

T D M

TRAVAUX ET DOCUMENTS
MICROFICHES

N° 131

F4

DYNAMIQUE SAISONNIÈRE ET SPATIALE DE LA RESSOURCE DANS LES PÊCHERIES THONIÈRES DE L'ATLANTIQUE TROPICAL EST

Eric FOUCHER

ORSTOM
Éditions

E.N.S.A. de RENNES

Unité Halieutique, D.E.E.R.N.

N° d'ordre : 94 - 17

Série : H

N° de série : 33

THESE

présentée devant

L'ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE DE RENNES

POUR OBTENIR LE TITRE DE DOCTEUR DE L'ENSAR

Mention : **HALIEUTIQUE**

par

Eric FOUCHER

**Dynamique saisonnière et spatiale de la ressource dans les
pêcheries thonières de l'Atlantique Tropical Est.**

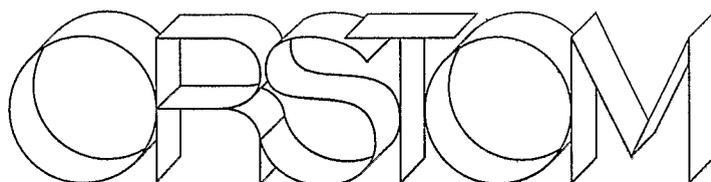
Préparée à : **ORSTOM** (Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en
Coopération) et

CRODT (Centre de Recherches Océanographiques de Dakar Thiaroye)

Soutenue le 14 novembre 1994 devant le Jury :

M. LE GALL Jean-Yves	ENSA Rennes	Président
M. LE GUEN Jeu-Claude	ORSTOM Brest	Rapporteur
M. FONTENEAU Alain	ORSTOM Dakar	Rapporteur
M. DENIEL Christian	Université de Brest	Examineur
M. CAYRÉ Patrice	ORSTOM Paris	Examineur
M. GASCUEL Didier	ENSA Rennes	Examineur

TDM 131



Editions de l'ORSTOM

L'INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION

Collection :

Travaux et Documents Microédités

PARIS 1995

ISBN : 2-7099-1251-1

© ORSTOM

F 4

«La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2
« et 3 de l'article 41, d'une part, que les «copies ou reproductions
« strictement réservées à l'usage privé du copiste et non des-
« tinées à une utilisation collective» et, d'autre part, que les
« analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et
« d'illustration, «toute représentation ou reproduction intégrale,
« ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses
« ayants droit ou ayants cause, est illicite» (alinéa 1er de l'article 40).

« Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé
« que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par
« les articles 425 et suivants du Code pénal.»

AVANT-PROPOS

Cette étude a été financée par l'Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM). Elle a d'autre part fait l'objet d'une allocation de recherches de 3 ans du Ministère de la Recherche de la Technologie. Les travaux ont été réalisés au Sénégal, au Centre de Recherches Océanographiques de Dakar Thiaroye (CRODT). La fin de la rédaction et la finalisation de la thèse ont ensuite été menées dans l'Unité Halieutique de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes (ENSAR).

Je tiens ici à exprimer ma plus vive gratitude à tous ceux qui m'ont aidé dans la réalisation de cette thèse.

Je remercie tout particulièrement Monsieur Jean-Yves LE GALL, responsable de l'Unité Halieutique du Département Environnement et Exploitation des Ressources Naturelles (DEERN) de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, d'avoir bien voulu présider le jury de cette thèse, et d'avoir toujours facilité mes conditions de travail lors de mes nombreux passages à l'ENSAR au cours de ma dernière année de thèse.

Je suis particulièrement reconnaissant envers Monsieur Alain FONTENEAU : d'abord parce que cette thèse a eu lieu grâce à son initiative, ensuite parce qu'il a suivi et dirigé ce travail, et enfin parce qu'il a bien voulu apporter un jugement éclairé sur cette thèse. J'ai beaucoup appris à ses côtés : les nombreuses discussions que nous avons pu avoir m'ont permis de partager un peu de son immense connaissance des thonidés tropicaux. Les sorties "pêche à l'espadon" furent malheureusement un peu moins fructueuses. Je tiens à lui exprimer mes sincères remerciements pour tout ce qu'il m'a apporté.

Je tiens également à saluer très chaleureusement Monsieur Jean-Claude LE GUEN, responsable du Centre ORSTOM de Brest et pionnier des recherches thonières tropicales : merci d'avoir bien voulu participer à mon jury et juger ce travail.

Monsieur Christian DENIEL, responsable du Laboratoire de Biologie Animale de l'Université de Bretagne Occidentale (Brest), m'a fait l'immense honneur de participer au jury, bien qu'il ait été prévenu très tardivement. Monsieur Patrice CAYRÉ, responsable de l'Unité de Recherches Halieutiques de l'ORSTOM, a bien voulu faire partie de ce jury, malgré un emploi du temps très chargé. A tous deux, mes sincères remerciements.

Merci également à Monsieur Serge FRONTIER, responsable du Laboratoire d'Ecologie Numérique de Lille, d'avoir accepté de lire attentivement cette thèse : ses remarques et critiques ont largement contribué à l'amélioration de la version définitive.

Monsieur Didier GASCUEL a été de nombreuses fois mon maître à penser. Outre son extrême compétence en dynamique des populations, il a toujours su, avec beaucoup de pédagogie, se mettre au niveau de ses étudiants pour transmettre ses connaissances. Plus qu'un professeur, il est devenu un ami. La réalisation de ce travail, et le fait qu'il soit arrivé à terme, lui doivent énormément. Ma reconnaissance ne sera jamais assez grande.

Je voudrais également remercier Monsieur Jean COLLIGNON pour m'avoir fait découvrir l'halieutique, et pour le grand intérêt qu'ont toujours eu ses cours.

Messieurs André FONTANA et Philippe MATHIEU, successifs Représentants de l'ORSTOM au Sénégal, et Monsieur Diafara TOURÉ, Directeur du CRODT, m'ont permis de bénéficier des meilleures conditions de travail possibles lors de mon affectation à Dakar. Je les en remercie. Merci encore à tous mes collègues du CRODT pour leur accueil, et plus particulièrement Monsieur Taïb DIOUF, pour les longues discussions, pas seulement halieutiques, que nous avons pu avoir et pour son amitié, et Madame Seynabou SENE.

Ce travail repose sur de nombreux traitements informatiques. Les informaticiens du CRODT ont souvent été mis à contribution pour combler mes errances : merci à Madame Vivéca FONTENEAU, pas seulement pour l'informatique d'ailleurs, et aux VSN Daniel CORTINOVIS, pour ses connaissances en intelligence artificielle, et Jean-Luc LAMOTTE, expert en UNIX et en langage C.

Monsieur Haïdar EL ALI, moniteur fédéral et responsable du club de plongée sous-marine de Dakar, l'OCÉANIUM, m'a fait découvrir l'incroyable richesse de la faune sous-marine sénégalaise. Les nombreuses immersions dans le Grand Bleu m'ont bien souvent permis de décompresser. Merci à lui, et à tous les membres de l'Océanium.

Je n'oublie pas non plus Madame Chantal GASCUEL, ainsi que ses enfants, que j'ai souvent dérangée au cours des derniers mois. Merci de tout coeur pour son accueil, son hospitalité et ses encouragements.

Je dédie cette thèse à ceux que j'aime : à mes parents, qui ont tout fait pour moi ; à Héléne, qui a dû supporter quotidiennement mes états d'âme, mon mauvais caractère et mes trop nombreuses absences, et à Sylvain.

RÉSUMÉ

Bien que les connaissances accumulées sur les thonidés de l'Atlantique Tropical Est soient très importantes, la dynamique spatio-temporelle de la ressource reste encore mal connue. Ne disposant pas de résultats de marquages en nombre suffisant, on ne peut pas utiliser des méthodes directes pour étudier les migrations. On aborde donc la dynamique des thonidés, en s'appuyant sur les statistiques de pêche, par deux méthodes originales, l'une reposant sur les équations fondamentales de la dynamique des populations marines, l'autre sur une approche intelligence artificielle.

La première méthode permet d'estimer, pour l'albacore (*Thunnus albacares*) et le listao (*Katsuwonus pelamis*), des bilans de migration, par âge trimestriel, entre différentes zones de pêche. A partir de ces bilans migratoires et des estimations des effectifs locaux, on déduit un schéma global des migrations de ces deux espèces dans l'Atlantique Est. Pour l'albacore, ce schéma initial se complique, puisque des migrations transatlantiques interviennent, notamment pour les âges pré-adultes. Des taux de migration entre les deux façades de l'Atlantique sont estimés par âge ; on en déduit un schéma plus général des migrations de l'albacore dans l'Atlantique.

La deuxième méthode est appliquée uniquement au listao. A partir de la comparaison de deux estimations des effectifs par âge dans chaque zone, l'une théorique et l'autre calculée pas à pas, le modèle présenté estime des flux de poissons par âge entre chaque zone. Un nouveau schéma des migrations du listao dans l'Atlantique Est est proposé à partir de ces flux. Ce schéma confirme celui obtenu à partir de la méthode précédente.

Les concentrations de thonidés ont une importance considérable dans les pêcheries de senneurs, puisqu'elles peuvent contribuer jusqu'à 45% des prises totales annuelles. L'analyse de leur distribution spatio-temporelle confirme la dynamique de la ressource décrite précédemment.

L'intérêt de ce travail est donc double : fournir des outils méthodologiques pour l'étude quantitative des migrations, et proposer des estimations des flux de thonidés. Ces estimations ne constituent qu'une étape préliminaire, et pourraient être intégrées dans un modèle à compartiments des migrations des thons dans l'océan Atlantique.

Mots clés: thons tropicaux, albacore, *Thunnus albacares*, listao, *Katsuwonus pelamis*, migration, concentration, Atlantique Tropical Est.

ABSTRACT

Background knowledge on Eastern Tropical Atlantic tunas is very important. But space-time dynamics of resources are still not very well known. Because enough tagging results are not available, direct methods to study migrations can not be used. So, tunas dynamics is then approach using two original methods, based on fisheries statistics. The first one is based on the fundamental equations of fish population dynamics, and the second one uses an artificial intelligence approach.

The first method estimates migration assessments, between different fishing areas by quarterly age for the yellowfin (*Thunnus albacares*) and skipjack (*Katsuwonus pelamis*) tunas. With these migration assessments, and also with local population estimations, a global migration scheme is shown, for these two species. Migrations could have larger amplitude for yellowfin, which can migrate to western Atlantic, especially on pre-adult ages. Migrations rates between the two sides of Atlantic ocean are estimated by age. A general scheme for the yellowfin migrations in the Atlantic is then proposed.

The second method is applied on skipjack tuna only. A model, which estimates migration flows by age and area, is built. This estimation is obtained by a comparison of two values of age and area strengths : one theoretical value, and one calculated age by age. Upon these flows of skipjack, a new migration scheme in Eastern Atlantic is proposed ; validation of precedent scheme is so given.

Tunas concentrations are very important for purse-seine fisheries, since they could represent up to 45 per cent of yearly catches some years. The space-time distributions of the concentrations are analysed and the dynamics of the resources are again confirmed.

So, this study has a double interest : to give methodological tools for numerical studies of migrations, and to propose estimations of tunas flows. These estimations are however only a preliminary step to the constitution of a box model for tuna migrations in Atlantic ocean.

Keywords: Tropical tunas, yellowfin, *Thunnus albacares*, skipjack, *Katsuwonus pelamis*, migration, concentration, Eastern Tropical Atlantic.

LISTE DES ABREVIATIONS UTILISEES

ACM :	Analyse des Correspondances Multiples
ACP :	Analyse en Composantes Principales
ANG :	Angola
BET :	Patudo (Bigeye tuna)
CAH :	Classification Ascendante Hiérarchique
CEE :	Communauté Economique Européenne
CL :	Cap Lopez
CP :	Cap des Palmes
CRO :	Centre de Recherches Océanographique d'Abidjan
CRODT :	Centre de Recherches Océanographiques de Dakar Thiaroye
CV :	Cap Vert
ENW :	Equateur Nord Ouest
ESC :	Equateur Sud Centre
ESE :	Equateur Sud Est
ESW :	Equateur Sud Ouest
FAO :	Food and Agriculture Organisation of the United Nations
FIS :	Franco-Ivoirien-Sénégalais
GH :	Ghana
IATTC :	Inter-American Tropical Tuna Commission
ICCAT :	International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas
IPTP :	Indo-Pacific Tuna Development and Management Programme
NMFS :	National Marine Fisheries Service
NOAA :	National Oceanic and Atmospheric Administration
NS :	Nord Sénégal

ORSTOM : Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en
Coopération

PUE : Prises par Unité d'Effort

SCRS : Standing Committee on Research and Statistics

SH : Sherbro

SKJ : Listao (Skipjack tuna)

SS : Sud Sénégal

TOGA : Tropical Ocean and Global Atmosphere

TSM : Température de Surface de la Mer

UTIS : Unité de Traitement des Images Satellitaires (Laboratoire conjoint CRODT /
ORSTOM)

VPA : Virtual Population Analysis

YFT : Albacore (Yellowfin tuna)

ZEE : Zone Economique Exclusive

SOMMAIRE

<u>AVANT-PROPOS.</u>	i
<u>RESUME.</u>	iii
<u>ABSTRACT.</u>	iv
<u>LISTE DES ABREVIATIONS.</u>	v
<u>SOMMAIRE.</u>	vii
<u>INTRODUCTION.</u>	1
PREMIERE PARTIE : ENVIRONNEMENT, THONS ET EXPLOITATION THONIERE DANS L'ATLANTIQUE TROPICAL EST : L'ETAT DES CONNAISSANCES.	4
<u>I. L'ENVIRONNEMENT HYDROCLIMATIQUE DE L'OCEAN ATLANTIQUE TROPICAL ORIENTAL.</u>	4
I.1. INTRODUCTION.....	4
I.1.1. Le cadre de l'étude.....	4
I.1.2. Généralités.....	5
I.2. CIRCULATION GENERALE ET REMONTEES D'EAUX FROIDES.....	5
I.2.1. Circulation en surface.....	5
I.2.2. Circulation de subsurface.....	6
I.2.3. Remontées d'eaux froides.....	8
I.2.4. Conclusion.....	8

I.3. LA TEMPERATURE DE L'OCEAN.....	9
I.3.1. Températures de surface.....	9
I.3.2. Structure de la thermocline.....	13
I.4. LA TENEUR EN OXYGENE DISSOUS.....	13
I.5. CONCLUSION.....	18
<u>II. LES TROIS PRINCIPALES ESPECES DE THONIDES EXPLOITES DANS L'ATLANTIQUE TROPICAL EST : QUELQUES ELEMENTS DE BIOLOGIE.</u>	19
II.1. INTRODUCTION.....	19
II.2. REPARTITION DES THONS TROPICAUX DANS L'OCEAN ATLANTIQUE.....	19
II.3. LA THERMOREGULATION CHEZ LES THONIDES TROPICAUX.....	24
II.4. TOLERANCES PHYSIOLOGIQUES DES THONS TROPICAUX.....	25
II.5. LES MIGRATIONS DES THONIDES TROPICAUX.....	27
II.5.1. Les migrations de l'albacore.....	29
II.5.2. Les migrations du listao.....	34
II.5.3. Les migrations du patudo.....	37
II.6. LA REPRODUCTION DES THONIDES TROPICAUX.....	38
II.7. LA CROISSANCE DES THONIDES TROPICAUX.....	40
II.7.1. Croissance de l'albacore.....	41
II.7.2. Croissance du listao.....	45
II.7.3. Croissance du patudo.....	47

<u>III. PRESENTATION DES PECHERIES THONIERES DE L'ATLANTIQUE TROPICAL ORIENTAL.</u>	51
III.1. INTRODUCTION	51
III.2. EVOLUTION RECENTE DES PRISES DE THONIDES TROPICAUX.	53
III.2.1. Evolution des prises totales.	53
III.2.2. Evolution des captures par engin et par pays.	56
III.2.2.1. Les canneurs.	57
III.2.2.2. Les senneurs.	58
III.2.3. Saisonnalité des pêcheries.	60
III.2.3.1. La saisonnalité dans les pêcheries de canneurs.	61
III.2.3.2. La saisonnalité dans les pêcheries de senneurs.	64
III.2.4. Distribution des fréquences de tailles des captures des flottilles de surface dans l'Atlantique Tropical Oriental.	65
III.2.4.1. Chez les canneurs.	65
III.2.4.2. Chez les senneurs.	67
III.3. EVOLUTION DE L'ACTIVITE DES FLOTTILLES THONIERES TROPICALES DE SURFACE.....	67
III.3.1. Evolution du nombre de navires.	67
III.3.2. Etendue de la pêche.	69
III.3.3. Evolution des efforts de pêche.....	69
III.3.3.1. Effort de pêche des canneurs FIS.	70
III.3.3.2. Effort de pêche des senneurs FIS et espagnols.	71
III.3.4. Evolution des prises par unité d'effort.....	71
III.3.4.1. PUE des canneurs FIS.....	71
III.3.4.2. PUE des senneurs.	72
<u>IV. CONCLUSION.</u>	75

DEUXIEME PARTIE : QUANTIFICATION DES BILANS DE MIGRATION DE L'ALBACORE ET DU LISTAO.....	76
<u>I. INTRODUCTION.....</u>	76
<u>II. MATERIELS ET METHODES.....</u>	77
II.1. PRINCIPES GENERAUX - CHOIX DES ECHELLES SPATIO- TEMPORELLES.....	77
II.2. AJUSTEMENT DE L'ANALYSE DES COHORTES.....	79
II.2.1. Principes de l'analyse des cohortes.....	79
II.2.2. Application à l'albacore et au listao.....	81
II.3. MODELES D'ESTIMATION DES BILANS MIGRATOIRES DANS L'ATLANTIQUE EST.....	82
II.3.1. Principes de base.....	82
II.3.2. Hypothèses de répartition spatiale de l'effort de pêche.....	85
II.3.3. Calcul des bilans migratoires dans l'Atlantique Tropical Est.....	87
II.4. BILANS MIGRATOIRES DE L'ALBACORE ENTRE ATLANTIQUE EST ET OUEST DANS L'HYPOTHESE D'UN STOCK UNIQUE.....	88
II.4.1. Méthodes d'estimation des coefficients de capturabilité et des populations sous-jacentes est et ouest.....	89
II.4.2. Méthodes d'estimation des taux de migration est - ouest.....	90
<u>III. VARIABILITE SAISONNIERE PAR ZONE.....</u>	93
III.1. SENSIBILITE AUX HYPOTHESES DE REPARTITION DE L'EFFORT DE PECHE.....	93
III.2. EFFECTIFS MOYENS PAR AGE ET PAR ZONE.....	99
III.2.1. Albacore.....	99
III.2.2. Listao.....	102

III.3. BILANS MIGRATOIRES MOYENS PAR AGE ET PAR ZONE.	103
III.3.1. Albacore.	103
III.3.2. Listao.	105
III.4. TYPOLOGIE DES ZONES.	107
III.4.1. Bilans migratoires trimestriels moyens par zone.	107
III.4.2. Classification des zones.	113
III.5. DISCUSSION ET CONCLUSION : SCHEMA DE REPARTITION ET MIGRATIONS SAISONNIERES.	115
<u>IV. LES BILANS DE MIGRATION DE L'ALBACORE ENTRE ATLANTIQUE EST ET ATLANTIQUE OUEST.</u>	120
IV.1. LES EFFECTIFS PAR AGE DES POPULATIONS SOUS-JACENTES EST ET OUEST.	120
IV.2. LES TAUX DE MIGRATION MOYENS PAR AGE.	124
IV.3. CONCLUSION.	131
<u>V. LIMITES DE LA METHODE ET CONCLUSION.</u>	131
III EME PARTIE : LES FLUX DE MIGRATION ENTRE ZONES : UNE NOUVELLE APPROCHE PAR INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ADAPTEE AU CAS DU LISTAO.	133
<u>I. INTRODUCTION.</u>	133
<u>II. MATERIELS ET METHODES.</u>	134
II.1. PRINCIPES GENERAUX.	134
II.1.1. Hypothèses initiales.	134
II.1.2. Estimations des effectifs totaux de la cohorte moyenne.	135
II.1.3. Estimations des effectifs par zone.	138

II.2. ESTIMATION DES FLUX PAR INTELLIGENCE ARTIFICIELLE.	139
II.2.1. Quelques principes de l'intelligence artificielle.	139
II.2.2. Les différentes étapes de la mise au point du système expert.	140
II.2.3. Terminologie utilisée pour désigner les effectifs calculés et les migrations.	143
II.2.4. La base de connaissances : faits et règles d'expertise.	145
II.2.5. Exemple de syntaxe d'une règle.	149
II.2.6. Mode de fonctionnement actuel du système expert.	151
III. RESULTATS DES SIMULATIONS.	152
III.1. RESULTATS PAR AGE TRIMESTRIEL.	152
III.1.1. Les migrations des juvéniles.	155
III.1.2. Les migrations des pré-adultes.	160
III.1.3. Les migrations des adultes.	160
III.2. CONCLUSION : UN SCHEMA MOYEN DE MIGRATION POUR LE LISTAO DE L'ATLANTIQUE EST.	161
IV. DISCUSSION.	163
IV.1. COMPARAISON AVEC LES RESULTATS OBTENUS PAR LE MODELE D'ESTIMATION DES BILANS MIGRATOIRES.	163
IV.2. LIMITES DE LA METHODE.	165
V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES.	167

IV EME PARTIE : LA DYNAMIQUE DES CONCENTRATIONS DE THONIDES.	168
I. INTRODUCTION.	168
II. MATERIELS ET METHODES.	169
II.1. LE REPERAGE AUTOMATISE DES CONCENTRATIONS.	170
II.2. METHODES D'ANALYSE DES CONCENTRATIONS.	171
II.2.1. Analyses descriptives.....	171
II.2.2. Description des variables utilisées.	172
III. DYNAMIQUE SAISONNIERE ET PAR ZONE.	175
III.1. CARACTERISTIQUES GENERALES DES CONCENTRATIONS.	175
III.2. VARIATIONS INTER-ANNUELLES DE L'ABONDANCE DES CONCENTRATIONS.	177
III.3. VARIATIONS INTRA-ANNUELLES DE L'ABONDANCE DES CONCENTRATIONS.	181
III.4. CONCENTRATIONS ET MIGRATIONS.....	186
IV. TYPOLOGIE DES CONCENTRATIONS.	187
IV.1. RESULTATS DE L'ACM.....	187
IV.2. RESULTATS DE LA CLASSIFICATION.	191
IV.3. BILAN DES ANALYSES FACTORIELLES.	193
V. CONCENTRATIONS ET EXPLOITATION.	194
V.1. LES PRISES PAR ESPECE.....	194

V.2. EFFORT DE PECHE ET PUE.....	195
<u>VI. DISCUSSION.</u>	196
VI.1. CONCENTRATIONS ET CONDITIONS HYDRO-CLIMATIQUES.....	196
VI.2. QUELQUES REFLEXIONS SUR L'IMPORTANCE DES CONCENTRATIONS DANS LES PECHERIES.....	198
<u>VII. CONCLUSION.</u>	199
<u>CONCLUSION GENERALE.</u>	201
<u>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.</u>	206
<u>ANNEXE A.</u>	218
<u>ANNEXE B.</u>	224
<u>ANNEXE C.</u>	229
<u>ANNEXE D.</u>	246

INTRODUCTION

L'activité de la pêche au thon tropical a débuté dans l'Atlantique Tropical Oriental dans les années 50 avec l'arrivée à Dakar des premiers canneurs basques. Depuis cette époque, les pêcheries thonières tropicales de surface se sont considérablement développées, avec l'extension des flottilles de senneurs notamment. Pour le thon tropical exploité en surface, l'Atlantique Tropical Oriental est aujourd'hui devenu une zone de pêche de première importance, avec des débarquements totaux d'albacores (*Thunnus albacares*), de listaos (*Katsuwonus pelamis*) et de patudos (*Thunnus obesus*) ayant atteint 280 000 tonnes en 1991.

Parallèlement à ce développement des pêcheries ouest-africaines, de nombreuses études scientifiques ont été menées par l'ORSTOM, de 1955 à nos jours. Plusieurs grandes disciplines ont été abordées : biologie, halieutique, océanographie... La biologie a permis de mieux comprendre la physiologie, la reproduction, la croissance, les migrations des thonidés. L'halieutique et la dynamique des populations, s'appuyant sur un excellent réseau de collecte de l'information, tant au débarquement qu'en mer, et sur les bases de données statistiques très complètes du CRODT (Centre de Recherches Océanographiques de Dakar Thiaroye) et de l'ICCAT (International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas), sont à la base du suivi scientifique des pêcheries et de l'élaboration de modèles d'évaluation des stocks. L'océanographie physique, quant à elle, a élucidé les grands principes de fonctionnement du climat et de l'hydroclimat de la zone intertropicale de l'Océan Atlantique, ainsi que la dynamique et les interactions entre les différentes masses d'eau océaniques.

Les connaissances sur les thonidés tropicaux majeurs et leur exploitation dans l'Atlantique Centre-Est sont donc aujourd'hui grandes. Cependant, il n'en demeure pas moins que de nombreuses interrogations subsistent, en particulier en ce qui concerne la variabilité et la dynamique saisonnière des mouvements de la ressource entre les différentes zones de pêche. Par exemple, si les grands axes des migrations sont aujourd'hui relativement bien connus dans l'Atlantique tropical, en revanche la quantification de ces mouvements, et leur importance vis à vis de la population totale restent du domaine de la recherche. Par ailleurs, lors des migrations

des thons vont apparaître périodiquement des concentrations de poissons. Ces concentrations de thons, leurs dynamiques, leurs types, leur importance pour les pêcheries sont également mal connues. Ces questions constituent le fil conducteur suivant lequel cheminera notre problématique.

L'objectif de cette étude est donc d'apporter des éléments de réponse à ces différentes questions. Pour cela, ce travail débute par un rappel de l'état des connaissances sur la biologie et l'écologie des trois principales espèces de thonidés tropicaux, l'albacore, le listao et le patudo, et sur leur environnement, et par une présentation générale des principales pêcheries exploitant ces espèces dans l'Atlantique Tropical Oriental. Cette première partie est basée sur de nombreuses références bibliographiques concernant l'environnement et la biologie, et également sur les bulletins statistiques de l'ICCAT pour la présentation des pêcheries. L'accent est mis sur les recherches récentes qui ont permis de développer un modèle de croissance plus satisfaisant et un nouveau schéma de migration pour l'albacore, résultats qui nous serviront de référence par la suite.

La dynamique de la ressource, et plus particulièrement de l'albacore et du listao, entre différentes zones de pêche de l'Atlantique Centre-Est est ensuite abordée. Les flux de poissons et les populations locales sous-jacentes sont étudiés. A cette fin, deux méthodes sont utilisées. Bien que ces deux méthodes soient toutes deux basées sur les statistiques de pêche, leur approche du problème est radicalement différente. La première repose en effet sur les équations usuelles de la dynamique des populations marines, tandis que la seconde met en oeuvre un algorithme faisant appel à l'intelligence artificielle. Ces deux méthodes sont respectivement développées dans les deuxième et troisième parties.

Dans la deuxième partie, on étudie les bilans de migrations de l'albacore et du listao, c'est-à-dire les différences numériques entre les poissons qui entrent dans une zone et ceux qui en sortent, entre les différentes zones de pêche. L'analyse de ces bilans migratoires, pour chaque zone et par groupe d'âges, permet de différencier les zones de pêche, et de valider les grands axes de migration de ces espèces dans l'Atlantique Centre-Est. Par ailleurs, les résultats récents des marquages d'albacores effectués au large des côtes nord-américaines par les pêcheurs sportifs ont permis de confirmer pour cette espèce l'existence d'un stock unique dans l'océan Atlantique tropical. On va donc s'intéresser également ici aux échanges, pour cette espèce exclusivement, qui existent entre les façades est et ouest de l'Atlantique. Des taux de migrations, pour chaque âge trimestriel sont ainsi proposés.

Dans la troisième partie ensuite, les migrations des thonidés entre différentes zones côtières de l'Atlantique Tropical Oriental sont abordées en terme de flux ; il s'agit dans cette

partie de distinguer pour chaque zone les entrées des sorties, en précisant l'origine et la destination de chaque mouvement de poissons. Ces flux sont quantifiés, puis analysés par catégorie d'âges. Le modèle proposé est appliqué au listao ; le schéma des migrations du listao obtenu permet alors de compléter et de valider l'approche précédente.

Enfin, dans la quatrième partie, on présente une analyse des principales concentrations de thonidés exploitées dans l'Atlantique Tropical Oriental durant la période 1980-1990. Ces concentrations correspondent à des zones limitées géographiquement, où s'accumulent de manière temporaire de nombreux bancs de thons, ce qui permet des captures particulièrement élevées. Les concentrations sont mises en évidence à partir des statistiques fines de pêche, à l'aide d'un algorithme conçu et réalisé à cet effet. Puis à partir de leur analyse, de leur variabilité saisonnière et spatiale et de leur importance dans la pêche, on dégage une typologie de ces différentes concentrations.

Cette étude s'inscrit ainsi dans le cadre des nombreuses recherches sur les thonidés tropicaux. Elle s'intègre dans la problématique générale de l'Unité de Recherches "Pêche Hauturière" de l'ORSTOM, et a été menée au CRODT à partir de la base de données "thons".

PREMIERE PARTIE

ENVIRONNEMENT, THONS ET EXPLOITATION THONIERE DANS L'ATLANTIQUE TROPICAL EST : L'ETAT DES CONNAISSANCES.

**I. L'ENVIRONNEMENT HYDRO-CLIMATIQUE DANS
L'ATLANTIQUE TROPICAL ORIENTAL.**

**II. LES TROIS PRINCIPALES ESPECES DE THONIDES
EXPLOITES DANS L'ATLANTIQUE TROPICAL ORIENTAL :
QUELQUES ELEMENTS DE BIOLOGIE.**

**III. PRESENTATION DES PECHERIES THONIERES DE
L'ATLANTIQUE TROPICAL ORIENTAL.**

IV. CONCLUSION.

I. L'ENVIRONNEMENT HYDRO-CLIMATIQUE DANS L'ATLANTIQUE TROPICAL ORIENTAL.

I.1. INTRODUCTION.

I.1.1. Le cadre de l'étude.

Notre étude a pour cadre l'Atlantique Tropical Oriental, également appelé Atlantique Centre-Est (Fig. I.1). Cette zone englobe le Golfe de Guinée *sensu stricto* jusqu'à la longitude de 25°W à l'ouest, la côte africaine au nord et la latitude de 10°S au sud, auquel sont ajoutées deux autres régions, l'une plus septentrionale et l'autre plus australe. Au nord, ce sont les eaux du Cap Vert, du Sénégal et de la Mauritanie, limitées à l'ouest par la longitude de 25°W et à l'est par la côte ouest africaine, et au nord par 21°N correspondant à la latitude du Cap Blanc. La région sud correspond aux eaux angolaises, jusqu'à 15°S (Cap Frio) et limitées à l'ouest par la longitude 5°E. C'est dans cette région de l'Atlantique que se sont développées depuis les années 50 les principales pêcheries thonières tropicales de surface.

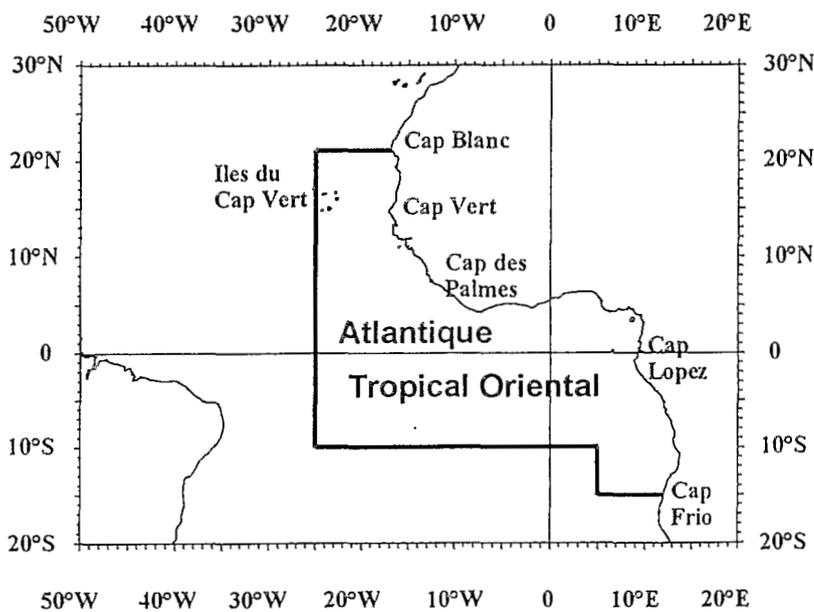


Figure I.1 : La zone d'étude.

Les conditions hydro-climatiques de l'Atlantique Tropical Oriental étant intimement liées à la dynamique générale de l'Atlantique, nous débordons bien évidemment ce cadre dans les paragraphes suivants.

I.1.2. Généralités.

Les conditions hydro-climatiques de l'océan Atlantique Tropical jouent un rôle fondamental, tant dans la distribution spatio-temporelle des thonidés tropicaux que dans la dynamique des pêcheries. Elles conditionnent dans une large mesure la biologie de ces espèces, notamment la reproduction, et donc le recrutement dans la pêche, ainsi que la croissance. Ces facteurs environnementaux ont également un rôle très important au niveau de la vulnérabilité de ces espèces vis à vis des engins de pêche. La connaissance générale de l'environnement hydro-climatique de l'Atlantique Tropical Est s'avère de ce fait indispensable pour la compréhension de la pêche.

L'océanographie physique de l'océan Atlantique a été largement étudiée au cours des dernières années, aussi bien d'un point de vue descriptif (connaissance des paramètres physico-chimiques de l'océan, zones de production) que dynamique (étude des flux atmosphériques et circulation océanique). Mais tous les paramètres environnementaux n'ont pas la même importance vis à vis des thonidés. Nous évoquerons donc uniquement ici, dans un premier temps le schéma général de circulation océanique, puis nous présenterons la structure de la température de l'eau, et ses variations, et enfin nous verrons succinctement la distribution de l'oxygène dissous dans les couches supérieures de l'océan.

I.2. CIRCULATION GENERALE ET REMONTEES D'EAUX FROIDES.

I.2.1. Circulation en surface.

La circulation océanique de surface est directement liée au vent, généré autour des zones de hautes pressions atmosphériques (anticyclone des Açores dans l'hémisphère Nord et anticyclone de Sainte-Hélène dans l'hémisphère Sud), qui entraîne la couche superficielle de l'océan selon le principe d'Ekman (1905). La circulation océanique de surface dans l'Atlantique Tropical Oriental s'organise donc également autour de ces deux pôles anticycloniques.

Schématiquement, dans l'hémisphère Nord, se trouve la Dérive Nord Atlantique (DNA), à la latitude du Cap Blanc, orientée nord-est / sud-ouest. A sa périphérie, le long des côtes marocaines, le Courant des Canaries s'incurve selon la même orientation. Il est prolongé par le Courant Nord Equatorial (CNE) au niveau de la latitude du Cap Vert (Fig. I.2a et I.2b). Parallèlement, on retrouve dans l'hémisphère Sud la Dérive Sud Atlantique (DSA) orientée sud-est / nord-ouest, plus au nord le Courant Sud Equatorial (CSE), qui s'écoule à la latitude de l'équateur de l'est vers l'ouest. Entre ces courants nord et sud orientés vers l'ouest existe un

courant en sens inverse, situé aux alentours de 5° N de latitude, le Contre Courant Nord Equatorial (CCNE). Ce courant présente de fortes variations saisonnières (Richardson et McKee, 1984). Il atteint son ampleur maximale en septembre et s'atténue à partir de novembre pour disparaître complètement en mars. A partir de 20° Ouest et le long des côtes d'Afrique, il est prolongé par le Courant de Guinée. Ce courant accumule de l'eau au fond du Golfe de Guinée, qui sera évacuée par le Courant Sud Equatorial (Gouriou, 1988). Au sud, on retrouve également, entre la Dérive Nord Atlantique et le Courant Equatorial Sud, un courant s'écoulant dans le sens inverse, le Contre Courant Equatorial Sud (CCES) (Lemasson, 1975 ; Voituriez, 1983a). Ce contre courant orienté de l'ouest vers l'est subit également des variations saisonnières, son intensité maximale étant située durant l'hiver boréal.

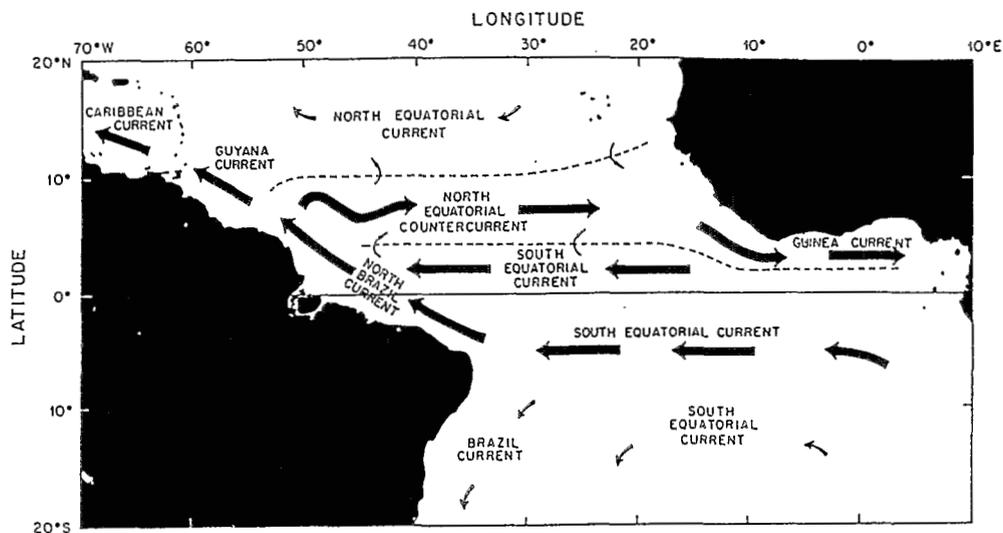


Figure I.2a : Carte schématique des principaux courants de l'Atlantique tropical entre juillet et septembre (*In* Richardson and Walsh, 1986). De janvier à juin, les contre-courants disparaissent.

I.2.2. Circulation de subsurface.

Elle s'organise autour de trois courants, orientés vers l'est : le Sous-Courant Equatorial (SCE) s'écoulant au niveau de l'équateur, et de part et d'autre de ce courant, au niveau de 5° N et de 5° S, respectivement le Contre Courant Subsuperficiel Nord (CCSN) qui s'infléchit vers le nord le long des côtes ouest africaines, et le Contre Courant Subsuperficiel Sud (CCSS) orienté ouest-est, et qui se dirige vers le sud au niveau des côtes angolaises (Hisard *et al.*, 1976 ; Voituriez, 1983b ; Gouriou, 1988).

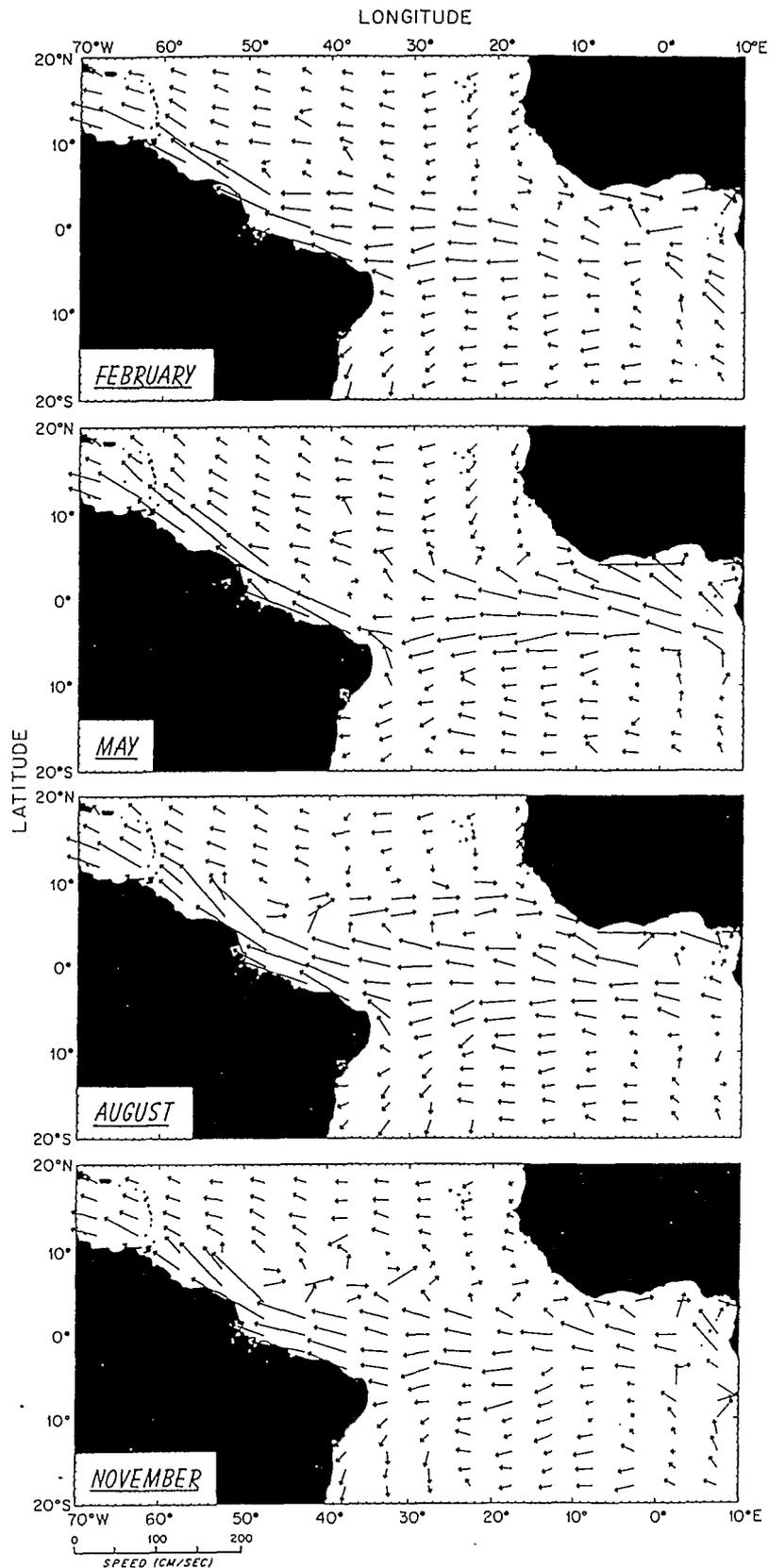


Figure I.2b : Cartes des vecteurs de vitesse, qui illustrent les variations saisonnières des principaux courants de l'Atlantique Tropical. La vitesse est proportionnelle à la longueur de la flèche (*In Richardson and Walsh, 1986*).

I.2.3. Remontées d'eaux froides.

Ces courants subsuperficiels sont saisonnièrement à l'origine de phénomènes locaux de remontées d'eaux froides. Ces remontées d'eaux froides peuvent se manifester sous la forme de dômes thermiques (soit une remontée de la thermocline sans toutefois atteindre la surface) ou d'upwellings. Dans l'hémisphère Nord, on observe de juillet à septembre une remontée de la thermocline centrée sur 12° N et 22° W et associée à la terminaison du Contre Courant Subsuperficiel Nord (Voituriez, 1981) : c'est le dôme de Guinée. D'après Mazeika (1967), un dôme thermique semblable, associé au Contre Courant Subsuperficiel Sud, existerait également au niveau de l'Angola (10° E et 10° S). Mais son existence est mise en doute, et n'a jamais pu être vérifiée (Voituriez, 1981).

Le Courant Sous Equatorial semble également être à l'origine de l'upwelling équatorial observé de juillet à septembre entre les deux branches nord et sud du Courant Sud Equatorial (Voituriez, 1983a).

D'autre part, on observe dans l'Atlantique Tropical Oriental des remontées saisonnières d'eaux froides le long des côtes (Gouriou, 1988 ; Roy, 1990) :

- upwelling sénégalais le long des côtes ouest africaines de 10° N à 20° S de décembre à mai. Plus au nord le long des côtes marocaines, cet upwelling est permanent.
- upwelling ivoiro-ghanéen pendant l'été boréal
- upwelling angolais entre 0° et 15° S de juillet à septembre, permanent plus au sud.

I.2.4. Conclusion.

Les mouvements de ces différentes masses d'eau (courants et upwellings) dans l'Atlantique Tropical Oriental sont à l'origine de l'apparition saisonnière de zones de front entre des eaux chaudes dessalées et des eaux froides riches en sels minéraux. Ces zones frontales ont ainsi une grande importance au niveau de la production primaire et du développement de la chaîne alimentaire de l'océan, intervenant de ce fait dans une large mesure dans la répartition spatio-temporelle des thonidés. On retrouvera ainsi dans l'Atlantique Tropical des zones et des périodes de pêche correspondant à ces zones de front, notamment au niveau de la limite sud de l'upwelling sénégal-mauritanien (au sud du Cap Vert en hiver, et au niveau du Cap Blanc en été), et de la zone frontale du Cap Lopez de juin à août (rencontre des eaux chaudes et dessalées d'origine guinéenne et des eaux froides dues à la remontée des eaux du Sous Courant Equatorial et à l'action de l'upwelling côtier angolais).

I.3. LA TEMPERATURE DE L'OCEAN.

I.3.1. Températures de surface.

Elles présentent une grande variabilité saisonnière dans l'Atlantique Tropical Oriental, avec un balancement nord-sud des isothermes entre l'été et l'hiver boréal. En hiver, de janvier à avril, l'isotherme de 24° C (Stretta estime en 1988 que 80% des listaos et 90% des albacores sont capturés dans des eaux dont la température est supérieure à 24°C) descend au sud du Cap Vert jusqu'à 10° N, tandis qu'on retrouve cet isotherme dans l'hémisphère sud à la latitude du Cap Frio. C'est ici l'effet du refroidissement hivernal dans l'hémisphère nord, couplé avec l'action des Alizés et la période d'intensité maximale de l'upwelling sénégal-mauritanien. Pendant cette période hivernale, la température de surface de la mer dans le Golfe de Guinée est élevée et homogène (supérieure à 26° C).

A partir de mai-juin, en raison de l'affaiblissement puis de la disparition de l'upwelling sénégal-mauritanien, les eaux chaudes guinéennes vont remonter vers le nord jusqu'au Cap Blanc, et se maintenir durant tout l'été boréal dans la zone ouest africaine, jusqu'au refroidissement hivernal suivant à partir de novembre-décembre. Durant cette période, dans l'hémisphère sud, les eaux froides australes remontent vers le nord, l'isotherme de 24° C se trouvant en moyenne à la latitude du Cap Lopez de juin à septembre. Au même moment se produit le phénomène de l'upwelling équatorial, comme nous l'avons vu plus haut. Les eaux centrales du Golfe de Guinée atteignent alors des températures relativement froides, de l'ordre de 23° C en juillet. Une stratification nord-sud des isothermes subsiste jusqu'en novembre, puis les eaux redeviennent homogènes et chaudes.

Ces mouvements saisonniers nord-sud se retrouvent figure I.3. Les températures moyennes de la surface de la mer représentées sur ces figures sont tirées de la climatologie de Reynolds (1982), d'après les données des navires marchands.

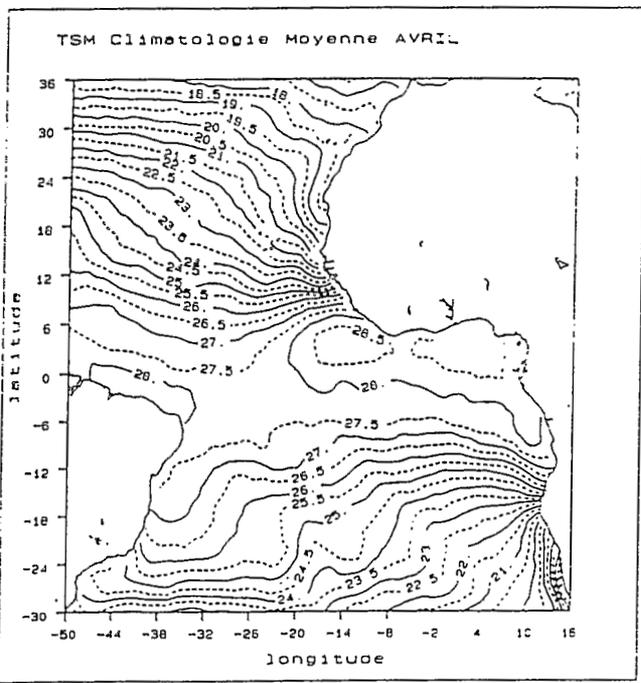
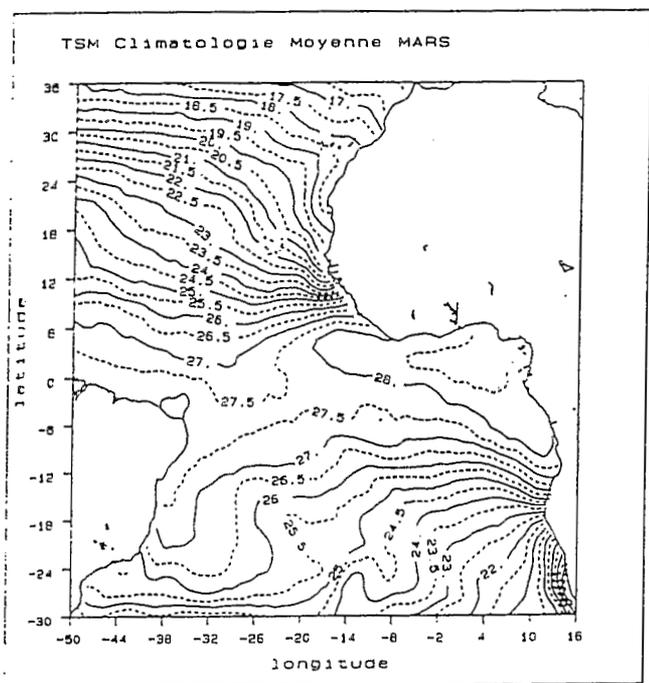
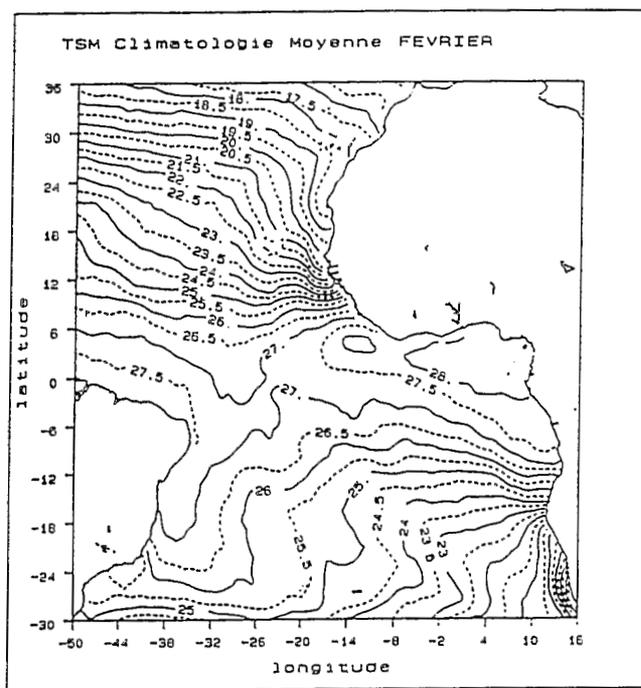
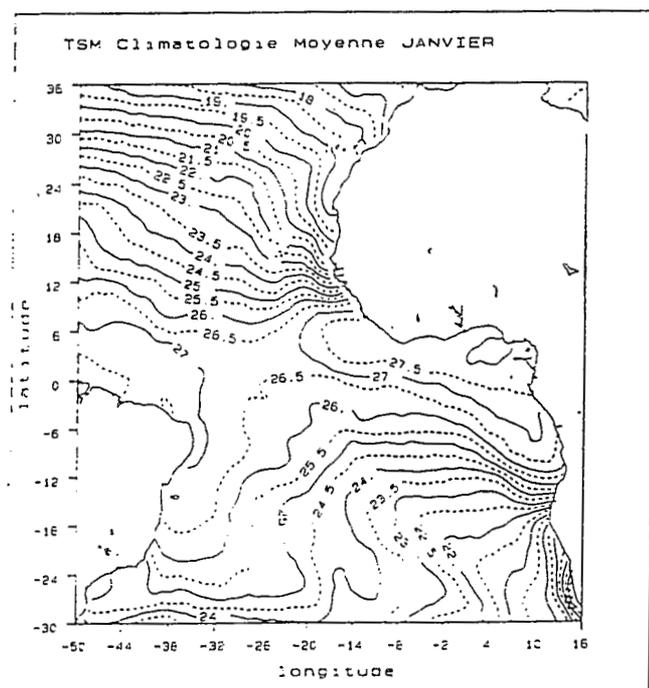


Figure I.3: Températures de surface moyennes dans l'Atlantique Tropical d'après les données des navires marchands (Source: CRODT / UTIS).

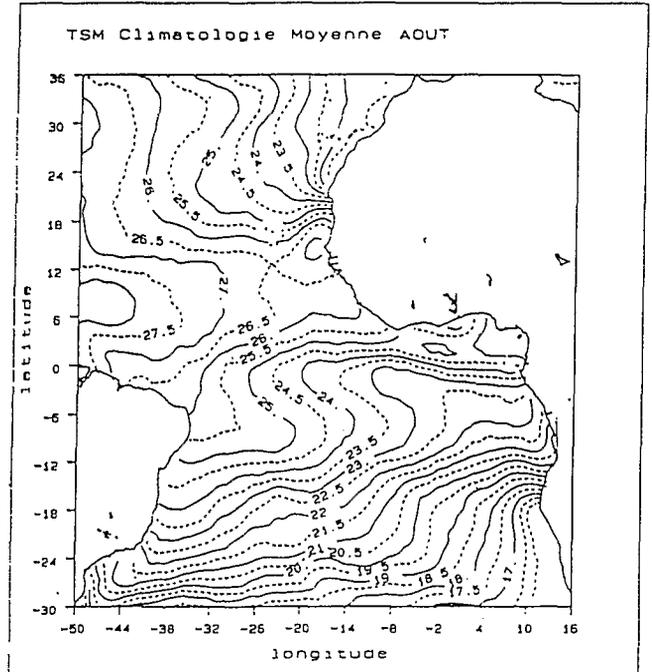
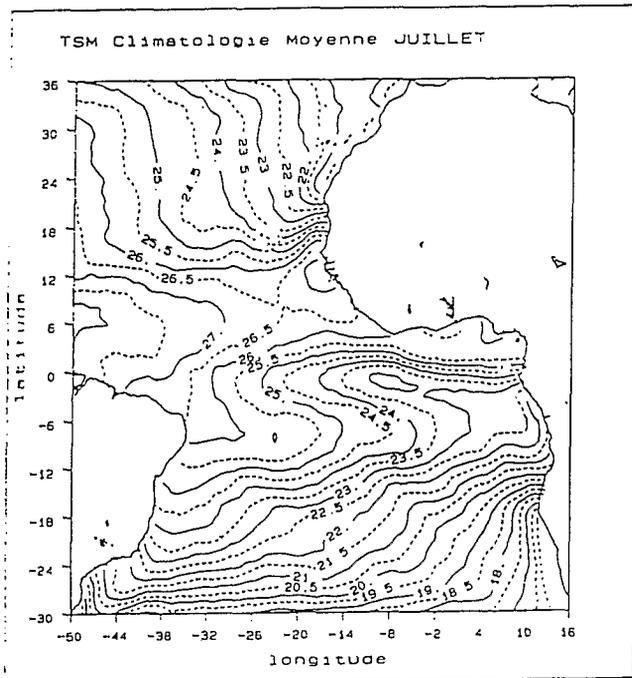
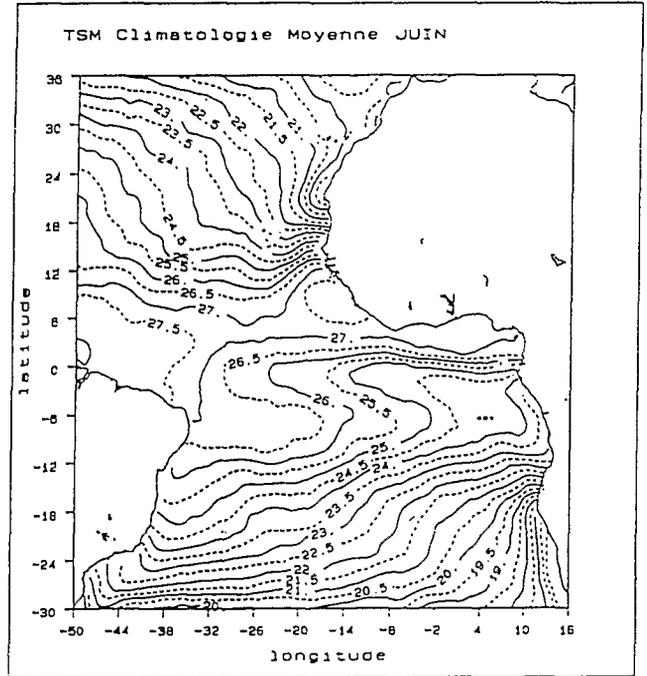
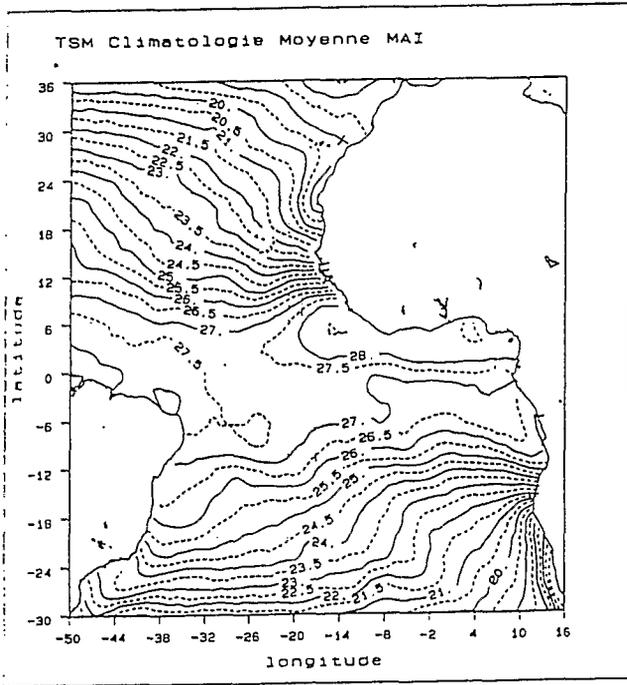


Figure I.3 (suite): Températures de surface moyennes dans l'Atlantique Tropical d'après les données des navires marchands (Source: CRODT / UTIS).

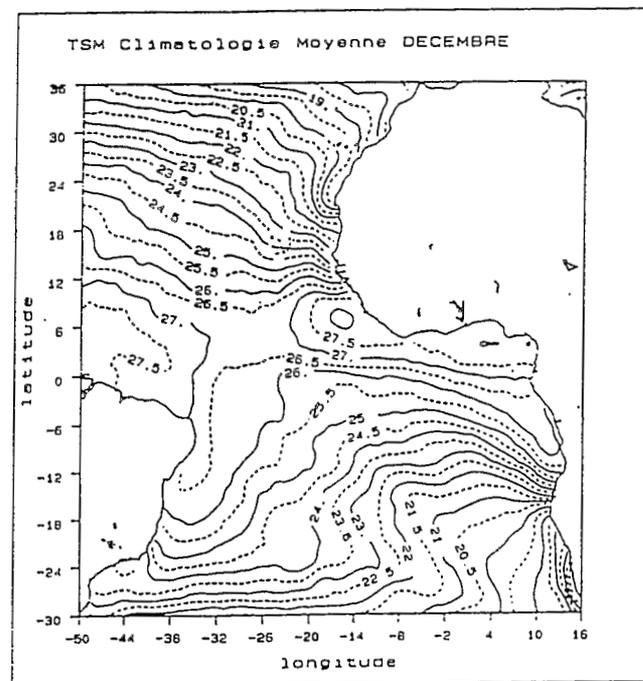
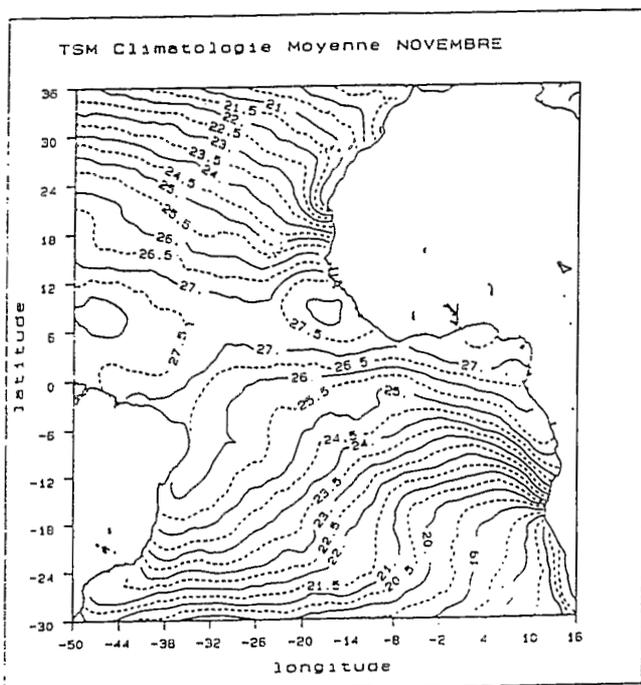
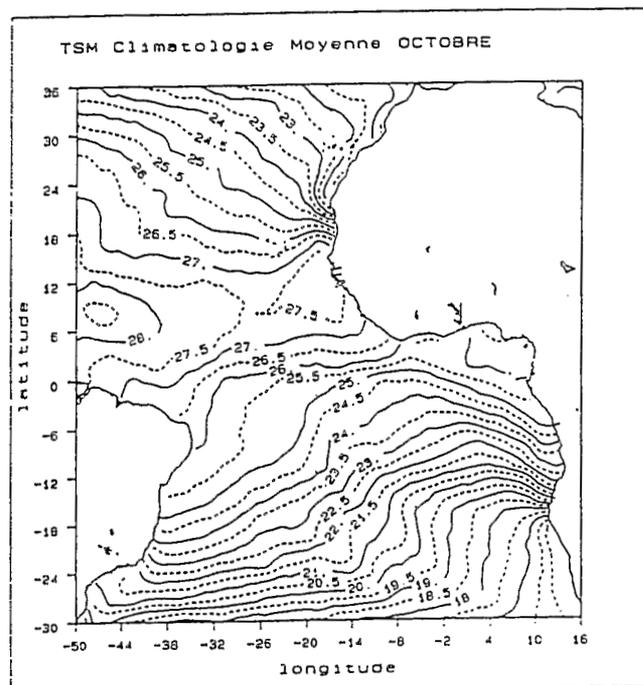
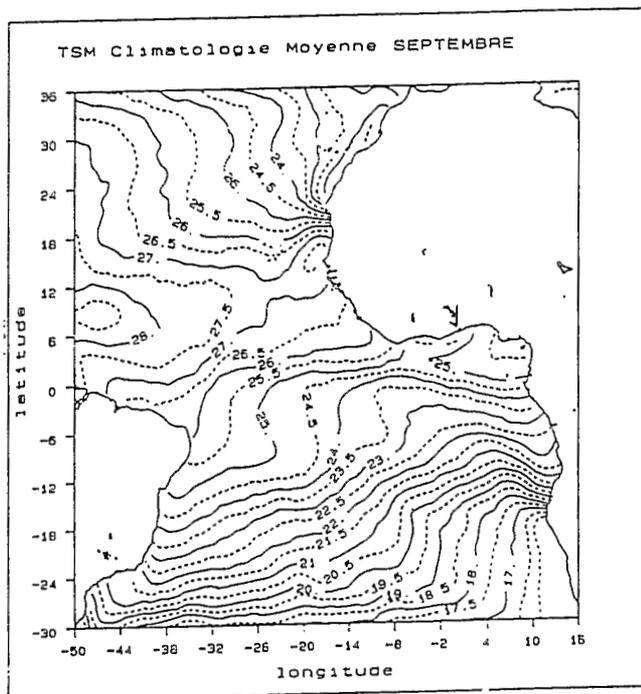


Figure I.3 (fin): Températures de surface moyennes dans l'Atlantique Tropical d'après les données des navires marchands (Source: CRODT / UTIS).

I.3.2. Structure de la thermocline.

Du fait des forces de Coriolis, les vents dans l'Atlantique Tropical sont orientés vers l'ouest et entraînent par friction la couche superficielle d'eau chaude vers l'ouest. La force de Coriolis est également à l'origine des grands courants Atlantique globalement dirigés vers l'ouest, les Dérives Nord et Sud Atlantique et les Courants Nord Sud Atlantique. Il y a donc accumulation d'eau chaude à l'ouest. La structure normale de la thermocline dans l'Atlantique Tropical est donc représentée par une pente est-ouest, la thermocline étant profonde du côté des côtes américaines, et proche de la surface à l'est près des côtes africaines (Fig. I.4). Si son orientation générale ne change pas durant l'année, la thermocline subit toutefois des variations saisonnières, liées en grande partie aux variations du vent, entre périodes de forte intensité et périodes de relâchement. Ainsi, au cours du premier trimestre, la profondeur de la thermocline est en moyenne comprise entre 50 et 75 mètres dans le Golfe de Guinée. La thermocline remonte ensuite vers la surface, l'isocontour 75 mètres correspondant au bas de la thermocline se rapprochant de la côte. Au troisième trimestre, marqué par la période de relâchement des Alizés au nord et par l'apparition de l'upwelling équatorial guinéen, la thermocline affleure la surface, mais sans l'atteindre, dans tout le fond du Golfe de Guinée (Fig. I.4). Cette situation est confirmée par la faible épaisseur de la couche homogène (Fig. I.5). Au dernier trimestre, la structure de la thermocline est proche de celle du premier trimestre.

I.4. LA TENEUR EN OXYGENE DISSOUS.

Ce paramètre est important dans la mesure où il conditionne la distribution des thons en profondeur. En surface, dans tout l'Atlantique Tropical, l'eau est saturée en oxygène dissous, puisque la teneur est toujours supérieure à 4,6 ml d'O₂ par litre d'eau (Fig. I.6).

Cette teneur en oxygène dissous diminue avec la profondeur. A -200 mètres, elle devient faible (< 2 ml/l) au large du Sénégal et surtout de l'Angola, ce qui peut constituer localement une limite physiologique pour certaines espèces, en particulier pour le listao (nous verrons les tolérances physiologiques vis à vis de l'oxygène dissous de l'albacore, du patudo et du listao par la suite). Ces profondeurs sont toutefois toujours situées largement sous la thermocline.

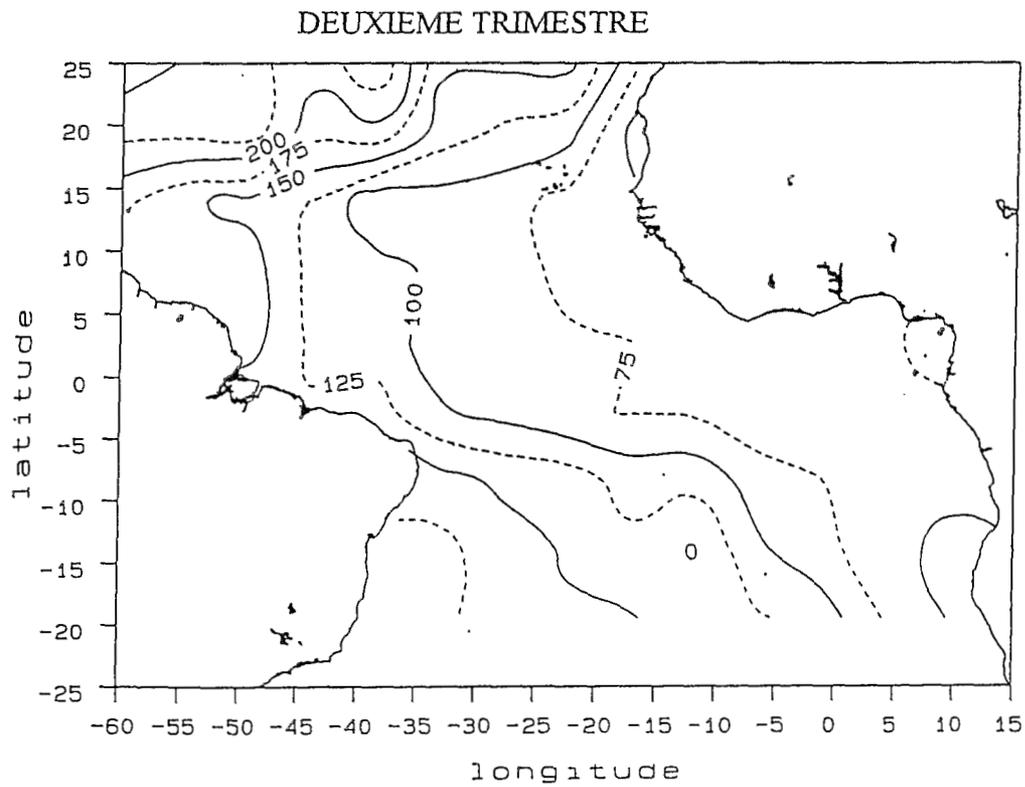
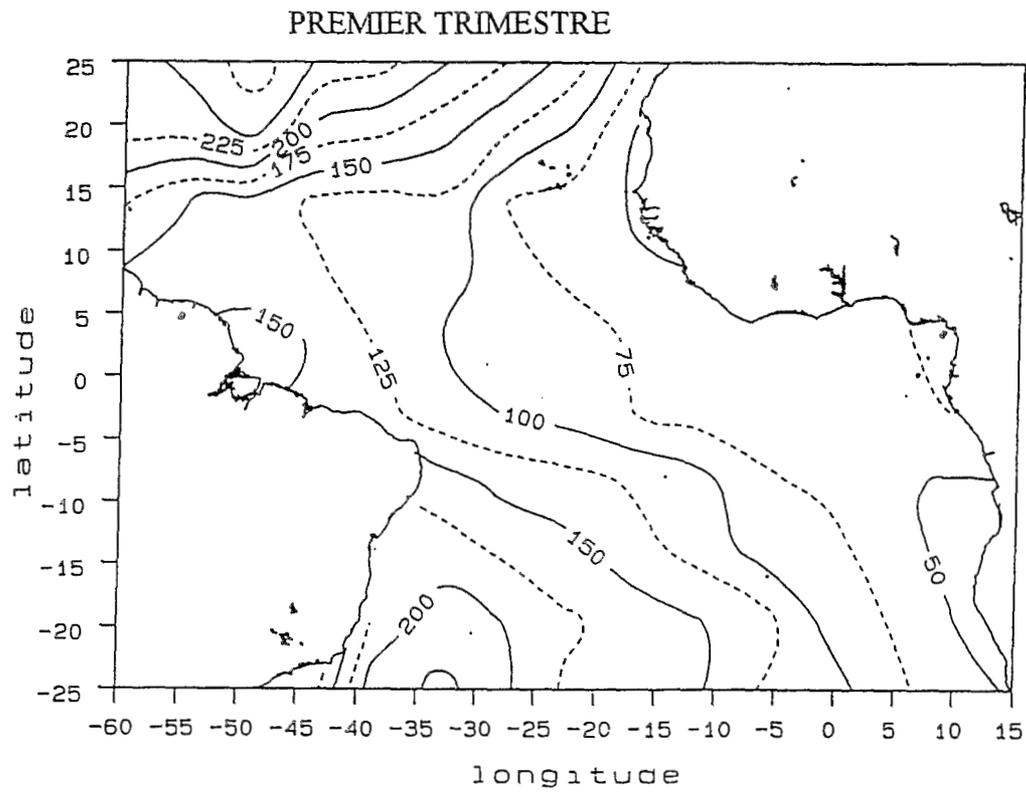
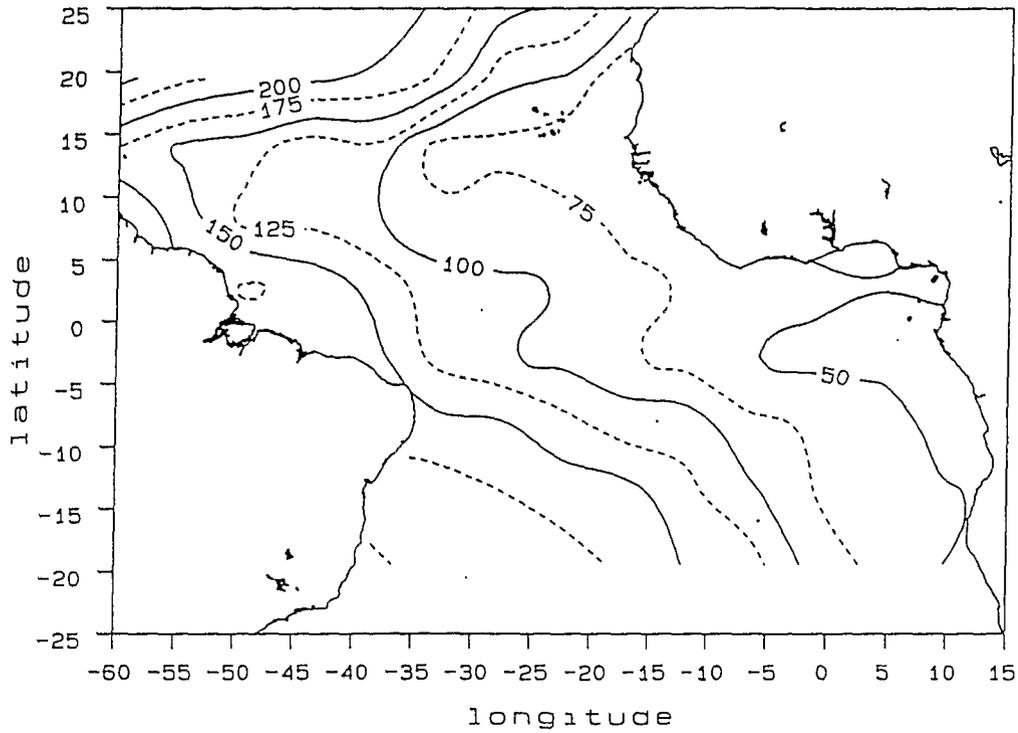


Figure I.4: Profondeur moyenne de la thermocline (bas de la thermocline, température à 18°C) dans l'Atlantique Tropical (Source: données TOGA moyenne 1981-1987 / CRODT).

TROISIEME TRIMESTRE



QUATRIEME TRIMESTRE

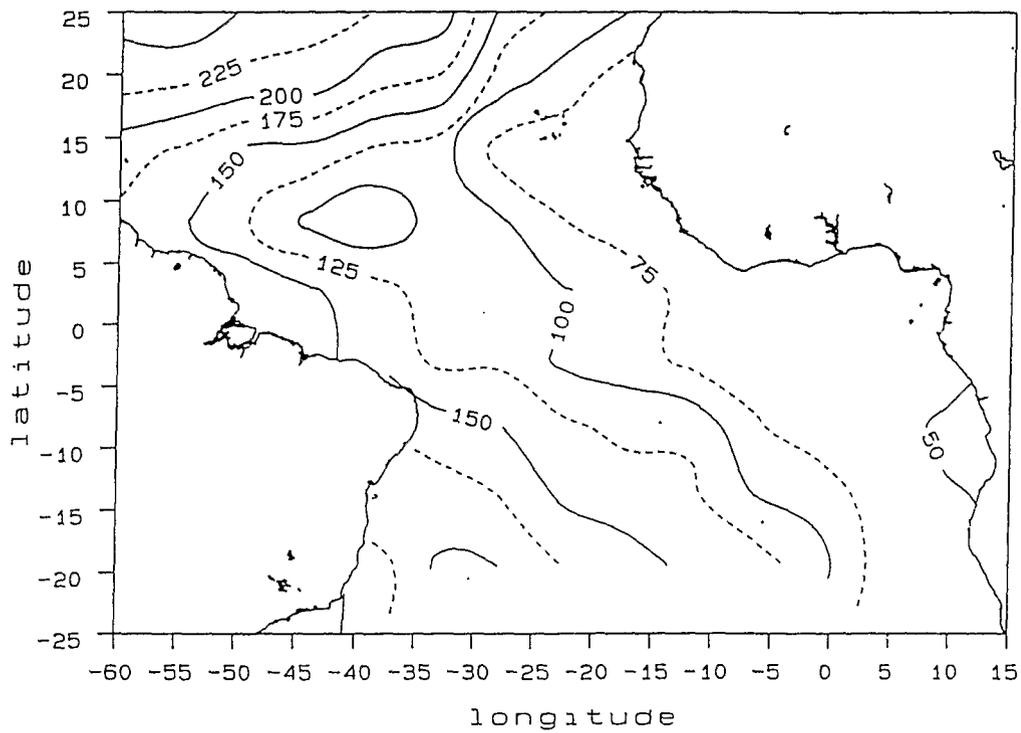
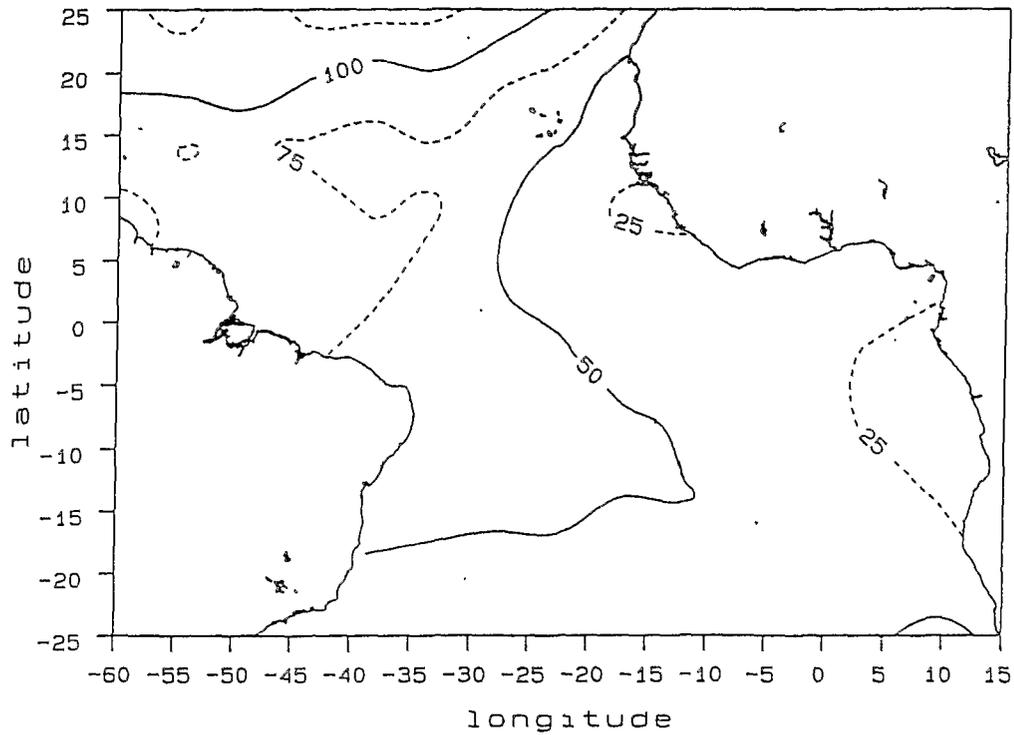


Figure I.4 (suite): Profondeur moyenne de la thermocline (bas de la thermocline, température à 18°C) dans l'Atlantique Tropical (Source: données TOGA moyenne 1981-1987 / CRODT).

PREMIER TRIMESTRE



DEUXIEME TRIMESTRE

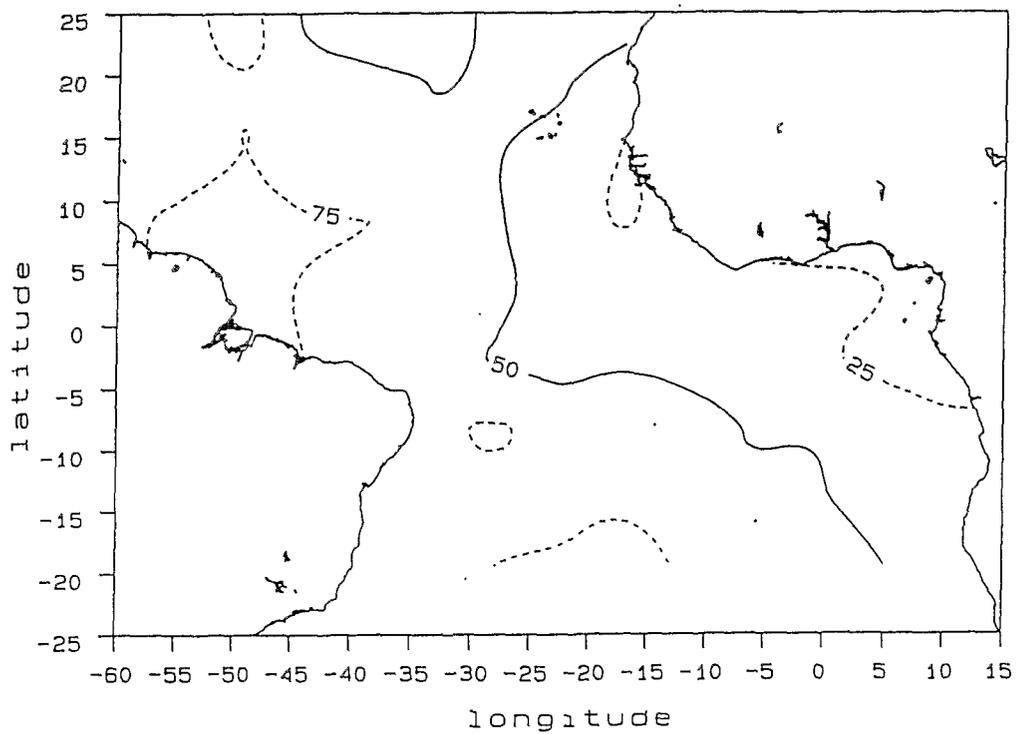


Figure I.5: Profondeur moyenne de la couche homogène dans l'Atlantique Tropical (Source: données TOGA moyenne 1981-1987 / CRODT).

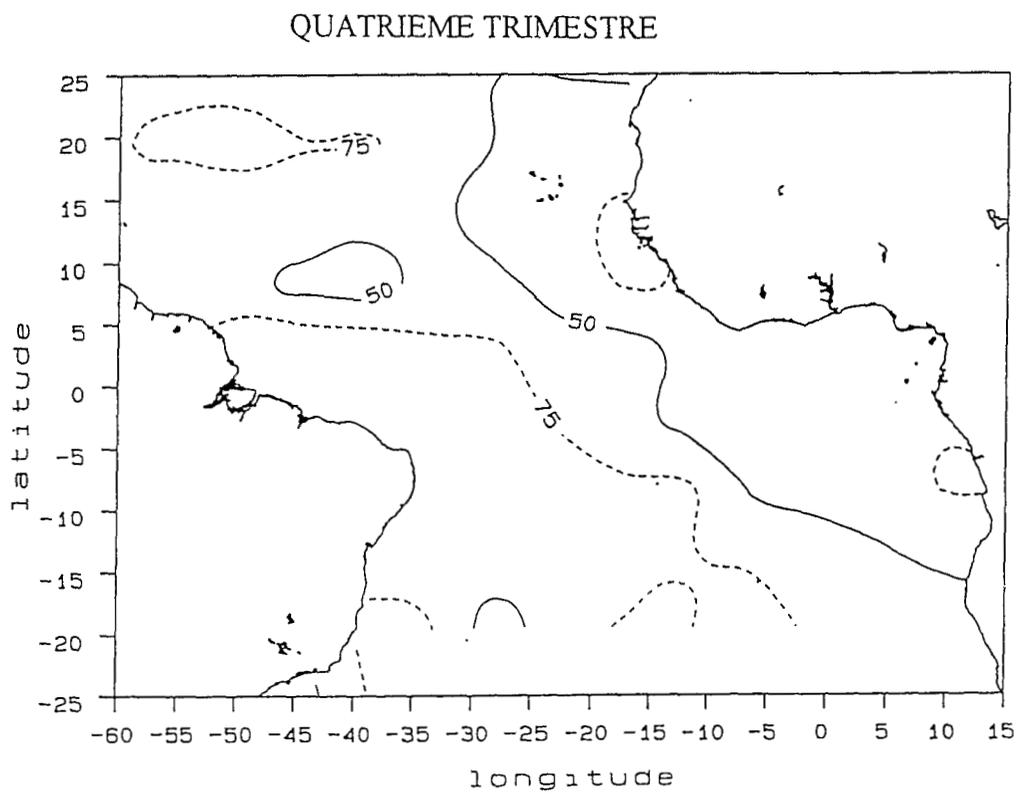
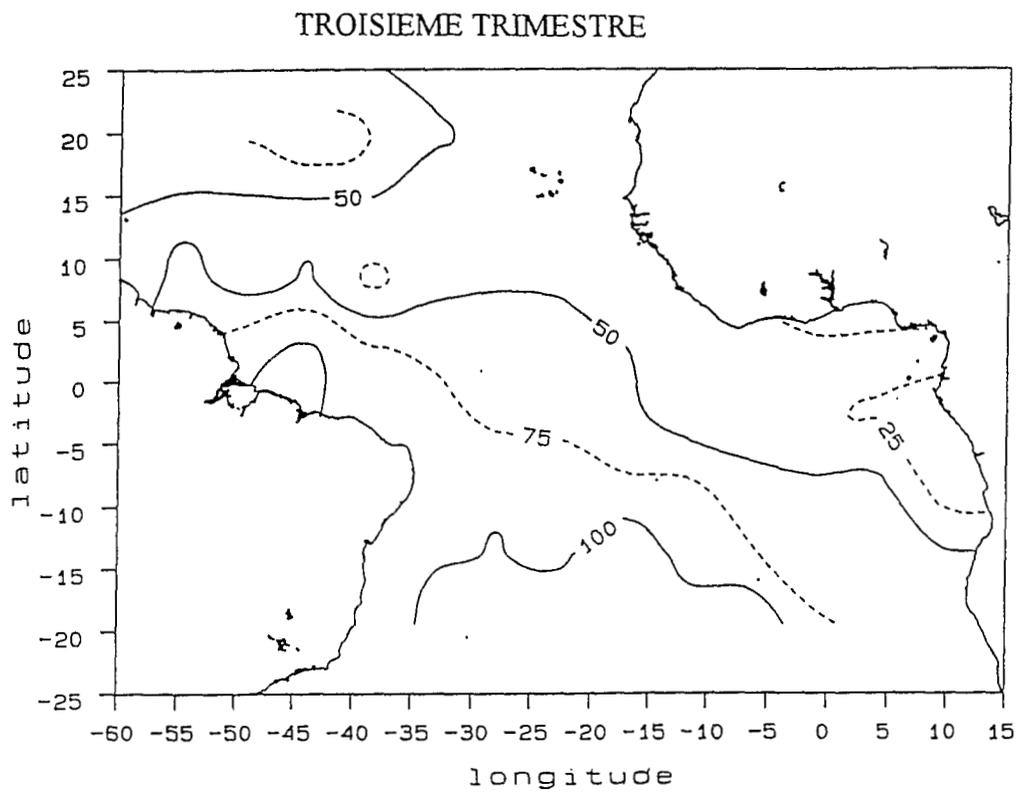


Figure I.5 (suite): Profondeur moyenne de la couche homogène dans l'Atlantique Tropical (Source: données TOGA moyenne 1981-1987 / CRODT).

