



Mémoire
Présenté par :
TOURÉ Baba

Université de Cocody
UFR des Sciences de la
Terre
et des Ressources Minières

**Caractérisation de la position de la Zone
de Convergence Inter-Tropicale (ZCIT) et
ses conséquences sur la disponibilité des
ressources halieutiques en Afrique
occidentale**

21 Mars 2008



République de Côte d'Ivoire

Union-Discipline-Travail

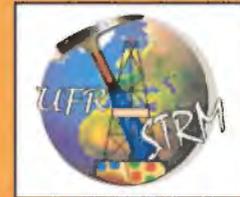
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique



Université de Cocody

N° d'ordre :

Année Universitaire 2006-2007



UFR des Sciences de la Terre
et des Ressources Minières



Centre Universitaire de Recherche
et d'Application en Télédétection
Laboratoire Associé Francophone (LAF N° 401)

MÉMOIRE

pour l'obtention du Diplôme d'Études Approfondies en
EN TÉLÉDÉTECTION ET SIG

Option : Analyse Spatiale et Environnementale

THÈME :

Caractérisation de la position de la Zone de Convergence Inter-Tropicale (ZCIT) et ses conséquences sur la disponibilité des ressources halieutiques en Afrique occidentale.

Présenté par :

TOURÉ Baba

Date de soutenance : 21 Mars 2008

Directeur de mémoire : Prof. AFFIAN Kouadio
Directeur : Dr DJAGOUA E. M'Moi Valère

Composition du jury :

Prof. AKA Kouamé,.....Président
Prof. AFFIAN Kouadio,.....Examineur
Dr DJAGOUA Eric M'Moi V.....Examineur
Dr KOUAME Koffi F.Examineur

16.02.02
TOU
14370

République de Côte d'Ivoire

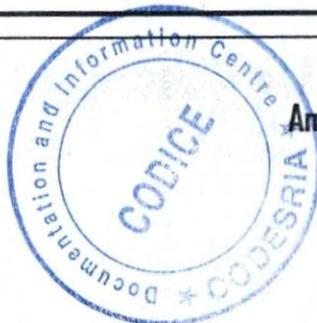
Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique



Université de Cocody

N° d'ordre :



Année Universitaire 2006-2007



UFR des Sciences de la Terre
et des Ressources Minières



Centre Universitaire de Recherche
et d'Application en Télédétection
Laboratoire Associé Francophone (LAF N° 401)

MÉMOIRE

pour l'obtention du Diplôme d'Études Approfondies en
EN TÉLÉDÉTECTION ET SIG

Option : Analyse Spatiale et Environnementale

THÈME :

Caractérisation de la position de la Zone de Convergence Inter-Tropicale (ZCIT) et ses conséquences sur la disponibilité des ressources halieutiques en Afrique occidentale.

Présenté par :

TOURÉ Baba

Date de soutenance : 21 Mars 2008

Directeur de mémoire : Prof. AFFIAN Kouadio

Co-Directeur : Dr DJAGOUA E. M'Moi Valère

Composition du jury :

Prof. AKA Kouamé.....Président

Prof. AFFIAN Kouadio.....Examineur

Dr DJAGOUA Eric M'Moi V.....Examineur

Dr KOUAME Koffi E.....Examineur

Table des matières

	Pages
Dédicaces	iv
Remerciements	v
Résumé.....	vii
Abstract.....	viii
Liste des abréviations	ix
Liste des figures	xi
Liste des tableaux	xii
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
PREMIÈRE PARTIE : GÉNÉRALITÉS SUR LA ZONE D'ÉTUDE	4
Chapitre 1 : Etude du milieu marin ivoirien	5
1-1- Littoral ivoirien : caractéristiques morphologique, hydrologique et biologique	5
1-1-1- Caractéristiques morphologique et hydrologique	5
1-1-2- Caractéristiques biologiques	8
1-1-3- Remontées d'eaux froides (<i>upwellings</i>)	9
1-1-4- Phénomène <i>El Niño</i>	10
1-2- Ressources halieutiques sur les côtes ouest africaines	11
1-2-1- Prises des pêcheries pélagiques le long des côtes ouest africaines	11
1-2-2- Poissons pélagiques dans les eaux ivoiriennes	12
Conclusion partielle.....	12
Chapitre 2 : Dynamique et caractéristiques de la ZCIT au dessus de l'Afrique.....	15
2-1- Définition et caractéristiques de la Zone de Convergence Intertropicale (ZCIT)	15
2-1-1- Définition de la ZCIT	15
2-1-2- Caractéristiques de la ZCIT au dessus de l'Afrique	16
2-2- Dynamique et effets de la ZCIT sur le temps et sur l'écosystème marin	17

2-2-1- Dynamique de la ZCIT	17
2-2-2- Effets de la ZCIT sur le temps et l'écosystème marin	18
Conclusion partielle	19
DEUXIÈME PARTIE : MATÉRIEL ET MÉTHODES	20
Chapitre 3 : Matériel et méthodologie.....	21
3-1- Données et matériel utilisés.....	21
3-1-1-Origine et présentation des données utilisées.....	21
3-1-1-1- Données de précipitations.....	21
3-1-1-2- Données d' <i>El Niño</i>	26
3-1-1-3- Données de pêche.....	26
3-1-1-4- Données de température de surface de la mer	26
3-1-2- Matériel informatique	28
3-1-2-1- Logiciel de cartographie « Surfer 8.0 »	28
3-1-2-2- Tableur Excel	28
3-1-2-3- Logiciel « ArcView 3.2 ».....	29
3-2- Méthodologie de traitement des données	29
3-2-1- Réalisation de la Ligne de Convergence Inter Tropicale (LCIT)	29
3-2-2- Usage des données de température de surface de la mer (TSM).....	31
3-2-3- Élaboration du graphique de l'indice MEI	32
Conclusion partielle.....	32
TROISIÈME PARTIE : RÉSULTATS, INTERPRÉTATION ET DISCUSSIONS	33
Chapitre 4 : Résultats et interprétation	34
4-1- Présentation des résultats et interprétation.....	34
4-1-1-Validation des données de précipitations	34
4-1-2- Migrations saisonnières de la ZCIT et son influence sur la TSM	36
4-1-3- Variabilité spatiale de la TSM et le déplacement de La ligne de Convergence Inter-Tropicale (LCIT).....	37
4-1-4- Relation entre l'indice d' <i>El Niño</i> multivarié et TSM	41
4-1-5- Variabilité des prises de <i>Sardinella Aurita</i> et influence des paramètres océanique et climatique	43

4-2- Discussion des résultats	44
4-2-1- Variabilités temporelle et spatiale de la TSM et la migration de la ZCIT.....	44
4-2-2- Relation entre la disponibilité de la <i>Sardinella aurita</i> et la position de la ZCIT ...	46
Conclusion partielle	46
CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES	47
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	49

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

Dédicaces

À mes Parents,

sources inépuisables d'amour et de tendresse, qui m'ont inculqué la passion du savoir. Ils ont toujours éclairé ma voie par leurs conseils et leur vertu. Aucune dédicace ne saurait exprimer mon amour, mon affection, mon estime et mon profond respect. Je ne saurais et je ne pourrais jamais les remercier assez pour tous les sacrifices consentis pour mon éducation et mon bien être. Que DIEU les garde, les protège et leur accorde longue vie.

À mon oncle,

KOUADIO Yao, pour son éducation emprunte de rigueur et d'abnégation qui m'a permis d'avancer jusqu'à ce stade de mes études. J'espère que ce travail lui donnera entière satisfaction. Que le Tout Puissant lui accorde une longue vie.

À mon fils,

TOURE Nangnienséman Jean-Chrys Ruben, né le 24 février 2007, pour lui témoigner ma profonde affection.

À TOUS CEUX QUI ME SONT CHERS.

Remerciements

Avant de présenter les résultats de nos recherches, nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué à l'élaboration de ce travail en apportant à tous les niveaux leurs aides, leurs appuis et leurs conseils.

Nous ne saurions commencer ces remerciements, sans évoquer le nom de celui par qui et pour qui toute chose existe : le DIEU Tout Puissant. Il nous a accordé la santé et la sagesse durant tous les travaux qui ont conduit au présent mémoire.

Nous tenons à remercier le Professeur AFFIAN Kouadio, Directeur du CURAT, Encadreur de ce mémoire, pour, avoir accepté mon recrutement au Troisième Cycle à l'EDAT. Nous le remercions vivement pour avoir dirigé ce mémoire, pour son soutien et ses conseils qui ont été nombreux et pertinents.

Nous remercions également le Professeur BIEMI Jean, Doyen de l'UFR-STRM, qui nous a honoré et entouré d'une équipe multidisciplinaire d'Enseignants-Chercheurs très compétents. Nous lui assurons toute notre grande considération et notre profond respect. Nous réitérons nos expressions de reconnaissance pour la gentillesse qu'il a manifesté à notre égard et pour l'honneur qu'il a fait en acceptant de nous faire bénéficier d'un cadre de travail adéquat.

Que Docteur DJAGOUA Eric M'Moi Valère, Co-Encadreur de ce présent mémoire, soit assuré de nos sincères remerciements. Il a beaucoup œuvré pour la mise en valeur de notre travail pendant la réalisation de cette étude. Nous lui adressons toute notre reconnaissance pour la confiance qu'il a mis en nous pour nous confier un tel sujet qui est d'ampleur et d'intérêt nationaux. Nous lui adressons notre profonde gratitude pour son encadrement scientifique.

Nos remerciements vont à l'endroit du Conseil pour le Développement de la Recherche en Sciences Sociales en Afrique (CODESRIA), pour avoir accepté ma candidature à sa session 2007 pour le Programme de Petites Subventions pour la Rédaction de Mémoires et de Thèses. Nos vifs remerciements à Madame Virginie NIANG, Responsable du Département Formation, Bourses et Subventions. Nous lui adressons notre profonde gratitude.

Que Monsieur DJE Kouakou Bernard, Sous-Directeur à la SODEXAM, soit assuré de nos sincères remerciements. Il a mis à notre disposition les données de pluviométries des différentes stations synoptiques nationales.

Nos remerciements vont aussi à l'endroit de tous les Enseignants-Chercheurs de l'UFR-STRM pour leurs encouragements durant ses travaux de recherches. Que Professeur JOURDA Jean Patrice Roger, Professeur POTHIN Koffi Blé Kabran, Professeur SOMBO Boko Célestin, Professeur AKA Kouamé, Professeur DIGBEHI Zéli Bruno, Professeur SORO Nagnin, Docteur KOUAME Koffi Fernand, Docteur BACHIR Saley Mahaman, Docteur OGA YEI Marie Solange, et Docteur MONDE Sylvain, soit assurés de toute notre gratitude et qu'ils sachent que nous leur sommes reconnaissant pour les conseils judicieux, constructifs et pertinents que nous avons eues l'honneur de recevoir de leur part.

Nous remercions également tous les étudiants de DEA Télédétection et SIG de la promotion EDAT 8 (2006-2007) et tous les Doctorants au sein du CURAT et de l'UFR-STRM pour leur sympathie, leur assistance et leur soutien moral. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde reconnaissance.

Nous remercions vivement tout le personnel administratif et technique du CURAT et de l'UFR-STRM, en particulier Messieurs N'GONIAN Victor, ANGAMAN Ahoussi Joseph, KOUADIO Lambert, KOUAKOU Fiéni et KOUAME Kan, Mesdames TCHOUM Clémentine, FOFANA Fanta, NANIHIO Christelle, DJE LOU Viviane, pour la bonne compréhension, pour leurs encouragements, pour leurs soutiens inlassables et l'ambiance fraternelle et aussi pour leurs multiples services rendus au cours de cette étude.

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, se sont intéressées à notre travail, et qui ont contribué à sa réalisation, en espérant qu'elles puissent trouver dans ce mémoire de recherches, les explications utiles et pertinentes pour leurs propres travaux.

Résumé

Cette étude a pour but de contribuer à la connaissance des interactions qui affectent les ressources marines vivantes et en particulier les espèces pélagiques de l'atlantique. Nous nous sommes intéressés principalement à la distribution temporelle des ressources pélagiques et aussi au déplacement latitudinale de la Zone de Convergence Inter-Tropicale (ZCIT).

Les résultats ont montré que les anomalies interannuelles de température dans le Golfe de Guinée sont liées à la position de la ZCIT qui est, elle-même en relation avec le régime des pluies sur le continent africain.

La position latitudinale de la ZCIT a été appréciée grâce au jeu de données du capteur PR (Precipitation Radar) du satellite TRMM, par le biais de l'interface TOVAS (TRMM Online Visualisation and Analysis System). Le traitement des données du capteur PR et de celui de AVHRR de NOAA ont permis de:

- démontrer la position latitudinale de la ZCIT,
- déceler le lien entre la TSM et la présence des espèces pélagiques,
- d'établir la relation entre la ZCIT, la TSM et les ressources pélagiques.

La comparaison des prises, soit respectivement de 31563,83 tonnes (1999-2000, période *La Niña*) et de 20009,59 tonnes (1997-1998, période *El Niño*) ont confirmé les grandes prises pendant les saisons froides.

L'un des principaux résultats acquis dans cette étude est d'avoir établi une relation entre la ZCIT, la TSM et la disponibilité des ressources pélagiques dans l'environnement marin ivoirien.

En effet, la migration de la ZCIT en certains moments de l'année, favorise les remontées d'eaux froides contribuant significativement à l'enrichissement du milieu marin. Ces résultats sont importants compte tenu de l'importance du rendement des pêches des espèces, en particulier la *Sardinella aurita* dans l'économie de plusieurs pays bordant le Golfe de Guinée. Une étude plus fine et régulière de la côte Ouest africaine par l'imagerie satellitaire apparaît nécessaire pour comprendre et modéliser afin de mieux connaître les poissons pélagiques dans la chaîne alimentaire des écosystèmes d'*upwelling*.

Mots clés : ZCIT, ressources pélagiques, AVHRR, TRMM, *upwelling*, Afrique occidentale.

Abstract

The study contributes to the knowledge of interactions that affect living marine resources and in particular Atlantic pelagic species. We are mainly interested ourselves in the temporal distribution of pelagic resources and also to the latitudinal movement of the Inter Tropical Convergence Zone (ITCZ).

Results have shown that the inter-annual anomalies of temperature in the Gulf of Guinea are linked to the ITCZ's position that itself is in relation with rains regulations on the African continent.

This latitudinal position of the ITCZ has been appreciated thanks to the Precipitation Radar (PR) data by the way of satellite TRMM Online Visualisation and Analysis System (TOVAS) interface. The PR and the AVHRR from NOAA data processing has permitted to:

- prove the ITCZ latitudinal position,
- decelerate the link between the SST and the presence of pelagic species,
- establish relationship between the ITCZ, the SST and pelagic resources.

The comparison of fish captures respectively 31,563.83 tons (1999-2000, during *La Niña*) and 20,009.59 tons (1997-1998, during *El Niño*) have confirmed high fish captures during colder seasons.

One of the main results acquired in that study is to establish a relationship between the ITCZ, the SST and the availability of pelagic resources in the ivorian marine environment.

In fact, the migration of the ITCZ in certain moments of the year favours ice waters raising, contributing significantly to the enrichment of the marine circle. These results are important taken into account the importance of fishing result of species, in particular the *Sardinella aurita* in the economy of many countries bording the Gulf of Guinea. A farthermost and regular study of West African coast by satellitary picturing, necessary appears necessary to understand and to shape, in order to order to better know pelagic fishes in the upwelling food supply of ecosystems.

Key words: ITCZ, pelagic resources, AVHRR, TRMM, upwelling, west Africa.

Liste des abréviations

AMMA : **A**nalyse **M**ultidisciplinaire de la **M**ousson **A**fricaine

AVHRR: **A**dvanced **V**ery **H**igh **R**esolution **R**adiometer

CCNE: **C**ontre **C**ourant **N**ord **E**quatorial

CCSE: **C**ontre **C**ourant **S**ud **E**quatorial

CURAT : **C**entre **U**niversitaire de **R**echerche et d'**A**pplication en **T**élé**d**étection

EDAT : **E**cole **D**octorale **A**fricaine de **T**élé**d**étection

ENOA : **E**l Niño/ **O**scillation **A**ustrale

ENSO : **E**l Niño **S**outhern **O**scillation

FAO : **F**ood and **A**griculture **O**rganisation (Fonds des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture)

FIT : **F**ront **I**nter-**T**ropical

hPa : **h**ecto**P**ascal

ITCZ : **I**nter **T**ropical **C**onvergence **Z**one

LCIT : **L**igne de **C**onvergence **I**nter-**T**ropicale

MDPA : **M**inistère **d**es **P**roductions **A**nimales

MEI: **M**ultivariate **E**NSO **I**ndex

NOAA: **N**ational **O**ceanographic and **A**tmospheric **A**dministration

PR : **P**recipitation **R**adar

SCE: **S**ous **C**ourant **E**quatorial

SODEXAM: **S**ociété de **D**eveloppement d'**E**xploitation **A**éroportuaire-**A**éronautique **M**étéorologique

STRM : **S**ciences de la **T**erre et des **R**essources **M**inières

TMI : **T**RMM **M**icrowave **I**mager

TOVAS : **T**RMM **O**nline **V**isualisation and **A**nalysis **S**ystem

TRMM : **T**ropical **R**ainfall **M**easuring **M**ission

TSM : **T**empérature de **S**urface de la **M**er

UFR : **U**nité de **F**ormation et de **R**echerche

VIRS : **V**isible and **I**nfra**R**ed **S**canner

W: West

ZCIT : Zone de Convergence Inter-Tropicale

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

Liste des figures

	Pages
Figure 1: Localisation du littoral ivoirien par rapport au golfe de Guinée	6
Figure 2 : Direction des courants superficielles par saison	8
Figure 3 : Mécanisme de mise en place de l' <i>upwelling</i>	9
Figure 4: Circulation tropicale du vent en surface (a) en juillet (b) en janvier.....	16
Figure 5: Position extrême du F.I.T. en CI	19
Figure 6: Principaux types de nuages suivant leur altitude de base	22
Figure 7: Géométrie de mesure des différents capteurs sur le satellite TRMM	24
Figure 8 : Fenêtre de l'interface TOVAS	25
Figure 9: Schéma récapitulatif des opérations sur Surfer	30
Figure 10 : Fenêtre de digitalisation de la ligne de convergence	31
Figure 11: Comparaison des données de précipitation du capteur PR et <i>in situ</i>	35
Figure 12 : Déplacement saisonnière selon les latitudes de la LCIT de 1997-2000 au niveau de la Côte d'Ivoire	36
Figure 13: Variabilité spatiale de la TSM du golfe de Guinée et de la position saisonnière de LCIT basée sur la distribution climatique des précipitations (Janvier-Juin).....	39
Figure 14: Variabilité spatiale de la TSM du golfe de Guinée et de la position saisonnière de LCIT basée sur la distribution climatique des précipitations (Juillet-Décembre).....	40
Figure 15: Variabilité temporelle de l'indice MEI de 1950-2006	41
Figure 16: Approche comparative de la TSM pendant les évènements <i>El Niño</i> (1997/1998) et <i>La Niña</i> (1999/2000).....	42
Figure 17: Variabilité inter-annuelle (1997-2000) des moyennes spatiales de la TSM du littoral de la Côte d'Ivoire.....	43
Figure 18 : Variation des prises de <i>Sardinella aurita</i> de 1997 à 2000	44

Liste des tableaux

	Pages
Tableau I: Production de produits halieutiques en Côte d'Ivoire de 1990 à 1999	13
Tableau II: Espèces ou catégories débarquées par les sardiniers industriels en 1999 aux ports de pêches ivoiriens (Djagoua, 2003).....	13
Tableau III: Caractéristiques des capteurs embarqués sur le satellite TRMM	23
Tableau IV: Fréquence, polarisation et résolution au sol des canaux du satellite TRMM.	23
Tableau V : Prises en tonne mensuelle de la <i>S. aurita</i> de 1997 à 2000	26
Tableau VI : Caractéristiques spectrales des capteurs AVHRR/3	28
Tableau VII: Différence entre les données <i>in situ</i> et satellitaires	34

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'intérêt socio-économique grandissant des pêcheries, confère à la recherche halieutique un rôle déterminant dans les efforts des gouvernements visant à déterminer les potentialités de ces ressources pour en tirer de meilleurs profits tout en garantissant une gestion durable. La conférence internationale sur la contribution durable de la pêche à la sécurité alimentaire, qui s'est tenue à Kyoto, au Japon, en décembre 1995, a marqué son accord pour "mener une évaluation intégrée de la pêche en vue d'estimer les possibilités et de renforcer la base scientifique nécessaire à la gestion de multiples espèces et des écosystèmes" (Christensen et *al.*, 1997).

