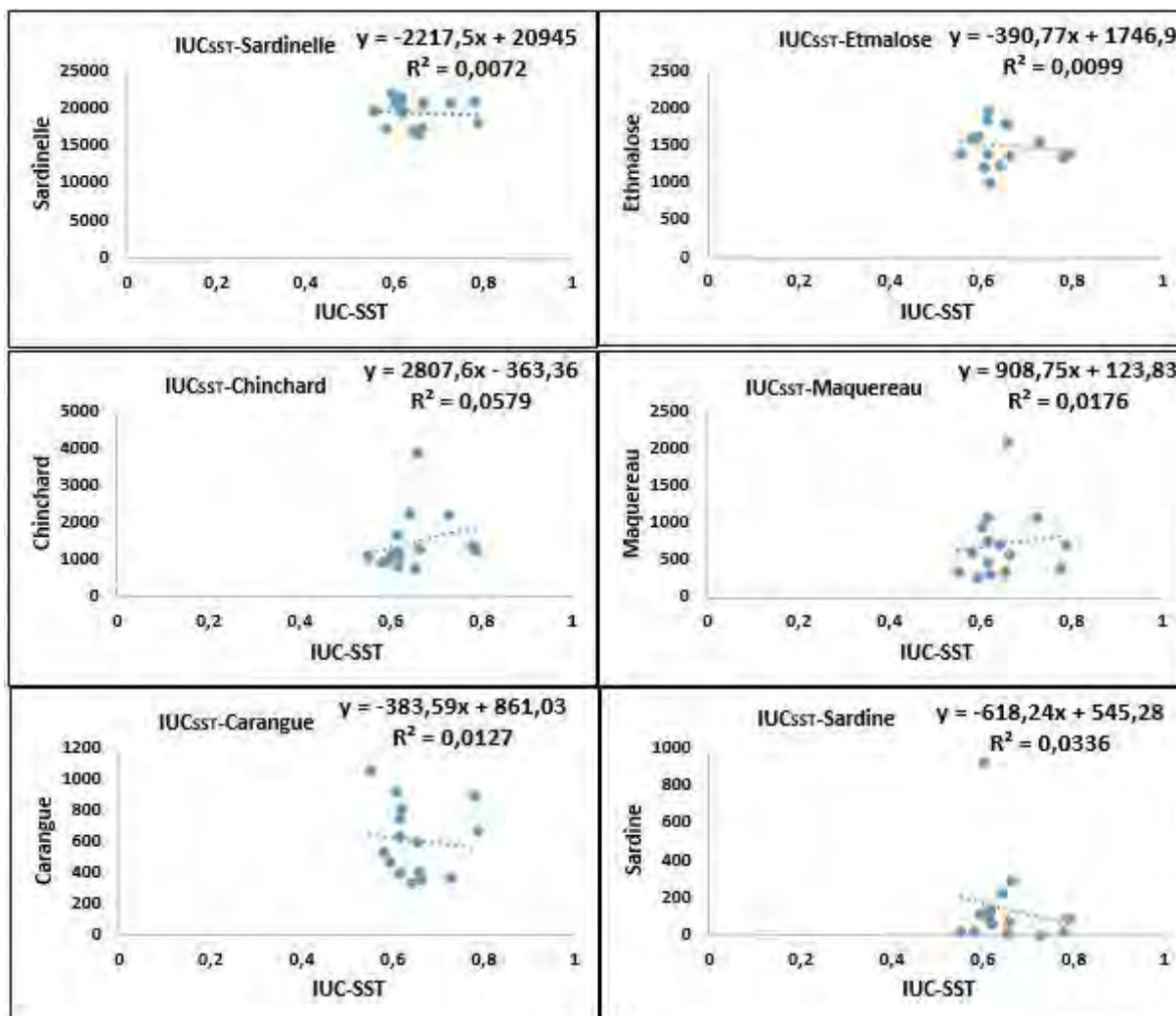
Annexe 3 : Corrélation entre PAR et débarquement moyenne annuelle