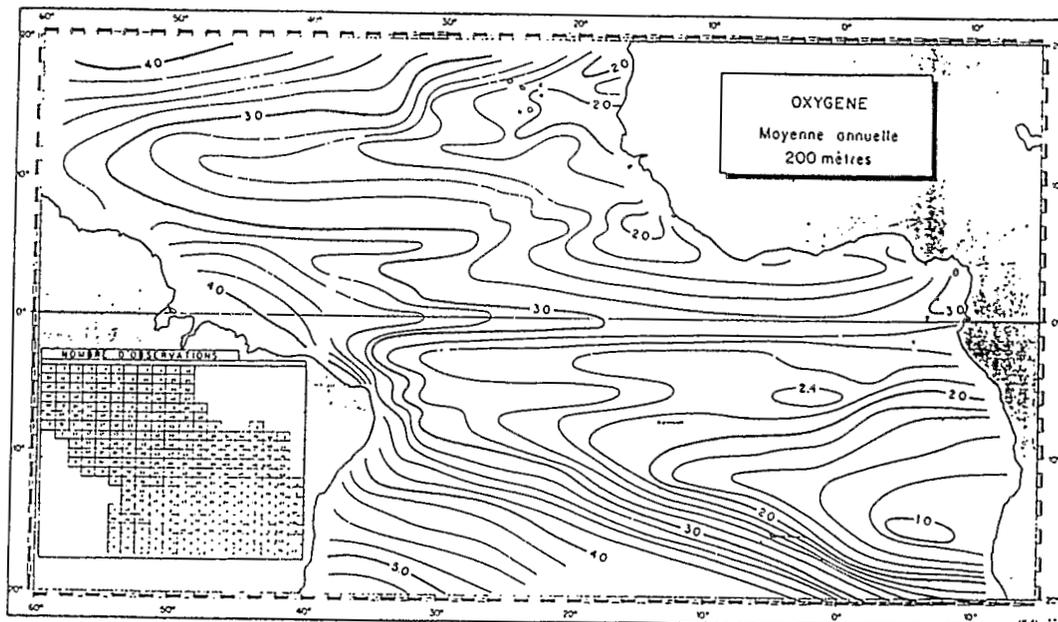
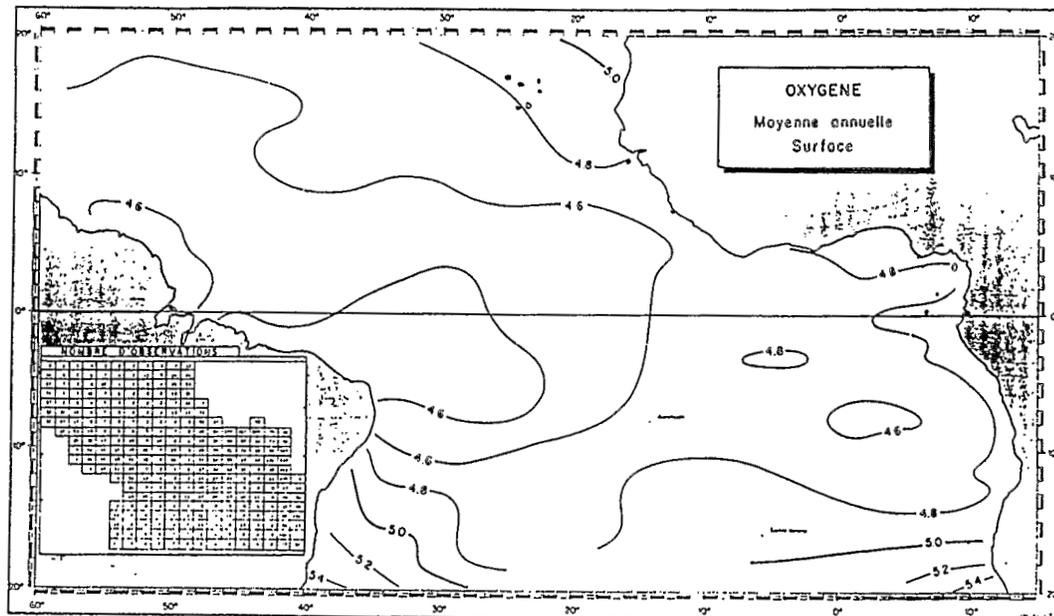


Figure I.6: Teneur moyenne en oxygène dissous (en ml d'O₂ / l d'eau) (d'après Merle, 1978).

I.5. CONCLUSION.

L'environnement hydro-climatique de l'Océan Atlantique Tropical est ainsi marqué par des variations saisonnières importantes, particulièrement évidentes pour les températures de surface de la mer. Nous verrons dans le chapitre suivant que la température de surface a une importance capitale dans la répartition spatiale des thons. Ces variations de l'hydroclimat vont donc se retrouver au niveau des pêcheries. Elles conditionneront dans une large mesure la distribution spatio-temporelle de l'exploitation des thonidés dans l'Atlantique Centre-Est.

II. LES TROIS PRINCIPALES ESPECES DE THONIDES EXPLOITEES DANS L'ATLANTIQUE TROPICAL EST : QUELQUES ELEMENTS DE BIOLOGIE.

II.1. INTRODUCTION.

Parmi les nombreuses espèces de la famille des *Scombridae* présentes dans la ceinture intertropicale de l'océan Atlantique (Fig. I.7), trois d'entre elles font l'objet d'une intense exploitation, et participent à la presque totalité des débarquements des pêcheries industrielles de surface : il s'agit de l'albacore (*Thunnus albacares*, Bonnaterre 1788), du listao (*Katsuwonus pelamis*, Linnaeus 1758) et du patudo (*Thunnus obesus*, Lowe 1839) (Fig. I.8).

De nombreuses études sur la biologie et l'écologie des thons tropicaux ont été menées au cours des dernières années, notamment par Fonteneau (1981) pour l'albacore et Cayré (1985) pour le listao. Une synthèse des connaissances sur la biologie des trois espèces, regroupant l'essentiel des travaux réalisés, a été faite par Cayré *et al.* (1988). Dans les paragraphes suivants, nous passerons rapidement en revue ces différentes connaissances, en portant une attention particulière sur les hypothèses les plus récentes concernant d'une part la modélisation de la croissance, et d'autre part les schémas de migration de l'albacore.

II.2. REPARTITION DES THONS TROPICAUX DANS L'OCEAN ATLANTIQUE.

L'albacore, le listao et surtout le patudo, malgré leur appellation de "thons tropicaux", ont une distribution géographique qui déborde largement les eaux tropicales *sensu stricto* (Fig. I.9) : ils sont largement répartis dans les eaux tropicales et tempérées chaudes des trois océans Atlantique, Pacifique et Indien. Pour les trois espèces, la distribution géographique évolue en fonction de l'âge : les larves et les juvéniles, dont le système échangeur de chaleur n'est que partiellement développé, ont des affinités exclusivement équatoriales, et ne se trouvent que dans les eaux chaudes (Collette et Nauen, 1983), tandis que les adultes, dont le système de thermorégulation est pleinement développé et qui peuvent supporter des variations de température plus importantes, colonisent des latitudes plus élevées (jusqu'à 45° Nord et 40° Sud).

Dans l'océan Atlantique, albacore, listao et patudo sont présents dans l'ensemble de la ceinture intertropicale, du Golfe de Guinée et de la côte ouest africaine jusqu'au Golfe du Mexique et au Brésil. L'aire de répartition des adultes d'albacore et de patudo s'étend dans les

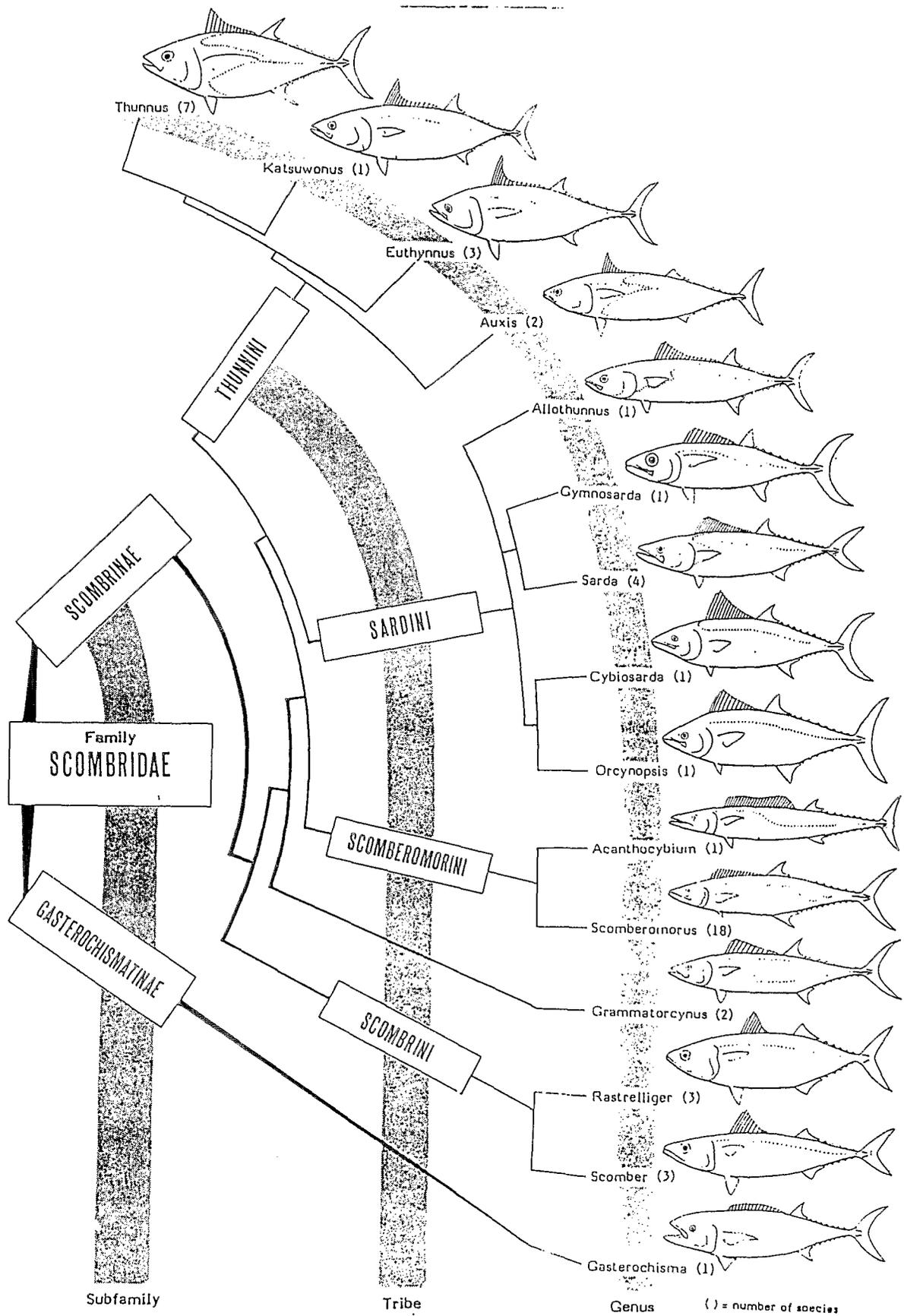


Figure I.7: Classification des Scombridae (in Collette et Nauen, 1983).

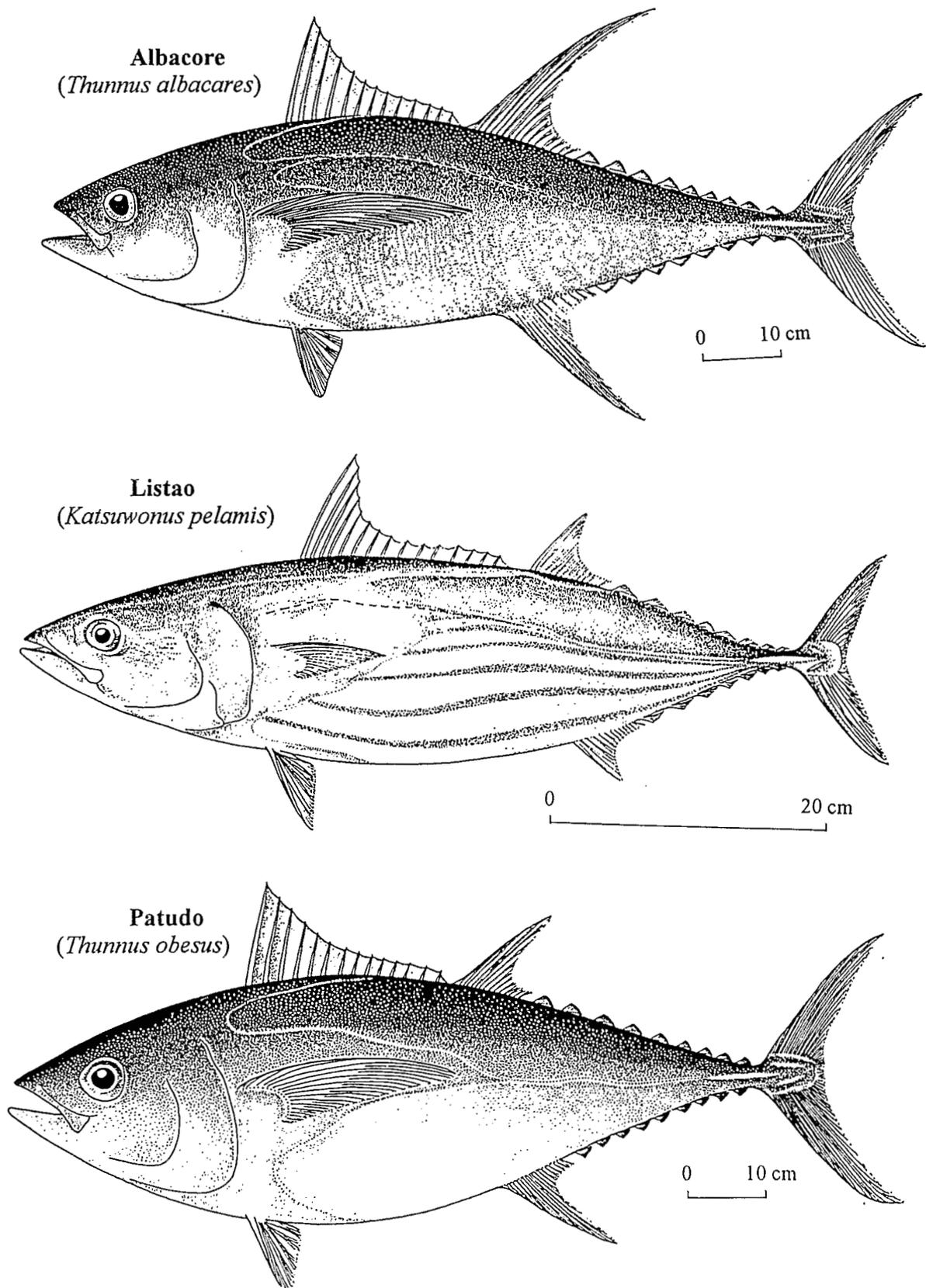
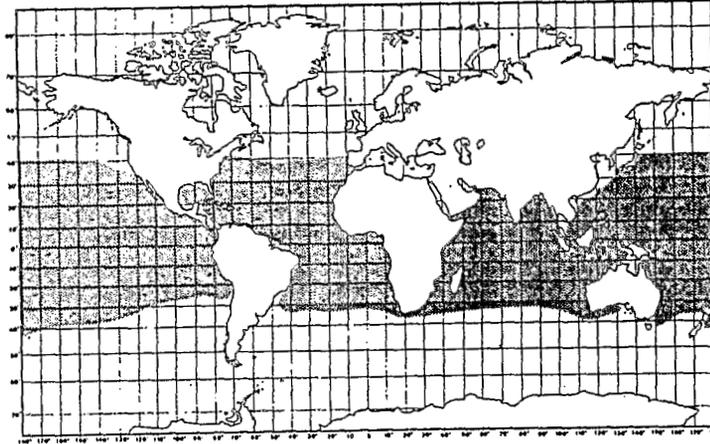
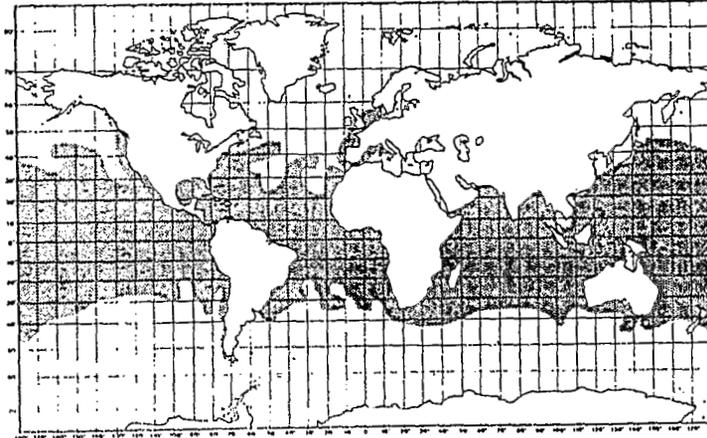


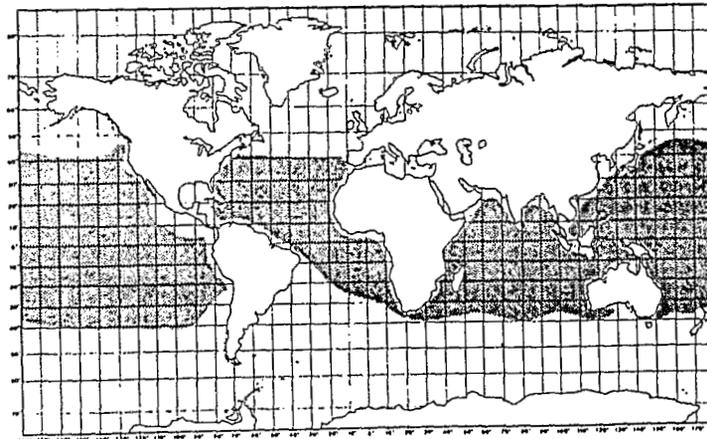
Figure I.8: Les trois principales espèces de thonidés tropicaux exploités dans l'Atlantique.



Albacore



Listao



Patudo

Figure I.9: Répartition mondiale de l'albacore, du listao et du patudo (*in* Collette et Nauen, 1983).

eaux tempérées plus au nord le long des côtes américaines jusqu'au large de la Nouvelle-Ecosse et de Terre Neuve à l'ouest, jusqu'au niveau du Portugal à l'est, et également vers le sud jusqu'au sud du Brésil à l'ouest et à l'Afrique du Sud à l'est. L'extension des prises moyennes d'albacores (période 1987-1991, toutes flottilles confondues), et de patudos (période 1956-1969, flottilles de palangriers), donne une bonne image de la répartition géographique de ces espèces (Fig. I.10 et Fig. I.11). Les facultés d'adaptation du listao aux variations du milieu en font une espèce plus cosmopolite que l'albacore et le patudo. Sa répartition géographique dans l'océan Atlantique est plus étendue, puisqu'il peut être retrouvé au nord jusque dans le Golfe de Gascogne (de manière anecdotique) et au sud au large de l'Afrique du Sud (Collette et Nauen, 1983).

○ 10 000 Tonnes

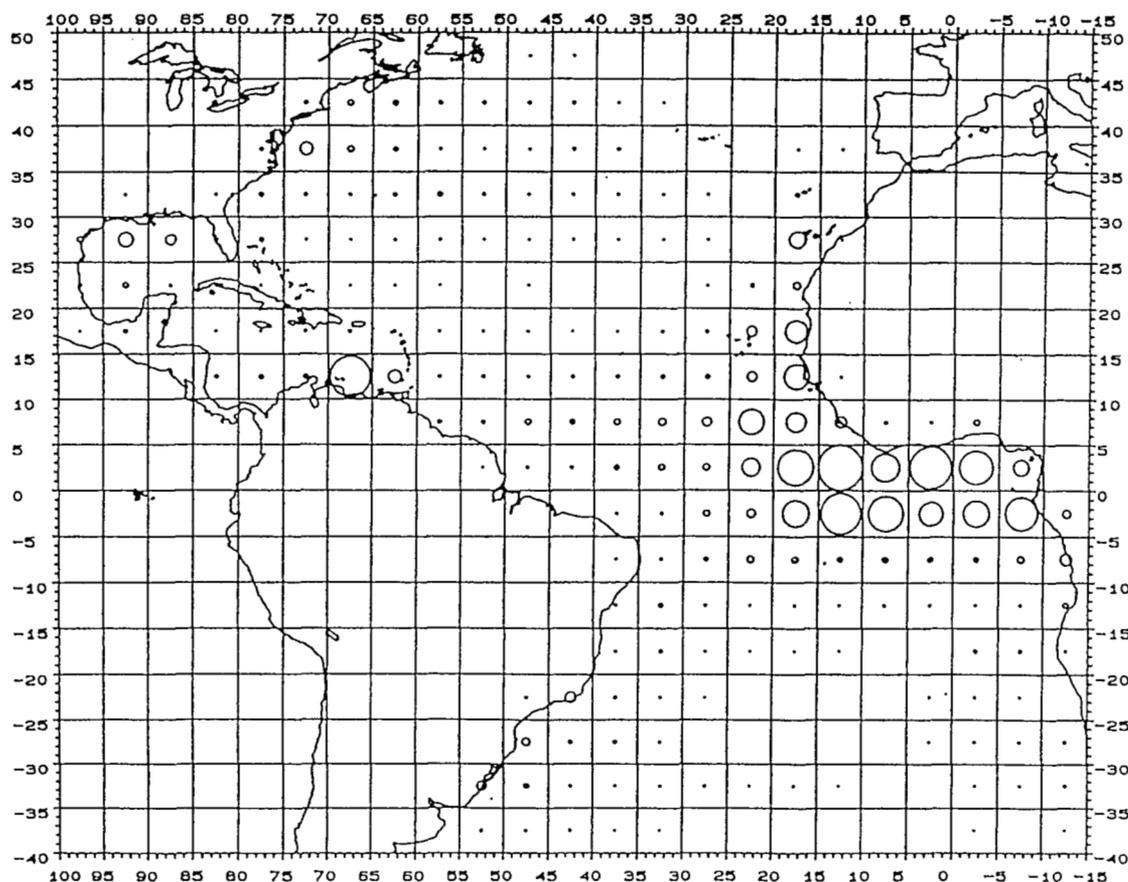


Figure I.10 : Captures annuelles moyennes (période 1987-1991) d'albacores, toutes pêcheries confondues (source : ICCAT).

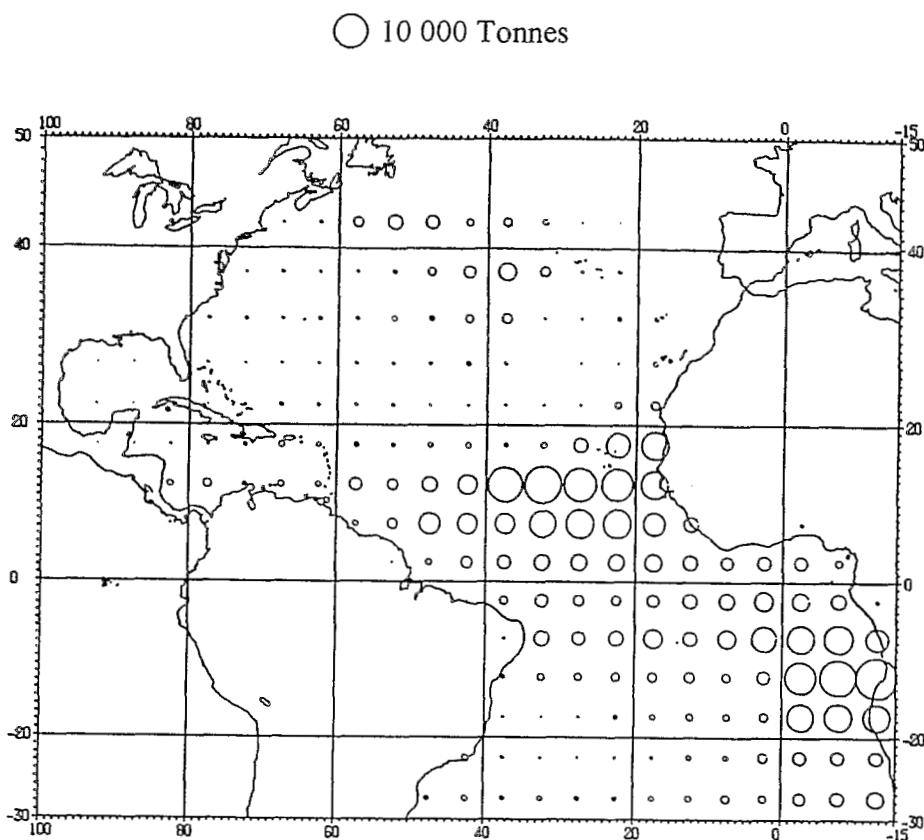


Figure I.11 : Captures annuelles moyennes (période 1956-1969) de patudo par la flottille de palangriers (source : ICCAT).

II.3. LA THERMOREGULATION CHEZ LES THONIDES TROPICAUX.

Ces trois espèces présentent une adaptation remarquable à la vie pélagique hauturière, notamment par la disparition presque totale de la vessie natatoire (ce qui autorise des déplacements verticaux rapides), par la présence d'un corselet constitué de fines écailles qui permet un meilleur hydro-dynamisme, et surtout par le développement d'un métabolisme particulier de contrôle de la température interne, la thermorégulation (Collette, 1978). Ce mécanisme permet de meilleures performances musculaires et un accroissement des facultés de récupération lors d'un effort intense et prolongé (Carey *et al.*, 1971), une meilleure sensibilité aux gradients thermiques (Neill *et al.*, 1976) et une certaine indépendance vis à vis des variations de température extérieure (capacité à se déplacer rapidement des eaux chaudes de surface aux eaux froides profondes) (Graham, 1975; Sharp et Dizon, 1978). La thermorégulation revêt donc une importance considérable dans le comportement et la

répartition des thonidés notamment. De plus, cette capacité est particulièrement bien adaptée à la recherche active de nourriture.

Dès 1923, un chercheur japonais, Kishinouye, a associé le phénomène de la thermorégulation chez les thons, qui implique un contrôle actif des échanges de chaleur (gain de température par accroissement de l'activité métabolique ou déperdition de chaleur après une activité musculaire soutenue), à un système vasculaire complexe échangeur de chaleur, le *rete mirabile*. La présence de ce système vasculaire est tout à fait exceptionnelle chez les poissons, et ne se retrouve que chez certains requins de la famille des *Lamnidae*. Elle permet de distinguer le groupe des *Thunnini*, comprenant 13 espèces de thons, dont l'albacore, le listao et le patudo, des autres *Scombridae* (Gibbs et Collette, 1967; Collette, 1978). Ce système vasculaire original est composé de trois systèmes échangeurs de chaleur (Graham, 1975). On en trouvera une description complète chez Cayré *et al.* (1988) et Cayré (1989).

II.4. TOLERANCES PHYSIOLOGIQUES DES THONS TROPICAUX.

Le paramètre environnemental influençant le plus directement l'écologie des thonidés est sans conteste la température de la couche superficielle de l'océan. Les limites thermiques propres à chaque espèce et à son stade de développement, imposent le plus souvent les limites de leur distribution géographique.

Plusieurs auteurs s'accordent pour fixer les limites thermiques de l'albacore dans une fourchette de 18° à 31°C (Laevastu et Rosa, 1969; Sund *et al.*, 1981). Ce seuil de 18°C semble représenter la limite de l'extension horizontale de l'albacore. Dans le Golfe de Guinée, Stretta et Slepoukha (1986), puis Stretta et Petit (1989) estiment que la presque totalité des prises effectuées par les pêcheries de surface sont réalisées dans des gammes de températures variant de 20° à 30°C, et pour la majorité d'entre elles dans des eaux supérieures à 24°C.

La limite inférieure de 18°C ne constitue toutefois pas une limite physiologique pour l'albacore. En effet, les albacores adultes sont fréquemment capturés en profondeur par la pêcherie palangrière. Suzuki et Kume (1982) et Suzuki (1992) dans l'Atlantique, Koïto (1985) dans l'océan Indien ont montré l'efficacité des palangres profondes, introduites à la fin des années 70. Adultes d'albacores et de patudos sont exploités jusqu'à 300 mètres de profondeur et au-delà, dans les eaux infra-thermoclines dont la température varie entre 13° et 20°C. Dans l'océan Pacifique, l'agence japonaise des pêches (Fishery Agency of Japan, 1981) a montré que des prises d'albacores ont eu lieu à 250 mètres de profondeur (température ambiante de 13°C), et jusqu'à 270 mètres (entre 11° et 12°C) pour le patudo. Des marquages acoustiques réalisés à

Tahiti (Cayré et Chabanne, 1986), à Hawaï (Holland *et al.*, 1990) et dans l'océan Indien (Cayré et Marsac, 1993), et des campagnes d'écho-sondage dans l'océan Indien (Marsac, 1992) ont également montré que les gros albacores et patudos adultes fréquentent les couches d'eaux froides profondes.

Dizon *et al.* (1977), ainsi que Collette et Nauen (1983), estiment que la limite thermique inférieure pour le listao est de 15°C, la limite supérieure étant de 31°C, ce qui représente la température maximale dans le milieu naturel océanique. Barkley *et al.* (1978) définissent les limites spatiales du listao dans l'océan Pacifique oriental en fonction de la température (de 18° à 30°C) et de l'oxygène dissous (concentration supérieure à 3,5 ml/l). Evans *et al.* (1981) appliquent les mêmes valeurs à l'océan Atlantique, et situent l'habitat potentiel du listao entre 40° nord et 34° sud. Dans le Golfe de Guinée, l'examen de la distribution des captures de listao conduit Bages et Fonteneau (1980) à supposer que le préférendum thermique de cette espèce est compris entre 22° et 29°C. A partir de la répartition des prises par classe de taille en fonction de la température de surface, Stretta (1988) montre que le maximum des prises de juvéniles et pré-adultes se situe autour d'une température de 28°C. En revanche, le maximum des prises d'adultes correspond à une température de 25°C. Des captures de listaos sont également possibles plus au nord au large du Portugal dans des eaux à 18°C (Azevedo, 1990). Quant à la pêche brésilienne au sud, elle exploite des gros listaos pour des températures ambiantes variant de 17° à 27°C (Castello et Perez Habiaga, 1989).

D'après Collette et Nauen (1983), la fourchette thermique du patudo est plus étendue que celle de l'albacore, puisqu'elle correspond à des températures limites de 13° à 29°C. Dans le Golfe de Guinée, Pianet (1981) estime que les limites thermiques des patudos juvéniles se situent entre 20° et 29°C. Ces limites évoluent en fonction du stade de développement : les juvéniles évoluent dans les eaux chaudes proches de 28°C avec les juvéniles d'albacores et de listaos (Stretta, 1988). Les adultes acquièrent des préférences plus tempérées : le maximum des prises par les engins de surface devant le Cap Lopez se situe entre 20° et 22°C (Pianet, 1981). Les patudos adultes constituent l'espèce cible de la pêche palangrière. Comme nous l'avons vu précédemment pour l'albacore, de nombreuses études réalisées par les scientifiques japonais, tant dans les océans Pacifique et Indien que dans l'Atlantique, ont montré la forte affinité des patudos adultes pour la couche d'eau située sous la thermocline, à des températures ambiantes de 13° à 20°C. Holland *et al.* (*op. cit.*) ont prouvé par marquage ultrasonique qu'un patudo peut plonger au moins jusqu'à 380 mètres de profondeur : la température relevée était de 9°C. Holland *et al.* (1992) ont également montré pour le patudo le mécanisme de régulation thermique en fonction de la température et de la profondeur.

D'autres paramètres environnementaux peuvent intervenir dans la distribution des thonidés tropicaux, mais rarement de manière limitative. Sharp (1978) donne les tolérances limites, en ce qui concerne l'oxygène dissous, pour le listao et les juvéniles d'albacore et de patudo (Tabl. I.1). Le seuil minimum n'est jamais atteint en surface dans l'Atlantique intertropical (Fig. I.6). La concentration en oxygène dissous peut toutefois avoir un rôle important dans la distribution verticale des espèces. Pour le patudo, le seuil limite de tolérance en oxygène dissous n'est jamais atteint dans l'océan Atlantique, quelle que soit la profondeur. De la même manière, la distribution verticale de l'albacore ne sera pratiquement jamais limitée par la teneur en oxygène dissous, exceptée en profondeur au large des côtes de l'Angola (Fig. I.6). Par contre, la forte dépendance du listao vis à vis de l'oxygène dissous lui imposera une distribution verticale restreinte limitée à la couche d'eau superficielle peu profonde, en particulier au large de l'Angola, du Sénégal et du Libéria.

Espèce	Limite inférieure de tolérance en oxygène (ml d'O₂/l d'eau)
Albacore	1,49 à 2,32
Listao	2,45 à 2,89
Patudo	0,52 à 0,65

Tableau I.1 : Teneurs minimales en oxygène dissous tolérées par le listao et les juvéniles d'albacore et de patudo (tailles comprises entre 50 et 75 cm) (d'après Sharp, 1978)

La salinité, dans ses limites de variation dans le milieu naturel océanique, ne semble pas être limitative quant à la distribution des thonidés (Marsac, 1992). Les zones légèrement dessalées semblent toutefois être propices pour la ponte et la distribution des larves (Barkley, 1969; Albaret, 1976; Caverivière *et al.*, 1976).

II.5. LES MIGRATIONS DES THONIDES TROPICAUX.

Les thonidés sont classiquement considérés comme faisant partie des espèces de poissons hautement migrateurs. Ils font à ce titre partie de la grande "famille" des migrateurs définie lors de la convention de Caracas. Toutefois, une controverse récente existe quant à l'importance relative de ces migrations. En effet, en s'appuyant sur les résultats des campagnes de marquages réalisées par la Commission du Pacifique Sud, Hilborn (1987 et 1989) et Hilborn et Sibert (1988) considèrent que certains stocks de thonidés sont relativement peu mobiles, et

peuvent de ce fait être gérés de manière autonome à l'intérieur de zones économiques exclusives (ZEE) suffisamment vastes. A contrario, au sein de la communauté scientifique de l'ICCAT, il ne semble plus y avoir aucun doute sur le comportement hautement migrateur des thonidés tropicaux majeurs (albacore, listao et patudo) de l'Atlantique. A l'instar d'espèces de thonidés à affinité tempérée, comme le thon rouge (*Thunnus thynnus*) et le germon (*Thunnus alalunga*), il est maintenant admis que les thonidés tropicaux, et plus particulièrement l'albacore, sont capables d'effectuer des migrations transocéaniques, pour une fraction importante de la population et à des groupes d'âge déterminés. Cela est semble-t-il également le cas pour le listao, bien que ces migrations n'aient pas encore été rigoureusement démontrées.

La connaissance des migrations des individus est d'un intérêt majeur pour l'étude d'une pêcherie. Elle permet l'identification des stocks et la connaissance des saisons d'arrivée et de départ des poissons dans une région, et donc des strates spatio-temporelles propices à la pêche. A partir d'un schéma général de migration, on peut ensuite s'intéresser aux flux de poissons et aux échanges entre zones, et donc aux interactions potentielles entre pêcheries dans différentes zones. Nous y reviendrons dans les parties suivantes.

L'étude des migrations proprement dite comprend plusieurs volets. Le premier volet consiste à préciser les grands axes de migration suivis par les individus, les saisons de ces migrations et leur périodicité. Le deuxième aspect relève davantage de l'éthologie : déterminisme des migrations, analyse des facteurs, environnementaux, biologiques, génétiques, qui influent sur le comportement migratoire. Mais malgré son importance évidente, cet aspect ne sera pas traité ici.

Dans le cas des thonidés tropicaux, deux méthodes principales ont permis de déterminer les schémas de migration : l'utilisation des résultats de marquages et recaptures d'une part, et l'analyse des statistiques de pêche (captures, efforts et fréquences de taille) d'autre part. Dans l'Atlantique tropical est, environ 50 000 individus, essentiellement constitués de juvéniles (13 000 albacores, 30 000 listaos et 8 000 patudos), ont été marqués entre 1970 et 1987, avec des taux de recaptures variables, en moyenne de l'ordre de 10% (Cayré *et al.*, 1974; Fonteneau, 1981; Bard et Amon Kothias, 1986; Cayré *et al.*, 1986 *in* Bard *et al.*, 1988). Parallèlement, dans l'Atlantique ouest, les marquages d'albacores adultes, réalisés depuis 1956 par les pêcheurs sportifs américains, se sont considérablement intensifiés depuis 1981 (Bard et Scott, 1991). A partir du lieu et de la date de la recapture, on pourra ainsi estimer la distance linéaire minimale parcourue par poisson et la durée du parcours, l'ensemble des tracés permettant de dégager les grands axes de migration de la population. L'étude des statistiques de pêche, en particulier de la distribution spatio-temporelle des prises par âge par unité d'effort

de pêche, permet également dans certains cas d'estimer les migrations par espèce. Elle est en tout point complémentaire de l'étude des marquages.

II.5.1. Les migrations de l'albacore.

Jusqu'à une époque récente, la plupart des études menées par le SCRS (Standing Committee on Research and Statistics) de l'ICCAT ont été réalisées sous l'hypothèse de l'existence de deux stocks distincts d'albacores, un dans l'Atlantique Ouest et l'autre dans l'Atlantique Est. Cette hypothèse était justifiée par la présence de part et d'autre de l'Atlantique de deux pêcheries indépendantes, et surtout par l'absence de récupération de poissons marqués ayant effectués des migrations transocéaniques. La séparation centrale entre les deux stocks était arbitrairement fixée à 30° ouest.

Depuis fin 1987 pourtant, plusieurs albacores adultes marqués par les pêcheurs sportifs américains ont été repris dans l'Atlantique oriental (Bard et Scott, 1991). Ces recaptures sont remarquables à divers titres : la distance parcourue est toujours très importante (7 000 km en moyenne), de même que la durée entre marquage et recapture (2,2 années en moyenne) et surtout la proportion élevée (82%) des recaptures observées après traversée transatlantique (Fonteneau, 1993). A l'heure actuelle, 19 migrations transatlantiques ont été prouvées (Bard et Hervé, 1994) (Fig. I.12 et Fig. I.13). Ces retours de marques ont permis d'avoir un nouveau regard sur la composition du stock d'albacores de l'Atlantique. D'autre part, les distributions de taille des captures effectuées dans les pêcheries de l'Atlantique Est et dans celles de l'Atlantique Ouest sont très différentes : dans l'est, il y a une forte prédominance de poissons juvéniles d'une part et de poissons adultes de grande taille d'autre part. Les poissons d'âge intermédiaire (pré-adultes) sont par contre toujours relativement peu nombreux (Fonteneau, 1992a). A contrario, dans l'Atlantique Ouest, le schéma est globalement inverse : relativement peu de juvéniles, un nombre important de pré-adultes et pratiquement pas d'adultes de grande taille. Ces différences dans les schémas de distribution des fréquences de taille laissent ainsi envisager l'existence d'échanges non négligeables entre Atlantique Est et Atlantique Ouest. A l'issue du groupe de travail sur "l'évaluation de l'albacore de l'Atlantique" qui s'est tenu à Ténériffé (Espagne) en juin 1993, il est montré "*que le taux de mélange*" entre Est et Ouest "*était suffisamment élevé pour réfuter l'hypothèse des deux stocks*" (Anon., 1994). L'hypothèse d'un stock unique d'albacore est proposée et admise.

Les schémas généraux des migrations de l'albacore dans l'Atlantique s'avèrent ainsi sensiblement différents si l'on se place sous l'hypothèse classique de deux stocks ou sous l'hypothèse récente d'un stock unique. Cette hypothèse n'est pas radicalement opposée à la

précédente, mais constitue plutôt son prolongement, les échanges Est-Ouest n'ayant jamais été contestés, mais plutôt considérés comme négligeables, tout au moins dans une optique d'évaluation des stocks, c'est-à-dire dans la perspective d'aménagements.

- Sous l'hypothèse de deux stocks distincts :

L'essentiel des études réalisées sur les migrations de l'albacore dans l'Atlantique tropical oriental est synthétisé dans Bard *et al.* (1988). De ces travaux, il ressort que l'intensité des migrations de l'albacore est très largement dépendante de son âge. En effet, les albacores juvéniles se cantonnent dans les zones de nourricerie côtières, essentiellement du fond du Golfe de Guinée, et ont un comportement migrateur très modéré. A partir de 50 cm, si une certaine sédentarité demeure, il existe des échanges significatifs entre les différentes zones côtières, ce qui a été démontré par l'analyse des recaptures (Cayré *et al.*, 1974; Bard et Cayré, 1986). Ainsi, des migrations suivant un axe sud-est / nord-ouest entre l'Angola, le Cap Lopez et le Sénégal sont vraisemblables, selon un rythme saisonnier, dès ce stade.

Les albacores pré-adultes, entre 65 et 110 cm, sont toujours très peu abondants dans les prises des pêcheries de surface de l'Atlantique tropical est, en tout état de cause moins nombreux dans les prises que les gros individus, alors que dans le stock global ils sont par nature beaucoup plus abondants. Ceci serait lié à un problème de disponibilité de la ressource et de vulnérabilité vis à vis des engins de pêche. Les marquages sur cette gamme de taille ont été très peu fréquents, puisque ces thons sont rares et difficiles à marquer du fait de leur taille déjà importante. Les recaptures correspondent essentiellement à quelques retours tardifs de marques de juvéniles. Les déplacements des albacores de taille moyenne sont ainsi assez peu connus dans l'Atlantique oriental. On peut toutefois postuler que ces migrations s'effectuent de manière analogue à celles des juvéniles, le long des côtes africaines selon un axe sud-est / nord-ouest, mais avec une amplitude supérieure.

Si les grands albacores adultes ont préférentiellement été exploités, lors de la période historique 1957-1970, par la flottille de palangriers, essentiellement japonais et coréens, sur l'ensemble de l'Atlantique, actuellement la majorité des prises est effectuée par les flottilles de senneurs sur les importantes concentrations situées de part et d'autre de l'équateur, lors du premier trimestre. Ces concentrations correspondent aux lieux supposés de ponte, ce qui est confirmé par les rapports gonado-somatique élevés observés sur ces albacores (Albaret, 1976). D'autre part, pendant l'été boréal, deux autres zones sont classiquement exploitées : au large du Sénégal, de la Mauritanie et de la Guinée d'une part et au large du Cap Lopez d'autre part.

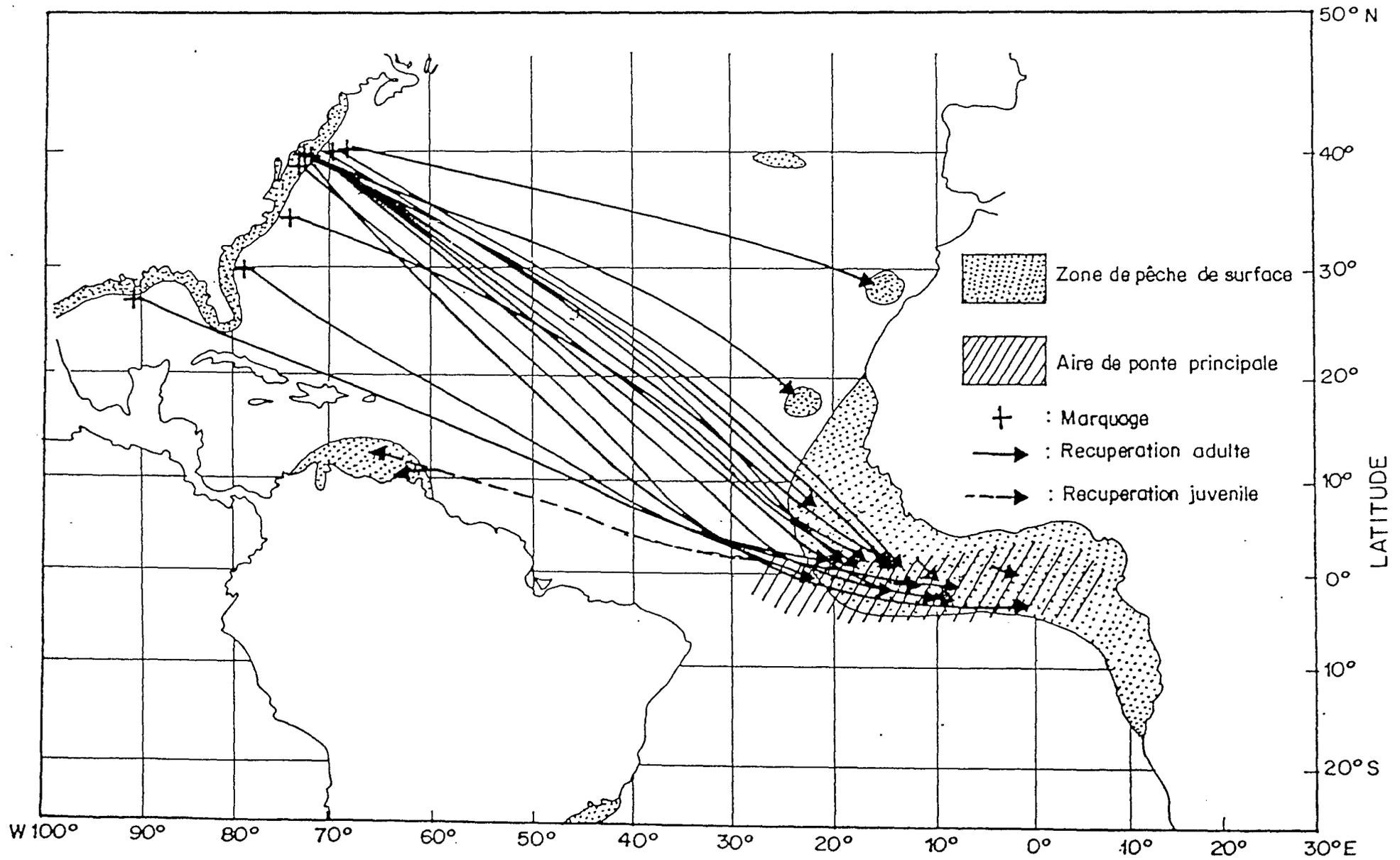


Figure I.12 : Trajets apparents des 19 albacores adultes ayant traversé l'Atlantique d'est en ouest. Trajet apparent des 2 albacores juvéniles ayant traversé l'Atlantique d'est en ouest (douteux) (d'après Bard et Hervé, 1994).

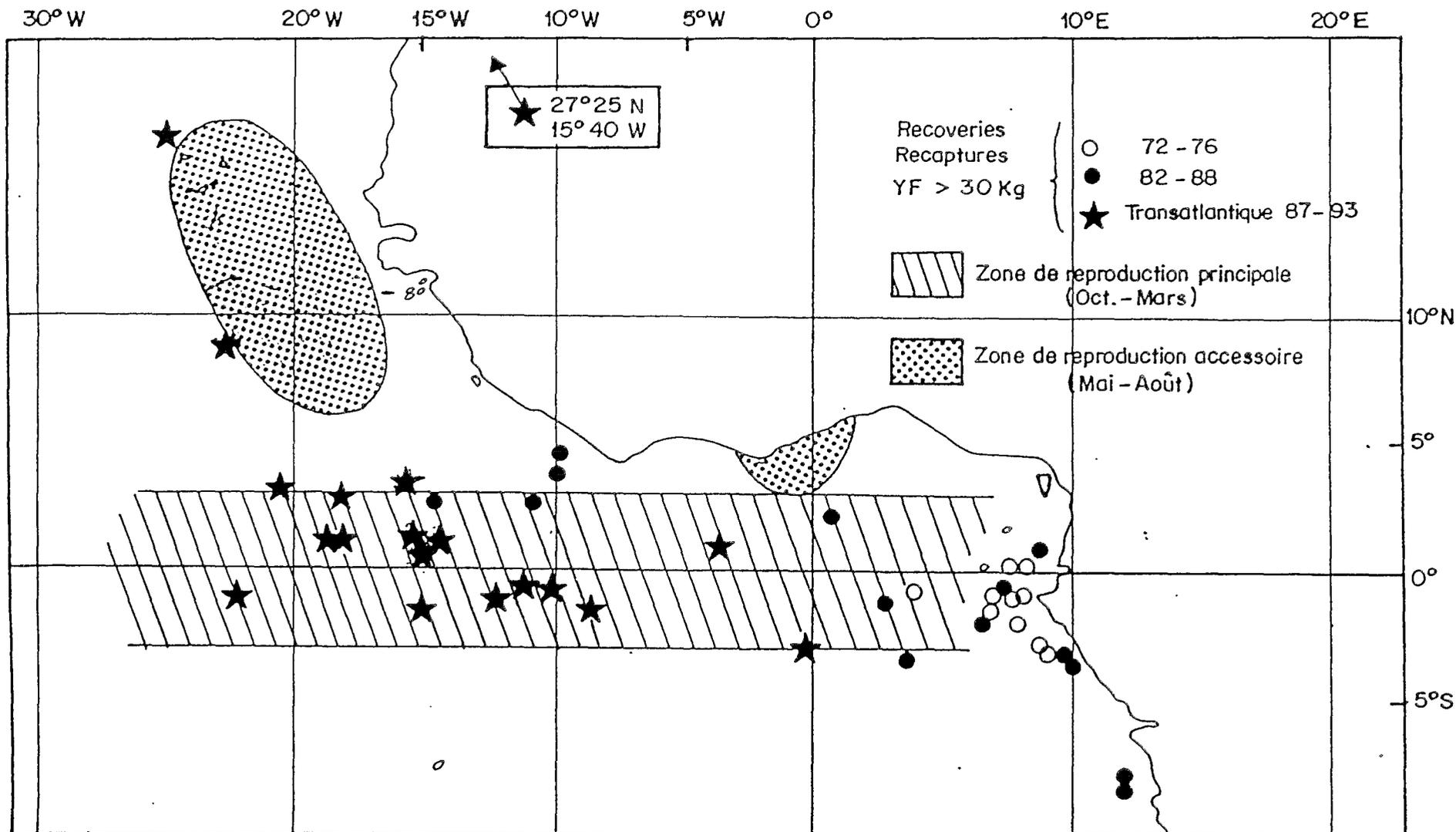


Figure I.13 : Détail des lieux de récupération des albacores de plus de 30 Kg (d'après Bard et Hervé, 1994).

respectivement en août-septembre et en mai-juin. Les albacores adultes se déplacent donc largement dans tout l'Atlantique équatorial. Saisonnièrement, ils gagnent les zones tropicales lors de migrations trophiques, principalement selon un axe est-ouest. Puis lors de migrations génétiques, ils regagnent les zones de ponte centrales équatoriales pendant l'hiver boréal et le premier trimestre.

L'existence d'échanges entre Atlantique Ouest et Est reprend finalement l'ancienne hypothèse de Honma et Hisada (1971). Ces deux auteurs, basant leurs conclusions sur les statistiques de pêche et les prises par unité d'effort par taille des palangriers japonais et sur des données biologiques recueillies lors de campagnes océanographiques menées par le Japon, avaient dès cette époque évoqué l'hypothèse de migrations réelles entre les deux stocks est et ouest. Ce concept avait été repris par la suite par Hayashi (1974) et Yañez (1979), mais n'avait pu être étayé avant les premières recaptures d'albacores ayant effectué la traversée transatlantique ouest-est.

- Sous l'hypothèse d'un stock unique :

Cette hypothèse a été retenue dans les conclusions du groupe de travail sur "l'évaluation de l'albacore de l'Atlantique" (Anon., 1993). Elle reprend dans ses grandes lignes et développe l'hypothèse proposée par Honma et Hisada (1971). La zone principale de ponte de l'albacore est située dans l'Atlantique tropical est, de 30° Ouest au fond du Golfe de Guinée, et dans la frange équatoriale (3° Nord à 3° Sud de latitude) (Fig. I.13). Les juvéniles nés dans cette zone se concentrent dans les nourriceries côtières du fond du Golfe de Guinée où ils restent sédentaires, en mélange avec des listaos et des juvéniles de patudos de même taille. A partir de la taille de 50 cm et jusqu'à 110 cm, ils se dispersent dans tout l'Atlantique Est, selon un schéma similaire à celui adopté dans le cas de l'hypothèse précédente, mais aussi dans l'Atlantique Ouest où ils gagnent les zones riches en nourriture de la façade ouest atlantique (migrations trophiques). Dès l'âge de la maturité sexuelle, les albacores adultes entreprennent des migrations génétiques et se redirigent vers les zones de ponte équatoriales : il s'agirait ici du phénomène de "homing" bien connu chez d'autres espèces migratrices comme le saumon.

Ce nouveau schéma général des migrations de l'albacore dans l'Atlantique est synthétisé figure I.14. Cependant, les conclusions du groupe de travail mettent l'accent sur la nécessité de confirmer cette hypothèse : plusieurs axes de recherche doivent être poursuivis afin d'abord de prouver la réalité des migrations est-ouest des juvéniles et pré-adultes (campagnes de marquages), ensuite de poursuivre les recherches biologiques dans le but d'améliorer les connaissances encore très fragmentaires sur les zones de ponte et la structure de la fraction du stock de l'Atlantique Ouest, et enfin d'intensifier les études basées sur les statistiques de pêche :

il s'agit d'une part de comparer, de manière fine, les distributions des fréquences de taille des prises effectuées dans les différentes pêcheries, et d'autre part d'étudier si la vulnérabilité de la ressource aux engins concernés peut ou non expliquer la présence ou l'absence de certains groupes d'âge dans les pêcheries de l'Atlantique Est ou Ouest.

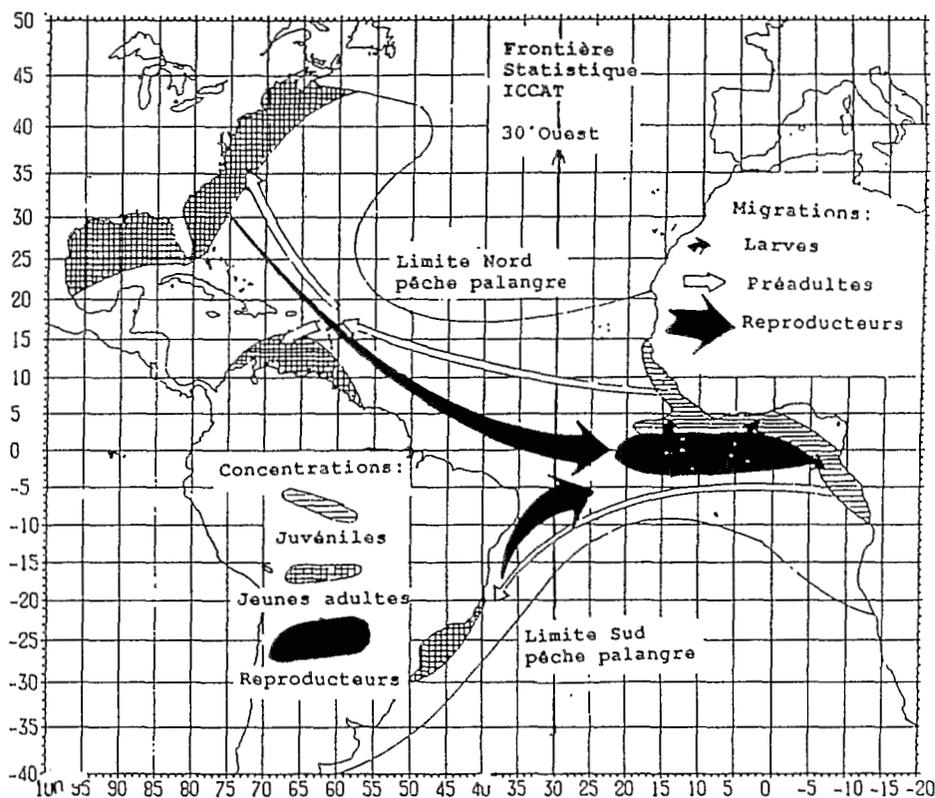


Figure I.14 : Schéma du modèle de migration pour un stock unique d'albacore atlantique (d'après Fonteneau, 1994, modifié d'après Bard et Hervé, 1993).

II.5.2. Les migrations du listao.

Les connaissances sur les migrations du listao dans l'Atlantique tropical oriental ont considérablement progressé grâce aux recherches entreprises dans le cadre du "Programme International de Recherche sur le Listao" coordonné par l'ICCAT au début des années 80. Près de 30 000 marquages, avec un taux de recapture proche de 10%, ont alors été effectués. De ces données, complétées par l'analyse des pêcheries, a été établi un schéma hypothétique des migrations du listao dans l'Atlantique Est (Fig. I.15). On reprendra ici les principales

conclusions de Bard (1984a et 1986), Cayré (1985), Cayré *et al.* (1986), Miyabe et Bard (1986) et Bard *et al.* (1988).

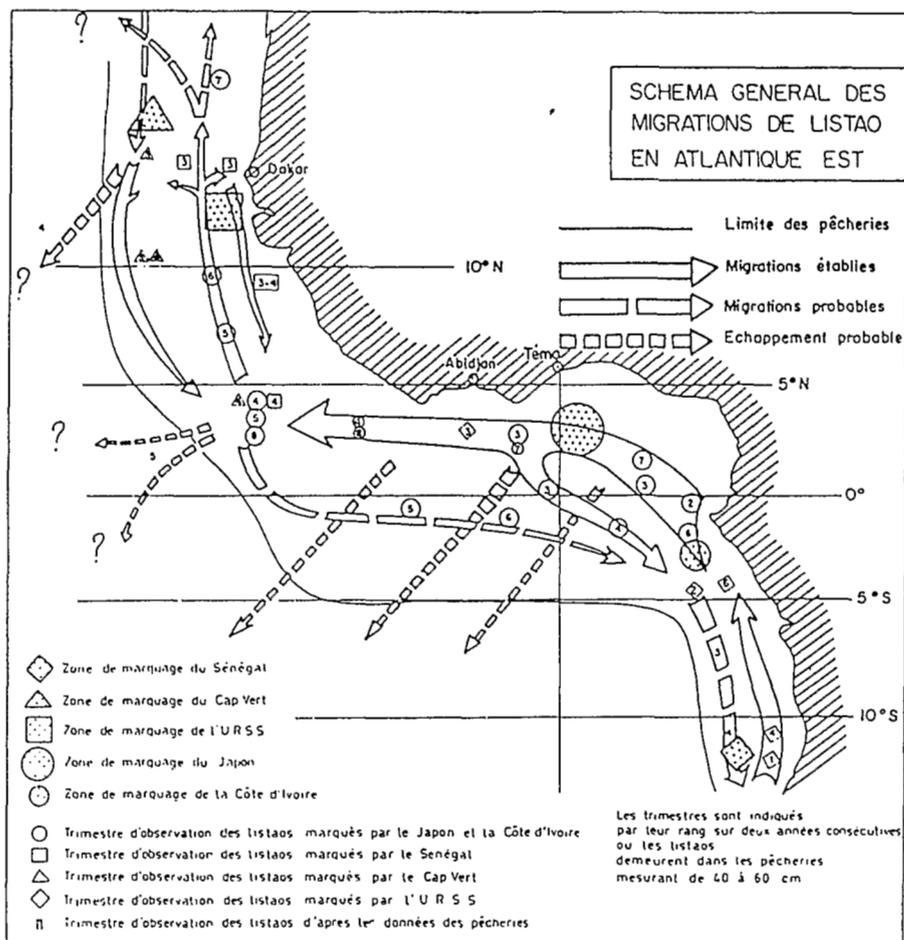


Figure I.15 : Schéma général des migrations du listao en Atlantique Tropical Est (d'après Bard, 1984).

Comme pour l'albacore, les migrations et leur intensité dépendent de l'âge du listao. Par contre, la reproduction du listao présenterait un caractère opportuniste (Cayré *et al.*, 1988), et se déclencherait de façon rapide, indépendamment de la zone géographique et de la saison, dès que les conditions du milieu deviennent propices (voir chapitre suivant). Toutefois, d'après Bard (1984) et Cayré (1985), les deux principales zones de recrutement se situent au large de l'Angola (au premier trimestre) et surtout du Cap Lopez (deuxième trimestre). Des

recrutements modérés sont également observés au large du Libéria (quatrième trimestre) et dans les eaux du Sénégal et des Iles du Cap-Vert au troisième trimestre.

A partir de 6 mois et jusqu'à un an après leur entrée dans la pêcherie, les listaos issus du recrutement principal du Cap Lopez migrent le long des côtes d'Afrique, selon un axe est-ouest, jusqu'au large du Libéria. Une partie de ces poissons, vraisemblablement la plus importante, retourne alors vers le Cap Lopez (entre 1 an et 1,5 an après le recrutement), puis entreprendra à nouveau la migration est-ouest l'année suivante. L'autre partie se dirige vers le Sénégal et les Iles du Cap-Vert, et sans doute plus au nord vers les Iles Canaries, puis revient vers le sud jusqu'au Libéria au cours des troisième et quatrième trimestres de l'année.

Pendant ces migrations, il est probable qu'une partie non négligeable des poissons émigre, à tous les trimestres, vers les zones du large, voire vers l'Atlantique Ouest, et disparaît ainsi de la pêcherie. Au delà de 2 ans après le recrutement, les listaos d'une taille supérieure à 60 cm deviennent rapidement rares dans les captures des pêcheries de l'Atlantique Est, bien que ces poissons soient en principe toujours présents dans le stock global. Il y aurait donc émigration massive des listaos adultes de grande taille, bien que ces mouvements n'aient pas encore été prouvés directement par marquage. Il est à noter qu'une grande partie des captures réalisées au large du Brésil est constituée de listaos de grande taille (Sakagawa, 1986; Symons *et al.*, 1986). Ces poissons de grande taille se trouvent parfois également en profondeur (dans les captures des palangriers), mais toujours en quantités très faibles.

En ce qui concerne les poissons issus des recrutements secondaires du Libéria, du Sénégal et des Iles du Cap-Vert, le schéma migratoire suivi est moins clair : une partie doit rejoindre le flux migratoire principal au niveau du Libéria au quatrième trimestre, mais une autre partie semble émigrer directement vers l'ouest. Ces recrutements n'interviendraient que de façon modérée dans les pêcheries de l'Atlantique oriental.

Les listaos constituent donc dans l'Atlantique oriental un stock unique du Sénégal à l'Angola. L'essentiel des listaos exploités provient du recrutement principal observé au Cap Lopez. Dans l'année suivant leur entrée dans la pêcherie, ces poissons présentent une migration cyclique, se dirigeant vers l'ouest dans un premier temps avant de revenir vers le Cap Lopez. Une forte émigration de la pêcherie a lieu à tous les trimestres, s'intensifiant pour les listaos de grande taille. Il est donc possible que des échanges aient lieu entre l'Atlantique Est et Ouest, bien qu'il n'y ait encore aujourd'hui aucune preuve directe par marquage de l'existence de telles migrations transatlantiques.

II.5.3. Les migrations du patudo.

Contrairement aux deux espèces précédentes, les migrations du patudo dans l'océan Atlantique sont encore relativement mal connues. Plusieurs raisons expliquent ce constat. Le patudo a longtemps été considéré comme une espèce secondaire dans les pêcheries de surface : les prises d'adultes sont relativement faibles et les juvéniles souvent confondus avec les juvéniles d'albacore, ce qui a posé des problèmes dans l'analyse des pêcheries. D'autre part, les marquages spécifiques sur cette espèce ont été peu nombreux (environ 8 000 pour presque 600 recaptures). Néanmoins, à partir de ces données, Bard *et al.* (1988) proposent pour le patudo le modèle migratoire schématisé suivant (Fig. I.16). Les patudos formeraient un stock unique pour l'ensemble de l'océan Atlantique, dont la zone de ponte serait située de part et d'autre de l'équateur. La zone principale de recrutement et de nourricerie est située au fond du Golfe de Guinée. Les juvéniles, au sein de bancs mixtes regroupant listaos et juvéniles d'albacore, entreprennent alors des migrations le long des côtes africaines, soit vers l'ouest vers le Libéria, soit vers le sud. Les adultes se dispersent ensuite vers le nord ou le sud de l'océan Atlantique. Les principales zones de pêche de la pêche palangrière se situent en effet dans la ceinture intertropicale des côtes africaines aux côtes américaines (deux zones principales de l'Angola au Brésil et du large du Sénégal jusqu'à l'Atlantique Central), ainsi qu'au large de la côte nord-est des Etats-Unis jusqu'à 45° nord (ICCAT, 1993).

On ne sait pas actuellement si ces migrations sont cycliques, comme celles du listao, ou si elles sont définitives avec émigrations des pré-adultes vers l'ensemble de l'Atlantique. L'existence d'une zone principale de ponte de part et d'autre de l'équateur indique ainsi qu'il existe des migrations génétiques de patudos adultes des latitudes nord et sud vers la zone centrale équatoriale. A l'heure actuelle, ce schéma, qui correspondrait alors à un comportement de "homing" analogue à celui de l'albacore, reste toutefois hypothétique.

En ce qui concerne la structure du stock de patudo, il est intéressant de noter que l'hypothèse d'un stock unique pour l'ensemble de l'Atlantique n'a été définitivement adoptée que récemment au sein de l'ICCAT. En effet, jusqu'à 1984, l'hypothèse admise, en matière d'évaluation, était l'existence de deux stocks distincts nord et sud, séparés au niveau de l'équateur, et n'ayant que des taux de mélange faibles. Cette hypothèse se fondait notamment sur la distribution des fréquences de taille des prises de la flottille palangrière (avant l'introduction de la palangre profonde) et sur le fait "*que les taux de captures étaient plutôt plus faibles le long de l'équateur*". Ce double constat était alors considéré "*comme évidence de l'existence de deux stocks, un dans chaque hémisphère*" (ICCAT, 1984 et 1985).

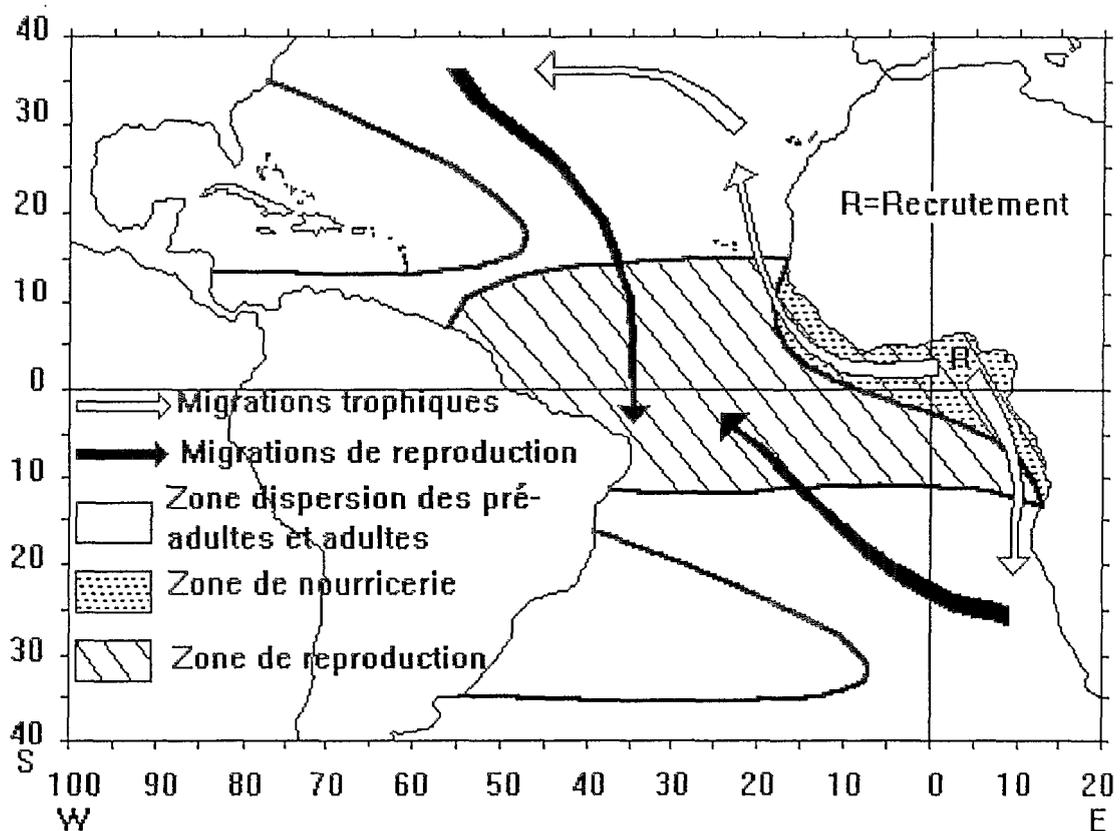


Figure I.16 : Schéma général des migrations du patudo dans l'Atlantique (d'après le schéma de Bard *et al.*, 1988).

II.6. LA REPRODUCTION DES THONIDES TROPICAUX.

De nombreuses recherches ont été menées sur la reproduction des thonidés tropicaux de l'Atlantique tropical, depuis les travaux historiques de Postel (1955a et 1955b) jusqu'à la synthèse récente de Bard et Capisano (1991). L'étude des indices gonado-somatiques (IGS = rapport du poids des gonades sur la longueur au cube) et de la distribution des larves a permis de définir pour les trois espèces principales des zones et des périodes de ponte (Tabl. I.2). De ces travaux, il ressort que les thonidés tropicaux se reproduisent presque exclusivement dans les eaux chaudes supérieures à 24°C, soit toute l'année dans la zone équatoriale et le fond du Golfe de Guinée avec des périodes d'intensité maximale au quatrième et premier trimestres pour l'albacore, au premier et troisième trimestres pour le patudo, soit pendant la saison chaude dans les zones tropicales, située au nord (Sénégal, Cap-Vert) ou au sud (Angola, Brésil). Pour le listao, Cayré et Farrugio (1986) estiment que la reproduction "serait de type

opportuniste" et que "les zones dont la température est supérieure à 24°C et dans lesquelles les biomasses phyto et zooplanctoniques sont importantes, semblent particulièrement favorables à la reproduction". Les résultats de Caverivière et Suisse de Sainte-Claire (1980) montrent également une étonnante similitude dans la répartition spatio-temporelle, dans le Golfe de Guinée, des larves d'albacores et de patudos, et dans une moindre mesure de listaos.

Espèce	Zone	Période	Auteurs
Albacore	Sénégal - Guinée	Juin à Septembre	Postel, 1955a Rossignol, 1968 Yañez et Barbieri, 1980
	Iles du Cap-Vert	Juin à Octobre	Vieira, 1991
	Angola	Novembre à Avril	Da Franca, 1959 Rossignol, 1968
	Zone équatoriale nord et sud et Golfe de Guinée	Toute l'année avec ponte maximale aux 4ème et 1er trimestres	Bane, 1963 Rossignol, 1968 Caverivière <i>et al.</i> , 1976 Albaret, 1977 Fontana et Fonteneau, 1978 Yañez et Barbieri, 1980 Cayré <i>et al.</i> , 1988 Bard et Capisano, 1991
	Atlantique Ouest (nord Brésil)	2ème et 3ème trimestres	Yañez et Barbieri, 1980 Bard et Capisano, 1991
Listao	Zone équatoriale nord et sud et Golfe de Guinée	Toute l'année avec intensité maximale de Novembre à Mars	Cayré et Farrugio, 1986 Cayré <i>et al.</i> , 1988
	Sénégal et Iles du Cap Vert	Saison chaude de Juillet à Septembre	Postel, 1955b Caverivière <i>et al.</i> , 1976 Cayré, 1981 Cayré, 1984 Cayré et Farrugio, 1986
	Atlantique Ouest (Sud Brésil)	Décembre à Mars	Nishikawa <i>et al.</i> , 1978 et 1985
	Atlantique Nord-Ouest	Juin - Juillet	Batts, 1972
Patudo	Atlantique tropical (15°N-15°S) des côtes africaines aux côtes américaines	Toute l'année avec des maxima localement	Sakamoto, 1969 Caverivière <i>et al.</i> , 1976 Kume et Morita, 1977 Cayré <i>et al.</i> , 1988

Tableau I.2 : Zones et périodes de reproduction de l'albacore, du listao et du patudo dans l'océan Atlantique tropical.

La taille à la première maturité (50% des individus matures) de l'albacore se situe dans l'Atlantique entre 97 et 101 cm (Tabl. I.3) et entre 42 et 45 cm pour le listao. A notre connaissance, il n'existe pas de travaux sur la taille à la première maturité pour le patudo dans l'océan Atlantique. A titre de référence, notons que Calkins (1980) donne une fourchette de 100 à 130 cm pour la taille à la première maturité du patudo dans l'océan Pacifique.

Espèce	Taille	Age	Auteurs
Albacore - Mâles - Femelles	97 à 101 cm	2,5 ans	Albaret, 1977 Cayré <i>et al.</i> , 1988
Listao - Mâles - Femelles	45 cm 42 cm	3 ans	Cayré et Farrugio, 1986
Patudo	entre 100 et 130 cm	3 ans	Calkins, 1980

Tableau I.3 : Taille et âge à la première maturité de l'albacore, du listao et du patudo dans l'océan Atlantique tropical.

II.7. LA CROISSANCE DES THONIDES TROPICAUX.

En dynamique des populations marines, la connaissance de la croissance des individus revêt une importance toute particulière, notamment dans la mesure où les clés de correspondance entre la taille et l'âge sont classiquement utilisées pour décomposer les fréquences de taille en captures par âge. Ces captures par âge constituent elles-mêmes la base de l'analyse séquentielle des populations et de tous les modèles dits structuraux, et constituent de ce fait des paramètres importants à maîtriser pour la gestion des stocks.

Trois principales techniques sont employées pour déterminer la croissance des poissons : la lecture directe de l'âge à partir des pièces dures (écailles, otolithes, vertèbres, rayons des nageoires...), le suivi des filiations modales ou méthode de Petersen (1895) et le résultat des marquages-recaptures. Ces trois techniques peuvent être combinées, notamment dans un souci de validation des résultats. Ces méthodes d'évaluation de la croissance des individus débouchent sur trois grands types de résultats : les taux de croissance, l'expression et

la modélisation de la courbe de croissance, et la mise au point de clés de correspondance entre l'âge et la taille.

II.7.1. Croissance de l'albacore.

La croissance de l'albacore dans l'Atlantique Tropical Oriental a été étudiée par de nombreux auteurs. L'hypothèse actuelle est que la croissance de l'albacore présente une allure tout à fait particulière, puisqu'elle se caractérise par deux périodes (ou stances ⁽¹⁾) de croissance bien distinctes : une stance de croissance juvénile lente (Fonteneau, 1980; Bard, 1984; Cayré *et al.*, 1988; Capisano et Fonteneau, 1991), et une stance de croissance accélérée pour les pré-adultes. Les paramètres des courbes de croissance calculées par ces différents auteurs sont donnés dans le tableau I.4.

Zone	Modèle	Taille des individus	Auteurs
Atlantique Oriental	$L_F=194,8.[1-\exp(-0,420.(t-0,623))]$	60 à 170 cm	Le Guen et Sakagawa, 1973
	$L_F=166,4.[1-\exp(-0,864.(t-1,292))]$	70 à 130 cm	Fonteneau, 1980
	$L_F=17,71.t+35$ $L_F=196,55.[1-\exp(-0,474.(t-0,847))]$	35 à 65 cm 65 à 180 cm	Bard, 1984
Vénézuéla	$L_F=19,505.t+35,32$	45 à 66 cm	Gaertner et Pagavino, 1991
	$L_F=155,7.[1-\exp(-0,884.(t-0,957))]$	66 à 150 cm	

Tableau I.4 : Différents modèles de croissance de l'albacore atlantique.

Le modèle de croissance qui sert actuellement de référence au sein de l'ICCAT (Cayré *et al.*, *op. cit.*) est composé de deux parties, une partie linéaire pour la stance de croissance

(1) On reprendra ici les termes de Gascuel *et al.* (1992): "En matière d'étude de la croissance, le terme de "phase" est souvent employé. Pour rendre compte de périodes successives au cours desquelles la dynamique de la croissance est différente, il semble plus correct d'utiliser le terme de "stance" introduit par Teissier (1936. *in* Bard *et al.*, 1991) et justifié par Bard *et al.* (1991). Cette terminologie ne préjuge pas *a priori* de l'existence de "phases physiologiques" différentes. Elle permet ici de réserver la dénomination de "phase" aux phases recrutées et non recrutées".

lente des juvéniles entre 35 et 65 cm de longueur fourche, puis une partie exponentielle selon une équation de Von Bertalanffy (1938) de la forme :

$$L_t = L_\infty \cdot [1 - \exp(-k(t - t_0))]$$

avec L_t = Longueur à l'âge t

L_∞ = longueur asymptotique

k = taux de croissance annuel

t_0 = âge théorique correspondant à $L_{t_0} = 0$

La partie linéaire du modèle de croissance de l'albacore a été ajustée par Bard (1984) à partir des données de marquages. Les travaux de Le Guen et Sakagawa (1973), à partir des filiations modales des fréquences de taille des captures réalisées entre 1966 et 1970 par les senneurs et canneurs français et américains, ont conduit à l'ajustement des paramètres de l'équation de Von Bertalanffy.

La croissance de l'albacore (Fig. I.17) dans l'Atlantique tropical oriental est ainsi exprimée :

- Albacores juvéniles (35 à 65 cm; 0,8 à 5,4 kg)

- Taux de croissance : 17,7 cm/an

- Croissance linéaire :

$$L_t = 17,71 \cdot t + 35,0$$

avec L_t = Longueur à la fourche (cm)

t = âge relatif (l'âge 0 correspond au moment où les albacores entrent dans la pêcherie à 35 cm)

- Albacores adultes (de 65 à 180 cm; 5,4 à 110 kg)

- Equation de croissance suivant une loi de Von Bertalanffy

avec $L_\infty = 194,8$ cm, $k = 0,42$ et $t_0 = 0,967$ an

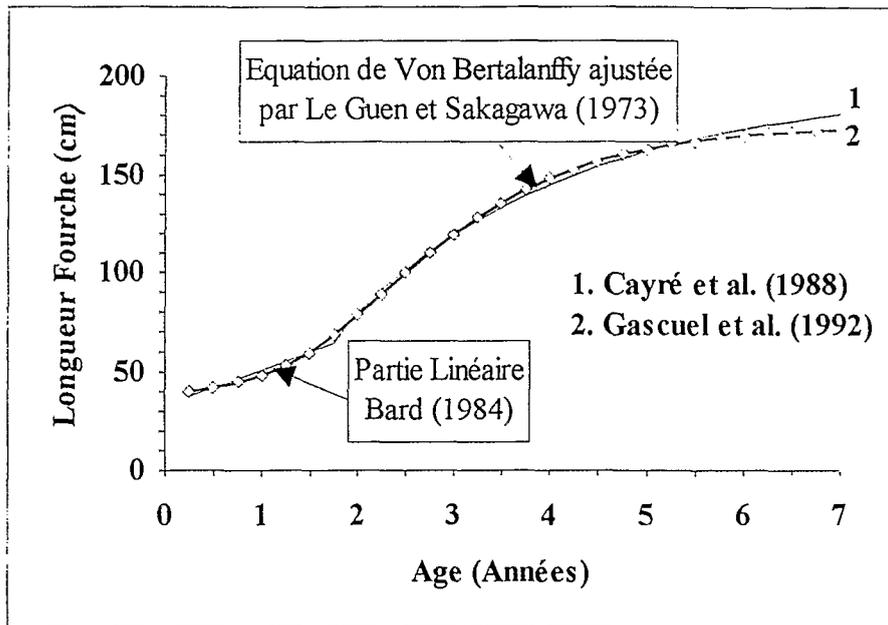


Figure I.17 : Courbes de croissance de l'albacore de l'Atlantique.

Le modèle "composite" ainsi défini présente néanmoins plusieurs imperfections, mises en évidence par Gascuel *et al.* (1992) : erreur de calcul au point de raccordement des deux courbes (à la taille de 65 cm) qui conduit à une valeur t_0 fautive; problème de standardisation de la notion d'âge dans les deux parties du modèle; discontinuité de croissance au point de raccordement. Ce problème de raccordement des 2 équations du modèle composite a amené Bard *et al.* (1991) à modéliser la croissance de l'albacore à l'aide d'un modèle continu à 4 paramètres de Richards (1959). Les difficultés, relevées par ces auteurs, de l'ajustement du modèle de Richards à la fois aux juvéniles et aux gros individus, ainsi que l'utilisation, également dans ce cas, d'un âge relatif, ont conduit Gascuel *et al.* (op. cit.), d'une part à corriger les valeurs des paramètres des équations du modèle précédent, en exprimant la taille en fonction d'un âge conventionnel défini par rapport au 15 janvier de l'année civile, et d'autre part à proposer un nouveau modèle continu de la croissance, faisant intervenir 5 paramètres. Les nouvelles valeurs des paramètres du modèle classique recalculées par Gascuel *et al.* (op. cit.), pour un âge conventionnel défini à partir du 15 janvier, sont les suivantes :

- pour les albacores entre 35 et 63 cm

$$L_t = 17,71.t + 33,0$$

- pour les albacores de 63 à 170 cm

$$L_t = 194,8.[1 - \exp(-0,42.(t - 0,748))]]$$

Le modèle continu de Gascuel *et al.* se présente sous la forme :

$$L_t = 37,8 + 8,93.t + (137,0 - 8,93.t) \cdot \left[(1 - \exp(-0,808.t))^{7,49} \right]$$

La taille asymptotique correspondant à cette équation est de 178,8 cm. On pourra trouver dans le tableau I.5 les clés de correspondance entre l'âge et la taille pour l'albacore. Dans la suite de l'étude, on utilisera les clés taille/âge calculées à partir du modèle de Gascuel *et al.*, et pour chaque cohorte selon la méthode d'ajustement proposée par Gascuel (1993).

Age conventionnel	Longueur fourche (cm)		Poids (Kg)	
	Modèle composite corrigé	Modèle continu	Modèle composite corrigé	Modèle continu
0.5	42.2	42.3	1.34	1.35
1.0	51.0	48.3	2.35	1.99
1.5	59.9	60.0	3.76	3.78
2.0	79.7	78.3	8.74	8.32
2.5	101.5	99.6	17.85	16.91
3.0	119.1	119.6	28.67	29.00
3.5	133.5	136.0	40.08	42.40
4.0	145.1	148.4	51.27	54.82
4.5	154.5	157.2	61.72	65.00
5.0	162.1	163.3	71.15	72.66
5.5	168.3	167.4	79.46	78.11
6.0	173.3	170.0	86.65	81.84
6.5	177.4	171.8	92.78	84.33
7.0	180.7	172.9	97.95	85.95

Tableau I.5 : Relations entre l'âge conventionnel, la longueur à la fourche (en cm) et le poids de l'albacore dans l'Atlantique Est.

- Le modèle composite est celui de Cayré *et al.* (1988), corrigé par Gascuel *et al.* (1992).

- Entre 0.5 et 1.5 ans, la croissance suit une équation linéaire (d'après le modèle de Bard (1984) corrigé) :

$$L_t = 17,7.t + 33,3$$

- A partir de 2 ans, la croissance suit une loi de von Bertalanffy (paramètres ajustés par Le Guen et Sakagawa (1973) et corrigés par Gascuel *et al.* (1992)) :

$$L_t = 194,8 \cdot [1 - \exp(-0,42 \cdot (t - 0,748))]]$$

• Le modèle continu est tiré de Gascuel *et al.* (1992) :

$$L_t = 37,8 + 8,93 \cdot t + (137,0 - 8,93 \cdot t) \left[(1 - \exp(-0,808 \cdot t)) \right]^{7,49}$$

• L'âge conventionnel est établi par rapport au 15 janvier.