Dans les régions côtières du Golfe de Guinée et les régions Nord ouest africaine (Sénégal, Mauritanie et Sahara occidental), les ressources halieutiques en particulier les petits pélagiques, représentent sur le plan quantitatif, les principales ressources exploitées. Par illustrations les débarquements de ces espèces au niveau des régions ouest africaine varient entre 600 000 à 1 400 000 tonnes par an jouant ainsi un rôle social et économique majeur en dépit de leur faible valeur marchande (Ould Taled Ould Sidi, 2005).

Ces espèces pélagiques sont aussi connues pour leur instabilité liée aux fluctuations environnementales (Cury et Roy, 1987 ; Pezennec et *al.*, 1993 ; Djagoua, 2003). La gestion de l'exploitation de ces espèces nécessite, par conséquent, la connaissance du changement des conditions environnementales dans les écosystèmes marins africains, à savoir les écosystèmes d'upwellings côtiers. Il convient en d'autres termes de mieux suivre le système physique à partir duquel sont caractérisées les résurgences côtières ou *upwellings*.

Les températures de surface des eaux permettant de catégoriser les résurgences côtières sur certains secteurs de côte de l'Afrique occidentale, bien des phénomènes plus ou moins concomitants, climats et variations biologiques, ont été mis en évidence de façon scientifique (Berrit, 1973).

En Afrique de l'Ouest, se développent des *upwellings* saisonniers ou permanents (Wooster et *al.*, 1976 ; Roy et *al.*, 1989) qui modifient profondément les conditions des écosystèmes côtiers. A l'échelle saisonnière, se succèdent des périodes de forts enrichissements caractérisées par une production intense des différents niveaux de la chaîne trophique et des périodes où la production est fortement ralentie. Par exemple, du Maroc au Sénégal, le moteur des upwellings est le vent (Wooster et *al.*, 1976 ; Roy et *al.*, 1989).

En plus, une variabilité importante de l'intensité des résurgences existe d'une région à l'autre. Devant les côtes ivoiro-ghanéennes et congo-angolaises, des ondes internes générées dans la partie ouest de l'Atlantique tropical sont en partie responsables du refroidissement observé à la côte (O'Brien et al., 1978 ; Servain et al., 1982 ; Roy et al., 1989).

En effet, le déplacement saisonnier de l'anticyclone des Açores, de la dépression saharienne et de la ZCIT déterminent le balancement des alizés et donc de la position et de l'intensité des upwellings le long de la côte ouest africaine (Wooster et al., 1976). La région de l'océan Atlantique tropical est soumise à un régime d'alizés dont les variations saisonnières conditionnent celles de l'océan (AMMA, 2004). A cette variabilité saisonnière, on assiste également à une forte modification des gradients méridiens, en relation avec les upwellings (AMMA, 2004). L'on assiste à une dynamique climatique ayant en ces lieux de fortes corrélations avec l'évolution des espèces, la société et la variabilité de la pêche (FAO, 2004).

La variabilité saisonnière est le plus souvent l'évènement majeur qui bouleverse le paysage hydroclimatique et par ricochet tous les autres processus en aval (Ould Taled Ould Sidi, 2005).

La présente étude vise à mettre en évidence les facteurs clés responsables de la grande variabilité dans le temps et dans l'espace de la disponibilité du stock halieutique.

Pour atteindre cet objectif nous mobilisons, un faisceau de données aussi variées que les statistiques de pêches, les données satellitaires, les données climatiques et des données environnementales. Nous effectuerons ensuite des corrélations de causalité entre la position de la ZCIT et d'autres variables climatiques.

De plus pour cette étude, nous voulons apporter une contribution à la compréhension des processus physiques des écosystèmes marins. Il s'agit donc de trouver la relation existante entre la disponibilité des stocks halieutiques et les différentes positions de la ligne de Convergence Intertropicale (LCIT) durant la période 1997-2000 à l'aide des données pluviométriques en Afrique de l'Ouest.

Aussi, un certain nombre de questions nous ont-ils permis d'atteindre l'objectif général, à savoir :

- quelle est la dynamique de la Ligne de Convergence Intertropicale (LCIT) au dessus de l'Afrique ?
- quelle est l'influence de la Zone de Convergence InterTropicale (ZCIT) sur la variabilité océanique ?
- et enfin quels sont les effets de ces fluctuations environnementales sur les ressources halieutiques ?

Ce document s'articulera autour de trois parties. Dans la première partie, nous présenterons une synthèse bibliographique comprenant les généralités sur la zone d'étude et sur la migration de la ZCIT au dessus de l'Afrique. La deuxième partie, mettra l'accent sur le matériel, les méthodes. La troisième partie présentera les principaux résultats, leurs analyses, suivi d'une discussion. Une conclusion générale, les perspectives et les références bibliographiques mettront fin au mémoire.

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

PREMIÈRE PARTIE

GÉNÉRALITÉS SUR LA ZONE D'ÉTUDE

CODESRIA BIBLIOTHÈQUE

CHAPITRE 1 : ÉTUDE DU MILIEU MARIN IVOIRIEN

Ce chapitre replace le littoral ivoirien, dans son cadre physique. Nous rappellerons d'une part, la géomorphologie du littoral et d'autre part, les zones de pêches de l'écosystème marin du Golfe de Guinée.

1-1- Littoral ivoirien : caractéristiques morphologique, hydrologique et biologique

1-1-1- Caractéristiques morphologique et hydrologique

Le littoral ivoirien ne (figure 1) représente qu'une petite partie du grand écosystème marin du Golfe de Guinée, situé en Afrique de l'Ouest. Il est limité par le cap des Palmes (Frontière avec le Libéria) à l'Ouest et par la frontière avec le Ghana (Cap des Trois Pointes), à l'Est. Il s'étend ainsi sur près de 600 km. Le milieu côtier est caractérisé par un vaste système de lagunes (Le Loeuff et Marchal, 1993 *in* Djagoua, 2003).

La vaste courbe que constitue ce littoral fait du milieu marin ivoirien, un écosystème largement ouvert. La bathymétrie du plateau continental ivoirien se caractérise par des profondeurs qui augmentent linéairement de la côte vers le large suivant l'allure du trait de côte. Certaines irrégularités sont toutefois à noter. Entre le cap des Palmes et le cap des Trois Pointes où les courbes bathymétriques montrent la présence de deux failles transformantes sous-marines, la faille de Saint Paul à l'Ouest et la faille de la Romanche à l'Est (Blarez, 1986 *in* Aka, 1991; Affian, 1986 *in* Djagoua, 2003).

Il convient de noter la présence de l'importance système lagunaire côtier constitué par les lagunes Ngny (fresco), Lahou, Ebrié et Aby.

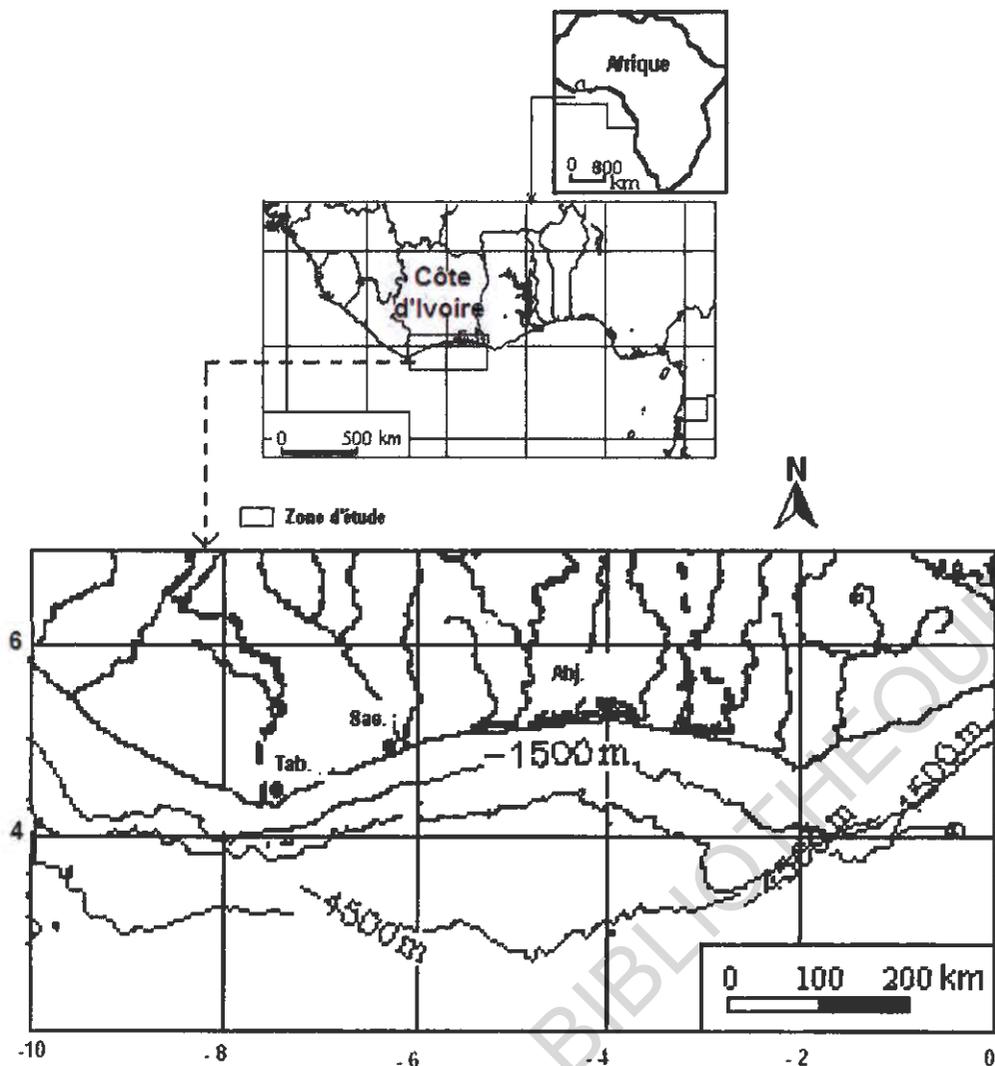


Figure 1: Localisation du littoral ivoirien par rapport au golfe de Guinée.

Les études concernant le climat tendent aujourd'hui non plus à décrire un état global d'équilibre, défini par la stationnarité des séries chronologiques, mais à réaliser une analyse à caractère dynamique du système fluide de l'atmosphère régulièrement influencé par son environnement. Servat *et al.* (1997) situent globalement le début du déficit pluviométrique en Côte d'Ivoire entre 1965 et 1975. Sur les limites des aires pluviométriques en Afrique tropicale, le seuil de 1500 mm se révèle apte à délimiter l'Afrique tropicale pluvieuse (Leroux, 1983 ; Brou, 1997). La pluviométrie joue un rôle très important en hydrologie car les crues, les étiages et la salinité de la masse d'eau de surface de la mer sont influencées par les pluies et les sécheresses (Morlière et Rébert, 1972 *in* Abé, 2005).

Les études de courantologie effectuées sur le plateau continental (Varlet, 1958 ; Le Floch, 1970 ; Lemasson et Rebert, 1968, 1973 *in* Mondé, 1997) ont montré l'existence d'un courant

superficiel ou “courant de Guinée” orienté vers l’Est et d’un sous-courant ou contre-courant de Guinée orienté vers l’Ouest. Donc, le régime hydrologique est simple et est dominé par deux systèmes de courant.

Le courant Guinéen qui circule dans la direction Est en surface (0 à 30 mètres de profondeur) avec des vitesses moyenne et maximale de l’ordre 0,26 et 1,03 mètres par seconde respectivement; et le sous-courant ivoirien orienté en direction de l’Ouest sous la surface de l’océan avec une vitesse moyenne de 0,21 mètres par seconde (Lemasson et Rébert, 1973 ; Colin et Bakayoko, 1984 ; Colin, 1988). Ces courants océaniques, générés par les forces thermohalines trouvent leur origine dans les inégalités de densité de l’eau de mer dues aux différences de température et de salinité de la masse océanique mondiale. Le courant de Guinée est l’une des principales causes des remontées d’eaux observées dans le Golfe de Guinée en général. Le sous-courant ivoirien atteint son débit moyen maximum en juin et son débit moyen minimum entre janvier et mars, tandis que le courant Guinéen atteint son débit maximum en avril et mai. Les deux systèmes de courants sont permanents et leurs mouvements en surface peuvent entraîner une dérive littorale importante. Néanmoins, leur circulation en surface (figure 2) est variable dans l’espace et dans le temps (Colin, 1988 ; Abé, 2005) :

- le courant Guinéen s’étend un peu plus au sud de janvier à mars et en octobre, bien que sa vitesse et son intensité décroissent toujours rapidement. Des inversions verticales sont produites entre mars et octobre probablement dues au déplacement vers le Sud du courant Guinéen et la remontée du sous-courant ivoirien qui le remplace ;
- le courant Guinéen atteint son intensité maximale entre mai et août et entre décembre et février. La vitesse du sous-courant ivoirien est élevée de juillet à novembre et entre février et avril.

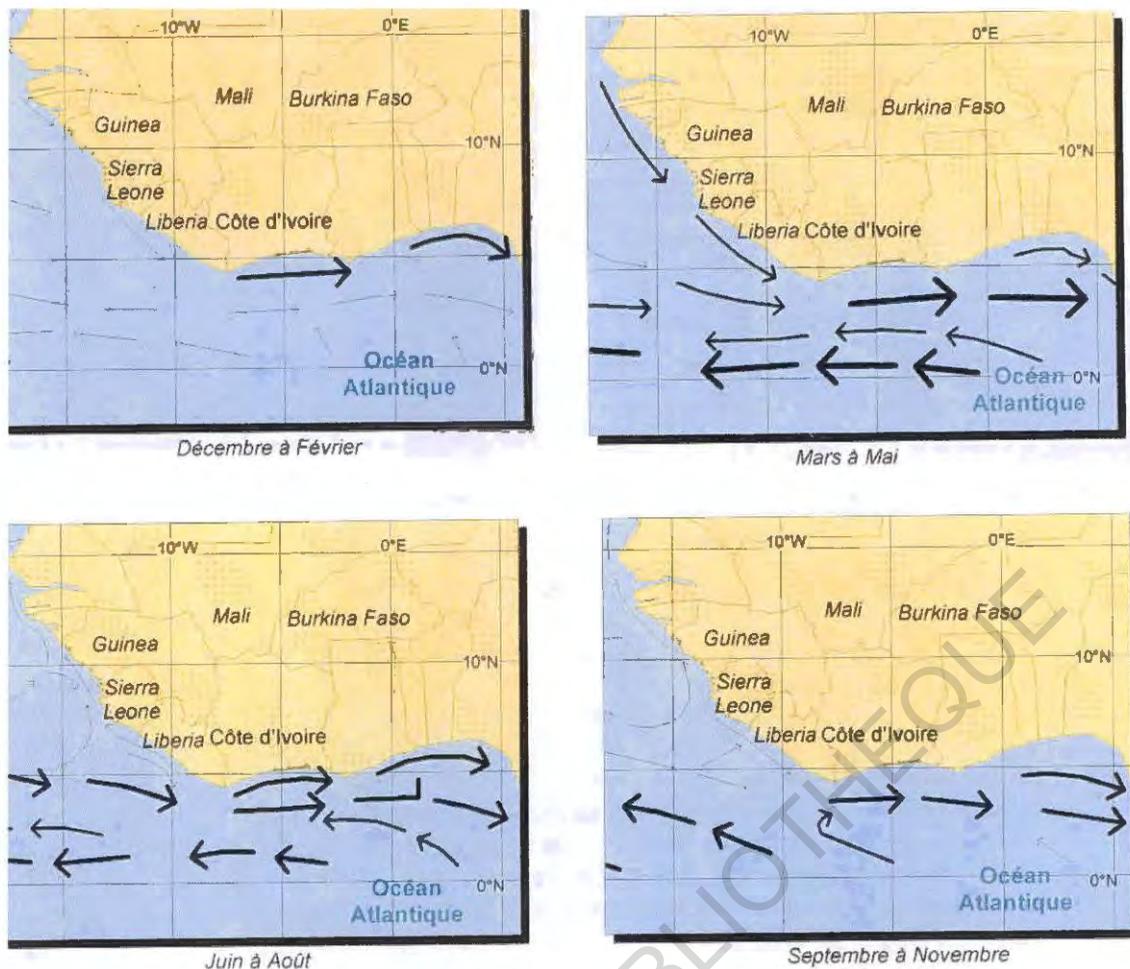


Figure 2 : Direction des courants superficiels par saison (Hydrographer of the Navy, 1982 ; Ranger oil, 2002 in Abé, 2005)

1-1-2- Caractéristiques biologiques

En règle générale, les milieux biologiques marins se divisent en deux grandes catégories : le milieu pélagique, qui comprend les organismes vivants en eau libre, en dehors des rives et du fond et le milieu benthique comprenant les organismes vivants près du fond ou enfouis dans les sédiments (White et Johns, 1997 in Djagoua, 2003). La communauté pélagique, peuple du pelagos vit en pleine eau, libre de tout contact avec le fond, même pour sa nourriture. Il existe deux formes :

- le necton, animaux pélagiques ayant une mobilité propre et pouvant se déplacer malgré les courants ;
- le plancton, organisme se laissant entraîner par les courants. On distingue le zooplancton (animaux protozoaires, crustacés, mollusques, etc., à la répartition verticale et irrégulière) et le phytoplancton (diatomées, péridiniens, etc., surtout jusqu'à environ 30 m de profondeur).