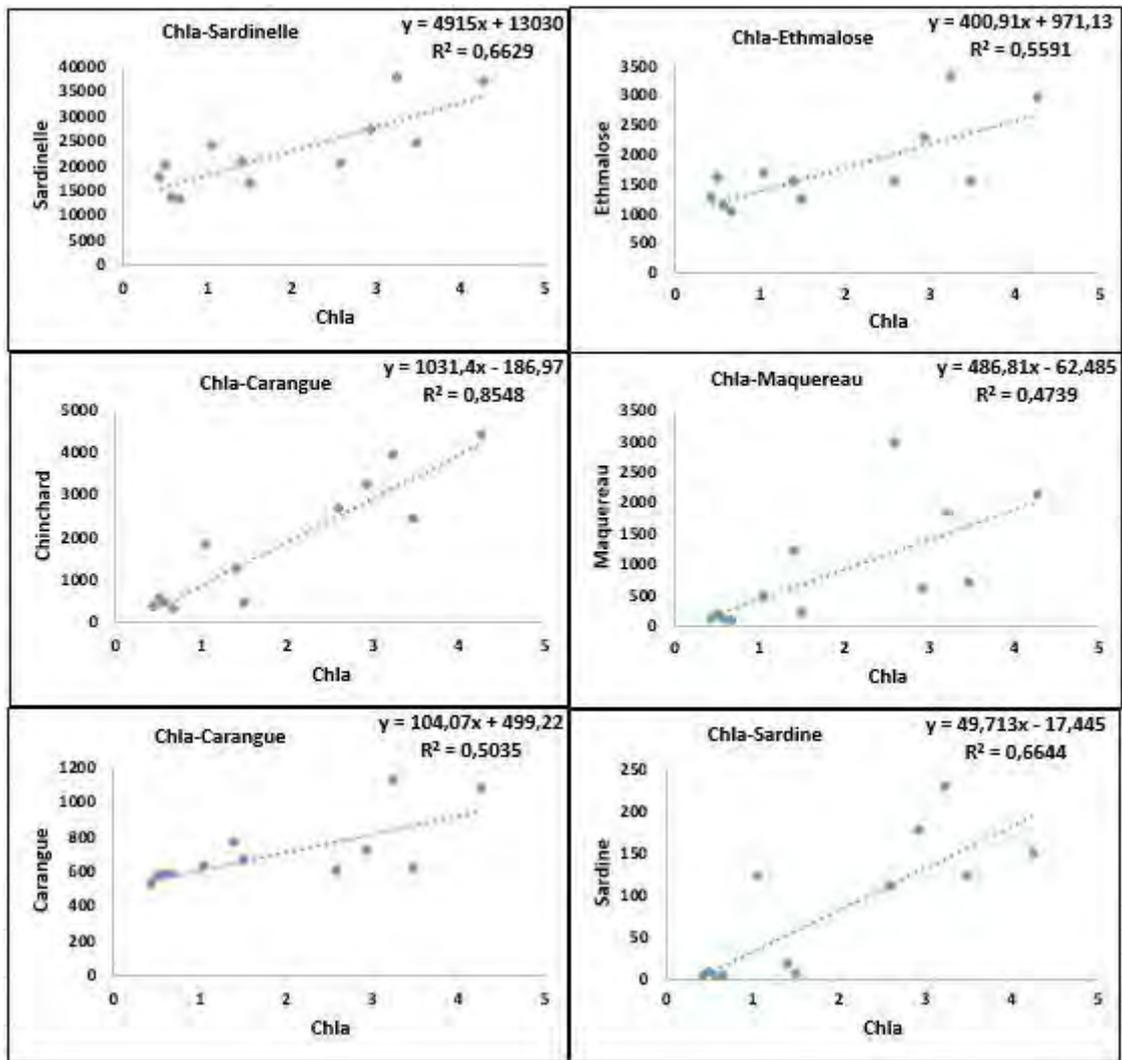
Annexe 4 : Corrélation entre IUC lié à la chlorophylle-a et débarquement moyenne annuelle