• La relation taille / poids est tirée de Caverivière (1976) :

$$P = 2,1527 \cdot 10^{-5} \cdot L_F^{2,976}$$

P en Kg

L_F en cm

II.7.2. Croissance du listao.

Des trois méthodes classiques de détermination de la croissance des poissons, seule l'utilisation des résultats des marquages a pu être appliquée avec succès pour le listao de l'Atlantique. En effet, les résultats de la détermination directe de l'âge à partir des tissus osseux, et en particulier du premier rayon épineux de la nageoire dorsale sont peu fiables (Antoine *et al.*, 1982 et 1983; Antoine et Mendoza, 1986), notamment en raison du manque de périodicité dans l'apparition des marques d'arrêt de croissance (Antoine *et al.*, 1982). L'application au listao de la méthode de Petersen, quant à elle, s'est jusqu'à présent avérée pratiquement impossible, en raison de l'absence de progression modale apparente (Cayré *et al.*, 1986). Cette absence de progression modale s'expliquerait notamment par une variabilité saisonnière et géographique de la croissance (Bard et Antoine, 1986; Cayré *et al.*, 1986) et par une reproduction de type opportuniste impliquant un recrutement permanent (Cayré et Farrugio, 1986). Ce problème est très général chez le listao pour l'ensemble des trois océans.

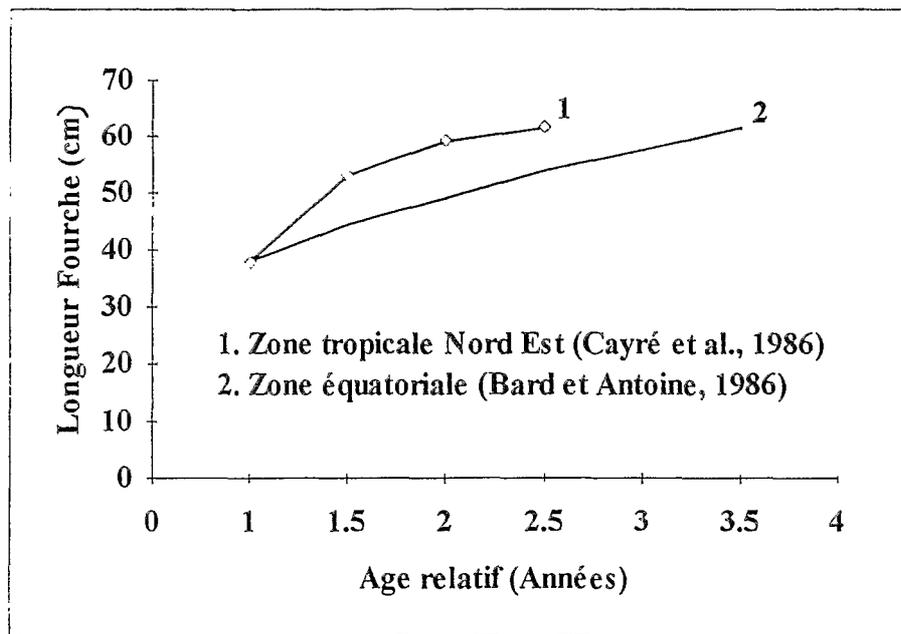


Figure I.18 : Courbes de croissance du listao selon différentes zones de l'Atlantique.

Au cours du "Programme International de Recherches sur le Listao de l'Atlantique", initié et coordonné par l'ICCAT en 1981, près de 30 000 marquages ont été effectués (Cayré, 1988). A partir des recaptures, Cayré *et al.* (1986) et Bard et Antoine (1986) ont confirmé les très fortes variabilités saisonnières et géographiques dans la croissance du listao. Ainsi, dans la zone tropicale nord (Sénégal et Iles du Cap-Vert), le taux de croissance varie de 13 à 20 cm/an, en fonction de la période et de la durée entre marquage et recapture (Cayré *et al.*, 1986), tandis que dans la zone équatoriale et le Golfe de Guinée, ce taux de croissance ne varie que de 7,1 à 9,8 cm/an (Bard et Antoine, 1986). Les taux de croissance précédents ont conduit ces auteurs à proposer deux courbes de croissance différentes (Fig. I.18) selon la zone géographique. Les paramètres de l'équation de Von Bertalanffy sont ainsi :

- Zone tropicale nord-est (Cayré *et al.*, 1986) :

$$L_{\infty} = 62,0 \text{ cm}; \quad k_{\text{annuel}} = 0,208; \quad t_0 = 0$$

- Zone équatoriale (Bard et Antoine, 1986) :

$$L_{\infty} = 80,0 \text{ cm}; \quad k_{\text{annuel}} = 0,32; \quad t_0 = 0$$

Une clé de correspondance entre âge et taille a été établie à partir de l'équation de croissance de Bard et Antoine (1986), en fixant la taille moyenne à l'âge de 1 an à 38 cm

(Cayré, 1985) (Tabl. I.6). Cette clé sera utilisée par la suite pour la détermination des captures par âge. La relation entre la taille et le poids du listao a été ajustée par Cayré et Laloë (1986).

Age (mois)	Longueur Fourche (cm)	Poids (Kg)
12	38.0	1.03
18	44.2	1.68
24	49.5	2.43
30	54.0	3.23
36	57.9	4.05
42	61.2	4.85
48	64.0	5.61
54	66.3	6.29
60	68.4	6.96

Tableau I.6 : Relations entre l'âge, la longueur à la fourche (en cm) et le poids du listao dans l'Atlantique Est.

- La croissance suit une loi de von Bertalanffy, ajustée par Bard et Antoine (1986) :

$$L_{\infty}=80 \text{ cm}; \quad k_{\text{annuel}}=0.32; \quad t_0=0$$

- La relation taille /poids est tirée de Cayré et Laloë (1986) :

$$P = 7,48 \cdot 10^{-6} L_F^{3,2526}$$

P en Kg
L_F en cm

II.7.3. Croissance du patudo.

Comme pour le listao, la détermination directe de l'âge du patudo à partir des pièces dures est encore très peu fiable, du fait de l'absence de validation de la périodicité d'apparition des marques de croissance (Gaikov *et al.*, 1980; Draganick et Pelczarski, 1984; Cayré *et al.*, 1988). Par contre, plusieurs auteurs ont étudié la croissance du patudo de l'Atlantique à partir des filiations modales (Tabl. I.7).

Auteurs	Modèle	Taille des individus
Champagnat et Pianet, 1974	$L_F=338,5.[1-\exp(-0,104.(t-0,542))]$	60 à 140 cm
Marcille <i>et al.</i> , 1978	$L_F=259,6.[1-\exp(-0,149.(t-0,398))]$	45 à 150 cm
Weber, 1980	$L_F=491,6.[1-\exp(-0,054.(t-0,952))]$	40 à 190 cm
Pereira, 1984	$L_F=381,5.[1-\exp(-0,085.(t-0,4))]$	40 à 190 cm

Tableau I.7 : Différents modèles de croissance du patudo de l'Atlantique, ajustés à partir de la méthode des progressions modales.

La plus récente est celle de Pereira (1984), qui ajuste une loi de Von Bertalanffy, dont les paramètres sont les suivants :

$$L_\infty = 381,5 \text{ cm}; \quad k_{\text{annuel}} = 0,085; \quad t_0 = -0,4 \text{ an}$$

L'analyse de la croissance du patudo a également été effectuée à partir des données de marquages réalisés par le Sénégal, la Côte d'Ivoire, la France et le Japon, par Cayré et Diouf (1984). Ces auteurs montrent qu'il n'y a pas de stase de croissance lente chez les juvéniles de patudo, contrairement à l'albacore. La croissance du patudo suit ainsi une loi de Von Bertalanffy (Fig. I.19). avec les paramètres suivant :

$$L_\infty = 285,37 \text{ cm}; \quad k_{\text{annuel}} = 0,1127; \quad t_0 = -0,5 \text{ an}$$

La taille à l'âge 1 est fixée à 40 cm, correspondant à l'entrée des individus dans la pêcherie (Cayré et Diouf, 1984). La clé de correspondance entre âge, taille et poids (Tabl. I.8) est obtenue à partir de l'équation précédente. La relation taille / poids a été établie par Parks *et al.* (1982) pour des patudos capturés sur l'ensemble de l'Atlantique.

Age (années)	Longueur Fourche (cm)	Poids (Kg)
0.5	30.4	0.6
1.0	44.4	0.9
1.5	57.6	4.2
2.0	70.1	7.5
2.5	81.9	11.9
3.0	93.0	17.4
4.0	113.5	31.5
5.0	131.8	49.1
6.0	148.2	69.7
7.0	162.8	92.1
8.0	175.9	116.0
9.0	187.6	140.2

Tableau I.8 : Relations entre l'âge, la longueur à la fourche (en cm) et le poids du patudo dans l'Atlantique Est.

- La croissance suit une loi de von Bertalanffy, ajustée par Cayré et Diouf (1984) :

$$L_{\infty}=285,37 \text{ cm}; \quad k_{\text{annuel}}=0,1127; \quad t_0=-0.5 \text{ an}$$

- La relation taille /poids est tirée de Parks *et al.* (1982) :

$$P = 2,396.10^{-5} L_F^{2,9774}$$

P en Kg
L_F en cm

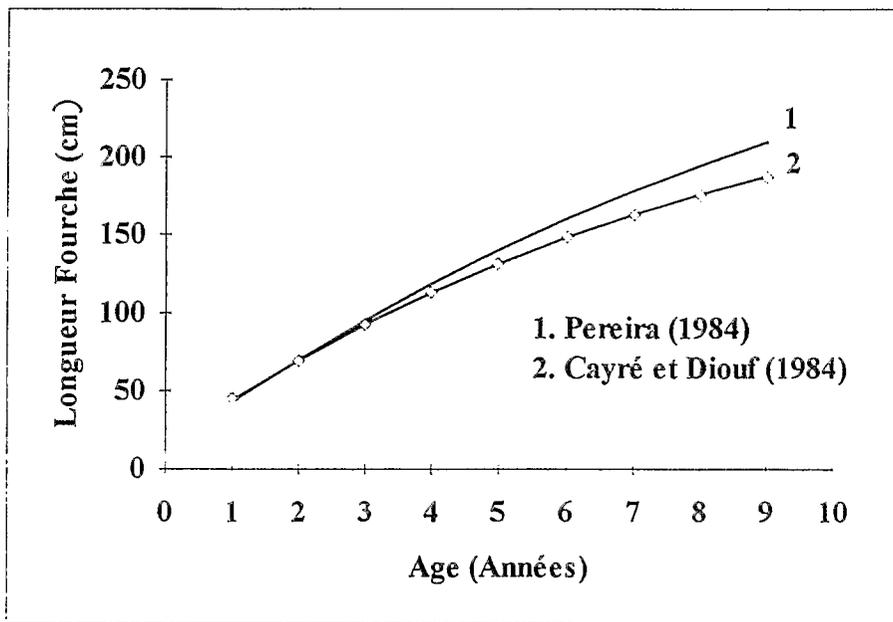


Figure I.19 : Courbes de croissance du patudo de l'Atlantique.

III. PRESENTATION DES PECHERIES THONIERES DE L'ATLANTIQUE TROPICAL ORIENTAL.

III.1. INTRODUCTION.

L'exploitation des thonidés a débuté dans l'Atlantique Tropical Oriental au milieu des années 50 avec l'arrivée des premiers thoniers canneurs basques et bretons à Dakar, qui pêchaient saisonnièrement les thonidés tropicaux l'hiver, en alternance avec l'exploitation estivale du germon dans l'Atlantique Nord-Est. Presque à la même époque (début des années 60), des canneurs japonais s'installent à Téma (Ghana) et exploitent les bancs de petits thonidés, principalement de listaos dans le Golfe de Guinée. Parallèlement, l'exploitation des thonidés tropicaux en profondeur (essentiellement des adultes de patudos et d'albacores) se développait avec les flottilles palangrières asiatiques, d'abord japonaises, puis taïwanaises et coréennes, et ceci sur l'ensemble de l'Atlantique. La pêche de surface s'est par la suite rapidement développée lorsque sont apparus dans les années 60 les premiers thoniers senneurs.

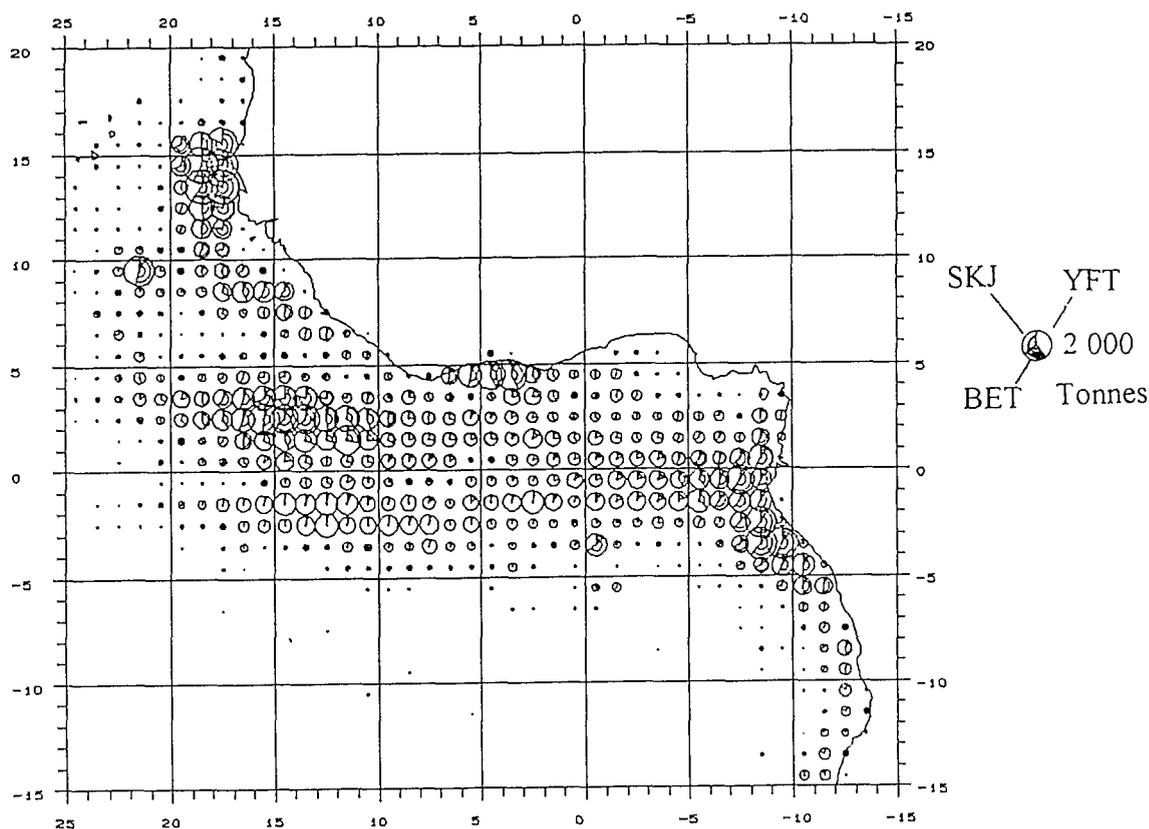


Figure I.20 : Répartition géographique des captures moyennes (période 1980 à 1990) réalisées dans l'Atlantique Tropical Oriental par les flottilles de canneurs et senneurs (source : ICCAT).

Aujourd'hui, les thonidés tropicaux sont largement exploités dans tout le Golfe de Guinée (Fig. I.20), de 20° nord à 20° sud de latitude, et de 30° de longitude ouest à la côte Ouest-Africaine, zone géographique que nous désignerons "Atlantique Centre-Est" ou "Atlantique Tropical Oriental". Deux grands types de flottilles, les canneurs (basés à Dakar au Sénégal et à Téma au Ghana) et les senneurs (les senneurs "FIS", c'est-à-dire de nationalités française, ivoirienne et sénégalaise, et les senneurs espagnols constituent la presque totalité de la flottille ; les autres navires appartiennent à des nationalités assez diverses, dont le Japon, la Norvège, Ghana...) participent à l'exploitation, en surface, de cette zone. Les thonidés profonds sont exploités sur l'ensemble de l'Atlantique (des côtes africaines aux côtes américaines, et de 40° nord au sud du Brésil à l'ouest et au large de l'Afrique du Sud à l'est) par la flottille palangrière.

Les tableaux et statistiques de captures présentés dans ce chapitre correspondent à la zone d'étude définie précédemment (Fig. I.1), à l'exception de toutes les statistiques concernant les pêcheries palangrières, données pour l'ensemble de l'Atlantique. Ces statistiques globales des pêcheries palangrières n'apparaîtront que dans ce chapitre. Par la suite, nous nous intéresserons uniquement aux pêcheries de surface, et principalement aux pêcheries de senneurs, de loin les plus importantes. Ce choix de l'abandon des pêcheries palangrières se justifie pour deux principales raisons : pour une raison biologique d'une part, les stocks profonds et de surface pouvant être globalement considérés comme distincts (Cayré *et al.*, 1988), et pour une raison de simplification d'autre part, la standardisation des efforts de pêche entre les pêcheries palangrières et de surface étant pratiquement impossible.

Les statistiques présentées dans ce chapitre sont issues de la base de données de l'ICCAT. Certaines statistiques spécifiques aux flottilles espagnoles sont issues de la synthèse de Ariz *et al.* (1992), et plus particulièrement les valeurs d'effort de pêche de la flottille de senneurs. Enfin, les statistiques présentées dans ce chapitre couvrent la période récente 1980-1991. Dans certains paragraphes, les chiffres de 1992 sont disponibles, quoique provisoires. Pour les années antérieures à cette période (du début de la pêche à 1980), on pourra utilement se référer à la synthèse de Fonteneau *et al.* (1988), dans laquelle l'état des pêcheries pour la période historique est très largement détaillée et analysée.

III.2. EVOLUTION RECENTE DES PRISES DE THONIDES TROPICAUX.

III.2.1. Evolution des prises totales.

Si les prises totales de thonidés tropicaux ont toujours été en forte augmentation depuis l'origine de la pêche jusqu'au début des années 80, passant de quelques tonnes à 200 000 tonnes (Fonteneau *et al.*, 1988), la tendance à la hausse s'est fortement ralentie au cours de la période 1980-1991. Toutefois, l'année 1991 représente une année exceptionnelle puisque les captures, toutes espèces confondues, ont quasiment atteint dans l'Atlantique Tropical Est pour les pêcheries de surface (canniers et senneurs) la valeur record de 300 000 tonnes (Tabl. I.9 et Fig. I.21).

Année	Albacore			Listao			Patudo			Total		
	Can-neurs	Sen-neurs	Total									
1980	7.1	91.7	98.8	34.1	54.0	88.1	4.6	8.7	13.3	45.8	154.4	200.2
1981	9.5	111.8	121.3	31.9	64.5	96.4	4.6	15.3	19.9	46.0	191.6	237.6
1982	12.7	107.8	120.5	36.3	72.5	108.8	3.5	13.9	17.4	52.5	194.2	246.7
1983	10.5	101.6	112.1	32.5	63.6	96.1	3.6	15.2	18.8	46.6	180.4	227.0
1984	10.5	50.5	61.0	22.1	61.7	83.8	4.3	16.0	20.3	36.9	128.2	165.1
1985	12.9	87.3	100.2	21.8	47.7	69.5	6.3	8.0	14.3	41.0	143.0	184.0
1986	13.4	84.4	97.8	22.0	58.1	80.1	4.5	9.2	13.7	39.9	151.7	191.6
1987	13.7	85.9	99.6	27.1	50.6	77.7	4.2	7.1	11.3	45.0	143.6	188.6
1988	13.6	73.6	87.2	30.6	67.3	97.9	4.3	7.6	11.9	48.5	148.5	197.0
1989	10.5	101.2	111.7	28.1	47.3	75.4	4.7	6.3	11.0	43.3	154.8	198.1
1990	12.8	123.9	136.7	31.0	73.0	104.0	5.5	9.4	14.9	49.3	206.3	255.6
1991	15.1	105.9	121.0	30.0	118.7	148.7	6.4	21.1	27.5	51.5	245.7	297.2

Tableau I.9 : Prises totales (x1000 T) par espèce et par engin des flottilles de surface de l'Atlantique Tropical Est.

Cette période 1980 à 1991 a été marquée par plusieurs événements :

- des prises élevées de 1980 à 1983.
- une année désastreuse, 1984, au cours de laquelle les prises totales des pêcheries de surface ont chuté de 27% par rapport à celles de l'année précédente. Cette année correspond au départ de nombreux senneurs vers l'Océan Indien.
- une période de 1985 à 1989 pendant laquelle les prises sont restées relativement stables ou en légère progression.

- deux années exceptionnelles (1990 et 1991) avec prises record.

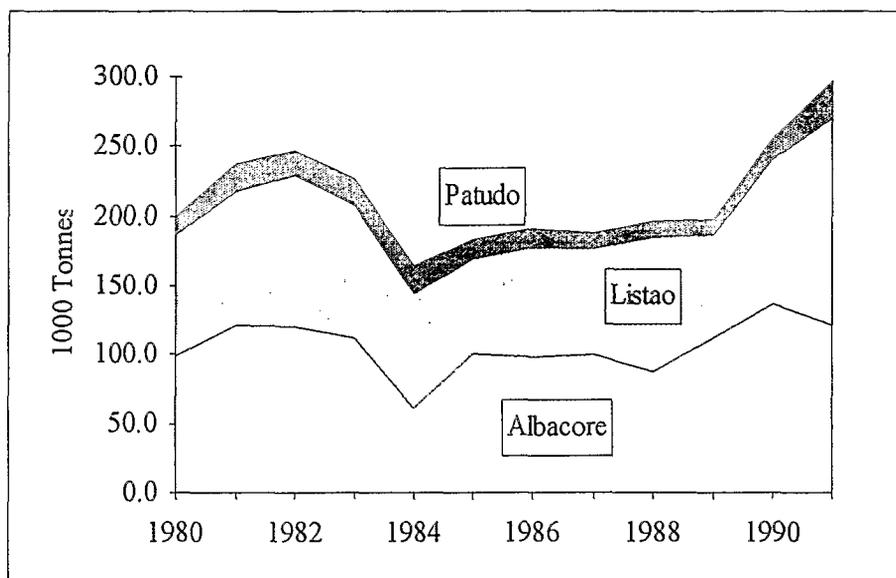


Figure I.21 : Prises totales dans l'Atlantique Tropical Oriental des engins de surface (canneurs et senneurs).

Durant cette période, la répartition entre les trois espèces de thonidés majeurs est restée sensiblement constante dans les prises des pêcheries de surface, l'albacore représentant presque 50% des captures, le listao entre 40 et 45% et le patudo entre 5 et 10% (Tabl. I.10), excepté en 1984 et 1991 où les prises de listaos ont dominé.

Année	Canneurs			Senneurs		
	Alba- core	Listao	Patu- do	Alba- core	Listao	Patu- do
1980	15.50	74.45	10.04	59.39	34.97	5.63
1981	20.65	69.35	10.00	58.35	33.66	7.99
1982	24.19	69.14	6.67	55.51	37.33	7.16
1983	22.53	69.74	7.73	56.32	35.25	8.43
1984	28.46	59.89	11.65	39.39	48.13	12.48
1985	31.46	53.17	15.37	61.05	33.36	5.59
1986	33.58	55.14	11.28	55.64	38.30	6.06
1987	30.44	60.22	9.33	59.82	35.24	4.94
1988	28.04	63.09	8.87	49.56	45.32	5.12
1989	24.25	64.90	10.85	65.37	30.56	4.07
1990	25.96	62.88	11.16	60.06	35.39	4.56
1991	29.32	58.25	12.43	43.10	48.31	8.59

Tableau I.10 : Composition spécifique (%) des prises des flottilles de surface.

Les prises des flottilles palangrières n'entrent pas dans les statistiques précédentes. En effet, si les prises palangrières ont atteint jusqu'à 40 000 tonnes, toutes espèces confondues, dans l'Atlantique Tropical Oriental au début des années 60 (Fonteneau *et al.*, *op. cit.*), elles ne représentent plus aujourd'hui dans cette région qu'une partie minime des prises totales (de l'ordre de 5000 tonnes), l'essentiel des captures de la flottille palangrière étant réalisé dans le reste de l'Atlantique. Depuis 1980, le total des captures subit une tendance à la baisse. En 1991, elles atteignaient 38 000 tonnes, toutes espèces et toutes nationalités confondues (Fig. I.22 et Tabl. I.11). Ces flottilles palangrières ne capturent pratiquement pas de listaos, mais uniquement des adultes d'albacores et de patudos. Le patudo est actuellement l'espèce cible de ces flottilles, puisqu'il représente toujours près de 80% des captures totales (Fig. I.22).

Année	Albacore				Patudo				Total
	Japon	Corée	Autre	Total	Japon	Corée	Autre	Total	
1980	1.7	3.9	6.8	12.4	20.5	9.0	12.0	41.5	53.9
1981	1.2	3.3	3.4	7.9	21.0	11.7	8.8	41.5	49.4
1982	2.8	3.6	3.5	9.9	32.9	10.6	8.3	51.8	61.7
1983	0.9	1.5	3.7	6.1	15.1	9.4	8.8	33.3	39.4
1984	2.9	1.7	4.0	8.6	24.3	8.9	8.1	41.3	49.9
1985	3.1	1.6	2.8	7.5	31.6	10.7	6.4	48.7	56.2
1986	1.3	1.0	1.6	3.9	22.8	6.1	5.4	34.3	38.2
1987	1.7	1.2	1.8	4.7	18.6	4.4	5.8	28.8	33.5
1988	3.6	1.2	2.6	7.4	31.7	4.9	4.4	41.0	48.4
1989	3.8	1.5	1.1	6.4	39.4	7.9	2.3	49.6	56.0
1990	0.4	0.3	1.8	2.5	35.0	2.7	6.8	44.5	47.0
1991	4.2	0.3	0.4	4.9	29.1	0.8	2.8	32.7	37.6

Tableau I.11 : Prises totales (thonidés tropicaux seulement) des flottilles palangrières dans l'océan Atlantique.

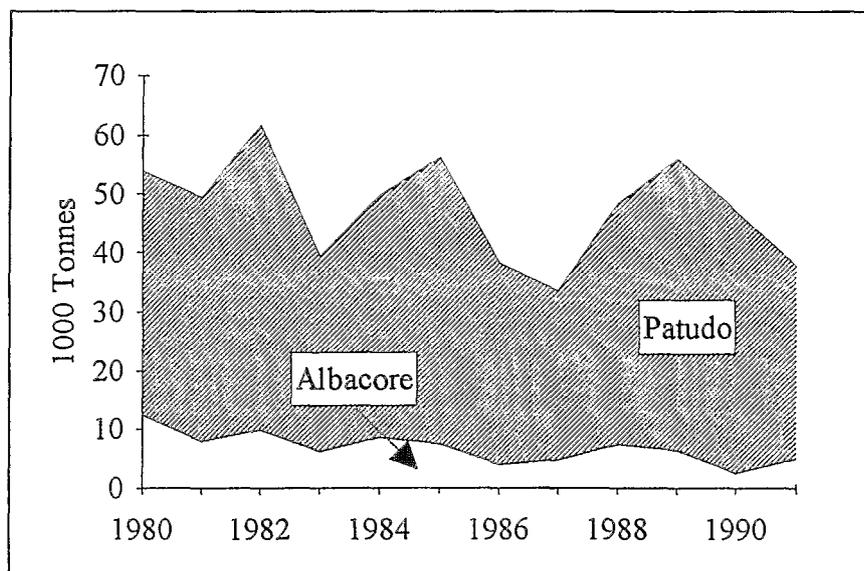


Figure I.22 : Evolution des prises totales des flottilles palangrières dans l'océan Atlantique.

III.2.2. Evolution des captures par engin et par pays.

Comme nous l'avons vu précédemment, l'essentiel des captures réalisées dans l'Atlantique Tropical Oriental provient des pêcheries de surface. Depuis 1980, la proportion entre les débarquements des canneurs et des senneurs est restée sensiblement constante, respectivement de l'ordre de 20% et 80%, toutes espèces confondues (Fig. I.23).

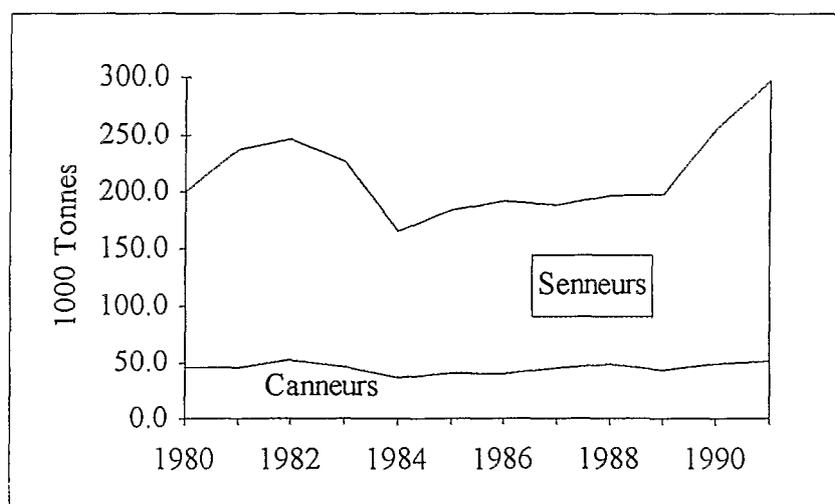


Figure I.23 : Prises totales par engins de surface.

III.2.2.1. Les canneurs.

Au cours de la dernière décennie 1980-1991, il n'y a pas eu de tendance particulière en ce qui concerne les débarquements globaux des flottilles de canneurs, toutes nationalités confondues (Fig. I.24). Les prises annuelles sont restées comprises entre 37 000 et 52 000 tonnes (Tabl. I.9). La composition spécifique des prises des canneurs a toutefois changé depuis 1980. En effet, la proportion d'albacores a fortement progressé dans les captures (Fig. I.25 et Tabl. I.10), passant de 15 à 30%, au détriment du listao. Le pourcentage de patudo pêché est quant à lui resté stable.

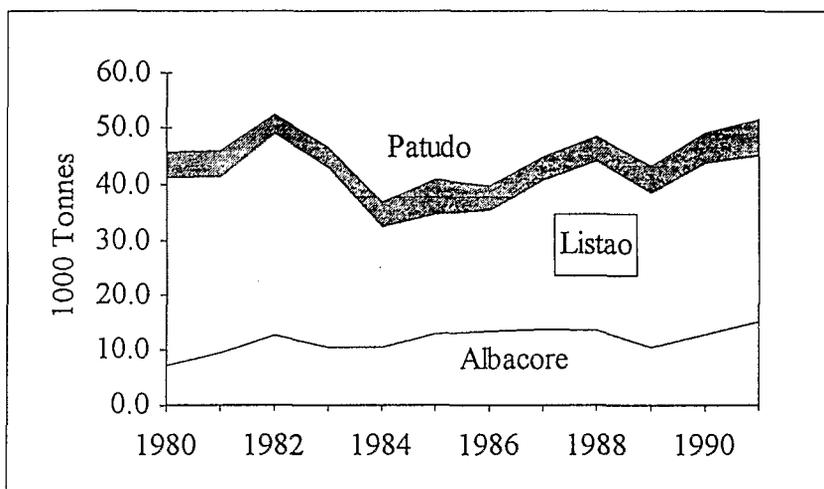


Figure I.24 : Prises totales par espèce des flottilles de canneurs (France et Ghana) dans l'Atlantique Tropical Est.

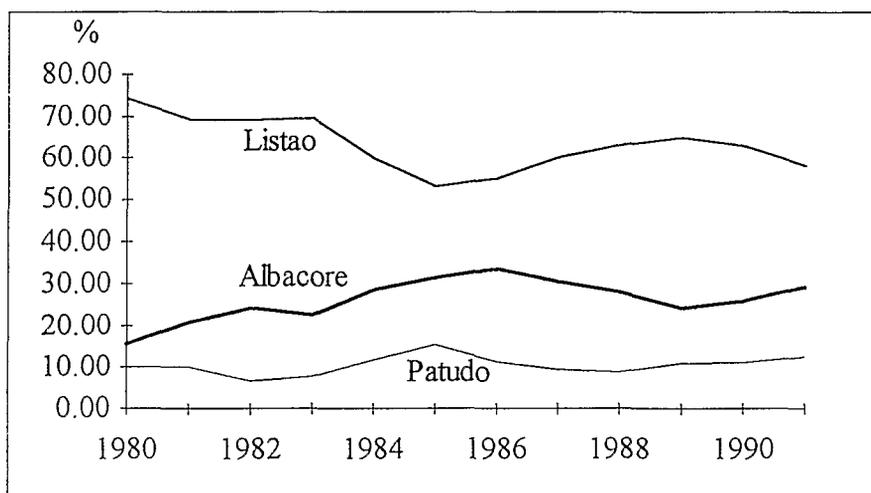


Figure I.25 : Composition spécifique (%) des prises des flottilles de canneurs.

Deux principales pêcheries distinctes de canneurs existent dans l'Atlantique Centre-Est, l'une composée de navires de nationalités française et sénégalaise basée à Dakar, l'autre de navires ghanéens et asiatiques (japonais, coréens) basés à Téma. Les prises par espèce et par pays sont données en annexe A dans les tableaux A.1, A.2 et A.3. Il est à noter que l'augmentation de la proportion d'albacores dans la composition spécifique provient exclusivement de la flottille dakaroise.

Enfin, il existe d'autres pêcheries de thoniers canneurs, mais qui n'entrent pas dans notre zone d'étude. Il s'agit des canneurs espagnols et portugais, respectivement basés aux Iles Canaries, du Cap Vert et de Madère et aux Açores, dont l'espèce cible principale est le patudo (Annexe A, Tabl. A.3).

III.2.2.2. Les senneurs.

Si aucune tendance n'apparaît dans l'évolution des prises des canneurs, en revanche on retrouve le schéma général de l'évolution des prises globales chez les senneurs, avec deux événements marquants, la chute brutale des captures en 1984 et les prises exceptionnelles de 1990 et 1991 (Fig. I.26 et Tabl. I.9). L'année 1984 a surtout été marquée par une chute des prises d'albacores, en particulier des adultes. Si dans un premier temps, on a pu penser que

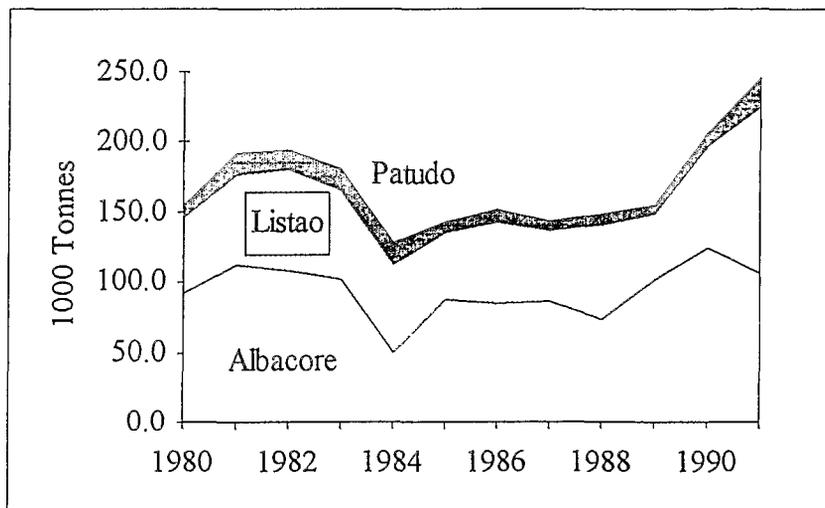


Figure I.26 : Prises totales par espèce des flottilles de senneurs dans l'Atlantique Tropical Est.

cette chute brutale fut la conséquence d'une possible surexploitation du stock, il s'est avéré par la suite que cette baisse a été consécutive à une disponibilité très réduite des adultes à la senne. En effet, l'année 1984 a été marquée par des conditions hydro-climatiques exceptionnelles, correspondant à un effet El Niño (couche d'eau chaude homogène très épaisse, ce qui a

entraîné une thermocline très profonde). Ces conditions particulières ont alors rendu difficile le repérage et la capture des bancs de thonidés par les senneurs. Cette hypothèse a été développée par Fonteneau (1991a et b). Les années récentes, 1990 et 1991, sont caractérisées par des captures exceptionnelles en tonnage. Si l'on ne connaît pas encore avec exactitude la cause de ces prises élevées, il est vraisemblable que la combinaison de plusieurs mécanismes indépendants, conditions hydro-climatiques inverses de celles de 1984 et particulièrement favorables (thermocline très superficielle), augmentation des puissances ou de l'efficacité de pêche, en soit à l'origine.

Contrairement aux canneurs, l'albacore constitue l'espèce principale des prises des senneurs (toujours plus de 50% des captures) (Fig. I.27 et Tabl. I.9) excepté en 1984, le patudo quant à lui étant toujours faiblement représenté (moins de 10%).

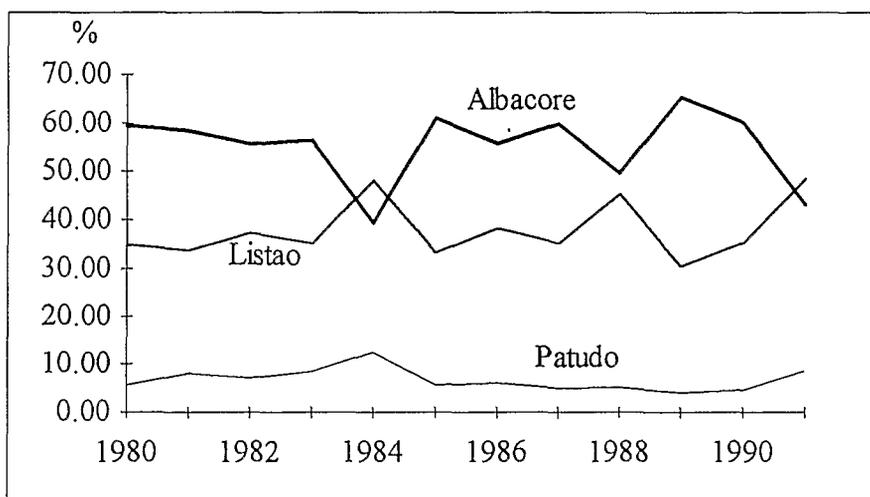


Figure I.27 : Composition spécifique (%) des prises des flottilles de senneurs.

Les deux principales flottilles de senneurs opérant dans l'Atlantique Centre-Est sont les flottilles FIS (Franco-Ivoir-Sénégalais) et espagnole. Leurs prises respectives par espèces sont données dans les tableaux A.1, A.2 et A.3. La flottille française recherche préférentiellement l'albacore (Tabl. A.1), contrairement à la flottille espagnole, plus opportuniste. La chute des captures observées en 1984 est essentiellement le fait de la flottille FIS, passant brutalement de 36 000 tonnes d'albacores en 1983 à 4 400 tonnes en 1984. Nous y reviendrons.

Les flottilles des senneurs exploitent l'ensemble du Golfe de Guinée, de part et d'autre de l'équateur (Fig. I.20). La superficie des zones de pêche n'a pratiquement pas changé depuis

1980. Elle s'était par contre considérablement étendue lors de la décennie précédente, passant d'une exploitation relativement côtière à une exploitation hauturière (Fonteneau *et al.*, 1988).

III.2.3. Saisonnalité des pêcheries.

La caractéristique fondamentale des pêcheries thonières de l'Atlantique Tropical Oriental, contrairement à celles de l'Océan Pacifique Est (Fonteneau, 1992b) ou dans une moindre mesure de l'Océan Indien (Marsac, 1992), est l'existence d'une saisonnalité très marquée, résultant, comme nous l'avons vu dans le chapitre I., des conditions hydro-climatiques particulières de l'Océan Atlantique. Les flottilles des pêcheries de surface se déplacent donc régulièrement, à la recherche des zones de pêche les plus favorables : c'est le cas des canneurs basés à Dakar et des flottilles de senneurs. Les canneurs ghanéens basés à Téma ne sont que peu ou pas affectés par cette saisonnalité, les eaux situées au large du Ghana étant potentiellement favorables toute l'année.

Afin de mettre en évidence cette saisonnalité des pêcheries dans l'Atlantique Tropical Est, on s'intéresse de ce fait à des zones de pêche au sein desquelles les conditions environnementales varient de manière homogène au cours de l'année. Onze secteurs de pêche ont ainsi été définis (Fig. I.28).

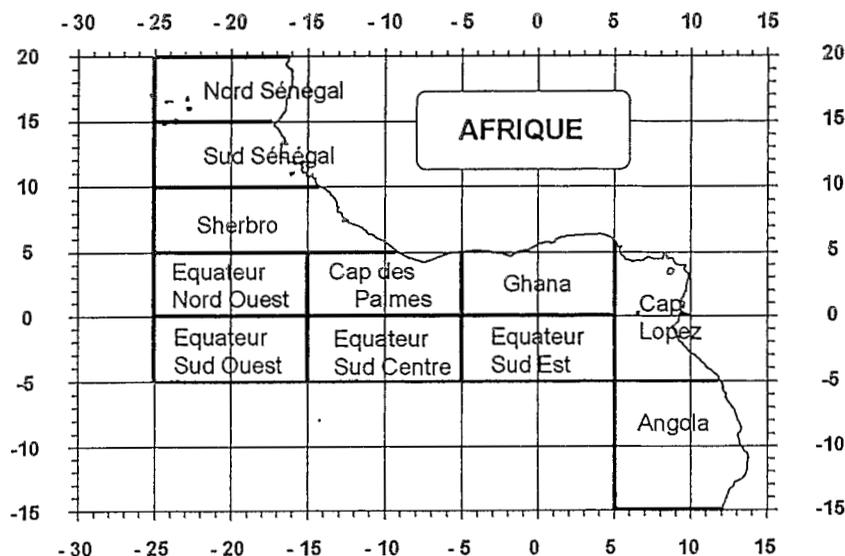


Figure I.28 : Principaux secteurs de pêche de l'Atlantique Tropical Oriental.

III.2.3.1. La saisonnalité dans les pêcheries de canneurs.

La saisonnalité des prises et des zones de pêche des canneurs basés à Dakar dépend de la fluctuation des températures de surface des eaux situées au large du Sénégal et de la Mauritanie, qui varient de 16°C en hiver à 28°C en été (Fig. I.29). Les thonidés tropicaux, qui ne fréquentent qu'exceptionnellement les régions dont les températures de surface sont inférieures à 22-24°C (voir chapitre précédent), présentent de ce fait des migrations Nord-Sud régulières, et qui se retrouvent d'année en année. Les flottilles de canneurs suivent ces migrations Nord-Sud. En conséquence, les zones de pêche évoluent au cours de l'année selon un rythme saisonnier marqué (Fig. I.30) (Fonteneau et Diouf, 1994). Il semble qu'une saisonnalité analogue se retrouvaient dans la pêche de canneurs angolais durant la période historique (d'après Campos Rosado, 1971 *In* Fonteneau *et al.*, 1988).

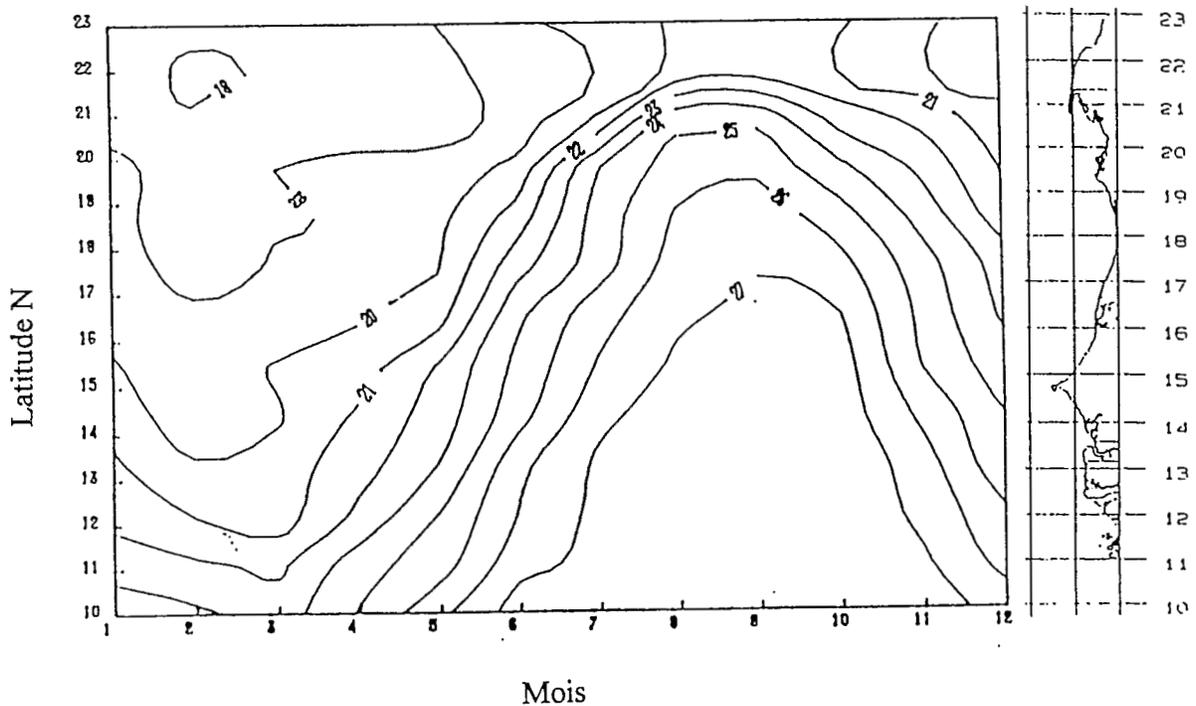


Figure I.29 : Moyenne mensuelle de la température de surface de l'océan (période 1965-1988) observée au large du Sénégal (zone de pêche principale des canneurs dakarois) d'après Fonteneau et Diouf (1994).

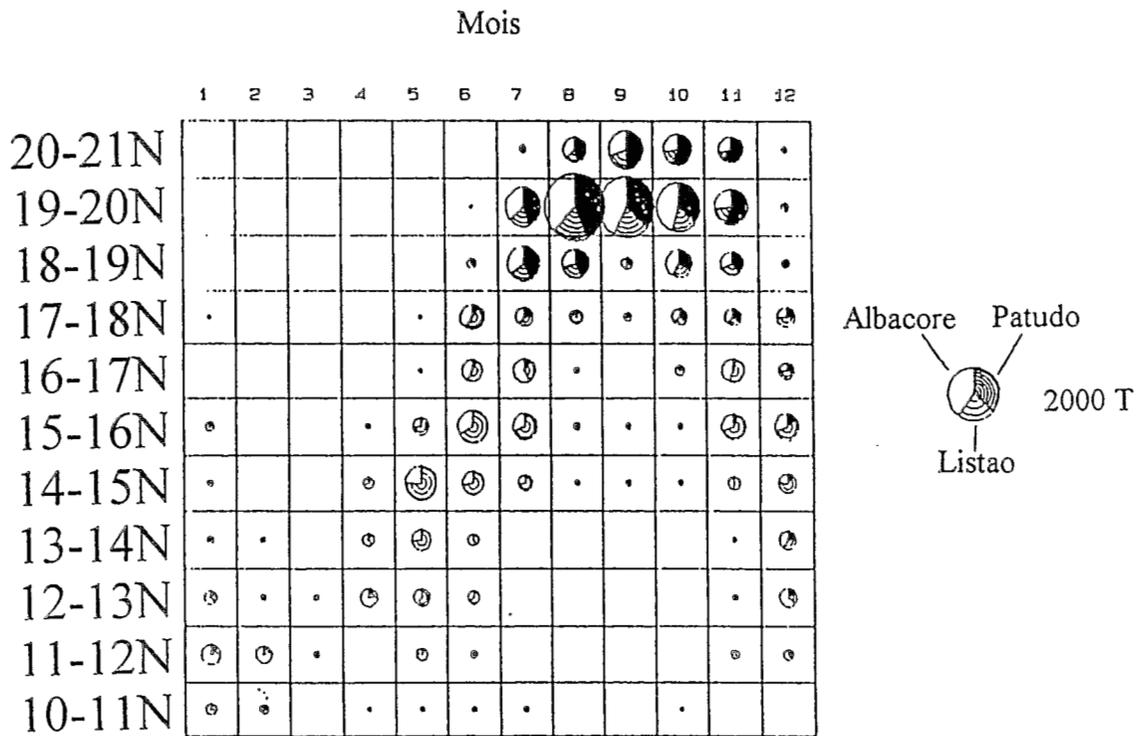
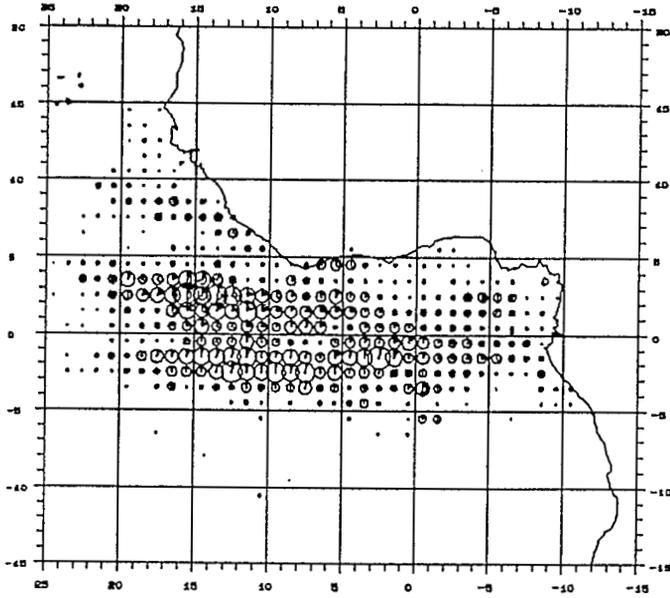
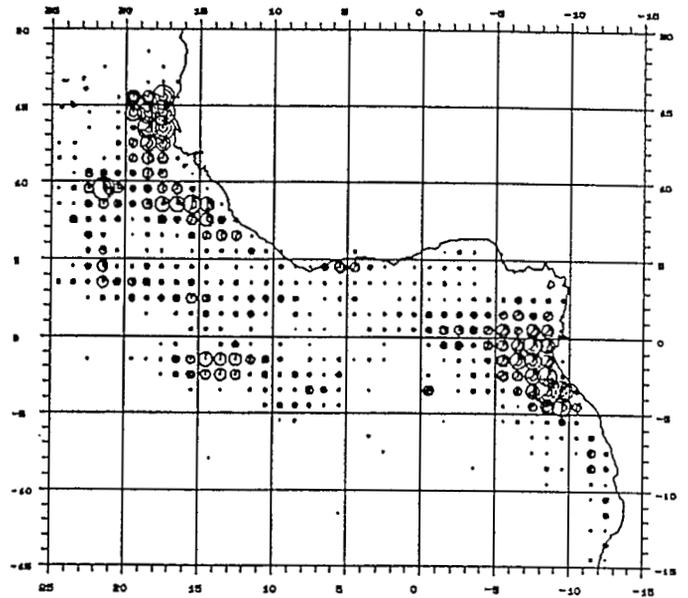


Figure I.30 : Moyennes mensuelles (période 1980-1991, janvier à décembre) de la localisation des prises des canneurs de Dakar, par carrés de 1° de latitude dans la zone côtière du Sénégal (de la côte à 20° W) (d'après Fonteneau et Diouf, 1994).

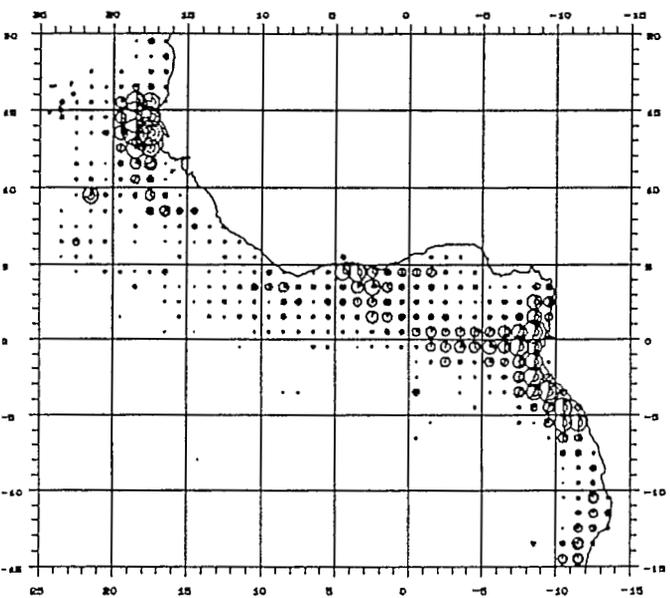
○ 1 000 Tonnes



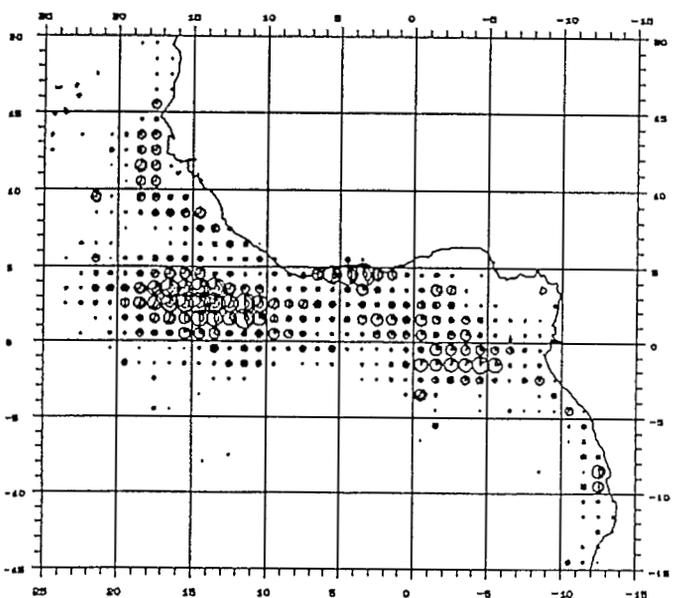
Trimestre 1



Trimestre 2



Trimestre 3



Trimestre 4

Figure I.31: Positions trimestrielles moyennes (période 1980-1991) des captures des flottilles de senneurs dans l'Atlantique Tropical Est.

III.2.3.2. La saisonnalité dans les pêcheries de senneurs.

La saisonnalité des pêcheries de senneurs est clairement mise en évidence par la localisation des captures par trimestre (Fig. I.31). Au cours du premier trimestre, les flottilles de senneurs explorent préférentiellement les 4 zones hauturières équatoriales, à la recherche des concentrations de gros albacores. La pêcherie se déplace aux second et troisième trimestres vers les zones plus nord et plus sud (Sénégal et Cap Lopez), tandis qu'au cours du dernier trimestre, sont exploités essentiellement trois zones, au nord les zones Cap des Palmes et Equateur Nord-Ouest, souvent dénommées zone "Libéria", où se retrouvent chaque année des concentrations de petits thonidés constituées en majorité de listaos, et au sud la zone Equateur Sud-Est, proche du Cap Lopez, où apparaissent les premières concentrations d'albacores adultes. Dans ce schéma saisonnier, la zone Ghana apparaît comme atypique, puisque des prises modérées y ont lieu toute l'année. Cette zone est en fait la seule à ne présenter que peu de variations environnementales au cours de l'année, notamment en ce qui concerne la température de surface.

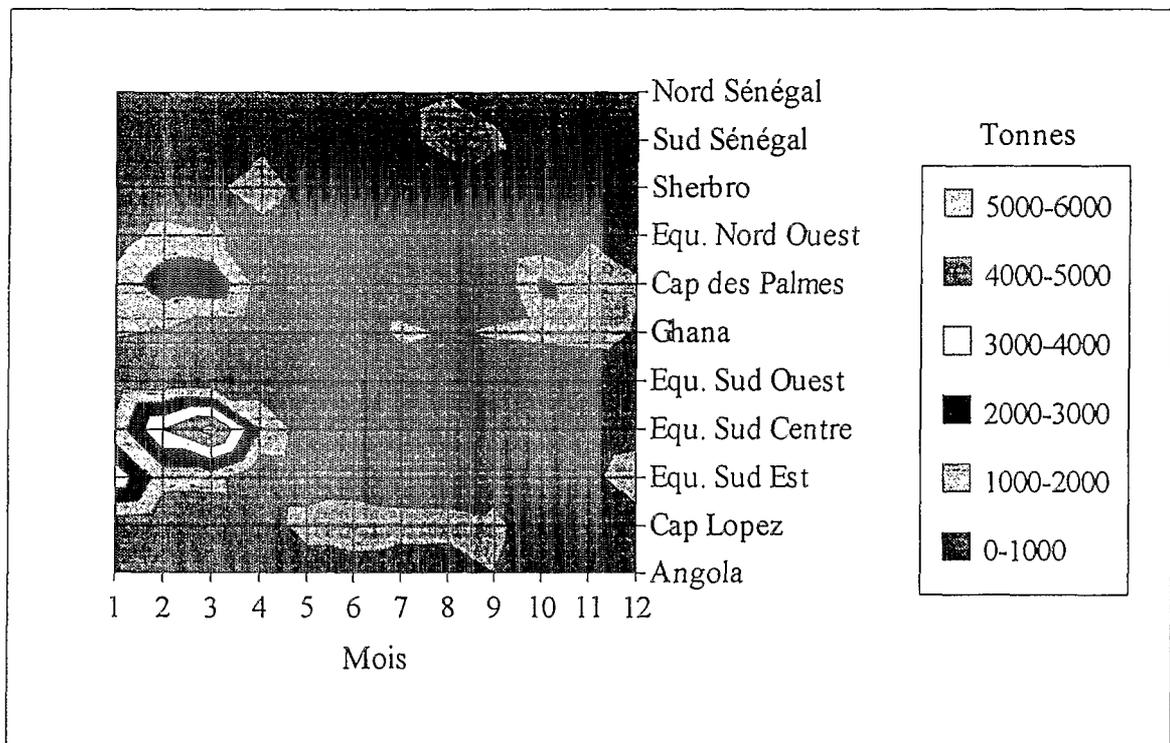


Figure I.32a : Distribution mensuelle moyenne (période 1980-1990) des captures d'albacores des flottilles de surface (canneurs et senneurs) par zone de pêche.

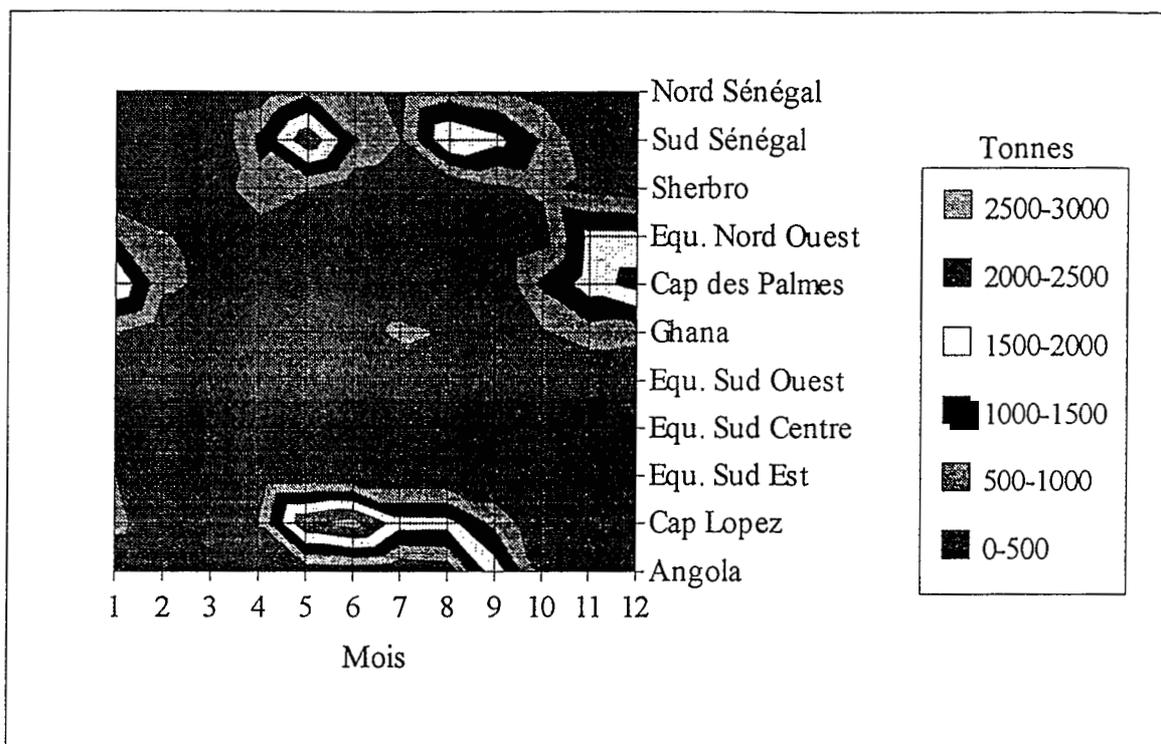


Figure I.32b : Distribution mensuelle moyenne (période 1980-1990) des captures de listaos des flottilles de surface (canneurs et senneurs) par zone de pêche.

Le schéma saisonnier est identique pour l'albacore et le listao, les prises maximales d'albacores et de listaos ayant respectivement lieu au premier et au quatrième trimestre (Fig. I.32). Enfin, on retrouve ici nettement les schémas de migration de l'albacore et du listao.

III.2.4. Distribution des fréquences de tailles des captures des flottilles de surface dans l'Atlantique Centre-Est.

III.2.4.1. Chez les canneurs.

Les individus capturés par les canneurs sont en général de taille modeste. Pour les trois espèces, on observe un seul mode dominant dans les captures. La majorité des albacores capturés mesure entre 60 et 70 cm de longueur fourche, les individus de plus de 90 cm étant rares (Fig. I.33). Les patudos capturés sont un peu plus gros, entre 60 et 90 cm, et les listaos ne présentent en général qu'un seul mode centré autour de 50 cm.

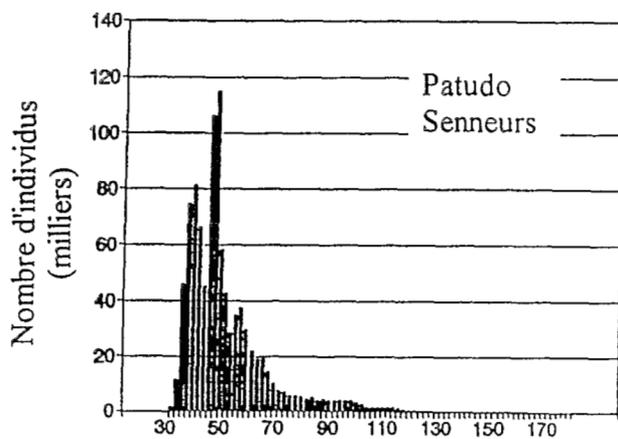
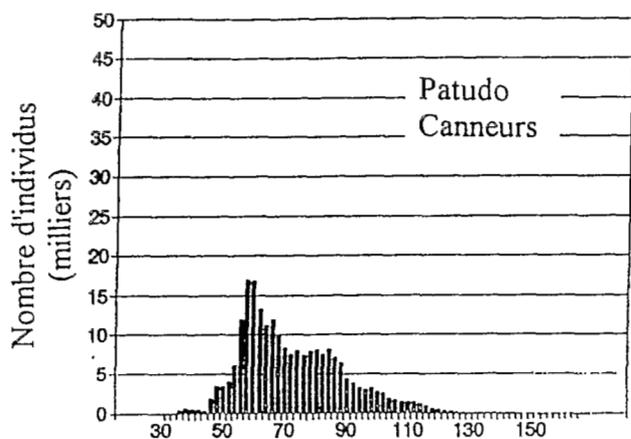
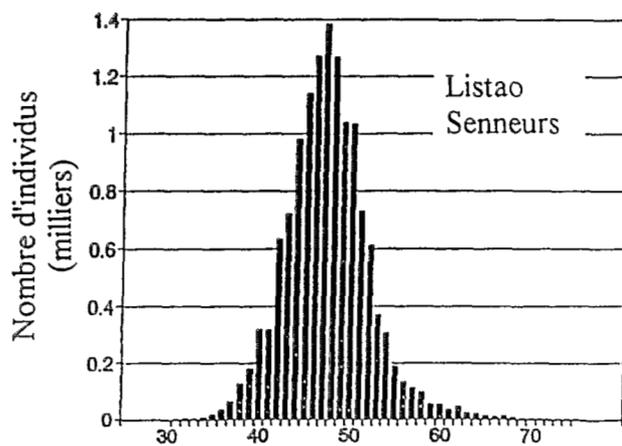
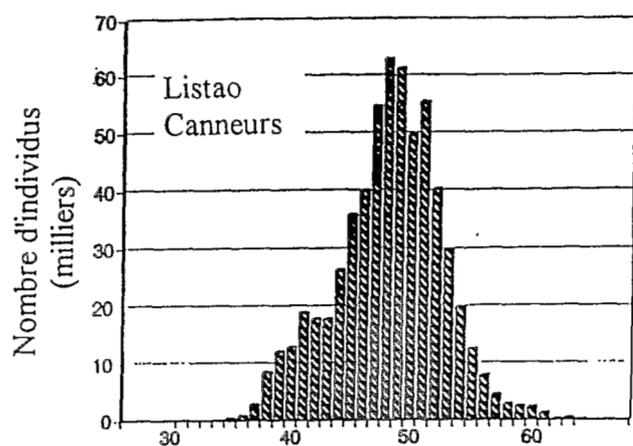
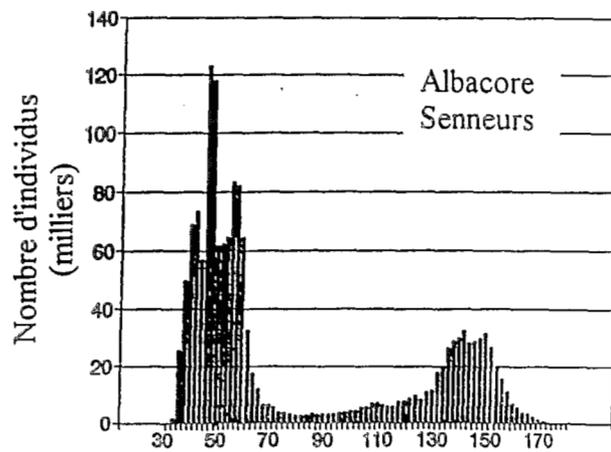
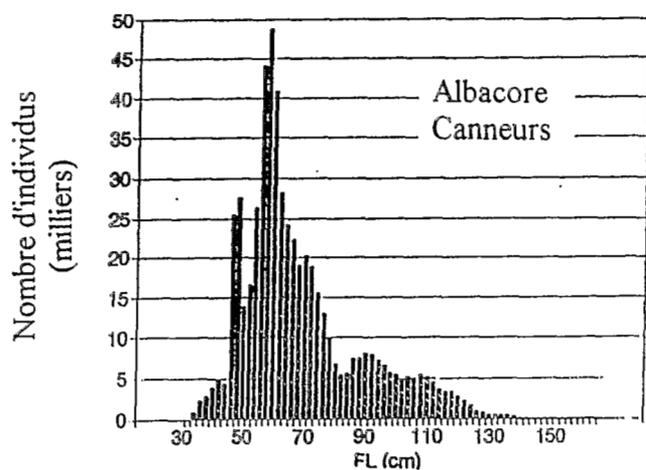


Figure I.33: Fréquences de taille (en LF) extrapolées par espèce et par engin (canneurs et senneurs FIS exclusivement) en 1991.

III.2.4.2. Chez les senneurs.

La distribution des fréquences de taille des captures des flottilles de senneurs est sensiblement différente de celle des canneurs présentée ci-dessus, en particulier pour les fréquences de taille des albacores. En effet, on observe ici très nettement deux modes bien individualisés (Fig. I.33), le premier autour de 50 cm de longueur fourche (juvéniles de 1 à 1,5 ans et d'environ 2 à 3 kg), le second entre 140 et 150 cm (adultes de 4 à 5 ans, et d'environ 50 kg). Le fait marquant ici est la faible proportion d'animaux de tailles intermédiaires (de 2 à 3 ans), qui sont pourtant plus nombreux dans le milieu naturel que des poissons plus âgés.

La distribution des tailles des patudos et des listaos (Fig. I.33) est par contre analogue à celle observée pour les canneurs, les patudos étant plutôt plus petits. Les patudos adultes sont rares dans les débarquements des senneurs, ces poissons vivant plus profondément sont essentiellement exploités comme on l'a vu par les flottilles palangrières.

III.3. EVOLUTION DE L'ACTIVITE DES FLOTTILLES THONIERES TROPICALES DE SURFACE.

III.3.1. Evolution du nombre de navires.

Le nombre total de navires exploitant les thonidés en surface dans l'Atlantique Tropical Est a globalement fortement diminué entre 1980 et 1991, aussi bien pour les canneurs que pour les senneurs (Fig. I.34). Ainsi, les canneurs FIS, basés à Dakar, sont passés de 29 unités en 1980 à seulement 7 en 1992 (Annexe A, Tabl. A.4). La flottille de canneurs basés à Téma, était constituée en 1980 de 35 navires de nationalités japonaise, coréenne et ghanéenne. Les canneurs asiatiques ont disparu en 1984 par transfert de pavillon vers le Ghana. Cette flottille a elle aussi subi une baisse d'effectifs, mais dans une moindre mesure : de 38 bateaux en 1982 à 28 en 1991 (Annexe A, Tabl. A.5).

Le nombre de senneurs a également diminué entre 1980 et 1991 (Fig. I.34). Cette diminution n'a toutefois pas été régulière au cours de cette période, *a contrario* des canneurs. Ainsi, le nombre de senneurs a culminé en 1982 et 1983 à 98 navires pour chuter jusqu'à 53 navires, toutes nationalités confondues, en 1989. Depuis, la tendance semble s'inverser puisqu'on comptait 64 senneurs en activité en 1992.

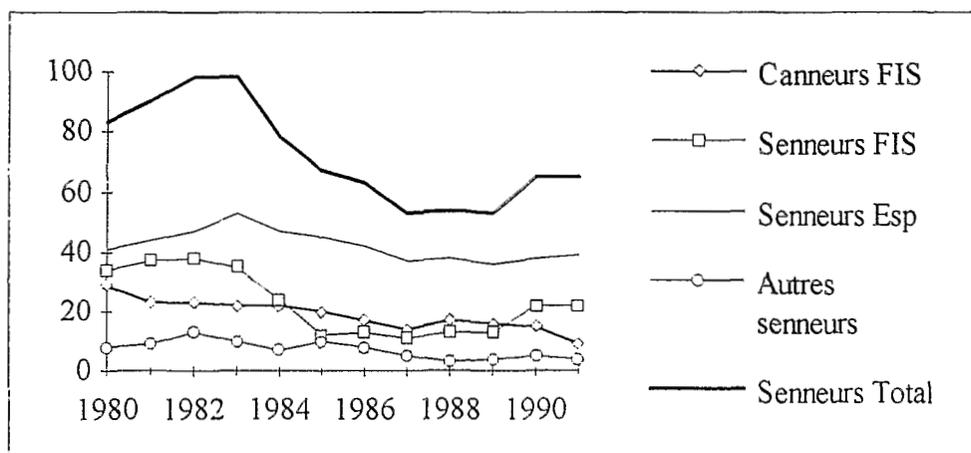


Figure I.34 : Evolution du nombre de navires, par engin, dans l'Atlantique Tropical Est.

La flottille de senneurs est en majorité constituée de navires FIS (France - Côte d'Ivoire - Sénégal) et espagnols : ces deux "nationalités" ont toujours constitué au moins 80% de la flottille au cours de la période considérée. Si le nombre de senneurs espagnols est resté finalement assez stable, de 41 senneurs en 1980 à 39 en 1992, en passant par un maximum de 53 en 1983, il n'en est pas de même pour les senneurs FIS. En effet, les effectifs de la flottille FIS ont brutalement chuté de 35 à 12 unités en deux ans, de 1983 à 1985. Les mauvais rendements et les prises catastrophiques en gros albacores du début de l'année 1984 a alors incité une grande partie de ces navires à émigrer vers l'Océan Indien, où à la même époque commençait l'exploitation des thonidés en surface, avec des rendements très satisfaisants. Certains de ces navires sont par la suite revenus dans l'Atlantique Centre-Est, ce qui explique la remontée lente des effectifs à partir de 1989. Enfin, la récente baisse du nombre de senneurs FIS en 1992 (de 22 à 17 navires), parallèlement à l'augmentation du nombre de senneurs de nationalités diverses s'explique par le transfert de pavillons français vers des pavillons de complaisance.

Des senneurs d'autres nationalités ont également exploité, de façon limitée, les thonidés tropicaux dans l'Atlantique au cours des dernières années : Ghana jusqu'en 1987, Maroc, Japon, Norvège et des pays non répertoriés individuellement (code ICCAT N.E.I. pour "Not Elsewhere Included").

III.3.2. Etendue de la pêche.

Le nombre de carrés de 1° de côté prospectés au cours d'une année par les flottilles permet de mesurer la dispersion des navires, c'est-à-dire l'étendue géographique de la pêche. Si le nombre de navires a diminué entre 1980 et 1991, par contre le nombre de carrés prospectés est resté relativement stable, aussi bien pour les canneurs FIS, que pour les senneurs FIS et espagnols (Fig. I.35) (Annexe A, Tabl. A.6). Cette tendance est assez logique, compte tenu du rythme fortement saisonnier des pêcheries. Le nombre de carrés prospectés reste ainsi toujours relativement élevé quelque soit le nombre de navires, puisque les zones de pêche se déplacent au cours de l'année.

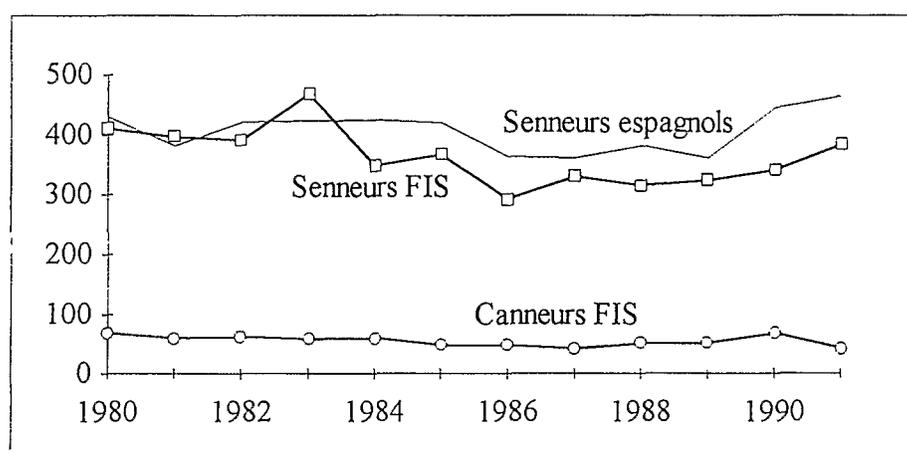


Figure I.35 : Evolution du nombre de carrés de 1° de côté explorés par les flottilles de surface dans l'Atlantique Tropical Est.

III.3.3. Evolution des efforts de pêche.

Dans les pêcheries thonières, l'effort de pêche est en général mesuré en jours de mer, correspondant à 12 heures/jours puisqu'il n'y a pas d'opérations de pêche durant la nuit. Toutefois, les efforts de pêche des canneurs et des senneurs, même s'ils ont la même unité de base, ne sont directement ni comparables, ni cumulables, puisque les engins de pêche utilisés sont radicalement différents.

Pour les senneurs, la notion d'effort de pêche peut être affinée. En effet, du temps de mer (en jours ou en heures) correspondant au temps écoulé pour l'ensemble de la marée entre le départ et le retour au port, on peut retrancher le temps de route nécessaire pour atteindre les zones de pêche, ainsi que toutes les périodes d'inactivité du navire (avaries, conditions

climatiques mauvaises...) : c'est le temps de pêche. Le temps de recherche sera obtenu en retranchant du temps de pêche le temps nécessaire aux opérations de pêche proprement dites (de la mise à l'eau de la senne à sa remontée à bord), qui peuvent ne pas être considérées comme effort de pêche effectif.

Les données suivantes sont exprimées en temps de mer pour les canneurs. Pour les senneurs, l'effort de pêche est exprimé en temps de pêche standardisé, c'est-à-dire que l'effort de pêche de chaque senneur est multiplié par un coefficient corrigeant la différence de puissance de pêche entre le type de ce navire et un senneur standard.

III.3.3.1. Effort de pêche des canneurs FIS.

Du fait de la diminution régulière du nombre de canneurs FIS au cours de la période 1980-1991, on observe également une nette diminution des efforts sur la même période, bien que moins rapide (Fig. I.36). On est ainsi passé de 2 200 jours de mer en 1980 à seulement 1140 en 1991 (Annexe A, Tabl. A7). L'effort de pêche a diminué de moitié pendant que le nombre de bateaux était divisé par trois. Les canneurs ont donc augmenté pendant la même période leurs temps de pêche, en allongeant leurs marées principalement.

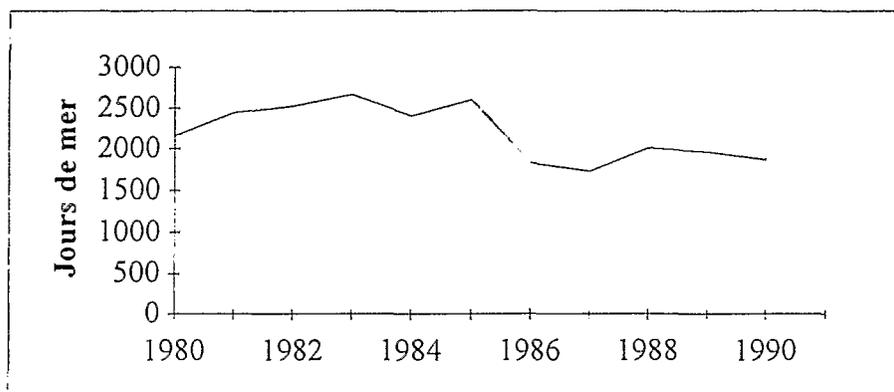


Figure I.36 : Evolution de l'effort de pêche des canneurs FIS basés à Dakar durant les années récentes.

III.3.3.2. Effort de pêche des senneurs FIS et espagnols.

L'effort de pêche standardisé des senneurs espagnols est resté globalement stable dans l'Atlantique Tropical de 1980 à 1991, passant de 10 500 jours de pêche à 8 000, avec un maximum de 12 000 en 1983 (Fig. I.37) (Annexe A, Tabl. A.7). Cela correspond parfaitement à la courbe précédente de l'évolution du nombre de navires.

De la même manière, l'évolution de l'effort de pêche standardisé des senneurs FIS suit la courbe du nombre de navires, avec une chute spectaculaire en 1984, passant de 14 500 jours en 1983 à 3 000 en 1984 (Fig. I.37). Depuis 1984 et jusqu'en 1989, l'effort de pêche suit une courbe légèrement ascendante, pour rejoindre pratiquement le niveau d'effort espagnol en 1991.

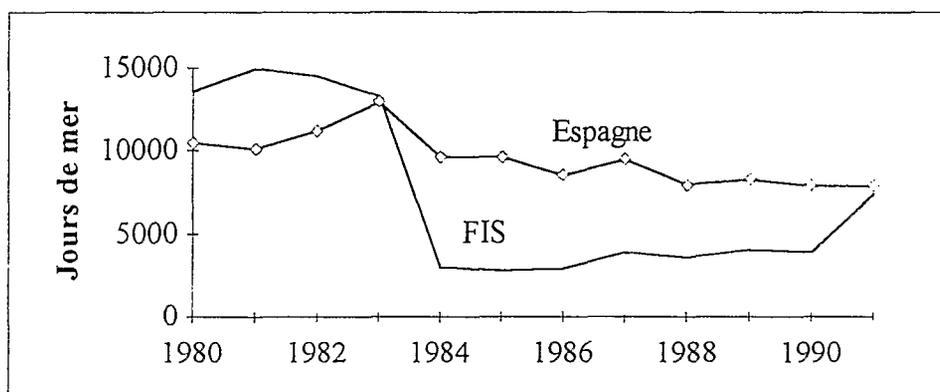


Figure I.37 : Evolution de l'effort de pêche des flottilles de senneurs durant les années récentes.

III.3.4. Evolution des prises par unité d'effort.

Les prises par unité d'effort, ou PUE, sont exprimées ici par le rapport des captures, totales ou par espèce, en tonnes sur l'effort de pêche exprimé en jours de pêche standardisés.

III.3.4.1. PUE des canneurs FIS.

Malgré des niveaux d'effort constamment en baisse depuis 1980, les captures des canneurs FIS sont restées pratiquement constantes. Les PUE ont ainsi fortement augmenté pendant cette même période, passant de 3 tonnes/jour en 1980 à 7 tonnes/jour en 1991 (Fig. I.38) (Annexe A, Tabl. A8). Cette hausse des PUE n'a été possible que grâce à la mise au point par la flottille de canneurs dakarois d'une méthode originale de pêche, qui permet une

meilleure efficacité des navires en minimisant le temps de recherche des bancs. Cette méthode a été décrite par Fonteneau et Diouf (1994) : schématiquement, les canneurs pêchent en "binôme" et exploitent à tour de rôle un banc de poissons, qu'ils conservent en association active à la coque du navire, en mouvement permanent, et ceci pendant plusieurs mois, en utilisant le navire comme objet flottant mobile. Cette méthode est unique au monde, et permet des rendements très élevés, largement supérieurs à ceux des autres pêcheries de canneurs.

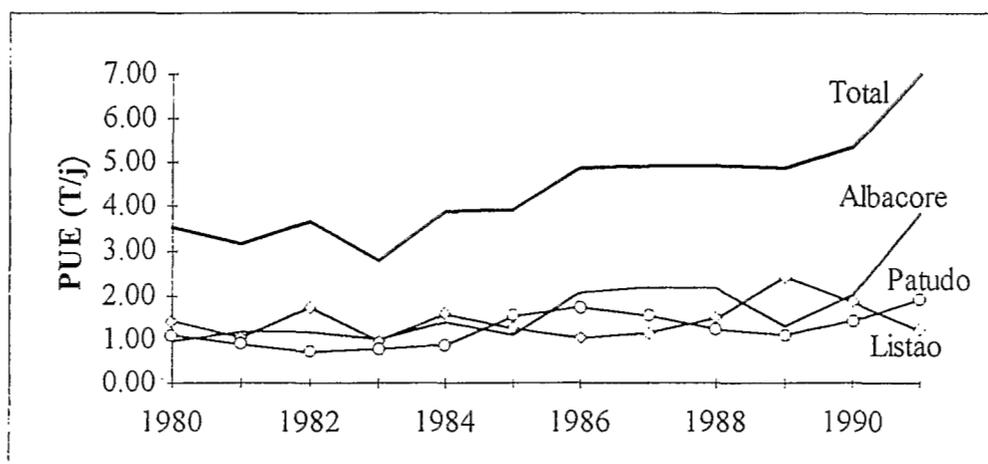


Figure I.38 : Evolution des rendements de la flottille de canneurs FIS basée à Dakar.

III.3.4.2. PUE des senneurs.

De la même manière que pour les canneurs, les prises par unité d'effort des senneurs FIS et espagnols ont fortement été améliorées depuis 1980, passant de 5-6 tonnes/jours à presque 14 tonnes/jours en 1991, toutes espèces confondues (Fig. I.39 et I.40) (Annexe A, Tabl. A.9). Les PUE sont restées stables jusqu'en 1984, leur augmentation n'intervenant qu'à partir de cette date. Elle peut être reliée à l'augmentation de la puissance de pêche des navires (Gascuel *et al.*, 1993), notamment par l'introduction de nouveaux moyens de détection des bancs et une meilleure manoeuvrabilité des engins de pêche (Hervé *et al.*, 1991).

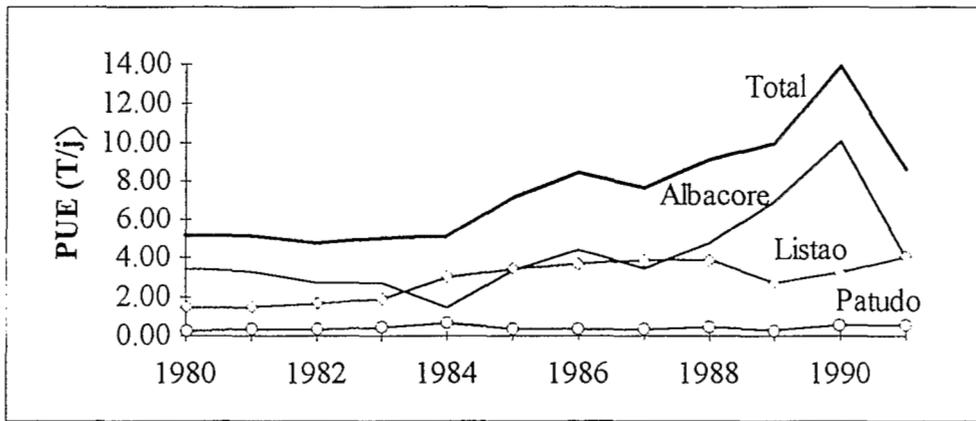


Figure I.39 : Evolution des rendements de la flottille de senneurs FIS.