Dans les eaux ivoiriennes, l'abondance du phytoplancton varie de façon saisonnière, selon la disponibilité des sels nutritifs et du régime lumineux. En effet, l'abondance et la succession des espèces phytoplanctoniques sont influencées dans le milieu marin ivoirien par les forces hydrodynamiques, telles que les remontées d'eau et les décharges des fleuves. Ainsi, pendant les périodes d'*upwelling*, phytoplanctons et zooplanctons évoluent en sens inverse ; le zooplancton croît au dépend du phytoplancton développé plus tôt. Et pendant les périodes chaudes et dans les zones d'équilibres (ou oligotrophes), les deux espèces évoluent dans le même sens. Dès lors, tout retard dans le développement de la biomasse phytoplanctonique a des conséquences sur celui de la biomasse zooplanctonique.

1-1-3- Remontées d'eaux froides (*Upwellings*)

Entre mi-mars et mi-juin, les alizés du sud-ouest sont les générateurs de remontées d'eaux froides. Ce sont des courants d'eau océanique profonde qui remontent en surface et compensent le départ vers l'Est des eaux superficielles sous l'action des vents (figure 3).

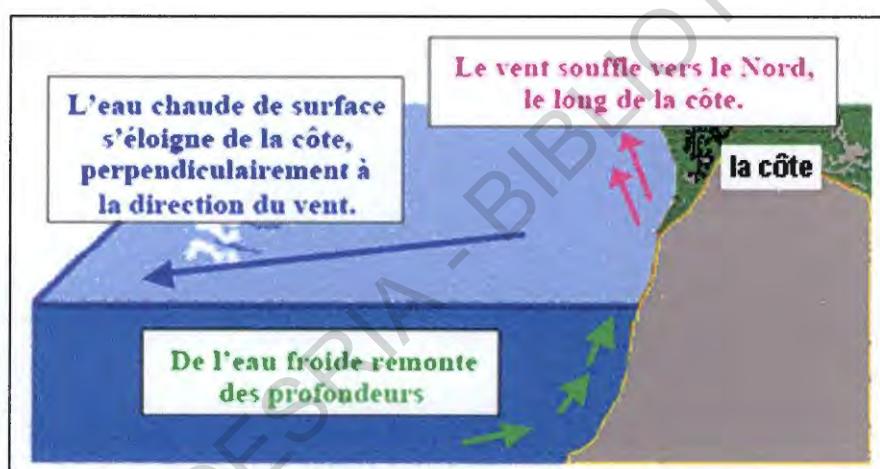


Figure 3 : Mécanisme de mise en place de l'upwelling (Auge et *al.*, 2005)

En juillet, la mousson remonte vers le Nord du pays : les pluies cessent, les vents se stabilisent ainsi que les remontées. En octobre, le front de mousson recule, ce qui provoque la deuxième période de pluies et l'arrêt des remontées.

Pendant la période de remontée de la mousson, on a une masse d'eau profonde le long du littoral. La température augmente vers l'Est et au large. Les plus froides (18°C) se trouvant à l'Ouest (zone de développement maximum des remontées) sont entraînées vers l'Est par le courant de Guinée. Ainsi, les régions situées à l'Est (zone peu favorable au développement de remontées) subissent un refroidissement supplémentaire (Berrit, 1961 ; Mondé, 1997). Au

terme de la période des remontées, les eaux guinéennes se répandent le long de la Côte d'Ivoire qui se trouve ainsi baignée par des eaux chaudes (28°C).

En janvier, une faible remontée se développe dans la région Ouest, ce qui a pour effet de remplacer les eaux guinéennes (chaudes) par les eaux "océaniques" plus froides inférieures à 25°C (Morlière et Rebert, 1972 ; Mondé, 1997).

1-1-4- Phénomène *El Niño*

El Niño (littéralement *courant de l'Enfant Jésus*, ainsi nommé parce qu'il apparaît peu après Noël) est un phénomène climatique particulier qui diffère du climat usuel, qui se caractérise par une élévation anormale de la température de l'océan. L'événement El Niño encore appelé phase ENOA (El Niño/Oscillation Australe), en anglais *El Niño Southern Oscillation ou ENSO* se réfère quant à lui au phénomène plus global couplant l'océan et l'atmosphère qui intervient de manière acyclique et récurrente tous les 3 à 7 ans et qui est à l'origine de multiples perturbations climatiques essentiellement autour du domaine Pacifique (Delecluse, 1997).

Il apparaît en moyenne une ou deux fois par décennie le long des côtes péruviennes à la fin de l'hiver, vers décembre-janvier. Il entraîne une accumulation d'eaux chaudes dans le Pacifique Ouest, faisant monter le niveau de la mer sur les côtes australiennes. La durée d'*El Niño* est en général d'environ 18 mois. Ce délai passé, les eaux froides se propagent vers l'Ouest. C'est alors la fin du phénomène qui peut être suivi de son inverse, *La Niña*.

Une corrélation est remarquable entre les pressions atmosphériques de l'Est et de l'Ouest du Pacifique. Quand elles augmentent à l'Ouest, elles diminuent à l'Est, et inversement. Les modifications induites sur la température de surface de la mer vont affecter les vents. Le phénomène peut affecter par ondes de choc les conditions climatiques dans les régions les plus éloignées du globe.

El Niño est désormais considéré comme un phénomène global, avec des répercussions dans les trois principaux océans tropicaux, et devrait faciliter l'explication des perturbations du climat sur toute la planète. Avec le phénomène *El Niño*, on observe dans la partie tropicale de l'Atlantique Nord, la température de surface de la mer (TSM) qui continue d'être plus élevée que la normale ; Ce qui se traduit par une influence sur les régimes climatiques dans cette partie de l'Atlantique et dans les régions continentales adjacentes. Par ailleurs, l'apparition de configurations inhabituelles de la TSM dans l'océan Indien pendant un épisode *El Niño* peut aussi jouer un rôle déterminant dans l'évolution des régimes climatiques au niveau régional, en particulier dans certaines parties de l'Afrique (Demoraes, 1999).

En effet, du fait de l'étroitesse du bassin Atlantique, l'on n'assiste pas aux oscillations spectaculaires du Pacifique. La fréquence des *El Niño* dans le bassin Est de l'Atlantique est donc moins importante que sur le Pacifique. Les *El Niño* qui, en déplaçant les masses d'eaux chaudes du Pacifique, entraînent le déplacement des zones convectives, et modifient la circulation atmosphérique et le régime des vents jusque dans l'Atlantique tropical. Des alizés intenses sont alors observés sur ces régions atlantiques, accumulant une importante quantité d'eaux chaudes sur le bord ouest du bassin. *El Niño* a été identifié comme un point clé pour la compréhension du système climatique par le Programme Mondial de la recherche sur le Climat et un projet de grande envergure a été lancé (TOGA : Tropical Ocean and Global Atmosphere) qui a rassemblé la communauté internationale en 1985 (Cîteau et *al.*, 1986).

L'enjeu de la prévision d'*El Niño* ne porte pas que sur l'occurrence de l'évènement lui-même. De nombreuses catastrophes lui sont attribuées directement autour du Pacifique tropical, comme les fortes pluies sur la côte occidentale américaine, la sécheresse en Indonésie, et l'Australie (ce qui accroît les risques d'incendie). Plus loin encore, *El Niño* est associé à la sécheresse du Nordeste Brésilien, aux inondations en Tanzanie. Ces chaînes de réaction sont liées à des structures de variabilité appelées téléconnexions qui lient entre elles différentes régions du monde. Elles existent aussi dans les différentes régions tropicales. En effet, l'océan Atlantique équatorial connaît une anomalie très similaire à *El Niño* mais d'amplitude et de persistance plus faible.

Depuis le début de l'année 1995, on assiste au développement d'un nouveau phénomène Atlantique dont l'ampleur inhabituelle surprend. Des anomalies de hauteur d'eau par rapport au cycle saisonnier moyen ont pu être détectées par Topex/Poséidon dans le Golfe de Guinée (Kandel, 1993).

1-2- Ressources halieutiques sur les côtes ouest africaines

1-2-1-Prises des pêcheries pélagiques le long des côtes ouest africaines

Les prises des pêcheries pélagiques côtières montrent souvent une variabilité que l'exploitation humaine ne suffit pas à expliquer. Il s'est produit dans l'environnement des changements suffisamment importants pour dépasser les capacités d'homéostasie de l'écosystème pélagique et entraîner des modifications dans la structure des peuplements. En effet, les conditions physico-chimiques d'un milieu déterminent son aptitude à accueillir une espèce donnée, à entretenir la chaîne alimentaire qui la nourrit et l'exploite. Et surtout, les conditions du milieu déterminent l'aptitude à la reproduction, la force du recrutement et finalement, l'effectif de l'espèce. Un peuplement ne peut se perpétuer qu'à l'intérieur d'une

certaine gamme de variation de son environnement (Cury et Roy, 1987). Les pêcheries de sardines et de sardinelles de la côte ouest-africaine ont montré, durant les 20 dernières années où elles ont été bien suivies, des fluctuations qui semblent en partie explicables par celles du climat et de l'hydroclimat (FAO, 1980 ; Binet, 1988). Les sardinelles, l'un des principaux poissons consommés en Afrique de l'Ouest, représentent une ressource très importante (Binet, 2001).

1-2-2- Poissons pélagiques dans les eaux ivoiriennes

Dans les eaux ivoiriennes, deux types de pêches ont lieu, à savoir la pêche industrielle et la pêche artisanale. La pêche industrielle comprend d'une part les pêches chalutières et crevettières, qui concernent les espèces démersales des eaux profondes et d'autre part la pêche sardinière, qui concerne les espèces pélagiques des eaux littorales.

La majorité de la recherche dans le domaine de la pêche dans les eaux ivoiriennes est effectuée avec le concours du secteur de la pêche commerciale. Ainsi, lors des débarquements de la pêche sardinière industrielle plus d'une trentaine d'espèces ou de catégories commerciales y figurent. C'est de loin la première production des ports de pêche ivoirienne et le tonnage débarqué par les sardiniers est 3 à 9 fois supérieur à celui de la pêche chalutière (tableau I et tableau II).

Parmi les espèces débarquées, seulement deux font l'objet d'une attention particulière, compte tenu de leurs stocks (plus de 60% des débarquements de la pêche sardinière et plus de 55% des prises de la pêche industrielle). Ces deux espèces sont *Sardinella aurita* (sardine plate) et *Sardinella maderensis* (hareng). Les captures largement dominées par les pélagiques se situent entre 30 000 et 40 000 tonnes par an (FAO, 2004). Cependant, on remarque une production nationale en dessous de ces possibilités de captures. Elle demeure globalement insuffisante avec une production de 85 à 100 000 tonnes par an dont 60% pêchés en mer et 40% en lagune et eau douce (Koffié Bikpo, 1997). Au regard des besoins de la population ivoirienne évalués à 250 000 tonnes (Direction des pêches d'Abidjan, 1995 in Koffié Bikpo, 1997), le taux de couverture de la demande n'est que de 35 à 40%, ce qui rend nécessaire des importations massives de poissons congelés pour combler le déficit. La production nationale est le fait d'unités de pêche artisanale pour 55 à 60% et d'unités de pêche industrielle pour 40 à 45% (Koffié Bikpo, 1997).

Tableau I: Production halieutique en Côte d'Ivoire de 1990 à 1999 (MDPA, 2000 in Djagoua, 2003)

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Sardinière (S)	34870	29784	34584	24690	23745	20997	25572	19547	21473	20603
Chalutière (C)	3924	4405	4639	4324	4193	4573	4658	3939	6006	6953
Ratio S/C	8,88	6,76	7,45	5,71	5,66	4,59	5,49	4,96	3,57	2,96

Tableau II: Espèces ou catégories débarquées par les sardinières industriels de 1992 à 1997 aux ports de pêches ivoiriens (Djagoua, 2003).

Nom scientifique (espèce ou famille)	Nom commercial	Prises en Tonne						Pourcentage (%)
		1992	1993	1994	1995	1996	1997	
<i>Sardinella aurita</i>	Sardine	24402,96	14491,86	11819,04	12098,1	18490,56	8169,17	52,83
<i>Sardinella maderensis</i>	Hareng	1350,35	2827,38	4492,2	2273,16	1391,16	771,84	7,74
<i>Brachydeuterus auritus</i>	Friture ordinaire	5453,14	4291,52	4950,25	4848,01	4632,18	4359,28	16,85
<i>Scomber japonicus</i>	Maquereau	339,55	230,2	8,15	679,35	313,35	1354,7	1,73
<i>Decapterus punctatus</i>	Chinchard	2103,59	1256,46	606,2	200,53	168,86	1393,34	3,38
<i>Trichiurus lepturus</i>	Ceinture	187,68	220,52	229,16	191,51	180,2	270,82	0,76
<i>Caranx caranqus</i>	Japon	80,98	415,2	376,94	131,66	69,02	48,86	0,66
<i>Ilisha africana</i>	Rasoir	356,8	316,55	783,35	266,55	491,15	321,56	1,50
<i>Chloroscombrus chrysurus</i>	Plat-plat	838,32	1103,12	1178,33	1188,46	1115,57	1301,98	3,97
<i>Strongylura</i>	Aiguillette	0,57		1,44	3,18	1,26	3,77	0,01
<i>Ethmalose dorsalis</i>	Aoube	0,16	32,9	18,3	21,4	11,35	60,05	0,09
<i>Sarda sarda</i>	Bonite	142	339,4	251,1	83,05	142,1	181,72	0,67
<i>Sphyræna piscatorum</i>	Brochet	151,54	405,83	284,85	348,22	365,77	151,31	1,01
<i>Galeiodes decadatyus</i>	Capitaine	379,97	279,42	408,32	374,02	267,71	165,43	1,11
<i>Halbula vulpes</i>	Guinée	16,71	37,45	20,38	39,04	43,43	152,4	0,18
<i>Arius sp.</i>	Machoirion	19,31	21,25	18,45	18,87	15,53	21	0,07
<i>Stromateus fiatola</i>	Mademoiselle	12,48	3,47	5,73	25,52	23,06	28,98	0,06
<i>Pseudotolithus senegalensis</i>	Ombrinc	888,95	30,2	806,87	659,13	551,42	465,51	2,01
<i>Dasyatis magarita</i>	Raie ordinaire	303,2	243,04	182,01	223,74	218,05	142,25	0,77
<i>Carcharhinus sp.</i>	Requin	76,25	1,56	74,17	70,66	69,76	285,32	0,34
<i>Dactyloptena orientalis</i>	Hirondelle	5,8	25,3	20,2	44,7	5,85	16,38	0,07
<i>Pagellus etythrinus</i>	Pageot	541,33	346,21	399,46	361,04	327,82	345,49	1,37
<i>Odontoscion dentex</i>	Courbine	10,48	8,96	15,4	8,8	13,52	24,8	0,05
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe blanche	240,07	220,01	233,28	248,15	247,09	143,03	0,79
	Divers	353,28	448,02	441	493,08	570,12	1065,22	1,99
								100,00

Les sardinelles sont des espèces pélagiques planctonophages, pêchées sur le plateau continental bordant le Ghana et la Côte d'Ivoire. La *sardinella aurita* est une espèce opportuniste qui possède une stratégie adaptative souple ; cela lui permet d'utiliser un meilleur enrichissement du milieu mais le stock subit le contrecoup de façon drastique lorsque les conditions deviennent défavorables (Roy et al., 1989 ; Ould Taled Ould Sidi, 2005). *S. aurita* effectuerait des déplacements des fonds de 70-100 m, où elle se trouve quand les eaux superficielles sont chaudes, vers la surface et la côte au moment des remontées d'eaux froides. D'ailleurs, dans la plupart des écosystèmes que cette espèce occupe, elle est capable de migrations entre différentes zones favorables (Boely et Fréon, 1979 ; Ould Taled Ould Sidi, 2005). Une modification de l'écosystème diminuerait la biomasse zooplanctonique et un effondrement des stocks de certains pélagiques côtiers.

S. aurita dépend de la disponibilité de la biomasse phytoplanctonique, lié aux apports terrigènes, soit aux remontées d'eau froide. Une saison anormalement pauvre en phytoplancton peut compromettre la survie d'une classe d'âge. Une telle pénurie se produisant en même temps qu'une surexploitation commerciale, peut mettre en danger le stock complet comme celle qui s'est produit après 1972 (Binet, 1982) pour les *S. aurita* ivoiro-ghanéennes.

Sardinella maderensis (ou *S. eba*), par contre est une espèce rustique qui possède une stratégie de tolérances aux perturbations du milieu. *S. eba* fuirait les eaux ivoiriennes trop froides pendant l'upwelling, se réfugiant dans les eaux guinéennes situées devant le Libéria (Marchal, 1966 in Binet, 1982).

L'histoire de la pêche maritime est ainsi jalonnée de périodes de développement auxquelles ont succédé des effondrements et des crises (Camara, 2004).

Actuellement, avec l'effondrement de la majorité des stocks, l'objectif de la recherche n'est plus l'évaluation des quantités maximales que la pêche pourrait prélever, mais plutôt, la préservation de l'environnement et de ses ressources.

Conclusion partielle

Le milieu marin est le siège d'interaction entre facteurs biotiques et abiotiques agissant de façon complexe à des échelles spatio-temporelles très variables.

Au niveau des pêcheries de sardines et de sardinelles de la côte ouest-africaine, l'on note des fluctuations qui semblent en partie explicables par celles du climat et de l'hydroclimat. Une attention particulière, doit être donc porté sur l'espèce sardinelle, car c'est l'un des principaux poissons consommés en Afrique de l'Ouest, représentent une ressource très importante.