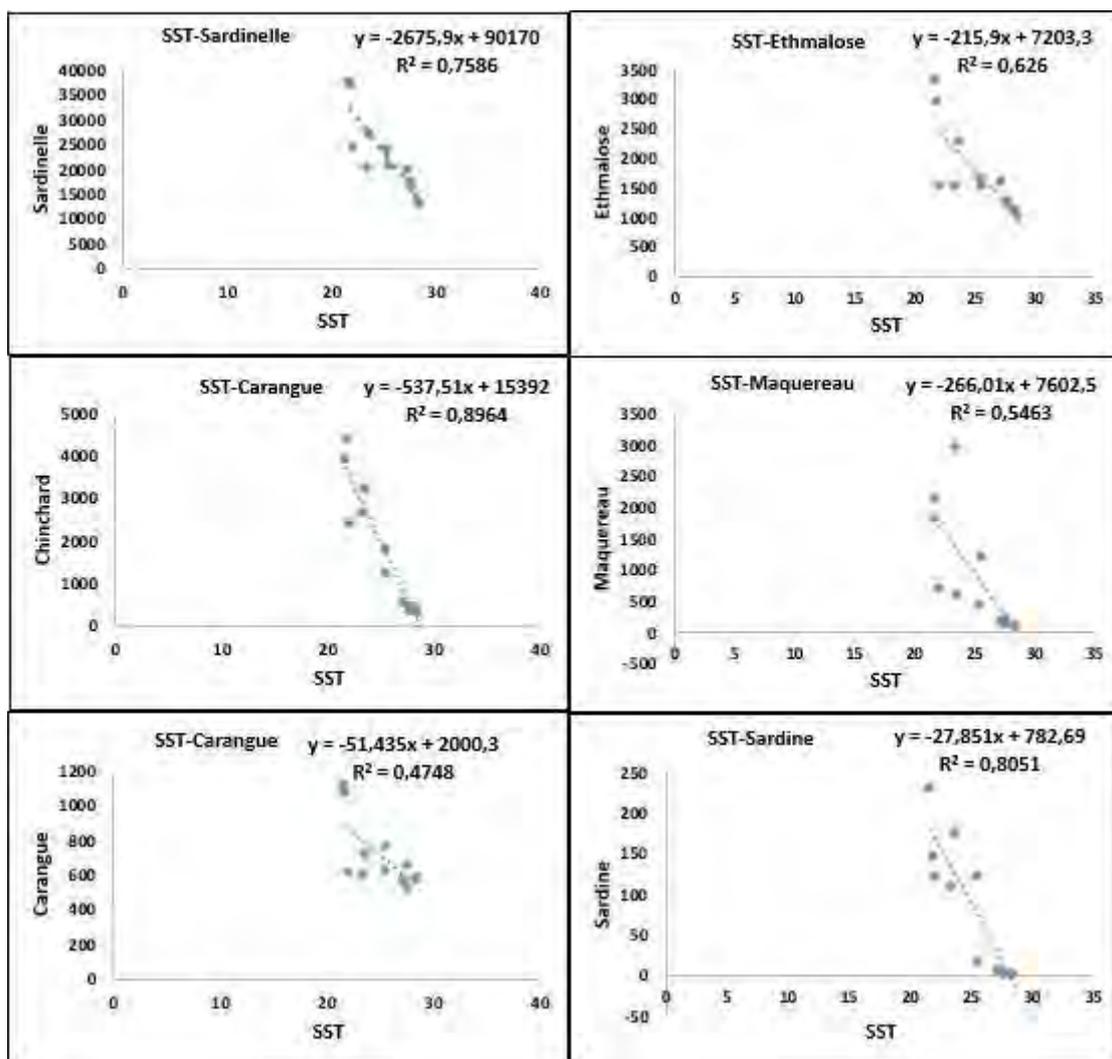
Annexe 5 : Corrélation entre l'IUC lié à la température de surface de l'océan et débarquement moyenne annuelle