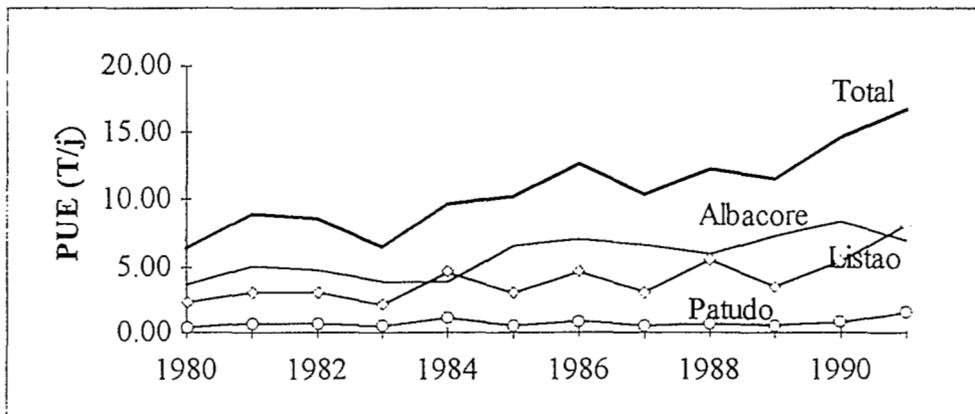


Figure I.40 : Evolution des rendements de la flottille de senneurs espagnols.

Plusieurs points intéressants apparaissent ici : les fluctuations de la courbe des PUE totales des senneurs FIS suit celle de la PUE des albacores (Fig. I.39), contrairement aux senneurs espagnols, dont les rendements totaux semblent davantage influencés par la PUE du listao (Fig. I.40). On retrouve ici la nette préférence des senneurs FIS à rechercher principalement l'albacore. D'autre part, apparaît à nouveau en 1991 une forte chute des rendements en albacores, principalement marquée chez les senneurs FIS, mais qui existe également chez les senneurs espagnols. Ce phénomène n'est pas à ce jour clairement expliqué : peut-être retrouvons nous ici des conditions environnementales atypiques du type de celles mises en évidence en 1984, mais plus vraisemblablement l'apparition d'un début de surexploitation du stock, comme le laisse envisager les récentes analyses, à partir de l'application des modèles de production sur un stock unique de l'albacore, menées par le Groupe de Travail sur l'albacore atlantique de juin 1993 (ICCAT, 1993).

Enfin, il est à noter que sur l'ensemble de la période, les senneurs espagnols ont toujours été plus efficace que les senneurs FIS (ils sont toutefois en moyenne plus grands).

La distribution mensuelle des PUE par zone de pêche confirme la forte saisonnalité des pêcheries, aussi bien pour l'albacore que pour le listao (Fig. I.41). Toutefois, la distribution des PUE ne reflète qu'imparfaitement l'abondance spatio-temporelle de la ressource. Certaines zones présentent des PUE moyennes, voire bonnes toutes l'année, comme par exemple le Cap Lopez, alors que les prises n'y sont clairement importantes que certaines périodes de l'année (dans le cas du Cap Lopez aux second et troisième trimestres) (Fig. I.32). A l'opposé, la richesse de plusieurs zones à certains moments de l'année (Cap des Palmes au dernier trimestre par exemple) n'apparaît pas de manière évidente. Ce problème de l'utilisation des PUE comme indice d'abondance dans les pêcheries thonières a déjà été soulevé (Foucher, 1991).

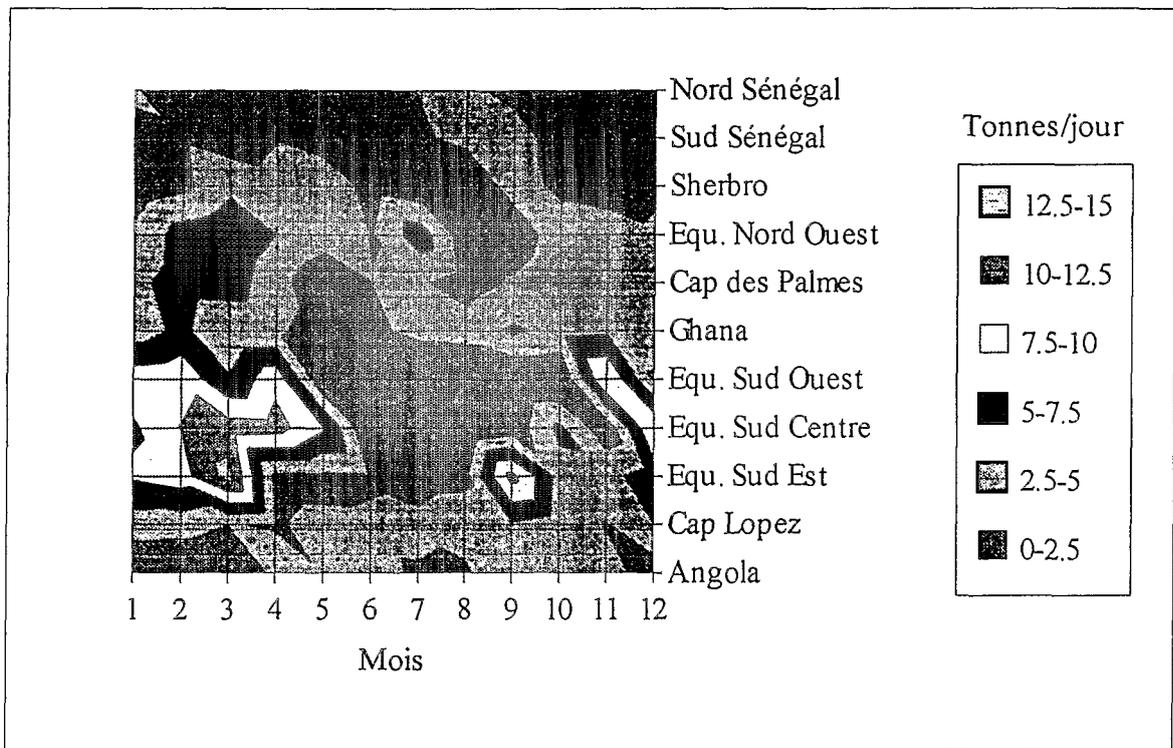


Figure I.41a : Distribution moyenne mensuelle (période 1980-1990) des PUE d'albacore des flottilles de senneurs FIS et espagnols par zone de pêche.

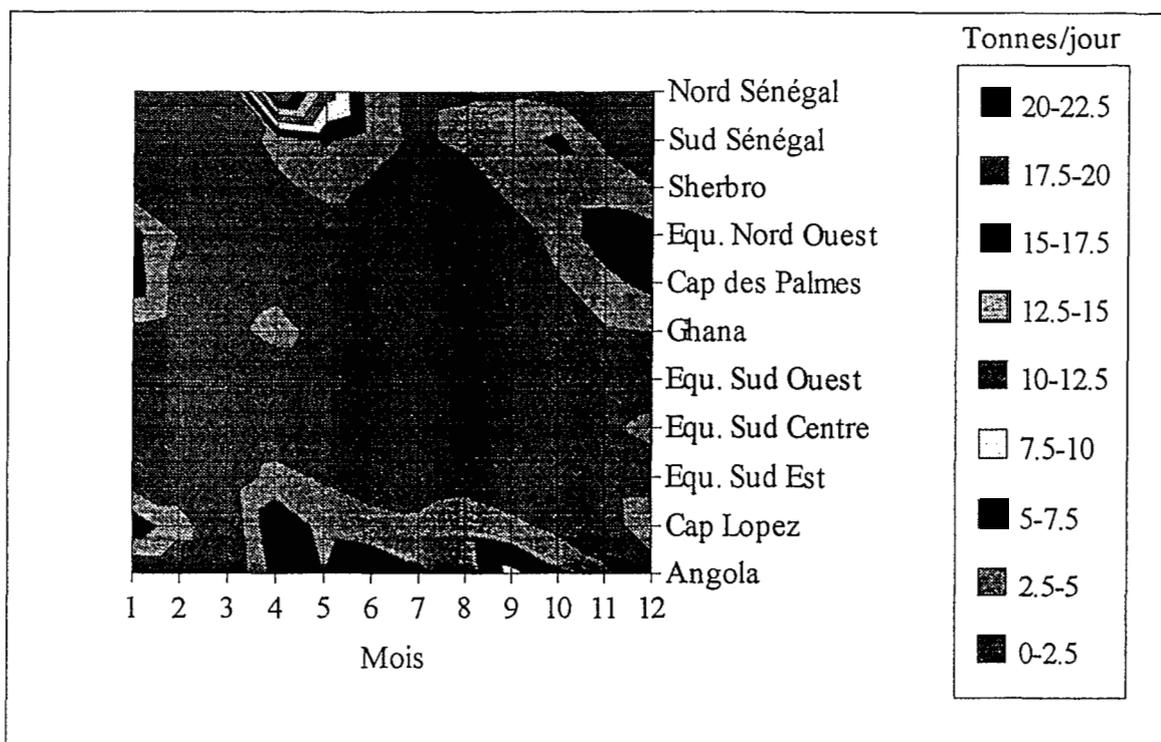


Figure I.41b : Distribution moyenne mensuelle (période 1980-1990) des PUE de listao des flottilles de senneurs FIS et espagnols par zone de pêche.

IV. CONCLUSION.

De l'étude des conditions environnementales rencontrées dans l'Atlantique Tropical Oriental, de l'écologie des thonidés, et des pêcheries qui les exploitent, il ressort donc très clairement que la caractéristique principale de cette région de l'Océan Atlantique est avant tout sa forte saisonnalité. En effet, l'importance du rythme saisonnier a été souligné à plusieurs reprises : dans les fluctuations des températures de surface de l'océan et de la profondeur de la thermocline, dans les migrations des thonidés, et dans la grande mobilité spatio-temporelle des flottilles, des canneurs FIS et des senneurs notamment.

Au cours d'une année, les albacores et les listaos se déplacent donc en surface d'une région à l'autre, à la recherche des zones les plus propices. Il existe ainsi des flux importants de poissons entre les différentes zones de pêche que nous avons identifiées plus haut. Ces flux sont essentiels dans la dynamique de la pêcherie, puisqu'ils conditionnent les effectifs locaux des populations de poissons à un moment donné, et provoquent de ce fait le déplacement des flottilles. Ce sont ces différents flux que nous allons nous efforcer d'analyser par la suite.

DEUXIEME PARTIE

QUANTIFICATION DES BILANS DE MIGRATION DE L'ALBACORE ET DU LISTAO.

I. INTRODUCTION.

II. MATERIELS ET METHODES.

III. VARIABILITE SAISONNIERE PAR ZONE.

**IV. LES BILANS DE MIGRATION DE L'ALBACORE
ENTRE ATLANTIQUE EST ET ATLANTIQUE OUEST.**

V. LIMITES DE LA METHODE ET CONCLUSION.

I. INTRODUCTION.

L'exposé des conditions environnementales de l'océan Atlantique intertropical a permis de montrer que les variations saisonnières importantes du milieu affectent dans une large mesure les migrations des thonidés. Ainsi, dans l'Atlantique Tropical Oriental, l'abondance des thons dans certaines zones de pêche est fortement conditionnée par l'intensité des migrations saisonnières. Mais, bien que les grands axes de ces migrations soient à ce jour relativement bien connus (voir Première Partie, chapitre II.5.), les flux réels de poissons n'ont toujours pas pu être quantifiés.

Dans le cas d'espèces migratrices, plusieurs méthodes ont été proposées pour estimer l'abondance spatio-temporelle et les flux de poissons entre différentes zones. Ces méthodes, soit directes (utilisation des données de marquage-recapture), soit indirectes (analyse des prises par unité d'effort), sont présentées de manière synthétique par Seber (1982). Hilborn (1990) propose une méthode générale d'évaluation des taux de migration à partir de l'analyse des données de retour de marques. Ces données sont malheureusement absentes ou très insuffisantes dans l'Atlantique, faute de marquages significatifs. Quinn *et al.* (1990) présentent un modèle d'évaluation de l'abondance des populations migratoires, en s'appuyant sur les analyses des prises par âge au moyen de renseignements auxiliaires (Deriso *et al.* 1985, 1989). Mais cette méthode est également basée sur des taux connus de migration entre zones ; elle ne peut donc être adaptée directement à notre cas.

A partir des données de captures par âge et d'effort de pêche, on propose dans cette partie une nouvelle méthode, basée sur les équations usuelles de la dynamique des populations halieutiques. Cette méthode permet d'estimer, par âge et par zone, des bilans de migration des thons. Ces bilans de migration correspondent à la différence numérique entre les entrées et les sorties de poissons de chaque zone, pour chaque intervalle de temps ; il s'agit donc de soldes migratoires qui ne tiennent pas compte des "entrées" compensées par des "sorties" équivalentes. En outre, on ne préjuge pas ici de l'origine ou de la destination des poissons en migration.

Dans un premier temps, à partir des effectifs totaux par âge obtenus par une analyse des cohortes, les effectifs par âge et par zone sont estimés. Deux hypothèses alternatives de répartition géographique de l'effort de pêche et donc des taux instantanés de mortalité par pêche F sont ici prises en compte. Dans un second temps, les bilans migratoires par âge et par zone sont estimés. Dans cette partie, on applique la méthode à l'albacore et au listao, qui représentent les deux principales espèces capturées par les flottilles de senneurs dans l'Atlantique Tropical Oriental (nous avons vu précédemment que les prises de patudos,

essentiellement constituées d'individus juvéniles, représentent toujours moins de 10% des prises totales des senneurs). Enfin, pour les albacores exclusivement, les échanges entre les fractions est et ouest du stock atlantique sont estimés, puis analysés.

II. MATERIELS ET METHODES.

II.1. PRINCIPES GENERAUX - CHOIX DES ECHELLES SPATIO-TEMPORELLES.

Les statistiques de pêche utilisées pour le calcul des bilans migratoires sont issues des bases de données de l'ICCAT et du CRODT. Il s'agit des captures numériques et des efforts de pêche, par carré de 5° de latitude et de longitude de côté et par quinzaine, des flottilles de senneurs français et espagnols, pour la période 1980-1990. Les efforts de pêche sont exprimés en heures de recherche. Des fichiers de fréquences de taille des captures sont de plus utilisées pour la détermination des captures par groupe d'âge.

Par ailleurs, on se base sur les statistiques de prises et d'efforts de pêche de la flottille de senneurs vénézuéliens, pour la période récente 1986-1991, afin d'estimer les effectifs par âge de la population sous-jacente de l'Atlantique Ouest. Ces statistiques sont issues de la base de données de l'ICCAT.

Malgré les récents développements en matière d'identité des stocks d'albacores, et l'acceptation par l'ICCAT de l'hypothèse d'un stock unique dans l'Océan Atlantique (Première Partie, paragraphe II.5.1.), l'hypothèse classique de deux stocks distincts Est et Ouest est conservée dans un premier temps. La limite entre ces deux stocks est fixée arbitrairement à 30° Ouest (ICCAT, 1993). On estimera donc les effectifs de poissons et les bilans migratoires entre les différentes zones, au sein du stock de l'Atlantique Est.

Les conséquences qu'entraîne l'hypothèse d'un stock unique d'albacore sont présentées ensuite. On estimera notamment les échanges d'albacores, en fonction de l'âge, entre l'Atlantique Est et Ouest.

Pour le listao, aucune migration transatlantique n'ayant à ce jour été observée, on adopte la même hypothèse d'un unique stock Atlantique Est. Les effectifs et les bilans migratoires sont calculés, pour les deux espèces, par âge, année et zone. L'âge est donné en trimestre (de 1 à 24 et de 1 à 20 respectivement). Les bilans migratoires estimés pour un âge a correspondent à la différence numérique entre les poissons entrant et les poissons sortant d'une zone à l'issue de chaque trimestre (entre a et $a+1$). Les bilans migratoires peuvent donc être

soit positifs, soit négatifs. Pour chaque espèce, on obtient les matrices des effectifs et des bilans migratoires par âge, année et zone. Ces estimations sont ensuite cumulées par groupe d'âge, en trois catégories (juvéniles, pré-adultes et adultes), selon le découpage suivant :

- pour l'albacore : les âges trimestriels 1 à 8 correspondent aux juvéniles ; 9 à 16 aux pré-adultes (première maturité entre 2 et 3 ans, d'après Cayré *et al.*, 1988) ; 17 à 24 aux adultes (complète maturité à partir de 3 ans, d'après Albaret, 1977).

- pour le listao : les âges 1 à 4 correspondent aux juvéniles ; 5 à 8 aux pré-adultes (première maturité à 1,5 an, d'après Cayré et Farrugio, 1986) ; 9 à 20 pour les adultes (complète maturité à 2 ans, d'après Cayré *et al.*, *op. cit.*).

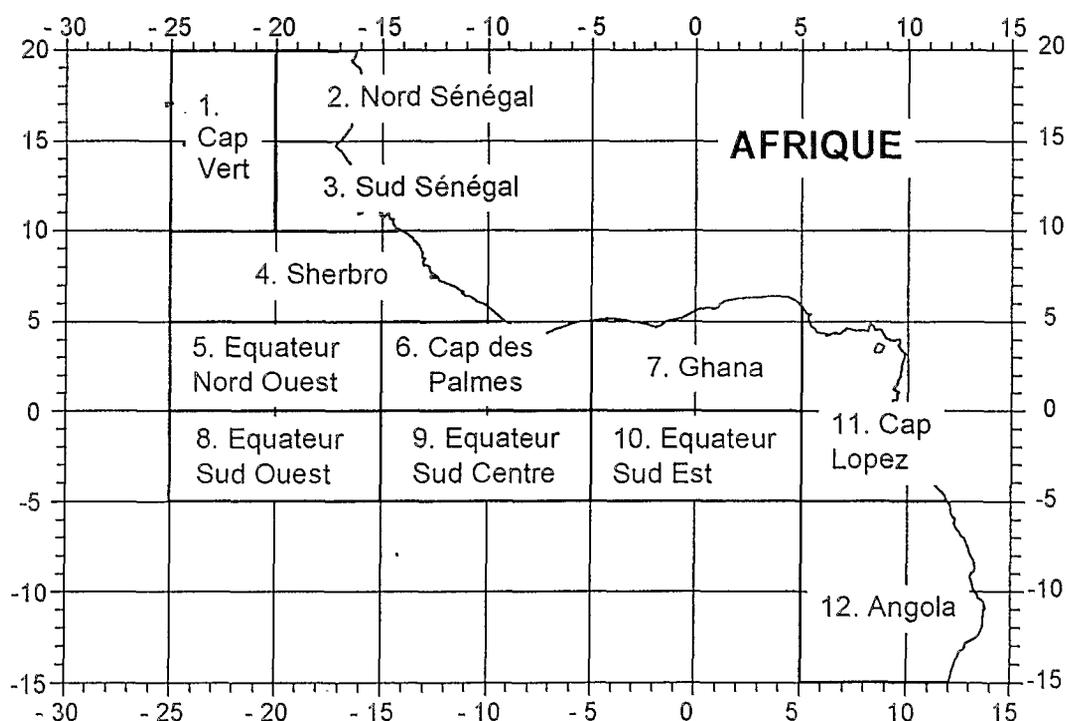


Figure II.1 : Principales zones de pêche de l'Atlantique Tropical Oriental.

Les zones retenues (Fig. II.1) correspondent au découpage classiquement adopté de l'Atlantique Tropical Oriental en 12 zones de conditions hydro-climatiques et biologiques jugées homogènes (*In* Fonteneau et Marcille, 1988). L'objectif de cette partie étant de définir une dynamique saisonnière des migrations de thonidés impose de retenir un pas de temps inférieur à l'année : le trimestre est adopté ici. Le choix d'un pas de temps encore plus court (mois) aurait pu être envisagé, puisque les données sont disponibles. Bien que les moyens informatiques actuels permettraient de choisir un pas de temps très court, la lourdeur excessive

qui serait issue des analyses menées mensuellement, et le fait que les résultats obtenus par trimestre semblent suffisant pour rendre compte de la dynamique saisonnière des migrations, conduit cependant à ne pas retenir cette échelle mensuelle. Un raisonnement analogue peut être suivi pour le choix des zones. Des zones rectangulaires de 5° de latitude et de longitude de côté par exemple alourdiraient sensiblement l'analyse sans modifier fondamentalement les résultats obtenus.

Les programmes d'estimation des effectifs et des bilans migratoires par zone ont été écrit en fortran 77.

II.2. AJUSTEMENT DE L'ANALYSE DES COHORTES.

II.2.1. Principes de l'analyse des cohortes.

Historiquement, les premiers principes de l'analyse des cohortes, ou Virtual Population Analysis (VPA) en anglais, ont été exposés par Fry (1949), qui a noté que la somme des captures d'une cohorte durant les années pendant lesquelles elle a été exploitée constitue une estimation minimale de son abondance à l'âge où elle est entrée dans la pêcherie. Toutefois, les méthodes générales de l'analyse des cohortes telle que nous la connaissons actuellement ont été introduites par Gulland (1965).

L'analyse des cohortes est *"une procédure mathématique qui utilise toute l'information disponible sur les captures par âge d'une cohorte pour générer des estimations absolues de l'abondance d'une cohorte et de la mortalité par pêche durant son existence"* (O'Boyle, 1990). En d'autres termes, cette technique permet d'estimer d'une part des taux instantanés de mortalité par pêche, notés F , qui mesurent la pression réelle exercée sur le stock, et d'autre part, les effectifs du stock au cours des années passées. Les données utilisées afin d'obtenir ces estimations sont les captures par âge et par période, ainsi que les taux instantanés de mortalité naturelle, notés M . Données et résultats se présentent sous la forme de matrices, les lignes représentant les âges et les colonnes les périodes. Chaque cohorte (d'âge en âge et d'année en année) se positionne ainsi le long d'une diagonale de la matrice.

Cette méthode est ainsi une étape préliminaire indispensable à toute étude et toute modélisation basée sur l'approche structurale de la dynamique des populations (Mesnil, 1980).

Les équations de l'analyse des cohortes découlent d'une seule hypothèse : les taux instantanés de mortalité totale, notés Z (soit naturelle M et par pêche F) d'une cohorte sont

constants au cours d'un intervalle de temps donné. De manière itérative, l'analyse des cohortes utilise deux équations fondamentales. L'équation de survie relie les effectifs instantanés d'une cohorte donnée entre deux périodes (ou groupe d'âge) successives ; l'équation des captures décrit les captures effectuées sur un groupe d'âge à une période donnée. Soit :

* Equation de survie :
$$N_{a+1,y+1} = N_{a,y} \cdot \exp\left[-(F_{a,y} + M_{a,y})\right]$$

* Equation des captures :
$$C_{a,y} = N_{a,y} \cdot \frac{F_{a,y}}{F_{a,y} + M_{a,y}} \cdot \left[1 - \exp\left(-(F_{a,y} + M_{a,y})\right)\right]$$

avec : a : Indice d'âge
 y : Indice de période
 $N_{a,y}$: Effectifs de la cohorte à l'âge a et au début de l'année y
 $F_{a,y}$: Mortalité par pêche à l'âge a et durant la période y
 $M_{a,y}$: Mortalité naturelle à l'âge a et durant la période y
 $C_{a,y}$: Captures à l'âge a et durant la période y

Les captures $C_{a,y}$ étant connues, ce système de deux équations présente trois inconnues, $F_{a,y}$, $N_{a,y}$ et $N_{a+1,y+1}$. On montre aisément que pour l'ensemble des groupes d'âge constitutifs d'une cohorte, cette indétermination peut être levée si une donnée supplémentaire est connue. Ainsi, on initialise les calculs en précisant soit l'effectif d'une cohorte au recrutement, noté R (il s'agit alors d'une analyse descendante ou calcul en mode direct), soit la mortalité par pêche du groupe d'âge le plus âgé, dit âge terminal, notée F_T (il s'agit alors d'une analyse ascendante ou calcul en mode inverse). Dans l'analyse descendante, par exemple, le recrutement $N_{1,y}$ et les captures $C_{1,y}$ étant connus, on déduit du système à deux équations les valeurs de $F_{1,y}$ et $N_{2,y+1}$. De même pour le groupe d'âge 2, $N_{2,y+1}$ et $C_{2,y+1}$ étant connus, on peut calculer $F_{2,y+1}$ et $N_{3,y+2}$, et ainsi de suite. On reconstruit ainsi l'ensemble de la cohorte, c'est-à-dire une diagonale des matrices précédemment évoquées. Lorsque l'analyse des cohortes est menée sur un tableau complet constitué de l'ensemble des cohortes formant chaque année le stock, les calculs sont initialisés, selon le type d'analyse, soit par une série de recrutements par année R_y , soit par une série de mortalités par pêche terminales $F_{T,y}$.

L'analyse ascendante conduit, du fait des propriétés de convergence de l'analyse des cohortes (Pope, 1972), à des estimations robustes des mortalités par pêche et des effectifs d'un groupe d'âge au groupe d'âge précédent. Dans certaines limites, l'initialisation des calculs avec

des valeurs $F_{T,y}$ erronées conduit ainsi à des estimations valides des effectifs $N_{a,y}$ et des mortalités $F_{a,y}$. Cette méthode d'ajustement est d'autant plus recommandée qu'on a affaire à des espèces à longue durée de vie et à fort taux d'exploitation. En outre, lorsque les captures des derniers groupes d'âge sont faibles, l'incertitude qui existe dans le choix des mortalités terminales F_T est sans grandes conséquences sur les diagnostics finaux.

L'analyse descendante quant à elle est en règle générale peu utilisée, en raison de la très forte sensibilité des résultats obtenus, aux valeurs de recrutement introduites dans les calculs. Néanmoins, lorsque les taux d'exploitation sont faibles et lorsque les effectifs des groupes d'âge âgés sont importants (c'est le cas typique des thonidés tropicaux), le recours à l'analyse descendante peut être justifié.

II.2.2. Application à l'albacore et au listao.

Les captures par âge interviennent comme données d'entrée de l'analyse des cohortes. Pour l'albacore, l'algorithme de conversion des données taille en âge proposé par Gascuel (1994) est utilisé. Pour le listao, on a recourt à la méthode usuelle du "hachoir" (ou "slicing").

Les valeurs des taux instantanés de mortalité naturelle M , fixées par hypothèse, sont celles retenues par le Groupe de Travail ICCAT sur les thonidés tropicaux juvéniles (Anon., 1984). Pour l'albacore, ces taux sont ainsi de 0.8 par an, soit 0.2 par trimestre pour les groupes d'âge 0 et 1, puis de 0.6 par an (0.15 par trimestre) pour les suivants (2 à 5+). Pour le listao, la mortalité M est de 0.8 par an (0.2 par trimestre) pour tous les groupes d'âge.

Pour l'albacore de l'Atlantique Est, l'analyse des cohortes est conduite en combinant ajustement en mode inverse et ajustement en mode direct, selon la méthode décrite par Gascuel *et al.* (1993). Les valeurs de recrutement (Tabl. II.1) et de F terminaux proposés par ces auteurs sont utilisées ici.

Année	Recrutement en millier d'individus
80	33700
81	62200
82	39800
83	57750
84	36100
85	59150
86	55500
87	52550
88	42500
89	47900
90	50000

Tableau II.1 : Recrutements estimés de l'albacore (en milliers d'individus) dans l'Atlantique Tropical Est (d'après Gascuel *et al.*, 1993) : valeurs introduites dans l'analyse de cohortes réalisées sur les pêcheries de l'Atlantique Est exclusivement.

Plus simplement, pour le listao on conduit l'analyse de cohorte en mode direct (analyse descendante), sous l'hypothèse d'un recrutement constant. Si, comme nous l'avons vu précédemment, l'utilisation de l'analyse des cohortes en mode direct n'est pas courante, elle se justifie pleinement dans le cas des thonidés tropicaux. En effet, les thonidés tropicaux sont des espèces à durée de vie relativement courte, à taux d'exploitation relativement faibles, et pour lesquelles les captures pondérales de l'âge terminal constituent une part déterminante des débarquements totaux. On retient ici un recrutement moyen estimé à 250 millions d'individus par an (estimation retenue lors de l'Année Internationale du Listao *in* Symons, Miyake and Sakagawa, 1986).

II.3. MODELES D'ESTIMATION DES BILANS MIGRATOIRES DANS L'ATLANTIQUE EST.

II.3.1. Principes de base.

Les prises par unité d'effort (PUE) utilisées par le modèle sont calculées par le rapport des prises totales des flottilles de senneurs FIS et espagnols, par âge, par zone et par trimestre,

sur l'effort de pêche, par zone et par trimestre, en heures de recherche. En effet, l'utilisation des statistiques de pêche des seuls senneurs suffit à donner une bonne estimation de l'abondance apparente, du fait que ces flottilles couvrent toutes les zones et pêchent toutes les tailles de poissons.

Les modèles d'estimation des bilans migratoires proposés ici sont des relations récurrentes dérivées des équations développées dans l'analyse des cohortes (Gulland, 1965 ; Ricker, 1980). D'un intervalle de temps au suivant, c'est-à-dire d'un groupe d'âge au suivant, les effectifs d'une cohorte peuvent être reliés par l'approximation de Pope (1972) :

$$(1) \quad N_{a+1} = N_a \cdot \exp(-M_a) - C_a \cdot \exp\left(-\frac{M_a}{2}\right)$$

avec a : indice d'âge en trimestre

N_a : Effectif instantané en début d'âge a

C_a : Captures à l'âge a

M_a : Coefficient de mortalité naturelle à l'âge a

L'utilisation de cette expression présente un double avantage : d'une part, elle est d'une grande simplicité, et d'autre part elle permet d'établir, contrairement à l'expression de l'équation de survie de Gulland (1965), une relation linéaire entre les effectifs et les captures par âge.

Les migrations observées ont lieu entre les zones de pêche, indicées z , de l'Atlantique Centre Est. Soit, pour l'âge a et la zone z , un effectif :

$$(2) \quad N_{a+1,z} = N_{a,z} \cdot \exp(-M_a) - C_{a,z} \cdot \exp\left(-\frac{M_a}{2}\right) + BM_{a,z}$$

d'où

$$(3) \quad BM_{a,z} = N_{a+1,z} - N_{a,z} \cdot \exp(-M_a) + C_{a,z} \cdot \exp\left(-\frac{M_a}{2}\right)$$

avec BM : bilan migratoire dans la zone z entre l'âge a et l'âge $a+1$

Les différents termes de l'équation (3) sont explicités sur la figure II.2 suivante :

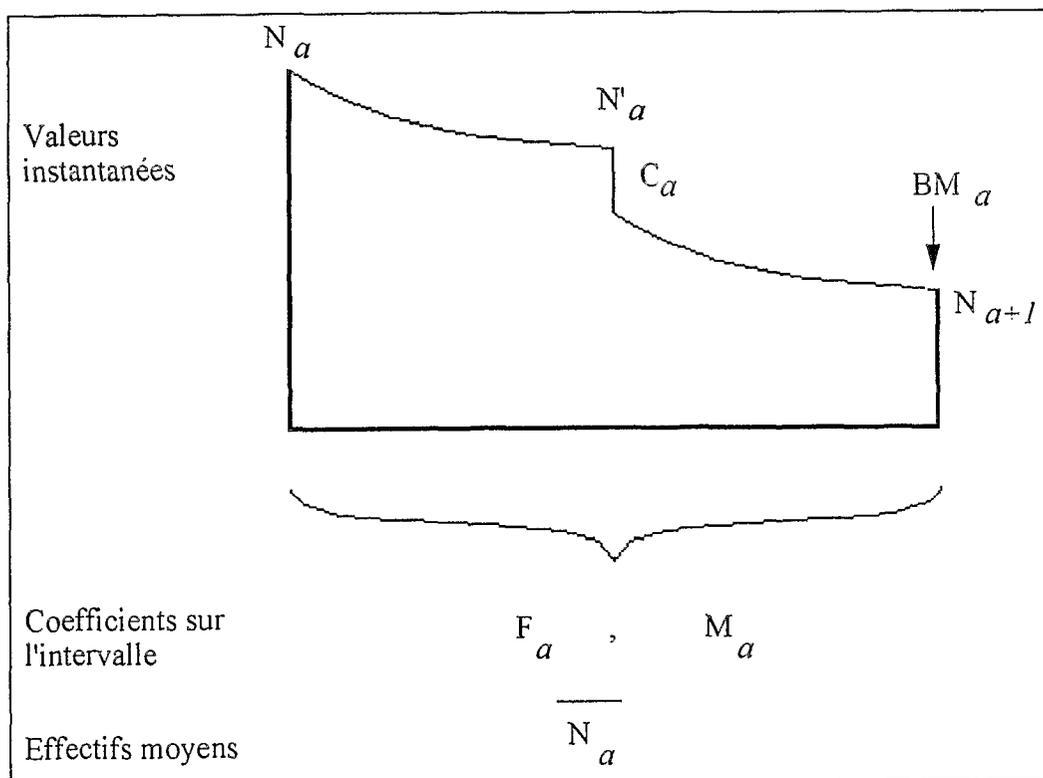


Figure II.2 : Valeurs instantanées et valeurs moyennes. Les captures, d'après l'approximation de Pope, interviennent de manière instantanée en milieu d'intervalle.

Dans l'équation (3), les effectifs instantanés $N_{a,z}$ ne sont pas connus. Si l'on considère par hypothèse que les prises par âge sont directement proportionnelles aux effectifs moyens, alors on peut écrire :

$$(4) \quad \overline{N_{a,z}} = \frac{C_{a,z}}{F_{a,z}}$$

avec $F_{a,z}$: Coefficient de mortalité par pêche du groupe d'âge a , dans la zone

z

$\overline{N_{a,z}}$: Effectif moyen dans la zone z au cours de l'intervalle correspondant à l'âge a

De la même manière pour l'ensemble des zones, on a :

$$(4') \quad \overline{N}_a = \frac{C_a}{F_a}$$

Si par hypothèse on pose que les effectifs moyens \overline{N} sont égaux aux effectifs instantanés de demi-période notés N' (Fig. II.2) (ceci dans la logique de l'approximation de Pope), alors on a :

$$N'_{a,z} = \frac{C_{a,z}}{F_{a,z}} \quad \text{d'où} \quad N_{a,z} \cdot \exp\left(-\frac{M_a}{2}\right) = \frac{C_{a,z}}{F_{a,z}}$$

$$\text{Finalement} \quad (5) \quad N_{a,z} = \frac{C_{a,z}}{F_{a,z}} \cdot \exp\left(\frac{M_a}{2}\right)$$

L'analyse des cohortes conduit à estimer des taux de mortalité par pêche F_a , par âge et par année pour l'ensemble du stock. Afin d'estimer les bilans migratoires par zone, il est indispensable d'en déduire les taux $F_{a,z}$ par zone. On notera que ces taux $F_{a,z}$ se rapportent ici aux poissons présents dans la zone z et capturés dans cette zone (soit par définition $F_{a,z} = \frac{1}{N_{a,z}} \cdot \frac{dC_{a,z}}{dt}$). Il ne s'agit donc pas ici d'une fraction de la mortalité F_a appliquée à l'ensemble des zones. De ce fait, on ne peut pas dans ce cas utiliser l'équation usuelle de ventilation, en répartissant la mortalité par pêche totale entre zones au prorata des captures de chaque zone. Une telle démarche conduirait en effet à estimer un taux de mortalité $F_{a,z}$ relatif à l'effectif total du groupe d'âge, et non pas à l'effectif dans la zone. En revanche, les mortalités $F_{a,z}$ peuvent être estimées, en s'appuyant sur une hypothèse de répartition de l'effort de pêche entre les différentes zones de l'Atlantique Tropical Est.

II.3.2. Hypothèses de répartition spatiale de l'effort de pêche.

L'effort de pêche f est connu à chaque période dans chaque zone. Le problème est de savoir quelle est la stratégie qui a conduit à cette répartition spatiale de l'effort, c'est-à-dire quelle est la relation entre l'effort de pêche par zone et la biomasse locale. Deux hypothèses peuvent être envisagées quant au comportement sous-jacent des flottilles. On reprendra pour désigner ces hypothèses de comportement des flottilles la terminologie proposée par Allen et McGlade (1986 et 1987).

* Flottes déterministes.

Dans ce cas, on suppose que l'effort de pêche observé dans chaque zone est fonction de l'abondance réelle dans la zone. En d'autres termes, les navires se dirigent d'autant plus vers une zone qu'ils savent y trouver une biomasse importante à un moment donné. L'hypothèse considérée ici est donc celle d'une répartition de l'effort entre zones au prorata des effectifs de poissons présents dans chaque zone. C'est-à-dire :

$$f_z = \frac{\overline{N_{a,z}}}{N_a} \cdot f$$

Soit, d'après (4) et (4)' :

$$f_z = \frac{C_{a,z}}{F_{a,z}} \cdot \frac{F_a}{C_a} \cdot f$$

$$\Leftrightarrow F_{a,z} = \frac{C_{a,z}}{f_z} \cdot \frac{f}{C_a} \cdot F_a$$

$$(6) \quad \Leftrightarrow F_{a,z} = \frac{U_{a,z}}{U_a} \cdot F_a \quad \text{Hypothèse 1}$$

Dans le cas de flottes déterministes, le taux instantané de mortalité par pêche F dans une zone se déduit ainsi d'un taux moyen toutes zones confondues, corrigé par un rapport de PUE. Autrement dit, les PUE sont utilisées ici comme indices d'abondance. Le rapport $U_{a,z}/U_a$ est donc un indice relatif, comparativement à une valeur moyenne sur l'ensemble des zones.

Implicitement, une telle hypothèse de répartition de l'effort de pêche signifie que le comportement des pêcheurs est entièrement déterminé par la répartition spatiale de la ressource ; elle correspond à un schéma théorique dans lequel les pêcheurs auraient une connaissance parfaite des abondances par zones. Un tel schéma supposerait en particulier des pêcheurs une connaissance historique parfaite de la pêcherie.

* Flottes stochastiques.

Dans ce cas, la recherche des poissons s'effectue au contraire de manière totalement aléatoire, sans tenir compte de l'acquis historique de la pêcherie. Les flottes ne font aucune supposition *a priori* sur la distribution de la ressource et se répartissent également entre les

différentes zones, en y appliquant partout la même "pression de pêche". Ainsi, à l'instar des coefficients instantanés de mortalité naturelle, les coefficients de mortalité par pêche F ne dépendent pas dans ce cas de la zone de pêche. Ils sont dans toutes les zones égaux au coefficient moyen. Soit :

$$(6') \quad F_{a,z} = F_a \quad \text{Hypothèse 2}$$

Les hypothèses (1) et (2) considérées plus haut représentent les deux cas extrêmes de la répartition de l'effort de pêche entre les différentes zones de l'Atlantique Est. Il est de ce fait vraisemblable que la répartition réelle de l'effort de pêche se situe entre ces deux hypothèses. Les pêcheurs cherchent à tenir compte de la répartition spatio-temporelle de la ressource, sans y parvenir en totalité. Prendre en compte ces deux hypothèses revient donc à "borner la réalité".

II.3.3. Calcul des bilans migratoires dans l'Atlantique Tropical Est.

* Hypothèse 1.

D'après les équations (5) et (6), l'effectif local dans la zone z de la population à l'âge a est :

$$N_{a,z} = \frac{C_{a,z}}{F_{a,z}} \cdot \exp\left(\frac{M_a}{2}\right)$$

$$\text{d'où (7)} \quad N_{a,z} = \frac{C_{a,z}}{F_a} \cdot \frac{U_a}{U_{a,z}} \cdot \exp\left(\frac{M_a}{2}\right)$$

Finalement, le bilan migratoire sous cette hypothèse par âge et zone s'écrit :

(8)

$$BM_{a,z} = \left(\frac{C_{a+1,z}}{F_{a+1}} \cdot \frac{U_{a+1}}{U_{a+1,z}} \cdot \exp\left(\frac{M_a}{2}\right) \right) - \left(\frac{C_{a,z}}{F_a} \cdot \frac{U_a}{U_{a,z}} \cdot \exp\left(-\frac{M_a}{2}\right) \right) + \left(C_{a,z} \cdot \exp\left(-\frac{M_a}{2}\right) \right)$$

* Hypothèse 2.

L'effectif local dans la zone z de la population à l'âge a est donné par la relation :

$$(7') \quad N_{a,z} = \frac{C_{a,z}}{F_a} \cdot \exp\left(\frac{M_a}{2}\right)$$

Le bilan migratoire par âge et zone devient :

$$(8') \quad BM_{a,z} = \left(\frac{C_{a+1,z}}{F_{a+1}} \cdot \exp\left(\frac{M_a}{2}\right) \right) - \left(\frac{C_{a,z}}{F_a} \cdot \exp\left(-\frac{M_a}{2}\right) \right) + \left(C_{a,z} \cdot \exp\left(-\frac{M_a}{2}\right) \right)$$

A partir des bilans migratoires obtenus par zone, il est ainsi possible de dégager les grandes caractéristiques de la migration de l'albacore et du listao, en fonction de l'âge des individus, au sein de l'Atlantique tropical Est.

II.4. BILANS MIGRATOIRES DE L'ALBACORE ENTRE ATLANTIQUE EST ET OUEST DANS L'HYPOTHESE D'UN STOCK UNIQUE.

L'hypothèse de l'existence d'un stock unique d'albacore dans l'océan Atlantique a été récemment adoptée lors du groupe de travail sur l'évaluation de l'albacore de l'Atlantique (Ténériffe, juin 1993). Il existerait ainsi des échanges significatifs d'individus entre l'est et l'ouest, ceci à différents stades de la vie d'un albacore. On peut rappeler de manière schématique l'hypothèse de travail actuelle de l'ICCAT. Les juvéniles nés dans la zone de ponte principale située à l'est de l'Atlantique, de part et d'autre de l'équateur, gagnent les nourriceries côtières du Golfe de Guinée. Au stade pré-adulte (entre 2 et 3 ans), une partie des individus quittent les zones est et rejoignent l'Atlantique ouest où ils séjournent jusqu'au début du stade adulte (environ 4 ans), à partir duquel les albacores reviennent vers les zones de ponte de l'Atlantique Est. Cette hypothèse a des conséquences importantes sur le modèle d'estimation des effectifs et des bilans migratoires entre zones de pêche de l'Atlantique Tropical Oriental. En effet, la dynamique du stock doit être analysée pour l'ensemble de l'Atlantique. En particulier, l'analyse des cohortes doit intégrer les captures est et ouest ; elle conduit dès lors à des estimations des taux instantanés de mortalité par pêche F correspondant à l'ensemble du stock, et non à sa composante Est uniquement. Il en est également de même des effectifs des populations par âge estimés par l'analyse des cohortes.

Si les bilans de migrations calculés précédemment restent valides dans l'Atlantique Est, des bilans de migration entre est et ouest peuvent également être estimés. Une méthode d'estimation de ces bilans de migration, par âge, de l'albacore est donc présentée ici. Dans un premier temps, on analyse la variabilité, en fonction de l'âge des albacores, des coefficients de capturabilité dans l'Atlantique est et ouest. Ces capturabilités sont calculées à partir des captures des flottilles de senneurs, toutes nationalités confondues à l'est et vénézuéliens à l'ouest (sur la période récente 1986-1991, la flottille de senneurs vénézuélienne représente près de 95% des senneurs opérant dans l'Atlantique Ouest (ICCAT, 1993)). Dans un deuxième temps, les effectifs par âge des populations présentes à chaque âge dans l'est et l'ouest, qui sont désignées par la suite populations sous-jacentes est et ouest, sont déduites de ces coefficients. On montre ainsi, de manière quantitative, que des échanges existent entre les deux façades de l'Atlantique ; on estime et analyse les bilans et les taux de migration moyens par âge.

II.4.1. Méthodes d'estimation des coefficients de capturabilité et des populations sous-jacentes est et ouest.

On reprend ici les résultats de l'analyse des cohortes menée sur l'albacore de l'Atlantique lors du Groupe de Travail de Ténériffe (ICCAT, 1994). Cette analyse des cohortes fait intervenir comme donnée de base une matrice des captures totales, par âge et par année, les deux pêcheries est et ouest confondues, et estime, à partir d'un vecteur de recrutement donné (Annexe B, Tabl. B.1), les effectifs à chaque âge de la population totale d'albacores dans l'Atlantique (Annexe B, Tabl. B.2).

Les taux instantanés de mortalité par pêche F obtenus sont ensuite répartis entre l'est et l'ouest au prorata des captures. Dans l'Atlantique est, on calcule la moyenne des mortalités par pêche F par âge sur la période 1980-1990. Dans l'Atlantique ouest par contre, on ne dispose que de données très fragmentaires et douteuses avant 1986. Cela impose de calculer cette moyenne sur une période plus récente (1986-1991), période qui correspond au développement de la pêcherie de senneurs vénézuéliens. Connaissant à l'est et à l'ouest les efforts de pêche des senneurs, on en déduit une estimation des coefficients de capturabilité q . Soit :

$$q = \frac{F}{f} = \frac{C}{f.N}$$

$$\text{d'où (9) } q = \frac{U}{N}$$

On pose comme hypothèse que la capturabilité des poissons est la même à l'est, à l'ouest, et pour l'ensemble de l'Atlantique. C'est-à-dire en particulier :

$$q_{\text{est}} = q_{\text{total}}$$

q est ici la capturabilité totale de chaque fraction de stock. Soit d'après (9) :

$$q_{\text{est}} = \frac{C_{\text{est}}}{f_{\text{est}} \cdot N_{\text{est}}} = \frac{U_{\text{est}}}{N_{\text{est}}} \quad \text{et} \quad q_{\text{total}} = \frac{U_{\text{total}}}{N_{\text{total}}}$$

$$\text{d'où (10)} \quad \frac{U_{\text{est}}}{N_{\text{est}}} = \frac{U_{\text{total}}}{N_{\text{total}}} \Leftrightarrow \frac{U_{\text{est}}}{U_{\text{total}}} = \frac{N_{\text{est}}}{N_{\text{total}}}$$

La capturabilité partielle de la fraction de stock Est, rapportée au total, s'exprime, quant à elle, de la manière suivante :

$$q'_{\text{est}} = \frac{C_{\text{est}}}{f_{\text{est}} \cdot N_{\text{total}}} = \frac{U_{\text{est}}}{N_{\text{total}}}$$

On en déduit :

$$(11) \quad \frac{q'_{\text{est}}}{q_{\text{total}}} = \frac{U_{\text{est}}}{U_{\text{total}}}$$

$$\text{Soit d'après (10)} \quad \frac{q'_{\text{est}}}{q_{\text{total}}} = \frac{N_{\text{est}}}{N_{\text{total}}}$$

$$\Leftrightarrow N_{\text{est}} = N_{\text{total}} \cdot \frac{q'_{\text{est}}}{q_{\text{total}}} \quad (12)$$

Les effectifs des populations moyennes sous-jacentes est et ouest sont donc estimés, à partir de la population totale de l'Atlantique, au prorata des coefficients de capturabilité partielle q' .

II.4.2. Méthodes d'estimation des taux de migration est-ouest.

Les coefficients de capturabilité q ne sont pas constants avec l'âge, ni à l'est, ni à l'ouest. Or par définition, le coefficient de capturabilité q correspond au produit d'une efficacité (dépendant des navires) et d'une disponibilité (dépendant de la ressource). On peut considérer

par hypothèse que l'efficacité des senneurs est la même quel que soit l'âge des individus (si le poisson est disponible, il n'est en effet pas plus difficile pour un senneur de repérer et de capturer des juvéniles que des adultes). La variabilité observée dans les coefficients de capturabilité est donc liée à l'autre terme ; elle marque des différences de disponibilité des individus aux engins de pêche en fonction de l'âge. On admettra ici que ces différences de disponibilité sont essentiellement dues aux migrations entre Atlantique est et Atlantique ouest, soulignant de ce fait la présence ou l'absence de certains groupes d'âge dans les pêcheries de l'Atlantique Tropical Est.

Afin d'estimer les bilans de migration entre Atlantique est et ouest, deux méthodes sont utilisées.

* D'après un q constant.

Pour chaque âge, on calcule l'effectif d'une population théorique moyenne, qui correspondrait à l'effectif total de la population d'albacores dans l'Atlantique est en l'absence de migration. Cet effectif est donc calculé à partir d'une valeur constante du coefficient de capturabilité q, en appliquant l'équation de survie classique :

$$(13) \quad N'_{a+1} = N_a \cdot \exp[-(q \cdot f + M_a)]$$

- avec
- a : indice d'âge
 - N_a : Effectif de la population à l'âge a
 - M_a : Mortalité naturelle à l'âge a
 - C_a : Captures à l'âge a
 - q : Coefficient de capturabilité
 - f : Effort de pêche (exprimé en jours de recherche)

L'effectif N_a de la population à l'âge a est celui estimé par l'analyse de cohorte. Le coefficient de capturabilité q qui sera retenu dans l'équation (13) est choisi parmi les différentes valeurs des coefficients q_a par âge. Puisqu'on suppose que les variations de ces coefficients par âge sont liées à des variations de disponibilité des poissons, en relation avec les migrations est-ouest, on doit donc choisir la valeur de capturabilité q_a correspondant à la période où tous les poissons sont présents dans l'Atlantique est. Il faut dans ce cas retenir la valeur de q_a la plus élevée. Une autre démarche consiste à retenir comme coefficient q constant une valeur moyenne entre les différents q_a . Les différents choix possibles pour cette valeur de q constant seront discutés par la suite.

Ensuite on compare pas à pas, c'est-à-dire âge par âge, l'effectif calculé N'_a à l'effectif au même âge N_a . La différence entre ces deux estimations donne le bilan de migration entre l'est et l'ouest. Soit:

$$(14) \quad BM_a = N_a - N'_a$$

Le taux de migration par âge, que nous appellerons α_a , est finalement obtenu par la relation:

$$(15) \quad \alpha_a = \frac{BM_a}{N_a} \cdot 100$$

* Par régression.

La méthode précédente impose de définir un coefficient de capturabilité constant qui sera utilisé dans l'équation(13). Ce coefficient q constant pourra être une valeur particulière de q_a à un âge donnée, ou une valeur moyenne entre plusieurs q_a . Comme hypothèse de travail, un choix, plus ou moins arbitraire, devra être effectué.

En ajustant une droite de régression sur le logarithme népérien des effectifs, estimés par l'analyse des cohortes, en fonction de l'âge, il n'est plus nécessaire de choisir une valeur particulière de q . Cela revient en effet à calculer des effectifs par âge sous l'hypothèse d'un coefficient de mortalité totale Z (soit $F+M$) constant quel que soit l'âge, selon la relation :

$$(16) \quad N''_{a+1} = N''_a \cdot \exp(-Z)$$

Les nouvelles estimations N''_a calculées par régression correspondent aux effectifs par âge de la population d'albacore dans l'Atlantique Est en l'absence de migration ⁽²⁾.

Comme précédemment, les bilans migratoires entre Atlantique est et ouest sont finalement obtenus par comparaison entre les deux estimations des effectifs. Soit :

$$(17) \quad BM'_a = N_a - N''_a$$

⁽²⁾ On retrouve ici en grande partie l'hypothèse précédente : en l'absence de migration est-ouest, si l'on considère que l'efficacité des senneurs est la même quel que soit l'âge des individus, le coefficient de capturabilité q devrait être constant.

III. VARIABILITE SAISONNIERE PAR ZONE.

III.1. SENSIBILITE AUX HYPOTHESES DE REPARTITION DE L'EFFORT DE PECHE.

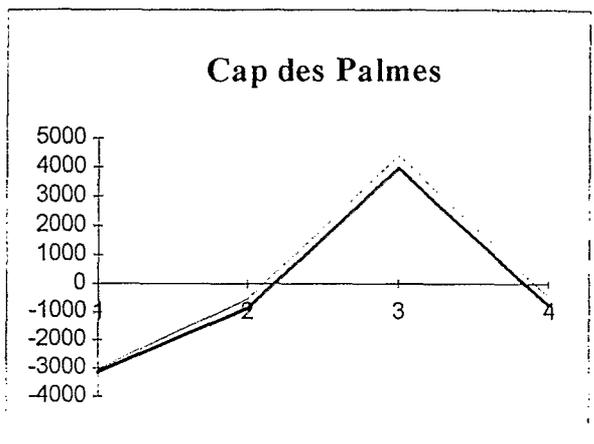
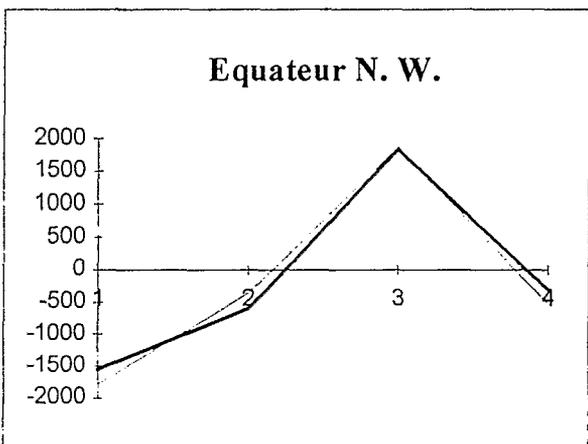
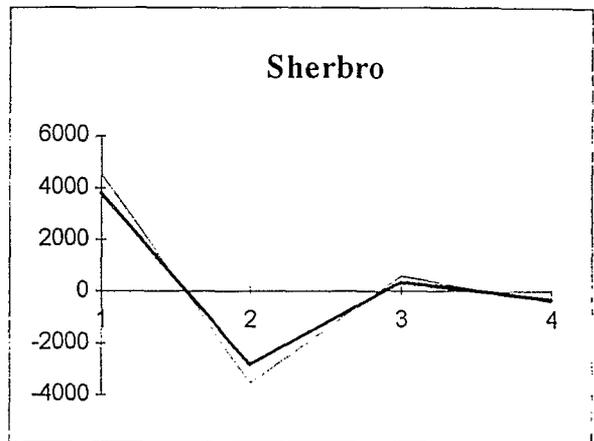
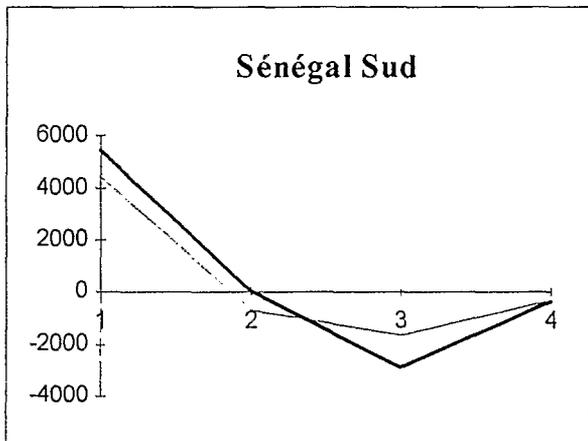
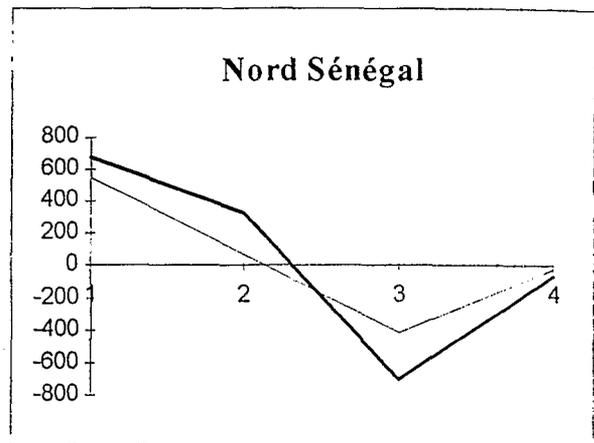
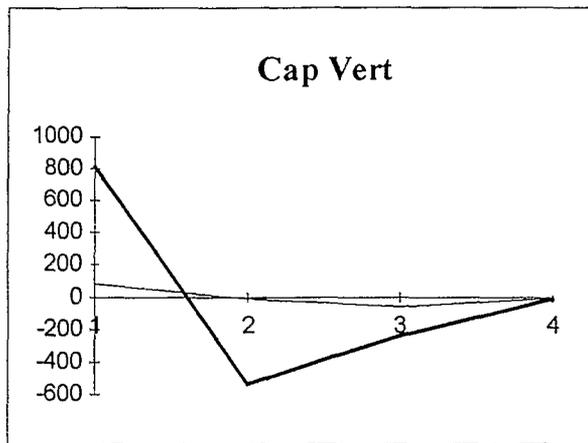
Les estimations des effectifs des populations $N_{\alpha,z}$ et des bilans migratoires $BM_{\alpha,z}$ de l'albacore et du listao par zone de pêche et par âge sont basées sur les hypothèses de répartition par zone des taux instantanés de mortalité par pêche F_{α} (équations (6) et (6')). Cette répartition par zone des taux F_{α} dépend de la répartition spatiale de l'effort de pêche f . Les valeurs estimées des bilans migratoires moyens, tous âges confondus, sur la période 1980-1990, peuvent ainsi être sensiblement différentes, selon l'hypothèse retenue et selon la zone. Les écarts calculés, en pourcentage, entre les bilans migratoires moyens estimés sous hypothèse (1) et ceux estimés sous hypothèse (2) sont indiqués pour l'albacore et le listao dans le tableau II.2. Aussi bien pour l'albacore que pour le listao, la sensibilité des bilans migratoires aux hypothèses apparaît à première vue très élevée. Ceci est particulièrement vrai pour l'albacore aux premier et troisième trimestres dans la zone Ghana, et au deuxième trimestre dans la zone Sénégal Sud, et pour le listao au deuxième trimestre dans la zone Equateur Sud-Est. En fait, pour ces strates zone/période particulières, l'écart élevé en pourcentage provient de la valeur des bilans migratoires estimés sous hypothèse (1), à chaque fois très proches de 0. La comparaison avec des valeurs non nulles (bilans migratoires sous hypothèse (2)) donne ainsi mathématiquement des écarts très grands. Exceptées ces quelques valeurs, les écarts entre les différentes valeurs des bilans migratoires ne sont globalement pas très importants. De plus, ils ne présentent pas de tendance marquée (Tabl. II.2), puisque pour ni l'une ni l'autre des deux hypothèses, les écarts obtenus ne sont systématiquement positifs ou négatifs.

ZONE	Albacore				Listao			
	Trim 1	Trim 2	Trim 3	Trim 4	Trim 1	Trim 2	Trim 3	Trim 4
Cap Vert	-90	-98	-76	-67	-91	-120	-76	-51
Nord Sénégal	-19	-80	-41	-67	19	-30	-6	66
Sud Sénégal	-19	-8466	-43	-13	-31	207	-17	89
Sherbro	20	26	68	28	-45	-93	-75	52
Equ. Nord Ouest	15	-40	2	72	46	-46	41	60
Cap des Palmes	-5	-38	11	-39	61	-38	19	-154
Ghana	-1176	-13	1944	-60	127	-5	-179	-44
Equ. Sud Ouest	-46	443	-91	-49	-37	585	-74	-51
Equ. Sud Centre	-72	-76	-36	-49	-77	-44	-11	-66
Equ. Sud Est	134	-6	10	121	177	862	-46	80
Cap Lopez	41	47	54	-360	73	442	19	-531
Angola	18	121	14	669	307	48	520	344

Tableau II.2 : Sensibilité des bilans migratoires moyens (période 1980-1990, tous âges confondus) aux hypothèses de répartition de l'effort de pêche : écart en pourcentage entre les valeurs des bilans migratoires de l'albacore et du listao estimées sous les hypothèses 1 et 2.

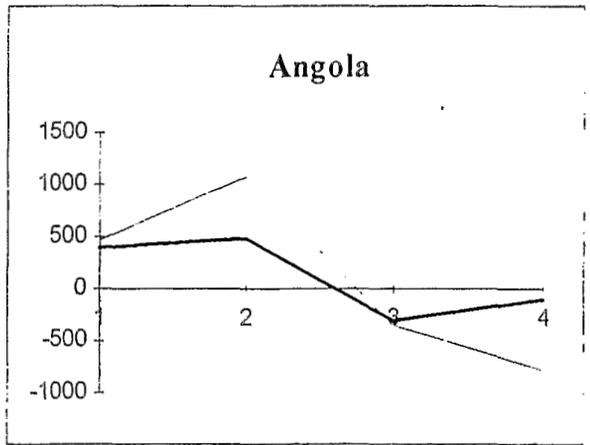
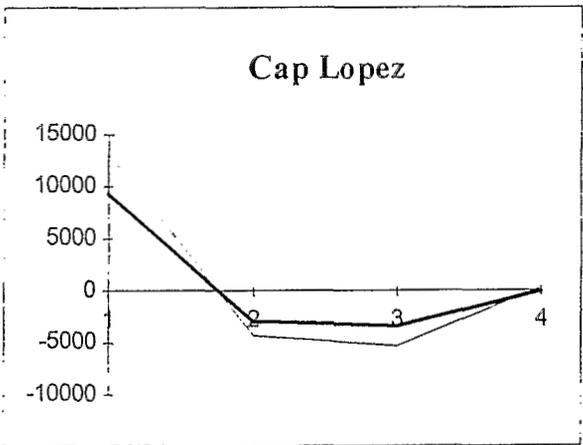
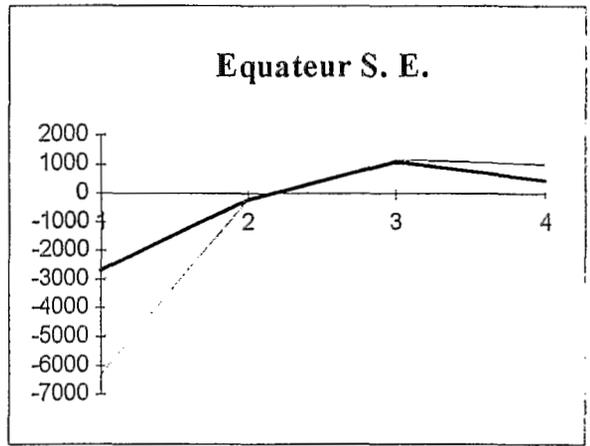
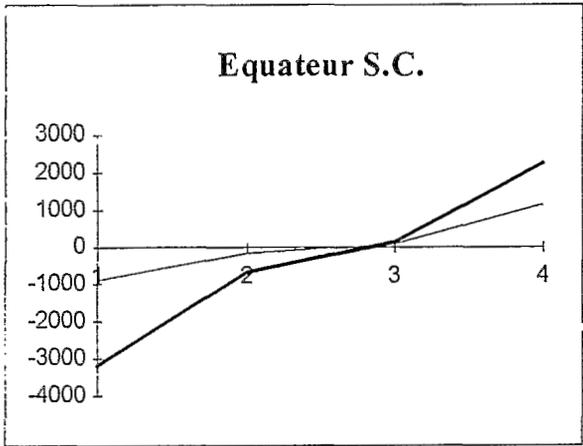
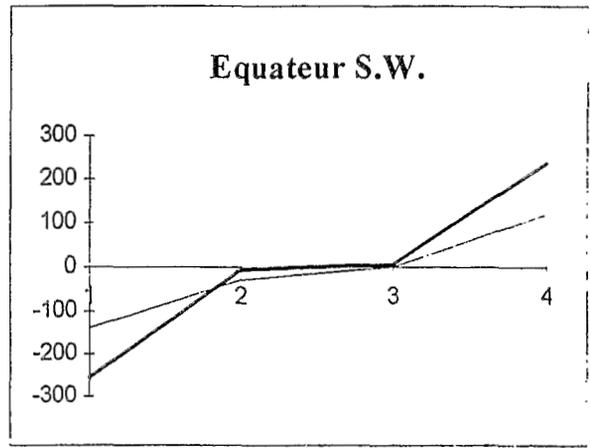
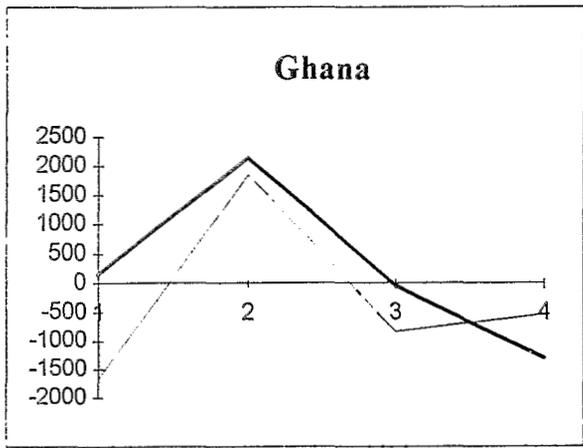
Si l'on observe zone par zone les bilans migratoires moyens (période 1980-1990) estimés à partir des deux hypothèses de départ (Fig. II.3 pour l'albacore et Fig. II.4 pour le listao), peu de différences entre les estimations apparaissent. Ceci est en particulier vrai dans les zones les plus exploitées par les flottilles de senneurs (Sénégal Sud, Sherbro, Equateur Nord Ouest, Cap des Palmes et Cap Lopez). Dans ces zones, les estimations des bilans migratoires, quelle que soit l'hypothèse retenue, sont toujours très proches, indépendamment du trimestre. Les écarts entre les deux estimations sont plus importants dans les zones où l'effort de pêche est moins intense (Cap Vert et Angola). Toutefois, dans tous les cas de figure, les estimations calculées pour chaque trimestre et pour chaque hypothèse sont toujours cohérentes entre elles, les deux séries d'estimations obtenues étant toujours proches.

Comme les deux hypothèses de répartition de l'effort de pêche représentent les deux cas extrêmes (flottilles totalement déterministes ou stochastiques), on gardera à l'esprit que la valeur réelle des bilans migratoires se situe vraisemblablement entre les deux estimations. Ces estimations étant par ailleurs très proches et afin de ne pas alourdir les résultats, on ne présentera dans la suite de l'étude que les résultats des bilans migratoires calculés sous la première hypothèse de répartition de l'effort (flottille déterministe).



Légende: — Hypothèse 1: $F_{a,z} = (U_{a,z}/U_a) * F_a$
 - - - Hypothèse 2: $F_{a,z} = F_a$

Figure II.3 : Bilans migratoires moyens (période 1980-1990) de l'albacore, tous âges confondus, dans différentes zones de pêche de l'Atlantique Tropical est, en fonction de l'hypothèse de répartition spatiale de l'effort de pêche.



Légende: — Hypothèse 1: $F_{a,z} = (U_{a,z}/U_a) * F_a$
 - - - Hypothèse 2: $F_{a,z} = F_a$

Figure II.3 (suite).

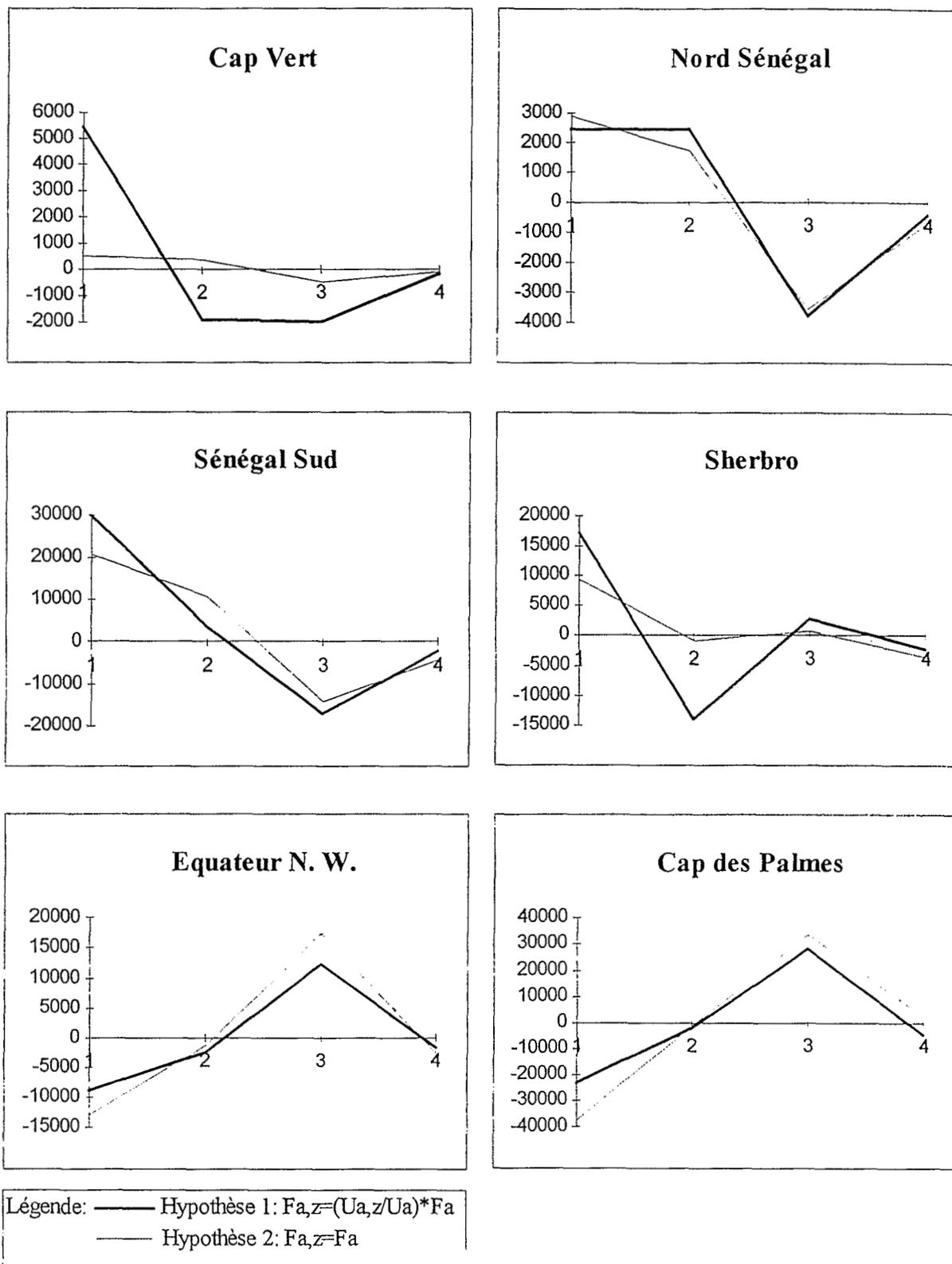
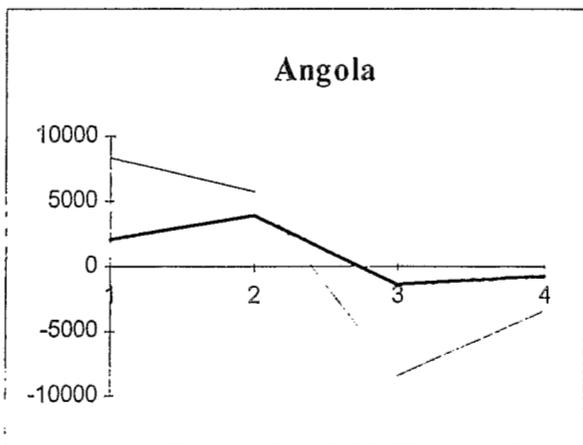
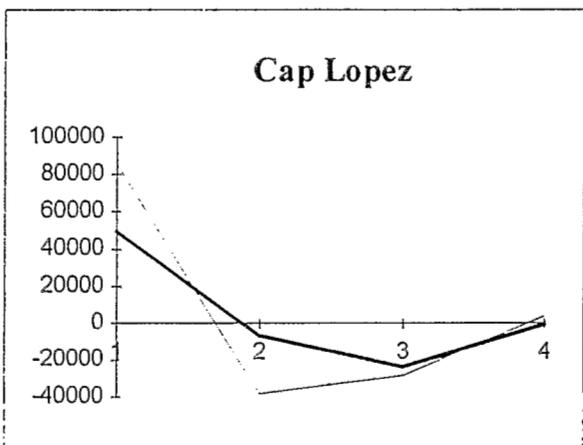
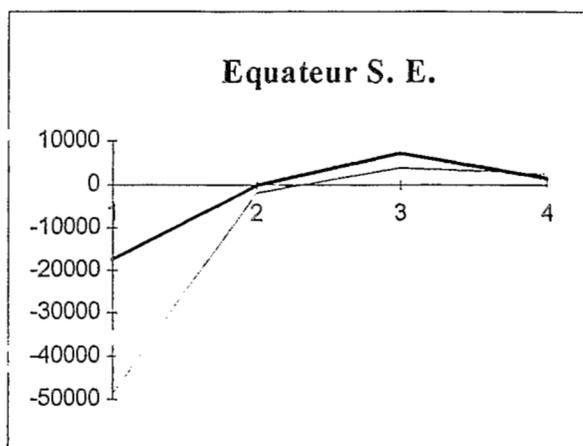
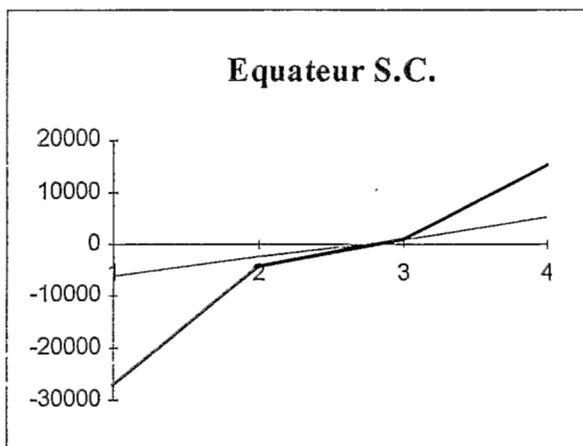
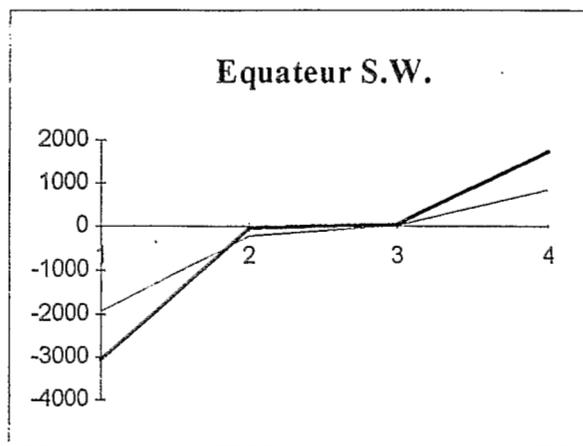
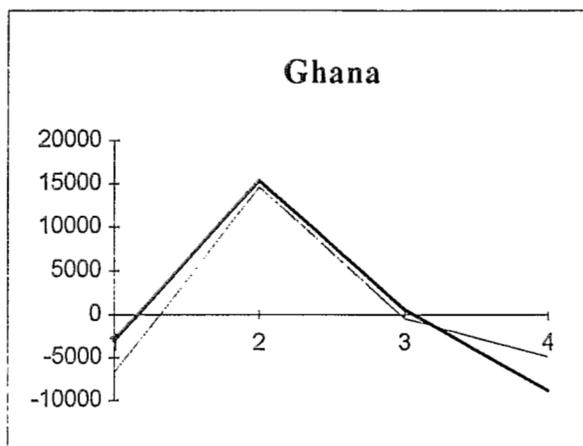


Figure II.4 : Bilans migratoires moyens (période 1980-1990) du listao, tous âges confondus, dans différentes zones de pêche de l'Atlantique Tropical est, en fonction de l'hypothèse de répartition spatiale de l'effort de pêche.



Légende: — Hypothèse 1: $F_a, z = (U_a, z / U_a) * F_a$
 - - - Hypothèse 2: $F_a, z = F_a$

Figure II.4 (suite).

III.2. EFFECTIFS MOYENS PAR AGE ET PAR ZONE.

III.2.1. Albacore.

Les effectifs moyens par âge estimés par la méthode que nous avons présentée ci-dessus sont donnés en annexe B dans le tableau B.3, et représentés en pourcentage des effectifs totaux de l'Atlantique Tropical Est sur la figure II.5.

Dans toutes les zones, et quel que soit l'âge de l'albacore, la distribution des populations présente une saisonnalité très marquée.

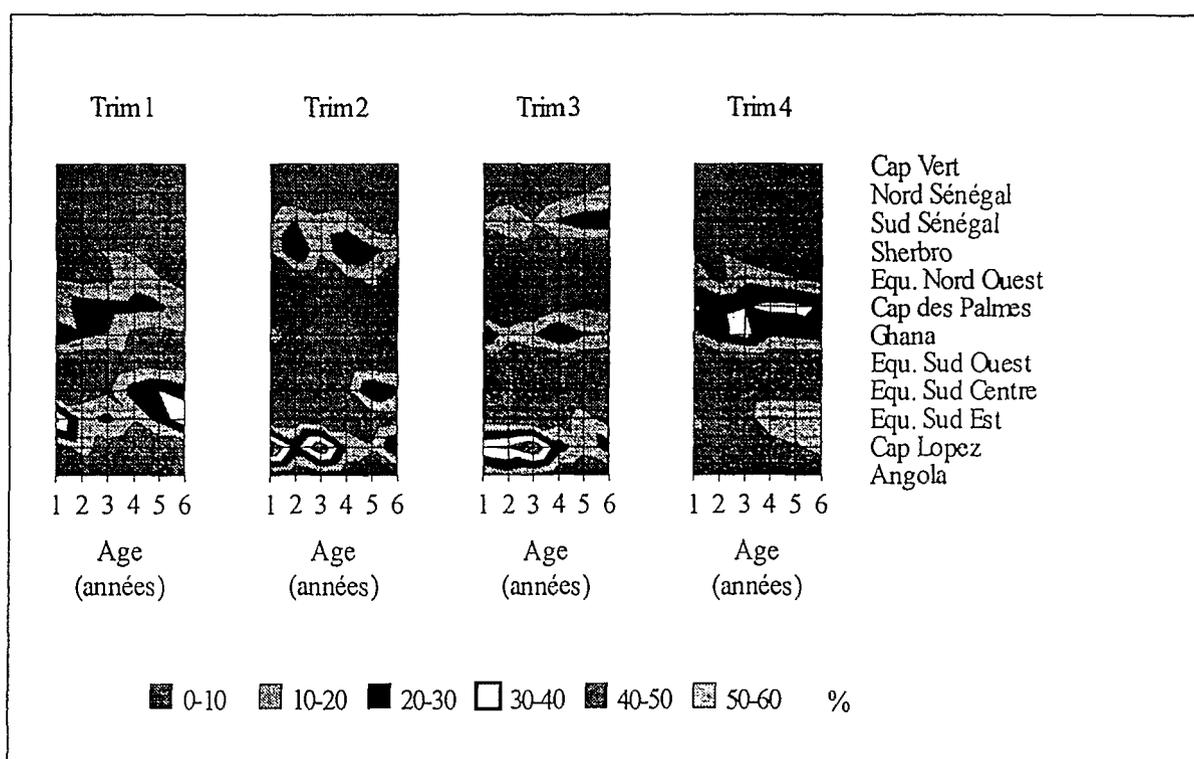


Figure II.5 : Effectifs moyens (période 1980-1990) par âge trimestriel de la population d'albacore (en pourcentage) présents dans chaque zone de l'Atlantique Tropical Est.

* Zones situées au nord-ouest de l'Atlantique Centre-Est.

L'albacore est toujours particulièrement abondant (au-delà de 25% de la population totale), à tout âge, au cours des deuxième et troisième trimestres de l'année, d'abord dans la zone Sherbro puis dans les zones Sénégal Sud et Sénégal Nord (Fig. II.5). La saisonnalité

observée est la même dans les deux zones du Sénégal. Il n'y a donc pas de différence marquante entre ces deux zones, excepté en ce qui concerne les effectifs, toujours plus nombreux dans le Sénégal Sud. Les effectifs d'albacores dans ces zones nord-ouest sont pratiquement nuls les premier et quatrième trimestres, exceptés dans la zone Sherbro pour les juvéniles et les pré-adultes (individus de moins de 3 ans), mais ils n'excèdent jamais 10% de la population totale. Enfin, ces effectifs sont toujours très limités dans la zone du Cap Vert (toujours largement inférieurs à 5%). La période de pêche se situe toutefois également pendant les deuxième et troisième trimestres. La saisonnalité observée est particulièrement régulière chez les individus adultes (d'âge 5+ ou d'âge trimestriel supérieur à 16) : les albacores se trouvent dans la zone Sherbro au deuxième trimestre (de l'ordre de 20% de la population totale d'adultes), puis passent dans les deux zones Sénégal au troisième trimestre (respectivement 25% et 10% pour les zones Sénégal Sud et Nord). Pour les juvéniles et les pré-adultes par contre, la saisonnalité est moins marquée entre les zones. Ils sont proportionnellement plus nombreux dans la zone Sherbro (jusqu'à 30% de la population aux âges 2 et 4 ans), alors qu'ils ne dépassent pas 20% dans la zone Sénégal Sud, où ils sont présents aux deuxième et troisième trimestres.

Il convient toutefois de rappeler que la méthode que nous présentons ici, et les résultats qui en découlent, repose sur les captures et les efforts des flottilles de senneurs. On a vu que ces flottilles exploitent peu la zone Nord Sénégal, non pour des raisons de disponibilité du poisson, mais davantage en raison des conditions climatiques défavorables (vents alizés violents et houle) qui gênent les opérations de pêche. Les canneurs de Dakar qui opèrent dans cette zone réalisent des prises importantes (voir Première Partie). La population d'albacore (en pourcentage) estimée ici est donc sans doute sous-estimée. Cette remarque sera également vraie par la suite pour le listao.

* Zones centrales.

Nous désignerons par zones "centrales" les zones Equateur Nord Ouest, Equateur Sud Ouest, Cap des Palmes et Ghana. Dans ces zones, la saisonnalité est également très marquée. Les effectifs d'albacores atteignent 30% de la population totale au quatrième trimestre dans la zone du Cap des Palmes, et restent toujours très élevés le premier trimestre, ceci sans distinction d'âge. Ces effectifs diminuent rapidement après le premier trimestre et deviennent très faibles les deuxième et troisième trimestres (largement inférieurs à 10%) au large du Cap des Palmes, a contrario des zones nord-ouest, comme nous l'avons vu plus haut. La même saisonnalité se retrouve dans la zone Equateur Nord Ouest, mais les effectifs, quels que soient les âges, y sont toujours moins nombreux. Dans la zone Ghana, les variations saisonnières d'effectifs sont semblables aux précédentes, mais avec un décalage d'un trimestre : le maximum

des effectifs est observé au cours des troisième et quatrième trimestres (près de 30% de la population totale). Par contre, à l'inverse des 2 zones précédentes, des albacores demeurent à toute saison dans la zone Ghana (de 5 à 15% de la population selon les âges). La zone Equateur Sud Ouest est particulière. En effet, dans cette zone, on ne trouve pratiquement aucun juvénile ni pré-adulte. Les albacores n'y apparaissent qu'à partir de l'âge 3+, au cours du premier trimestre de l'année (âges trimestriels 13, 17 et 21). Les effectifs y sont toutefois toujours relativement faibles.

* Zones situées au sud-est de l'Atlantique Centre-Est.

Dans les zones du sud est de l'Atlantique Tropical Est, si la saisonnalité est toujours bien marquée, la situation apparaît plus complexe. Des différences importantes dans la répartition des populations en fonction de l'âge des individus existent en effet. Dans la zone du Cap Lopez, les effectifs sont toujours importants au cours des deuxième et troisième trimestres. Les individus jeunes (juvéniles et pré-adultes de moins de 12 trimestres) y sont extrêmement abondants (jusqu'à 55% de la population), alors que les effectifs d'adultes y sont plus limités (entre 15 et 30%). Le schéma inverse était observé dans la zone du Sénégal Sud. Dans la zone Angola ne se trouvent que des albacores juvéniles (jusqu'à 15% de la population), essentiellement le troisième trimestre, mais il n'y a pratiquement jamais aucun albacore âgé de plus de 13 trimestres. Inversement, dans la zone Equateur Sud Centre, qui correspond à la zone de concentration des gros albacores en période de ponte, on ne trouve pratiquement pas de juvéniles, mais les albacores y sont très abondants dès l'âge trimestriel 13 (pré-adultes ayant atteint leur première maturité et adultes), avec un pic aux premiers trimestres (âges 13, 17 et 21). La zone Equateur Sud Est est située entre le Cap Lopez et la zone Equateur Sud Centre. La population locale est abondante également au cours des premiers trimestres de l'année. Si des jeunes individus peuvent être présents, les adultes sont encore ici les plus nombreux en proportion (près de 40% de la population totale à l'âge 21).

III.2.2. Listao.

La même saisonnalité se retrouve chez le listao (Fig. II.6 et annexe B, Tabl. B.4).