CHAPITRE 2 : DYNAMIQUE ET CARACTERISTIQUES DE LA ZCIT AU DESSUS DE L'AFRIQUE

La région comprise entre le Tropique du Cancer $23^{\circ}27'N$, et le Tropique du Capricorne $23^{\circ}27'S$ définit la zone tropicale, une ceinture autour du globe. Cette zone comprend spécialement des océans, des zones désertiques et des forêts. Les phénomènes convectifs tropicaux ont une importance prépondérante dans la circulation générale du globe. La circulation particulière dans cette zone et les effets conjugués des différents phénomènes (ZCIT, ondes d'est, lignes de grains, etc...) jouent un rôle fondamental sur l'ensemble du globe.

La Zone de Convergence Inter-Tropicale (ZCIT) est l'un des phénomènes qui domine le temps dans les régions tropicales et particulièrement en Afrique tropicale. Ce chapitre nous permettra de mieux appréhender la ZCIT dans le temps et dans l'espace.

2-1- Définition et caractéristiques de la Zone de Convergence Intertropicale (ZCIT).

2-1-1- Définition de la ZCIT

La Zone de Convergence Inter-Tropicale (ZCIT) ou (Inter-Tropical Convergence Zone, ITCZ en anglais) est:

- une bande de convection à orientation presque zonale présentant parfois des ondulations méridiennes (N/S) significatives ;
- une étroite bande zonale où les vents des deux hémisphères se rencontrent ;
- généralement inclinée avec l'altitude vers l'Équateur en Afrique de l'ouest.

La ZCIT est localisée dans les zones de basses pressions ou de discontinuité de vents convergents. Sa position extrême nord est atteinte en été boréal (Juillet/Août), saisons des pluies et sa position extrême sud en été austral (Janvier / Février), saisons sèches sur de vastes zones au dessus de l'Afrique de l'Ouest (Leroux, 1996). Il s'agit d'une zone dépressionnaire délimitant l'extension météorologique de chaque hémisphère (Figure 4).

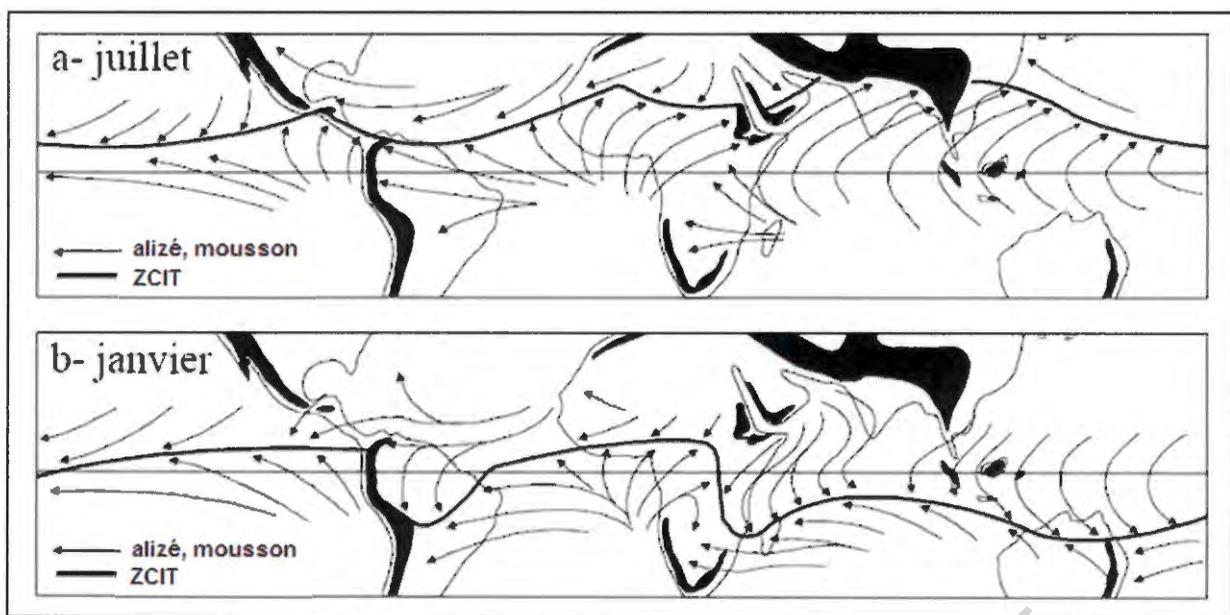


Figure 4: Circulation tropicale du vent en surface (a) en juillet (b) en janvier. (Leroux, 1996 in Giraud, 2001)

2-1-2- Caractéristiques de la ZCIT au dessus de l'Afrique

La position en surface de la ZCIT tend à coïncider avec le maximum de l'ensoleillement avec un temps de réponse de 4 à 6 semaines par rapport à la position du soleil. Elle oscille entre le tropique du Cancer et celui du Capricorne, en réponse au mouvement apparent du soleil.

La ZCIT présente cependant des variations régionales. En Afrique de l'Est, du Centre et du Sud, la ZCIT oscille de part et d'autre de l'Equateur. Ceci est dû en partie aux différentes capacités thermiques et à la distribution des masses continentales et océaniques.

Au dessus de l'Afrique de l'Ouest, la convergence entre les cellules d'été et d'hiver forme une zone d'intense convection : la Zone de Convergence Inter-Tropicale ou plus généralement l'Équateur météorologique. En latitude, cette zone de concentration de vapeur d'eau advectée par les alizés et les flux de mousson présente une structure inclinée qui définit deux zones d'ascendances distinctes : la convection sèche et la convection profonde (Fontaine et *al.*, 1993 in Sultan et Janicot, 2004).

Au dessus de l'Afrique de l'Ouest, la ZCIT reste au Nord de l'Equateur toute l'année à cause de l'influence océanique, notamment la température relativement basse de la surface de l'eau de mer dans le Golfe de Guinée. Il est bien connu en Afrique, en Afrique intertropicale, que la pluviométrie est sous le contrôle de centres d'action bien identifiés, à savoir les deux anticyclones subtropicaux de Mascareignes et de Sainte-Hélène dans l'Hémisphère Sud, et celui des Açores dans l'Hémisphère Nord. Donc, la pluviométrie en Afrique est influencé par ces deux centres d'action.

A cet effet, l'influence d'*El Niño* se traduirait par un affaiblissement des anticyclones des Mascareignes et de Sainte-Hélène tandis que celle de *La Niña* se traduirait par leur renforcement. L'affaiblissement de deux anticyclones lors des épisodes *El Niño* affecterait la vigueur des alizés de l'hémisphère sud en entraînant *ipso facto* l'affaiblissement de la convection des masses d'air dans la Zone de Convergence Inter-Tropicale et de la confluence interocéanique (Giraud, 2001).

☑ Structure du FIT

En Afrique de l'Ouest, la latitude du FIT fut longtemps l'un des paramètres les plus importants pour prévoir la pluie (AMMA, 2004). Il se caractérise par des mouvements ascendants engendrant le développement de nuages convectifs pluvio-gènes qui participent au maintien de la balance énergétique de la zone équatoriale (Philippon, 2002 in Fadika, 2004).

En effet, toute description de la situation météorologique commence par la latitude du FIT. Il faut noter que le tracé précis du FIT ne tient pas compte seulement du lieu de convergence de l'harmattan et de la mousson, il tient compte aussi du minimum de pression en surface et du fait que la séparation entre l'air sec au Nord et l'air humide au sud est caractérisé, par une température du point de rosée égale à 15°C.

☑ Vents de surface

Au Nord de la ZCIT, l'alizé continental sec de secteur E-NE, appelé *Harmattan*, est frais et intense durant l'hiver boréal, très chaud et plus faible pendant l'été. Parallèlement, au cours de leur progression vers le Nord qui les conduit à changer d'hémisphère, les alizés de l'Atlantique Sud dirigés par les hautes pressions de l'anticyclone de Sainte-Hélène se chargent en vapeur d'eau et prennent une orientation Sud-Ouest sous l'effet de la force de Coriolis après avoir passé l'équateur. Ce changement rapide et important de la direction du vent est à l'origine du phénomène de la mousson africaine (Sultan et Janicot, 2004).

2-2- Dynamique et effets de la ZCIT sur le temps et sur l'écosystème marin

2-2-1- Dynamique de la ZCIT

La zone de convergence comme le nom l'indique est une zone de turbulence. Elle se caractérise par :

- une convergence dans les basses couches ;
- une humidité suffisante dans la basse et moyenne troposphère pour le développement des nuages de convection profonde ;

- des vitesses verticales négatives à 500 hPa indiquant des mouvements ascendants ;
- une divergence dans les couches supérieures à partir de 300 hPa jusqu'à la tropopause indiquant des flux sortants ;
- des nuages convectifs ou amas nuageux sur l'imagerie satellitale.

La ZCIT se déplace avec les saisons. Ses migrations sont de trois (3) sortes :

- les migrations diurnes ;
- les migrations de moyennes amplitudes ;
- et les migrations annuelles.

2-2-2- Effets de la ZCIT sur le temps et l'écosystème marin

En général, le temps dans les tropiques est déterminé par la position et l'intensité de la ZCIT bien qu'elle ait des variations régionales. Il est lié à des paramètres locaux et aussi à des facteurs externes tels que la distribution des masses continentales et océaniques. Le plateau continental du Golfe de Guinée est caractérisé par des remontées d'eau saisonnière dans des régions géographiques plus ou moins stables (Berrit, 1961, 1973 ; Djagoua, 2006).

Les régions tropicales sont les régions les plus lourdement touchées par la variabilité naturelle du climat et, très certainement, par les changements climatiques futurs liés à l'activité anthropogénique (IPCC, 2001). Or, ce sont également les régions où se situent de nombreux pays en voie de développement qui, de par leurs difficultés à prévenir et à s'adapter aux risques climatiques, les subissent de plein fouet.

Les zones balayées deux fois par an par la ZCIT ont annuellement deux saisons des pluies alors que celles balayées une fois dans l'année, ont une saison des pluies.

Le FIT se déplace au cours de l'année sur la Côte d'Ivoire dans une direction Nord-Sud (Figure 5) et entraîne avec elle, quatre zones de temps qui déterminent les régimes de pluies des régions balayées (Kouadio, 2004 *in* N'Guéttia, 2006) :

- Zone A, immédiatement au Sud du FIT, s'étend sur 400 km environ. Elle sera située dans cette zone en période de grande saison sèche ;
- Zone B : de 800 à 1000 km, elle parcourt celle-ci en saison des pluies (petite et grande) : averses orageuses, nuages très bas et pluies abondantes ;
- Zone C : la traversée de cette zone caractérise la petite saison sèche (ciel gris homogène, faible insolation et faible pluie) ;
- Zone H, immédiatement au Nord du FIT, est la zone de *l'harmattan*.

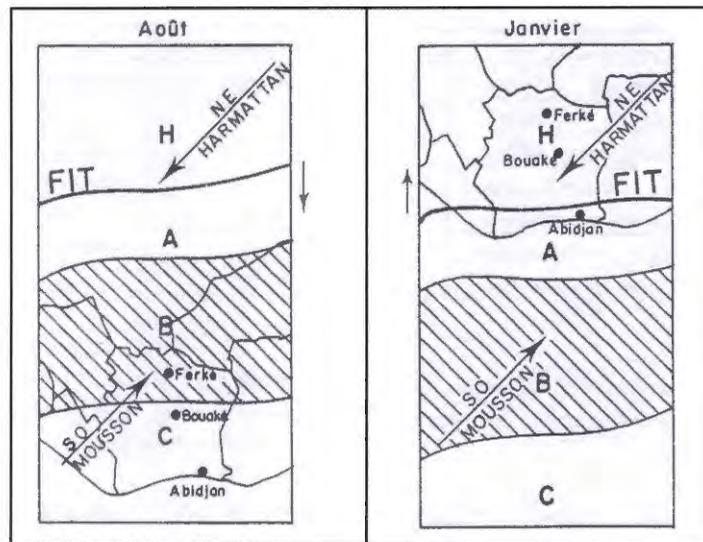


Figure 5: Position extrême du F.I.T. en Côte d'Ivoire (Kouadio, 2004 *in* N'Guéttia, 2006)

Conclusion partielle

La ZCIT est une zone dépressionnaire délimitant l'extension météorologique de chaque hémisphère. Le temps dans les tropiques est déterminé par la position et l'intensité de la ZCIT bien qu'elle ait des variations régionales.

L'extension du champ d'investigation de la météorologie des continents vers les océans a contribué à des progrès technologiques énormes dans la saisie des données et entraîne un regain d'intérêt pour des études de type hydroclimatique.

Les données et la méthode utilisées pour atteindre les objectifs fixés pour cette étude.

DEUXIÈME PARTIE

MATÉRIEL ET MÉTHODES

CODESRIA - BIBLIOTHÈQUE

CHAPITRE 3 : MATÉRIEL ET MÉTHODOLOGIE

Les précipitations dans les régions tropicales représentent les deux tiers des précipitations globales. Les tropiques étant couverts à 75% par les océans, seule une étude des précipitations depuis l'espace peut permettre une estimation globale dans le but d'améliorer les modèles de climat. Ce chapitre traitera de la méthodologie utilisée. La zone d'étude est délimitée par les longitudes 40°W et 40°E, d'une part, par les latitudes 15°N et 10°S, d'autre part. Cet espace, inclut dans les régions tropicales est animé par un climat déterminé par l'action conjuguée de l'*harmattan* et de la mousson. Ainsi, l'estimation des précipitations et de la quantité d'eau liquide nuageuse dans l'atmosphère au-dessus des océans est d'un enjeu considérable.

3-1- Données et matériel utilisés

3-1-1-Origine et présentation des données utilisées

3-1-1-1- Données de précipitations

Les données des précipitations mensuelles sont celles obtenues sur le site de la NASA ayant pour référence: <http://disc2.nascom.nasa.gov/giovanni/ovas>. Nous avons utilisé les données de janvier 1997 à décembre 2000. L'usage de ces données dans la période s'explique par le fait que entre 1997 et 2000, il s'est produit des bouleversements environnementaux provoqués par les phénomènes *El Niño/La Niña*. Ces changements climatiques influencent beaucoup la répartition spatiale des bancs de sardinelles.

Ces données proviennent du capteur PR (Precipitation Radar) du satellite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission ou Mission de Mesure de la Pluie Tropicale). C'est un programme conjoint de la NASA et l'Agence d'Exploration Aérospatiale Japonaise (JAXA) pour étudier et surveiller les précipitations tropicales. Le nom se réfère autant au programme qu'aux satellites météorologiques, présents ou futurs, lancés pour son fonctionnement. Le satellite TRMM fait partie de la section "Mission planète Terre" de la NASA, un programme de recherche pour étudier la terre en temps qu'en système global. Ce satellite fut lancé le 27 novembre 1997 du centre spatial de Tanegashima, Japon.

Cette mission est très importante, car, la pluie est, parmi les paramètres atmosphériques, un des plus difficiles à mesurer à cause de sa très grande variabilité spatiale et temporelle (figure 6).

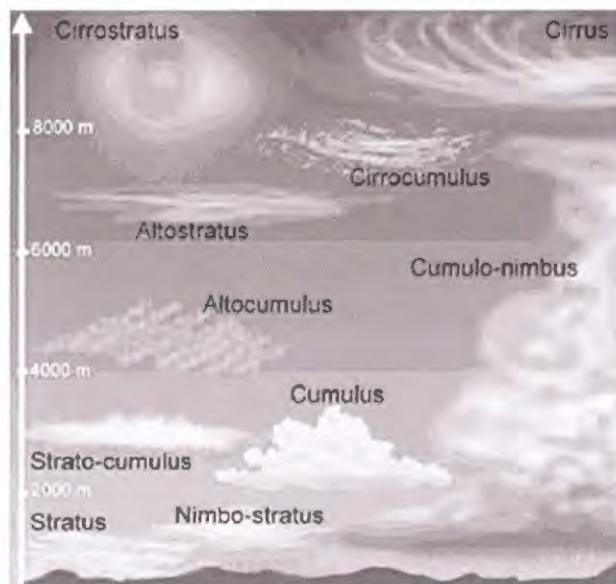


Figure 6: Principaux types de nuages suivant leur altitude de base (Lafont, 2005)

L'atmosphère est particulièrement sensible aux variations des conditions thermiques océaniques superficielles des basses latitudes (Merle, 1980). Les moyens conventionnels de mesure au sol de la pluie sont limités seulement à certaines régions continentales; l'observation par satellite est donc nécessaire pour avoir une couverture spatiale de l'ensemble de la planète. La télédétection spatiale des précipitations a, suivant les échelles considérées, de multiples applications, comme la climatologie, la météorologie, l'hydrologie ou l'agriculture par exemple.

Le satellite TRMM est sur une orbite basse de 350 km d'altitude à un angle de 40 degrés avec l'équateur, ce qui permet un grand balayage de la zone de tropiques. Son instrument principal, le radar spatial (Precipitation Radar) a une résolution spatiale de 0,5°.

Mission du satellite TRMM

La mesure temporelle et spatiale des variations des précipitations est essentielle à la compréhension des phénomènes météorologiques mondiaux. Le but de TRMM est de constituer une banque de données étendue entre 40°N et 40°S sur la distribution de la pluie et les échanges de chaleur latente au-dessus d'un territoire qui est surtout occupé par les océans, et donc pauvre en données de surface et de radiosondage. Le TRMM délimite directement la répartition des pluies en zones tropicales, notamment sur les océans où les mesures sont insuffisantes. Ces données sont essentielles à la compréhension du climat tropical et à son évolution.

☑ Instruments à bord du TRMM

Le satellite TRMM utilise trois capteurs différents : le TMI (TRMM Microwave Imager) qui comprend des canaux entre 10,7 et 85,5GHz, le VIRS (Visible and Infrared Scanner) et le PR (Precipitation Radar). Les deux derniers capteurs présentent l'avantage d'avoir des résolutions spatiales supérieures à celle du TMI, et donc d'apporter l'information manquante sur la variabilité interne (tableau III et tableau IV). Ces radiomètres hyperfréquences fournissent de manière quasi continue de grandes quantités de mesures à l'échelle globale, avec lesquelles il est possible d'estimer les paramètres atmosphériques tels que le taux de précipitations. La figure 7 présente la géométrie de mesure des différents capteurs embarqués sur le satellite TRMM.