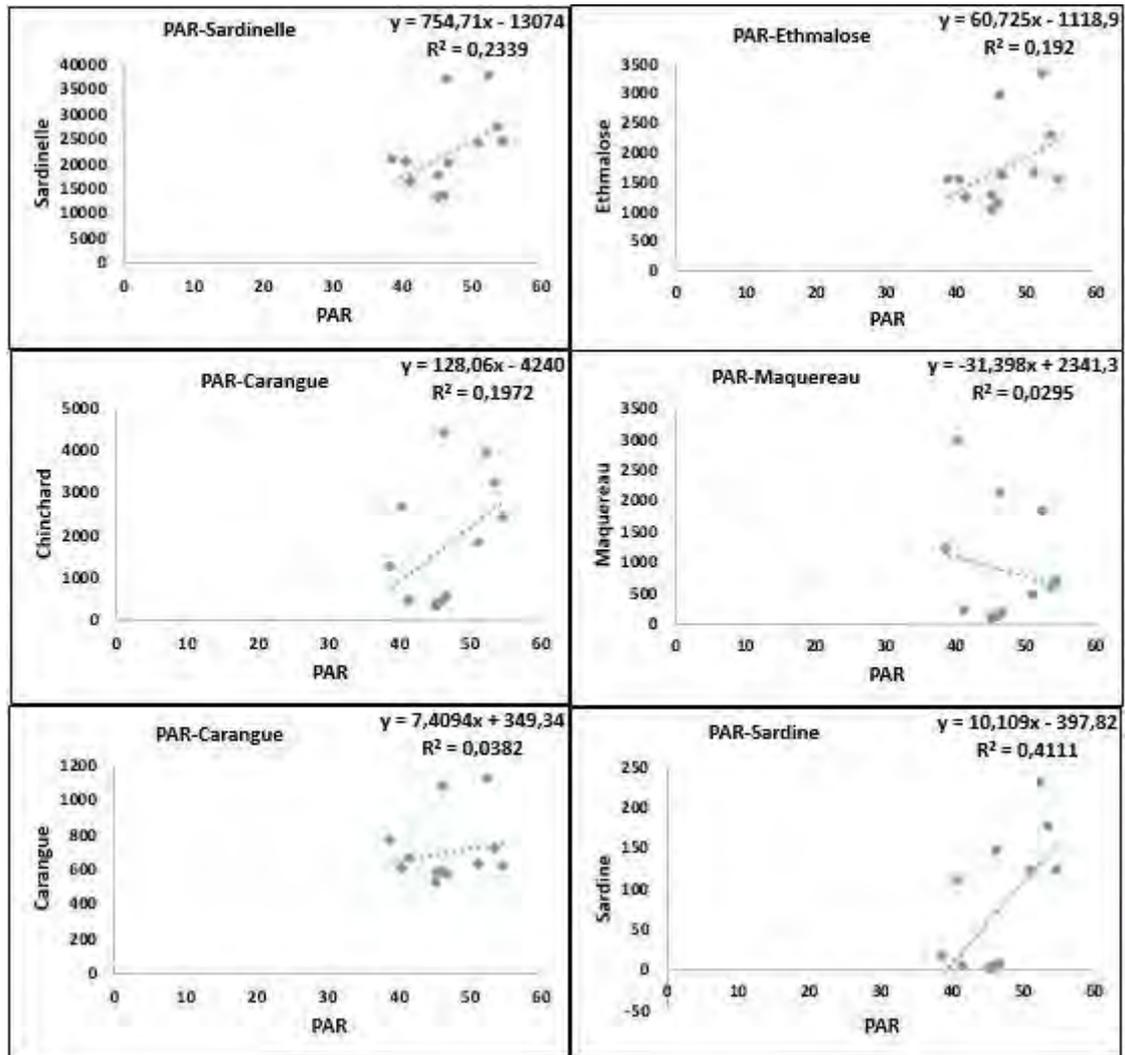
Annexe 6 : Corrélation entre chlorophylle-a et débarquement moyenne mensuelle



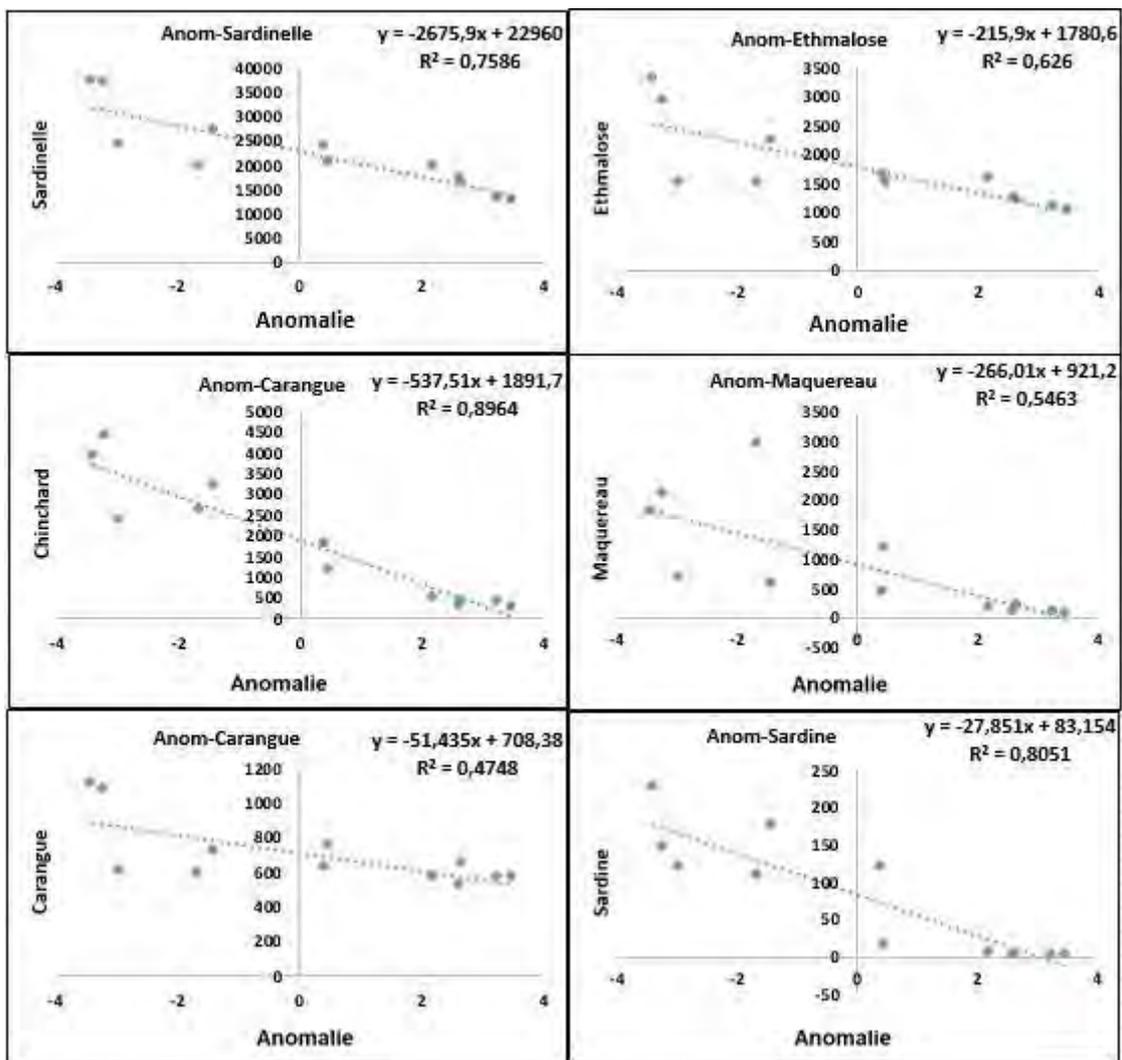
Annexe 7 : Corrélation entre température de surface de l'océan et débarquement moyenne mensuelle