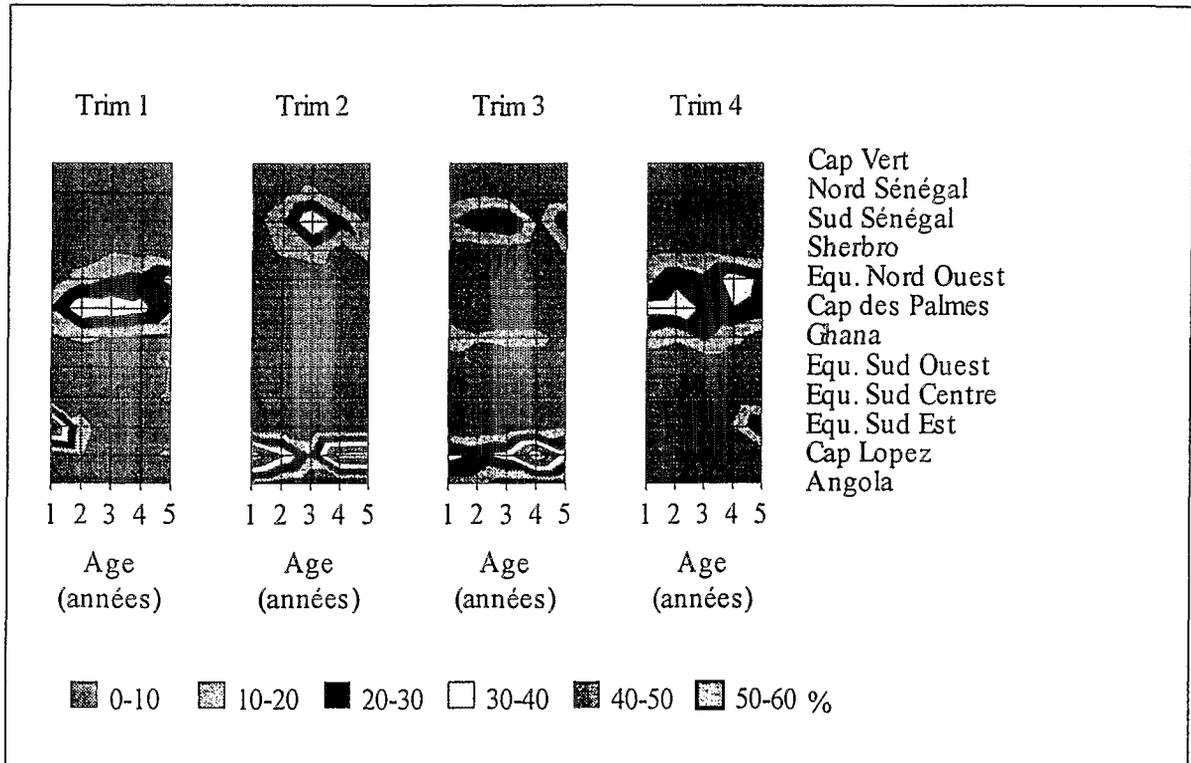


Figure II.6 : Effectifs moyens (période 1980-1990) par âge de la population de listao (en pourcentage) présents dans chaque zone de l'Atlantique tropical Est.

Il existe toutefois plusieurs différences avec l'albacore. En premier lieu, les effectifs dans les zones hauturières (Equateur Sud Ouest, Sud Centre et Sud Est) sont toujours très faibles (moins de 10% au cours des premiers trimestres de l'année). D'autre part, dans la zone Sherbro, la saisonnalité est moins marquée que chez l'albacore. Des listaos sont ainsi toujours présents dans cette zone, mais jamais en grande quantité (jusqu'à 15%). La saisonnalité est également moins nette dans la zone Ghana que pour l'albacore, mais pour le listao également, il semble que des individus y séjournent toute l'année, en nombre plus ou moins important (Fig. II.6). Comme précédemment dans la zone Sherbro, les effectifs présents dans cette zone seront aussi moins importants proportionnellement que pour l'albacore (20% contre près de 35% de la population).

Chez l'albacore, les effectifs sont assez équitablement répartis entre les différentes zones au cours de l'année, notamment entre les zones côtières et les zones hauturières. Pour le

listao, à l'inverse les effectifs sont très faibles dans les zones du large. En fait, la presque totalité des effectifs, au cours de l'année, se trouve dans 4 zones seulement, Sénégal Sud, Equateur Nord Ouest, Cap des Palmes et Cap Lopez. Dans ces 4 zones, la saisonnalité est très marquée, et ne présente pas de différence en fonction des groupes d'âges, contrairement à l'albacore (juvéniles davantage dans la zone Cap Lopez et adultes plutôt dans la zone Sénégal Sud).

Le schéma de répartition est donc plus simple chez le listao: le premier et le quatrième trimestre de l'année, entre 55 et 65% des listaos de l'Atlantique Est, quel que soit leur âge, se trouvent dans les deux zones Equateur Nord Ouest et Cap des Palmes (que l'on appelle zone "Libéria"), le reste de la population étant dispersé entre le Ghana, Sherbro et les zones équatoriales. Puis en été, ces poissons se divisent en deux groupes, l'un vers le Sénégal Sud (entre 25 et 40% de la population) au deuxième et surtout troisième trimestre, l'autre vers le Cap Lopez (entre 40 et 60%), essentiellement au deuxième trimestre. Des mouvements cycliques dans les migrations du listaos apparaissent ici nettement entre les zones centrales l'hiver, et les zones nord ou sud l'été, sans différence notable entre les âges.

III.3. BILANS MIGRATOIRES MOYENS PAR AGE ET PAR ZONE.

Rappelons que les bilans migratoires estimés dans chaque zone à la période N correspondent à la différence numérique entre les entrées et des sorties de cette zone entre les deux périodes de temps N et N+1. Un bilan migratoire positif dans une zone donnée correspond donc globalement à une entrée de poissons dans cette zone à partir des zones adjacentes, et donc à une augmentation de l'effectif de cette zone. Inversement, un bilan migratoire négatif dans une zone donnée signifiera globalement un départ de poissons vers les zones adjacentes. Les résultats obtenus pour l'albacore et le listao sont respectivement représentés par les figures II.7 et II.8 (tableaux B.5 et B.6 en annexe B).

III.3.1. Albacore.

Dans les zones nord ouest, ces bilans migratoires sont particulièrement importants pour les zones Sherbro et Sénégal Sud. Comme précédemment, ils sont décalés d'un trimestre entre ces deux zones. Ils sont largement positifs (atteignant plus de 10% de la population totale de l'Atlantique Tropical Est aux âges trimestriels 14, 17 et 21) à l'issue des premiers trimestres dans la zone Sherbro. Les poissons entrent alors dans cette zone, les effectifs y sont de ce fait importants au cours du deuxième trimestre. Puis à l'issue de ces deuxième trimestres, les bilans migratoires de la zone Sherbro deviennent largement négatifs, alors qu'au même moment

ceux du Sénégal Sud sont positifs. Les bilans migratoires estimés en fin de deuxième trimestre atteignent en effet près de 20% de la population totale, pour les groupes d'âge adultes notamment. Les albacores quittent alors massivement la zone Sherbro à ce moment, pour se diriger vers le nord dans la zone Sénégal Sud. Les bilans migratoires sont également positifs à l'issue du deuxième trimestre dans la zone Sénégal Nord. Les albacores quittent ensuite les deux zones du Sénégal à l'issue du troisième trimestre, les bilans migratoires des quatrième trimestres étant pratiquement nuls.

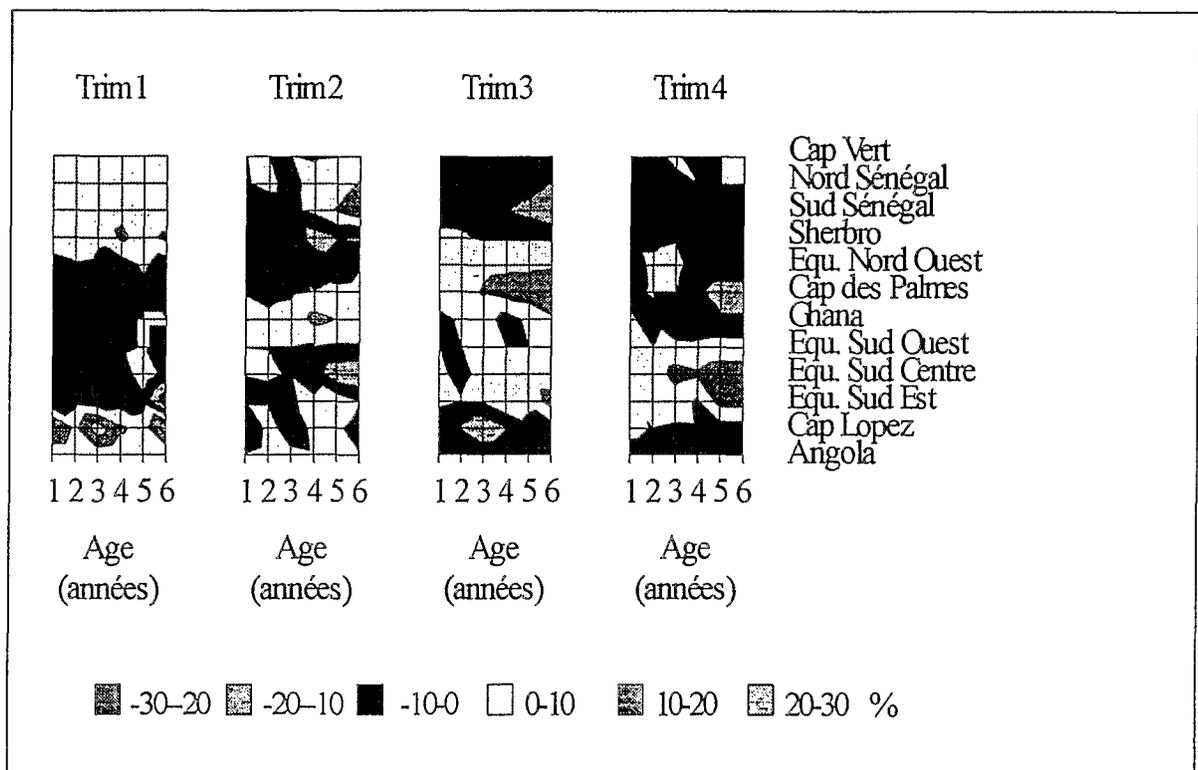


Figure II.7 : Bilans migratoires moyens (période 1980-1990) de l'albacore, en pourcentage par rapport à l'effectif total de chaque âge, par âge trimestriel et par zone, dans l'Atlantique Tropical Est.

On met donc clairement en évidence un flux important de poissons du sud vers le nord le long de la côte ouest africaine, débutant le premier trimestre de chaque année dans la zone Sherbro, et se poursuivant jusqu'au Sénégal au cours et à l'issue du deuxième trimestre. Le mouvement inverse du nord vers le sud commence à la fin du troisième trimestre, et s'arrête au cours du quatrième. Ce mouvement est directement parallèle avec la remontée des isothermes (Fig. I.3) devant la presqu'île du Cap Vert, reliée à l'affaiblissement des vents Alizés et de l'upwelling côtier (voir Première Partie). Ces migrations importantes d'albacores sont donc

directement en relation avec la remontée estivales d'eaux chaudes équatoriales. Dans la zone Sherbro, les bilans migratoires sont proportionnellement plus importants chez les juvéniles que chez les adultes, à l'inverse des zones Sénégal Nord et Sud.

La variabilité saisonnière observée dans la répartition des effectifs par zone pour chaque âge se retrouve pour les bilans migratoires. Ainsi, lorsque les bilans migratoires sont très fortement positifs dans une zone à l'issue d'un trimestre, on trouve des effectifs très importants dans cette zone le trimestre suivant. C'est le cas dans la zone du Cap des Palmes, où les bilans migratoires sont largement positifs les deuxièmes trimestres, et négatifs à l'issue des troisièmes trimestres. Dans cette zone particulière, il y a peu de différence entre les groupes d'âges en ce qui concerne la saisonnalité. Par contre, dans cette zone les bilans migratoires deviennent plus importants lorsque l'âge augmente. Les flux de poissons apparaissent ainsi beaucoup plus intenses pour les groupes d'âge adultes. Ceci est également vrai dans les zones les plus septentrionales (Sénégal Sud et Sherbro). Les différences entre groupes d'âges apparaissent de manière moins nettes dans la zone Cap Lopez. Les bilans migratoires sont toujours importants : ils sont largement positifs (premiers trimestres) et négatifs (deuxièmes trimestres), quel que soient les groupes d'âge (jusqu'à 25% de la population totale aux âges 1, 9 et 21). Dans les zones équatoriales (Equateur Sud Centre et Sud Est), les bilans migratoires sont plus importants chez les adultes et les pré-adultes en début de maturité, laissant apparaître des mouvements intenses pour les individus de grande taille. Enfin, un décalage d'un trimestre existe entre les deux zones limitrophes du Cap Lopez et de l'Equateur Sud Est. Il est vraisemblable que les échanges entre ces deux zones soient particulièrement intenses.

III.3.2. Listao.

Les bilans migratoires du listao présentent une saisonnalité remarquable dans les zones où les effectifs sont les plus abondants (Sénégal Sud, Cap des Palmes, Equateur Nord Ouest et Cap Lopez). Comme nous l'avons vu plus haut dans la distribution des effectifs, le Sénégal Sud et le Cap Lopez d'une part, le Cap des Palmes et l'Equateur Nord Ouest d'autre part, présentent globalement des saisons opposées (Fig. II.8). Dans les zones nord et sud, les bilans migratoires sont largement positifs les premiers ou seconds trimestres, et négatifs les troisièmes et quatrièmes trimestres (pour le Sénégal Sud) ou les deuxièmes et troisièmes trimestres (Cap Lopez). Par contre dans les zones centrales, les bilans migratoires sont négatifs en début d'année (premier trimestre). La migration cyclique des listaos des zones centrales l'hiver vers les zones nord et sud l'été se confirme ici. On note également que les bilans migratoires augmentent avec l'âge des individus dans les zones de latitudes les plus élevées (Sud Sénégal et Cap Lopez), les mouvements d'adultes étant nettement plus importants. Par contre, aucune

différence nette ne semble exister entre groupes d'âge dans les zones centrales du Cap des Palmes et de l'Equateur Nord Ouest.

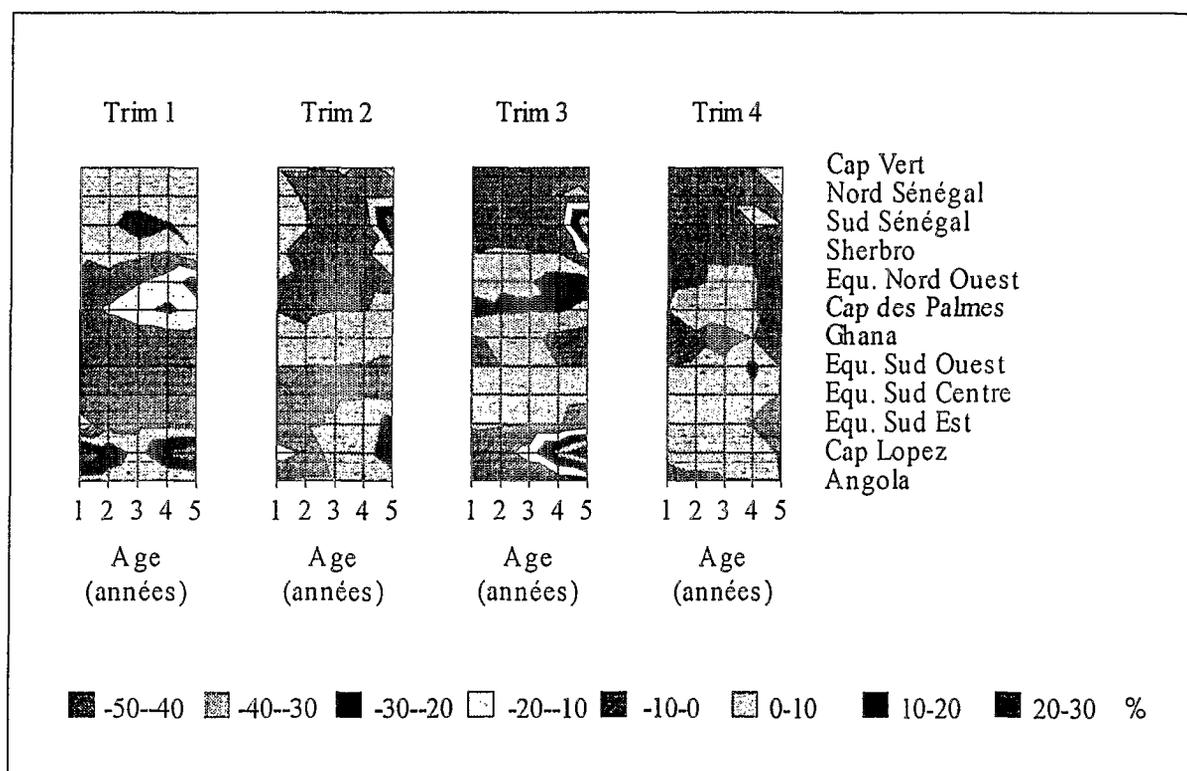


Figure II.8 : Bilans migratoires moyens (période 1980-1990) du listao, en pourcentage par rapport à l'effectif total de chaque âge, par âge trimestriel et par zone, dans l'Atlantique Tropical Est.

Dans les autres zones, la saisonnalité des bilans migratoires est moins nette. Les bilans migratoires observés dans la zone Nord Sénégal sont toujours très faibles, mais à coup sûr également sous-estimés, comme nous l'avons déjà évoqué précédemment, pour des raisons inhérentes à la méthode. Dans la zone Ghana, les bilans migratoires sont positifs les deuxièmes trimestres, pratiquement nuls les troisièmes et négatifs les quatrièmes. Ces bilans migratoires ne sont toutefois jamais très importants. Il est vraisemblable que des listaos, en nombre limité, séjournent à tout moment dans cette zone, à l'instar des albacores. Enfin, à l'issue du quatrième trimestre, des bilans migratoires positifs importants (près de 15% de la population totale) sont mis en évidence dans la zone Equateur Sud Ouest pour les listaos adultes (âge annuel 5 et plus). La présence, même en faible quantité, de listaos de grande taille au premier trimestre dans une zone très hauturière est assez surprenante. Peut-être sommes-nous ici en présence

d'une fraction d'individus ayant émigré des pêcheries situées au nord du Brésil qui exploitent ces gros individus.

Enfin, les bilans migratoires estimés pour la zone Angola sont toujours très faibles, et presque nuls pour les adultes. Sans doute est-ce ici une des limites de la méthode qui repose sur les statistiques de pêche des senneurs. Cette zone n'est en effet aujourd'hui pratiquement plus exploitée, alors que des prises importantes de listaos y ont été réalisées lors de la période historique (avant 1975). Les mouvements de listaos entre les zones Angola et Cap Lopez notamment, sont donc vraisemblablement ici sous-estimés.

III.4. TYPOLOGIE DES ZONES.

III.4.1. Bilans migratoires trimestriels moyens par zone.

* Fin du premier trimestre.

Chez les juvéniles d'albacores (individus de moins de 2 ans), les bilans migratoires moyens sur la période 1980-1990 présentent à l'issue du premier trimestre une forte opposition entre les zones situées les plus au nord et au sud et les zones centrales de l'Atlantique Est (Fig. II.9). Ils sont en effet positifs dans les zones Sherbro et Sud Sénégal au nord, Cap Lopez au sud, et négatifs dans les zones Equateur Nord Ouest, Cap des Palmes, Ghana et Equateur Sud Est. Toutefois, les bilans migratoires sont beaucoup plus importants en valeur absolue dans les zones sud qu'au nord. En effet, si dans les deux cas les bilans migratoires positifs correspondent globalement à des entrées de poissons, ces bilans migratoires estimés dans les zones Sud Sénégal et Sherbro à l'issue du premier trimestre sont relativement faibles, alors que ceux estimés dans la zone Cap Lopez représentent près de 20% des albacores juvéniles totaux. On a donc entrée massive des juvéniles dans la zone du Cap Lopez, qui est la principale zone de nourricerie dans l'Atlantique Est (voir Première Partie). A l'issue du premier trimestre de chaque année, on assiste ainsi à deux flux apparents d'albacores juvéniles, selon des directions opposées. Le premier, d'intensité faible, suit un axe sud-est / nord-ouest le long des côtes ouest africaines, les juvéniles quittant les zones du Cap des Palmes et de l'Equateur Nord Ouest pour gagner le Sénégal, en transitant par la zone Sherbro. La deuxième, beaucoup plus importante, suit au contraire un axe nord-ouest / sud-est, du Ghana et surtout de l'Equateur Sud Est vers le Cap Lopez.

On retrouve ce deuxième axe encore plus nettement chez les juvéniles de listaos (Fig. II.9), les bilans migratoires de la zone Cap Lopez correspondant à presque 30% de la

population totale de juvéniles, alors que le flux nord-ouest, s'il semble exister effectivement, reste très faible, en tout état de cause moins important que chez l'albacore.

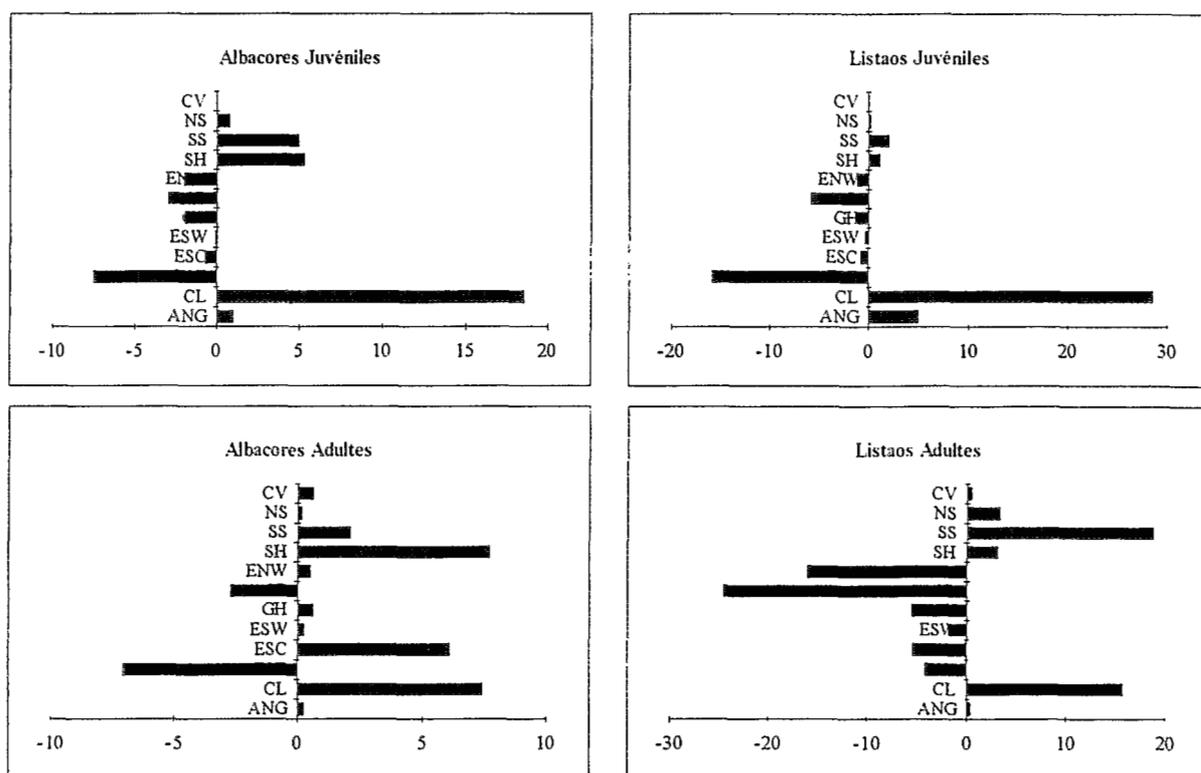


Figure II.9 : Bilans migratoires moyens (période 1980-1990) de l'albacore et du listao par groupe d'âge (en pourcentage des effectifs totaux de l'Atlantique Tropical Est), à la fin du premier trimestre.

Des schémas de migration globalement similaires à l'issue du premier trimestre sont observés chez les adultes, tant de l'albacore que du listao. Des différences importantes apparaissent toutefois. Chez l'albacore, on observe un rééquilibrage entre les zones nord et sud. Ainsi, les bilans migratoires des juvéniles étaient beaucoup plus importants dans la zone du Cap Lopez que dans celles du Sénégal et Sherbro, montrant des flux de juvéniles très intenses vers le fond du Golfe de Guinée. Au contraire chez les adultes, les bilans migratoires sont plus importants au nord que dans la zone Cap Lopez. Les adultes d'albacores se dirigent donc davantage vers les zones nord que vers le fond du Golfe de Guinée. Le même phénomène se retrouve chez le listao, de manière encore plus nette : les bilans migratoires les plus importants, donc les flux de poissons les plus intenses, se situent dans la zone Sénégal Sud (20%). Si la destination des poissons semble identique pour les deux espèces à l'âge adulte, leur origine est néanmoins différente. En effet, pour l'albacore, les bilans migratoires des adultes sont ainsi fortement négatifs, contrairement à ce qu'ils étaient aux âges juvéniles, dans les zones équatoriales du large (Equateur Sud Centre et Sud Est notamment). Ces bilans migratoires

sont également très largement négatifs dans la zone Cap des Palmes. Les albacores adultes, qui étaient dans les zones du large, de part et d'autre de l'équateur, au cours du premier trimestre, quittent ainsi ces zones à l'issue de ce trimestre, pour se diriger essentiellement vers le nord-ouest. Par contre, pour les listaos adultes, les bilans migratoires sont très largement négatifs pour les deux zones Cap des Palmes et Equateur Nord Ouest (groupées sous l'appellation Libéria), et relativement plus faibles dans les zones équatoriales. Le départ des flux de listaos adultes vers le nord se situe donc ici dans les zones Libéria, plus côtières.

* Fin du deuxième trimestre.

Pour les albacores juvéniles, les bilans migratoires deviennent négatifs dans les zones Sud Sénégal, Sherbro et Cap Lopez (Fig. II.10). Dans les zones équatoriales, ils sont pratiquement nuls, et dans les deux zones Ghana et Angola ils sont positifs. Il est donc possible que l'on ait un retour des juvéniles, dès la fin du deuxième trimestre, vers la zone Ghana. Ces poissons viendraient essentiellement des zones Sherbro et Sud Sénégal, en transitant par le Cap

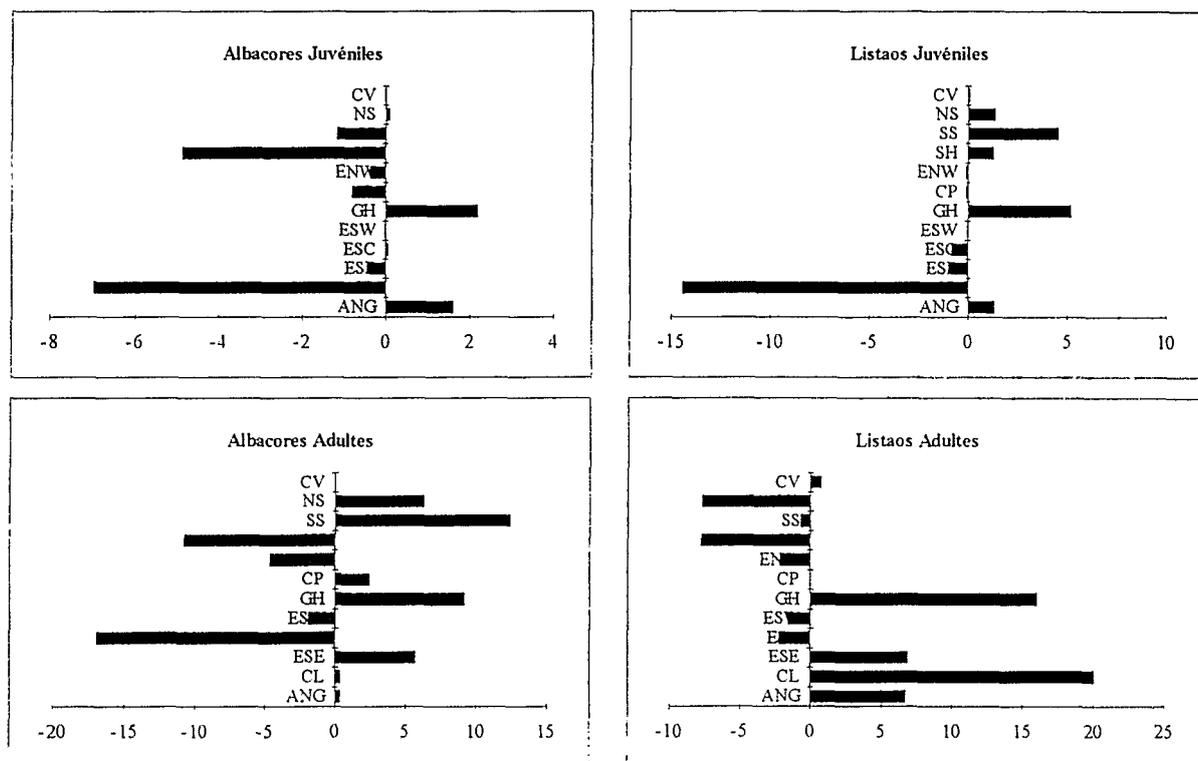


Figure II.10 : Bilans migratoires moyens (période 1980-1990) de l'albacore et du listao par groupe d'âge (en pourcentage des effectifs totaux de l'Atlantique Tropical Est), à la fin du deuxième trimestre.

des Palmes (dont le bilan migratoire légèrement négatif signifierait des entrées et des sorties pratiquement équilibrées), et du Cap Lopez. Certains de ces juvéniles gagneraient également plus au sud les eaux angolaises. Pour les adultes par contre, les bilans migratoires sont toujours positifs dans les deux zones sénégalaises. On a donc bien un flux de poissons vers le nord, en provenance de la zone Sherbro. Des adultes se dirigent également vers le Ghana, venant soit de Sherbro comme les juvéniles, soit de l'Equateur Sud Est. Enfin, on note que les bilans migratoires du Cap Lopez sont pratiquement nuls, contrairement à ceux des juvéniles.

L'opposition entre les bilans migratoires moyens des juvéniles et des adultes est également mise en évidence chez le listao. A l'instar des albacores, pour les deux groupes d'âge, les bilans migratoires moyens dans la zone Ghana sont largement positifs (jusqu'à 15% des effectifs totaux d'adultes). Ceux observés dans les zones équatoriales sont presque nuls, comme ils l'étaient déjà à l'issue du premier trimestre. Ici encore la différence entre les deux groupes d'âge se situe dans les zones nord et sud. Comme pour l'albacore, les bilans migratoires du Cap Lopez sont fortement négatifs pour les juvéniles, mais par contre ils sont ici positifs pour les adultes, comme lors du premier trimestre. Il y aurait donc départ des juvéniles à l'issue du second trimestre, vraisemblablement vers le Ghana, mais arrivée importante d'adultes dans cette zone. Ces poissons entrant dans la zone Cap Lopez sont à l'origine des captures importantes de listaos réalisées dans cette zone au cours du troisième trimestre (Fig. I.31). Au nord enfin, il y a arrivée de juvéniles de listaos dans les deux zones du Sénégal.

* Fin du troisième trimestre.

Il n'y a pas de différence notable, à l'intérieur de chaque zone (Fig. II.11), entre les bilans migratoires moyens estimés de l'albacore et du listao, tant pour les juvéniles que pour les adultes, à l'issue du troisième trimestre. Ainsi, aussi bien pour l'albacore que pour le listao, on assiste globalement en fin de troisième trimestre à un retour des individus des zones nord (Sénégal) et sud (Cap Lopez et Angola), respectivement vers les zones centrales "Libéria" (Equateur Nord Ouest et Cap des Palmes) et l'Equateur Sud Est. Les bilans migratoires moyens sont de ce fait fortement négatifs dans les zones Sénégal Nord et Sud et le Cap Lopez (jusqu'à 33% des effectifs totaux pour les listaos adultes), et très largement positifs dans les deux zones Equateur Nord Ouest et Cap des Palmes. D'autre part, les bilans migratoires de la zone Ghana sont également négatifs pour l'albacore et le listao, à tous les âges: les poissons quittent cette zone à la fin du troisième trimestre vers les zones limitrophes ouest (Cap des Palmes) et sud (Equateur Sud Est). Cette arrivée massive de poissons vers la zone Libéria permet d'alimenter les fortes concentrations plurispécifiques qui seront exploitées dans cette zone au cours du quatrième trimestre.

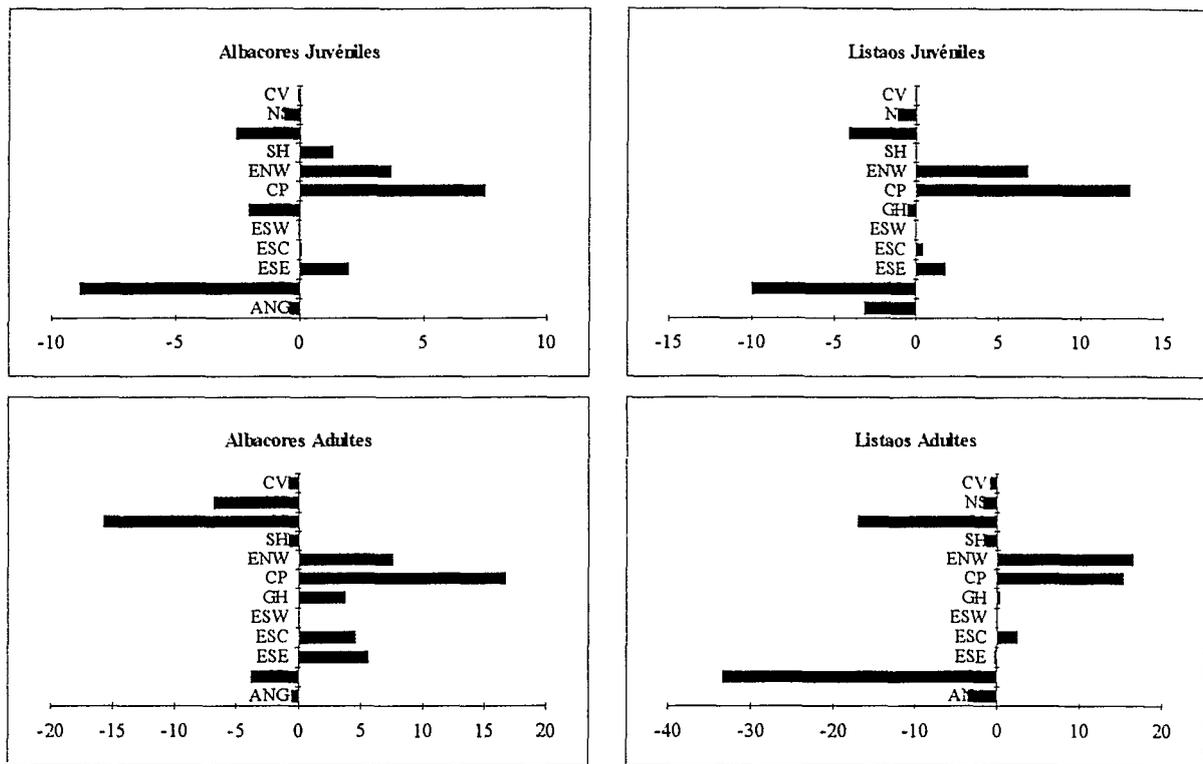


Figure II.11 : Bilans migratoires moyens (période 1980-1990) de l'albacore et du listao par groupe d'âge (en pourcentage des effectifs totaux de l'Atlantique Tropical Est), à la fin du troisième trimestre.

* Fin du quatrième trimestre.

Les bilans migratoires estimés en fin de quatrième trimestre représentent des flux de poissons très réduits pour les juvéniles, aussi bien pour les albacores que pour les listaos. Pour les juvéniles d'albacores, les bilans migratoires moyens sont négatifs dans les zones nord (Sénégal Sud et Sherbro) et "Libéria" (Equateur Nord Ouest et Cap des Palmes), ainsi que dans l'Angola (Fig. II.12). Il semble donc que l'on assiste ici, à l'issue du quatrième trimestre, à la fin du retour des individus des zones nord vers les zones centrales, engagé le trimestre précédent. Par contre, les bilans migratoires sont positifs dans les zones Equateur Sud Centre et surtout Equateur Sud Est, et légèrement dans les eaux du Cap Lopez. Chez les adultes, le schéma est plus simple. Les bilans migratoires moyens observés sont très largement négatifs dans les zones Equateur Nord Ouest, Cap des Palmes et Ghana, et positifs dans les zones équatoriales du large (Equateur Sud Ouest et essentiellement Equateur Sud Centre). Dans les autres zones, ils sont pratiquement nuls. Les flux apparents d'albacores à l'issue du quatrième trimestre, semblent ainsi légèrement différents selon leur âge. Pour les gros albacores adultes, le mouvement général est une convergence vers les zones équatoriales du large, où les individus matures se regroupent dans les grandes concentrations de ponte du premier trimestre.

Les juvéniles se dirigent également vers les zones équatoriales, principalement à partir de la zone Libéria, mais davantage vers le fond du Golfe de Guinée, dans la zone de l'Equateur Sud Est.

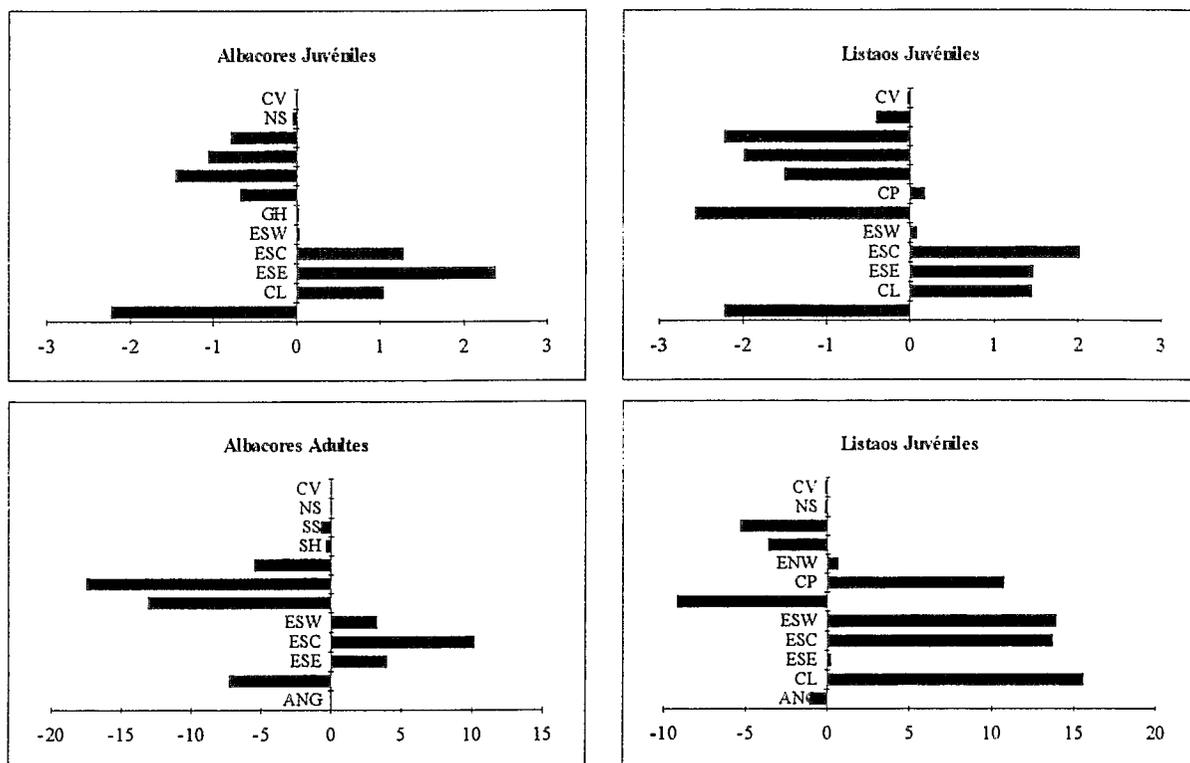


Figure II.12 : Bilans migratoires moyens (période 1980-1990) de l'albacore et du listao par groupe d'âge (en pourcentage des effectifs totaux de l'Atlantique Tropical Est), à la fin du quatrième trimestre.

Les bilans migratoires moyens estimés pour le listao, tant pour les juvéniles que les adultes (Fig. II.11 et II.12) sont globalement semblables à ceux observés chez les albacores à l'issue du quatrième trimestre. Certaines différences existent néanmoins. Ainsi, au niveau du Cap des Palmes et du Cap Lopez, les bilans migratoires sont positifs, contrairement à ceux observés chez l'albacore dans ces zones. Ailleurs, les bilans migratoires moyens sont négatifs dans les zones nord et Equateur Nord Ouest, et positifs dans les zones équatoriales. Il semble donc qu'à la fin du quatrième trimestre, les listaos quittent les zones nord et le Ghana, et se dispersent entre les zones équatoriales, le Cap des Palmes et le Cap Lopez.

III.4.2. Classification des zones.

A partir de l'analyse des bilans migratoires moyens estimés pour chaque espèce et par trimestre, se dégagent des similitudes entre les différentes zones de pêche de l'Atlantique Tropical Oriental. On pourra de ce fait établir une classification de ces différentes zones.

* Zones de latitude élevée.

Nous regrouperons sous cette appellation les trois zones les plus septentrionales, Nord Sénégal, Sud Sénégal et Cap Vert, et les deux zones du Sud Est, Cap Lopez et Angola. Toutes ces zones ont en commun de présenter des bilans migratoires moyens, pour les deux espèces, très largement positifs à l'issue du premier trimestre. Des flux importants de poissons entrent alors dans ces zones, les effectifs (Fig. II.5 et II.6) et les prises (Fig. I.31) y sont importants au cours du second trimestre. A l'issue du second trimestre, les bilans migratoires moyens sont toujours positifs pour le listao dans les zones nord, tandis qu'ils sont proches de 0, soit légèrement négatifs (Sud Sénégal), soit positifs (Cap Vert et Nord Sénégal) pour l'albacore. Une forte entrée de listaos a donc lieu à l'issue du deuxième trimestre. A l'issue du troisième trimestre, les bilans migratoires sont négatifs, dans toutes les zones et pour les deux espèces, ce qui correspond à un départ massif des poissons de ces zones. Les bilans migratoires estimés à la fin du quatrième trimestre sont enfin relativement faibles, en raison d'effectifs réduits.

La pêche est donc fortement saisonnière dans ces zones, et a principalement lieu les deuxième et troisième trimestres. Les thons arrivent massivement dans ces zones à l'issue du premier trimestre, y séjournent les deuxième et troisième, et les quittent progressivement à partir de la fin du quatrième.

* Zones équatoriales.

Les trois zones équatoriales du large, Equateur Sud Ouest, Sud Centre et Sud Est, présentent des bilans migratoires comparables pour les deux espèces et à chaque trimestre. Ainsi dans ces trois zones, les bilans migratoires sont fortement négatifs à l'issue du premier trimestre, indication d'un fort exode de ces zones où les poissons étaient concentrés. Ils sont généralement faibles, voir pratiquement nuls à l'issue des deuxième et troisième trimestres. Ils correspondent ici à des effectifs extrêmement réduits (Fig. II.5 et II.6), il n'y a donc pratiquement pas de flux de poissons dans ces zones au cours des trimestres 2 à 3. A la fin du quatrième trimestre par contre, les bilans migratoires sont fortement positifs. On assiste à ce moment à une arrivée massive d'individus dans les zones équatoriales, principalement des

albacores adultes. Cette arrivée correspond au phénomène de concentration de ponte au cours du premier trimestre.

La zone Equateur Sud Est, également classée ici, est un peu particulière. En effet, les bilans migratoires estimés à l'issue du quatrième trimestre sont dans cette zone relativement plus faibles que dans les deux autres zones. En fait, cette zone est limitrophe de la zone Cap Lopez. Il est donc vraisemblable qu'à l'ouest du méridien de Greenwich (0° à 5° W), les bilans migratoires soient donc similaires à ceux observés dans les deux autres zones équatoriales, tandis qu'à l'est (0° à 5° E) ils soient plutôt proches de 0, comme c'est le cas dans la zone du Cap Lopez.

* Zone "Libéria".

Il s'agit des deux zones Equateur Nord Ouest et Cap des Palmes. Globalement, les bilans migratoires moyens sont fortement négatifs à l'issue du premier trimestre, faiblement négatifs les second et quatrième, et fortement positifs le troisième trimestre. Ce sont des zones intermédiaires entre les zones équatoriales et les zones côtières nord (Sénégal). Les thonidés quittent ces zones les premier et deuxième trimestres, pour se diriger vers le nord, et y reviennent à la fin de l'année, notamment des listaos et des albacores juvéniles. Cette zone Libéria est d'une grande importance pour la pêche thonière de l'Atlantique Centre Est. Il y a deux saisons de pêche distinctes : au premier trimestre sur des concentrations de gros albacores, et au quatrième trimestre, pendant lequel sont exploitées les concentrations plurispécifiques de listaos et d'albacores juvéniles (Fonteneau, 1991d et 1994).

* Autres zones.

Deux autres zones n'entrent pas dans les catégories précédentes. Il s'agit d'une part de la zone Sherbro, et d'autre part du Ghana.

La zone Sherbro est une zone de transition entre les zones Sénégal Sud au nord et Libéria au sud. De ce fait, elle présente des bilans migratoires moyens intermédiaires par rapport à ceux de ces deux zones. A la fin du premier trimestre, les bilans migratoires y sont largement positifs, comme dans les zones nord. Les individus, des deux espèces et pour tous les âges, transitent donc par cette zone, en provenance des zones équatoriales et du Libéria, vers le nord. Au deuxième trimestre par contre, les bilans migratoires sont négatifs. Tous les poissons qui restaient dans cette zone au cours du deuxième trimestre gagnent alors les zones les plus nord: c'est le cas en particulier pour le listao. A la fin du troisième trimestre, les bilans migratoires sont relativement faibles. Ils sont ici intermédiaires entre les bilans migratoires

négatifs du Sénégal Sud et inversement positifs du Libéria. Il est probable que l'on ait alors des bilans migratoires faibles, non pas à cause d'une absence de migration dans cette zone, mais plutôt à cause de flux intenses, s'équilibrant entre les entrées au nord en provenance du Sénégal Sud et les sorties au sud vers l'Equateur Nord Ouest et le Cap des Palmes. A l'issue du quatrième trimestre enfin, les bilans migratoires restent relativement faibles. On peut penser qu'ils correspondent dans ce cas à des flux faibles, les populations présentes alors dans la zone Sherbro étant réduites (Fig. II.5 et II.6).

La zone Ghana est une zone centrale, dans laquelle les bilans migratoires moyens sont toujours relativement plus faibles que dans les zones limitrophes (Cap des Palmes à l'ouest, Cap Lopez à l'est et Equateur Sud Est au sud). Cette zone est la seule à ne pas présenter de fluctuation saisonnière marquée. Les conditions hydro-climatiques, notamment la température de l'eau (Fig. I.3), sont favorables à la présence de thonidés toute l'année, ce que l'on avait également vu plus haut dans l'analyse des effectifs par zones. Pour les autres trimestres, les bilans migratoires moyens, tous âges confondus, sont toujours très faibles, proches de 0. Il semble que les échanges entre cette zone et les zones limitrophes soient intenses et permanents, ce qui explique ces bilans faibles (entrées et sorties équivalentes). L'analyse des recaptures de listaos marqués dans cette zone au cours du programme de recherches de l'année internationale du listao permet de confirmer cette hypothèse d'échanges intenses (Cayré *et al.*, 1986). On peut raisonnablement penser que ces émigrations et immigrations de listaos dans la zone Ghana peuvent également s'appliquer aux juvéniles d'albacores, ces deux espèces étant le plus souvent mélangées dans des bancs plurispécifiques. Pour les albacores adultes enfin, on observe un départ important de poissons vers la zone Equateur Sud Est (Fig. II.13), lié à la formation des concentrations génétiques du premier trimestre.

III.5. DISCUSSION ET CONCLUSION : SCHEMA DE REPARTITION ET MIGRATIONS SAISONNIERES.

L'analyse des bilans migratoires par trimestre et par zone permet de mettre en évidence des flux saisonniers de poissons entre les différentes zones. Ces mouvements apparaissent encore plus nettement à l'examen synthétique des bilans migratoires pour l'ensemble des zones de pêche de l'Atlantique Tropical Oriental (Fig. II.13 pour l'albacore et Fig. II.14 pour le listao, Tabl. II.3).

	1er Trimestre		2e Trimestre		3e Trimestre		4e Trimestre	
	Alba- core	Listao	Alba- core	Listao	Alba- core	Listao	Alba- core	Listao
Cap Vert	0.4	0.4	-0.1	0.3	-0.3	-0.6	0.0	-0.1
Nord Sénégal	1.3	2.5	0.1	-2.7	-1.6	-1.2	0.0	-0.1
Sud Sénégal	6.5	14.2	0.3	-0.2	-5.8	-11.6	-0.9	-1.8
Sherbro	5.3	2.4	-7.0	-2.7	-0.7	-0.9	-0.5	-1.2
Equ. N.W.	-2.8	-12.0	-1.7	-0.7	7.7	11.2	0.4	0.2
Cap des Palmes	-7.4	-18.4	-0.6	0.0	12.2	10.4	-2.9	3.6
Ghana	-1.6	-4.1	6.5	5.6	2.3	0.3	-9.5	-3.1
Equ. S.W.	-0.6	-1.3	-0.3	-0.6	0.0	0.0	3.3	4.7
Equ. S.C.	-3.6	-4.1	-2.7	-0.8	1.5	1.7	13.1	4.6
Equ. S.E.	-6.3	-3.1	0.4	2.4	3.2	-0.2	3.1	0.1
Cap Lopez	20.1	11.8	-1.8	7.0	-15.6	-22.3	-1.5	5.3
Angola	2.3	0.3	1.2	2.4	-2.2	-2.4	-0.7	-0.4

Tableau II.3 : Bilans migratoires moyens (période 1980-1990) de l'albacore et du listao, tous âges confondus, en pourcentage des effectifs totaux.

Au cours du premier trimestre, l'essentiel des effectifs d'albacores adultes se trouve dans les zones du large, de part et d'autre de l'équateur (Equateur Nord Ouest, Cap des Palmes, Equateur Sud Ouest, Sud Centre et Sud Est). Il s'agit des grandes concentrations liées à la période de reproduction. Les juvéniles, ainsi que les listaos, sont pendant cette période dispersés dans les eaux plus côtières de l'Equateur Nord Ouest, du Cap des Palmes et du Ghana. A la fin du premier trimestre, les concentrations des zones du large se dispersent. Les poissons entreprennent leur migration, qui peut prendre deux directions opposées : soit ils remontent vers le nord (près de 15% des effectifs totaux pénètrent dans les zones Sherbro et du Sénégal), soit ils se dirigent vers le sud - est (20% des effectifs totaux entrent dans la zone du Cap Lopez) (Fig. II.15). Cette migration va se poursuivre tout au long du deuxième trimestre et diminuer au cours du troisième. Au deuxième trimestre, la population totale de d'Atlantique Centre Est sera divisée en deux grands groupes : l'un dans les eaux au large du Sénégal (Sherbro, Cap Vert, Sénégal Nord et Sud) et l'autre au large du Cap Lopez. Dans les eaux du Cap Lopez se concentreront surtout des juvéniles d'albacores et des listaos, alors que les gros albacores se dirigeront davantage vers le nord. A la fin du deuxième trimestre, les individus qui étaient au large du Cap Lopez se disperseront d'une part vers l'Angola (surtout des listaos), et d'autre part vers le Ghana. Pendant les deuxième et troisième trimestres, il n'y a pratiquement pas de poissons dans les eaux équatoriales. Il est à noter que cette période correspond à la période de l'upwelling équatorial (voir Première Partie), entraînant des eaux de surface relativement froides, peu propices à la présence de thonidés tropicaux. Au contraire, l'arrêt total de l'upwelling sénégal-mauritanien a lieu lors du troisième trimestre, permettant la remontée des eaux chaudes guinéennes. Il apparaît nettement ici une interrelation entre température de surface et migrations.

A la fin du troisième trimestre, le mouvement inverse s'amorce (Fig. II.15), des zones nord et sud vers les zones centrales. Les bilans migratoires sont en effet négatifs dans les zones nord (départ d'albacores et de listaos, représentant respectivement 8 et 13% des effectifs totaux). Pendant le quatrième trimestre, près de 70% des individus des deux espèces et à tous les âges se concentrent dans les zones centrales, Equateur Nord Ouest, Cap des Palmes et Ghana (Fig. II.5 et II.6), où ils seront exploités, dans la zone Libéria notamment, dans de grandes concentrations plurispécifiques. A la fin du quatrième trimestre enfin, il y a un retour massif des individus vers les zones équatoriales.

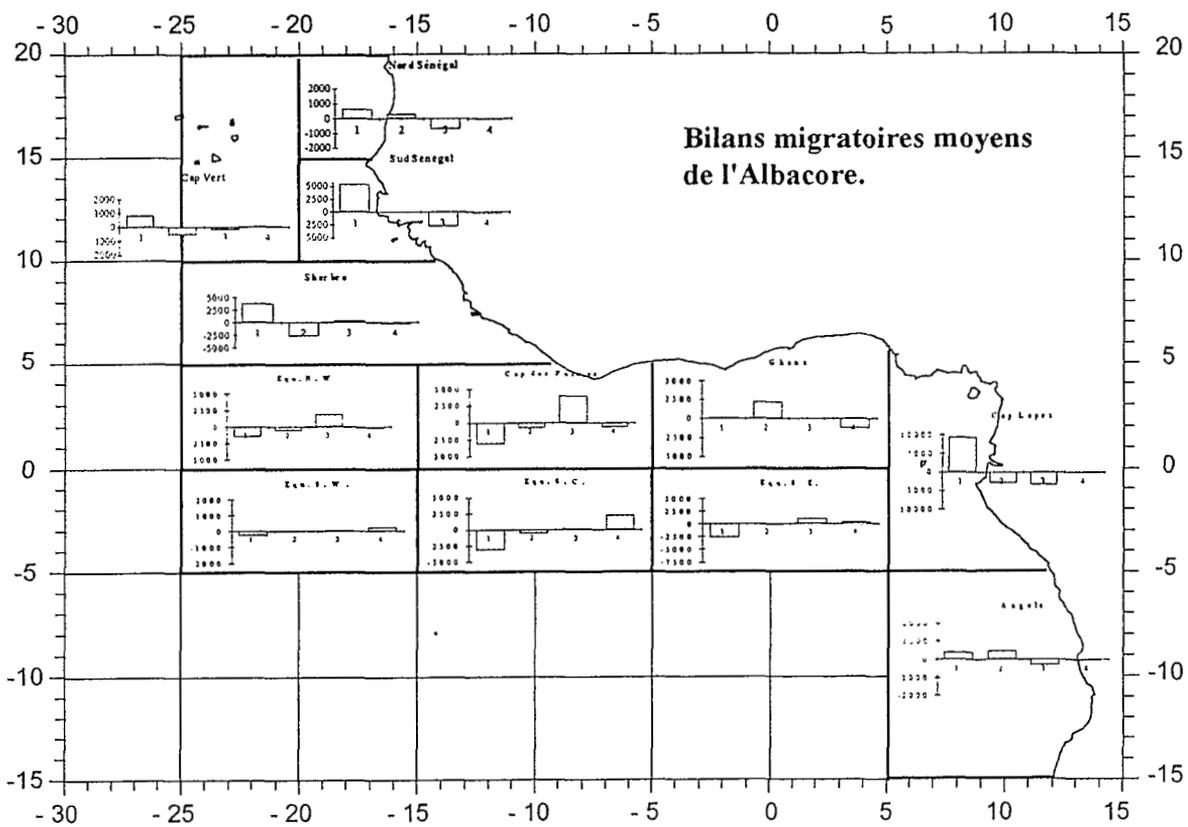


Figure II.13: Bilans migratoires moyens de l'albacore, tous âges confondus, dans différentes zones de l'Atlantique Tropical Oriental.

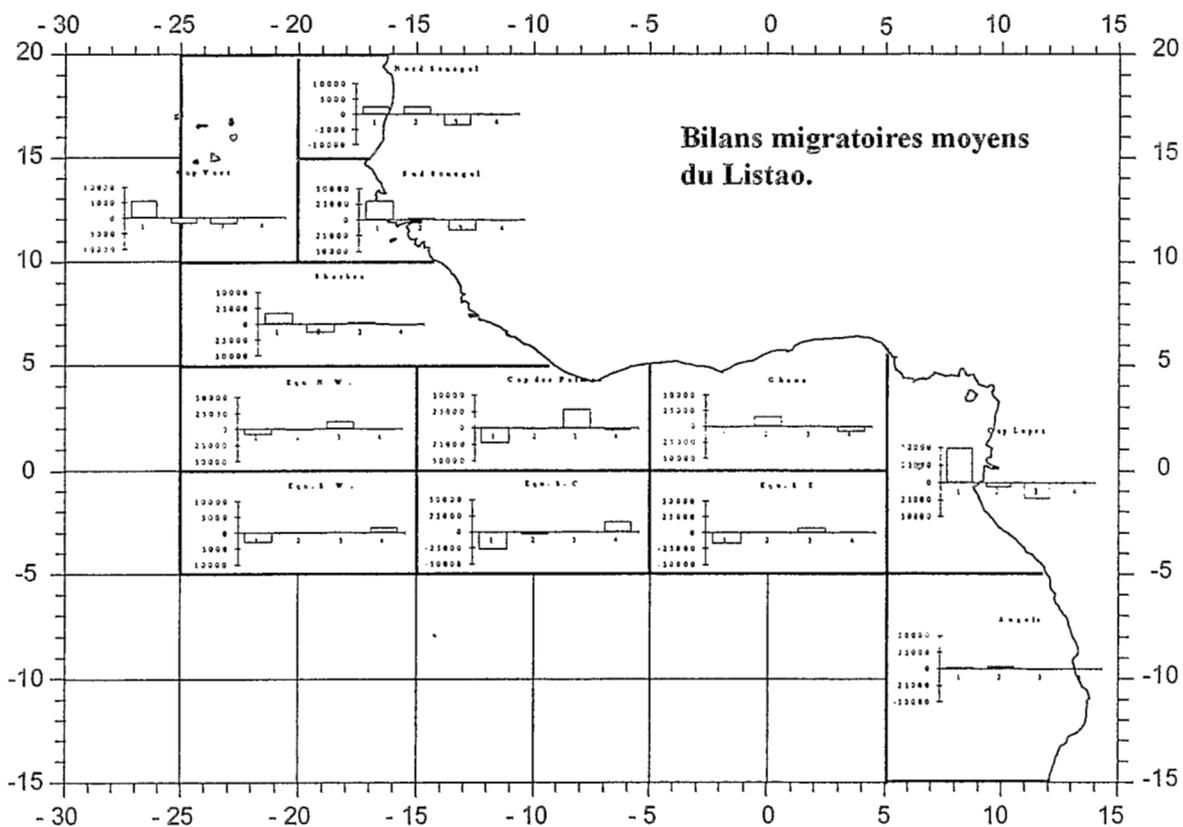


Figure II.14: Bilans migratoires moyens du listao, tous âges confondus, dans différentes zones de l'Atlantique Tropical Oriental.

Ce schéma cyclique des migrations déduit de l'examen des bilans migratoires moyens et des effectifs par zone permet de préciser le schéma qualitatif de Bard *et al.* (1988), en le complétant par des estimations des flux de poissons entre zones, par groupes d'âge et par trimestre. Ces estimations ne constituent toutefois qu'une étape, dans l'optique de la mise au point d'un modèle spatialisé des migrations des thonidés tropicaux de l'Atlantique. On peut également noter en conclusion que ce schéma de migration n'est pas clos : en effet, la somme des bilans migratoires moyens estimés est toujours différente de 0. Il est donc probable qu'il y ait à tout moment des entrées et des sorties de poissons hors de l'Atlantique Tropical Est. C'est ce que nous verrons par la suite pour l'albacore.

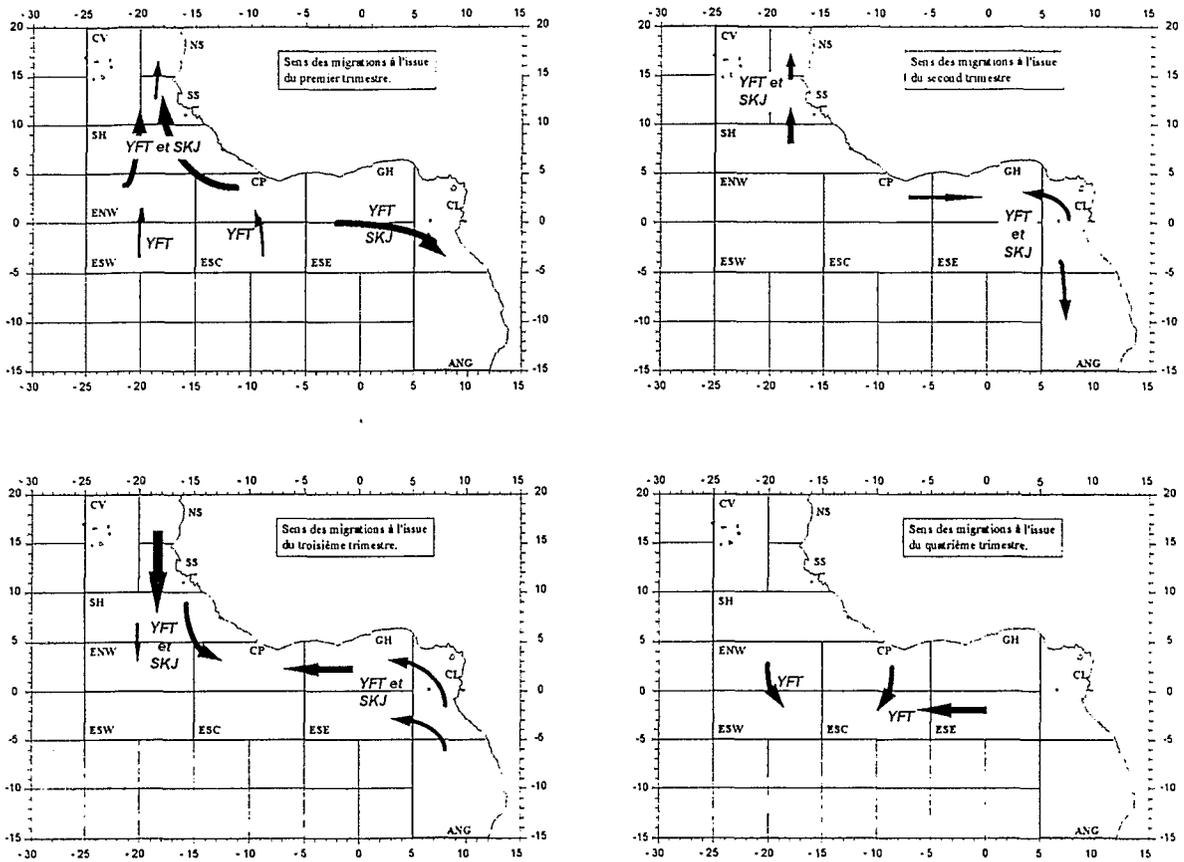


Figure II.15 : Schémas de migration de l'albacore (YFT) et du listao (SKJ) dans l'Atlantique Tropical Oriental.

IV. LES BILANS DE MIGRATION DE L'ALBACORE ENTRE ATLANTIQUE EST ET ATLANTIQUE OUEST.

IV.1. LES EFFECTIFS PAR AGE DES POPULATIONS SOUS-JACENTES EST ET OUEST.

Les effectifs par âge des populations sous-jacentes dans l'Atlantique est et ouest sont calculés, comme nous l'avons vu plus haut, au prorata des coefficients de capturabilité q (Annexe B, Tabl. B.7). Ces coefficients de capturabilité, basés sur les efforts de pêche des flottilles de senneurs, varient en fonction de l'âge (Fig. II.16 et Fig. II.17). Dans l'Atlantique est, chaque année les coefficients q sont relativement faibles pour les juvéniles (âge trimestriel 1 à 8) et les pré-adultes (âges 9 à 14), puis ils deviennent très élevés pour les âges adultes (âge 17 à 24) avec deux pics très marqués pour les âges 17 et 21 ⁽³⁾. Par contre dans l'Atlantique ouest, les variations de la capturabilité en fonction de l'âge suivent une courbe en forme de dôme (Fig. II.17), avec des capturabilités maximales entre les âges trimestriels 7 à 12 (juvéniles et pré-adultes). Les coefficients q pour les premiers âges juvéniles (inférieurs à l'âge 4 trimestres) sont pratiquement nuls. Après l'âge 12, les coefficients q baissent régulièrement dans l'ouest. Ils deviennent très faibles pour les âges adultes, pendant qu'ils atteignent leurs valeurs maximales dans l'Atlantique est.

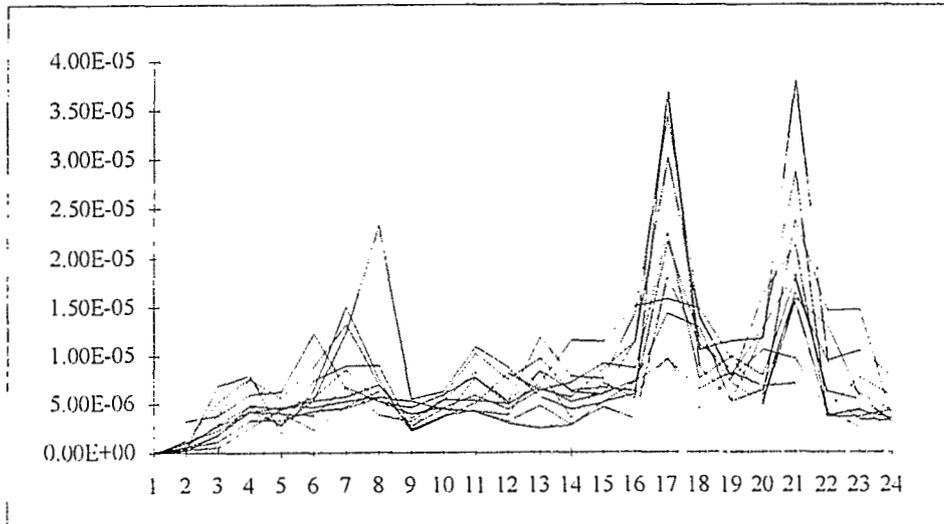


Figure II.16 : Coefficients de capturabilité q par âge trimestriel de l'albacore, calculés à partir des efforts de pêche et des taux instantanés de mortalité par pêche F des senneurs dans l'Atlantique Tropical Est (années 1980 à 1990).

⁽³⁾ Les âges 17 et 21 correspondent au premier trimestre de l'année. C'est au cours de ce trimestre notamment que se forment les grandes concentrations d'albacores adultes dans les zones équatoriales de l'Atlantique est, liées à la ponte (voir Première Partie), pendant lesquelles ils sont particulièrement vulnérables aux engins de pêche.

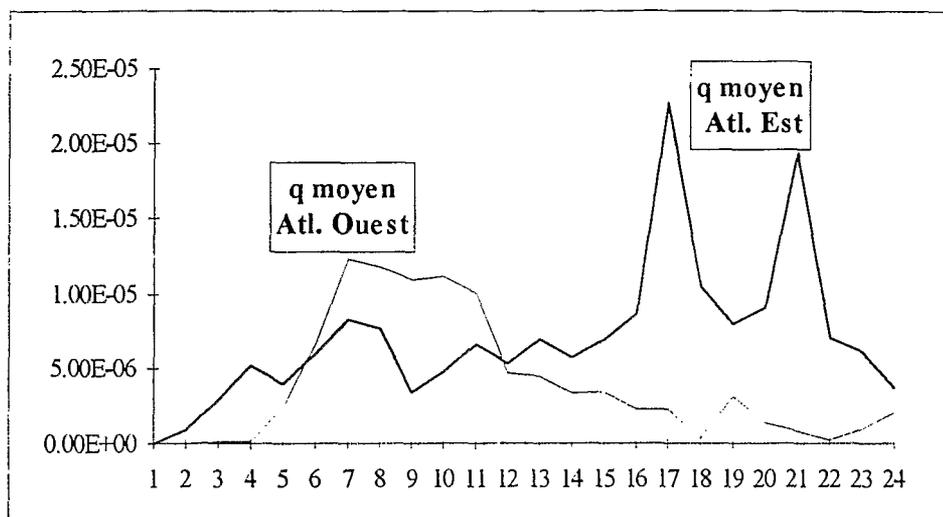


Figure II.17 : Coefficients de capturabilité moyens par âge de l'albacore (périodes 1980-1990 dans l'Atlantique Est et 1986-1991 dans l'Atlantique Ouest). Ces coefficients q sont calculés à partir des efforts des senneurs toutes nationalités confondues à l'est, et des senneurs vénézuéliens à l'ouest.

La population d'albacores se répartit donc dans l'océan Atlantique, en fonction de l'âge, selon le schéma suivant (Fig. II.18) :

L'essentiel du recrutement a lieu dans l'Atlantique est, où les juvéniles séjournent lors de leur première année. Puis ils quittent progressivement les zones de l'est, pour rejoindre l'Atlantique Ouest au cours de leur deuxième ou troisième année (fin de la période juvénile et début de la période pré-adulte). Il y aurait donc migration, dès l'âge juvénile, des zones de recrutement de l'Atlantique Est vers les zones trophiques de l'ouest. L'hypothèse de l'existence de telles migrations avait déjà été avancée par Bard *et al.* (1987) après récupérations (bien que douteuses) par des senneurs vénézuéliens de deux albacores juvéniles marqués dans l'Atlantique est. A l'âge trimestriel 8, plus de 70% de la population se trouve ainsi dans les zones de l'Atlantique ouest. Plusieurs points restent toutefois discutables en ce qui concerne les juvéniles. La répartition entre Atlantique est et ouest des juvéniles de moins d'un an est incertaine. Premièrement, parce que les individus d'âge 1 et 2 trimestres ne sont pas encore totalement recrutés dans la pêcherie (individus de moins de 1 kg), les coefficients de capturabilité calculés pour ces deux âges ne sont de ce fait pas valides. Ensuite, parce qu'il existerait au moins une autre zone de reproduction secondaire, encore mal connue, au nord du Brésil ou dans le Golfe du Mexique (voir Première Partie) et qui pourrait directement alimenter la pêcherie ouest en nouvelles recrues. Enfin, parce que les jeunes albacores ne sont pas particulièrement recherchés par les flottilles de senneurs, en raison d'une part de leur prix de vente

relativement faible (Fonteneau, 1991) et d'autre part de leur présence dans des bancs plurispécifiques (en mélange avec des listaos et des jeunes patudos). Si les échanges entre Atlantique est et ouest apparaissent dorénavant réels et non négligeables dès l'âge juvénile, les inconnues quant à leur intensité, leur direction et leur période demeurent importantes. Il semble évident que certaines réponses ne pourront être apportées que par les résultats de campagnes de marquages intensifs, malheureusement lourdes à mettre en oeuvre et très coûteuses.

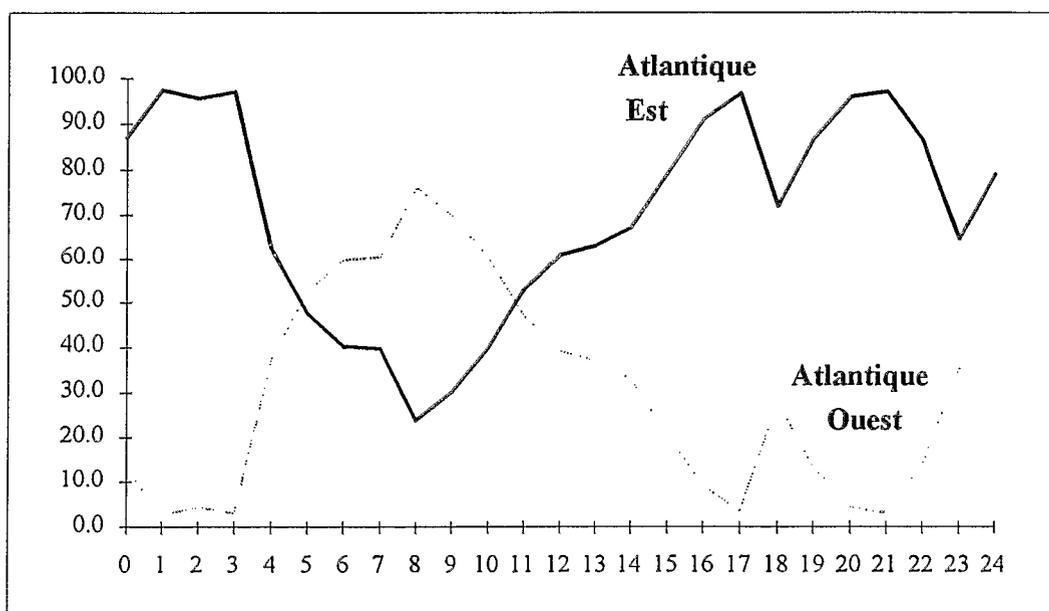


Figure II.18: Variabilité des effectifs par âge trimestriel des populations sous-jacentes est et ouest, en pourcentage des effectifs totaux d'albacores dans l'océan Atlantique.

A partir de l'âge trimestriel 8 (2 ans), la population résidente de l'Atlantique ouest diminue régulièrement. Vers la fin de la troisième année, les albacores pré-adultes semblent équitablement répartis entre les deux façades de l'Atlantique. Ce n'est qu'à partir de l'âge trimestriel 12 que la population présente dans l'Atlantique est augmente fortement, jusqu'à l'âge trimestriel 17. A cet âge, la presque totalité de la population serait présente dans l'Atlantique est (près de 95%). Mais les albacores adultes ne séjournent pas longtemps dans cette zone : ils quittent ensuite l'Atlantique Est dès les trimestres suivants (âges 18 à 20), probablement vers les zones centrales de l'Atlantique, mais peut-être également rejoignent-ils à nouveau les zones de l'Atlantique ouest. Le même cycle se renouvelle pour les albacores adultes d'âge 5+ : un retour massif s'effectue

vers les zones de ponte à l'est à l'âge 21, zones qu'ils quittent ensuite dès le trimestre suivant.

Un biais potentiel majeur de la méthode apparaît ici, bien qu'il soit en l'état actuel incontournable. Les deux sous-populations est et ouest sont estimées au prorata des coefficients de capturabilité. Or, ces coefficients sont calculés à l'est pour l'ensemble des pêcheries de senneurs, toutes nationalités confondues, et qui exploitent toute la zone. Par contre à l'ouest ces coefficients de capturabilité ne sont calculés que pour la flottille de senneurs vénézuéliens (il s'agit de la seule pêcherie industrielle de surface importante de thons tropicaux dans l'Atlantique ouest). Cette pêcherie est géographiquement très limitée (Fig. II.19). La sous-population ouest estimée ne correspond donc en fait qu'à la population réellement présente dans cette pêcherie, c'est-à-dire le long des côtes vénézuéliennes. Cela n'exclut pas que des albacores, notamment au stade pré-adulte, puissent se trouver dans d'autres zones de l'Atlantique ouest, et en particulier le long des côtes nord-américaines. En fait, on sait que des albacores y séjournent. En effet, il existe aux Etats-Unis une pêcherie palangrière qui exploite des albacores, dont les tailles varient entre 100 et 140 cm (pré-adultes et jeunes adultes), le long des côtes nord-est américaines et dans le Golfe du Mexique (Browder *et al.*, 1991; Browder et Scott, 1992). D'autre part, tous les albacores qui ont effectué une migration transatlantique est-ouest (Première Partie, Fig. I.12) ont été marqués à cet endroit par des pêcheurs sportifs américains (Bard et Scott, 1991; Bard et Hervé, 1994). De plus, la majorité de ces albacores marqués étaient des individus pré-adultes de 2 à 3 ans (Bard et Scott, *op. cit.*), âge à partir duquel les albacores quittent la pêcherie vénézuélienne (Fig. II.18). Si d'après cette figure II.18 on peut penser que les albacores, dès le stade pré-adulte, commencent à regagner les zones de l'Atlantique est, il est plus probable que dans la réalité le départ de ces individus pré-adultes des côtes vénézuéliennes s'effectue vers le Golfe du Mexique et les côtes nord-américaines, où ils séjournent, durant leur troisième et quatrième année. Ils regagneront ensuite l'Atlantique est, suivant un trajet encore inconnu. Il est probable toutefois que le retour vers l'Atlantique est se fasse directement par les zones du large, puisqu'aucune recapture d'albacore marqué aux Etats-Unis n'a été réalisée dans les eaux vénézuéliennes. Ici encore, l'intensification des marquages pourrait apporter des confirmations sur ce schéma théorique.

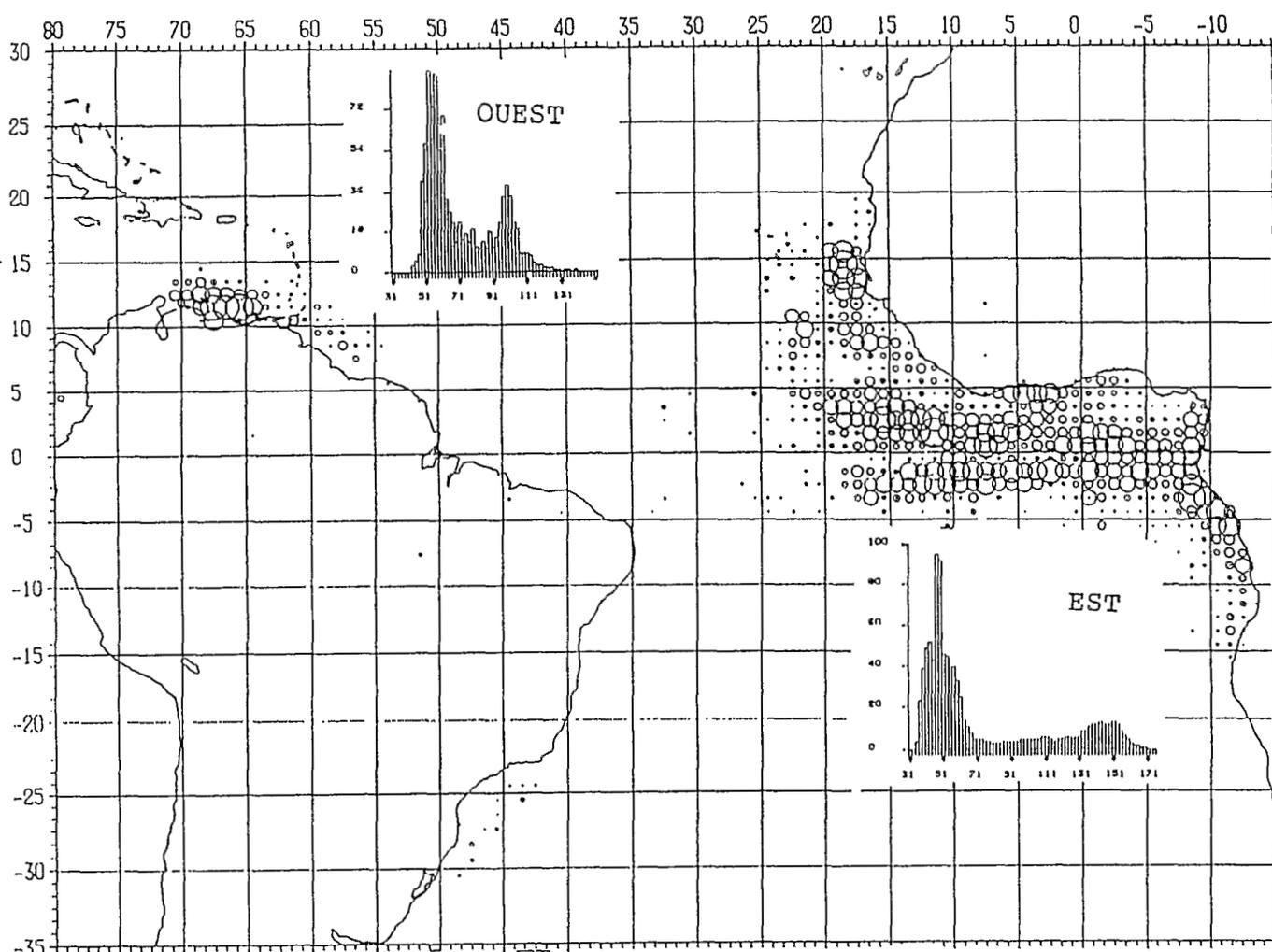


Figure II.19: Prises moyennes d'albacore par carré de 1° par les flottilles de senneurs durant la période 1983 à 1986 et distributions moyennes des tailles capturées par pêcherie (en nombre pour mille) (d'après Diouf, 1991).

IV.2. LES TAUX DE MIGRATION MOYENS PAR AGE.

Les estimations des taux de migration est-ouest sont obtenus en comparant les effectifs par âge de la cohorte moyenne calculée à partir de l'analyse des cohortes, avec ceux de la cohorte calculée à partir de l'équation (13), dans laquelle le coefficient q est considéré constant avec l'âge (absence de migration). Les estimations dépendent donc du choix du coefficient de capturabilité. La figure II.17 montre bien les variations de ce coefficient de capturabilité q_a en fonction de l'âge de l'albacore. La démarche adoptée ici consiste à considérer que ces variations sont dues en totalité à des changements de disponibilité, en liaison avec la migration est-ouest des albacores. Par hypothèse, il faut donc retenir comme coefficient q constant, pour

l'équation (13), la valeur de capturabilité q_a correspondant au moment où tous les poissons sont présents, et donc la valeur maximale. C'est-à-dire ici la valeur de q obtenue pour l'âge 17 (notée q_{17} par la suite). Toutefois, cette valeur de q est vraisemblablement surestimée, de même que le coefficient de capturabilité de l'âge 21 (notée q_{21}). Les âges 17 et 21 correspondent en fait au premier trimestre de l'année, trimestre au cours duquel les flottilles de senneurs exercent un effort intense dans les zones du large où se concentrent les adultes en période de ponte. Ces albacores adultes concentrés lors de la ponte sont particulièrement vulnérables à la senne. Le coefficient q est de ce fait structurellement plus élevé au premier trimestre. D'autre part, la détermination exacte de l'âge est plus aléatoire chez les individus âgés (mélange des modes dus à la croissance différentielle de chaque individu). Il est donc probable que des adultes d'âges trimestriels différents pêchés au cours de la même période soient regroupés, de manière erronée, dans la même classe d'âge. Ainsi, on utilise également dans le calcul de la cohorte théorique totale une valeur de q moyenne sur les âges adultes (entre les âges 17 et 24 trimestres) notée q_{17-24} . Un autre raisonnement conduit à utiliser une valeur de q moyenne sur l'ensemble des âges, exceptés les âges inférieurs à 4 trimestres (les âges 1 et 2 ne sont de fait pas encore recrutés, les individus d'âge trimestriel 3 sont en cours de recrutement) notée q_{4-24} . On considère cette fois que ce coefficient q moyen correspond à une population moyenne dans l'Atlantique Est ; un coefficient supérieur traduira des arrivées et un coefficient inférieur des départs vers l'Atlantique ouest.

A partir de ces différentes valeurs du coefficient de capturabilité sont déterminées les populations théoriques totales. On obtient ainsi, par comparaison avec la cohorte moyenne, les bilans migratoires moyens entre Atlantique est et ouest, pour chaque âge de l'albacore, ainsi que les taux de migration α (Tabl. II.4).

Les valeurs des taux de migration est-ouest varient en fonction de l'âge de l'albacore. Les courbes obtenues (Fig. II.20) sont parallèles à la courbe de variation du coefficient de capturabilité moyen.

Lorsque l'on choisit comme valeur de q constant la valeur maximale de q_a (soit q_{17}), ces taux de migration α sont toujours largement négatifs quelque soit l'âge, excepté aux âges 17 et 21 pour lesquels les taux α sont proche de 0. On aurait ainsi, à tout âge, un déficit d'albacores dans l'Atlantique est. Ce déficit pourrait correspondre, soit à une forte population non accessible aux pêcheries (absente de la zone ou cryptique), soit à un départ constant d'individus à tout âge. Si l'on se réfère à l'état des connaissances sur la biologie des thonidés majeurs et sur les pêcheries les exploitant (voir Première Partie), cette hypothèse paraît peu vraisemblable. Les coefficients de capturabilité très élevés observés aux âges 17 et 21 sont ainsi certainement fortement surestimés, pour les raisons déjà évoquées plus haut.

Age	Populations théoriques totales			Bilans migratoires est-ouest			Taux de migration est-ouest		
	q17	q17-24	q4-24	q17	q17-24	q4-24	q17	q17-24	q4-24
0	66140	66140	66140	0	0	0	0	0	0
1	51217	55614	57064	-8726	-4328	-2879	-15	-8	-5
2	37122	43030	45061	-11686	-5778	-3747	-24	-16	-9
3	29904	34861	36571	-9142	-4184	-2474	-24	-14	-7
4	24233	28058	29372	-6165	-2341	-1027	-20	-10	-4
5	18228	21493	22628	-5148	-1883	-748	-23	-10	-3
6	14477	16781	17573	-3426	-1122	-330	-22	-8	-2
7	10968	12787	13414	-2421	-603	25	-24	-5	0
8	8310	9622	10072	-1591	-280	171	-25	-3	2
9	6242	7360	7748	-1458	-341	48	-29	-5	1
10	5013	5811	6085	-1251	-453	-179	-34	-9	-3
11	4035	4703	4934	-970	-301	-70	-30	-7	-1
12	3265	3781	3958	-722	-206	-29	-28	-6	-1
13	2513	2964	3120	-645	-195	-38	-24	-8	-1
14	2056	2384	2496	-441	-113	-1	-24	-6	0
15	1608	1875	1967	-376	-109	-17	-25	-7	-1
16	1295	1499	1569	-255	-51	19	-20	-4	1
17	977	1152	1213	-133	42	103	-12	4	9
18	723	838	877	-34	81	121	-5	11	14
19	487	568	596	-87	-7	21	-17	-1	4
20	375	434	454	-66	-7	13	-16	-2	3
21	278	328	345	-4	46	63	-2	16	19
22	184	213	223	-15	14	24	-9	8	11
23	128	149	157	-28	-6	1	-21	-5	1
24	102	118	123	-23	-7	-2	-25	-7	-1

Tableau II.4: Populations théoriques totales, bilans et taux de migration α est-ouest en fonction des différentes hypothèses sur la valeur du coefficient de capturabilité q (valeurs moyennes sur la période 1980-1990).