Tableau III : Caractéristiques des capteurs embarqués sur le satellite TRMM

Capteurs	Bande d'observation	Résolution horizontale	Fauchée
PR	13,8 Ghz	4,3 km	215 Km
TMI	10,7 ; 19,4 ; 21,3 ; 37 ; 85,5 Ghz	6-50 km	760 Km
VIRS	0,63 ; 1,6 ; 3,75 ; 10,8 ; 12 μm	2 km	720 Km

Tableau IV: Fréquence et polarisation des canaux du satellite TRMM

Canal	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Fréquence (Ghz)	10,65	10,65	19,35	19,35	21,3	37	37	85,5	85,5
Polarisation	V	H	V	H	V	V	H	V	H

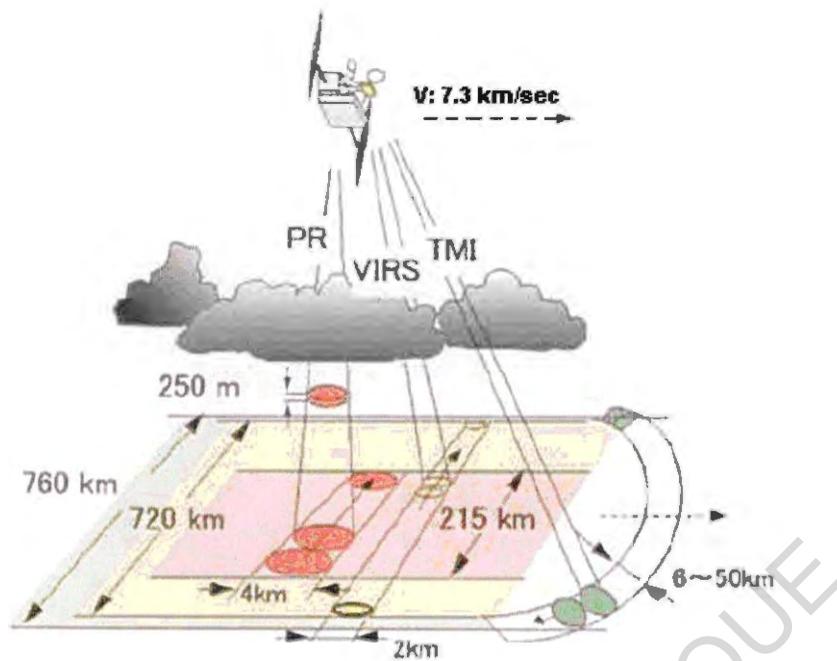


Figure 7: Géométrie de mesure des différents capteurs sur le satellite TRMM (Lafont, 2005)

Interface TOVAS (TRMM Online Visualisation and Analysis)

TOVAS est un outil facile et rapide pour accéder, visualiser, et analyser des données du satellite TRMM. Il s'applique à diverses thématiques, à savoir l'étude du climat, l'étude de l'algorithme de la chute de pluie. Cette interface est conçue pour supporter le programme de la NASA désigné « Agricultural Efficiency Program » pour améliorer la compétitivité agricole à travers une meilleure compréhension du temps et du climat. Cette interface TOVAS (figure 8) a permis de collecter les données de précipitation de la zone d'étude

The screenshot displays the TOVAS web interface. At the top, there is a world map with a grid. Below the map, there are four input fields for geographic coordinates: West Longitude (set to -180), East Longitude (set to 180), North Latitude (set to 40), and South Latitude (set to -40). Below these are three dropdown menus for data selection: 'Monthly TRMM 3A25(V6)' (selected), 'Estimated Surface Rain Rate (5.0x5.0)', and 'Estimated Surface Convective Rain Rate (5.0x5.0)'. A link for 'TRMM 3A25 V6 Unconditional Rain Rate' is also present. The 'Plot Type' is set to 'Lat-Lon Map'. The 'Begin Year' and 'End Year' are both set to 2007, with 'Begin Month' and 'End Month' set to December. The 'Color Options' section has 'Dynamic' selected. The 'Time Series Plot Y-Axis Options' also has 'Dynamic' selected. At the bottom, there are two buttons: 'Generate Plot' and 'Reset Form'.

Figure 8 : Fenêtre de l'interface TOVAS (<http://disc2.nascom.nasa.gov/giovanni/tovas.>)

Les données de précipitations ont permis de caractériser les différentes positions de la Ligne de Convergence Inter-Tropicale (LCIT) entre les longitudes 40°W et 40°E, d'une part et les latitudes 15°N et 10°S, d'autre part.

Nous avons aussi utilisé les données de précipitations de quatre (4) stations synoptiques du réseau national. Ce sont:

- Tabou: 4°25'N/ 7°22'W;
- Daloa : 6°52'N / 6°28'W ;
- Bondoukou: 8°03N / 2°47'W;
- Adiaké: 5°18'N/ 3°18'W.

Les précipitations *in situ* mesurées par la SODEXAM dans les quatre stations fixes (Tabou, Daloa, Bondoukou et Adiaké) sont utilisées et comparées aux précipitations dérivées du capteur PR (Precipitation Radar) du satellite TRMM, pour apprécier le biais pouvant exister entre ces deux sources de données de précipitations.

Les données de précipitations moyennes (*in situ* et satellitaire) de 2000 ont été utilisées pour chacune des stations d'échantillonnage. L'usage de ces données pluviométriques des stations de la SODEXAM a permis de valider nos résultats. Nous avons exploité uniquement les quantités de pluie de l'année 2000.

3-1-1-2- Données d'*El Niño*

Une des méthodes fréquemment employées pour étudier la récurrence et la magnitude des événements *El Niño* est l'indice de l'Oscillation Australe ou l'indice MEI.

Les données des indices d'*El Niño* multivarié ou MEI de 1950 à 2006 proviennent du site suivant : <http://cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/mei..>

Une explication plus précise concernant le calcul du MEI est disponible à la même adresse internet (<http://cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/mei..>). Cet indice est utilisé dans cette étude pour connaître les événements climatiques majeurs, à savoir les phénomènes *El Niño/La Niña*. Le graphique ainsi tracé présentera les années *El Niño* et *La Niña*.

3-1-1-3- Données de pêche

Les données statistiques de pêche des espèces les plus pêchées (*Sardinella aurita*) entre 1997-2000 ont été extraites des fichiers de la direction de pêche du Ministère des productions Animales. En effet, cette espèce est très sensible aux changements environnementaux. Les débarquements de 1997 à 2000 seront utilisés (tableau V) pour montrer l'influence des changements climatiques à travers le déplacement de la Ligne de Convergence Inter-Tropicale (LCIT).

Tableau V : Prises en tonne mensuelle de la *S. aurita* de 1997 à 2000 (MDPA, 2002 in Djagoua, 2003)

	1997	1998	1999	2000
Jan	504,72	1055,33	791,18	1400,63
Févr	795,12	109,28	657,68	1412,18
Mars	534,42	107,70	389,48	
Avril	770,40	311,40	268,80	394,80
Mai	592,02	156,98	338,03	1187,78
Juin	161,52	2383,35	1213,28	1356,53
Juil	2066,52	3080,25	2608,80	1822,88
Août	2292,66	1217,85	1749,08	2213,33
Sept	1089,48	832,73	582,68	1731,08
Oct	912,42	650,18	846,68	2774,10
Nov	204,54	912,23	987,23	2636,48
Dec	78,30	279,70	1772,85	2428,35
	8912,64	11096,95	12205,73	19358,10

3-1-1-4- Données de température de surface de la mer

Les données de température de surface de la mer (TSM) nécessaire à l'étude ont été extraite sur le site :<http://poet.jpl.nasa.gov>. Elles sont acquises entre 1997 et 2000. Ces données sont nécessaires pour comprendre la relation spatiale pouvant exister entre ce paramètre physique et le déplacement de la zone de convergence Inter-Intropicale (ZCIT). Les séries des données TSM proviennent du capteur AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) des satellites NOAA (NOAA-14, 15, 16 et 17). C'est un radiomètre à balayage caractérisé par un champ d'observation très large. La résolution spatiale est de 1,1 km, au niveau de la surface de la terre, à la verticale du satellite. Dans l'infrarouge thermique, la précision thermique est de 0,12°C. Ce qui permet d'accéder à des thermographies précises de la température de surface de la mer. Trois applications principales sont possibles à partir des données du capteur AVHRR pour l'étude du milieu marin :

- l'étude de l'océan : AVHRR permet de mettre en évidence les phénomènes marins tels que la température, les courants, les structures océaniques (fronts, tourbillons, méandres) ;
- l'étude des glaces : AVHRR permet de suivre notamment l'évolution des glaces, leur mouvement, leur concentration et de déterminer leur limite ;
- la surveillance des zones côtières : AVHRR permet la détection des films d'hydrocarbure et de la turbidité.

Le tableau VI présente les caractéristiques techniques et spectrales des capteurs AVHRR/3. Le capteur AVHRR possédait à l'origine quatre canaux. Le premier capteur était nommé AVHRR/1. Puis un cinquième canal (infrarouge thermique) a été ajouté sur le radiomètre AVHRR, qui a pris la dénomination AVHRR/2. Ce type de capteur est embarqué à bord des satellites de la seconde génération (NOAA-7, 9, 11, 12 et 14). Le radiomètre imageur AVHRR/3, est de la dernière génération conçu par la NOAA et équipant ses derniers satellites (NOAA 15 à 18). Il possède six canaux.

Tableau VI : Caractéristiques spectrales des capteurs AVHRR/3

Canal	AVHRR/3 Bandes spectrales	Résolution spatiale au nadir	fauchée
1 (Visible)	0,58 à 0,68 μm	0,5 km	2940 km
2 (Proche Infrarouge)	0,72 à 1,10 μm	1,1 km	2940 km
3A (jour) (Proche Infrarouge)	1,58 à 1,64 μm	1,1 km	2940 km
3B (nuit) (Moyen Infrarouge)	3,55 à 3,93 μm	1,1 km	2940 km
4 (Infrarouge Thermique)	10,50 à 11,50 μm	1,1 km	2940 km
5 (Infrarouge Thermique)	11,50 à 12,50 μm	1,1 km	2940 km

3-1-2- Matériel informatique

3-1-2-1- Logiciel de cartographie « Surfer 8.0 »

Surfer 8.0 est un logiciel graphique réalisé en 1994 par Golden Software Inc. Ce logiciel comporte plusieurs fonctionnalités qui, en plus de réaliser des cartes d'isocontours, permettent de modifier, de rehausser des contours, de positionner des points particuliers, de combiner ou d'extraire tout ou une partie des cartes, d'ajouter des annotations sous forme de textes, etc. En plus de ces fonctionnalités, l'on peut avec l'option « Mathématique », faire des opérations d'addition et de multiplication, des calculs de surface et de volume sur les cartes. Nous l'avons utilisée pour le traitement des données de précipitations satellitaires mensuelle et annuelle. Ce logiciel a servi à collecter les différents points ou valeurs (croisement latitude et longitude) pendant le déplacement saisonnier de la Zone de convergence Inter-Tropicale.

3-1-2-2- Tableur Excel

Le tableur a servi de représenter les différents graphiques à savoir le MEI, les allures moyennes annuelles de la ZCIT, corrélation données précipitations *in situ* satellitaire et d'autres résultats (diagramme TSM, prises de sardinelles et tableau).

3-1-2-3- Logiciel « ArcView 3.2 »

ArcView est un logiciel de SIG. Il nous a permis de générer les données de TSM pendant chaque mois de l'année. L'usage de ce logiciel était de déterminer la variabilité spatiale de la TSM dans le Golfe de Guinée et la position de la LICIT basée sur la distribution climatologique des précipitations. Nous avons utilisé uniquement les données de l'année 1997. Ce qui nous a permis de déterminer la fluctuation de la LCIT pendant les différents mois de l'année 1997.

3-2- Méthodologie de traitement des données

3-2-1- Réalisation de la Ligne de Convergence Inter-Tropicale (LCIT)

Pour la réalisation de la LICIT pendant les années 1997, 1998, 1999 et 2000, nous importons les valeurs moyennes annuelles de précipitations sur le logiciel « Surfer ». Nous générons ensuite l'ensemble des valeurs. Il apparaît un amas de nuages où les fortes précipitations sont représentées par une zone « blanchâtre ». Cette manipulation s'effectue à l'aide de la commande « contour » ou « surface » dans le menu « map » (figure 9). Nous procédons à la digitalisation de ces zones de fortes précipitations. Cette méthode se fait manuellement ; et cela nous permet d'aboutir à un ensemble de points dans la base de données « worksheet » du logiciel. Ces valeurs sont ensuite enregistrées en format [.dat].

Les valeurs obtenues seront importées sur le tableur Excel, puis enregistrées en format [.xls] (figure 10). L'outil « Diagramme » sur Excel permet de tracer des courbes caractérisant le déplacement saisonnier selon les latitudes de la LCIT de 1997-2000 au niveau de la Côte d'Ivoire.

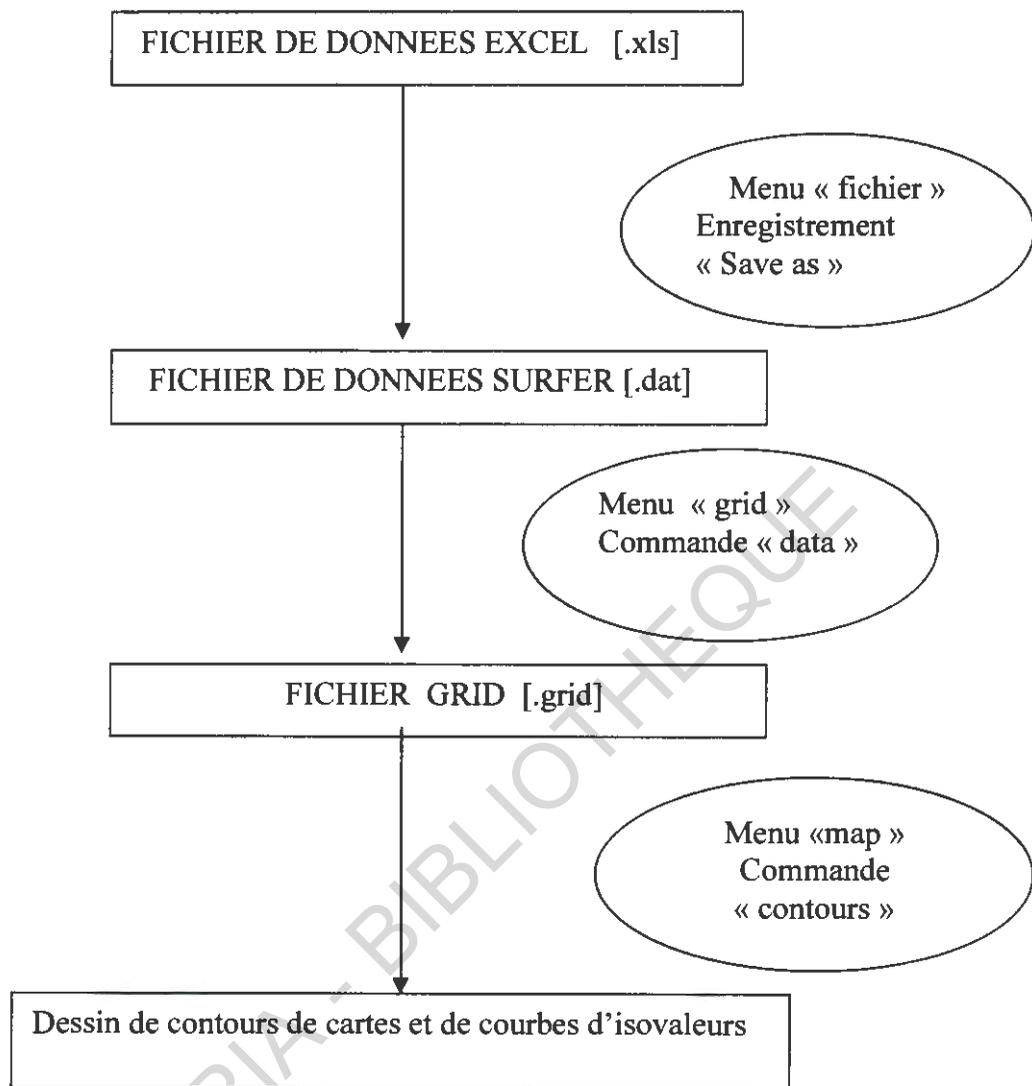


Figure 9: Schéma récapitulatif des opérations sur Surfer

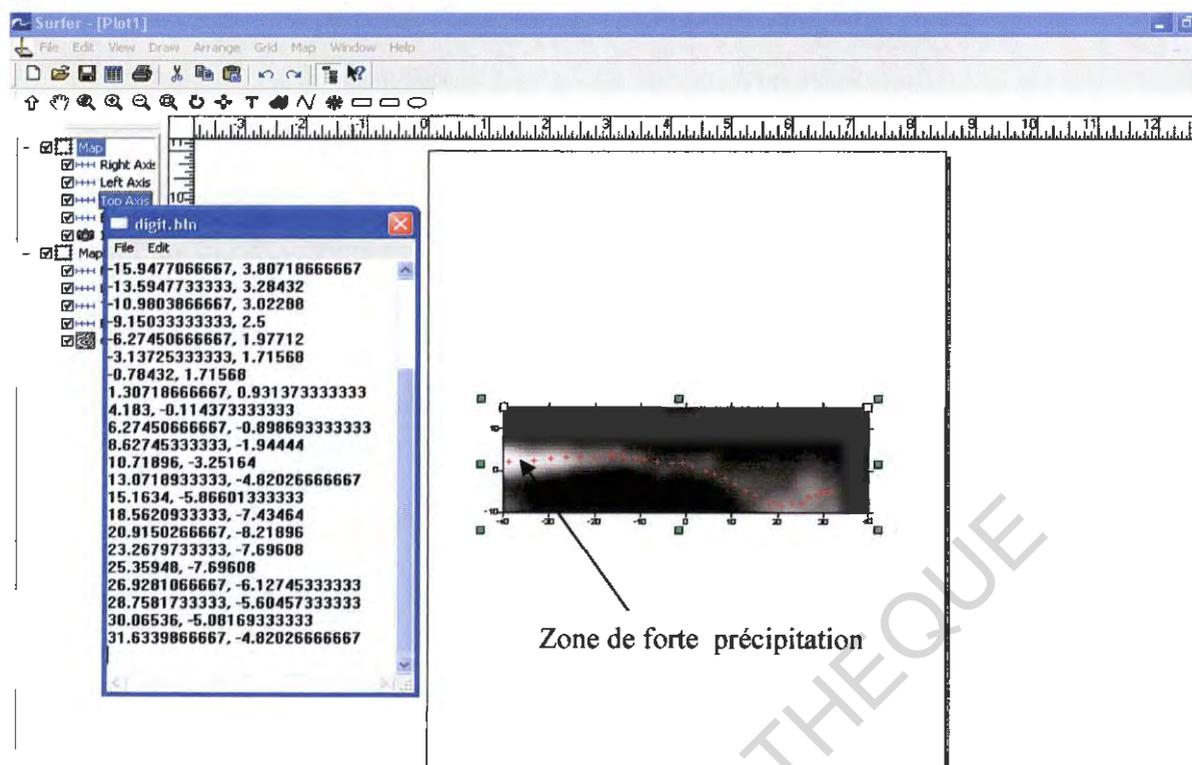


Figure 10 : Fenêtre de digitalisation de la ligne de convergence

3-2-2- L'usage des données de Température de Surface de la Mer (TSM)

Les données NOAA (TSM) fournies par le capteur AVHRR ont été exploitées de deux manières. La première consiste à faire des comparaisons de TSM moyennes selon la période 1997-1998 et la période 1999-2000, et ensuite à établir la variabilité inter-annuelle (1997-2000) des moyennes spatiales de la TSM du littoral ivoirien.