Annexe 8 : Corrélation entre PAR et débarquement moyenne mensuelle



Annexe 9 : Corrélation entre l'anomalie de la température de surface de l'océan et débarquement moyenne mensuelle



Thème :

Dynamique spatio-temporelle des ressources pélagiques côtières en relation avec la chlorophylle-a et la température de surface de l'océan au niveau de la zone économique exclusive (ZEE) du Sénégal

Jury :

Président :	Malick DIOUF	Professeur, UCAD/IUPA
Membres :	Alioune FAYE	Enseignant chercheur, IUPA
	Alassane SARR	Maître Assistant, UCAD/IUPA
Superviseur :	Malick DIOUF	Professeur, UCAD/IUPA
Encadreur :	Waly NDIAYE	Maître Assistant, UCAD/IUPA
CO-encadreur :	Abdoul Aziz DIOUF, PhD, CSE	

Soutenu le : 09/08/2019

Résumé

La fréquence élevée et le caractère synoptique des données d'observation de la terre sont un outil indispensable aujourd'hui pour une appréhension globale du fonctionnement de la terre et plus particulièrement de l'océan. Les données de télédétection ont été utilisées dans cette étude qui a consisté à mettre en relation les caractéristiques biophysiques de l'océan et les prises de poissons pélagiques dans la zone économique exclusive (ZEE) du Sénégal de 2003 à 2017. La procédure adoptée a été d'une part, l'analyse de la variation interannuelle et intra-annuelle des variables satellitaires et d'indicateurs dérivés et d'autre part, l'étude de leur relation avec les débarquements de poissons pélagiques côtiers à travers la ZEE.

Les variations interannuelles et intra-annuelles ont montré que les variables satellitaires (chlorophylle-a, température de surface de l'océan et PAR) varient d'une année à l'autre et d'une saison à l'autre. Les résultats obtenus ont montré que les variables satellitaires sont directement liées, les fortes valeurs de concentrations en chlorophylle-a et du PAR correspondent aux faibles valeurs de la SST et vice versa sauf pour les années 2011, 2012 et 2015 au cours desquelles la chlorophylle-a et le PAR n'évoluent pas dans le même sens. L'analyse des variations intra-annuelles montre l'identification de deux saisons distinctes par l'anomalie mensuelle de la température de surface de l'océan : (i) une saison froide de novembre à mai correspondant à une forte concentration en chlorophylle-a et en PAR avec des prises très importantes des espèces pélagiques: (ii) et une saison chaude de juin à octobre correspondant à une faible concentration en chlorophylle-a, en PAR et une diminution des prises a été observée. Cependant, la relation moyenne annuelle des débarquements et des variables satellitaires n'est pas très importante. Les débarquements moyens annuels ont été caractérisés par l'indice d'upwelling côtier dans la ZEE du Sénégal, cet indice permettant de quantifier l'intensité de l'upwelling dans cette zone. Les années de faibles intensités d'upwelling correspondent aux années de faible concentration en chlorophylle et de forte température de surface de l'océan comme l'année 2010.

Mots clés : Chlorophylle-a, SST, PAR, ZEE, espèces pélagiques