Les courbes de variation des taux de migration obtenues à partir des populations théoriques totales calculées à l'aide d'un coefficient de capturabilité moyen sur plusieurs classes d'âge (moyenne des âges 17 à 24 ou des âges 4 à 24) suivent également l'allure générale de la courbe de variation du coefficient de capturabilité moyen en fonction de l'âge. Elles sont par contre nettement décalées vers le haut (Fig. II.20).

Les taux de migration α présentent en définitive une forte sensibilité au coefficient de capturabilité introduit initialement. Cette sensibilité à q intervient dans le calcul de la cohorte théorique estimée : si le coefficient q choisit augmente de +10%, la population présente à chaque âge sera en moyenne inférieure de -1,1% (Tabl. II.5). Cette sensibilité se retrouve alors

dans l'estimation des taux de migration α (Fig. II.21). Plus le coefficient de capturabilité q est élevé, plus les taux α présenteront des valeurs négatives.

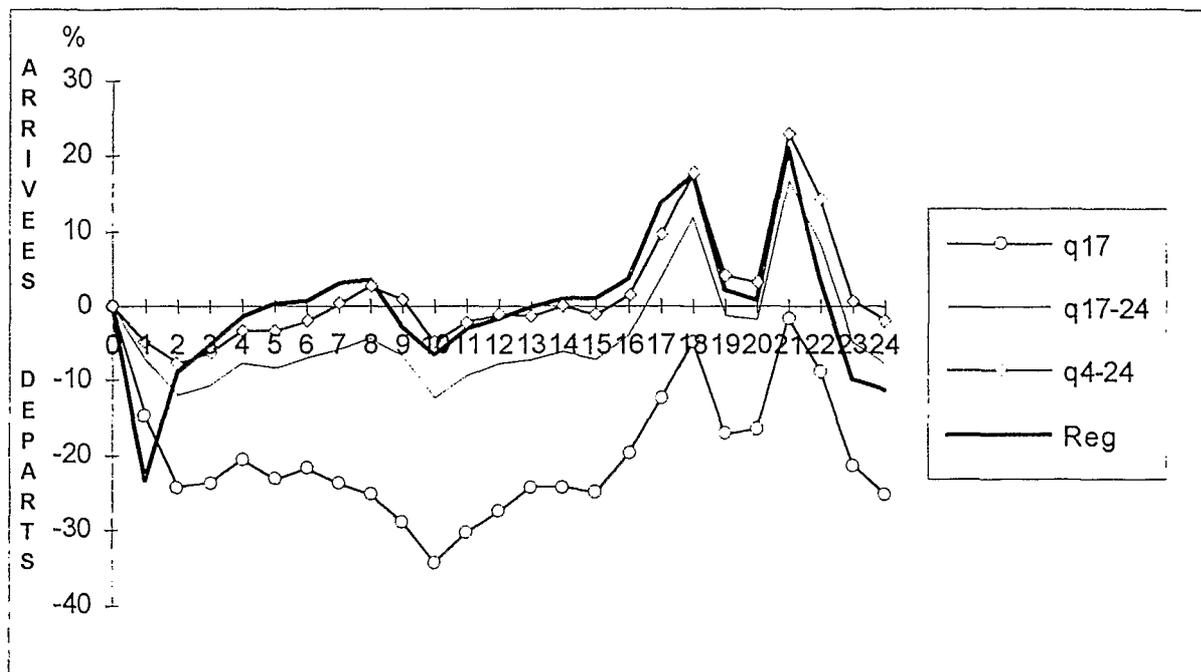


Figure II.20: Variations du taux de migration α de l'albacore en fonction de l'âge entre l'Atlantique est et l'Atlantique ouest, en pourcentage des effectifs de la fraction du stock présente dans l'Atlantique est.

Q3-24	Variabilité observée (%)	
	+10	+50
Variation moyenne de la cohorte calculée (en nombre d'individus)	-1,1	-5,6

Tableau II.5: Sensibilité du nombre d'individus à chaque âge de la cohorte calculée aux variations du coefficient de capturabilité q utilisé.

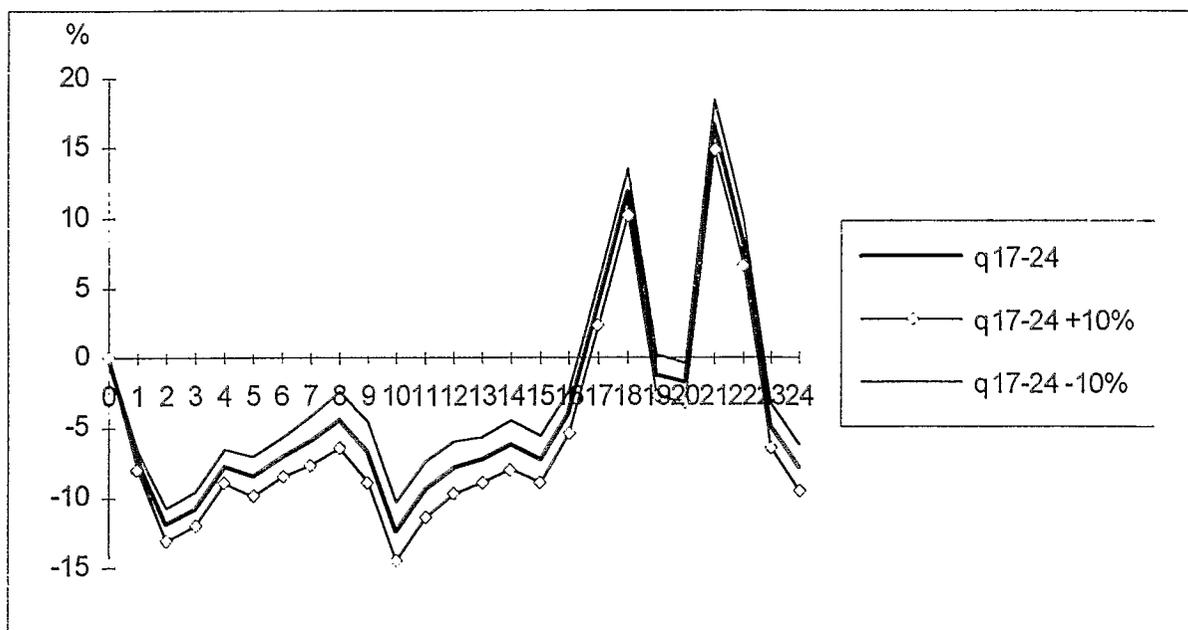


Figure II.21: Sensibilité du taux de migration α au coefficient de capturabilité q .

Les taux de migration estimés par la méthode régressive à partir de la cohorte moyenne issue de la VPA (Fig. II.22) présentent globalement des variations similaires à celles observées précédemment (Fig. II.20). Les valeurs obtenues sont faibles (5 à 15%), à l'instar des taux de migrations calculés à partir de q_{4-24} . Les taux α obtenus pour les âges 1 à 3 ne sont pas valides, puisque ces poissons ne sont pas encore recrutés dans les pêcheries. Les valeurs pour les âges trimestriels 3 à 15, comme celles obtenues à partir de q_{4-24} , ne sont toutefois pas satisfaisantes. On a vu précédemment, en s'appuyant sur les effectifs par âge des sous-populations est et ouest, que les migrations d'albacores de l'Atlantique est vers l'ouest débutent significativement dès le stade juvénile, et continuent pendant le stade pré-adulte. Il est donc peu vraisemblable que l'on ait des bilans de migrations est-ouest positifs au cours de ces périodes. Les meilleurs résultats correspondent alors aux taux de migrations α calculés à partir du coefficient de capturabilité moyen sur les âges adultes (q_{17-24}). C'est cette valeur de q moyen que nous conserverons par la suite.

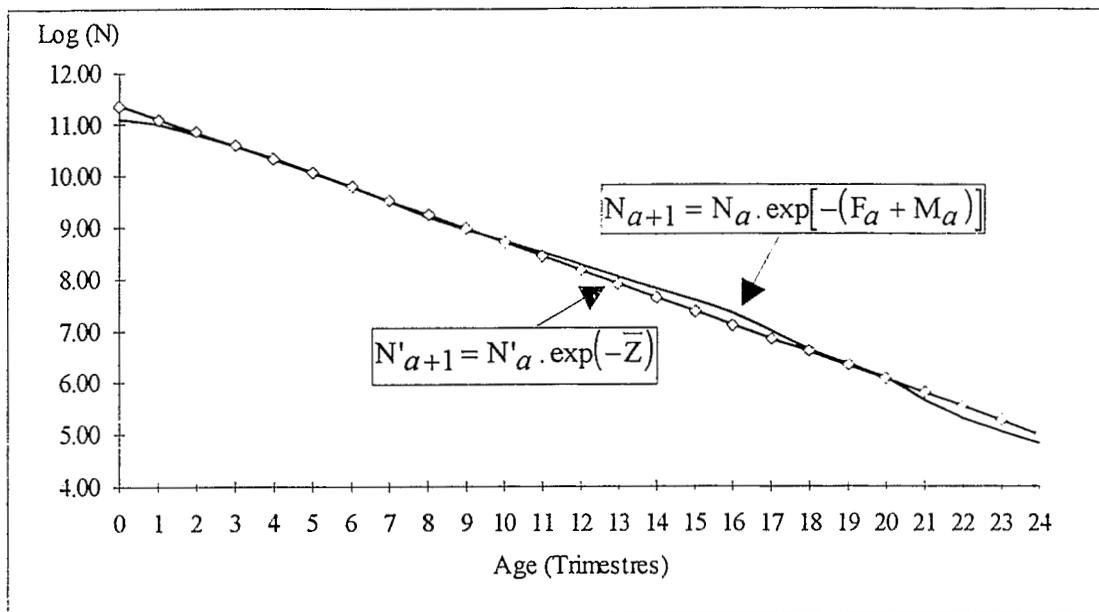


Figure II.22 : Décroissance numérique de la cohorte moyenne en fonction de l'âge et ajustement d'une droite de régression de pente Z.

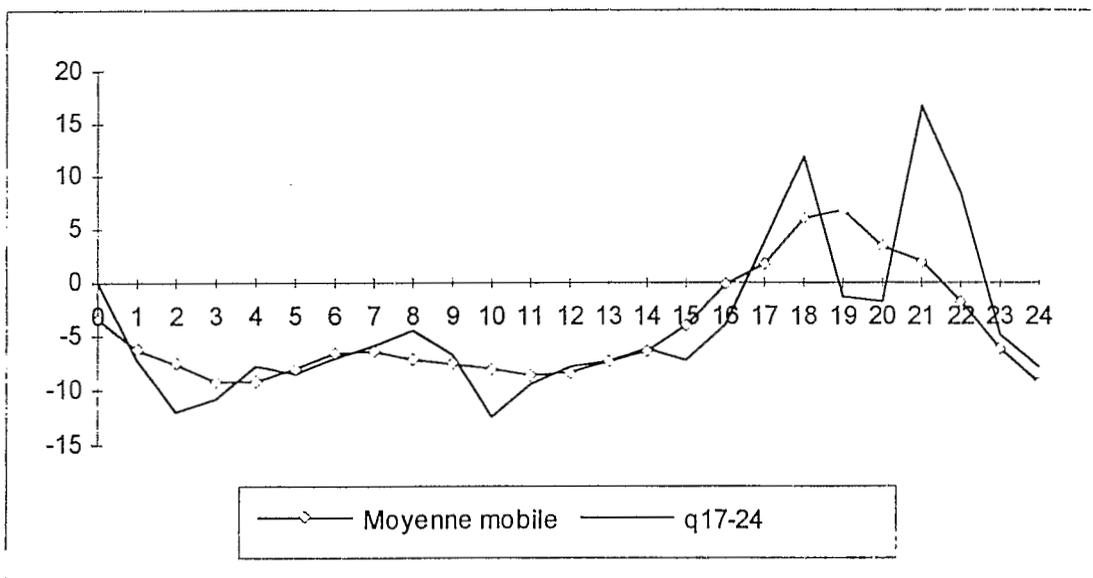


Figure II.23 : Taux de migration α est-ouest de l'albacore atlantique et moyenne mobile sur 5 périodes.

La courbe de variation des taux de migration α estimés à partir des populations théoriques totales calculées avec ce coefficient moyen (q_{17-24}) suit également l'allure générale de la courbe de variation des coefficients de capturabilité moyens en fonction de l'âge. Elle présente des parties positives, correspondant à des arrivées d'albacores dans l'Atlantique est, et à des parties négatives, correspondant *a contrario* à des départs vers l'Atlantique ouest. Pour

les juvéniles de moins de 2 ans (âges trimestriels 1 à 8), le taux de migration α est toujours négatif, entre 3 et 16% (Fig. II.23). Pour les individus d'âge trimestriel 3 ou 4, il ne s'agit sans doute pas d'un départ vers l'ouest. Ce sont en effet des individus, nés dans l'Atlantique est et en phase de post-recrutement, qui entrent progressivement dans les pêcheries. Les coefficients de capturabilité sont faibles pour ces âges (Fig. II.17), et augmentent régulièrement jusqu'à l'âge 4, à partir duquel les albacores sont pleinement exploités dans la pêcherie. Les captures d'individus de moins d'un an sont d'ailleurs très faibles (Annexe B, Tabl. B.7) ⁽⁴⁾. Les taux de migration α sont négatifs pour les juvéniles de 2 ans (âges trimestriels 5 à 8). Cette période correspond, comme nous l'avons vu dans la première partie, à la période pendant laquelle les juvéniles demeurent dans les zones de nourricerie du Golfe de Guinée. Mais dès cet âge, une partie de la population (de 5 à 9% par trimestre, soit 25 à 30% par an) quitte la zone est de l'Atlantique, pour rejoindre l'Atlantique ouest, amorçant la migration est-ouest. Ces résultats sont en concordance avec l'évolution des effectifs des populations sous-jacentes est et ouest (Fig. II.18) : l'augmentation relative en pourcentage des effectifs de la fraction de stock ouest est importante au cours de cette deuxième année. Les taux de migration restent négatifs pendant toute la période pré-adulte des albacores (troisième et quatrième année). La migration transocéanique se poursuit ainsi pendant toute cette période. La majorité des albacores pré-adultes est donc absente de l'Atlantique est. Mais on ne retrouve pas cette conclusion lorsque l'on observe la courbe des populations sous-jacentes est et ouest (Fig. II.18). Le problème de l'utilisation des coefficients de capturabilité calculés à partir des efforts des senneurs vénézuéliens dans l'ouest se vérifie ici. La chute de ces coefficients q dans la pêcherie vénézuélienne pour les pré-adultes de 4 ans (Fig. II.17), combinée à des taux de migrations négatifs observés dans l'Atlantique est, donne davantage de poids à l'hypothèse de la présence de ces individus dans d'autres zones de l'Atlantique, le Golfe du Mexique et le long des côtes nord-est des Etats-Unis. A l'âge 17, le taux α devient brusquement fortement positif, signifiant une arrivée massive d'individus dans l'Atlantique est. Ces arrivées de poissons décroissent rapidement dès les trimestres suivants, pendant lesquels les taux de migration redeviennent légèrement négatifs. Puis un deuxième pic apparaît à l'âge 21, signifiant de nouveau un retour massif vers l'Atlantique est. On a ici clairement une migration génétique, les deux âges 17 et 21 correspondant au premier trimestre de l'année, période pendant laquelle les grands albacores adultes se concentrent dans les zones de ponte, où ils deviennent particulièrement vulnérables aux engins de pêche. Aux troisième et quatrième trimestres de l'année, les albacores adultes en post-ponte quittent les zones centrales du Golfe de Guinée: ils rejoignent l'Atlantique central et sans doute également l'Atlantique ouest, ce que l'on supposait à la vue des populations sous-jacentes est et ouest (Fig. II.18). On retrouve ici par la méthode d'estimation des bilans de migration est - ouest les mêmes conclusions que précédemment par l'étude des deux fractions

⁽⁴⁾ Les senneurs ne recherchent pas spécifiquement les individus de petites tailles, qui se concentrent dans des bancs plurispécifiques et dont les prix de vente sont toujours relativement bas.

de stock est et ouest. Ces résultats rejoignent aussi les conclusions de Honma et Hisada (1971).

IV.3. CONCLUSION.

L'analyse des taux de migration entre Atlantique Est et Ouest, ainsi que les effectifs relatifs des deux fractions de stocks, confirme les hypothèses émises lors du groupe de travail de Ténériffe, quant au schéma de migration de l'albacore dans l'océan Atlantique. La plupart des juvéniles nés dans l'est y séjourne au cours des deux premières années. Mais dès la deuxième année, une partie de la population (près de 25%) entreprend la migration vers l'ouest, qui se poursuit durant toute la période pré-adulte (années 3 et 4, âges trimestriels 8 à 15). A l'instar des autres thons (thon rouge et patudo), cette migration est sans doute le reflet d'une dispersion visant à occuper tout l'espace écologiquement favorable. L'essentiel des départs vers l'ouest a lieu au cours des deuxième et troisième années. Les albacores gagnent alors l'Atlantique ouest, le long des côtes vénézuéliennes d'abord, puis les côtes nord-américaines. Les retours vers les zones de ponte des régions centrales du Golfe de Guinée commencent dès la quatrième année, et atteignent leur intensité maximale lors des premiers trimestres de la cinquième et de la sixième année. Au cours des deuxième et troisième trimestres de l'année, il est vraisemblable qu'une partie des albacores adultes retournent ensuite vers l'Atlantique central ou ouest.

V. LIMITES DE LA METHODE ET CONCLUSION.

Les estimations des bilans migratoires entre zones de pêche de l'Atlantique Tropical Oriental que nous avons obtenues plus haut sont très dépendantes de la période de temps choisie au départ. Il est bien évident que le choix d'un pas de temps relativement grand comme le trimestre, imposé ici rappelons-le par les données disponibles à l'ICCAT d'une part et par l'ajustement de l'analyse des cohortes d'autre part, relève d'une simplification non négligeable. Les mouvements de thonidés entre zones ont lieu bien entendu de manière continue tout au long de l'année. Il est ainsi vraisemblable qu'au cours d'un même trimestre, il y ait des fluctuations importantes des migrations, tant dans leur direction que dans leur intensité, en fonction des variations ponctuelles de l'hydro-climat notamment. C'est un phénomène classique devant les côtes sénégalaises lors de la remontée des eaux chaudes guinéennes d'avril à juin. L'avantage du choix d'un pas de temps grand est d'obtenir en fin de compte un schéma global représentatif de l'ensemble des années. Toutefois, le compromis idéal dans le choix d'un pas de temps serait peut-être d'utiliser le mois. Cela nécessiterait de disposer des statistiques détaillées

pour les deux flottilles française et espagnole. D'autre part, il faudrait alors redéfinir la matrice par âge des captures nécessaire à l'ajustement de l'analyse des cohortes. Intervendraient alors de nouveaux biais dans l'identification précise de l'âge mensuel, à plus forte raison pour les individus âgés.

Une critique du même ordre peut être formulée dans le choix des zones, également de tailles importantes, donc qui peuvent potentiellement être hétérogènes. Les modèles de mouvements par diffusion des thonidés développés actuellement à l'IATTC (Deriso *et al.*, 1993) dans le Pacifique Est utilisent des zones de 2° par 5° de côté, sur une échelle de temps mensuelle. Un tel modèle appliqué dans notre cas serait bien sûr plus fin (mais beaucoup plus délicat à gérer), et permettrait de mieux cerner les micro-phénomènes. Mais l'utilisation de grandes strates spatio-temporelles permettent une bonne compréhension de la dynamique générale des migrations dans l'Atlantique Tropical.

Une autre limite de la méthode réside dans l'utilisation par le modèle des captures et des prises par unité d'effort. Plus l'effort dans une zone est important (prises élevées), meilleure sera l'estimation des bilans migratoires. En effet, dans les zones faiblement exploitées (c'est le cas par exemple des zones nord comme le Cap Vert et le Nord Sénégal, sud comme l'Angola, ou très éloignées des ports comme l'Equateur Sud Ouest), les estimations des populations et des bilans migratoires sont faibles ; mais la fiabilité de ces estimations est également faible. On peut toutefois penser que les flux de poissons y sont néanmoins importants : c'est le cas sans aucun doute dans le Nord Sénégal (fortement exploité par les flottilles de canneurs) et également dans l'Angola (dans laquelle les prises de listaos notamment furent importantes durant la période historique avant 1975).

Malgré ces limites, l'intérêt d'un tel modèle est évident, puisqu'il permet de quantifier les flux de thonidés entre zones, ou tout au moins les bilans d'entrées et sorties, et de confirmer les schémas de migrations qualitatifs existant jusqu'à présent. Le modèle des échanges d'albacores entre Atlantique est et Ouest est également très intéressant. Si ces premiers résultats nécessitent d'être affinés, le modèle montre que les échanges sont réels et importants. Il permet enfin de les quantifier, sous forme de bilans, pour chaque âge.

TROISIEME PARTIE

LES FLUX DE MIGRATION ENTRE ZONES : UNE NOUVELLE APPROCHE PAR INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ADAPTEE AU CAS DU LISTAO.

I. INTRODUCTION.

II. MATERIELS ET METHODES.

III. RESULTATS DES SIMULATIONS.

IV. DISCUSSION.

V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES.

I. INTRODUCTION.

Un modèle d'estimation des bilans migratoires de l'albacore et du listao a été présenté dans la partie précédente. Ces bilans migratoires correspondent à la différence arithmétique entre les entrées et les sorties de poissons dans chaque zone de pêche de l'Atlantique Centre-Est ; ils permettent de préciser, de manière qualitative, les principales migrations de ces espèces au cours de l'année. Par contre, pour décrire et quantifier les migrations, il est nécessaire de connaître les flux réels de poissons, c'est-à-dire de distinguer les entrées et les sorties de chaque zone pour chaque intervalle de temps, en précisant l'origine et la destination des poissons. On passe ainsi de la notion de bilans migratoires à celle de flux de migration, potentiellement beaucoup plus riche d'informations.

Dans l'Océan Pacifique Est, un modèle de quantification des probabilités de mouvement des poissons entre zones a récemment été développé et appliqué à l'albacore (Deriso *et al.*, 1991). Mais l'ajustement de ce modèle à compartiments est une nouvelle fois basé pour partie sur les données de marquage-recapture. Comme cela a déjà été souligné précédemment, les données de marquage-recapture sont à l'heure actuelle très insuffisantes dans l'océan Atlantique Tropical Oriental pour les études sur les migrations, tant pour l'albacore que pour le listao, et aucune campagne de marquages à grande échelle n'est envisagée dans l'immédiat, faute de moyens. Il est donc indispensable de faire appel à d'autres méthodes pour estimer les migrations.

Afin d'estimer les flux théoriques de migration entre zones, tout en faisant abstraction de données de marquage-recapture, une méthode originale faisant appel aux concepts de l'intelligence artificielle est présentée dans cette partie. Un système expert simple, capable de générer de lui-même, à partir de plusieurs estimations des effectifs par zone, des flux de poissons entre différentes zones, est construit. Le modèle permet ainsi d'estimer des flux de poissons qui peuvent avoir lieu, entre zones adjacentes, soit entre deux périodes de temps successives, soit au cours d'une même période.

La méthode proposée est adaptée au cas du listao. L'analyse des estimations des flux de migration obtenues pour cette espèce permettra de valider les schémas globaux de migration présentés dans les parties précédentes.

II. MATERIELS ET METHODES.

II.1. PRINCIPES GENERAUX.

II.1.1. Hypothèses initiales.

Afin de simplifier la mise au point du système expert, nous avons imposé comme hypothèse de base que chacune des zones ne puisse être limitrophe qu'avec au maximum deux autres zones. Les migrations de poissons ne sont donc possibles qu'entre une zone donnée et les deux zones géographiquement situées directement au nord et au sud (ou à l'ouest et à l'est). A cette fin, 5 zones côtières adjacentes de l'Atlantique Tropical Oriental, à l'intérieur desquelles les conditions hydro-climatiques varient de manière relativement homogènes, sont retenues ici (Fig. III.1). Il s'agit des zones Sénégal, Libéria, Ghana, Cap Lopez et Angola.

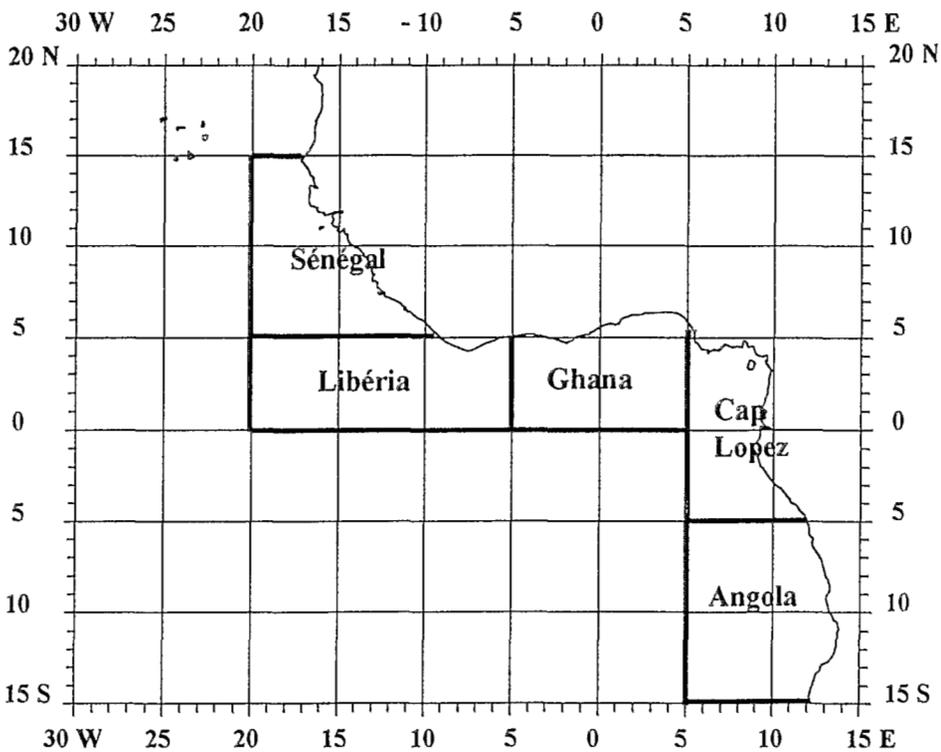


Figure III.1. : Zones de pêche retenues pour l'ajustement des flux de migration du listao.

Elles correspondent globalement aux 5 zones les plus côtières des zones retenues dans le modèle précédent. La zone Sénégal cumule les deux zones Sénégal Sud et Sherbro. La zone Libéria correspond à la moitié de la zone Equateur Nord Ouest cumulée à celle du Cap des

Palmes. Les trois zones Ghana, Cap Lopez et Angola sont identiques à celles définies précédemment.

Par hypothèse, le système est considéré comme fermé, c'est-à-dire d'une part que tous les effectifs à tout âge se répartissent à l'intérieur de ces 5 zones, et d'autre part, qu'il n'existe aucun échange (pas d'entrées ni de sorties) entre ces 5 zones et le reste de l'Atlantique.

Pour rester dans le cadre des hypothèses fixées plus haut, le modèle est appliqué uniquement au listao, espèce plus côtière que l'albacore, et ne présentant pas de migrations transatlantiques. En effet, il est apparu dans les parties précédentes que l'albacore est une espèce qui fréquente régulièrement les zones situées au sud de l'équateur, et qui est donc globalement plus hauturière que le listao. Une application du modèle à une espèce comme l'albacore aurait ainsi imposé de prendre en compte une sixième zone située plus au large (zone équatoriale). Cette zone aurait été limitrophe avec 4 autres zones (Libéria, Ghana, Cap Lopez et Angola). Des échanges de poissons entre toutes les zones auraient donc été possibles. Une telle complexification du système expert est évidemment envisageable par la suite. Toutefois, dans le cas présent, ne sera développé qu'un modèle simple.

Le modèle est appliqué à une cohorte moyenne de listaos. Les captures utilisées pour l'ajustement de ce modèle sont également des captures moyennes, calculées sur la période 1980-1990. Il s'agit des captures, en nombre d'individus et par trimestre, des flottilles de senneurs FIS (France - Côte d'Ivoire - Sénégal) et espagnols. Elles sont issues des bases de données statistiques du CRODT et de l'ICCAT. Enfin, le pas de temps utilisé est le trimestre. On notera dès à présent que le découpage spatio-temporel retenu ici est, comme précédemment dans le modèle d'estimation des bilans migratoires, relativement grand. Il présentera de ce fait les mêmes limites.

II.1.2. Estimations des effectifs totaux de la cohorte moyenne.

Pour chaque zone retenue, les prises moyennes par âge en nombre d'individus sont calculées à partir des captures réelles pour une année moyenne de pêche (période 1980-1990). La clé de correspondance taille et âge utilisée est celle de Bard et Antoine (1986) (Tabl. I.6). Ces captures moyennes par âge et par zone sont indiquées dans le tableau III.1.

Zone	Trimestre	Age 1	Age 2	Age 3	Age 4
Sénégal	1	4	85	33	1
	2	63	2402	602	9
	3	694	1805	255	41
	4	698	613	57	1
Libéria	1	28	2141	662	52
	2	11	105	19	0
	3	0	3	0	0
	4	1309	753	55	2
Ghana	1	61	1117	165	2
	2	141	683	63	8
	3	579	578	43	5
	4	1431	711	72	16
Cap Lopez	1	0	0	0	0
	2	747	1939	147	54
	3	470	1169	196	102
	4	86	25	1	0
Angola	1	0	0	0	0
	2	186	339	8	1
	3	600	511	39	12
	4	88	37	0	0

Tableau III.1 : Captures moyennes de listaos (période 1980-1990) par zone, par trimestre et par âge annuel (en milliers d'individus).

A partir de cette matrice de captures par âge, la population par âge est estimée pour l'ensemble des zones par une analyse des cohortes. Dans le cas présent, l'analyse des cohortes est conduite en mode direct : plusieurs valeurs initiales de recrutement R sont testées. Parmi les valeurs qui conduisent à une solution à l'analyse des cohortes, est retenue par hypothèse la valeur de recrutement qui permet d'obtenir, pour les âges trimestriels les plus exploités, un taux instantané de mortalité par pêche F s'approchant le plus possible du taux de mortalité naturelle M . Cette condition correspond en fait à une situation de stock pleinement exploité (Gulland, 1969). Si l'on se réfère à la dernière évaluation du stock de listao de l'Atlantique Tropical Est réalisée par le Groupe de Travail sur les Thonidés Juvéniles (ICCAT, 1984), il semblerait que cette situation corresponde assez bien au cas de ce stock.

Comme précédemment, le taux instantané de mortalité naturelle M est fixé à 0.8 par an, selon la valeur admise par les différents groupes de travail sur l'évaluation des stocks menés à l'ICCAT (ICCAT, 1984). La condition précédente est alors obtenue pour une valeur de

recrutement R de 120 millions d'individus, pour laquelle l'analyse des cohortes conduit à une estimation du taux F de 0.791 pour l'âge trimestriel 7 (Tabl. III.2).

La population totale par âge est ainsi estimée par analyse des cohortes à partir de ce recrutement (Tabl. III.2). On doit noter qu'en tout état de cause, la valeur initiale du recrutement R introduite dans l'analyse des cohortes est ici d'une importance relativement limitée. D'une part, parce qu'on estimera des valeurs de flux de poissons exprimées en pourcentage de la population totale ; il est ainsi vraisemblable que ces pourcentage sont peu sensibles à la valeur du recrutement R introduite initialement dans l'analyse des cohortes. D'autre part, l'objectif premier recherché dans cette partie n'est pas tant d'aboutir à des estimations proprement dites que de tester une méthode originale pour quantifier des flux de migration. Autrement dit, c'est ici plus la démarche qui importe que la valeur absolue des paramètres utilisés dans les ajustements.

Intervalle de temps (Age en trimestre)	Population initiale (Milliers)	Captures (Milliers)	Coefficient de mortalité par pêche	Coefficient de mortalité naturelle
1	120001	93	0.003	0.2
2	98165	1148	0.052	0.2
3	79334	2344	0.132	0.2
4	62837	3612	0.262	0.2
5	48187	3343	0.318	0.2
6	36436	5468	0.722	0.2
7	24907	4066	0.791	0.2
8	16731	2140	0.607	0.2
9	11770	860	0.336	0.2
10	8861	839	0.441	0.2
11	6498	534	0.380	0.2
12	4839	186	0.173	0.2
13	3794	61	0.072	0.2
14	3051	71	0.104	0.2
15	2434	172	0.324	0.2
16	1837	8	0.019	0.2

Tableau III.2 : Coefficient de mortalité par pêche et population sous-jacente calculés par analyse des cohortes à partir d'un recrutement initial de 120 millions de recrues.

II.1.3. Estimation des effectifs par zone.

Dans chaque zone et pour chaque âge, le modèle permet l'estimation des flux de migration. Cette estimation est obtenue en comparant les valeurs numériques de deux estimations différentes des effectifs par âge et par zone, la première prenant en compte le phénomène des migrations, la seconde non.

* La première estimation des effectifs de la population par âge dans une zone donnée sera appelée par la suite "population théorique". Elle est obtenue à partir de l'effectif total (toutes zones confondues) issu pour chaque âge de l'analyse des cohortes. Cet effectif total doit ensuite être réparti par zones, en fonction d'un indice d'abondance local. Les effectifs par âge issus de l'analyse des cohortes vont ici être répartis par zone au prorata des captures. En effet, dans le cas des pêcheries thonières de surface, les captures peuvent constituer localement de meilleurs indices d'abondance que les PUE (Foucher, 1991). On notera que cette répartition correspond, comme on l'a vu dans la partie précédente, à une hypothèse de répartition stochastique de l'effort, c'est-à-dire que le coefficient de mortalité par pêche $F_{a,z}$ par âge et par zone est égal au coefficient global de mortalité par pêche F_a par âge. On a donc :

$$(1) \quad C_{a,z} = F_{a,z} \cdot N_{a,z} \quad \text{et} \quad F_{a,z} = F_a = \frac{C_a}{N_a}$$

$$\text{d'où} \quad C_{a,z} = \frac{C_a}{N_a} \cdot N_{a,z}$$

La population théorique par zone sera donc donnée par la relation :

$$(2) \quad N_{a,z} = \frac{C_{a,z}}{C_a} \cdot N_a \quad \text{avec } N_a \text{ issu de l'analyse des cohortes}$$

Les valeurs de cette population théorique sont donc initialement connues, dans chaque zone et pour tous les âges.

* La seconde estimation des effectifs par âge et par zone est appelée "population calculée". Ces effectifs sont estimés pas à pas, par zone et pour chaque période. L'équation de survie classique s'exprime de la manière suivante :

$$N'_{a,z} = N'_{a-1,z} \cdot \exp\left[-(M_{a-1,z} + F_{a-1,z})\right]$$

La valeur de $F_{a-1,z}$ n'étant pas connue, on procède à une approximation de l'équation précédente, en posant que les captures par âges et par zone s'effectuent de manière instantanée en fin de période. Soit :

$$(3) \quad N'_{a,z} = (N'_{a-1,z} \cdot \exp(-M_{a-1})) - C_{a-1,z}$$

Cette valeur est calculée par le modèle, au fur et à mesure de la progression chronologique des périodes de temps. Elle suppose l'absence de migration. La première estimation des effectifs (à l'âge trimestre 1) est calculée en posant $N_{0,z} = R_z$. L'effectif initial introduit dans le modèle en période 1 correspond donc au recrutement précédemment défini, réparti par zone, comme plus haut, au prorata des captures d'individus d'âge trimestriel 1. Les deux estimations $N_{1,z}$ et $N'_{1,z}$ sont donc identiques. En revanche, à l'âge trimestriel 2 et aux suivants, l'utilisation des équations (2) et (3) conduit à des estimations N et N' qui diffèrent.

Le modèle se base ensuite sur les écarts entre les deux estimations, dans chaque zone et pour chaque âge, afin de déterminer les flux de poissons entre zones.

II.2. ESTIMATION DES FLUX PAR INTELLIGENCE ARTIFICIELLE.

II.2.1. Quelques principes de l'intelligence artificielle.

L'intelligence artificielle couvre actuellement trois domaines d'importance capitale : la compréhension d'images, la compréhension des langues naturelles et les systèmes experts. C'est dans le cadre de ce troisième domaine que sera créé le modèle d'estimation des flux de migration du listao. Non spécialiste des systèmes experts, il n'entre pas dans nos intentions d'étudier finement un système expert particulier adapté au cas des migrations des thonidés, mais bien de tester un système expert en tant que nouvelle méthode pour étudier les migrations.

L'organisation de base d'un système expert s'articule autour d'un couple base de connaissances-interpréteur de connaissances (encore appelé moteur d'inférence). La base de connaissances est constituée de deux parties : d'une part, d'une structure de données appelée base de faits, contenant des faits connus, des définitions et des données utiles au domaine étudié par le système expert, et d'autre part, de règles d'expertise (ou règles de production). Une règle d'expertise est constituée d'un couple situation-action, du type "SI prémisses ALORS conséquences", l'action étant exécutée à chaque fois qu'une situation est reconnue. Chaque règle écrite dans un programme d'intelligence artificielle est un module totalement

indépendant des autres, c'est-à-dire que chaque règle contient toutes les conditions de son application. Ceci implique en premier lieu que l'application d'une règle ne peut pas être empêchée par une quelconque condition extérieure à cette règle, et en second lieu qu'une règle ne peut jamais en appeler une autre.

La seconde composante d'un système expert est le moteur d'inférence. Il s'agit du mécanisme qui, à partir de l'interprétation des faits et des règles, décide quelle est la règle qui s'applique. Dans un système expert, les règles de production sont disposées "en vrac", sans savoir a priori comment elles seront utilisées. C'est le moteur d'inférence qui décide, en fonction de ses critères propres, dans quel ordre les appliquer. Il existe deux types de moteurs d'inférence. Bonnet (1984) expose de manière concise : *"Une première façon de caractériser un moteur (interpréteur) provient de la manière dont il essaie d'appliquer les règles en fonction des faits qu'il examine. S'il considère des DONNEES ou FAITS déjà établis et qu'il regarde s'ils satisfont la partie gauche des règles (la partie prémisse), on dit qu'il fonctionne vers l'avant ou qu'il est guidé par les données. S'il considère les BUTS possibles à atteindre en examinant les parties de droite des règles (la partie action) et qu'il essaie de vérifier les règles concluant vers ces buts (et uniquement celles-là), on dit qu'il fonctionne vers l'arrière.(...) Dans le mode "en avant", l'interpréteur "boucle" constamment sur l'ensemble des règles à la recherche de celle qui s'applique (...), dans le mode "en arrière", l'interpréteur a constamment un but à atteindre et il examine l'ensemble des règles concluant vers ce but"*. Dans les deux cas, le moteur d'inférence procède à l'enchaînement des règles, jusqu'à ce que l'objectif fixé soit atteint, ou bien jusqu'à ce qu'aucune déduction ne puisse plus être faite. Des faits nouveaux peuvent être déduits de l'application des règles ; ils viennent alors compléter la base de faits initiale.

Le logiciel utilisé ici pour écrire le système expert est SNARK. Ce logiciel a été développé à l'université de Paris VI (Laurière, 1984).

II.2.2. Les différentes étapes de la mise au point du système expert.

Le système expert dans son état actuel a été élaboré en trois étapes successives. Les différences numériques observées dans chaque zone entre les deux estimations des effectifs de la population, l'une obtenue à partir des résultats de l'analyse des cohortes (équation 1) et l'autre calculée pas à pas d'une période à l'autre (équation 2), permettent d'estimer les migrations entre zones. Dans un premier temps, afin de combler ces différences, seuls ont été envisagés des flux de poissons entre deux zones limitrophes et deux périodes successives (Fig. III.2). En d'autres termes, le système expert cherche alors à combler les écarts des

estimations N et N' observés dans une zone donnée $Z1$ à la période T . Il déclenche alors une migration depuis une des deux zones limitrophes, notée $Z2$, vers $Z1$ entre les périodes $T-1$ et T , de manière à ce que l'écart des effectifs soit annulé.

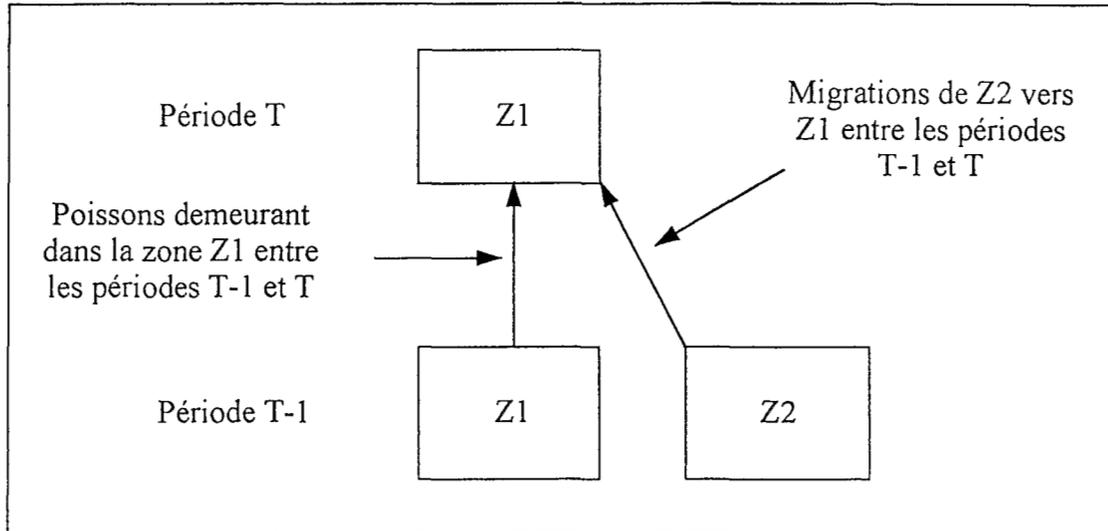


Figure III.2 : Première étape de la mise au point du système expert.

Sous cette condition, le système débouche rapidement sur une impasse et s'arrête. En effet, il est souvent confronté à des différences importantes entre les deux valeurs des effectifs, qu'il ne peut pas combler : il n'y a pas suffisamment de poissons disponibles, à la période précédente, pour déclencher une migration à partir de l'une des deux zones limitrophes. Ceci est en fait lié au choix de la période de temps (le trimestre), trop importante pour prendre correctement en compte les mouvements de poissons entre zones.

Dans un deuxième temps, et afin de résoudre ce problème, la possibilité d'effectuer des migrations entre deux zones limitrophes, mais au cours de la même période de temps (appelées par la suite "migrations latérales"), a été rajoutée au sein du système (Fig. III.3). Ainsi, le nombre de poissons disponibles dans $Z2$ n'étant pas suffisant, l'ajout de règles supplémentaires autorisent des migrations latérales à partir d'une troisième zone $Z3$; ceci permet d'augmenter l'effectif, en période $T-1$, de cette zone $Z2$. La migration de $Z2$ vers $Z1$ entre les périodes $T-1$ et T est alors possible.

Dans ce cas également, le système peut aboutir à un blocage, pour les mêmes raisons que précédemment. Ceci notamment lorsque dans une même zone, les effectifs locaux estimés

à partir de l'analyse des cohortes sont très différents entre deux périodes successives (cas du Cap Lopez entre les trimestres 1 et 2).

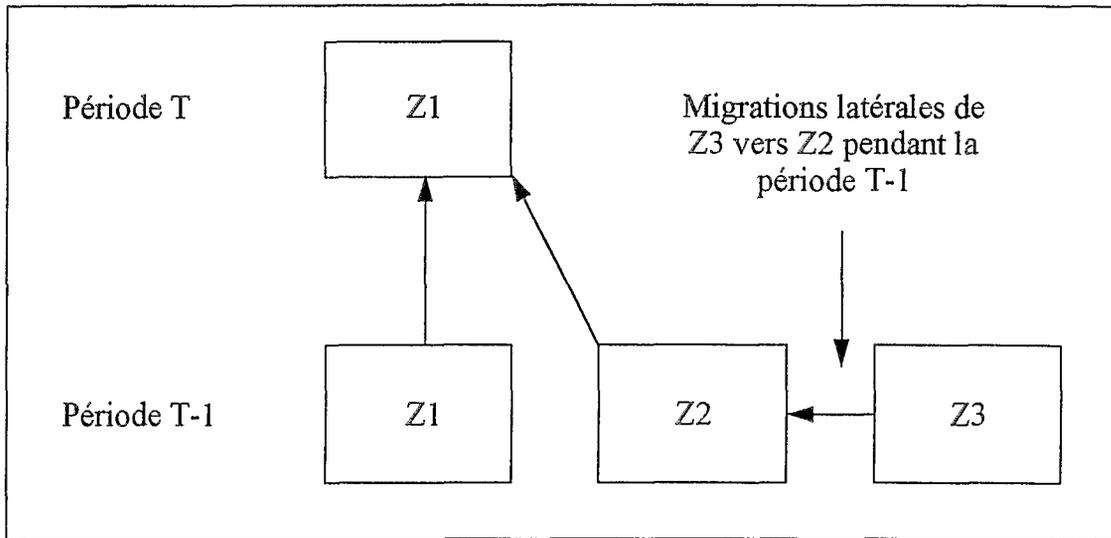


Figure III.3 : Deuxième étape de la mise au point du système expert.

Dans un troisième temps, des règles permettent de déclencher des migrations latérales, ayant lieu au cours de la période T-1, entre des zones plus éloignées Z3 et Z4, ont été intégrées au système (Fig. III.4). Le système expert, ou plutôt son moteur d'inférence, gère ainsi toutes les règles qui sont à sa disposition ; les effectifs par zone et pour toutes les périodes, ainsi que les migrations entre zones, peuvent être, de ce fait, déterminés.

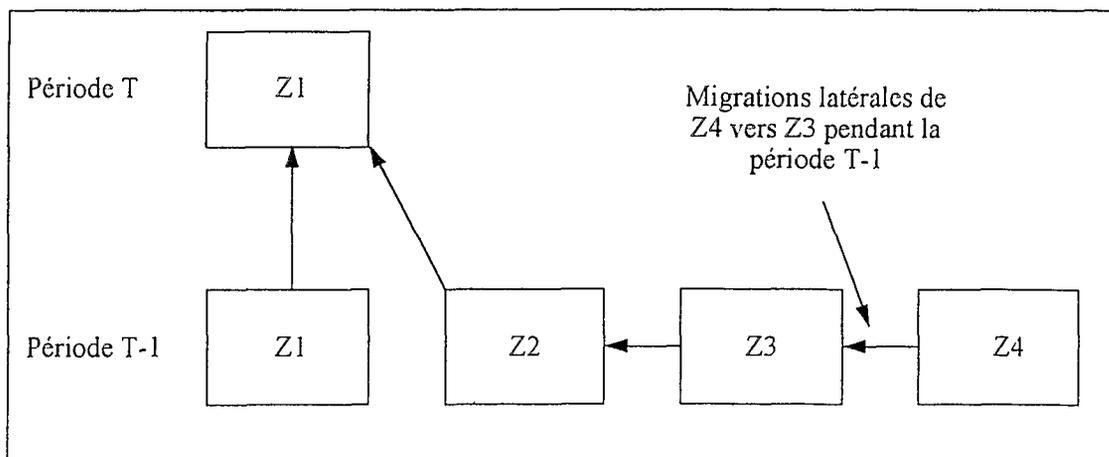


Figure III.4 : Troisième étape de la mise au point du système expert.

L'intérêt de la modularité des règles, qui constitue une des caractéristiques de l'intelligence artificielle, est bien mise en évidence ici. En effet, la première version du système expert ne comprenait que peu de règles d'expertise. Au fur et à mesure de son développement, des règles complètement indépendantes de celles qui existaient déjà ont été rajoutées, sans modifier la structure initiale du système expert. La version finale présentée contient ainsi 19 règles d'expertise, qui seront détaillées par la suite.

II.2.3. Terminologie utilisée pour désigner les effectifs calculés et les différentes migrations.

Pour une zone donnée, le système expert calcule deux valeurs des effectifs N' , la première en début de période, et la seconde en fin de période (Fig. III.5). Par ailleurs, pour cette même zone, le système expert peut faire intervenir quatre différents types de migrations. Ces migrations sont définies par rapport à la zone d'où les flux de poissons sont issus (Fig. III.5).

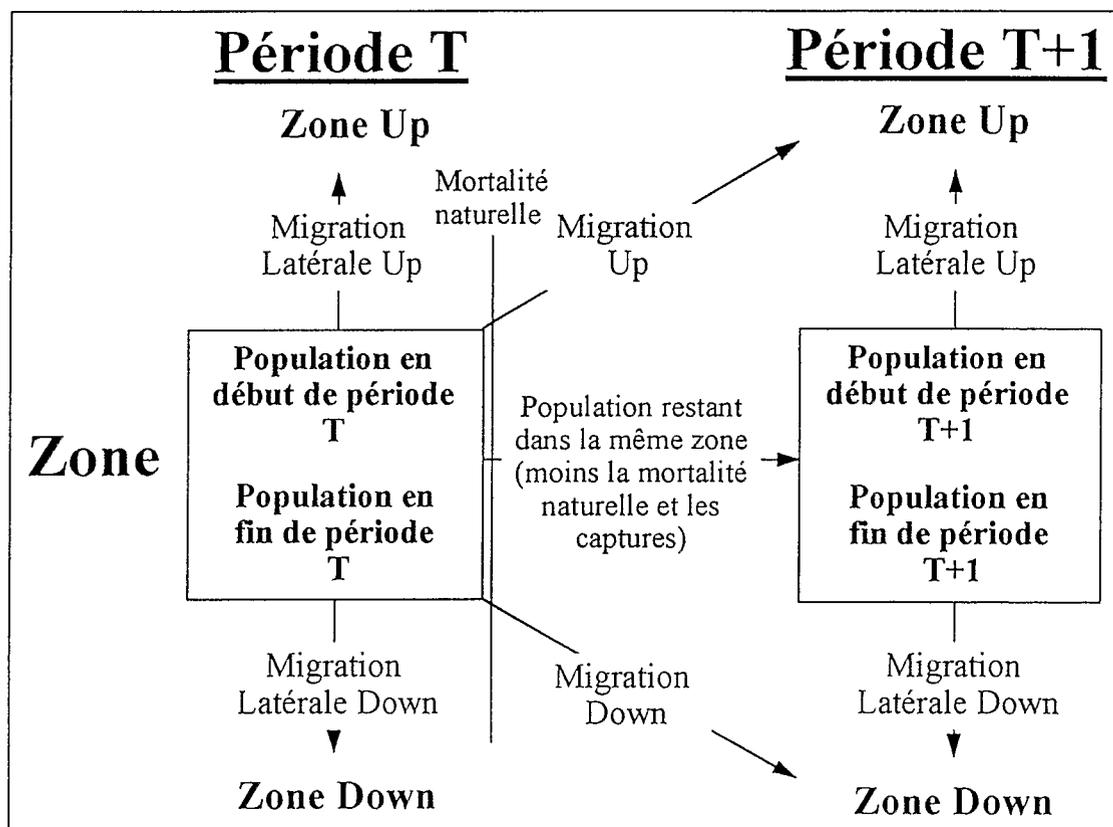


Figure III.5 : Formalisme retenu pour la désignation des différents flux de poissons entre les zones.

Les termes employés pour désigner effectifs et migrations sont les suivants :

* Population de début de période T : pour une zone Z donnée, il s'agit de la somme des effectifs correspondant : aux survivants (c'est-à-dire aux poissons qui étaient déjà présents dans cette zone Z en fin de période précédente T-1, auxquels ont été retranchées les captures réalisées la période précédente et la mortalité naturelle) ; aux migrations (la mortalité naturelle est prise en compte) en provenance des zones limitrophes, entre les périodes T-1 et T.

* Migration latérale Up : c'est le nombre de poissons qui sortent d'une zone Z, au cours de la période T donnée, et qui se dirigent vers la zone limitrophe située géographiquement plus au nord ou plus à l'ouest. La mortalité naturelle n'intervient pas en cours de période.

* Migration latérale Down : comme précédemment, il s'agit des poissons qui sortent de la zone Z et qui se dirigent cette fois vers la zone limitrophe située plus au sud ou plus à l'est.

* Population de fin de période : il s'agit de la nouvelle estimation des effectifs N' , lorsque les migrations latérales sont intervenues. Cette estimation correspond à la population de début de période, à laquelle ont été retranchées les migrations latérales "up" et "down" (poissons qui sortent de la zone en cours de période), et a contrario ont été rajoutées les migrations latérales issues des zones limitrophes nord et sud (ou ouest et est) (poissons qui entrent).

* Migration Up : il s'agit des poissons qui sortent de la zone Z à l'issue de la période T (la mortalité naturelle en période T a donc lieu) et entrent dans la zone limitrophe située au nord ou à l'ouest au début de la période T+1. Les effectifs de ces migrations se rapportent aux effectifs totaux de la période T+1. Ils font ainsi partie de la population de début de période T+1 de la zone limitrophe nord (ou ouest).

- Migration Down : de la même manière que pour les migrations Up, les poissons sortent de la zone à l'issue de période T, et entrent dans la zone limitrophe sud (ou est) en début de période T+1, où ils forment une partie (ou la totalité) de l'effectif de la population de cette zone limitrophe.

Dans la base de fait, les flux de poissons sortant d'une zone Z à l'issue de la période T, et se dirigeant en début de période T+1 vers les zones limitrophes situées soit "au-dessus" (au nord ou à l'ouest), soit "au-dessous" (au sud ou à l'est) sont respectivement désignés par "MigrationUP" et "MigrationDOWN". De la même manière, les termes "MigrationLATUP" et "MigrationLATDOWN" désignent les flux de poissons sortant d'une zone, cette fois en cours

de période T, et se dirigeant comme précédemment vers les zones limitrophes respectivement situées "au-dessus" ou "au-dessous".

II.2.4. La base de connaissances : faits et règles d'expertise.

La première étape dans la création du système expert consiste à analyser, ou expertiser, le domaine de connaissances étudié. Ainsi, il faut organiser les différentes connaissances initiales dans la base de faits, et parallèlement procéder à l'écriture des règles d'expertise, qui s'appuient sur ces faits.

* La base de faits.

Cette base de faits représente l'expertise de la pêche de listaos qui est étudiée. Chaque fait est organisé en trois éléments, en étroites interrelations. La base de faits initiale décrit ainsi : l'organisation des zones entre elles à chaque période ; les informations concernant la population estimée à partir des résultats de l'analyse des cohortes (équation 1) ; les captures numériques de listaos par âge et par zone ; les valeurs de toutes les migrations possibles à partir d'une zone, initialisées à 0. La syntaxe utilisée pour la description des faits peut être explicitée à travers les quelques exemples suivants :

- LIBERIA1 BEFORE LIBERIA0
- LIBERIA1 UP SENEGAL0
- LIBERIA1 DOWN GHANA0

Ces trois faits font partie des nombreux faits qui permettent la description des zones, et l'organisation entre elles. Ici, la zone LIBERIA, en période 1, succède chronologiquement à la zone LIBERIA en période 0. De même, la zone limitrophe située "plus haut" (géographiquement plus au nord ou plus à l'ouest) que LIBERIA est la zone SENEGAL. Enfin, la zone GHANA est située "plus bas" (plus au sud ou plus à l'est) que la zone LIBERIA.

- SENEGAL1 CAPT 4
- SENEGAL1 ESTIM 5148

Les captures de listaos à l'âge 1 dans la zone SENEGAL sont de 4.000 individus, l'estimation de l'effectif dans cette même zone au même âge étant de 5.148.000 individus. Des faits similaires existent pour toutes les zones et à tous les âges.

La migration "UP" de la zone SENEGAL à l'âge 1 correspond à la migration issue de la zone SENEGAL entre deux périodes successives vers la zone géographiquement située au nord. Dans ce cas précis, le Sénégal est la zone située la plus au nord ; cette migration est donc toujours égale à 0, puisque le système étudié est clos. Les valeurs de toutes les migrations possibles, initialisées à 0, sont modifiées par le système au fur et à mesure de son fonctionnement.

La base de faits introduite initialement dans le système contient ainsi une expertise de 1155 faits (Annexe C), soit 580 faits pour l'organisation chronologique des zones entre elles, 400 pour l'initialisation des migrations par zone, 160 pour l'initialisation des captures et des estimations de populations et enfin 15 pour la gestion du temps et du système. Elle s'enrichira au fur et à mesure que le système évolue, d'une part par la mise à jour des valeurs initiales (notamment les valeurs de migration), et d'autre part par la création de nouveaux éléments (en particulier l'estimation de la population dans chaque zone calculée, à partir de l'équation 2, à l'issue de chaque période).

* Les règles.

Contrairement au nombre de faits qui peut évoluer, le nombre de règles introduit dans le système est quant à lui fixé au départ. Il ne peut pas, par définition, évoluer en cours de simulation. Le moteur d'inférence utilise ces règles pour mettre en relation les faits qui sont à sa disposition, et pour en déduire d'autres. A chaque étape du système, toutes les règles à la disposition du moteur d'inférence sont évaluées. Seules les règles déclenchables (c'est-à-dire que l'ensemble des prémisses de ces règles peuvent être vérifiées à partir des faits présents) sont activées. Puis le système déclenche tour à tour chacune de ces règles actives.

19 règles sont utilisées dans le système expert (Annexe C), dont 14 contribuent au calcul des migrations entre zones, soit entre deux périodes successives, soit au cours de la même période. Ces règles sont les suivantes :

"Calcul Effectifs et Ecart Formule Générale (entre 2 périodes)" (règle 1).

C'est la règle principale du système. Elle se déclenche en période T et permet de calculer, en appliquant l'équation (2), l'estimation N', en début de période, de la population calculée. En d'autres termes, cette règle estime le nombre de poissons d'une zone donnée à

partir des informations disponibles pour cette zone à la période précédente T-1 (effectif précédent, captures, mortalité naturelle, migrations entrant et sortant). Au premier déclenchement de cette règle (pour une zone et à une période données), toutes les valeurs des migrations sont nulles (initialisées à 0). Cette règle évalue ensuite dans cette zone l'écart entre le nombre de poissons N' qu'elle vient de calculer et celui estimé à partir des résultats de l'analyse des cohortes N (population théorique), introduit comme fait initial dans le système.

"Calcul Effectifs et Ecart Même Période" (2).

Cette règle est presque équivalente à la précédente. En effet, comme précédemment elle va se déclencher en période T, et permettre de calculer des estimations de la population calculée N' , ainsi que les écarts entre N et N' . Par contre, elle agit sur les effectifs de poissons qui sont présents dans une zone donnée, mais à la période précédente T-1. Cette règle prend ainsi en compte les migrations latérales, si elles interviennent, et permet de ce fait de calculer la population calculée N' dans une zone en fin de période. Elle utilise le nombre de poissons qui étaient initialement dans cette zone (au début de la période T-1), auquel elle additionne ou soustrait toutes les migrations latérales qui ont lieu au cours de cette période T-1. Puis la règle calcule les écarts possibles entre le nombre de poissons obtenu N' et l'estimation initiale N contenue dans les faits.

"Augmenter MigrationUP" (3), "Augmenter MigrationDOWN" (4), "Augmenter Partiellement MigrationUP" (5), "Augmenter Partiellement MigrationDOWN" (6).

Ces quatre règles permettent de "créer" des migrations, si, dans une zone donnée Z à la période T, un écart existe entre les deux estimations des effectifs. Elles génèrent alors un flux de poissons, en provenance des zones limitrophes, situées géographiquement au nord ou au sud. Dans les règles (3) et (4), les flux de poissons générés permettent de combler directement l'écart observé dans la zone Z en période T. Dans les deux autres règles (5) et (6), il n'y a pas suffisamment de poissons dans les zones limitrophes en période T-1 pour combler entièrement l'écart observé dans la zone Z en période T. Ces deux règles ne génèrent donc qu'un flux à partir des poissons disponibles, qui ne fera que combler partiellement l'écart. Cet écart sera ainsi réduit, mais pas annulé.

"Augmenter MigrationLATUP" (7), "Augmenter MigrationLATDOWN" (8),
"Augmenter Partiellement MigrationLATUP" (9), "Augmenter Partiellement
MigrationLATDOWN" (10).

Si dans une zone Z à la période T, l'écart entre les deux estimations des effectifs n'est toujours pas totalement comblé après le déclenchement des règles précédentes, alors le système expert utilise les règles permettant de générer des migrations latérales à la période T-1 (Fig. III.3). Dans ce cas, le système expert s'intéresse, à la période T-1, à la zone limitrophe Z' (nord ou sud) de la zone Z (par exemple, si la zone Z est le Sénégal à la période 2, la zone Z' sera le Libéria en période 1). Les migrations latérales qui vont être générées auront lieu, au cours de la période T-1, entre cette nouvelle zone Z' et sa propre zone limitrophe Z" nord ou sud (dans notre exemple, la migration latérale aura lieu entre le Ghana à la période 1 et le Libéria, toujours à la même période 1). Ces migrations permettront d'augmenter les effectifs disponibles en période T-1 dans la zone Z', toujours avec l'objectif final de combler l'écart observé entre les deux estimations des effectifs dans la zone Z à la période T. En fonction des effectifs disponibles dans la zone Z", ces règles permettront de générer des flux, correspondant soit à la totalité des poissons manquants dans la zone Z' en période T-1 (règles 7 et 8), soit à une partie seulement de ces poissons (règles 9 et 10).

"Augmenter MigrationLATUP de 2 carrés sup. vers carré sup. limitrophe" (11),
"Augmenter MigrationLATDOWN de 2 carrés sup. vers carré sup. limitrophe" (12),
"Augmenter Partiellement MigrationLATDOWN 2 carrés sup. même période" (13),
"Augmenter Partiellement MigrationLATDOWN 2 carrés sup. même période" (14).

Si l'écart entre les deux estimations des effectifs de la zone Z en période T n'est toujours pas comblé, le système génère, de la même manière que précédemment, des migrations latérales, au cours de la période précédente T-1, entre des zones plus éloignées, Z' et Z". Par exemple, si la zone Z à la période T correspond au Sénégal période 2, cette règle déclenche une migration entre les zones Cap Lopez période 1 et Ghana période 1. Dans ce cas également, les flux générés pourront correspondre soit à la totalité des poissons manquants, dans la zone Z" cette fois (règle 11 et 12), soit à une partie seulement (règles 13 et 14).

"Affichage" (15), "Affichage écart" (16), "Résumé" (17), "Résumé écart" (18).

Après chaque mise à jour, sont affichés les nombres de poissons présents dans les différentes zones, en début et en fin de période, ainsi que les écarts observés.

"Le temps passe" (19).

Cette dernière règle concerne la gestion du temps, c'est-à-dire la succession chronologique logique entre les différentes périodes. Le système s'arrête lorsque la dernière période de temps est atteinte, et que plus aucune règle n'est déclenchable.

II.2.5. Exemple de syntaxe d'une règle.

La syntaxe et la signification d'une règle est donnée dans le tableau III.3. Les variables utilisées dans cette règle sont explicitées sur la figure III.6.

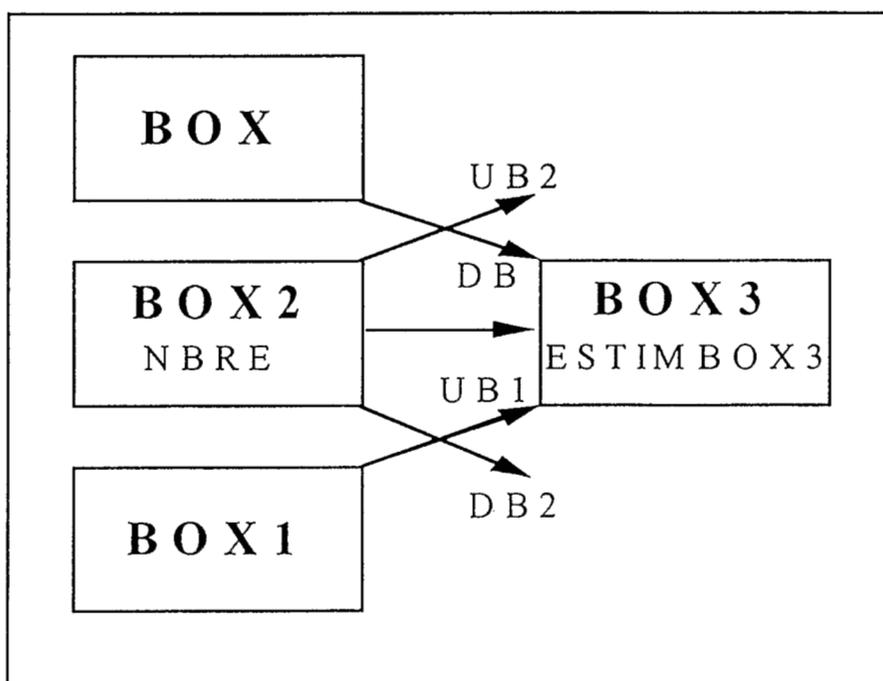


Figure III.6 : Libellés des variables intervenant dans la règle "Calcul Effectifs et Ecart Formule Générale (entre 2 périodes)"

Numéro de ligne	SYNTAXE	SIGNIFICATION
1	REGLE : Calcul Effectifs et Ecart Formule Générale (entre 2 périodes)	Nom de la règle
2	SI	Condition
3	MigrationDOWN (BOX) = (DB)	La valeur de la migration vers le bas issue de la zone "BOX" est DB
4	MigrationUP (BOX1) = (UB1)	La valeur de la migration vers le haut issue de la zone "BOX1" est UB1
5	MigrationDOWN (BOX2) = (DB2)	La valeur de la migration vers le bas issue de la zone "BOX2" est DB2
6	MigrationUP (BOX2) = (UB2)	La valeur de la migration vers le haut issue de la zone "BOX2" est UB2
7	UP (BOX3) = (BOX)	La zone BOX est située, à la période précédente, au-dessus de la zone BOX3
8	DOWN (BOX3) = (BOX1)	La zone BOX1 est située, à la période précédente, en-dessous de la zone BOX3
9	BEFORE (BOX3) = (BOX2)	BOX2 et BOX3 sont les mêmes zones. BOX2 est chronologiquement à la période précédente.
10	NOMBRE (BOX2) = (NBRE)	Le nombre calculé de poissons présents dans la zone BOX2 est NBRE
11	ESTIM (BOX3) = (ESTIMBOX3)	Le nombre estimé de poissons présents dans la zone BOX3 est ESTIMBOX3
12	VALEUR DATE-COURANTE = PERIODE (BOX3)	La date courante est la période de la zone BOX3
13	COMPTEUR BACKTRACK = (C)	Compteur système permettant de comptabiliser le nombre de retours en arrière dans le temps
14	ALORS	Conséquences
15	IN (BOX3) <-- + (NBRE) + (DB) (UB1)	Calcul du nombre de poissons présents dans BOX2, qui entreront dans BOX3
16	OUT (BOX3) <--+(CAPT (BOX2))+(UB2)+(DB2) *(-(NBRE) (CAPT (BOX2))) 0.18)	Calcul du nombre de poissons présents dans BOX2 et qui n'entreront pas dans BOX3 (Captures, mortalité, migrations sortant de BOX2)

17	NOMBRE (BOX3) <-- DIV (- (IN (BOX3)) (OUT (BOX3))) 1	Calcul du nombre de poissons présents dans BOX3
18	ECART (BOX3) <-- ABS - (NOMBRE (BOX3)) (ESTIMBOX3)	Calcul de l'écart entre nombre calculé et nombre théorique
19	AFFICHENL "Nombre de poissons dans " (BOX2) " = " (NBRE)	Affichage (nouvelle ligne) du nombre de poissons présents dans BOX2
20	AFFICHE (BOX3) ": Entrées = " (IN (BOX3))	Affichage du nombre d'entrées dans BOX3
21	AFFICHE "; Sorties = " (OUT (BOX3))	Affichage du nombre de sorties dans BOX3
22	AFFICHENL "; Nombre = " NOMBRE(BOX3) "; Estim = " (ESTIMBOX3)	Affichage (nouvelle ligne) des nombres de poisson calculés et estimé
23	FR	Fin de la règle

Tableau III.3 : Exemple d'une règle utilisée par le système expert : écriture formelle et signification.

II.2.6. Mode de fonctionnement actuel du système expert.

Pour résumer, le modèle procède de la manière suivante. Au moment où plus aucune règle n'est déclenchable à une période donnée, le système expert passe à la période suivante. La règle 1 (Calcul Effectifs et Ecart Formule Générale) est alors évaluée puis déclenchée (parce que ses prémisses sont toujours vérifiées, au début d'une nouvelle période, pour chacune des zones) pour toutes les zones (apparemment selon un ordre aléatoire). Elle permet de calculer dans chaque zone l'écart entre le nombre de poissons calculé à partir de la période précédente et le nombre théorique donné dans la base de faits initiale. Si dans une zone le nombre calculé est supérieur ou égal au nombre théorique, le système s'arrête pour cette zone à cette période et passe aux zones suivantes. Si par contre le nombre calculé est inférieur au nombre théorique, alors le système mesure l'écart entre ces deux nombres, et essaye de le combler en déclenchant des migrations.

Le système évalue dans un premier temps les règles générant des migrations directes entre zones limitrophes et périodes successives (règles 3 à 6), et déclenchent celles qui peuvent l'être (cela dépend du nombre de poissons disponibles dans les différentes zones concernées à la période de temps précédente). La règle 1 est alors à nouveau déclenchée, puisque les valeurs des prémisses de cette règle ont changé (valeur des migrations) et l'écart est recalculé. Cette

règle est ainsi employée par le système expert chaque fois qu'une nouvelle migration est générée.

Si l'écart entre nombre calculé et nombre théorique est toujours positif, le système utilise alors les règles concernant les migrations latérales (règles 7 à 18), et calcule ensuite le nombre de poissons dans une zone en fin de période (règle 2). L'écart est à nouveau recalculé par la règle 1, jusqu'à ce que le système arrive, pour chacune des zones, à annuler tous les écarts trouvés.

Enfin, si ce n'est pas possible à la période T-1, le système peut revenir en arrière jusqu'à ce qu'il trouve une solution. Quand cette solution est trouvée pour chaque zone, le système écrit les nombres de poissons présents dans chaque zone en fin de période, et les différentes migrations qui se sont produites. Puis le modèle passe à la période suivante, jusqu'à ce qu'il atteigne la dernière période (fixée au seizième trimestre).

III. RESULTATS DES SIMULATIONS.

III.1. RESULTATS PAR AGE TRIMESTRIEL.

A partir des faits initiaux introduits dans le système, le modèle procède aux ajustements entre populations estimées et populations calculées pour chaque zone. Il en déduit les migrations entre zones, jusqu'à ce qu'il atteigne la fin de la dernière période.

A l'issue des ajustements, on obtient ainsi, à chaque période et pour chaque zone, une estimation de la population présente dans la zone au début et à la fin de la période, et des valeurs de migrations entre zones, en milliers d'individus, soit en cours de période, soit à la fin de chaque période (Fig. III.7). Les valeurs obtenues sont bien évidemment largement tributaires de la valeur de recrutement utilisée comme hypothèse de base. Dans une zone et pour une période T donnée, les valeurs de migration obtenues représentent les quantités de poissons ayant quitté cette zone. On lit ainsi les résultats représentés en figure III.7 en adoptant le formalisme décrit précédemment (Fig. III.5).

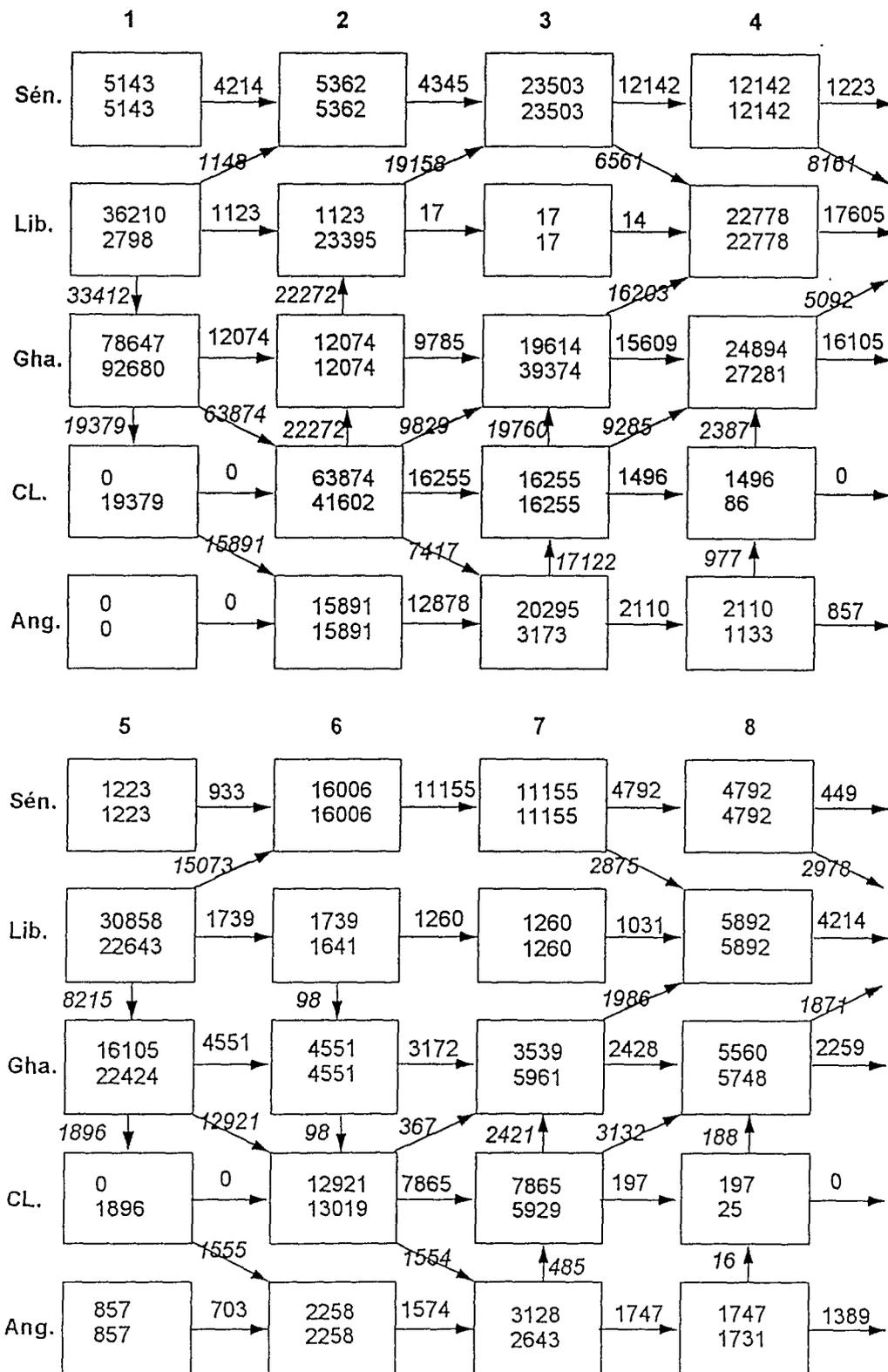


Figure III.7 : Schéma synthétique des migrations de listaos (en milliers d'individus) entre zones : dans chaque cellule sont données les populations en début et en fin de période, et entre les différentes cellules sont représentées les migrations (flèches), soit au cours d'une même période, soit entre 2 périodes successives. Le pas de temps retenu est le trimestre. La mortalité naturelle n'intervient, par hypothèse, qu'entre deux périodes successives.

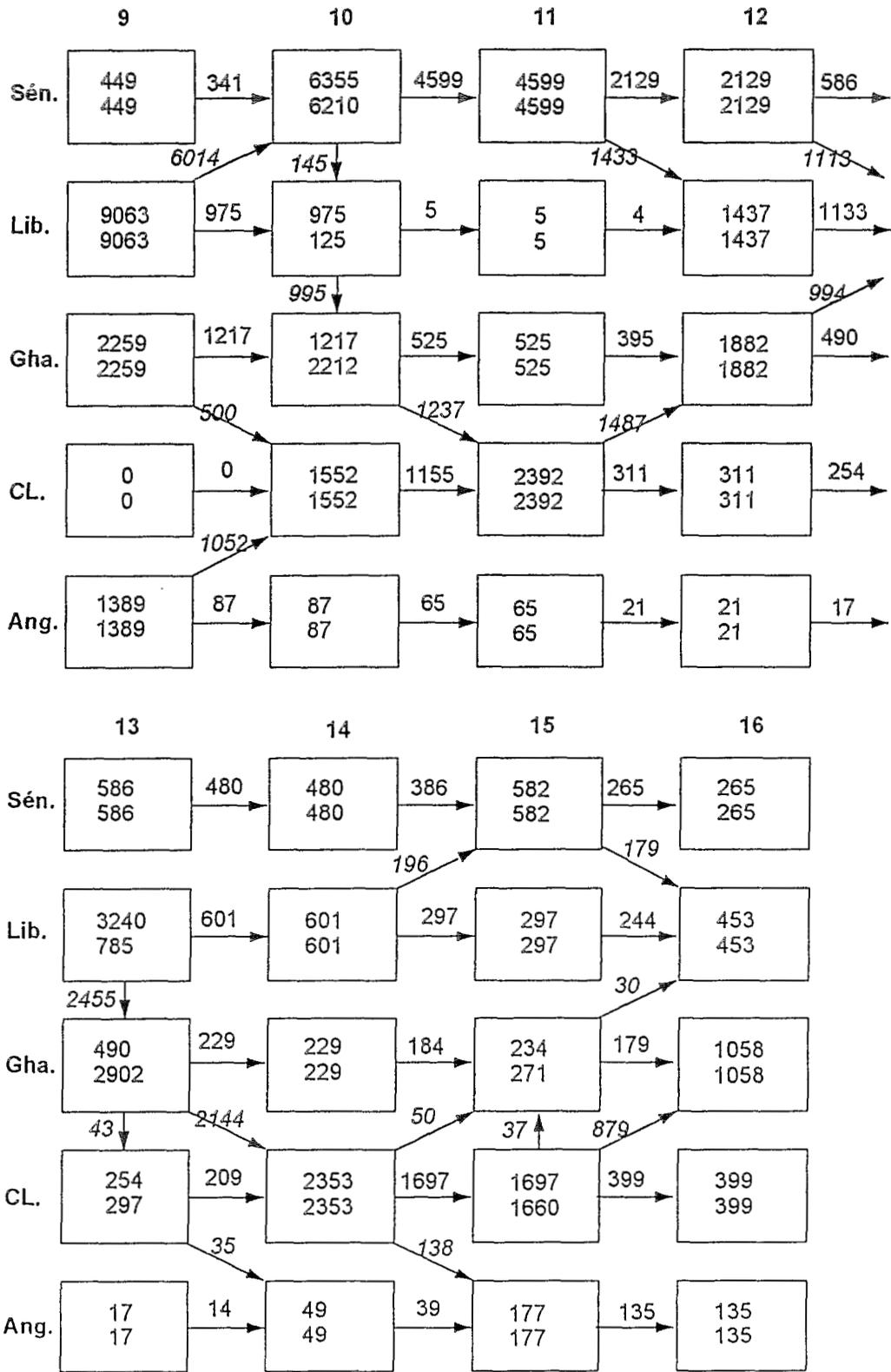


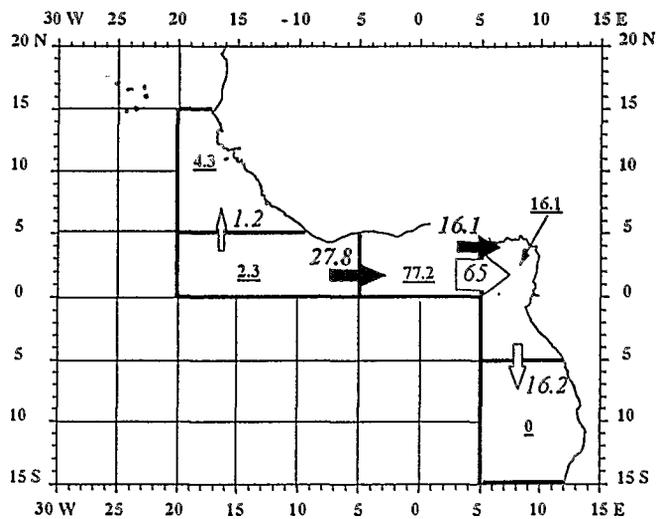
Figure III.7 (Fin).

Les résultats par âge trimestriel sont regroupés en catégorie d'âge. Nous reprenons ici le découpage en tranches d'âge déjà utilisé dans la deuxième partie (d'après Cayré *et al.*, 1988):

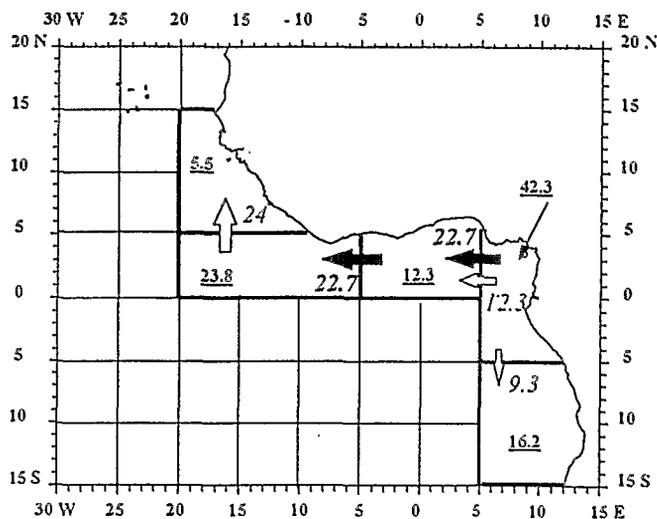
- juvéniles pour les âges trimestriels 1 à 4
- pré-adultes pour les âges trimestriels 5 à 8
- adultes pour les âges trimestriels 9 à 16 (on différencie toutefois les adultes de 3 et de 4 ans).

III.1.1. les migrations des juvéniles.

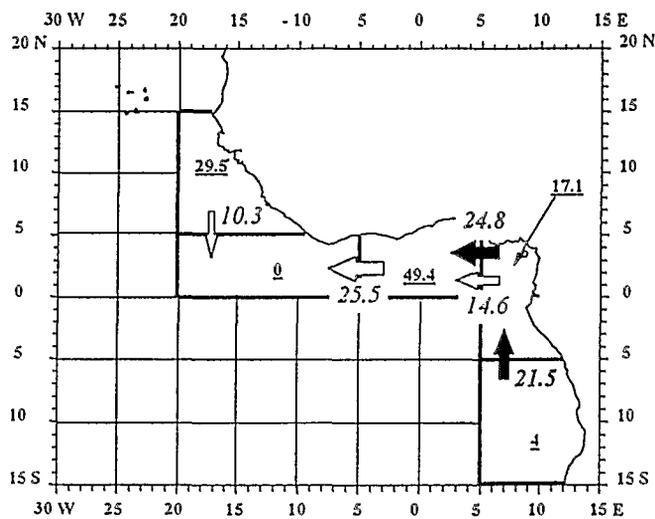
Au début du premier trimestre, 97% des effectifs de listaos, après recrutement, se trouvent dans les deux zones Libéria et Ghana (répartition du recrutement au prorata des captures de l'âge 1). Dès le premier trimestre, une migration importante a lieu le long des côtes africaines, du Libéria vers le fond du Golfe de Guinée. Ces migrations concernent près de 42% des effectifs en âge 1 (Fig. III.7 et Fig. III.8). A la fin du premier trimestre, ces poissons sont concentrés dans la zone Ghana, qui contient plus des deux tiers des effectifs. La majorité de ces poissons sort de cette zone à l'issue du premier trimestre, vers les zones les plus sud, Cap Lopez et Angola. Puis au cours du deuxième trimestre, le sens général de la migration s'inverse. Les listaos se dirigent à nouveau vers la zone du Libéria, la totalité de ces poissons continuant ensuite vers les eaux sénégalaises à l'issue du deuxième trimestre. On retrouve la même orientation générale des migrations au cours du troisième trimestre. La majorité des poissons alors présents dans la zone Sénégal est issue de migrations en provenance du Libéria. On a affaire ici à un phénomène que l'on pourrait désigner de "pompe à thons" devant les côtes sénégalaises. Les thonidés suivent ainsi la remontée rapide des isothermes entre les Iles du Cap Vert et le Sénégal durant l'été boréal (Fig. I.3), qui constitue apparemment l'un des moteurs de cette migration. A la fin du troisième trimestre, les listaos juvéniles sont principalement dans les zones Sénégal et Ghana. Deux migrations importantes se déclenchent alors, l'une du nord au sud du Sénégal vers le Libéria, l'autre de l'est vers l'ouest, également vers le Libéria. Il y aura donc concentrations de juvéniles lors du quatrième trimestre dans les zones centrales du Libéria et du Ghana (respectivement 36% et 43% des effectifs à cet âge).