La deuxième méthode appliquée sur le logiciel « ArcView », permet de comparer les différentes distributions spatiales de la TSM pendant l'année 1997. Les valeurs de la TSM moyenne de chaque mois sont générées sur ce logiciel par le biais des tables attributaires préalablement créées ; celles-ci comportent trois colonnes (Longitude, Latitude et TSM). Le but de cette manipulation est de faire la corrélation entre la TSM et la LICT selon les différentes périodes de l'année.

3-2-3- L'élaboration du graphique de l'indice MEI

L'indice MEI a été établi sur le tableur Excel en appliquant les différentes valeurs de la période 1950-2006. L'outil « Diagramme » d'Excel nous permet d'effectuer cette courbe. Son allure sera en « dents de scie ». Le commentaire de cette courbe sera axé sur l'axe « 0 » indiquant les différents découpages des années (*El Niño* et *La Niña*).

Conclusion partielle

Les méthodes développées dans le cadre de cette étude, ont servi à analyser la variabilité spatiale et temporelle des pluies, à tracer la LICT et à déterminer les périodes *El Niño/La Niña* par le biais de l'indice MEI. Les TSM ont été utilisées pour une étude comparative (position LICT et variation de la TSM) selon les périodes d'une année. Les logiciels utilisés sont Surfer, le tableur Excel et ArcView.

En effet, chacune de ces méthodes a permis d'aboutir à des résultats, l'analyse et l'interprétation de ceux-ci font l'objet de la troisième partie du présent mémoire.

TROISIÈME PARTIE

RÉSULTATS, INTERPRÉTATION ET DISCUSSION

CHAPITRE 4 : RÉSULTATS, INTERPRÉTATION ET DISCUSSION

La réalisation de ce travail a été possible, grâce à l'existence et à la disponibilité de plusieurs données de sources diverses. Celles-ci sont constituées des données pluviométriques, de température de surface de la mer, de données de pêche et de l'indice MEI.

4-1- Présentations des résultats et interprétations

4-1-1-Validation des données de précipitations

Les cycles annuels de la précipitation mesurée au capteur et *in situ* pour chacune des quatre stations sont présentés à la figure 11. La tendance générale de ces cycles est que le jeu de données *in situ* est inférieur à celle issue des données du capteur PR. La surestimation des précipitations est due à la méthode d'échantillonnage. Au niveau des données extraites, le capteur PR extrait les valeurs sur une surface de 1*1 km² due à sa résolution, ce qui surestime ou souvent sousestime les précipitations mesurées par rapport aux précipitations *in situ*. Pour la méthode des mesures dans les stations fixes, les valeurs *in situ* ne représentent qu'une petite surface, établies de manières ponctuelles.

Tous ces facteurs nous conduisent à une différence d'écart type observée entre les deux types d'échantillonnages (tableau VII).

Les données *in situ* et les données satellitaires évoluent dans le même sens. Les résultats présentés (figure 11) montrent que pendant certaines périodes de l'année les deux types de données ont presque la même allure ; Ceci s'observe généralement pendant les mois de janvier, février, mars, novembre et décembre. Ces mois caractérisent le plus souvent les mois secs (moins pluvieux). Malgré ces biais, on note une concordance des courbes sur une grande partie de l'année et épouse le découpage saisonnier (saison des pluies et saison sèche).

Au vue de ce qui précède, nous accordons une importance aux données satellitaires car elles épousent en certains moments les phénomènes réels.

Tableau VII: Différence entre les données *in situ* et satellitaires

	Bondoukou	Daloa	Tabou	Adiaké
<i>in situ</i>	53,03	85,95	175,22	159,26
Satellitaire	66,69	56,58	81,37	76,52
Diff (EcartType)	-13,67	29,37	93,85	82,74

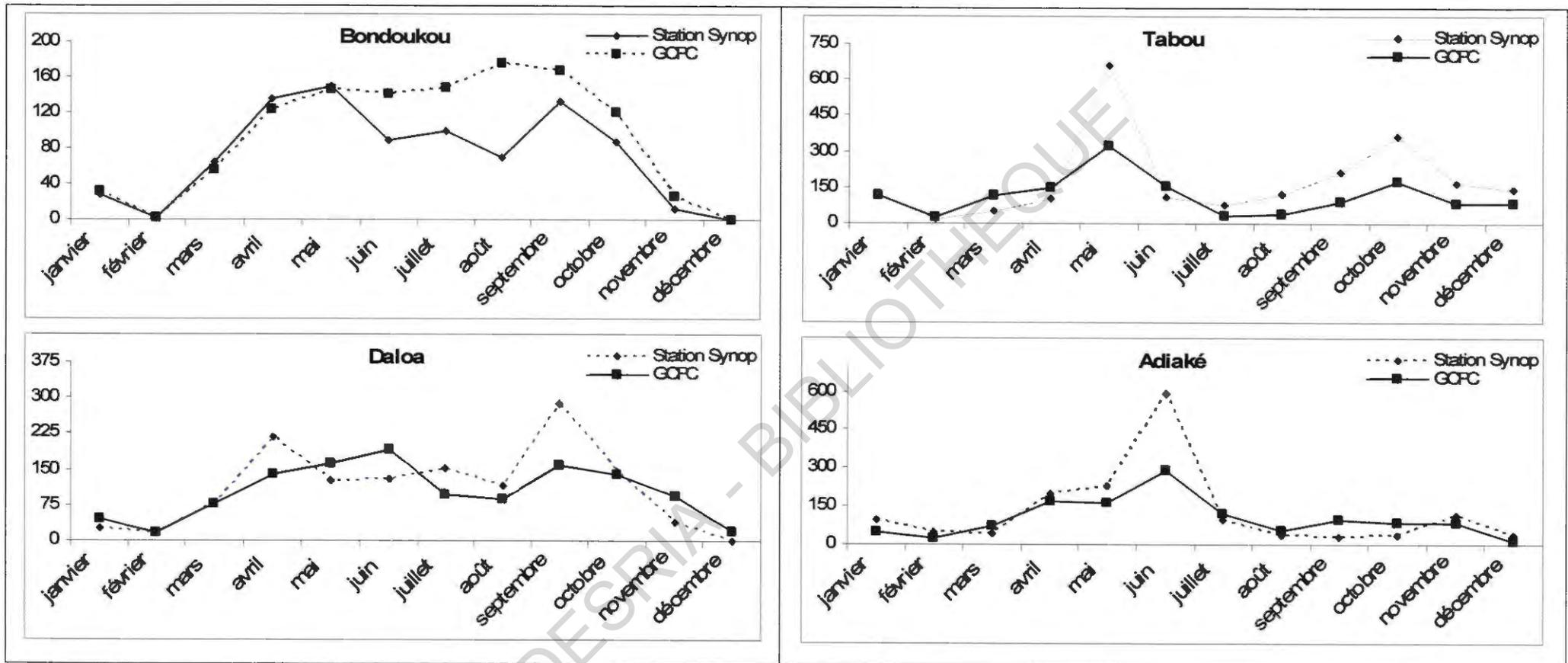


Figure 11: Comparaison des données de précipitation du capteur PR et *in situ* en 2000

4-1-2- Migrations saisonnières de la ZCIT et son influence sur la TSM

La figure 12 présente les latitudes moyennes mensuelles des différentes lignes de convergence intertropicale sur la Côte d'Ivoire pour les années 1997, 1998, 1999 et 2000. On observe dans l'ensemble que la position la plus au Nord est observée pendant les mois de juillet à septembre, à savoir :

- en 1997 : 10,69° de latitude Nord ;
- en 1998 : 10,65° de latitude Nord ;
- en 1999 : 10,81° de latitude Nord ;
- et en 2000 : 10,71° de latitude Nord.

Quant à la position minimale, elle est observée pendant les mois de janvier à mars ; et la position la plus au Sud (3° Sud) est localisée en février 1998.

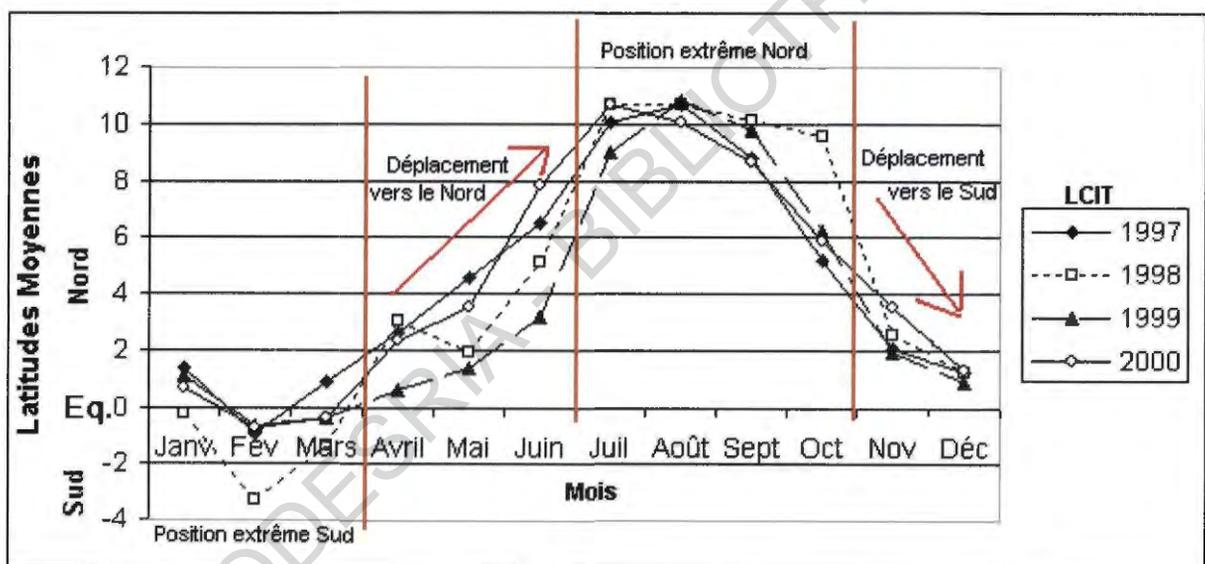


Figure 12 : Déplacement saisonnier selon les latitudes de la LCIT de 1997-2000 au niveau de la Côte d'Ivoire

La figure 12 présente l'allure de la ligne de convergence sur la Côte d'Ivoire. L'on observe qu'en 1999 et 2000 la ligne de convergence est plus au Nord de la Côte d'Ivoire. Le déplacement saisonnier entre ses deux extrêmes (Nord et Sud), traduit le découpage des saisons selon ses différentes positions latitudinales. Nous avons :

- une position extrême Sud, de décembre à mars ;
- une position extrême Nord, de juillet à septembre ;

- et entre ces deux positions, des positions intermédiaires traduisant soit un déplacement vers le Nord (avril à juin) ou soit une autre traduisant un déplacement vers le sud (octobre à novembre).

En effet, ces différents déplacements saisonniers interagissent sur la TSM pendant ces périodes. On a :

- de faible TSM, pour la position extrême Nord ;
- de forte TSM, pour la position extrême Sud ;
- et des valeurs intermédiaires (soit une augmentation ou une diminution) de la TSM, pour les autres positions.

Tout ces processus influencent le milieu marin, siège des espèces pélagiques (très sensible aux variations de TSM).

4-1-3- Variabilité spatiale de la TSM et le déplacement de La ligne de Convergence Inter-Tropicale (LCIT)

Les figures 13 et 14 présentent la distribution spatiale de la TSM dans le Golfe de Guinée et la migration de la ZCIT dans cette zone. On observe deux zones thermiques différentes par la variation saisonnière de la TSM. En effet, on a :

- une zone Nord autour du Sénégal, caractérisée par de faible température en décembre, janvier, février, mars et avril ($TSM < 21^{\circ}\text{C}$) ;
- une zone Sud centrée sur la Côte d'Ivoire, caractérisée aussi par de faible TSM dans les mois de juillet, août et septembre ($TSM \approx 23^{\circ}\text{C}$).

Ces zones thermiques sont alimentées par des courants marins différents. La première zone axée sur le Sénégal, est alimentée par le courant de Canaries qui affecte la Mauritanie, le Maroc et la Tunisie. Dans cette partie, les vents côtiers sont responsables du phénomène des remontées d'eaux froides. Par contre, la deuxième zone est alimentée par le courant du Golfe de Guinée. Au sein de cette dernière (axée sur la Côte d'Ivoire et le Ghana), les vents côtiers sont faibles.

Quant à la Ligne de Convergence Inter-Tropicale (LCIT), elle évolue tant sur le plan temporel que sur le plan spatiale. La migration permet donc d'observer que cette ligne est au Sud de Novembre jusqu'en mai (en dessous de 5°N) durant ces 7 mois. A partir de juillet, elle migre vers le Nord au-delà de 10°N .

L'observation faite de la TSM et de la migration de la LCIT montre que les zones proches de la LCIT ont leur température de surface qui se réchauffe alors que les zones des eaux de surface éloignées se refroidissent. Il existe donc une corrélation entre le déplacement saisonnier de la LCIT et la TSM. Cela s'observe au Sénégal, où la période de refroidissement des eaux coïncide avec la migration de la LCIT vers le Sud. Contrairement à la Côte d'Ivoire, où les eaux se refroidissent lorsque la LCIT est très au Nord.

Le long des côtes ivoiriennes, les résultats obtenus ont montré qu'il existe une relation inverse entre la température de surface de la mer et la position de la LCIT. Il existe une tendance au refroidissement de la température de surface de la mer lorsque la Ligne de Convergence Inter-Tropicale migre vers le nord, pendant la période de juillet-septembre selon les années. Le contraire se traduit par une hausse de température lorsque celle-ci descend aux latitudes basses, à savoir aux mois de janvier, février, mai, novembre et décembre.

CODESRIA - BIBLIOTHEQUE

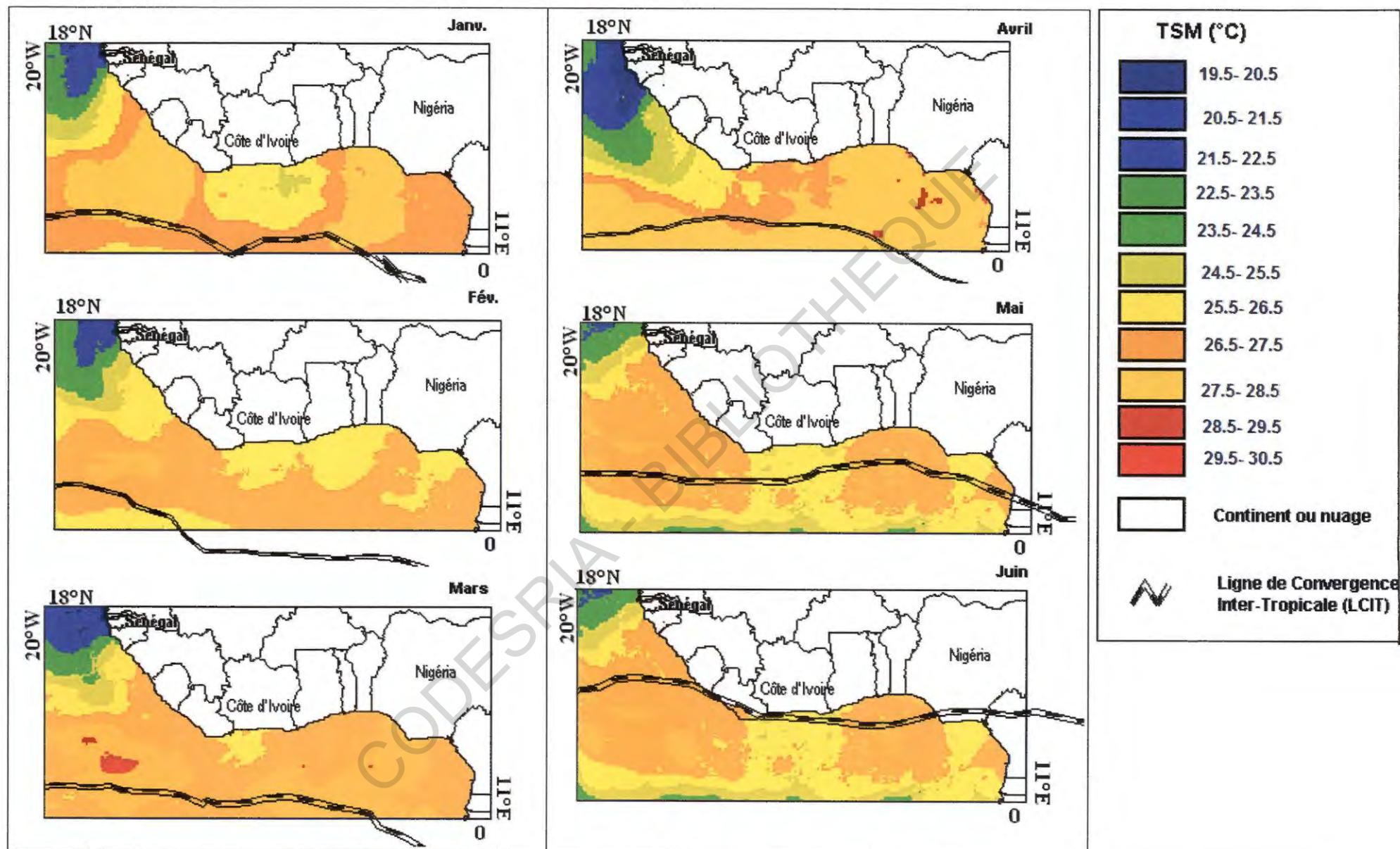


Figure 13 : Variabilité spatiale de la Température de Surface de la mer du golfe de Guinée et la position saisonnière de la Ligne de Convergence Intertropicale (LCIT) basée sur la distribution climatologique des précipitations (Janvier-Juin).

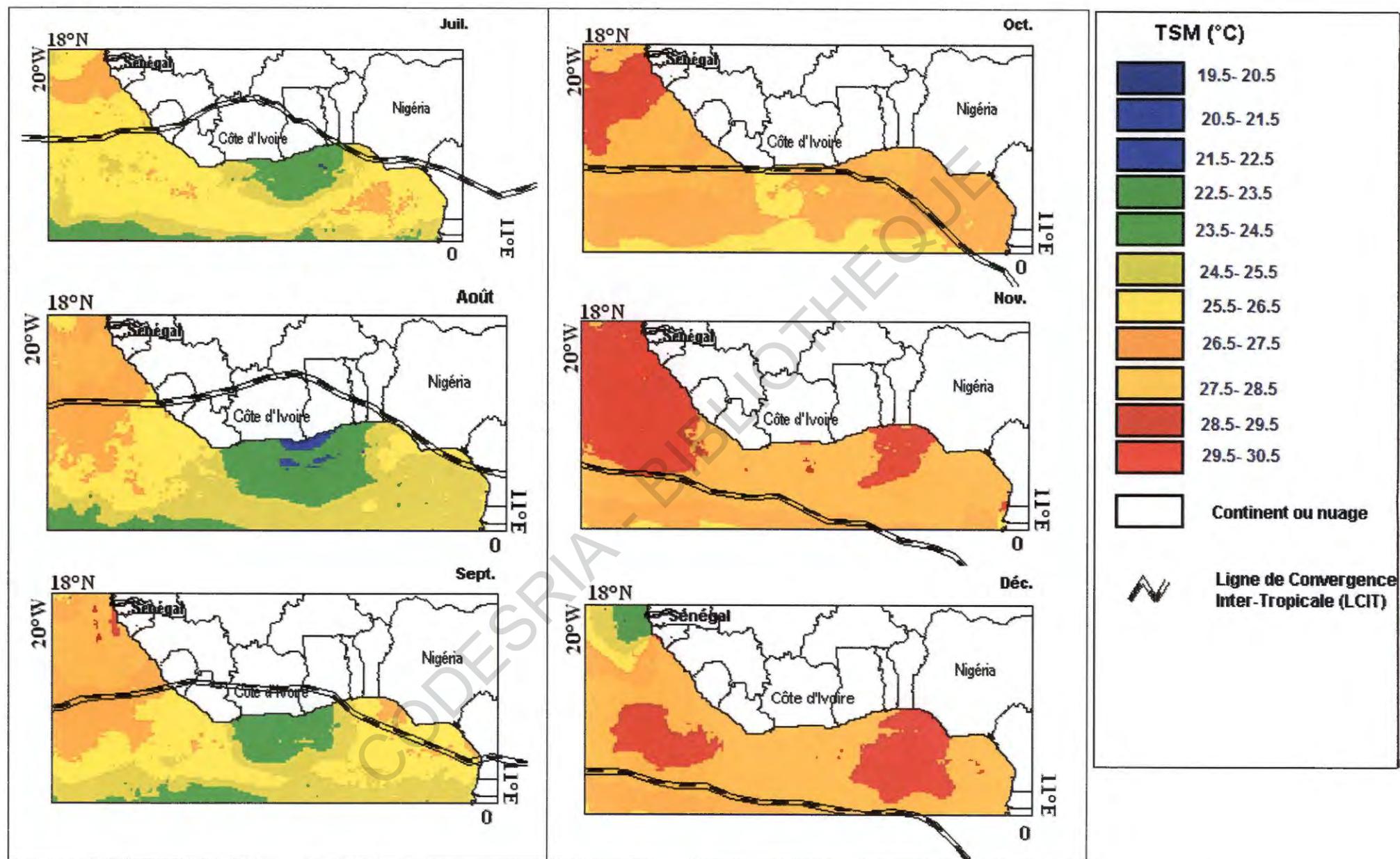


Figure 14 : Variabilité spatiale de la Température de Surface de la mer du golfe de Guinée et la position saisonnière de la Ligne de Convergence Intertropicale (LCIT) basée sur la distribution climatologique des précipitations (Juillet-Décembre).

4-1-4- Relation entre l'indice d'*El Niño* multivarié (MEI) et TSM

Une des méthodes fréquemment employées pour étudier la récurrence et la magnitude des événements *El Niño* est l'indice de l'Oscillation Australe ou l'indice MEI. L'évolution de l'indice MEI (figure 14) repose sur six (6) variables principales mesurées depuis les années 1950. Il intègre des données relatives :

- à la pression atmosphérique au niveau de la mer ;
- aux composantes zonale et méridionale des vents de surface ;
- aux températures en surface de la mer ;
- aux températures en surface de l'air ;
- et à la nébulosité.

Les pics au-dessus de zéro correspondent aux années *El Niño*, tandis que les pics négatifs évoquent les années *La Niña*. Il ressort du graphique une nette tendance à l'accroissement de l'intensité des épisodes *El Niño* ainsi qu'une accélération marquée de leur durée de retour, et ce surtout à partir des années 1970. La figure 15 présente les différentes périodes de *La Niña* (saison froide) et d'*El Niño* (saison chaude) pendant les différentes années. Nous constatons que la période d'étude correspond, d'une part à une période *El Niño* et d'autre part à une période *La Niña* définies comme suit:

- 1997-1998 : période *El Niño* ;
- 1999-2000 : période *La Niña*.

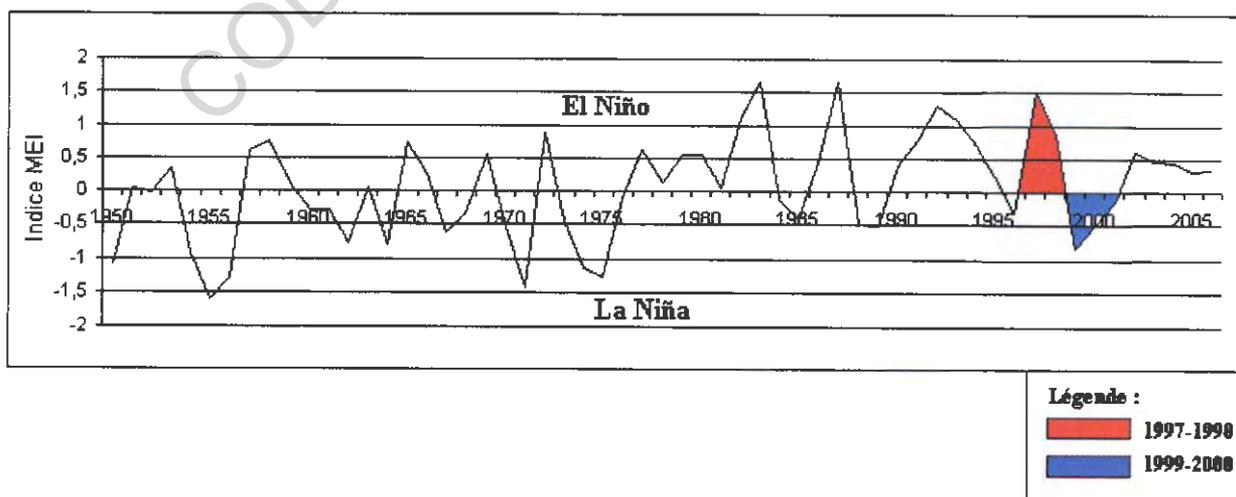


Figure 15: Variabilité temporelle de l'indice MEI de 1950-2006

L'influence de ces phénomènes sur la variabilité saisonnière des processus physiques marins tel que la température de surface de l'eau est observée sur les figures 16 et 17. On note que la température de surface de la mer moyenne est plus faible pendant le mois d'Août en période *El Niño*. En période *La Niña*, le mois de septembre est le plus froid (23,5°C). Et le mois le plus chaud est observé en mai.

De façon générale, la TSM a une variation saisonnière qui concorde aux périodes *El Niño* et *La Niña*. Cependant, pour la période *El Niño* (1997-1998), nous avons une température de surface de mer moyenne de l'ordre de 26,89°C et pour la période *La Niña* (1999-2000), elle est de 26,64°C. D'où, une différence de température de 0,25°C (figure 16).

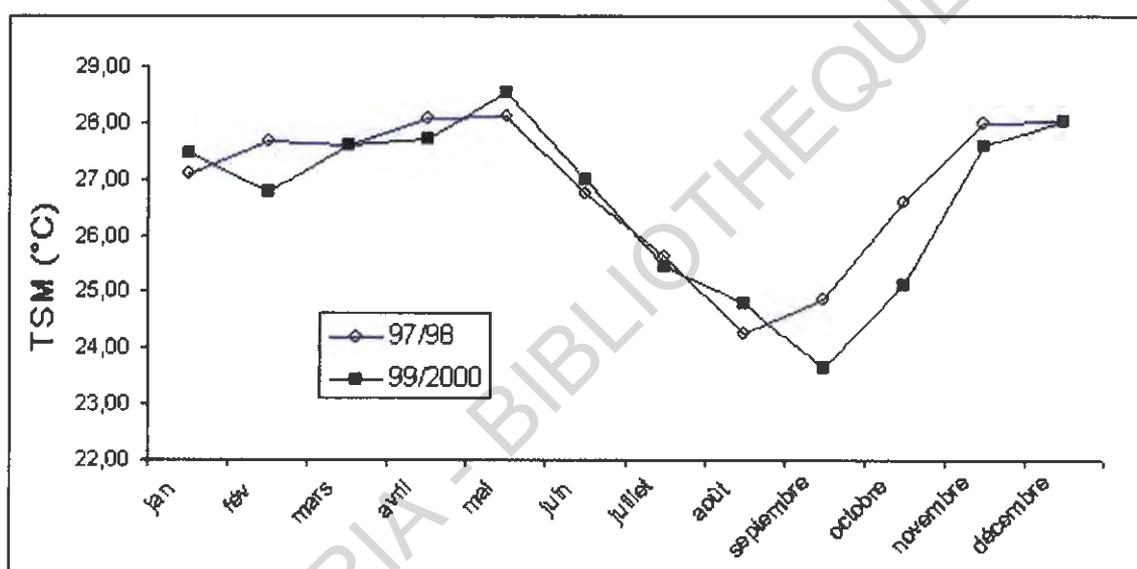


Figure 16: Approche comparative de la TSM pendant les événements *El Niño* (1997/1998) et *La Niña* (1999/2000).

La figure 17 présente la tendance d'évolution de la température de surface de la mer de 1997 à 2000. Cette série temporelle des moyennes spatiales montre que l'intensité de la TSM d'une année à une autre varie. Celle-ci se présente en « dents de scie ». On a :

- une croissance de température de 1997-1998 ;
- une régression de température de 1998-1999 ;
- et enfin un autre regain de température de 1999-2000.

Cela démontre qu'il y a une périodicité d'un an dans la variabilité des paramètres environnementaux tels que la température de surface de la mer (TSM).

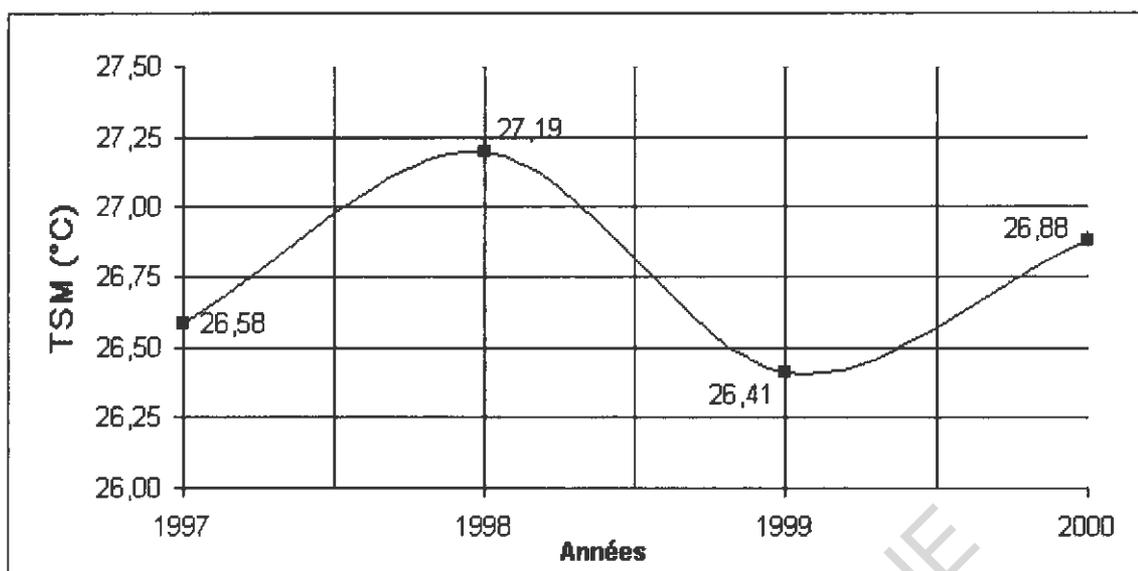


Figure 17: Variabilité inter-annuelle (1997-2000) des moyennes spatiales de la TSM du littoral de la Côte d'Ivoire.

4-1-5- Variabilité des prises de *Sardinella Aurita* et influence des paramètres océanique et climatique

Les prises des pêcheries industrielles ivoiriennes de la période 1997-2000 montrent une saisonnalité bien marquée de *Sardinella aurita* (figure 18). On observe, en général une forte prise en 2000 par rapport aux années 1997, 1998 et 1999.

L'espèce *Sardinella aurita* qui vit sur le plateau continental, préfère les eaux salées (>35‰), non troubles et de température inférieure à 24°C. C'est une espèce planctophage, qui se nourrit aussi bien des zooplanctons (copépodes) que de phytoplanctons (Binet, 1982 ; Djagoua, 2003). *Sardinella aurita* étant une espèce pélagique, c'est-à-dire vivant en général près de la surface marine, elle est influencée par les variations climatiques. Pour la période 1997-1998, le stock de *S. aurita* est respectivement de 8 912,64 tonnes (1997) et 11 096,95 tonnes (1998) et celle de la période 1999-2000, elle est respectivement de 12205,73 tonnes (1999) et 1935,10 tonnes (2000). Nous avons un cumul de 20 009,59 tonnes pour la première période allant de 1997 à 1998 (période *EL Niño*) et de 31563,83 tonnes pour la seconde période allant de 1999 à 2000 (période *La Niña*). Cela traduit un stock plus élevé en saison froide (*La Niña*) et un stock plus bas pendant la saison chaude (*EL Niño*). La figure 18 illustre cette croissance du stock.

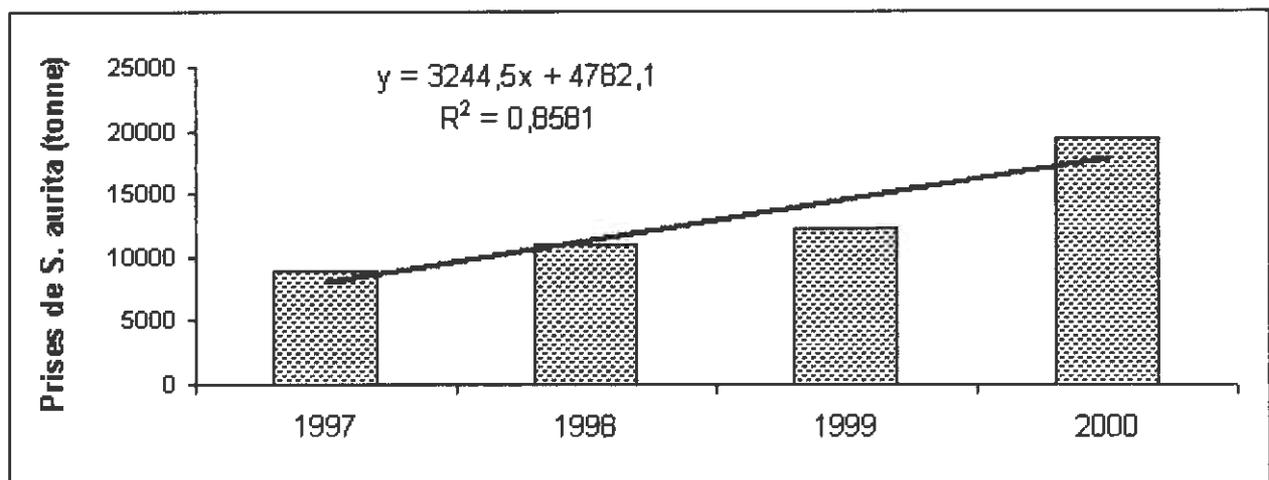


Figure 18: Variation des prises de *Sardinella aurita* de 1997 à 2000

4-2- Discussion des résultats

4-2-1- Variabilités temporelle et spatiale de la TSM et la migration de la ZCIT

L'analyse des résultats relatifs aux variations temporelle et spatiale de la TSM et la migration de la ZCIT montre une relation inverse entre ces deux phénomènes. Ceci confirme les travaux antérieurs d'O'Brien et *al.* (1978) et Servain et *al.* (1982) qui ont montré que le refroidissement de la température de surface de la mer devant les côtes ivoiro-ghanéennes est dû à une propagation des ondes internes océaniques qui naissent lorsque les alizés de direction Sud-Est s'intensifient par le changement de la position de la ZCIT dans la partie ouest de l'Atlantique tropical. Ils ajoutent que cela crée alors une modification de la thermocline qui s'affaisse un peu plus en profondeur en direction de l'Atlantique ouest, alors qu'elle est plus proche de la surface vers les côtes africaines (Bakun, 1996 *in* Djagoua, 2003). Ce phénomène se produit lorsque l'Océan Pacifique entre dans sa phase de période chaude (*El Niño*), ce qui correspond à une période froide (*La Niña*) de l'Atlantique (Merle et Hisard, 1996 ; Binet et *al.*, 2001).

Ce processus physique influence la production primaire de cette région et agit à différentes échelles temporelles. Dans l'écosystème marin ivoirien, il existe un processus complexe lié à la position latitudinale de la ZCIT. Centré sur la latitude 5°N, la ZCIT oscille autour de cette position selon les saisons. Lorsque la position moyenne de la ZCIT coïnciderait avec l'équateur géographique en mars-avril, la température de surface de la mer devient chaude.

Dans son évolution, un peu plus vers le nord (position moyenne extrême), la couche de température de surface du littoral ivoirien se refroidit. Par ailleurs, pour Bakun (1996) le vent côtier est le principal moteur des résurgences côtières ; celui-ci est lui aussi guidé par le changement de la position saisonnière de la ZCIT. Au niveau de la Côte d'Ivoire, l'on observe de faibles tensions de vents ne pouvant pas déclencher le phénomène d'*upwelling*.

Les observations faites sur la variabilité interannuelle de la TSM montrent que la TSM tend à se refroidir dans l'ensemble de l'écosystème marin ivoirien ; Bien que nous n'ayons pas de données de courant pour le confirmer, Merle et Hisard (1990) et Binet et *al.* (2001) ont avancé que ce comportement thermique serait le fait aussi du ralentissement de l'action conjuguée du Contre Courant Nord Equatorial (CCNE) et du Courant de Guinée (CG), d'une part et du Sous-Courant Equatorial (SCE) et du Contre Courant Sud (CCSE) d'autre part qui agissent comme des vecteurs des eaux accumulées à l'Ouest, le long des côtes sud-américaines vers l'Est de l'Atlantique (côtes africaines) formant ainsi une boucle.