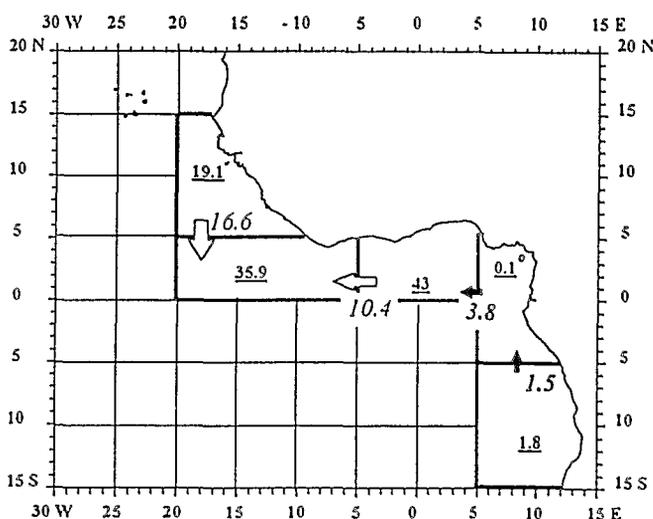
Année 1, trimestre 1



Année 1, trimestre 2

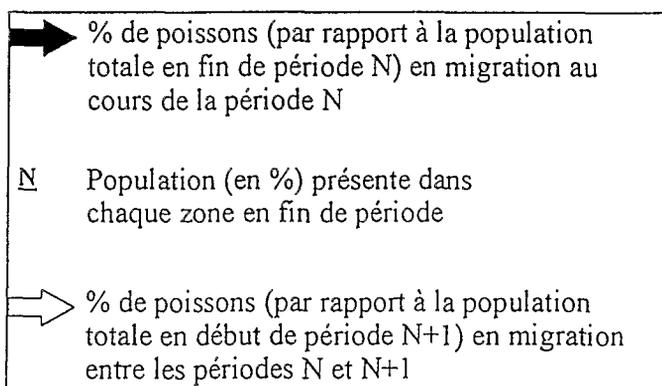


Année 1, trimestre 3

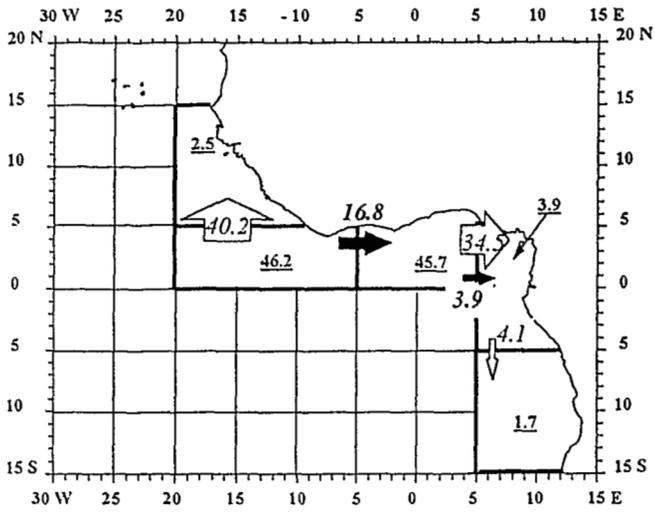


Année 1, trimestre 4

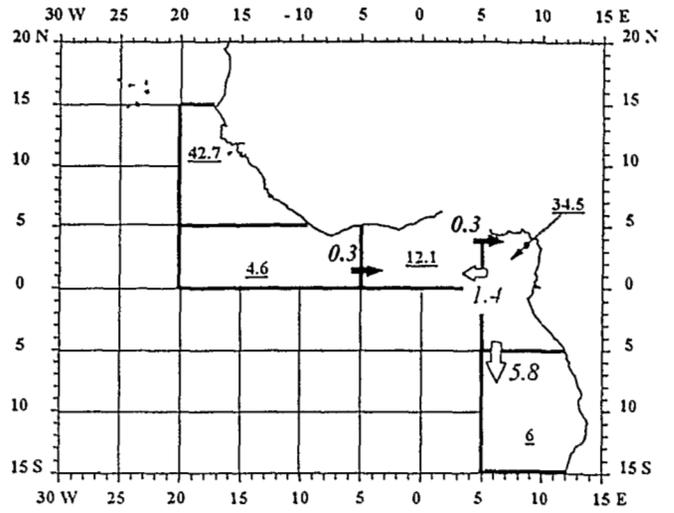
Figure III.8 : Populations locales et migrations entre zones (en pourcentage par rapport à la population totale de chaque période) : juvéniles.



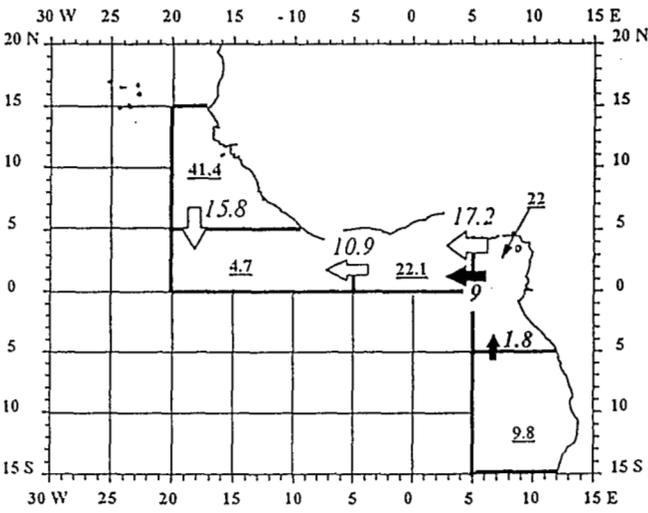
Légende des figures III.8 et III.9



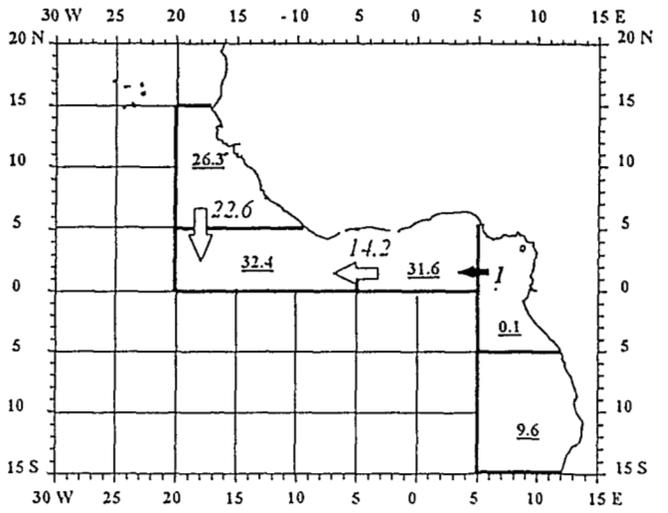
Année 2, trimestre 1



Année 2, trimestre 2

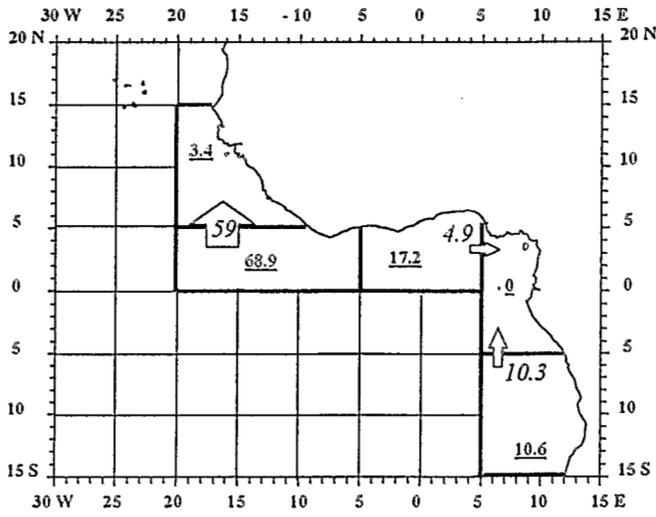


Année 2, trimestre 3

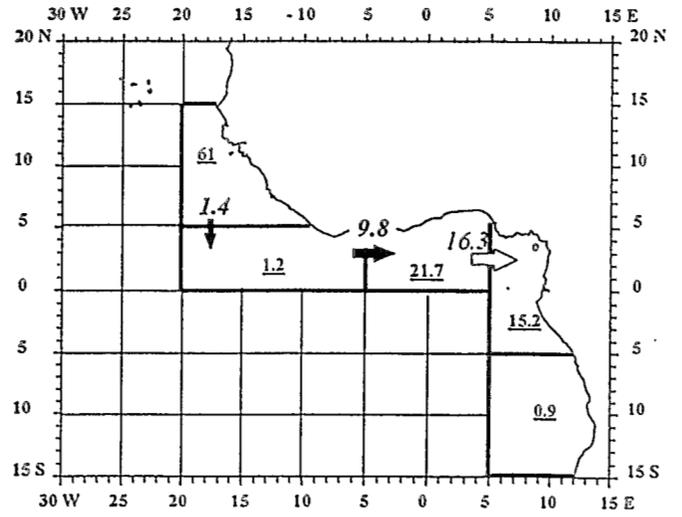


Année 2, trimestre 4

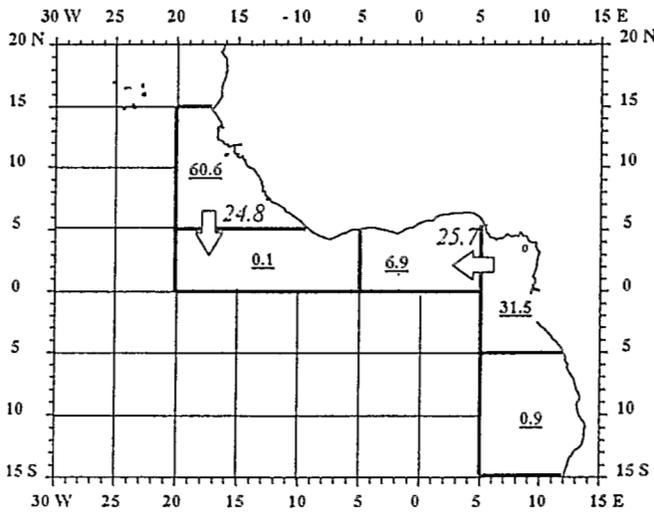
Figure III.8 (suite) : Pré-adultes.



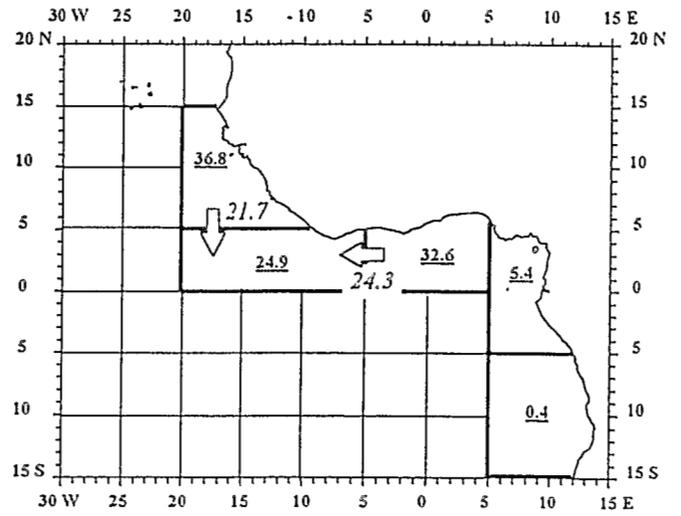
Année 3, trimestre 1



Année 3, trimestre 2

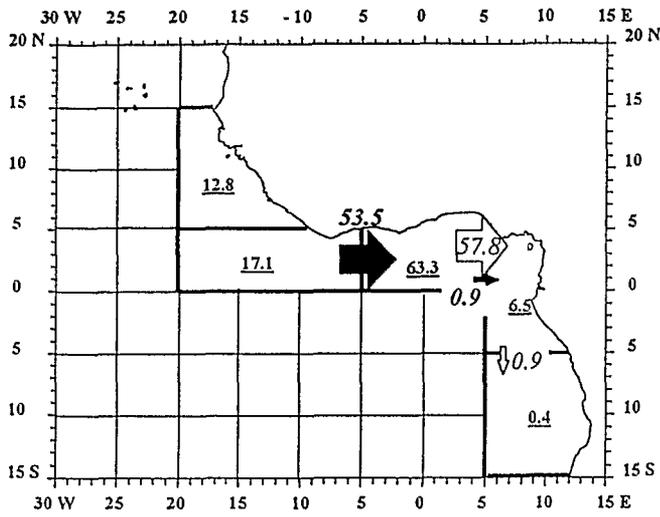


Année 3, trimestre 3

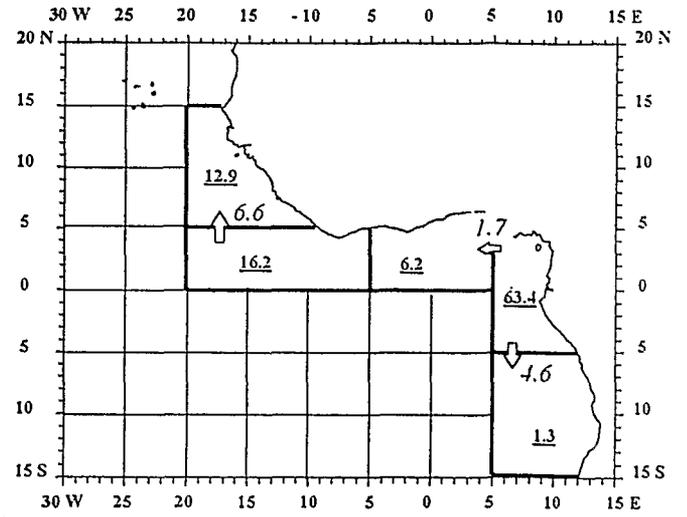


Année 3, trimestre 4

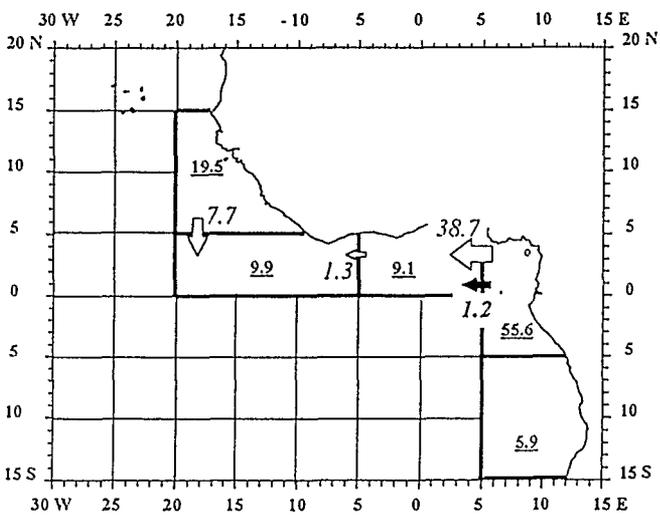
Figure III.8 (suite) : Adultes.



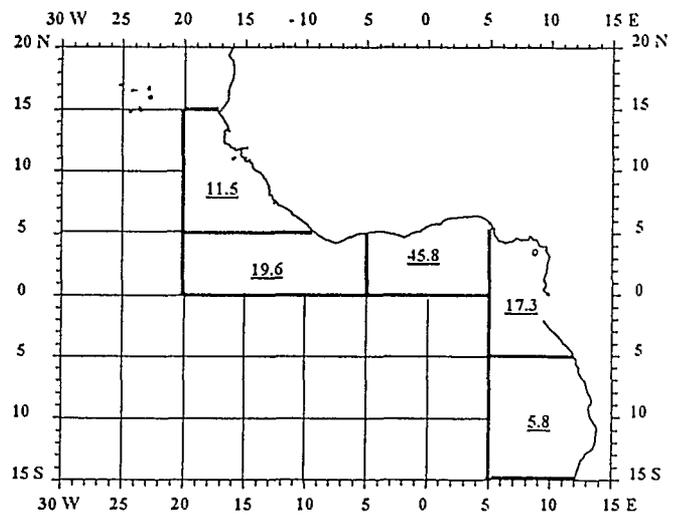
Année 4, trimestre 1



Année 4, trimestre 2



Année 4, trimestre 3



Année 4, trimestre 4

Figure III.8 (Fin) : Adultes.

III.1.2. les migrations des pré-adultes.

Le schéma des migrations des pré-adultes sur les 4 périodes de l'année 2 correspond globalement à celui observé chez les juvéniles (Fig. III.7 et Fig. III.8). trimestre par trimestre, l'orientation générale des migrations reste identique. Toutefois, l'intensité de ces migrations est très différente pour ce groupe d'âge, et plus particulièrement au premier trimestre. Ainsi, entre le premier et le deuxième trimestre, on observe une forte remontée de pré-adultes vers la zone Sénégal (soit 42% de l'effectif total de la seconde période de l'année 2), le flux de listaos du Ghana vers le Cap Lopez étant quant à lui moindre que lors de la première année. A la fin du deuxième trimestre, la population de listaos est ainsi divisée en deux grands groupes, l'un dans la zone Sénégal, et l'autre au Cap Lopez. Ces deux groupes restent dans les mêmes zones tout le long du troisième trimestre. A l'issue des troisième et quatrième trimestres (périodes 7 et 8), le sens et l'intensité des migrations observées sont similaires à ceux des juvéniles, les poissons se concentrant le dernier trimestre dans les zones Ghana et surtout Libéria.

III.1.3. les migrations des adultes.

On retrouve ici globalement le même schéma, avec de fortes concentrations d'adultes dans les zones centrales (Libéria et Ghana) au cours des premier et quatrième trimestres, et des migrations intenses vers le Sénégal au nord et le cap Lopez et l'Angola au sud, lors des deuxième et troisième trimestres. A l'issue du premier trimestre de la troisième année (période 9), une intense migration a lieu entre le Libéria et le Sénégal, de la même manière que chez les pré-adultes. Par contre, peu de poissons de cet âge se dirigent vers le Cap Lopez. Les adultes de 3 ans sont ainsi particulièrement nombreux dans la zone Libéria le premier trimestre, puis au large du Sénégal les deuxième et troisième trimestres. On ne retrouve pas ce schéma pour les adultes de 4 ans qui se concentrent, à l'instar des juvéniles, préférentiellement dans les zones Ghana et Cap Lopez, respectivement les premier et deuxième trimestres (périodes 13 et 14). Les échanges sont alors intenses entre ces deux zones.

Enfin, les adultes de 3 ans et ceux de 4 ans se concentrent dans les mêmes zones au cours des troisième et quatrième trimestres. Les flux de migrations, qui sont orientées nord-sud à l'ouest, et est-ouest à l'est du Golfe de Guinée, sont de la même manière globalement similaires pour les adultes de 3 ans et pour les adultes de 4 ans.

III.2. CONCLUSION : UN SCHEMA MOYEN DE MIGRATION POUR LE LISTAO DE L'ATLANTIQUE EST.

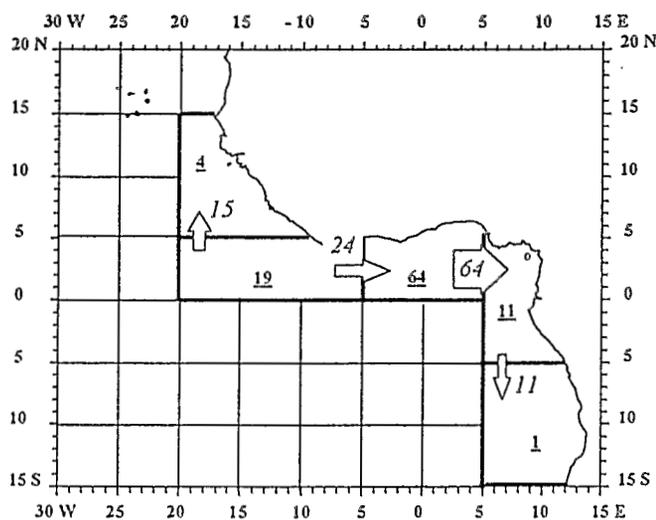
L'analyse des populations locales et des valeurs de migration estimées par notre modèle met en évidence l'importance des flux de poissons, à tout âge, entre les différentes zones. La direction et l'intensité des flux observés correspondent au schéma général qualitatif des migrations du listao, tel qu'il a été défini par Bard (1984) à partir des données de marquages-recaptures (Fig. I.15).

Trimes-tre	Zone	Population début période	Popula-tion fin période	Migration Up	Migration Down	Migration Latérale Up	Migration Latérale Down
1	Sénégal	4.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Libéria	42.5	18.9	14.9	0.0	0.0	23.6
	Ghana	52.2	64.4	0.0	53.1	0.0	11.4
	Cap Lopez	0.1	11.5	0.0	11.7	0.0	0.0
	Angola	1.2	1.2	0.7	0.0	0.0	0.0
2	Sénégal	18.8	18.7	0.0	0.0	0.0	0.1
	Libéria	3.0	17.2	16.1	0.0	0.0	0.7
	Ghana	12.1	12.7	0.0	1.0	14.9	0.1
	Cap Lopez	53.9	39.1	8.5	7.6	14.9	0.0
	Angola	12.2	12.2	0.0	0.0	0.0	0.0
3	Sénégal	33.2	33.2	0.0	12.3	0.0	0.0
	Libéria	1.3	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0
	Ghana	20.0	38.5	20.3	0.0	0.0	0.0
	Cap Lopez	23.5	21.9	16.5	0.0	18.5	0.0
	Angola	19.8	5.1	0.0	0.0	14.7	0.0
4	Sénégal	21.5	21.5	0.0	6.6	0.0	0.0
	Libéria	34.1	34.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	Ghana	37.2	40.1	4.3	0.0	0.0	0.0
	Cap Lopez	2.7	0.9	0.0	0.0	2.9	0.0
	Angola	4.5	3.4	0.0	0.0	1.1	0.0

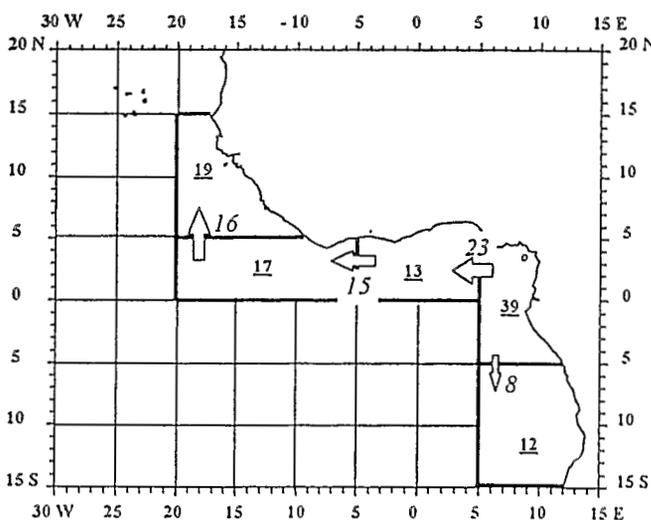
Tableau III.4 : Populations locales et migrations du listao, tous âges confondus, par zone (en pourcentage par rapport à la population totale présente à chaque trimestre).

On retrouve ce schéma général lorsque l'on cumule les différents âges par trimestre (Fig. III.9 et Tabl. III.4). Au premier trimestre, la grande majorité des individus se trouve dans les deux zones centrales Ghana et Libéria (qui représentent à elles deux plus de 80% des effectifs), où a lieu l'essentiel du recrutement. Une importante migration ouest-est le long des côtes africaines a lieu au cours et à l'issue de ce premier trimestre, essentiellement composée de juvéniles qui se concentrent dans les zones de nourricerie du fond du Golfe de Guinée. A la fin de ce premier trimestre, un important flux de poissons, pré-adultes et adultes de 3 ans, se

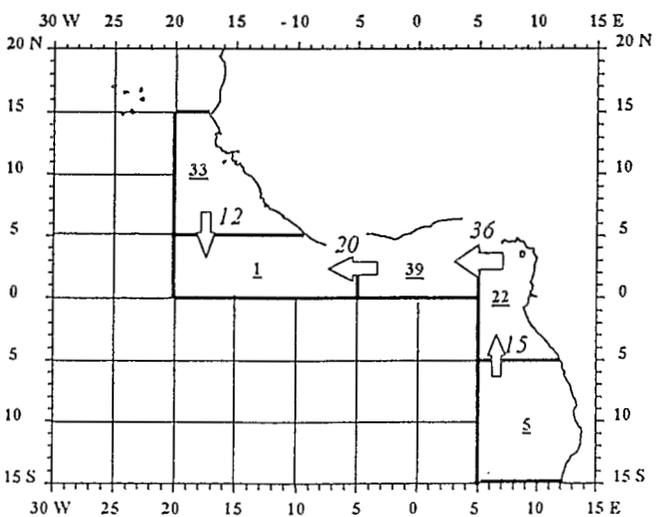
développe vers le nord. Les effectifs de la zone Sénégal augmentent le deuxième trimestre par immigration (ils atteignent près de 20% des effectifs totaux à la fin du deuxième trimestre). Puis au troisième trimestre, toujours grâce à l'arrivée des poissons de la zone Libéria, les eaux du Sénégal deviennent, avec celles de la zone du Ghana, les plus abondantes en listaos (respectivement 33 et 39% des effectifs), devant celles du Cap Lopez (22%). Cette conclusion est confirmée si l'on observe la répartition par zone des captures trimestrielles moyennes pluriannuelles (années 1980-1990) (Fig. I.31). A la fin du troisième trimestre, le sens des migrations s'inverse. On retrouve une situation proche de celle du premier trimestre, mais les poissons se concentrent davantage dans la zone Libéria (34% des effectifs), en particulier les juvéniles et les pré-adultes. Il s'agit des importantes concentrations pluri-spécifiques de listaos et d'albacores juvéniles qui sont largement exploitées durant le quatrième trimestre.



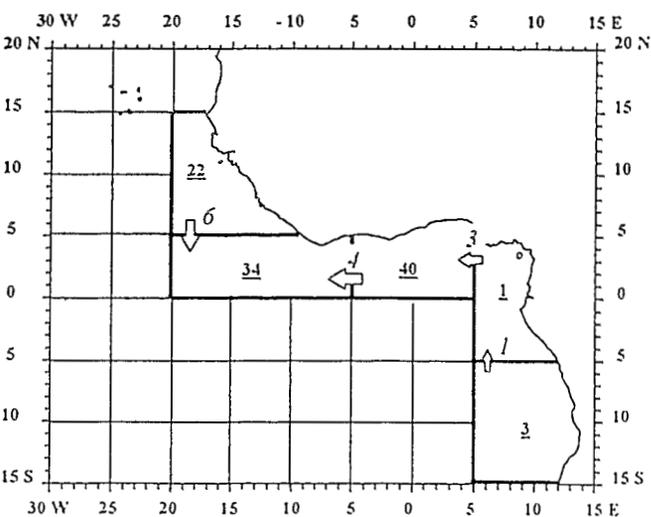
Premier trimestre, tous âges confondus



Deuxième trimestre, tous âges confondus



Troisième trimestre, tous âges confondus



Quatrième trimestre, tous âges confondus

Figure III.9 : Pourcentage de la population de listao présente dans chaque zone de pêche, par trimestre, et migrations entre zones.

IV. DISCUSSION.

IV.1. COMPARAISON AVEC LES RESULTATS OBTENUS PAR LE MODELE D'ESTIMATION DES BILANS MIGRATOIRES.

L'analyse des bilans de migration du listao entre différentes zones de pêche de l'Atlantique Tropical Oriental nous avait permis dans la partie précédente de présenter, de manière qualitative, un schéma des migrations de cette espèce dans l'Atlantique Est. Dans cette partie, le schéma proposé à partir des valeurs des flux de listaos estimés est évidemment globalement similaire. On peut toutefois comparer les flux de migrations, ou tout au moins les bilans de migrations par zone, estimés par les deux méthodes. A partir des estimations des bilans migratoires, donnés en pourcentage des effectifs totaux (Tabl. II.4), on obtient des valeurs des bilans migratoires correspondant aux 5 zones que nous avons retenues ici (Tabl. III.5). De la même manière, en cumulant par zone les flux globaux de listaos estimés (présentés en figure III.9), on obtient des bilans migratoires entre zones (Tabl. III.6).

	Trim 1	Trim 2	Trim 3	Trim 4
Sénégal	17	-3	-13	-3
Libéria	-31	-1	22	4
Ghana	-4	6	0	-3
Cap Lopez	12	7	-22	5
Angola	0	2	-2	-1

Tableau III.5 : Bilans migratoires moyens (tous âges confondus) du listao, calculés à partir des valeurs estimées dans la partie précédente (Tabl. II.4) (en % des effectifs totaux).

Même s'il convient d'analyser ces résultats avec une certaine prudence, en particulier, comme nous l'avons vu plus haut, parce que les zones ne sont pas géographiquement rigoureusement identiques (Sénégal correspond à Sénégal Sud plus Sherbro ; Libéria à Equateur Nord Ouest plus Cap des Palmes), on peut souligner les points suivants :

	Trim 1	Trim 2	Trim 3	Trim 4
Sénégal	15	16	-12	-6
Libéria	-39	-1	32	10
Ghana	-40	8	16	-1
Cap Lopez	53	-31	-21	-2
Angola	11	8	-15	-1

Tableau III.6 : Bilans migratoires moyens (tous âges confondus) du listao calculés à partir des flux de migrations entre zones (en % des effectifs totaux).

* Dans la zone Sénégal, les valeurs obtenues sont très proches dans les deux cas, excepté au deuxième trimestre, avec un bilan migratoire positif lorsqu'il est calculé à partir des flux, et légèrement négatif dans l'autre cas. En fait, à l'issue du deuxième trimestre, les listaos continuent leur migration sud - nord le long des côtes africaines. Dans le cas présent de l'estimation des flux, le système est clos : tous les effectifs, à tous les âges, sont répartis dans les 5 zones au prorata des captures. Les migrations s'arrêtent donc au nord dans la zone Sénégal. Par contre, le système n'est pas nécessairement clos dans le modèle d'estimation des bilans migratoires, puisque les effectifs ne sont pas calculés à partir d'une valeur globale, ensuite répartie par zone, mais directement à l'intérieur de chaque zone (Deuxième Partie, équation 7). Il peut donc y avoir des migrations hors de ces zones. De plus, dans les bilans migratoires globaux du tableau III.5, n'intervient pas la zone Sénégal Nord de la deuxième partie. Les listaos peuvent donc continuer leur migration vers le nord, ce qui peut expliquer que l'on obtienne un bilan migratoire négatif.

* Dans la zone Libéria, les valeurs obtenues sont particulièrement proches dans les deux cas, pour tous les trimestres. Dans les deux zones Cap Lopez et Angola par contre, des différences importantes apparaissent, non dans la direction mais surtout dans l'intensité des bilans migratoires. C'est également le cas, de manière encore plus nette, pour la zone Ghana. Il est difficile de trouver ici une explication satisfaisante. Il est vraisemblable que, comme précédemment pour la zone Sénégal, la présence d'autres zones dans le modèle d'estimation des bilans migratoires (zones équatoriales notamment) soit à l'origine de ces différences. Il conviendrait de ce fait de procéder à de nouvelles estimations des bilans migratoires, en retenant des zones semblables. En conclusion, on retiendra néanmoins la similitude entre les résultats des deux méthodes, dans le schéma global des migrations d'une part, et dans les résultats pour les deux zones nord - ouest d'autre part.

IV.2. LIMITES DE LA METHODE.

Comme nous l'avons déjà souligné plus haut, il convient de considérer avec précaution les valeurs estimées, aussi bien des populations locales que des migrations par âge, dans la mesure où elles demeurent très tributaires de la valeur de recrutement introduite initialement dans le système. L'utilisation de résultats relatifs permet toutefois d'avoir une assez bonne vision globale, d'une part de la répartition géographique des effectifs à chaque âge, et d'autre part des phénomènes de migrations qui interviennent. De plus, la similitude des estimations obtenues par le système expert et par la méthode précédente, plus classique, des bilans migratoires permet de valider cette approche.

D'autre part, le choix d'un recrutement ayant lieu en début d'année est discutable, dans la mesure où l'on sait que la reproduction du listao s'effectue de manière opportuniste, en fonction des conditions environnementales, et que le recrutement, dans le milieu naturel, est de ce fait plus ou moins régulier au cours de l'année (Première Partie, chapitre II.6). Malheureusement, on peut difficilement se placer sous cette hypothèse dans notre modèle, puisqu'alors interviendrait le problème du choix de la zone où aurait lieu le recrutement, ainsi que son intensité (quel serait dans ce cas le nombre de recrues?). On voit bien que se pose ici non pas un problème d'ordre technique (le modèle est capable de gérer ces d'informations), mais bien un problème d'expertise (de quelle manière initialiser la base de faits?). Ainsi, si elle n'est pas pleinement satisfaisante, l'hypothèse d'un recrutement annuel s'avère ici un biais nécessaire.

Les résultats présentés ici sont des valeurs théoriques, puisque le modèle repose sur une cohorte et des captures par âge moyennes. L'avantage de travailler sur une cohorte moyenne réside principalement dans le fait que l'on s'affranchit des variations inter-annuelles, s'il y en a. Le schéma des migrations obtenu présente ainsi un caractère global, mais ne pourra pas expliquer des variations importantes des captures (par l'intensité des migrations) dans une zone et pour une année donnée. L'idée d'utiliser le modèle sur des cohortes réelles, et sur plusieurs années, apparaît ainsi naturellement. Les données des prises par âge et par année sont disponibles, bien que se pose de nouveau le choix de la clé de correspondance taille / âge chez le listao (problèmes de détermination des cohortes liées à la croissance hétérogène des individus selon la zone et l'âge, ainsi qu'aux recrutements continus au cours de l'année, comme cela a été souligné dans la première partie). L'estimation des recrutements par analyse de cohortes s'avérera également délicat, ceci pour les mêmes raisons. On s'aperçoit comme précédemment que le problème est lié à l'expertise initiale du système.

La conceptualisation du modèle impose par définition des pas de temps déterminés, et ainsi une analyse discrète des migrations. L'estimation de migrations à deux échelles de temps différentes (en cours de période et à l'issue de la période) en est la conséquence directe. Il est bien évident que le phénomène des migrations entre zones (comme la mortalité naturelle d'ailleurs) intervient de manière continue. Il est ainsi plus que vraisemblable que des migrations en cours de période et des migrations en fin de période apparaissant dans des zones limitrophes et ayant la même orientation soient constituées des mêmes individus. Il s'agit clairement du cas des migrations observées en période 1 pour les juvéniles : les poissons passent en cours de période du Libéria vers le Ghana, et continuent leur migration (en fin de période) vers le Cap Lopez où ils se concentrent le deuxième trimestre (période 2).

Il est à noter que le modèle détermine les flux de poissons entre zones à partir de la comparaison entre une valeur des effectifs calculée période par période et une valeur théorique estimée par analyse des cohortes et répartie par zone au prorata des captures. Dans des zones où l'effort est faible, donc sans prises significatives, les migrations déterminées seront faibles. On retrouve ici la même limitation que pour le modèle présenté dans la partie précédente. Les taux de migrations obtenus sont ainsi structurellement dépendants de la distribution géographique de l'effort de pêche. D'autres flux peuvent donc exister, ou être quantitativement plus importants : cela pourrait être le cas entre la zone Angola (la partie sud de cette zone a été peu exploitée dans les années récentes) et les zones limitrophes.

Enfin, on peut signaler une dernière limitation, dépendante des hypothèses de base du modèle. Elle concerne à nouveau la répartition des effectifs estimés par zone. Cette répartition est effectuée ici sous l'hypothèse d'une distribution stochastique de l'effort, ce qui équivaut à répartir les effectifs N au prorata des captures par âge. Or les prises d'adultes de plus de 60 cm (individus de 3,5 ans et plus) sont relativement peu nombreuses dans l'Atlantique Tropical Est. Il est possible qu'il existe ainsi une certaine émigration hors des zones étudiées⁽⁵⁾. Ce problème n'affecte toutefois que modérément les résultats, dans la mesure où les simulations s'arrêtent au seizième trimestre (4 ans), et ne concernent que peu les individus âgés. La simulation tournant actuellement dans un système clos, il est envisageable que des possibilités d'entrées et de sorties des listaos dans et hors des zones puissent à terme être intégrées dans le système expert.

⁽⁵⁾ Rappelons qu'aucune migration trans-atlantique n'a à ce jour été prouvée pour le listao. Ces migrations seraient néanmoins envisageables, dans la mesure où les pêcheries situées au large du Brésil pêchent essentiellement des gros individus (voir Première Partie).

V. CONCLUSION ET PERSPECTIVES.

Le modèle développé dans la partie précédente ne permettait pas de connaître l'orientation ni l'intensité des flux de migrations entre les zones. Dans cette partie, cette limitation a été en partie levée, puisque nous avons pu, pour une cohorte moyenne de listaos, dégager et quantifier les migrations entre zones. Ces migrations, exprimées en pourcentage par rapport à la population totale estimée à chaque période, sont globalement en accord avec celles obtenues à partir de l'analyse des bilans de migration. Elles permettent de quantifier le schéma des migrations du listao de l'Atlantique. Ainsi, les migrations du listao suivent un schéma cyclique, au cours de l'année, dans l'Atlantique Tropical Oriental. Il existe de fortes concentrations d'individus dans les zones centrales du Libéria et du Ghana au cours du premier trimestre, qui donnent naissance à des flux de poissons très intenses qui se développent à la fin du premier et au cours du second trimestre, l'un vers le Sénégal, l'autre au Cap Lopez. Deux grands groupes de listaos se constituent alors : celui du Sénégal est composé essentiellement de pré-adultes et d'adultes de 3 ans, et celui du Cap Lopez en majorité de juvéniles. Puis ces deux migrations s'inversent, les poissons convergeant vers les zones centrales, et en particulier vers la zone Libéria, dans laquelle l'exploitation du listao est particulièrement importante au cours du quatrième trimestre.

L'utilisation d'un tel modèle, basé sur des concepts de l'intelligence artificielle, n'est ici qu'une ébauche de ce qui pourrait devenir un système expert complexe modélisant la dynamique de la ressource et l'exploitation des thons tropicaux. Nous n'avons testé le modèle que sur une cohorte moyenne de listao. Il est naturellement envisageable d'étendre les simulations à des cohortes réelles, aussi bien de listaos que d'albacores. L'essentiel de la réflexion nécessaire réside en fait dans l'expertise initiale du système. Les règles employées étant indépendantes les unes des autres, il ne serait pas non plus utopique de développer l'expertise dans d'autres directions pour mieux comprendre la dynamique du système, notamment en intégrant des données concernant le comportement des flottilles et des pêcheurs, ou des données environnementales. Il s'agit là d'axes de recherche possibles. La première approche présentée ici montre que ces méthodes mériteraient à l'avenir d'être développés.

QUATRIEME PARTIE

LA DYNAMIQUE DES CONCENTRATIONS DE THONIDES.

I. INTRODUCTION.

II. MATERIELS ET METHODES.

III. DYNAMIQUE SAISONNIERE ET PAR ZONE.

IV. TYPOLOGIE DES CONCENTRATIONS.

V. CONCENTRATIONS ET EXPLOITATION.

VI. DISCUSSION.

VII. CONCLUSION.

I. INTRODUCTION.

L'analyse des bilans migratoires de l'albacore et du listao, et des flux de migration du listao entre les différentes zones de pêche de l'Atlantique Tropical Oriental a permis dans les parties précédentes de mettre en évidence que ces deux espèces de thonidés tropicaux adoptent un rythme de migration cyclique entre les zones centrales l'hiver et les zones nord et sud l'été boréal. Au cours de ce cycle, les individus peuvent se regrouper momentanément dans des zones géographiquement très limitées au sein de concentrations de poissons. Ce concept de concentration a déjà été évoqué précédemment à plusieurs reprises, en particulier pour les albacores adultes qui se regroupent dans les zones équatoriales au cours du premier trimestre pendant la période de ponte. De la même manière, et sans que l'on connaisse actuellement les déterminants biologiques ou écologiques du phénomène, des listaos et des juvéniles d'albacores et de patudos se regroupent régulièrement chaque année au sein de concentrations pluri-spécifiques au large du Libéria, vers la fin du quatrième trimestre.

Le concept même de concentration de poissons est relativement abstrait. Dans ce concept plusieurs notions entrent en compte : proximité géographique des bancs de poissons, abondance numérique des individus, et continuité dans le temps. Une définition d'une concentration peut ainsi être proposée : une concentration est un regroupement important de bancs de poissons, localisé géographiquement, et ayant une certaine durée dans le temps. Dans le cas des thonidés tropicaux, on retiendra comme échelle géographique quelques carrés de 1° de latitude et de longitude de côté au plus, et comme échelle temporelle quelques jours (semaine) à un ou deux mois au plus.

Les flottilles de senneurs, lorsqu'elles repèrent une concentration de thonidés, peuvent réaliser, du fait même de l'importance ponctuelle des biomasses présentes localement, des prises considérables pendant des périodes de temps relativement brèves. Les temps de recherche des bancs de poissons sont ainsi minimisés, et de ce fait, les rendements obtenus sont particulièrement élevés. Les concentrations de thonidés jouent donc un rôle capital dans les pêcheries de l'Atlantique Tropical Est.

Paradoxalement, les concentrations, leurs types, les zones et périodes de formation, n'ont été que relativement peu étudiées. Fonteneau (1986 et 1991) a ainsi analysé la dynamique de l'exploitation de plusieurs concentrations du début des années 80, choisies *a posteriori* pour leur importance quantitative (en tonnage) dans les prises totales, ainsi que la concentration pluri-spécifique intervenue dans la zone Libéria de la fin 1983 et du début 1984. En fait, cette

absence relative de recherches sur les concentrations est directement liée à la difficulté de les identifier, de manière automatique, à partir des fiches de pêche. En effet, seules les concentrations exploitées peuvent être mises en évidence ; il s'agit alors d'identifier des zones dans lesquelles il y a simultanément de nombreuses unités de pêche qui réalisent des prises élevées, et une certaine continuité de ces prises dans le temps. Or les concentrations sont des structures dynamiques qui se déplacent dans l'océan, parfois avec une grande vitesse. Ainsi, le repérage à partir de tris classiques des proximités géographiques période après période s'avère dans la plupart des cas problématique. La majorité des concentrations qui ont lieu au cours d'une année peuvent ainsi passer inaperçues.

Les principes d'une nouvelle chaîne de traitements informatiques, qui permet d'identifier à partir des fichiers annuels de pêche toutes les concentrations qui ont été exploitées, sont présentés dans cette partie. Cette chaîne est appliquée à chacune des années de la période 1980-1990 ; près de 150 concentrations sont ainsi mises en évidence au cours de cette période. L'analyse dans le détail de chacune d'entre elles pourrait présenter un certain intérêt. En particulier, cela permettrait d'étudier la dynamique de l'exploitation de ces concentrations et notamment les phénomènes de compétition entre navires. Mais ces analyses débordent largement le cadre de notre problématique générale. Par contre, l'analyse globale de la dynamique générale des concentrations, ainsi que de leur variabilité inter et intra-annuelle, va permettre de valider, sous une nouvelle approche, les schémas de migrations de l'albacore et du listao. Par ailleurs, des techniques de l'analyse des données sont utilisées afin de décrire les différents types de concentrations mises en évidence : cela permet de dégager une typologie des concentrations. Enfin, on souligne en dernier lieu l'importance quantitative des concentrations dans les pêcheries de senneurs de l'Atlantique Tropical Oriental.

II. MATERIELS ET METHODES.

L'analyse des concentrations concerne la période récente de 1980 à 1990. Les programmes informatiques d'identification des concentrations utilisent en entrée les statistiques fines de pêche, correspondant aux livres de bord des flottilles de senneurs. Les différentes concentrations mises en évidence sont ensuite réparties entre 12 zones de pêches, selon le découpage adopté dans la deuxième partie (Fig. II.1).

L'étude des concentrations répond à un double objectif. Premièrement, il s'agit de valider les schémas de migration de l'albacore et du listao, en observant leurs périodes et zones d'apparition, ainsi que les directions des déplacements des concentrations. Cette approche est réalisée par cartographie. Deuxièmement, il est possible que le comportement de chaque

concentration (taille, durée, vitesse de déplacement ...) soit lié à l'espèce principale composant cette concentration. On fait ainsi appel aux méthodes de l'analyse des données, bien adaptées dans ce cas, afin de réaliser une typologie de ces concentrations.

II.1. LE REPERAGE AUTOMATISE DES CONCENTRATIONS.

La première étape de l'étude des concentrations consiste en l'identification de chacune d'entre elles. L'idée directrice des programmes d'identification de concentrations est de repérer dans les fichiers "livre de bord", à un moment t donné, une tache de prises très localisées géographiquement, et de suivre les déplacements de cette tache au cours des périodes de temps suivantes $t+\Delta t$. Il s'agit de ce fait d'intégrer de manière tridimensionnelle des proximités entre les deux variables géographiques (latitude et longitude) et la variable temporelle (jours). Dans un tel cas, les méthodes classiques faisant appel à des tris croisés entre variables sont inadaptées.

Une nouvelle chaîne informatique de repérage automatique des concentrations est ainsi présentée. Elle est constituée de trois programmes successifs. Le premier est écrit en FORTRAN, et les deux suivants en langage C. Ces deux derniers programmes utilisent la propriété de récursivité, par laquelle une fonction peut s'auto-appeler. Cette propriété n'existe pas en FORTRAN.

Le premier programme (CONCENT1.FOR) lit les fichiers "livre de bord". Dans un premier temps, les prises sont cumulées, toutes espèces confondues, par carrés de 1° de latitude et de longitude de côté, et par période de 5 jours. Par la suite, ces périodes de 5 jours sont appelées "pentade", par analogie à décade (10 jours). Le programme élimine ensuite les carrés (par pentade) à l'intérieur desquels les prises sont inférieures à un seuil fixé par hypothèse à une tonne ; ceci permet d'écarter toutes les strates avec effort de pêche mais sans prise, et tous les coups de senne faibles.

Le second programme (CONCENT2.C) permet d'évaluer les proximités géographiques. A partir du fichier issu du programme précédent, trié par pentade et par carré, la distance euclidienne entre deux carrés successifs est évaluée pentade après pentade. Si cette distance est inférieure à deux degrés, c'est-à-dire que les carrés sont limitrophes (l'un est situé par rapport à l'autre directement au nord, sud, est ou ouest, ou au nord-est, nord-ouest, sud-est ou sud-ouest), alors ces deux carrés sont attribués à une même classe donnée. La fonction se réappelle autant de fois que nécessaire afin de trouver tous les carrés limitrophes qui appartiennent à la même classe. C'est ici qu'intervient pour la première fois la récursivité. Pour

chaque pentade, on aura donc en définitive plusieurs classes, correspondant à autant de petites concentrations de 5 jours.

Le dernier programme de la chaîne (CONCENT3.C) permet d'évaluer les proximités temporelles, à partir du fichier écrit par le programme précédent, trié par pentade et par carré. La définition d'une concentration proposée précédemment fait intervenir une notion de durée du regroupement des bancs de poissons. Le choix de cette durée peut être assez arbitraire. Toutefois, on considère que l'on ne peut parler de concentration qu'à partir d'une durée minimale d'une semaine. Dans toute cette partie, on ne s'intéressera qu'aux principales concentrations de la période 1980-1990, en choisissant par hypothèse une durée minimale des concentrations égale à 15 jours, soit 3 pentades. Ce choix est volontairement restrictif ; vraisemblablement certaines concentrations courtes sont ainsi éliminées.

Ce dernier programme va donc repérer, en utilisant à nouveau la propriété de récursivité, les différentes classes que l'on retrouve d'une pentade à la suivante, et ceci pendant au moins trois pentades, et éliminer les autres classes.

Finalement, le résultat obtenu est un fichier qui contient les principales concentrations identifiées chaque année (entre 10 et 20). Chacune d'entre elles est caractérisée par les numéros de pentades de début et de fin de concentration : les jours de début et de fin de concentrations sont ainsi connus. Par ailleurs, les latitudes maximales nord et sud, les longitudes maximales ouest et est, la durée totale, la distance moyenne parcourue, ainsi que la prise totale réalisée sur la concentration, toutes espèces confondues, sont également connus.

Les trois programmes ci-dessus sont présentés dans l'annexe D1.

II.2. METHODES D'ANALYSE DES CONCENTRATIONS.

II.2.1. Analyses descriptives.

Afin de définir une typologie des concentrations, on utilise deux méthodes classiques en analyse des données : l'analyse des correspondances multiples (ACM) et la classification ascendante hiérarchique (CAH). On s'intéresse ainsi à l'analyse d'un tableau de données, dont les lignes sont les différentes concentrations, et les colonnes les variables descriptives précédemment citées. On cherche ainsi à identifier des types de concentrations présentant les mêmes caractéristiques.

Nous ne reviendrons pas ici sur la théorie mathématique des deux méthodes utilisées ; elles sont par ailleurs largement décrites par de nombreux auteurs (Benzécri, 1973 ; Lebart *et al.*, 1979 ; Legendre et Legendre, 1979 ; Escofier et Pagès, 1988). Rappelons seulement que l'ACM permet d'étudier un tableau de i individus (lignes) par j variables qualitatives (ou nominales) (colonnes), chacune d'entre elles étant caractérisée par un nombre variable de modalités. Au même titre que l'analyse en composantes principales (ACP), qui croise des tableaux d'individus avec des variables quantitatives (ou continues), l'objectif de l'ACM est double. Elle permet d'une part de réaliser une typologie des individus statistiques étudiés (*i.e.* ici les concentrations), basée sur des proximités entre individus (en terme de distance du χ^2) d'autant plus grandes que le nombre de modalités en commun est élevé. D'autre part, elle permet d'établir des liaisons entre les variables, par l'association mutuelle entre les modalités.

La CAH se base sur les résultats (définitions des axes et des distances factorielles) de l'ACM. Elle permet d'établir une typologie, en constituant des groupes homogènes composés d'individus ayant des caractéristiques communes. Pour cela, la CAH procède à une répartition des individus en différentes classes, en recherchant à minimiser l'inertie (c'est-à-dire la somme des distances entre les individus) à l'intérieur de chaque classe, et inversement, à maximiser l'inertie globale entre les différentes classes.

Ces deux méthodes ont également l'avantage d'aboutir à une représentation graphique simple des données (individus, variables et classes) sur les principaux axes vectoriels calculés par l'ACM.

II.2.2. Description des variables utilisées.

Plusieurs variables sont utilisées pour décrire les concentrations mises en évidence par la chaîne d'identification précédente. A partir des dates et des positions précises, on peut effectuer sur les fichiers "livre de bord" (les fichiers utilisés sont des fichiers corrigés : ils ont en effet subi un traitement informatique qui permet de corriger les erreurs dues à l'estimation de la composition spécifique, en particulier pour les thonidés de petite taille, listaos et juvéniles d'albacores et de patudos) une sélection des enregistrements correspondant à tous les coups de senne réellement réalisés sur chaque concentration. On connaît alors la durée réelle en jours, la prise réelle par espèce (composition spécifique), le nombre d'heures de pêche et de recherche, le nombre de calées (coups de senne) et de calées nulles, la prise par unité d'effort, le nombre de senneurs ayant exploité cette concentration (donc le nombre de bateaux / jour).

Par ailleurs, à partir de ces informations il est possible de calculer un type de concentration pour chacune d'entre elles, en fonction de la proportion entre les différentes espèces. On retient, de manière arbitraire, le découpage suivant :

- type 1 : plus de 75% d'albacores
- type 2 : plus de 75% de listaos
- type 3 : mélange pluri-spécifique d'albacores, listaos et patudos

Après répartition des concentrations par type selon le découpage précédent, on obtient en fin de compte qu'en moyenne les concentrations de type 1 sont composées de 90% d'albacores, que celles de type 2 sont composées de 81% de listaos et que les concentrations de type 3 le sont de 47% d'albacores, 47% de listaos et 6% de patudos.

Dans l'analyse des correspondances multiples (ACM), puis dans la classification ascendante hiérarchique (CAH), les tableaux de données utilisés contiennent en ligne un identificateur de la concentration, et en colonne des variables caractérisant chacune d'entre elles. Chaque concentration est ainsi caractérisée initialement par 14 variables, 5 variables nominales et 9 variables continues (Tabl. IV.1).

Nom de la Variable	Type	Nombre de Modalités
Type de concentration	Nominale	3
Durée	Continue	-
Surface	Continue	-
Prise totale	Continue	-
Trimestre	Nominale	4
Zone	Nominale	12
Nombre de Bancs	Continue	-
PUE	Continue	-
Bateaux	Continue	-
Pays	Nominale	3
Mois	Nominale	12
Distance	Continue	-
Vitesse	Continue	-
Année	Continue	-

Tableau IV.1 : Liste des variables utilisées dans l'analyse.

L'ACM permet d'utiliser des variables nominales comme variables actives, c'est-à-dire qui participent à la formation des axes factoriels, ce qui n'est pas le cas d'autres analyses (Analyse Factorielle des Correspondances par exemple). Les variables continues initiales sont

Nom de la Variable	Modalités		
	Nombre	Identificateur	Libellé
Type de concentration	3	YFT SKJ YSB	Plus de 75% YFT Plus de 75% SKJ 3 espèces mélangées
Durée	3	DMI DMO DMX	Durée < 20 j. Durée entre 20 et 40 j. Durée > 40 j.
Surface	3	SMI SMO SMX	Surface < 40 000 nm ² Surface entre 40 et 70 000 nm ² Surface > 70 000 nm ²
Prise totale	4	TOT1 TOT2 TOT3 TOT4	< 2 000 t. entre 2 000 et 4 000 t. entre 4 000 et 6 000 t. > 6 000 t.
Trimestre	4	T1 T2 T3 T4	1er trimestre 2ème trimestre 3ème trimestre 4ème trimestre
Zone	12	CV NS SS SH ENW CP GH ESW ESC ESE CL ANG	Cap Vert Nord Sénégal Sud Sénégal Sherbro Equ. Nord Ouest Cap des Palmes Ghana Equ. Sud Ouest Equ. Sud Centre Equ. Sud Est Cap Lopez Angola
Nombre de bancs	3	BcF BcM BcG	Moins de 200 bancs 200 < Nb bancs < 400 Plus de 400 bancs
PUE	3	UF UMOY UG	PUE < 20 t/j 20 < PUE < 40 t/j PUE > 40 t/j
Bateaux	3	BATF BATM BATG	Moins de 100 bateaux 100 < bateaux < 300 Plus de 300 bateaux
Pays	3	Fran Espa Mixt	France Espagne France+Espagne

Tableau IV.2 : Liste des variables nominales actives et de leurs modalités.

donc transformées en variables nominales actives (Tabl. IV.2), les valeurs continues étant conservées comme variables illustratives. Les variables Distance, Vitesse, assez largement redondantes avec les variables Surface et Durée, ne sont conservées dans l'analyse que comme variables continues illustratives. Il en va de même de la variable Année, dans la mesure où on souhaite identifier des types de concentrations, indépendamment de l'année considérée. Enfin, la variable nominale Mois, redondante avec la variable Trimestre, est également introduite dans l'analyse comme variable illustrative.

En définitive, le tableau de données croise 143 lignes (concentrations) et 20 colonnes, 10 actives (soit 41 modalités) et 10 illustratives.

III. DYNAMIQUE SAISONNIERE ET PAR ZONE.

La chaîne de traitements présentée plus haut permet de mettre en évidence dans l'Atlantique Tropical Oriental 143 concentrations importantes entre 1980 et 1990. Dans un premier temps, on va présenter les principales caractéristiques de ces concentrations, puis dans un second temps, on analysera les variations spatio-temporelle, inter et intra annuelles.

III.1. CARACTERISTIQUES GENERALES DES CONCENTRATIONS.

Ces différentes concentrations peuvent être très dissemblables entre elles, tant dans la composition spécifique, comme nous le verrons par la suite, que dans leur durée, leur surface, ou les prises réalisées.

	MIN	MAX
Durée (jours)	9	74
Surface (1000 milles ²)	4	282
Distance Parcourue (milles)	0	272
Vitesse de Déplacement (nm/j)	0	18.0
Nombre d'heures de pêche	300	8903
Nombre de bancs capturés	31	1041
Prise (Tonnes)	716	15490
PUE (Tonnes/jour)	8.3	70.3

Tableau IV.3 : Minima et maxima de différentes variables caractéristiques des 143 concentrations mises en évidence.

La durée des concentrations peut ainsi varier entre 9 et 74 jours (Tabl. IV.3), mais 78% d'entre elles auront une durée inférieure à un mois (Fig. IV.1). La quantité de thons pêchés sur une concentration est également très variable, puisque les prises extrêmes varient entre 716 tonnes et 15490 tonnes. Les prises inférieures à 1 000 tonnes sont toutefois rares (elles ne représentent que 3% du nombre total de concentrations). En revanche, dans 83% des concentrations, les prises réalisées n'excèdent pas 6 000 tonnes. La distance parcourue, en milles nautiques, est également particulièrement variable (Fig. IV.1). Par contre, la majorité des concentrations (74%) a une vitesse de déplacement faible, inférieure à 6 milles nautiques par jour. Seulement 9% d'entre elles ont des vitesses élevées supérieures à 10 milles par jour.

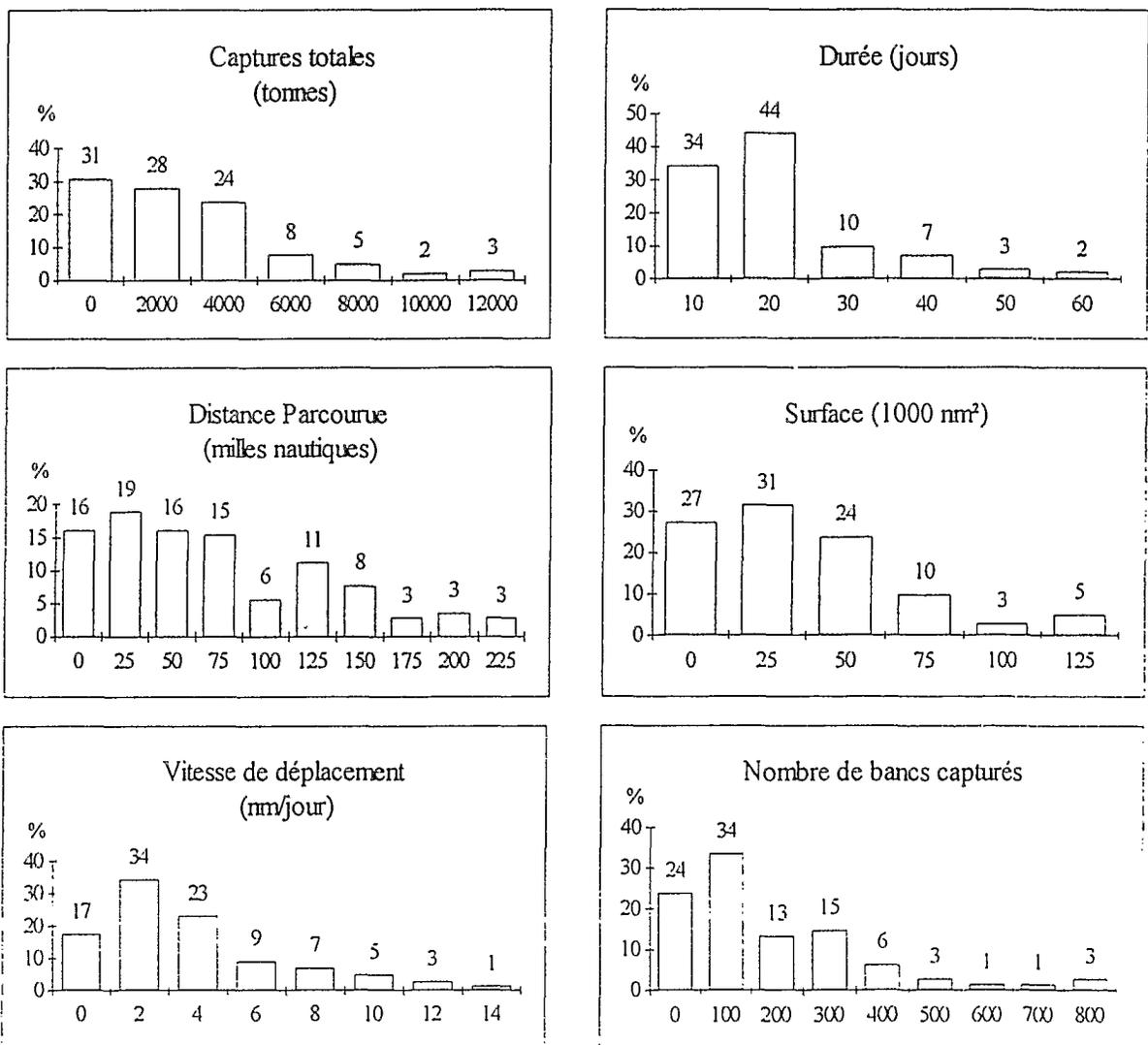


Figure IV.1 : Fréquence des concentrations (en pourcentage) en fonction de différentes classes de variables les caractérisant.

III.2. VARIATIONS INTER-ANNUELLES DE L'ABONDANCE DES CONCENTRATIONS.

Les 143 concentrations mises en évidence sont présentées par trimestre et par zone dans l'annexe D3. On y trouve le type de chaque concentration, les positions de début et de fin, la distance parcourue et le (ou les) mois pendant le(s)quel(s) elles se sont formées. Le nombre de concentrations par an varie relativement peu (Fig. IV.2) entre 1980 et 1990. Aucune tendance marquée n'apparaît. Le nombre de ces concentrations varie ainsi entre 9 au minimum en 1988 et 17 au maximum en 1981. Bien que l'on puisse penser *a priori* que le nombre de concentrations identifiées pourrait augmenter avec la quantité d'effort de pêche déployée, il n'y a pas de relation entre ces deux valeurs. En effet, le coefficient de corrélation linéaire calculé entre le nombre de concentrations et l'effort annuel total des senneurs est ici de 0.41. Il n'est pas significatif. Il semble donc qu'il y ait donc indépendance entre le nombre de concentrations par an et l'effort de pêche. Le nombre potentiel de concentrations qui peuvent apparaître par an est ainsi relativement constant.

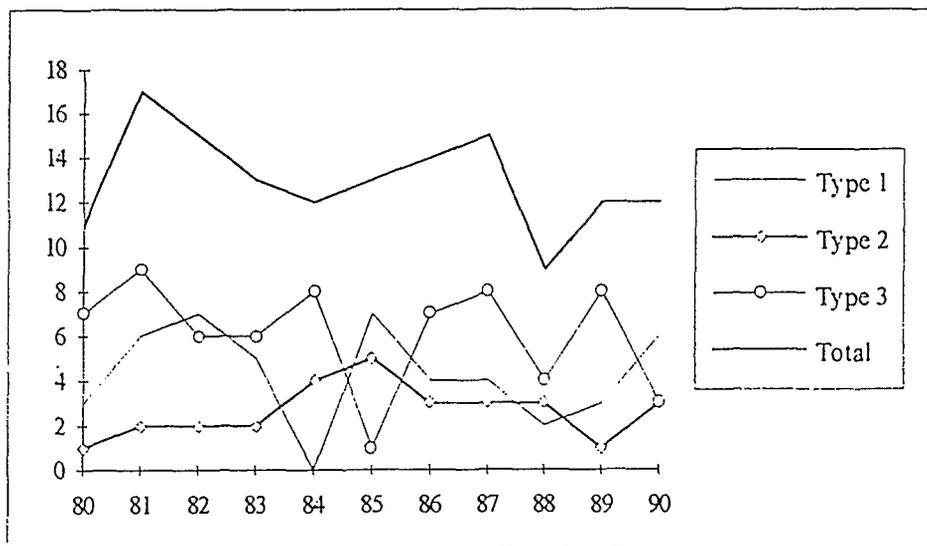


Figure IV.2 : Evolution du nombre de concentrations par type et par an dans l'Atlantique Tropical Oriental.

D'une année à l'autre, le nombre de concentrations par type (en fonction de la composition spécifique) reste globalement similaire (Fig. IV.2 et Tabl. IV.4). D'une manière générale, les concentrations présentant des bancs pluri-spécifiques (concentrations mixtes) sont les plus nombreuses, les concentrations composées à plus de 75% de listaos étant par contre

relativement plus rares. Certaines années présentent toutefois des anomalies par rapport à ce schéma général. C'est le cas en premier lieu de 1984, année au cours de laquelle aucune concentration d'albacore n'a été trouvée. Cette année 1984 est déjà apparue à plusieurs reprises comme atypique. Rappelons qu'elle a été caractérisée par un événement climatique exceptionnel de type "El Niño", entraînant une couche d'eau chaude homogène particulièrement épaisse lors du premier trimestre de l'année (Fonteneau, 1991b). Les concentrations d'albacores, exploitées les autres années lors du premier trimestre, n'ont pas été observées, soit parce qu'elles ne se sont pas formées cette année-là, soit parce qu'elles n'ont pas été disponibles aux engins de pêche (si elles se sont formées plus en profondeur, par exemple).

	+ de 75% d'albacores		+ de 75% de listaos		Concentration mixte		Total	
	N	%	N	%	N	%	N	%
80	3	27	1	9	7	64	11	100
81	6	35	2	12	9	53	17	100
82	7	47	2	13	6	40	15	100
83	5	38	2	15	6	46	13	100
84	0	0	4	33	8	66	12	100
85	7	54	5	38	1	8	13	100
86	4	29	3	21	7	50	14	100
87	4	27	3	20	8	53	15	100
88	2	22	3	33	4	44	9	100
89	3	25	1	8	8	67	12	100
90	6	50	3	25	3	25	12	100

Tableau IV.4 : Type des concentrations en fonction de la composition spécifique.

Deux autres années sont différentes des autres. Il s'agit de 1985 et de 1990 au cours desquelles le nombre de concentrations mixtes a été particulièrement faible. En 1985, il n'y a pas eu de concentration mixte au cours des deuxième et troisième trimestres (ou tout au moins elles n'ont pas été exploitées), comme elles apparaissent régulièrement au large du Sénégal et du Cap Lopez (Annexe D3). Par contre, les concentrations d'albacores ont été nombreuses. La situation est similaire en 1990, où il n'y a pas eu l'apparition des concentrations mixtes du Sénégal et du Cap Lopez lors du deuxième trimestre. En 1990 également, les concentrations d'albacores sont relativement nombreuses. Deux concentrations d'albacores exceptionnelles (par leur période de formation et la zone d'apparition) ont ainsi été exploitées en août au large de la Côte d'Ivoire (zones Cap des Palmes et Ghana), permettant des prises de l'ordre de 5 000 tonnes, à une période où on n'observe jamais de telles concentrations au cours des autres

années. Aucune explication n'apparaît de manière évidente pour interpréter ces cas particuliers. Toutefois, trois raisons différentes pourraient contribuer à en donner une explication rationnelle : d'abord, des conditions hydro-climatiques locales exceptionnelles, ensuite des problèmes pour conclure les accords de pêche entre certains pays africains et la CEE, entraînant temporairement une baisse, voire une absence totale d'effort de pêche (par exemple au Sénégal en 1990), enfin des perturbations des prix du marché, pouvant entraîner un report de l'effort des petits individus (listaos) vers les gros (albacores), vendus plus chers.

La répartition des concentrations par zone (Tabl. IV.5) et par trimestre (Tabl. IV.6) est assez similaire d'une année à l'autre. Les deux zones Sud Sénégal et Cap Lopez sont celles où les concentrations sont les plus fréquentes, surtout au cours des deuxième et troisième trimestres (Annexe D3). Dans la zone du Cap des Palmes, les concentrations sont également nombreuses, surtout au cours des années les plus récentes : on y trouve deux types de

	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	Total
CAP VERT						1						1
NORD SENEGAL								1				1
SUD SENEGAL	2	3	2	3	3	3	4	3	2	2	2	29
SHERBRO	1	1	2	1						1	1	7
EQU. N.W.	1	1		1	1	1	1	1	1	1		9
CAP DES PALMES	2	5			1		3	3	3	3	4	24
GHANA	2	3	1	1	2	1	3	1		1	2	17
EQU. S.W.			1								1	2
EQU. S.C.		1	2	2		1		3		2		11
EQU. S.E.	1	1	2			2						6
CAP LOPEZ	2	2	3	4	3	2	3	4	2	2	2	29
ANGOLA			2	1	2	2						7
TOTAL	11	17	15	13	12	13	14	15	9	12	12	143

Tableau IV.5 : Répartition des concentrations par an et par zone (années 1980 à 1990).

concentrations, des concentrations d'albacores au cours du premier trimestre (années 1981, 1985, 1986 et 1990) et des concentrations mixtes ou de listaos le quatrième trimestre (chaque année exceptées 1982 et 1985). Par contre, il n'y a pratiquement jamais de concentrations dans les zones nord du Cap Vert et du Nord Sénégal et dans la zone équatoriale de l'Equateur Sud Ouest, mais ce sont des zones relativement peu exploitées par les senneurs.

	Trim 1	Trim 2	Trim 3	Trim 4	Total
80	2	2	4	3	11
81	4	5	3	5	17
82	2	6	3	4	15
83	3	5	3	2	13
84	1	6	3	2	12
85	2	4	4	3	13
86	2	4	4	4	14
87	4	4	5	2	15
88	1	4	3	1	9
89	3	1	5	3	12
90	2	2	5	3	12
Moyenne	2.4	3.9	3.8	2.9	13

Tableau IV.6 : Répartition des concentrations par trimestre.

Peu de différences apparaissent entre les différentes années en ce qui concerne le nombre de concentrations par trimestre. La seule exception marquante est 1984 : au cours de cette année, il n'y a eu qu'une seule concentration exploitée au cours du premier trimestre. Il s'agit d'une concentration pluri-spécifique à dominante listao qui a débuté dès le mois de décembre 1983. Cette concentration particulière et bien connue a fait l'objet d'une étude approfondie par Fonteneau en 1991. Par contre, en 1984 il n'y a eu aucune concentration d'albacores au cours du premier trimestre.

	Nombre concentrations	Calées	Calées nulles	% calées nulles	Nombre de jours	Calées positives par jour	Nombre de bancs
80	11	4181	244	5.8	1984	1.98	3937
81	17	3924	345	8.8	2042	1.75	3579
82	15	4387	641	14.6	2718	1.38	3746
83	13	3257	448	13.8	2100	1.34	2809
84	12	3649	440	12.1	2121	1.51	3209
85	13	3824	775	20.3	2010	1.52	3049
86	14	3223	457	14.2	1873	1.48	2766
87	15	3582	367	10.2	2254	1.43	3215
88	9	2934	337	11.5	1683	1.54	2597
89	12	2498	268	10.7	1625	1.37	2230
90	12	2873	298	10.4	1823	1.41	2575
Moy	13	3485	420	12.1	2021	1.52	3065

Tableau IV.7 : Nombre de calées et de jours de pêche sur les concentrations de 1980 à 1990.

Enfin, on note dans le tableau IV.7 les nombres de calées et de calées nulles réalisées sur les concentrations exploitées durant les années 1980 à 1990, ainsi que le nombre de jours de pêche. Ici encore, il n'y a pas de différences entre les années. On adoptera cette conclusion de manière générale, aucune année, exceptée 1984, n'apparaissant vraiment exceptionnelle pour le nombre et de type des concentrations. Les différences entre les concentrations seront plus marquées en fonction des variations saisonnières.

III.3. VARIATIONS INTRA-ANNUELLES DE L'ABONDANCE DES CONCENTRATIONS.

On s'intéresse ici à la distribution spatiale et saisonnière des 143 concentrations initialement mises en évidence, indépendamment de leur année de formation. Ces concentrations sont réparties par mois, par zone et par type. Dix d'entre elles ont une durée de l'ordre de deux mois. Elles sont donc comptabilisées deux fois, une fois pour chaque mois. On obtient en définitive un total de 153 concentrations (Fig. IV.3 et Annexe D2, Tabl. D1).

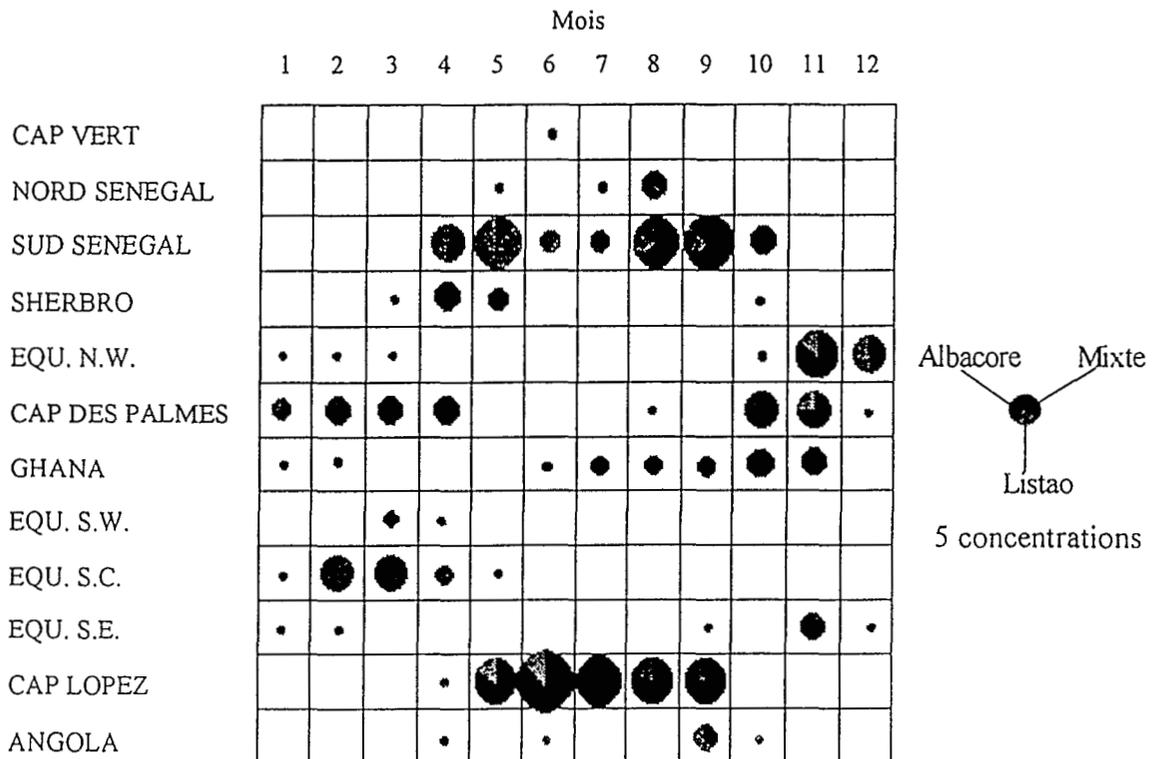


Figure IV.3 : Répartition du nombre de concentrations par mois, zone et espèce principale.

Toutes les concentrations identifiées au cours du premier trimestre sont apparues dans les zones situées de part et d'autre de l'équateur, principalement dans les deux zones du Cap des Palmes et de l'Equateur Sud Centre. Les concentrations du premier trimestre sont des concentrations d'albacores (Fig. IV.3 et Fig. IV.4). Sur l'ensemble de la période 1980-1990, il a ainsi été mis en évidence 23 concentrations d'albacores durant le premier trimestre, alors que deux seulement sont composées principalement de listaos et deux sont des concentrations pluri-spécifiques (Tabl. IV.8). Ainsi, au cours des mois de février et mars, 95% des concentrations identifiées sont composées à plus de 75% d'albacores.

		Trim 1	Trim 2	Trim 3	Trim 4	TOT
Albacore	Nombre	23	8	9	9	49
	Part du trimestre dans les concentrations d'albacore (%)	46.9	16.3	18.4	18.4	100.0
	Part des concentrations d'albacore dans le trimestre (%)	85.2	17.8	19.1	26.5	32.0
Listao	Nombre	2	14	7	8	31
	Part du trimestre dans les concentrations de listao (%)	6.5	45.2	22.6	25.8	100.0
	Part des concentrations de listao dans le trimestre (%)	7.4	31.1	14.9	23.5	20.3
Mixte	Nombre	2	23	31	17	73
	Part du trimestre dans les concentrations mixtes (%)	2.7	31.5	42.5	23.3	100.0
	Part des concentrations mixtes dans le trimestre (%)	7.4	51.1	66.0	50.0	47.7
Total	Nombre	27	45	47	34	153
	Part du trimestre (%) dans le nombre total de concentrations	17.6	29.4	30.7	22.2	100.0

Tableau IV.8 : Répartition (en pourcentage) des concentrations identifiées en fonction de leur composition spécifique, et de leur trimestre d'apparition.

Les concentrations d'albacores précédentes ne se retrouvent pratiquement plus au deuxième trimestre, excepté au début du mois d'avril (4 concentrations d'albacores identifiées dans les zones Cap des Palmes et Equateur Sud Centre). Le second trimestre est plutôt caractérisé par le déplacement des concentrations des zones équatoriales vers les zones de latitude plus élevées, comme le montre la figure IV.4. Vers le nord (large du Sénégal) d'abord, où sur les 7 concentrations mises en évidence au mois de mai dans les zones Nord et Sud Sénégal (Fig. IV.4), 6 sont constituées de plus de 75% de listaos. Puis vers le sud ensuite, où

au cours du mois de juin, l'essentiel des concentrations se trouve au large du Cap Lopez (10 sur 15). Ce sont des concentrations pluri-spécifiques, alors que les deux concentrations identifiées au large du Sénégal sont encore composées à majorité de listaos.

Le schéma de répartition par zone des concentrations au cours du troisième trimestre est pratiquement identique à celui observé précédemment pour le second trimestre. La majorité de ces concentrations (77%) se trouve dans les zones Sénégal et Cap Lopez (respectivement 20 et 16). On retrouve à nouveau des concentrations composées à majorité de listaos au large du Sénégal, alors que celles du Cap Lopez sont exclusivement des concentrations pluri-spécifiques. Toutefois, au cours de ce troisième trimestre, apparaissent des concentrations dans la zone Ghana (Fig. IV.4), soit d'albacores, soit mixtes. En septembre, quelques concentrations apparaissent également dans la zone Angola, composées principalement de listaos.

Au cours du dernier trimestre enfin, la répartition des concentrations change radicalement (Fig. IV.3). Elles disparaissent complètement des zones Sénégal (à partir de novembre) et Cap Lopez (dès octobre). Ainsi, il semblerait que le mois d'octobre soit une période intermédiaire entre les mois d'été et les deux derniers mois de l'année. L'essentiel des concentrations se trouve dans les deux zones Cap des Palmes et Ghana. Ce sont des concentrations mixtes ou d'albacores.

En novembre, deux zones bien distinctes se distinguent. Dans la première, située entre 2° et 5° de latitude nord et 12° et 18° de longitude ouest, appelée zone "Libéria", on trouve de nombreuses concentrations, soit composées à majorité de listaos, soit le plus souvent mixtes (les trois espèces mélangées). Ces concentrations apparaissent régulièrement chaque année (Annexe D3). La présence de concentrations du même type dans la même zone se confirme le mois suivant, et dans une moindre mesure en janvier (Fig. IV.4). L'autre zone particulière est constituée du sud de la zone Ghana et de la zone Equateur Sud Est. C'est une zone où sont clairement identifiées des concentrations d'albacores.

- ➔ + 75% YFT
- ➔ + 75% SKJ
- ➔ Bancs mixtes

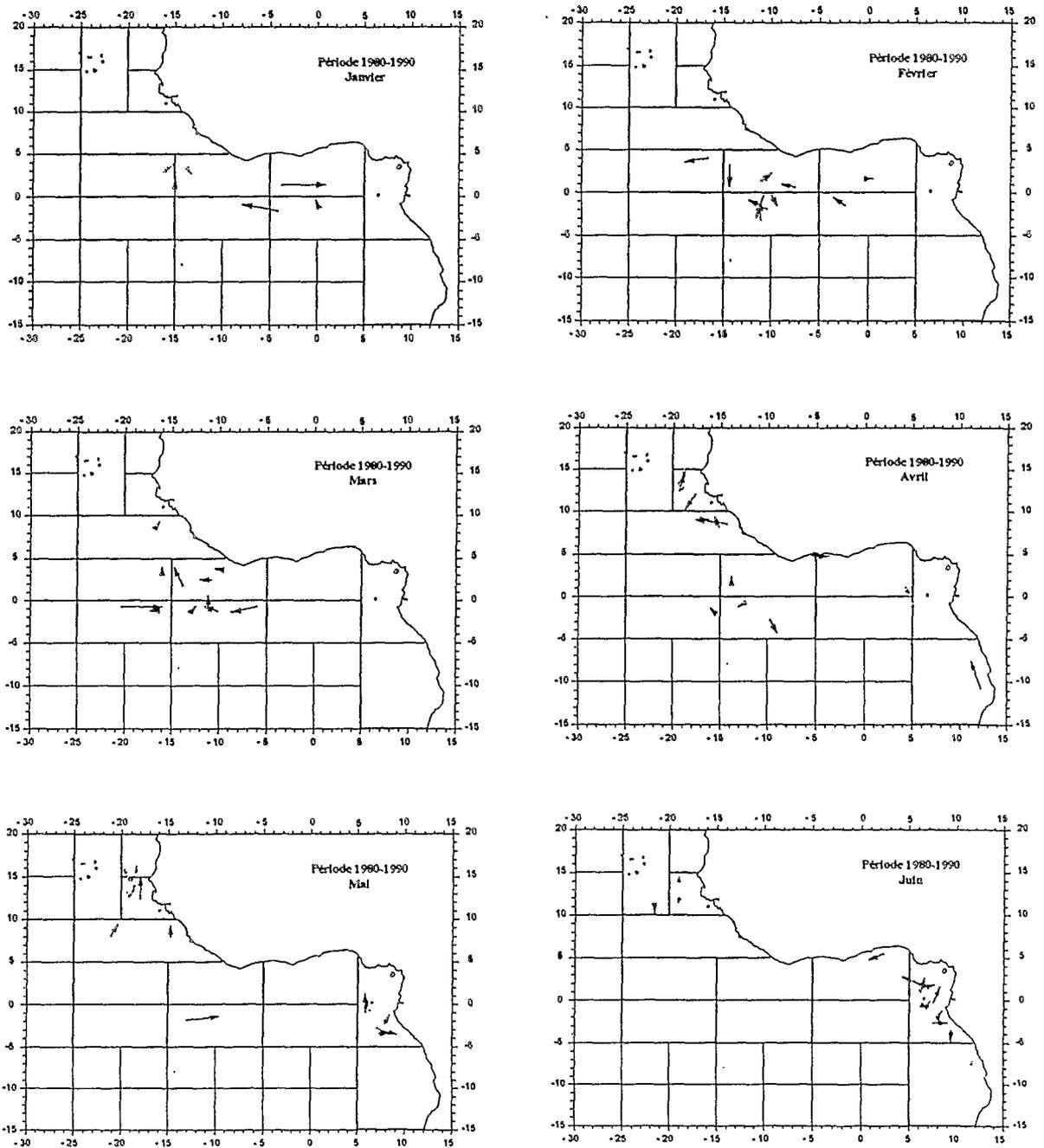


Figure IV.5 : Répartition par mois des principales concentrations de thonidés mises en évidence durant la période 1980-1990 (les flèches représentent le sens du déplacement de la concentration, ainsi que les latitudes et longitudes moyennes de début et de fin).

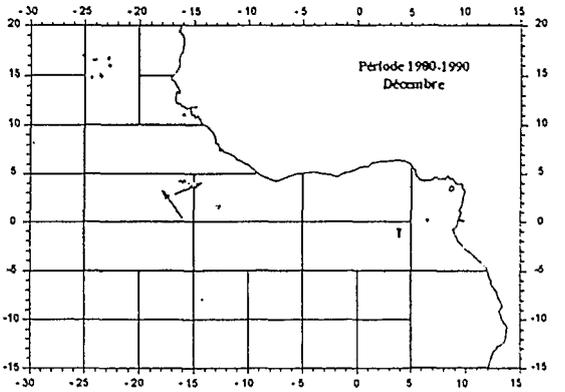
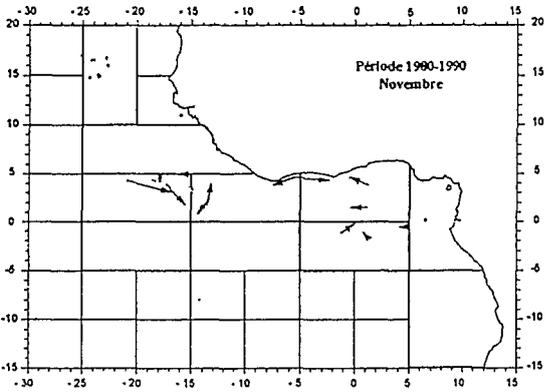
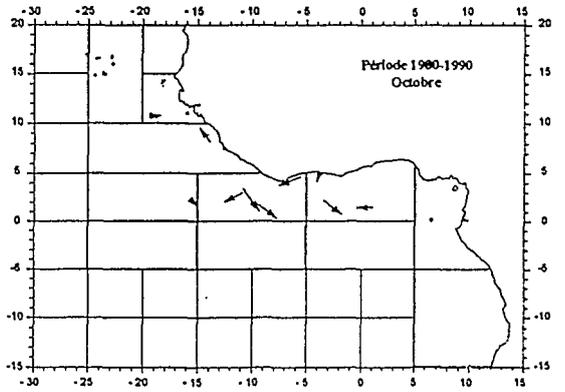
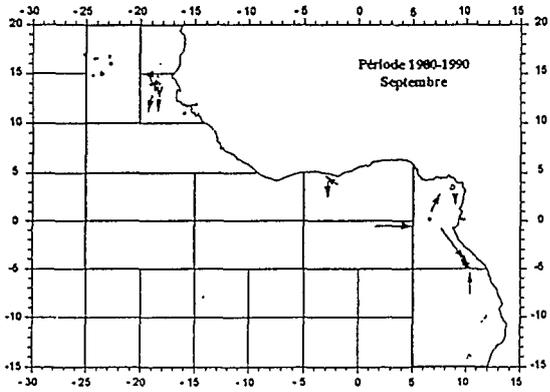
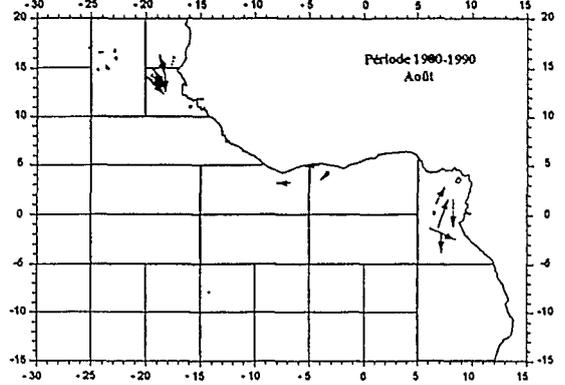
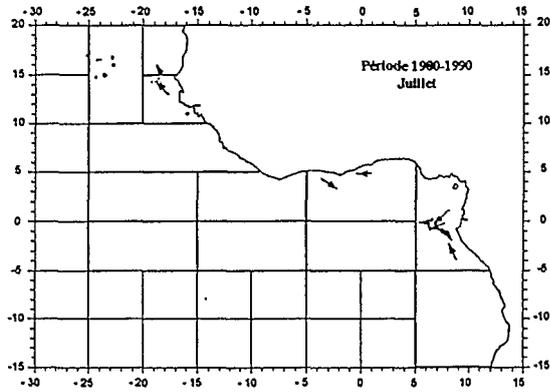


Figure IV.5 (suite).