Selon Morlière et Rebert (1972), Colin et Bakayoko (1984) et Colin et Cissoko (1984), les fluctuations saisonnières de la température de surface de la mer sont des indicateurs du développement d'un phénomène physique saisonnier, l'*upwelling*, sur le littoral ivoirien en particulier et en général dans le Golfe de Guinée. Les plus fortes intensités de cet *upwelling* sont observées lorsque les températures de surface de la mer sont basses, notamment en juillet, août et septembre (Arfi et *al.*, 1993).

Selon Bakun (1996), le succès du recrutement et de la disponibilité des espèces pélagiques nécessite de meilleures conditions environnementales. Les différentes positions de la ligne de convergence intertropicale nous révèlent différentes conditions environnementales.

Les résultats ont aussi montré qu'il existe des différences importantes entre les diverses régions du Golfe de Guinée (Côte d'Ivoire et Sénégal, par exemple) en ce qui concerne la variabilité saisonnière de la TSM. Les tendances observées dans les séries temporelles de la température de surface de la mer indiquent que le Golfe de Guinée est caractérisé par une complexité de grande échelle affectant cette région. Le premier processus est basé sur la variabilité des alizés équatoriaux. Lorsque ceux-ci faiblissent, ils entraînent une réponse océanique consistant en un flux d'eau vers l'Est bloquant le processus d'*upwelling*. Assez similaire à un El Nino typique, les TSM augmentent alors dans l'ensemble du Golfe de Guinée (Merle et Hisard, 1990 ; Xie et Carton, 2004). Le second processus est plus complexe et est relié à la position latitudinale de la ZCIT. Et c'est ce que nous avons montré dans cette étude. Centré sur la latitude 5°N, la ZCIT oscille autour de cette position selon les saisons.

Les résultats montrent que lorsque la position moyenne de la ZCIT coïncide avec l'équateur géographique en Novembre-Mai, la TSM est chaude entre 5°N et 10°S (régions Centre et Est du Golfe de Guinée), alors que le phénomène inverse est observé dans la région Nord (Sénégal). Lorsque la position moyenne migre un peu plus vers le Nord, elle induit une réponse plus importante de la couche de surface du Golfe de Guinée qui se refroidit dans les parties Sud. Par ailleurs, le vent côtier est lui aussi guidé par ce changement de position saisonnière de la ZCIT (Thomas et *al.*, 2004).

4-2-2- Relation entre la disponibilité de la *Sardinella aurita* et la position de la ZCIT

Pour la position septentrionale de la LICT pendant la période de juillet à septembre selon les années, la TSM du littoral n'excède pas 25°C. Sur la Côte d'Ivoire, en 1999 et en 2000, la LCIT avait une position latitudinale plus élevée que les années 1997 et 1998, se traduisant ainsi par de basses TSM au cours du mois de septembre. Ces conditions environnementales favorables ont engendré une hausse des prises de *Sardinella aurita* en 1999-2000 (saison froide) par rapport à la période 1997-1998 (saison chaude).

Conclusion partielle

Il existe une relation inverse entre les TSM et la migration de la ZCIT à l'échelle saisonnière. Ce lien interagit aussi sur le recrutement des ressources pélagiques en Afrique occidentale.

Le jeu de données de TSM et de précipitations, dérivés respectivement du capteur AVHRR/NOAA et du capteur PR/TRMM, et aussi des données statistiques de pêche de la *Sardinella aurita* (1997-2000) en Côte d'Ivoire ont permis de mieux comprendre la variation des conditions.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

CODESRIA-BIBLIOTHEQUE

La pêche est une activité essentielle des pays de l'Afrique de l'Ouest. Source importante de revenus, elle subvient aussi aux besoins alimentaires des populations locales.

L'étude menée dans le milieu marin ivoirien avait pour objectif principal d'apporter une contribution à l'amélioration des connaissances de cet environnement ; cela s'est traduit par la mise en évidence des facteurs clés responsables de la grande variabilité spatio-temporelle de la disponibilité du stock halieutique.

Pour cela, l'étude de la migration de la Zone de Convergence Inter-Tropicale (ZCIT) dans les longitudes 40°W et 40° E, et les latitudes 15° N et 10°S, a été faite à partir de jeu de données du capteur Precipitation Radar (PR) du satellite TRMM, par le biais de l'interface TOVAS. La variable étudiée est la pluie. L'atmosphère est particulièrement sensible aux variations des conditions thermiques océaniques superficielles des basses latitudes. Les années 1997-1998 et 1999-2000, représentant une oscillation thermique particulièrement bien marquée, ont servi de support aux considérations relatives aux variations interannuelles.

Ce travail a permis de montrer la relation existant entre la disponibilité des stocks halieutiques, en particulier les stocks de *Sardinella aurita* et les différentes positions de la ligne de Convergence Intertropicale (LCIT) durant la période 1997-2000 à l'aide des données pluviométriques en Afrique de l'Ouest.

En effet, nous avons pu mettre en évidence que les événements *El Niño/La Niña* marquent respectivement par un réchauffement et un refroidissement la température de surface de la mer (TSM). Ce qui se caractérise par de faibles prises en période *El Niño* et de fortes prises en période *La Niña*.

Cette étude a aussi montré que plus la LCIT est très haute et plus la température de surface de la mer est basse dans les eaux marines ivoiriennes.

En perspectives, une étude fine et régulière dans le Golfe de Guinée est nécessaire pour une meilleure gestion des pêches afin d'estimer le potentiel des ressources exploitables.

Il conviendrait ainsi de:

- mettre en place des modèles pour mieux connaître les poissons pélagiques dans la chaîne alimentaire des écosystèmes d'*upwelling* ;
- analyser les interactions entre écosystème d'*upwelling* et la dynamique des stocks de poissons pélagiques ;
- mieux suivre les oscillations océaniques de surface et de profondeur de l'Atlantique tropical oriental.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abé, J. (2005).** Contribution à la connaissance de la morphologie et de la dynamique sédimentaire du littoral ivoirien (cas du littoral d'Abidjan). Essai de modélisation afin d'une gestion rationnelle. Thèse de Doctorat d'Etat ès sciences, Université de Cocody-Abidjan, 364 p.
- Aka, K. (1991).** La sédimentation quaternaire sur la marge de Côte d'Ivoire : Essai de modélisation. Thèse de Doc. Es Sc Nat., Université d'Abidjan, n°146, 320 p.
- Auge, A. ; Denise, L. ; Lambert, G. ; Staszak, L. (2005).** Olympiades de physique- Cours sur la température de la surface des océans, Lycée Roosevelt-Reims, 14 p.
- AMMA (2004).** Programme d'étude de la circulation océanique et de sa variabilité dans le Golfe de Guinée ; Composante océanique française. Document technique, 52 p.
- Arfi, R., Pezennec, O., Cissoko, S. et Mensah, M. (1993).** Évolution temporelle d'un indice caractérisant l'intensité de la résurgence ivoiro-ghanéenne. In : Environnement et Ressources Aquatiques de la Côte d'Ivoire. I- Le milieu marin. Paris, ORSTOM, pp. 111-122.
- Berrit, G. R. (1961).** Contribution à la connaissance des variations saisonnières dans le Golfe de Guinée. Observations de surface le long des lignes de navigation. Cah. Océanogr., 13 (10) : pp.715-727.
- Berrit, G. R. (1973).** Recherches hydroclimatiques dans les régions côtières de l'Atlantique tropical oriental. Etat des connaissances et perspectives. Bull. Mus. Natl. Hist. Nat., Paris (3^e sér.) (Ecol. Gén.), 148 (4) : pp. 85-99.
- Binet, D. (1982).** Influences des variations climatiques sur la pêche de *Sardinella aurita* ivoiro-ghanéenne : Relation sécheresse-surpêche. Oceanol. Act., vol. 5, n°4, pp. 443-452.
- Binet, D. (1983).** Phytoplancton et production primaire des régimes côtiers à upwelling saisonniers dans le Golfe de Guinée. Océanogr. Trop., vol. 18, n°2, pp. 231-335.
- Binet, D. (1988).** 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 Ressour., 1, pp.115-132.

- Binet, D. (2001).** *El Niño* Atlantique. Piège à Sardinelles. Journal de l'IDR, les Dossiers Sciences au Sud, n°10, Juillet-Août, 2001, 8 p.
- Binet, D. ; Gobert, B. et Malouck, L. (2001).** *El Niño*-like warm events in the Eastern Atlantic (6°N, 20°S) and fish availability from Congo to Angola (1964-1999). *Aquat. Living Ressour.*, n° 14, pp. 99-113.
- Brou, Y. T. (1997).** Analyse et dynamique de la pluviométrie dans le sud forestier ivoirien : recherche de corrélations entre les variables climatiques et les variables liées aux activités anthropiques. Thèse de Doctorat 3è Cycle en Géographie, Université de Cocody, 211 p.
- Boely, T. et Fréon, P. (1979).** Les ressources pélagiques côtières in : J.P. Traodec et S. Gracia (eds). Les ressources halieutiques de l'Atlantique Centre-Est. Première partie : Les ressources du Golfe de Guinée, de l'Angola à la Mauritanie. FAO Doc. Tech., 186 ; 167 p.
- Bakun, A. (1976).** Patterns in the Ocean : Ocean processes and marine population dynamics. California Sea Grant College System, NOAA, La Jolla, California.
- Camara, M. M. B. (2004).** L'évaluation d'un aménagement littoral : la pêche et l'ouverture de la brèche sur la langue de Barbarie (Grande Côte Sénégalaise) impact écologique et économique. DEA CHAIRE UNESCO, Département de Géographie, Université Cheikh Anta Diop, 68 p.
- Christensen V. ; Pauly D. et Ecosystem Analysts. (1997).** Replaçons les ressources halieutiques dans le contexte de l'écosystème. Initiative de Recherche Halieutique. Bulletin vol 10 n°2, 3 p.
- Colin, C. (1988).** Costal upwelling event in front of Ivory Coast during the Focal Program. *Oceanol. Acta* 11 (2): pp. 125-138.
- Colin, C. et Bakayoko, S. (1984).** Variation saisonnière des structures hydrologique et dynamique du plateau continental ivoirien. *Arch. Scient. Du Centre de Recherche Océano. Abidjan.* Vol. X, n°3 ; 64 p.
- Colin, C. et Cissoko, S. (1984).** Observations hydrologiques et dynamiques le long de deux radiales du plateau continental ivoirien pendant l'année FOCAL 1983. *Arch. Scient. Centre Rech. Océanogr. Abidjan,* vol. 10, n°7, 99 p.
- Citeau J. ; Cammas J. P. ; Gouriou Y. ; et Guillot B. (1986).** Remarques sur la migration de la zone de convergence intertropicale en Atlantique, les températures de surface du Golfe de

Guinée, et la pluviométrie en Afrique de l'Ouest sahélienne et au Nord Est du Brésil, pp 81-93. Disponible auprès de : « <http://horizon.documentation.ird.fr>. ».[Consulté en mars 2007].

Cury P. et Roy C. (1987). Upwelling et pêche des espèces pélagiques côtières de Côte d'Ivoire : une approche globale. *Oceanol. Act.*, 187, vol 10, n°3, pp. 347-356.

Delecluse, P. (1997). *El Niño*, le retour d'une énigme d'eau et de vent. *Science et Vie Hors Série*, 198, mars 1997, pp. 84-93.

Demoraes, F. (1999). Etude des conséquences immédiates et à terme des phénomènes associés à un événement *El Niño* ; Intérêt d'une approche géographique. Mémoire de DEA Interface Nature/Société, Université de Savoie, 106 p.

Djagoua, E. M. V. (2003). Contribution de l'imagerie satellitaire visible et infrarouge thermique à l'étude de la variabilité spatio-temporelle des phénomènes physiques de surface du littoral ivoirien et implication dans la variabilité du phytoplancton et des prises de Sardinelle aurita. Thèse de Doctorat Unique, Université de Cocody-Abidjan, 136 p + annexes.

Djagoua, E. M. V. (2006). Couleur de l'océan et variabilité saisonnière et interannuelle de la concentration de la chlorophylle dans le Golfe de Guinée par l'utilisation des images SeaWiFS. Rapport de stage Post-Doctoral, Institut Maurice Lamontagne (IML), 47 p.

Fadika, V. (2004). Impacts de la variabilité climatique sur le débit d'un cours d'eau, cas du N'Zo à Kahin. Mémoire de DEA, Université d'Abobo-Adjamé, 76 p.

FAO (1980). Rapport de la réunion spéciale sur la mesure de l'effort de pêche appliquées aux petites pélagiques dans la zone Nord du COPACE. COPACE/TECH/80/19 (fr). 19 p.

FAO (2004). Le changement climatique et l'avenir des pêcheries régionales: une analyse en collaboration, Document Technique sur les Pêches, 25 p.

Giraud, X. (2001). Restitution paléocéanographique du signal $\beta^{17}N$: modélisation couplée physique et biogéochimique d'un upwelling côtier. Thèse de l'Université de Bordeaux I, spécialité : océanologie, paleo-océanologie, 198 p.

IPCC (2001). Indices de l'évolution du climat : évaluation de la vulnérabilité. Rapport spécial du groupe de travail II du GIEC, 27 p.

Kandel, R. (1993). L'observation du système climatique depuis l'espace ; Les Cahiers du MURS n°30/31 - 3/4ème trimestres 1993 Laboratoire de Météorologie Dynamique, CNRS – Palaiseau, pp. 5-17.

- Koffié Bikpo, C.Y. (1997).** La pêche artisanale maritime en Côte d'Ivoire : étude géographique. Thèse de Doctorat Géographie- Sciences humaines de la Mer, Université de Nantes, 327 p.
- Lafont, D. (2005).** Prise en Compte des Hétérogénéités dans la Restitution de l'Eau Nuageuse et des Précipitations par Radiométrie Micro-Onde Passive, Thèse de Doctorat en Physique de l'atmosphère, Université Blaise Pascal, UR de Recherche Scientifique et Technique, Ecole Doctorale des Sciences Fondamentales, 193 p.
- Le Guen; C. et Chevalier R. (1983).** Étude des pêcheries : réflexions sur l'environnement et la gestion multispécifique. Rev. Tvav. Inst. Pêches marit., 46 (1) : pp. 9-70.
- Lemasson, L., Rebert, J. P. (1973).** Courants marins dans le Golfe ivoirien. Cahiers ORSTOM, Série Océanographique, 11 : pp. 67-95.
- Leroux, M. (1983).** La dynamique du temps et du climat. Enseignement des Sciences de la Terre. Masson, Paris, 310 p.
- Merle, J. (1980).** Variabilité thermique annuelle et interannuelle de l'océan Atlantique équatorial Est. L'hypothèse d'un « El Nino » Atlantique. Océanologica Acta, Vol. 3-N°2, pp. 209-220.
- Merle, J. et Hisard, Ph. (1990).** Interactions océan-atmosphère dans les Tropiques. Ann. Géo., n°553, pp. 273-290.
- Mondé, S. (1997).** Nouvelles approches de la cartographie du plateau continental de Côte d'Ivoire : aspects morphologiques et sédimentologiques. Thèse 3è Cycle, Université de Cocody, n° 253/97, 156 p.
- Molière, A. et Rebert, J.P. (1972).** Etude hydrologique du plateau continental ivoirien. Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr. Abidjan, vol. 3, n°2, pp. 1-30.
- N'Guéttia, K. I. (2006).** Variabilité spatio-temporelle des précipitations en zone côtière sous climat sub-équatorial : cas du domaine de la SO.G.B dans la région Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. Mémoire de DEA, Université d'Abobo-Adjamé, 81 p.
- O'brien J.J.; Adamec D.; Moore D.W. (1978).** A simple model of equatorial upwelling in Gulf of Guinea. Geophys. Res. Lett., 5, pp. 641-644.

Ould Taled Ould Sidi, M. M. (2005). Les ressources de petits pélagiques en Mauritanie et dans la zone nord ouest africaine : variabilité spatiale et temporelle, dynamique et diagnostic. Thèse de Doctorat Unique, Agrocampus Rennes, 274 p.

Pezenec O. ; Marchal E. et Bard F.X. (1993). Les espèces pélagiques côtières en Côte d'Ivoire : Ressources et exploitation In : Environnement et Ressources Aquatiques de la Côte d'Ivoire. I-Le milieu marin. Paris, ORSTOM, pp. 387-426.

Philippon, N. (2002). Une nouvelle approche pour la prévision statistique des précipitations saisonnières en Afrique de l'Ouest et de l'Est : méthodes, diagnostics (1968-1998) et applications (2000-2001). Thèse de Géographie, option Climatologie, Université de Bourgogne, 241 p.

Roy C. ; Cury P. ; Fofana A. et Belvège H. (1989). Stratégies spatio-temporelles de la reproduction des clupeids des zones d'upwelling d'Afrique de l'ouest. *Aquat. Living Resour.*, 2, pp. 21-29.

Servain J. ; Picaut J. ; Merle J. (1982). Evidence of remote forcing in the equatorial Atlantic ocean. *J. Phys. Oceanogr.*, 12, pp. 457-463.

Servat, E., Paturol, J.E, Lubes, H., Kouamé, B., Ouédraogo, M., Masson, J.M. (1997). Variabilité climatique en Afrique humide le long du Golfe de Guinée. Première partie : analyse détaillée du phénomène en Côte d'Ivoire. *Journal of Hydrology*, 191, pp. 1-15.

Sultan, B. et Janicot, S. (2004). La variabilité climatique en Afrique de l'Ouest aux échelles saisonnières et intra-saisonnière. I : mise en place de la mousson et variabilité intra-saisonnière de la convection. *Science et Changements planétaires, Secheresse*, Vol. 15, n°4, pp. 321-330.

Thomas, A. C., Strub, T. B., Carr, E. M. and Weatherbee, R. (2004). Comparaisons of chlorophyll variability between the four major global eastern boundary currents. *Int. J. remote Sensing*, vol. 25, n°7-8, pp. 1443-1447.

Wooster W.; Bakun A. and McLain D. R. (1976). The seasonal upwelling cycle along the Eastern boundary of North Atlantic. *J. Mar. Res.*, 34, pp. 131-141.

Xie, S-P et Carton, J.A (2004). Tropical Atlantic Variability: Patterns, Mechanisms, and Impacts. *Earth Climate: The ocean-Atmosphere Interaction*, C. Wang, S.-P. Xie, and J. A. Carton (eds.), *Geophysical Monograph*, 147, AGU, Washington D.C., pp. 121-142.