III.4. CONCENTRATIONS ET MIGRATIONS.

Dans les paragraphes précédents, une nette opposition dans le schéma de répartition des concentrations entre l'été et l'hiver boréal a été montrée. Les principales concentrations de thons apparaissant globalement dans les zones les plus équatoriales durant l'hiver, à partir du quatrième trimestre et jusqu'à la fin du mois de mars, et dans les zones plus au nord (Sénégal) et plus à l'est (Cap Lopez et Angola) durant les deuxième et troisième trimestres. Ce schéma est identique à celui mis en évidence dans les parties précédentes pour les migrations de l'albacore et listao. En effet, les bilans migratoires des deux espèces sont largement positifs, à tout âge, dès la fin du premier trimestre et à l'issue du second dans les zone nord (Sherbro et Sénégal) et ils sont négatifs dans les zones centrales (zones équatoriales et Cap des Palmes notamment). De la même manière, ces bilans migratoires sont largement positifs aux mêmes trimestres dans la zone du Cap Lopez. L'étude des flux de listaos montre également une importante arrivée de poissons dans ces zones Sénégal et Cap Lopez à l'issue des premier et deuxième trimestres. Les principales concentrations identifiées apparaissent donc sur les axes principaux des migrations.

Pendant le premier trimestre, on observe toutefois que les directions des différentes concentrations, essentiellement d'albacores, identifiées dans les zones équatoriales ne semblent pas indiquer un mouvement général orienté des poissons. Il y a donc convergence des albacores adultes vers les zones équatoriales dès le début du premier trimestre. Ces animaux viennent soit des zones ouest-africaines, soit du Cap Lopez, soit encore d'autres parties de l'Atlantique (Atlantique central et côtes américaines) comme cela a été montré dans la deuxième partie (étude des bilans migratoires entre Atlantique ouest et est). Les regroupements de bancs qui se produisent alors dans les zones équatoriales ne sont donc pas directement liés à la migration. Il est vraisemblable qu'il s'agisse alors de concentrations de reproduction, en relation avec la période de ponte des adultes.

Par contre, à partir du mois d'avril, et surtout en mai et juin, deux mouvements orientés très nets apparaissent. Le premier, orienté sud - nord, se situe devant les côtes sénégalaises. Au mois de mai en effet, toutes les concentrations identifiées au large du Sénégal, qu'elles soient mixtes ou composées principalement de listaos, ont toutes la même direction du sud vers le nord. Le flux de poissons passant devant le Sénégal à cette période est donc encore ici extrêmement net. Ce flux est directement à relier avec la remontée des isothermes durant ce mois (Fig. I.3, pages 10 à 12). Le second, bien que moins net, a lieu dans la zone du Cap Lopez, selon un axe nord - ouest / sud - est. Les poissons, essentiellement des listaos et des juvéniles d'albacores et de patudos, séjournent ainsi dans les eaux du Cap Lopez, puis semblent se diriger vers l'Angola.

A partir du mois d'août, et surtout en septembre, le mouvement des poissons devant les côtes sénégalaises s'inverse. Les poissons regagnent les zones situées plus au sud. Toutes les concentrations identifiées suivent cette fois une orientation nord - sud. Aucune direction évidente n'apparaît par contre dans la zone du Cap Lopez, mais les concentrations y disparaissent à partir du mois d'octobre. En novembre et décembre enfin, si les concentrations sont géographiquement très limitées, il n'y a pas non plus d'orientation apparente marquée des mouvements de poissons.

L'analyse des localisations géographiques et des directions des concentrations montre assez bien que les concentrations se constituent au cours de l'année le long des axes de migrations des thonidés. Les mouvements de thons sont particulièrement nets devant les côtes sénégalaises. La saisonnalité des températures de surface de l'océan semble bien être, dans ce cas, le moteur de ces migrations.

IV. TYPOLOGIE DES CONCENTRATIONS.

IV.1. RESULTATS DE L'ACM.

Les principaux résultats issus de l'ACM, contenant les coordonnées et les contributions des modalités actives sur les axes factoriels calculés sont donnés dans l'annexe D4. L'histogramme des valeurs propres (Annexe D4, Tabl. D2) présente une décroissance faible et régulière. Il s'agit d'une caractéristique générale en ACM (Escofier et Pagès, 1988). Les principales modalités actives sont représentées graphiquement (Fig. IV.5) sur le plan factoriel (1,2). Un premier examen visuel montre des proximités "géographiques" entre modalités.

Le long de cet axe, on voit ainsi une opposition très nette entre les grandes et les petites concentrations, c'est-à-dire entre les modalités BATG (nombre de bateaux supérieur à 300), BcG (nombre de bancs supérieur à 400) et DMX (durée supérieure à 40 jours) d'une part, et les modalités BATF (nombre de bateaux inférieur à 100), BcF (nombre de bancs inférieur à 200) et DMI (durée inférieure à 20 jours). A ces deux groupes de modalités sont également à relier respectivement les modalités TOT4 (prises supérieures à 6000 tonnes) et TOT1 (prises inférieures à 2000 tonnes). Il ne semble pas y avoir par contre de zones ni de trimestres particuliers associés à cet axe.

L'axe 2 quant à lui oppose les trimestres 2 et 3 d'une part, reliés aux concentrations de listaos ou mixtes, et le trimestre 1 d'autre part, relié aux concentrations d'albacores. Cet axe marque également des différences entre zones. Les zones équatoriales (Equateur Sud Est,

qui expliquent la qualité de la projection des modalités sur chaque axe (plus le cosinus carré est proche de 1, meilleure est la représentation). Ces valeurs sont données en annexe D4 (Tabl. D3).

En termes de contributions, l'axe factoriel 1 est bien représenté par les variables "Durée", "Prise totale", "Nombre de bancs" et "Nombre de bateaux" (représentant respectivement 17.9, 17.2, 20.5 et 21.6%) qui expliquent 77.2% de l'inertie totale de cet axe. Pour chacune de ces variables, se sont les modalités extrêmes (la première et la dernière) qui sont les mieux représentées, leurs projections sur le plan factoriel (1,2) étant toujours relativement bonnes.

L'axe 2 est bien représenté (83.8% de l'inertie) par le type de concentration, le trimestre, la zone et à un degré moindre la PUE (respectivement 18.9, 23.8, 26.2 et 14.9%). Dans la variable Zone, les modalités les mieux représentées sont "Cap Lopez" (contribution = 7.9%, $\cos^2 = 0.26$), "Equateur Sud Centre" (CTR = 7.3% et $\cos^2 = 0.21$) et "Sud Sénégal" (CTR = 4.1% et $\cos^2 = 0.14$). La corrélation entre les modalités "Premier Trimestre" et "Concentration d'albacores" est très forte, puisque leurs contributions sur l'axe 2 sont très élevées (15.2 et 12.4%), leurs représentations bonnes (\cos^2 élevés) et leurs coordonnées proches.

L'axe 3 est semblable au premier, puisque ce sont les mêmes variables qui contribuent le plus à sa construction. Il n'est donc pas représenté par la suite. L'axe 4 par contre, même s'il ne participe qu'à une très petite part de l'inertie totale du nuage (6.4%, Annexe D4, Tabl. D2) présente néanmoins un grand intérêt. En effet, cet axe marque une opposition entre les concentrations exploitées par des flottilles françaises, et celles exploitées par des senneurs espagnols. La variable Zone prend également une part importante dans la construction de cet axe 4 (35.7%) et, dans une moindre mesure, le trimestre (11.4%) et le type de concentration (11.8%). Il est intéressant de noter (Fig. IV.6) que les concentrations exploitées par les français se situent davantage dans les zones Sherbro et Equateur Nord Ouest au quatrième trimestre (novembre et décembre) : il s'agit des concentrations de la zone dite "Libéria". Les espagnols exploitent quant à eux les zones Sénégal Sud et Angola, plutôt vers le troisième trimestre, sur des concentrations de listaos.

Il existe donc une forte opposition entre petites et grosses concentrations. Cette taille des concentrations n'est tributaire ni de la période de formation, ni de la zone, ni de l'espèce principale. Leur durée est donc à relier à d'autres facteurs, non pris en compte ici faute d'informations. Ces facteurs sont vraisemblablement d'ordre physique ou climatique

(température, profondeur de la thermocline, turbidité de l'eau) ou biologique (présence sur une longue durée de nourriture abondante).

L'analyse des correspondances menée ici confirme une nouvelle fois les corrélations entre trimestre 1, concentrations d'albacores et zones équatoriales d'une part, et trimestres 2 et 3, concentrations de listaos et mixtes et Cap Lopez et Sénégal Sud d'autre part. Comme nous venons de le souligner, la taille et la durée des concentrations ne sont pas liées à la période d'apparition, ni à l'espèce. Il est par contre extrêmement intéressant de constater que les PUE les plus élevées sont réalisées sur les concentrations d'albacores, et qu'au contraire les PUE les plus faibles sur des concentrations mixtes.

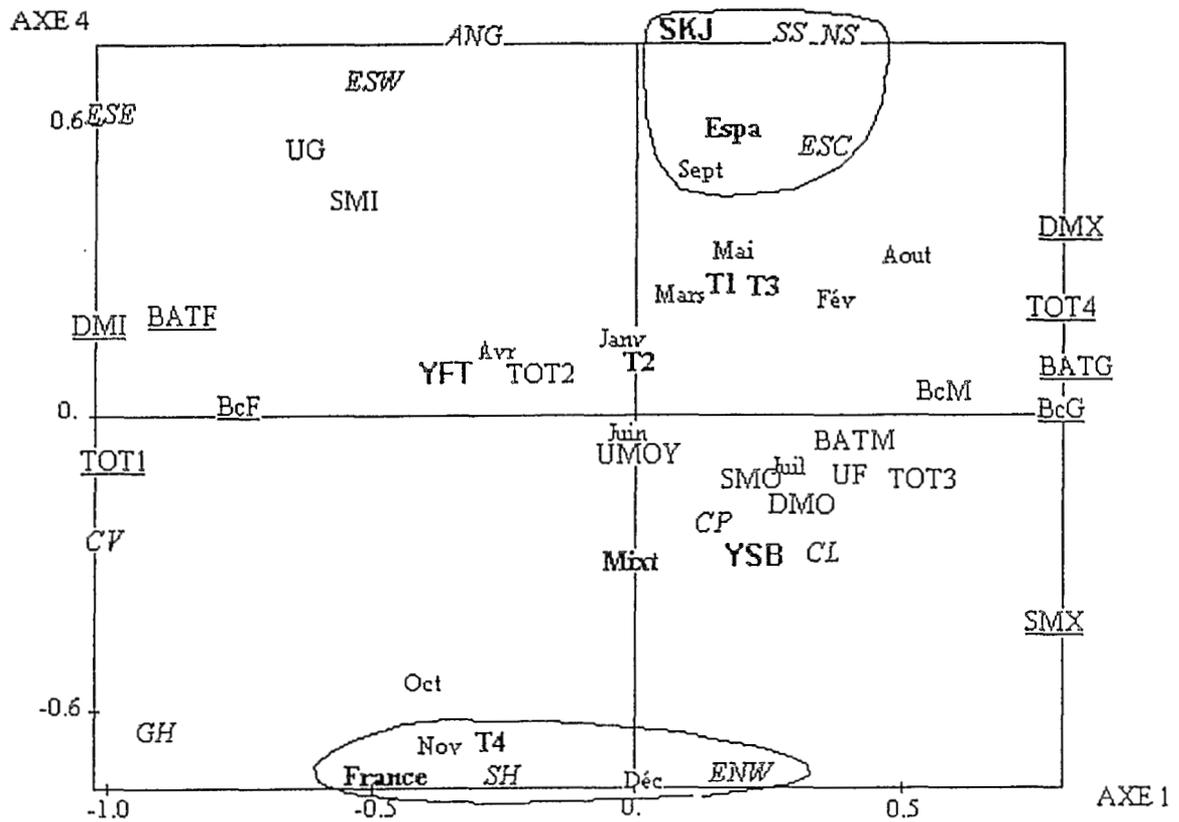


Figure IV.6 : Représentation graphique des modalités actives sur le plan factoriel (1,4).

IV.3. RESULTATS DE LA CLASSIFICATION.

La classification ascendante hiérarchique permet de construire de manière automatique des groupes homogènes d'individus (de concentrations). Les similitudes à l'origine des regroupements sont évaluées à partir des variables actives précédentes. Les distances entre individus sont donc évaluées à partir des coordonnées factorielles précédentes. Ce sont des distances du χ^2 . L'indicateur des liaisons entre les différentes classes correspond au critère d'agrégation dit "moment d'ordre 2". Les groupes formés sont ensuite caractérisés statistiquement par des variables continues illustratives. Les classes sont obtenues en décomposant l'inertie totale du nuage obtenue pour les 4 premiers axes. L'algorithme procède alors à plusieurs itérations afin de maximiser l'inertie inter-classes et de minimiser l'inertie intra-classes (Tabl. IV.9 et IV.10).

Itération	Inertie Totale	Inertie Inter-Classes	Quotient
0	1.065126	0.625910	0.5876
1	1.065126	0.672225	0.6311
2	1.065126	0.676086	0.6347
3	1.065126	0.677767	0.6363
4	1.065126	0.678346	0.6369

Tableau IV.9 : Progression de l'inertie d'inter-classes par itérations successives.

	Inerties	Effectifs	Poids	Distances
Inertie Inter-Classes	0.6783			
Inerties Intra-Classe	0.0894	28	28	0.5115
	0.0675	30	30	0.5713
	0.0798	20	20	1.6038
	0.0532	31	31	0.4259
	0.0968	34	34	0.5958
Inertie Totale	1.0651	143		

Tableau IV.10 : Décomposition de l'inertie calculée sur 4 axes.

On obtient ainsi 5 classes de concentrations. Les identificateurs des concentrations (année plus numéro d'apparition chronologique) de chaque groupe sont présentées dans l'annexe D4 (Tabl. D4). Les 5 classes quant à elles sont représentées graphiquement sur le plan vectoriel (1,2) (Fig. IV.7).

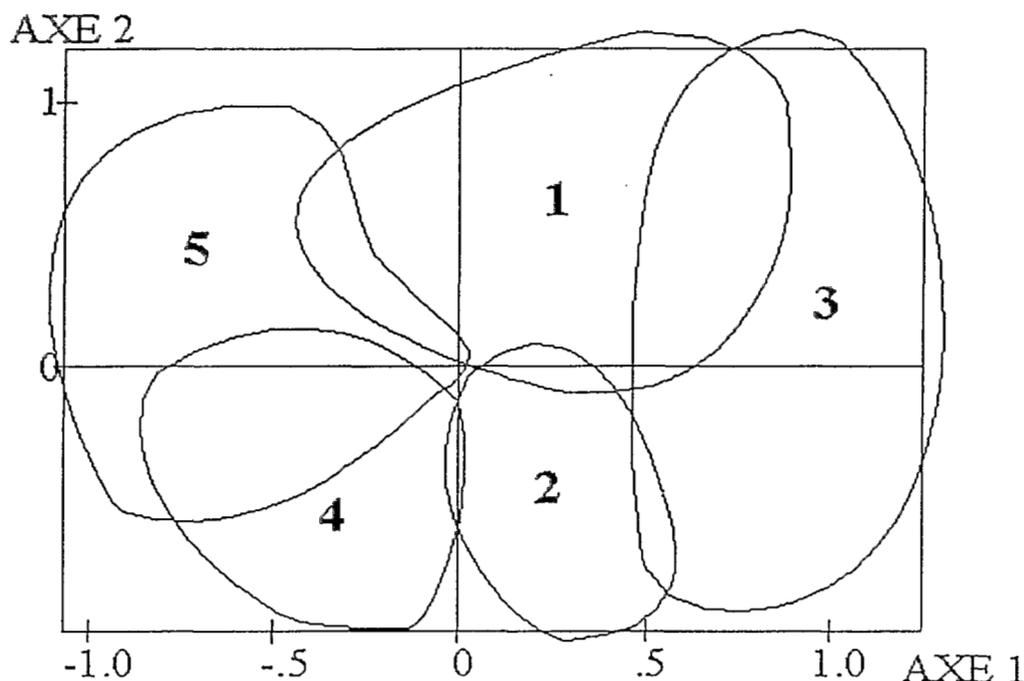


Figure IV.7 : Représentation graphique des classes sur le plan factoriel (1,2).

La première classe est caractérisée par les concentrations d'albacores. Elle comprend 28 individus. Elle est caractérisée par les modalités suivantes (Annexe D4, Tabl. D5) : concentration d'albacores, Equateur Sud Centre, premier trimestre, durée et nombre de bateaux moyens, mois de mars et également Cap des Palmes. Les PUE moyennes de cette classe (36.9 tonnes / jour) sont supérieures à la moyenne générale (29.2 tonnes / jour), de même que les prises (5571 tonnes contre 3998) (Annexe D4, Tabl. D6). Les variables de taille de concentration (nombre de bateaux, nombre de bancs, grande durée) n'interviennent pas dans cette classe.

La deuxième classe identifiée correspond aux concentrations mixtes du Cap Lopez de la fin du second trimestre (mai et juin). Son effectif est de 30 concentrations. Elle est caractérisée par des concentrations de taille moyenne, présentant des PUE faibles ,toujours

largement inférieures à la moyenne (20.7 tonnes / jours contre 29.2) (Annexe D4, Tabl. D5 et D6).

La troisième classe correspond aux concentrations de grande taille et de longue durée, indépendamment de la composition spécifique d'une part, et de la zone et du trimestre d'autre part. Les moyennes des variables continues exprimant la taille des concentrations (nombre de bateaux et de bancs, capture totale, surface) sont toutes largement supérieures à la moyenne générale (Annexe D4, Tabl. D6).

La quatrième classe correspond principalement aux concentrations de listaos, apparaissant durant le troisième trimestre dans les zones Sénégal Sud et Angola. Ce sont en général des concentrations de petite taille, sur lesquelles sont réalisées des prises assez faibles (moyenne de la classe = 1942 tonnes / jour contre 3998 t/j en moyenne générale). 31 concentrations composent cette classe.

La cinquième et dernière classe a l'effectif le plus important : 34 individus. Ce sont également des petites concentrations. Ces concentrations sont identifiées principalement dans les zones Ghana et Equateur Sud Est durant le quatrième trimestre (novembre). Elles sont exploitées par les senneurs français, qui y réalisent des PUE importantes, mais des prises limitées. Dans cette classe comme dans la troisième, les concentrations ne sont pas caractérisées par leur composition spécifique ; elles présentent ainsi des comportements semblables quelque soit l'espèce la plus représentée.

IV.4. BILAN DES ANALYSES FACTORIELLES.

Les analyses de données réalisées et la typologie présentée permettent de formaliser les informations identifiées à partir de l'analyse cartographique des variations saisonnières et par zone. Les différences entre les concentrations d'albacores du premier trimestre et les autres concentrations paraissent ici particulièrement marquées, ces concentrations d'albacores permettant des PUE très élevées. On doit également retenir qu'il ne semble pas y avoir de relation entre la taille et la durée (et donc le nombre de bateaux ayant exploités la concentration et le nombre de bancs de poissons pêchés) d'une part, et la nature même de la concentration (fonction de l'espèce principale), d'autre part. La durée et la taille des concentrations est donc conditionnée par d'autres facteurs. Il est peut-être possible, à partir des bases de données existantes (TOGA par exemple), de réunir les principales caractéristiques physiques locales (température, oxygène, chlorophylle, turbidité...) pour chacune des concentrations identifiées. Compléter les analyses réalisées avec ces informations pourrait sans doute donner des résultats intéressants.

V. CONCENTRATIONS ET EXPLOITATION.

Dans les paragraphes précédents, on s'est intéressé à la distribution géographique et aux variations saisonnières des concentrations identifiées, ainsi qu'aux relations qui peuvent exister entre leurs différentes caractéristiques. L'importance que peut revêtir ces concentrations au sein des pêcheries thonières de senneurs de l'Atlantique Tropical Oriental n'a toutefois jamais encore été clairement soulignée. A cette fin, on présente ici les statistiques de pêche annuelles (captures et efforts) réalisées sur les concentrations identifiées.

V.1. LES PRISES PAR ESPECE.

Les prises totales, toutes espèces confondues, qui ont été réalisées sur les 143 concentrations principales de la période 1980-1990 varient entre 24 et 50% des prises totales annuelles des senneurs dans l'Atlantique (Tabl. IV.11). Les senneurs réalisent donc entre un quart et la moitié (37% en moyenne) de leur prises totales annuelles sur en moyenne 13 concentrations, temporellement et géographiquement très limitées, par an. Il est donc bien évident que le repérage et l'exploitation de ces concentrations est d'une importance capitale pour la pêcherie de senneurs de l'Atlantique tropical est.

An	Nb	Concentrations				Total Senneurs				% Concentrations			
		Alba-core	Lis-tao	Pa-tudo	To-tal	Alba-core	Lis-tao	Pa-tudo	To-tal	Alba-core	Lis-tao	Pa-tudo	To-tal
80	11	26	16	1	43	86	50	8	144	30.2	32.0	12.5	30.0
81	17	31	18	1	50	100	58	14	172	31.0	31.0	7.1	29.1
82	15	35	20	3	58	93	63	12	168	37.6	31.7	25.0	34.5
83	13	21	14	2	37	88	55	13	156	23.9	25.5	14.4	23.7
84	12	17	26	5	48	43	52	13	108	39.5	50.0	38.5	44.4
85	13	34	13	1	48	72	40	6	118	47.2	32.5	16.7	40.7
86	14	29	21	2	52	68	47	8	123	42.7	44.7	25.0	42.3
87	15	36	25	2	63	76	45	6	127	47.4	55.6	33.3	49.6
88	9	23	28	2	53	65	59	7	131	35.4	47.5	28.6	40.5
89	12	36	18	1	55	96	45	6	147	37.5	40.0	16.7	37.4
90	12	34	30	3	67	98	58	8	164	35.0	51.7	37.5	40.9
moy	13	29.3	20.8	2	52.2	80.5	52	9.2	141.6	36.4	40.0	21.7	36.9

Tableau IV.11 : Prises totales annuelles (1000 tonnes) par espèce pour les flottilles de senneurs, toutes nationalités confondues, et prises réalisées sur les concentrations identifiées (en 1000 tonnes et en pourcentage).

La composition spécifique est globalement similaire entre les prises réalisées sur concentrations et les prises totales, bien que le pourcentage d'albacores dans les prises sur concentrations varie davantage (35% en 1984 à 71% en 1985 contre 40% en 1984 à 65% en 1989 dans les prises totales). La typologie des concentrations réalisées précédemment a permis d'établir que la première classe de concentrations correspond à des concentrations d'albacores, qui permettent des prises et des PUE élevées. La découverte (ou l'existence même), ou non comme en 1984, de ces concentrations explique ainsi les variations en pourcentage observées.

V.2. EFFORT DE PECHE ET PUE.

Si les prises réalisées sur concentrations représentent une part importante des prises globales, du fait même de la nature des concentrations, spatio-temporellement limitées, les efforts de pêche (en jours de mer) déployés y sont par contre particulièrement faibles (Tabl. IV.12). En effet, à l'intérieur d'une concentration regroupant de nombreux bancs, l'effort de recherche des bancs entre deux coups de senne est très sérieusement minimisé. Ainsi, ces efforts correspondent selon les années de 8 à 16% de l'effort total annuel des senneurs, toutes flottilles confondues. Cette faible proportion des efforts souligne à nouveau l'importance des concentrations dans les pêcheries. De ce fait, les PUE réalisées sur concentrations sont ainsi globalement 3 fois plus importantes que les PUE annuelles.

An	Nb	Prises concent. (1000 t)	Effort concent. (jours)	Prises senneurs (1000 t)	Effort senneurs (jours)	% Prises	% Effort	PUE concent.	PUE senneurs
80	11	43	1985	144	23374	30.0	8.5	21.5	6.2
81	17	50	2043	172	24286	29.1	8.4	24.6	7.1
82	15	58	2718	168	24921	34.5	10.9	22.0	6.7
83	13	37	2100	156	25632	23.7	8.2	16.1	6.1
84	12	48	2122	108	13376	44.4	15.9	22.9	8.1
85	13	48	2011	118	13797	40.7	14.6	23.5	8.6
86	14	52	1873	123	12474	42.3	15.0	27.1	9.9
87	15	63	2254	127	13619	49.6	16.6	27.9	9.3
88	9	53	1683	131	11686	40.5	14.4	30.9	11.2
89	12	55	1626	147	13096	37.4	12.4	33.7	11.2
90	12	67	1824	164	15489	40.9	11.8	36.3	10.6
Moy	13	52.2	2022	141.6	17432	36.9	11.6	25.8	8.1

Tableau IV.12 : Prises (en milliers de tonnes), effort (en jours) et PUE (en tonnes/jour) annuels et de l'ensemble des flottilles de senneurs (toutes nationalités confondues) et réalisés sur les concentrations identifiées.

VI. DISCUSSION.

VI.1. CONCENTRATIONS ET CONDITIONS HYDRO-CLIMATIQUES.

En définitive, dans le schéma de répartition des concentrations au cours de l'année, il y a une nette opposition entre la période hivernale du premier trimestre, caractérisée par des concentrations d'albacores dans les zones équatoriales, et la période estivale, avec des concentrations soit mixtes, soit de listaos dans la zone Sénégal au nord, et des concentrations mixtes dans la zone Cap Lopez au sud. Le quatrième trimestre est quant à lui caractérisé par l'importance des concentrations mixtes de la zone "Libéria" notamment.

Dans la première partie, la variabilité spatio-temporelle des températures de surface de la mer (TSM) a été exposée. Ainsi, au cours du premier trimestre, et jusqu'en avril, ces températures de surface sont uniformément chaudes dans tout le Golfe de Guinée (Fig. I.3, pages 10 à 12) entre 27° et 28°C. La thermocline est également peu profonde, entre -50 et -75 mètres (Fig. I.4, pages 14 et 15). Ces températures de surface sont globalement favorables à la présence de thonidés (Stretta, 1988). La faible profondeur de la thermocline, quant à elle, est favorable aux opérations de pêche. En effet, bien qu'ils soient capables de pénétrer temporairement dans des eaux profondes froides (voir Première Partie chapitre II.4. page 25), la thermocline joue un rôle de barrière thermique pour les thonidés tropicaux. La fermeture de la senne, dont la chute est généralement supérieure à 80 mètres, se fait ainsi sous la thermocline ; le banc de thons ne peut donc pas s'échapper facilement en plongeant. Cependant, en aucun cas, TSM et thermocline ne peuvent expliquer à elles seules pourquoi les concentrations du premier trimestre sont en majorité constituées d'albacores d'une part, et d'autre part pourquoi ces concentrations sont situées exclusivement dans la zone équatoriale et non dans la zone du Cap Lopez, alors que les TSM et la thermocline y sont globalement identiques durant le premier trimestre. Il est donc vraisemblable que d'autres phénomènes interviennent : ils pourraient être liés à la productivité primaire, à la présence ou l'absence de proies, à d'autres facteurs environnementaux (fronts thermiques, oxygène, turbidité...). En tout état de cause, les poissons ne sont pratiquement pas pêchés dans la zone Cap Lopez au cours du premier trimestre (Fig. I.31, page 63), soit parce qu'ils sont absents de la zone, soit parce que leur disponibilité est très faible.

Les TSM peuvent par contre expliquer assez bien l'absence totale de thonidés dans les zones nord situées au large du Sénégal au cours du premier trimestre. En effet, en relation avec l'action des vents Alizés et l'upwelling sénégal-mauritanien, les températures de surface y sont alors relativement froides (Fig. I.3), entre 21 et 23°C au large de Dakar. La remontée des isothermes vers le nord (deuxième et troisième trimestres) est vraisemblablement à l'origine des

migrations de thons, et favorise la présence de concentrations durant les périodes estivales. Ces concentrations sont particulièrement nombreuses devant le Sénégal lors de la migration sud - nord en avril et surtout mai. Pendant les mois de juin et juillet, les thons se trouvent au nord du Sénégal dans les eaux mauritaniennes. Ils y sont peu exploités par les flottilles de senneurs (à cause des conditions climatiques difficiles gênant les opérations de pêche), mais par contre de manière intensive par les canneurs basés à Dakar. Il s'agit alors d'un autre type de pêche, les navires ne recherchant pas des concentrations, mais pêchant sur des mattes qu'il peuvent suivre et exploiter pendant plusieurs semaines (Fonteneau et Diouf, 1994). A partir du mois de septembre, le mouvement inverse apparaît, en relation avec le refroidissement des eaux au large du Sénégal durant le dernier trimestre : la direction globale des concentrations identifiées est alors orientée vers le sud. Puis les concentrations disparaissent complètement des zones nord à partir de la fin du mois d'octobre.

Comme précédemment, les TSM sont favorables à la présence de thons au large du Cap Lopez en mai. En revanche elles le sembleraient beaucoup moins en juin, juillet et août, puisque la température de l'eau descend alors jusqu'à 25-26°C au fond du Golfe de Guinée. Les concentrations identifiées sont pourtant très nombreuses durant cette période. Dans cette zone en début d'été en effet, une zone de front très nette apparaît, entre les eaux du fond du Golfe du Biafra et des eaux angolaises plus fraîches (inférieures à 25°C). Cette zone de front favorise sans doute le développement de la production primaire, et donc de la chaîne alimentaire aboutissant aux thons. De plus, la thermocline est à cette période peu profonde (inférieure à 50 mètres) (Fig. I.4, pages 14 et 15), ce qui peut éventuellement expliquer que les thonidés soient particulièrement vulnérables, car concentrés en surface dans une faible couche d'eau.

L'absence de concentrations, et vraisemblablement de poissons, des zones du large durant l'été boréal correspond par contre assez bien avec la période d'intensité maximale de l'upwelling équatorial, les eaux de surface devenant relativement froides (inférieures à 24°C).

Au quatrième trimestre enfin, la structure thermique des eaux de l'océan, tant des TSM que de la thermocline, permet difficilement d'expliquer en termes simples la présence des concentrations mixtes de la zone "Libéria" et d'albacores de la zone Equateur Sud Est.

L'impact des TSM semble assez clair dans le cas des zones situées dans la partie nord - ouest de l'Atlantique Tropical Oriental (Sénégal). Dans les autres zones par contre, leur influence est moins nette. Il est enfin évident qu'une concentration, de part la biomasse qu'elle représente, requiert une biomasse considérable de proies à proximité, et par voie de conséquence une productivité primaire élevée. Cet élément est vraisemblablement primordial, et pour la constitution d'une concentration, et pour sa durée. Afin d'essayer de mieux

comprendre ces phénomènes et de relier les différents facteurs intervenant, d'ordre physique, climatique ou biologique, un important programme pluridisciplinaire de recherches, qui sera mené par l'ORSTOM, est en cours de conceptualisation et devrait débuter prochainement. Il sera en particulier axé sur l'étude des mécanismes de fonctionnement de l'écosystème la zone "Libéria" évoquée plus haut.

VI.2. QUELQUES REFLEXIONS SUR L'IMPORTANCE DES CONCENTRATIONS DANS LES PECHERIES.

Le phénomène des concentrations de thonidés apparaît capital pour les pêcheries, en raison des prises élevées qu'il permet, parallèlement aux faibles quantités d'effort déployées. Mais malgré cette importance quantitative, ce phénomène des concentrations n'est jamais pris en compte, ni même évoqué, dans les évaluations de stock. L'année 1984 est à ce titre un exemple frappant. Les captures d'albacores ont été cette année-là très mauvaises ; les premières évaluations du stock réalisées à l'époque avaient conclu à une surexploitation grave du stock. Or l'absence totale de concentrations d'albacores adultes dans les zones équatoriales durant le premier trimestre 1984 explique à elle seule la faiblesse des prises. Il est vraisemblable que la connaissance d'un tel phénomène au moment de l'évaluation du stock aurait permis de s'interroger sur les raisons de l'absence de concentrations : était-ce un problème global lié à la ressource (pas assez de poissons) ou local lié aux conditions (anomalie défavorisant la formation des concentrations)?

Le phénomène des concentrations soulève également une autre question quant à l'utilisation de l'effort de pêche, en particulier dans les modèles globaux. En effet, l'effort de recherche est, comme cela a été montré plus haut, relativement faible sur les concentrations. Malgré cela, les captures sont très élevées. L'effort de pêche sur concentration est-il dans ce cas équivalent à l'effort de pêche hors concentration? Si ce n'est pas le cas, faut-il réévaluer les efforts annuels totaux, en fonction du nombre de concentrations exploitées par exemple, et les diagnostics sur l'état des stocks n'en seraient-ils pas modifiés?

Enfin, le phénomène des concentrations peut avoir un rôle non négligeable sur la dynamique des flottilles. Il est probable en effet que le comportement des flottilles, ainsi que leur stratégie de prospection, puisse être différent selon qu'elles recherchent exclusivement les concentrations, ou non.

VI. CONCLUSION.

Des concentrations de thonidés non identifiées jusqu'à présent ont pu être mises en évidence, à partir des fichiers de statistiques fines de pêche, à l'aide d'une nouvelle chaîne de traitements informatiques. Il s'agit ici d'une nouvelle étape très importante dans l'étude des pêcheries thonières, et de leur dynamique, en raison de l'importance quantitative de ces concentrations dans les prises totales annuelles.

Les analyses menées permettent de valider, selon une nouvelle approche, les grands axes de migrations des thonidés dans l'Atlantique Est, mis en évidence dans les parties précédentes. On retiendra qu'il y a une forte opposition entre les concentrations constituées à majorité d'albacores, qui apparaissent lors du premier trimestre dans les zones équatoriales, et les concentrations mixtes ou de listaos des deuxième et troisième trimestres situées dans les zones Cap Lopez et Sénégal Sud. Les concentrations d'albacores du premier trimestre permettent aux senneurs de réaliser des PUE particulièrement élevées : leur repérage contribue ainsi très largement au succès des campagnes de pêche, et de ce fait à la rentabilité de ces navires.

L'analyse des correspondances multiples apporte finalement relativement peu de connaissances nouvelles. Mais elle permet toutefois de démontrer qu'il n'y a pas de relations marquées entre l'espèce principale composant une concentration et la durée de cette concentration. Un effet taille, opposant les petites aux grandes concentrations, est également mis en évidence, et ceci indépendamment de l'espèce principale, de la zone et du trimestre. Cela implique donc que d'autres phénomènes, qui n'ont pas pu être pris en compte ici, ont un rôle capital dans la dynamique propre des concentrations de thonidés.

Les captures réalisées sur les concentrations, associées à des valeurs d'effort relativement faibles, permettent d'obtenir des PUE très élevées, comparativement aux PUE globales annuelles. Cela souligne l'extrême importance de ces concentrations dans les pêcheries thonières tropicales de l'Atlantique Est. Le schéma d'exploitation thonière se résume alors à une succession de longues périodes de recherche du poisson, avec des prises limitées, et de périodes de pêche intense, lorsqu'une concentration a été trouvée. L'essentiel des captures y est alors réalisé, pratiquement sans effort de recherche.

Cette étude présente un double intérêt. Elle a permis d'une part l'identification rapide des concentrations apparues au cours des dernières années, et d'autre part elle a souligné l'importance halieutique considérable des concentrations dans les pêcheries thonières tropicales. Mais de nombreuses interrogations demeurent, notamment en ce qui concerne les

mécanismes intervenant dans la formation et la dynamique des concentrations. Il s'agit là de nouvelles perspectives de recherche. Vu l'importance quantitative, et de ce fait financière pour les flottilles, des concentrations, on peut penser que de nouvelles études pourraient utilement être menées dans cette direction.

CONCLUSION

GENERALE

Les nombreuses recherches qui ont été menées sur les thonidés tropicaux dans le cadre de l'ICCAT, en particulier par l'ORSTOM, ont débuté parallèlement au début de l'exploitation industrielle de ces espèces dans l'Atlantique Tropical Oriental ; elles ont abouti à une somme considérable de connaissances. L'essentiel de ces connaissances a été synthétisé dans la première partie. Elles concernent aussi bien le milieu océanique dans lequel vivent les thons que leur biologie et leur exploitation.

Dans certains domaines toutefois, ces connaissances restent assez incomplètes, en particulier en ce qui concerne la dynamique de la ressource. Des campagnes de marquages de thonidés, la plupart réalisées au début des années 80, ont permis de proposer, d'une part de bons modèles de croissance, et d'autre part des schémas qualitatifs des migrations. Néanmoins, les résultats de marquages-recaptures sont très insuffisants. En effet, en raison de leur nombre relativement faible, ils ne permettent pas de développer des modèles quantitatifs de migration des thons dans l'Atlantique, qui auraient pour double objectif l'estimation des populations présentes localement à une période donnée et dans une zone déterminée, et l'estimation des flux de poissons entre différentes régions de l'Atlantique. Ces données insuffisantes ne permettent pas non plus d'adapter les modèles de migrations des thonidés du Pacifique Est récemment développés aux Etats-Unis aux thonidés de l'Atlantique Tropical Est. Il en résulte qu'à l'heure actuelle, si les schémas généraux des migrations des thonidés atlantiques sont relativement bien connus, en revanche la quantification de ces migrations et de la répartition spatiale des stocks reste très fragmentaire.

Or, d'une manière générale, les recherches halieutiques actuelles prennent de plus en plus en compte la dimension spatiale des phénomènes : pour les évaluations de l'état des stocks, par le calcul d'indices d'abondance locale intégrant les migrations, et de manière plus générale, intégrant la variabilité spatio-temporelle de la ressource ; pour la gestion des pêcheries, par zones économiques exclusives ou par région, en prenant en compte la dynamique des flottilles (donc l'évolution de l'effort de pêche), ainsi que les interactions potentielles entre flottilles ou pêcheries ; pour mesurer l'impact de l'environnement sur la variabilité de la ressource. Dans tous les cas, il faut donc quantifier les migrations.

Dans ce travail, on a de ce fait développé plusieurs méthodes qui permettent de donner une estimation des mouvements et de la répartition des thonidés dans l'Atlantique. L'intérêt majeur de cette thèse est donc méthodologique. Successivement, deux méthodes différentes,

l'une basée sur les équations fondamentales de la dynamique des populations et de l'analyse des cohortes, l'autre faisant appel aux concepts de l'intelligence artificielle, ont été présentées. Ces méthodes quantifient les mouvements de poissons, soit en termes de bilans de migrations, c'est-à-dire de différences numériques entre entrées et sorties dans différentes zones de pêche, soit en termes de flux, c'est-à-dire de mouvements de poissons d'une zone vers une autre. L'analyse des principales concentrations de thons identifiées entre 1980 et 1990 permet ensuite de valider les principaux axes de migration dans l'Atlantique Est.

Les deux modèles utilisés pour estimer les bilans migratoires d'une part, et les flux de listaos d'autre part, présentent le grand intérêt de proposer une première estimation, dans l'Atlantique Tropical Oriental, des migrations des thonidés entre zones. Bien sûr, les estimations issues de ces modèles demandent confirmation. Plusieurs limites, souvent inhérentes aux modèles, imposent ainsi une certaine prudence vis à vis des estimations obtenues. Ces modèles sont en effet basés sur les statistiques de pêche. Il est donc évident que les estimations sont, dans une certaine mesure, tributaires des informations de pêche issues des flottilles. Si la fiabilité des estimations est bonne dans les zones où l'effort de pêche est important, la validité des résultats peut être discutée dans les zones peu exploitées : les flottilles n'exploitent-elles pas ces zones parce qu'il n'y a pas de poissons disponibles, ou pour des raisons autres, économiques (coûts excessifs dus à l'éloignement des ports par exemple), politiques (problèmes de réglementation dans les zones économiques exclusives) ou environnementales (conditions défavorables à un type de pêche)? Quels seraient alors les estimations des migrations? Une autre limite, sans doute moins fondamentale, vient de la conceptualisation des modèles, écrits sous une forme discrète, temporelle ou géographique. La représentation obtenue des mouvements est ainsi artificiellement découpée en différentes périodes et pour des grandes zones, bien qu'il semble évident que les migrations aient lieu de manière continue. Enfin, on peut également souligner que le modèle d'estimation des flux de listaos, dans sa formulation actuelle, est un modèle fermé, estimant des migrations de poissons sans autoriser des échanges avec l'extérieur. Cette limite peut toutefois être rapidement levée, puisque sa conception, en tant que "système expert" simple, permet de rajouter directement au modèle, sans en modifier la structure initiale, les modules supplémentaires nécessaires qui permettraient de gérer les échanges de toutes les zones avec l'extérieur.

Quoi qu'il en soit, l'analyse des bilans migratoires de l'albacore et du listao entre zones, l'étude des flux de migration du listao et l'analyse des principales concentrations de thonidés identifiées entre 1980 et 1990 concluent tous vers le même schéma de migration de ces espèces. Les premiers résultats obtenus dans ce travail constituent donc une étape importante pour la connaissance et la quantification des migrations de l'albacore et du listao dans l'Atlantique Tropical Oriental.

Albacôres et listaos observent ainsi une migration cyclique entre les zones centrales (Cap des Palmes et Ghana) ou équatoriales (Equateur Nord Ouest, Sud Ouest, Sud Central et Sud Est) durant l'hiver, et les zones situées soit au nord (Sherbro et Sénégal), soit au sud - est (Cap Lopez et Angola) durant la période estivale. Lors du premier trimestre, près de 80% des populations d'albacôres et de listaos se trouveraient ainsi dans les zones centrales. Les grands albacôres adultes se concentrent dans les zones du large situées de part et d'autre de l'équateur, essentiellement dans les zones Cap des Palmes, Equateur Sud Centre et Sud Est. Ces concentrations de gros individus, qui apparaissent durant la période de reproduction, sont fortement exploitées par les senneurs : durant le premier trimestre, la recherche des thonidés se porte presque exclusivement sur ces concentrations de gros individus. Les juvéniles d'albacôres se trouvent, quant à eux, plus près des côtes, mélangés avec les listaos. La méthode des flux permet d'estimer que près de 80% des listaos sont présents durant le premier trimestre dans les zones Libéria (globalement Equateur Nord Ouest et Cap des Palmes) et Ghana. Vers la fin du premier trimestre, albacôres et listaos commencent leurs migrations vers le nord et l'est. 15% des effectifs totaux gagnent ainsi les zones nord, 20% entrent dans la zone Cap Lopez. Les listaos entrant dans cette zone sont essentiellement des juvéniles d'un an (près de 65% de la population à cet âge), alors que les flux entrant dans la zone Sénégal sont plutôt constitués de pré-adultes et d'adultes de trois ans.

L'analyse des principales concentrations de la dernière décennie complète ces résultats. Les concentrations qui sont identifiées au cours du deuxième trimestre, essentiellement constituées de listaos dans la zone Sénégal, montrent de manière très nette que les flux de poissons sont alors orientés vers le nord (durant les mois de mai et juin principalement). L'orientation des concentrations pluri-spécifiques du Cap Lopez au cours du deuxième trimestre ne montre par contre pas clairement une direction particulière des mouvements de poissons. Les flux diminuent à l'issue du deuxième trimestre, mais restent globalement orientés selon les mêmes directions. Au cours de ces deux trimestres, il n'y aura pratiquement pas de poissons dans les zones équatoriales. Toutes les concentrations identifiées se situent également soit au large du Sénégal, soit au large du Cap Lopez, soit dans la zone Ghana. Les mouvements inverses, du nord et de l'est vers les zones centrales, s'amorcent durant et à la fin du troisième trimestre. Les concentrations identifiées au large du Sénégal suivent toutes globalement une direction nord - sud. Le flux de poissons vers le sud est très net. Pendant le quatrième trimestre, près de 70% des individus des deux espèces, à tous les âges, se concentrent dans les zones Equateur Nord Ouest, Cap des Palmes et Ghana. L'estimation issue de la méthode des flux confirme cette valeur pour le listao (74% des individus). C'est durant ce trimestre que se retrouvent chaque année les grandes concentrations pluri-spécifiques de la zone Libéria.

Ce travail propose également une première estimation des taux de migrations par âge de l'albacore entre Atlantique Est et Atlantique Ouest. On savait en effet depuis plusieurs années que des échanges potentiels d'albacores existaient entre les deux façades de l'océan Atlantique, mais sans toutefois remettre en cause le concept de deux stocks plus ou moins indépendants de part et d'autre du méridien de 30° ouest. Depuis le groupe de travail sur l'évaluation de l'albacore atlantique de Ténériffe (juin 1993), il a été admis par le SCRS de l'ICCAT que les albacores constituent un stock unique dans l'Atlantique, avec des échanges non négligeables entre les deux façades est et ouest. Au schéma cyclique précédent s'ajoute alors, pour une partie de la population pré-adulte, des migrations d'une plus grande amplitude. Ces individus peuvent, dès l'âge trimestriel 4, mais surtout à partir de deux (25% de la population à cet âge) et trois ans, entreprendre une migration transatlantique vers les côtes vénézuéliennes d'abord, et vraisemblablement vers les côtes nord-américaines ensuite. Le retour vers les zones centrales de l'Atlantique Tropical Oriental, correspondant aux zones de ponte principales, s'effectue à partir de l'âge adulte, aux âges trimestriels 17 et 21 (premiers trimestres des années 4 et 5).

Ce travail n'est qu'une étape. En effet, l'originalité de cette thèse est de définir des méthodes d'études quantitatives des migrations et de la répartition spatiale de la ressource, permettant d'obtenir des estimations des flux de migration par âge entre zones. Mais ces méthodes quantitatives ne permettent pas de répondre aux questions concernant le déterminisme des migrations : quels sont les mécanismes déclenchant les migrations, peut-on parler pour les thonidés tropicaux de phénomènes de "homing" analogues à ceux rencontrés chez certains salmonidés par exemple?... Hunter *et al.* (1986) définissent dans leur synthèse sur les perspectives de recherches sur la dynamique des ressources thonières deux axes à développer pour lever ces interrogations. D'une part, intensifier les marquages (qui constituent en définitive la méthode la plus probante pour prouver les migrations), en particulier à l'aide de marques archives, qui gardent en mémoire, au jour le jour, les positions géographiques de l'individu marqué, ainsi que les principales caractéristiques environnementales. D'autre part, intégrer dans un même programme recherches biologiques et recherches océanographiques.

Ainsi, à un schéma de répartition spatiale pourrait être associé des caractéristiques de l'environnement biotique ou abiotique. Le couplage des résultats obtenus dans cette thèse, notamment les abondances, les flux de migrations par zone et l'identification des concentrations, avec des données de l'environnement (issues de marques archives, de grands programmes internationaux, tels le futur programme "Picolo", ou des données satellitaires) pourrait conduire à l'analyse des déterminants de la migration des thonidés, à une meilleure

connaissance de l'impact de l'environnement sur la distribution de la ressource, à une estimation des risques liés à cet impact.

Le schéma de répartition spatiale de la ressource a ensuite des conséquences directes en terme d'étude de l'abondance des stocks. Les méthodes d'évaluation usuelles, en particulier les modèles globaux et structuraux, raisonnent généralement à l'échelle d'un stock unique, sans prendre en compte la variabilité spatiale de la ressource. Les taux de migration entre zones, ou entre les parties Est et Ouest de l'Atlantique Tropical, pourraient ici être considérés comme des mortalités apparentes, et s'intégrer dans des modèles structuraux à compartiments, plus fiables et plus fins, dans l'optique d'une gestion des stocks par zone.

D'autre part, il est évident que la répartition spatiale de la ressource, ainsi que la variabilité interannuelle des schémas de migrations, a une grande influence sur la répartition spatiale des flottilles thonières. S'ouvrent ici de nombreuses perspectives de recherche en terme de dynamique des flottilles : en premier lieu, des études pour déterminer l'efficacité de ces flottilles, globale (en reliant effort de pêche et bilans de migrations), ou locale (en évaluant l'impact de l'exploitation des concentrations), en second lieu des études socio-économiques pour déterminer la rentabilité des flottilles en fonction des zones de pêche, et de l'intensité des migrations.

Enfin, la répartition spatiale de la ressource soulève de nombreuses interrogations sur les interactions entre pêcheries, notamment lorsque la même espèce est exploitée à des stades (ou des âges) différents par deux pêcheries situées dans des zones distinctes. C'est le cas par exemple des pêcheries de canneurs ghanéens exploitant les juvéniles et des senneurs recherchant les adultes, ou des compétitions potentielles entre pêcheries de senneurs de l'Atlantique Est et celles de l'Atlantique Ouest. Quels seraient alors l'impact de l'intensification de l'exploitation dans une zone donnée sur les autres pêcheries?

Cette thèse s'inscrit ainsi dans une perspective à plus long terme qui vise à la compréhension et à la modélisation des systèmes pêches en tant que systèmes complexes.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

ALBARET J.J., 1976. La reproduction de l'albacore (*Thunnus albacares*, Bonnaterre 1788) dans le Golfe de Guinée. Thèse de doctorat de 3ème cycle, Univ. Paris VII, 143 p.

ALBARET J.J., 1977. La reproduction de l'albacore (*Thunnus albacares*) dans le Golfe de Guinée. *Cah. ORSTOM (Sér.-Océanogr.)*, 15 (4), 389-419.

ALLEN P.M., J. McGLADE, 1986. Dynamics of discovery and exploitation: the case of the Scotian Shelf Groundfish Fisheries. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 43, 1187-1200.

ALLEN P.M., J. McGLADE, 1987. Modelling complex human systems : a fishery example. *Eur. J. Op. Res.*, 30, 147-167.

ANONYME 1984. Rapport du groupe de travail sur les thonidés tropicaux juvéniles. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, XXI (1), 289 p.

ANONYME, 1994. Rapport du groupe de travail sur l'évaluation de l'albacore de l'Atlantique. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, XLII (2), 27-55.

ANTOINE L., P. CAYRE et J. MENDOZA, 1982. Etude de la croissance du listao (*Katsuwonus pelamis*) de l'Atlantique au moyen des rayons de la nageoire dorsale. Mise au point d'une méthodologie. Résultats préliminaires. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, XVII (1), 195-208.

ANTOINE L., J. MENDOZA et P. CAYRE, 1983. Progress of size and growth assessment of Atlantic skipjack (*Euthynnus pelamis*) from dorsal fin spines. Proceedings of the international workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: tunas, billfishes and sharks. *Tech. Rep. NOAA/NMFS*, 8, 91-97.

ANTOINE L. et J. MENDOZA, 1986. L'utilisation du rayon de la nageoire dorsale pour l'étude de la croissance et de l'écologie du listao. *In* SYMONS P.E.K., P.M. MIYAKE and G.T. SAKAGAWA (eds). Proceedings of the ICCAT Conference on the international skipjack program, ICCAT, Madrid, 317-324.

ARIZ J., A. DELGADO de MOLINA, J.C. SANTANA y P. PALLARES, 1992. Estadísticas españolas de la pesquería atunera tropical en el Atlántico Este. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, XXXIX (1), 119-125.

AZEVEDO M., 1990. Skipjack (*Katsuwonus pelamis*) fishing experiment results in the Portuguese mainland waters. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, XXXII (1), 17-28.

BAGES M. et A. FONTENEAU, 1980. Prises de la flottille franco-ivoiro-sénégalaise et température de surface en 1977. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, IX (1), 180-198.

BANE G.W. Jr., 1963. The biology of the yellowfin tuna (*Thunnus albacares*, Bonnaterre) in the Gulf of Guinea. Thesis Cornell Univ., New York, 444p.

BARD F.X., 1984. Croissance de l'albacore (*Thunnus albacares*) atlantique d'après les données des marquages. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, XX, 104-116.

- BARD F.X., 1984a. Résultats des campagnes de marquages effectuées de 1980 à 1982. *Pêche Marit.*, 1275, 319-324.
- BARD F.X., 1986. Analyse des taux de décroissance numérique des listaos marqués en Atlantique Est. *In* SYMONS P.E.K., P.M. MIYAKE and G.T. SAKAGAWA (eds). Proceedings of the ICCAT Conference on the international skipjack program, ICCAT, Madrid, 348-362.
- BARD F.X. et J.B. AMON KOTHIAS, 1986. Résultats des campagnes de marquages de thonidés tropicaux menées par la Côte d'Ivoire 1983-84. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, XXV, 30-36.
- BARD F.X., J.B. AMON KOTHIAS et E. HOLZAPFEL, 1987. Migration transatlantique d'albacore (*Thunnus albacares*). *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, XXVI (1), 27-31.
- BARD F.X. et L. ANTOINE, 1986. Croissance du listao (*Katsuwonus pelamis*) dans l'Atlantique est. *In* SYMONS P.E.K., P.M. MIYAKE and G.T. SAKAGAWA (eds). Proceedings of the ICCAT Conference on the international skipjack program, ICCAT, Madrid, 301-308.
- BARD F.X. et C. CAPISANO, 1991. Actualisation des connaissances sur la reproduction de l'albacore (*Thunnus albacares*) en océan Atlantique. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, XXXVI, 158-181.
- BARD F.X. et P. CAYRE, 1986. Commentaires sur les migrations de l'albacore (*Thunnus albacares*) en Atlantique Est. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, XXV, 11-29.
- BARD F.X., P. CAYRE et T. DIOUF, 1988. Les migrations *In* FONTENEAU A. et J. MARCILLE (eds). Ressources, pêche et biologie des thonidés tropicaux de l'Atlantique Centre-Est. *FAO Doc. Tech. Pêches*, 292, 111-156.
- BARD F.X., C. CHABANET et N. COUADER, 1991. Croissance du thon albacore (*Thunnus albacares*) en Océan Atlantique estimée par marquage. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, XXXVI, 182-204.
- BARD F.X. et A. HERVE, 1994. Structure de stock de l'albacore (*Thunnus albacares*) atlantique, d'après les marques comparées aux lieux de ponte. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, XLII (2), 204-208.
- BARD F.X. et E.L. SCOTT, 1991. Sept traversées transatlantiques d'albacores marqués. Thons migrants ou sédentaires? *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, XXXVI, 205-222.
- BARKLEY R.A., 1969. Salinity maxima and the skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*). *Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr.*, Spec. no., Prof. Uda's commemorative papers.
- BARKLEY R.A., W.H. NEILL and R.M. GOODING, 1978. Skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, habitat based on temperature and oxygen requirements. *Fish. Bull.*, 76 (3), 653-662.

- BATTS B.S., 1972. Sexual maturity, fecundity and sex-ratios of the skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*, Linnaeus) in North Carolina waters. *Trans. Am. Fish. Soc.*, **101** (4), 626-637.
- BENZECRI J.P., 1973. L'analyse des données. Tome II : l'analyse des correspondances. Dunod, Paris, 619 p.
- BERTALANFFY L. von, 1938. A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws II). *Hum. Biol.*, **10** (2), 181-213.
- BLACKBURN M., 1965. Oceanography and the ecology of tunas. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, **3**, 299-322.
- BONNET A., 1984. L'intelligence artificielle : promesses et réalités. InterEditions, Paris, 271 p.
- BROWDER J.A. and G.P. SCOTT, 1992. History of the western Atlantic U.S. yellowfin fishery. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **XXXVI**, 223-240.
- BROWDER J.A., B.E. BROWN and M.L. PARRACK, 1991. The U.S. longline fishery for yellowfin tuna in perspective. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **XXXVIII**, 195-202.
- CALKINS T.P., 1980. Synopsis of biological data on the bigeye tuna (*Thunnus obesus*, Lowe 1839) in the Pacific ocean. *Spec. Rep. IATTC*, **2**, 213-260.
- CAPISANO C. et A. FONTENEAU, 1991. Analyse des fréquences de longueur, du sex-ratio et des zones de reproduction de l'albacore *Thunnus albacares* de l'Atlantique. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **XXXVI**, 241-279.
- CAREY F.G., J.M. TEAL, J.W. KANWISHER, K.D. LAWSON and J.S. BECKETT, 1971. Warm bodied fish. *Am. Zool.*, **11**(1), 137-145.
- CASTELLO J.P. and R. PEREZ HABIAGA, 1989. The skipjack tuna fishery in southern Brazil. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **XXX** (1), 6-19.
- CAVERIVIERE A. 1976. Longueur prédorsale, longueur à la fourche et poids des albacores (*Thunnus albacares*) dans l'Atlantique. *Cah. ORSTOM (Sér. Océanogr.)*, **14** (3), 201-208.
- CAVERIVIERE A., F. CONAND et E. SUISSE DE SAINTE CLAIRE, 1976. Distribution et abondance des larves de thonidés dans l'Atlantique tropical oriental. Etude des données de 1963 à 1974. *Doc. Sci. Cent. Rech. Océanogr. Abidjan, ORSTOM*, **7** (2), 49-70.
- CAVERIVIERE A. et E. SUISSE DE SAINTE CLAIRE, 1980. Recherche des larves de thonidés dans l'Atlantique tropical oriental, campagnes effectuées en 1976-1977 par le N/O Capricorne. *Doc. Sci. Cent. Rech. Océanogr. Abidjan, ORSTOM*, **11** (1), 37-72.

- CAYRE P., 1981. Maturité sexuelle, fécondité et sex-ratio du listao (*Katsuwonus pelamis*) des côtes d'Afrique de l'Ouest (20°N-0°N), étudiés à partir des débarquements thoniers (1977-1979) au port de Dakar. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, XV (1), 135-149.
- CAYRE P., 1984. Biologie et comportement du listao. *Pêche Marit.*, 1274, 274-282.
- CAYRE P., 1985. Contribution à l'étude de la biologie et de la dynamique du Listao (*Katsuwonus pelamis*, Linnaeus 1758) de l'océan Atlantique. Thèse de doctorat, Univ. Paris VI, tome 1, 181 p.
- CAYRE P., 1989. Physiologie de la thermorégulation des thons. *In* LE GALL J.Y. (ed). Télédétection satellitaire et pêcheries thonières océaniques. *FAO Doc. Tech. Pêches*, 302, 43-47.
- CAYRE P., J.B. AMON KOTHIAS, J.M. STRETTA et T. DIOUF, 1988. La biologie des thons - *In* FONTENEAU A. et J. MARCILLE (eds). Ressources, pêche et biologie des thonidés tropicaux de l'Atlantique Centre-Est. *FAO Doc. Tech. Pêches*, 292, 157-268.
- CAYRE P. et J. CHABANNE, 1986. Marquage acoustique et comportement des thons tropicaux (albacore *Thunnus albacares* et listao *Katsuwonus pelamis*) au voisinage d'un dispositif concentrateur de poissons. *Océanogr. Trop.*, 21 (2), 167-183.
- CAYRE P. et T. DIOUF, 1984. Croissance du thon obèse (*Thunnus obesus*) de l'Atlantique d'après les résultats de marquage. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, XX (1), 180-187.
- CAYRE P., T. DIOUF, A. FONTENEAU et M.H. SANTA-RITA VIEIRA, 1986. Analyse des données de marquages et recaptures de listao (*Katsuwonus pelamis*) réalisés par le Sénégal et la République du Cap-Vert. *In* SYMONS P.E.K., P.M. MIYAKE and G.T. SAKAGAWA (eds). Proceedings of the ICCAT Conference on the international skipjack program, ICCAT, Madrid, 309-316.
- CAYRE P. et H. FARRUGIO, 1986. Biologie de la reproduction du listao (*Katsuwonus pelamis*) de l'océan Atlantique. *In* SYMONS P.E.K., P.M. MIYAKE and G.T. SAKAGAWA (eds). Proceedings of the ICCAT Conference on the international skipjack program, ICCAT, Madrid, 252-272.
- CAYRE P., A. FONTENEAU et T. DIOUF, 1986. Eléments de biologie affectant la composition en taille des listaos (*Katsuwonus pelamis*) exploités dans l'Atlantique tropical oriental et leur effet sur l'analyse de la croissance de l'espèce par la méthode de Petersen. *In* SYMONS P.E.K., P.M. MIYAKE and G.T. SAKAGAWA (eds). Proceedings of the ICCAT Conference on the international skipjack program, ICCAT, Madrid, 326-334.
- CAYRE P. et F. LALOE, 1986. Relation Poids-Longueur du listao (*Katsuwonus pelamis*) de l'océan Atlantique. *In* SYMONS P.E.K., P.M. MIYAKE and G.T. SAKAGAWA (eds). Proceedings of the ICCAT Conference on the international skipjack program, ICCAT, Madrid, 335-340.

- CAYRE P. et F. MARSAC, 1993. Modelling the yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) vertical distribution using sonic tagging results and local environmental parameters. *Aquat. Living Resour.*, 6 (1), 1-14.
- CHAMPAGNAT C. et R. PIANET, 1974. Croissance du patudo (*Thunnus obesus*) dans les régions de Dakar et de Pointe Noire. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, II, 141-145.
- COLLETTE B.B. 1978. Adaptations and systematics of the mackerels and tunas. *In* SHARP G.P. and A.E. DIZON (eds), The physiological ecology of tunas. *Academic Press*, New York, 7-39.
- COLLETTE B.B. and C.E. NAUEN, 1983. FAO species catalogue, vol. 2. Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date. *FAO Fish. Synop.*, 125 (2), 137 p.
- DA FRANCA M. de L., 1959. Contribucao para o conhecimento de maturacao sexual dos atuns de Angola. *Notas Mimeo. Cent. Biol. Piscat.*, Lisboa, 3, 1-45.
- DERISO R.B., P.R. NEAL and T.J. QUINN II, 1989. Further aspects of catch-age analysis with auxiliary information. *In* BEAMISH R.J. and G.A. McFARLANE (ed.). Effects of ocean variability on recruitment and an evaluation of parameters used in stock assessment models. *Can. Spec. Fish. Aquat. Sci.*, 108, 127-135.
- DERISO R.B., R.G. PUNSLY and W.H. BAYLIFF, 1991. A Markov movement model of yellowfin tuna in the Eastern Pacific Ocean and some analyses for international management. *Fish. Res.*, 11, 375-395.
- DERISO R.B., T.J. QUINN II and P.R. NEAL, 1985. Catch-age analysis with auxiliary information. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 42, 815-824.
- DIOUF T., 1991. Les pêcheries thonières d'albacore de l'Atlantique. Bilan de l'évolution durant la période récente. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, XXXVI, 289-325.
- DIOUF T. et A. FONTENEAU, 1993. Statistiques de la pêche thonière FIS durant la période de 1969 à 1991. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, XL (2), 149-156.
- DIZON A.E., W.H. NEILL and J.J. MAGNUSON, 1977. Rapid temperature compensation of volitional swimming speeds and lethal temperatures in tropical tunas (*Scombridae*). *Environ. Biol. Fish.*, 2, 83-92.
- DRAGANICK B. and W. PELCZARSKI, 1984. Growth and age of bigeye and yellowfin tuna in the central Atlantic as per data gathered by RV "Wieczno". *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, XX (1), 96-103.
- EKMAN V.W., 1905. On the influence of the earth's rotation on ocean currents. *Ark. f. Mat. Astr. och Fysik. K. Sv. Vet. Ak.*, Stockholm, 1905-06, vol. 2, 11.
- ESCOFIER B. et J. PAGES, 1988. Analyses factorielles simples et multiples. Objectifs, méthodes et interprétation. Dunod, Paris, 241 p.

- EVANS R.H., D.R. McLAIN and R.A. BAUER, 1981. Atlantic skipjack tuna: influences of mean environmental conditions on their vulnerability to surface fishing gear. *Mar. Fish. Rev.*, **43** (6), 1-11.
- FISHERY AGENCY OF JAPAN, 1981. Report on 1980-1981 research cruise of the R/V Shoyo Maru. Vertical distribution of tunas and billfishes in the western equatorial Pacific ocean, December, 1980-February 1981. 58 p.
- FONTANA A. et A. FONTENEAU, 1978. Note sur les indices gonado-somatiques des albacores (*Thunnus albacares*) capturés à la senne et à la palangre. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **VII** (1), 79-97.
- FONTENEAU A., 1980. Croissance de l'albacore (*Thunnus albacares*) de l'Atlantique Est. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **IX**, 152-168.
- FONTENEAU A., 1981. Dynamique de la population d'Albacore (*Thunnus albacares*, Bonnaterre 1788) de l'océan Atlantique. Thèse dr. Etat, Univ. Paris VI, 324 p.
- FONTENEAU A., 1991a. La surexploitation du stock d'albacore en 1984: mythe ou réalité? *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **XXXVI**, 348-379.
- FONTENEAU A., 1991b. Les anomalies de l'environnement en 1984 dans le Golfe de Guinée. Effets possibles sur la capturabilité de l'albacore. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **XXXVI**, 380-408.
- FONTENEAU A., 1991c. Variations du prix de vente du thon par espèce et catégorie de taille de 1970 à 1987. Effets possibles sur les changements de stratégies de pêche des senneurs. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **XXXVI**, 409-428.
- FONTENEAU A., 1991d. La concentration plurispécifique exploitée par 3° nord et 15° ouest en décembre 1983 et janvier 1984: caractéristiques biologiques et de l'exploitation. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **XXXVI**, 326-347.
- FONTENEAU A., 1992a. Modelling a single Atlantic yellowfin stock with a mixing model. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **XXXVIII**, 272-285.
- FONTENEAU A., 1992b. A comparative study of yellowfin tuna in the Eastern Pacific and the Eastern Atlantic. *Archive IATTC*, **22**, 72 p.
- FONTENEAU A., 1993. L'albacore de l'Atlantique: structure et état du stock. *La Pêche Maritime*, 434-438.
- FONTENEAU A., 1994. Time units to be used in the yellowfin VPA's? *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **XLII** (2), 209-214.
- FONTENEAU A., 1994b. La zone "Libéria": quelques éléments statistiques et de réflexions halieutiques. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **XLII** (2), 408-416.
- FONTENEAU A. et T. DIOUF, 1994. An efficient way of bait-fishing for tunas recently developed in Senegal. *Aquat. Living Resour.*, **7** (3), 139-151.

- FONTENEAU A., T. DIOUF et M. MENSAH, 1988. Les pêcheries thonières de l'Atlantique Tropical Est *In* FONTENEAU A. et J. MARCILLE (eds). Ressources, pêche et biologie des thonidés tropicaux de l'Atlantique Centre-Est. *FAO Doc. Tech. Pêches*, 292, 33-110.
- FONTENEAU A. et J. MARCILLE (eds), 1988. Ressources, pêche et biologie des thonidés tropicaux de l'Atlantique Centre-Est. *FAO Doc. Tech. Pêches*, 292, 391 p.
- FOUCHER E., 1991. La prise par unité d'effort comme indice d'abondance locale dans les pêcheries de thonidés tropicaux. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, 35, 61-68.
- FRY F.E.J., 1949. Statistics of a lake trout fishery. *Biometrics*, 5, 27-67.
- GAERTNER D. et M. PAGAVINO, 1991. Observations sur la croissance de l'albacore (*Thunnus albacares*) dans l'Atlantique Ouest. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, XXXVI, 479-505.
- GAIKOV V.Z. et al., 1980. On age and growth of the Atlantic bigeye tuna. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, IX (2), 294-302.
- GASCUEL D., 1993. Modélisation de la dynamique des stocks exploités par la pêche artisanale sénégalaise : intérêt, limites et contraintes de l'approche structurale. *Symposium sur les méthodes d'évaluation des ressources exploitées par la pêche artisanale sénégalaise*, ORSTOM/CRODT, Dakar, 8-13 février 1993.
- GASCUEL D., 1993. Une méthode simple d'ajustement des clés taille/âge: application aux captures d'albacores (*Thunnus albacares*) de l'Atlantique Est. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, sous presse.
- GASCUEL D., A. FONTENEAU et C. CAPISANO, 1992. Modélisation d'une croissance en deux stances chez l'albacore (*Thunnus albacares*) de l'Atlantique Est. *Aquat. Living Resour.*, 5 (3), 155-172.
- GASCUEL D., A. FONTENEAU, E. FOUCHER, 1993. Analyse de l'évolution des puissances de pêche par l'analyse des cohortes: application aux senneurs exploitant l'albacore (*Thunnus albacares*) dans l'Atlantique Est. *Aquat. Living Resour.*, 6 (1), 15-30.
- GIBBS R.H. Jr. and B.B. COLLETTE, 1967. Comparative anatomy and systematics of the tunas, genus *Thunnus*. *Fish. Bull. US Fish. Wild. Serv.*, 66, 65-130.
- GOURIOU Y., 1988. Le milieu dans l'Atlantique Tropical Est *In* FONTENEAU A. et J. MARCILLE (eds). Ressources, pêche et biologie des thonidés tropicaux de l'Atlantique Centre-Est. *FAO Doc. Tech. Pêches*, 292, 11-32.
- GRAHAM J.B., 1975. Heat exchange in the yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and skipjack (*Katsuwonus pelamis*), and the adaptative significance of elevated body temperatures in scombrid fishes. *Fish. Bull. NOAA NMFS*, 73, 219-248

- GULLAND J.A., 1965. Estimation of mortality rates. Annex to Arctic fisheries working group report. *ICES CM Gadoïd Fish Committee/3*, 9 p., (mimeo).
- GULLAND J.A., 1969. Manuel des méthodes d'évaluation des stocks d'animaux aquatiques. Première Partie: analyse des populations. *Man. FAO_Sci. Halieut.*, 4, 160 p.
- HAYASHI S., 1974. An hypothesis on population structure of yellowfin tuna in the Atlantic ocean, based mainly on long-line data. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, II, 40-48.
- HERVE A., F.X. BARD, F. GONZALES-COSTAS, 1991. Facteurs d'accroissement de la puissance de pêche des senneurs tropicaux français et espagnols entre 1985 et 1989. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, 35, 8-13.
- HILBORN R., 1987. Spatial models of tuna dynamics in the western Pacific: is international management of tuna necessary? *In* VINCENT T.L., Y. COHEN, W.J. GRANTHAM, G.P. KIRKWOOD and J.M. SKOWRONSKI (Eds), Modelling and management of resources under uncertainty. *Lecture notes in biomathematics*, 72, Springer-Verlag, Berlin, 276-286.
- HILBORN R., 1989. Models of tag dynamics with exchange between available and unavailable populations. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 46 (8), 1356-1366.
- HILBORN R., 1990. Determination of fish movement patterns from tag recoveries using maximum likelihood estimators. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47, 635-643.
- HILBORN R. and J.R. SIBERT, 1988. Is international management of tuna necessary? *Mar. Policy*, 12 (1), 31-39.
- HISARD P., J. CITEAU et J. MORLIERE, 1976. Le système des contre-courants équatoriaux subsuperficiels. Permanence et extension de la branche sud dans l'océan Atlantique. *Cah. ORSTOM, sér. Océanogr.*, 14 (3), 209-220.
- HOLLAND K.N., R.W. BRILL and R.K.C. CHANG, 1990. Horizontal and vertical movements of yellowfin and bigeye tuna associated with fish aggregation devices. *Fish. Bull.*, 88 (3), 493-507.
- HOLLAND K.N., R.W. BRILL, R.K.C. CHANG, J.R. SIBERT and D.A. FOURNIER, 1992. Physiological and behavioural thermoregulation in bigeye tuna. *Nature*, 358, 410-412.
- HONMA M. and K. HISADA, 1971. Structure of yellowfin tuna population in the Atlantic ocean. *Bull. Far Seas Fish. Res. Lab.*, 4, 93-124.
- HUNTER J.R., A.W. ARGUE, W.H. BAYLIFF, A.E. DIZON, A. FONTENEAU, D. GOODMAN and G.R. SECKEL, 1986. The dynamics of tunas movements: an evaluation of past and future research. *FAO Fish. Tech. Pap.*, 277, 78 p.
- ICCAT, 1984. Rapport de la période biennale 1982-83, 2ème Partie, ICCAT, Madrid, 308 p.
- ICCAT, 1985. Rapport de la période biennale 1984-85, 1ère Partie, ICCAT, Madrid, 300 p.

- ICCAT, 1993. Rapport de la période biennale 1992-93, 1ère Partie, ICCAT, Madrid, 400 p.
- KISHINOUE K., 1923. Contributions to the comparative study of the so-called scombroid fishes. *J. Coll. Agric. Imp. Univ., Tokyo*, **8**, 293-475.
- KOIDO T., 1985. Comparison of fishing efficiency between regular and deep longline gears on bigeye and yellowfin tunas in the Indian ocean. *Coll. Vol. of Working Doc., IPTP*, 62-70.
- KUME S. and Y. MORITA, 1977. On the stock structure of bigeye tuna in the Atlantic ocean. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **VI (2)**, 149-155.
- LAURIERE J.L., 1984. Introduction à l'intelligence artificielle. InterEditions, Paris.
- LAEVASTU T. and H. ROSA, 1963. Distribution and relative abundance of tunas in relation to their environment. *FAO Fish. Rep.*, **6 (3)**, 1835-1861.
- LEBART L., MORINEAU A. et FENELON J.P., 1979. Traitements des données statistiques. Méthodes et programmes. Dunod, Paris, 518 p.
- LEGENDRE L. et LEGENDRE P., 1979. Ecologie numérique. Tome II : La structure des données écologiques. Masson et Presses de l'Université de Québec, Québec, 13, 1-49.
- LEMASSON L., 1975. Note sur la circulation dans l'Atlantique Tropical le long de 10°W: le Contre-Courant Sud Equatorial. *Cah. ORSTOM, sér. Océanogr.*, **13 (4)**, 339-343.
- LE GUEN J.C. and G.T. SAKAGAWA, 1973. Apparent growth of yellowfin tuna from eastern Atlantic ocean. *Fish. Bull. NOAA/NMFS*, **71**, 175-187.
- MARCILLE J., C. CHAMPAGNAT et N. ARMADA, 1978. Croissance du patudo (*Thunnus obesus*) de l'océan Atlantique intertropical oriental. *Doc. Sci. CRO Abidjan, ORSTOM*, **9 (1)**, 73-81.
- MARSAC F., 1992. Etude des relations entre l'hydroclimat et la pêche thonière hauturière tropicale dans l'Océan Indien Occidental. Thèse doctorat, Univ. Bretagne Occidentale, Brest, 350 p.
- MAZEIKA P.A., 1967. Thermal domes in the eastern tropical Atlantic ocean. *Limnol. Oceanogr.*, **12 (3)**, 537-546.
- MERLE J., 1978. Atlas hydrologique saisonnier de l'océan Atlantique Intertropical. *Trav. Doc. Sci. ORSTOM*, **82**, 134 p.
- MESNIL B., 1980. Théorie et pratique de l'analyse des cohortes. *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.*, **44 (2)**, 119-155.
- MIYABE N. and F.X. BARD, 1986. Movements of skipjack in the eastern Atlantic, from results of tagging by Japan. *In* SYMONS P.E.K., P.M. MIYAKE and G.T.

- SAKAGAWA (eds). Proceedings of the ICCAT Conference on the international skipjack program, ICCAT, Madrid, 342-347.
- NAKAMURA H., 1969. Tuna distribution and migration. *Fishery News (Books) Ltd.*, London, 76 p.
- NISHIKAWA Y., S. KIKAWA, M. HOMNA et S. UEYANAGI, 1978. Distribution atlas of larval tunas, bill fishes and related species. Results of larval surveys by R/V Shunyo Maru and Shoyo Maru, 1956-75. *S Ser. Far Seas Fish. Res. Lab.*, 9, 99p.
- NISHIKAWA Y., S. KIKAWA, M. HOMNA et S. UEYANAGI, 1985. Average distribution of larvae of oceanic species of scombroid fishes 1956-1981. *S Ser. Far Seas Fish. Res. Lab.*, 12, 99p.
- O'BOYLE R.N., 1990. Estimation de l'abondance et de la mortalité par pêche par l'analyse séquentielle des populations. in BRETHES J.C. et R.N. O'BOYLE (eds). Méthodes d'évaluation des stocks halieutiques. Projet CIEO-860060, Centre International d'Exploitation des Océans, Halifax, Canada, 465-507.
- PARKS W., F.X. BARD, P. CAYRE, S. KUME and A.G. SANTOS, 1982. Length-weight relations for bigeye tuna captured in the eastern Atlantic ocean. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, XVII (1), 214-225.
- PEREIRA J., 1984. Croissance du patudo (*Thunnus obesus*) de l'Atlantique. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, XXI (2), 143-154.
- PIANET R., 1981. Les stocks pélagiques hauturiers: les thonidés. *Trav. Doc. ORSTOM*, 138, 279-312.
- POPE J.G., 1972. An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. *Res. Bull. Int. Comm. Northwest Atl. Fish.*, 9, 65-74.
- POSTEL E., 1955a. Recherches sur l'écologie du thon à nageoires jaunes (*Neothunnus albacora*, Lowe) dans l'Atlantique Tropical Oriental. *Bull. Inst. Fr. Afr. Noire (Sér. A Sci. Nat.)*, 17, 279-318.
- POSTEL E., 1955b. La bonite à ventre rayé (*Katsuwonus pelamis*) dans la région du Cap-Vert. *Bull. Inst. Fr. Afr. Noire (Sér. A Sci. Nat.)*, 17, 1202-1213.
- QUINN T.J. II, R.B. DERISO and P.J. NEAL, 1990. Migratory catch-age analysis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47, 2315-2327.
- REYNOLDS R.W., 1982. Monthly averaged climatology of sea surface temperature. *Tech. Rep. NOAA NWS*, 31, 112 p.
- RICHARDS F.J., 1959. A flexible growth function for empirical use. *J. Exper. Botany*, 10 (2), 290-300.

- RICHARDSON P.L. and T.K. McKEE, 1984. Average seasonal variation of the Atlantic Equatorial Currents from historical ship drift. *J. Phys. Oceanogr.*, 14 (7), 1226-1238.
- RICHARDSON P.L. and D. WALSH, 1986. Mapping climatological seasonal variations of surface currents in the Tropical Atlantic using ship drifts. *J. Geophys. Res.*, 91 (C9), 10537-10550.
- RICKER R.W., 1980. Calcul et interprétation des statistiques biologiques des populations de poissons. *Bull. Fish. Res. Board Can.*, 191F, 409 p.
- ROSSIGNOL M., 1968. Le thon à nageoires jaunes de l'Atlantique (*Thunnus albacares*, Bonnaterre 1788). *Mém. ORSTOM Paris*, 25, 11p.
- ROY C., 1990. Réponses des stocks de poissons pélagiques à la dynamique des upwellings en Afrique de l'Ouest: analyse et modélisation. Thèse de doctorat, Univ. Bretagne Occid., 149 p.
- SAKAGAWA G.T., 1986. Skipjack fisheries in the western Atlantic. *In* SYMONS P.E.K., P.M. MIYAKE and G.T. SAKAGAWA (eds). Proceedings of the ICCAT Conference on the international skipjack program, ICCAT, Madrid, 99-103.
- SAKAMOTO S., 1969. Preliminary review of the regional change in size composition, sex-ratio and gonad index of the Atlantic bigeye caught by tuna long-line fishery. *Bull. Far Seas Fish. Res. Lab.*, 1, 49-56.
- SEBER G.A.F., 1982. The estimation of animal abundance. 2nd. ed. Griffin, London, UK, 506 p.
- SHARP G.D., 1978. Behavioural and physiological properties of tunas and their effects on vulnerability to fishing gear. *In* SHARP G.D. and A.E. DIZON (eds), The physiological ecology of tunas. *Academic Press*, New York, 397-450.
- SHARP G.D. and A.E. DIZON (eds), 1978. The physiological ecology of tunas. *Academic Press*, New York, 485 p.
- STRETTA J.M., 1988. Environnement et pêche thonière en Atlantique tropical oriental. *In* FONTENEAU A. et J. MARCILLE (eds). Ressources, pêche et biologie des thonidés tropicaux de l'Atlantique Centre-Est. *FAO Doc. Tech. Pêches*, 292, 269-316.
- STRETTA J.M. et M. PETIT, 1989. Relation capturabilité température de surface. *In* LE GALL J.Y. (ed). Télédétection satellitaire et pêcheries thonières océaniques. *FAO Doc. Tech. Pêches*, 302, 49-50.
- STRETTA J.M. et M. SLEPOUKHA, 1986. Analyse des températures de surface au sein des concentrations de listao en 1981. *In* SYMONS P.E.K., P.M. MIYAKE and G.T. SAKAGAWA (eds). Proceedings of the ICCAT Conference on the international skipjack program, ICCAT, Madrid, 364-364.

- SUND P.N., M. BLACKBURN and F. WILLIAMS, 1981. Tunas and their environment in Pacific ocean: a review. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, **19**, 443-512.
- SUZUKI Z., 1992. Trends in catch, fishing effort, catch rate and length data for the Japanese longline fishery in the Atlantic ocean, 1955-1989. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **XXXVIII**, 169-176.
- SUZUKI Z. and S. KUME, 1982. Fishing efficiency and deep longline for bigeye tuna in the Atlantic as inferred from the operations in the Pacific and Indian oceans. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **XVII** (2), 471-486.
- SYMONS P.E.K., P.M. MIYAKE and G.T. SAKAGAWA (eds), 1986. Proceedings of the ICCAT Conference on the international skipjack program, ICCAT, Madrid, 388 p.
- TEISSIER G., 1936. Les lois quantitatives de la croissance. *Annales physiologie et physico-chimie biologiques*, 12.
- VIEIRA M.H., 1991. Saison de ponte et sex-ratio des albacores capturés au Cap-Vert. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **XXXVI**, 564-586.
- VOITURIEZ B., 1981. Les sous-courants équatoriaux Nord et Sud et la formation des dômes thermiques tropicaux. *Océanol. Acta*, **4** (4), 497-506.
- VOITURIEZ B., 1983a. Les variations saisonnières des courants équatoriaux à 4° W et l'upwelling équatorial du Golfe de Guinée. II - Le courant équatorial sud. *Océanogr. Trop.*, **18** (2), 185-200.
- VOITURIEZ B., 1983b. Les variations saisonnières des courants équatoriaux à 4° W et l'upwelling équatorial du Golfe de Guinée. I - Le sous-courant équatorial. *Océanogr. Trop.*, **18** (2), 163-184.
- WEBER E., 1980. An analysis of Atlantic bigeye tuna (*Thunnus obesus*) growth. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **IX** (2), 303-307.
- YANEZ R.E., 1979. Analyse des prises par unité d'effort du yellowfin de la pêche palangrière atlantique. Relations avec les PUE de la pêche de surface. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **VIII** (1), 67-78.
- YANEZ R.E. et M.A. BARBIERI, 1980. Analyse de la prise par unité d'effort "saisonnière" et de l'évolution de l'indice gonado-somatique de la pêche palangrière (1956-77) et de surface (1969-78) du yellowfin (*Thunnus albacares*) de l'Atlantique. *Rec. Doc. Sci. ICCAT*, **IX** (1), 76-91.

ANNEXE A

**QUELQUES ELEMENTS DE
STATISTIQUES DE PECHE DANS
L'ATLANTIQUE TROPICAL
ORIENTAL.**

Année	Canneurs				Senneurs				Total
	France	Ghana	Autre	Total	France	Esp.	Autre	Total	
1980	2.1	1.7	3.3	7.1	47.0	38.7	6.0	91.7	98.8
1981	2.9	2.5	4.1	9.5	48.9	51.3	18.6	118.8	128.3
1982	3.0	5.6	4.1	12.7	39.5	53.8	14.5	107.8	120.5
1983	2.7	5.0	2.8	10.5	36.1	51.1	14.4	101.6	112.1
1984	3.4	5.5	1.6	10.5	4.4	37.5	8.6	50.5	61.0
1985	2.9	8.9	1.1	12.9	9.5	64.0	13.8	87.3	100.2
1986	3.8	8.2	1.4	13.4	13.1	60.2	11.1	84.4	97.8
1987	3.8	8.9	1.0	13.7	13.5	63.4	9.0	85.9	99.6
1988	4.4	8.4	0.8	13.6	17.4	47.9	8.3	73.6	87.2
1989	2.6	6.9	1.0	10.5	28.4	60.5	12.3	101.2	111.7
1990	3.8	8.2	0.8	12.8	40.0	66.2	17.7	123.9	136.7
1991	4.4	9.5	1.2	15.1	29.8	56.0	20.1	105.9	121.0

Tableau A.1 : Prises totales d'albacores dans l'Atlantique Tropical Est.

Année	Canneurs				Senneurs				Total
	France	Ghana	Autre	Total	France	Esp.	Autre	Total	
1980	3.1	4.7	26.3	34.1	19.9	24.2	9.9	54.0	88.1
1981	2.6	4.9	24.4	31.9	22.4	31.3	10.8	64.5	96.4
1982	4.4	14.3	17.6	36.3	24.3	34.7	13.5	72.5	108.8
1983	2.6	20.5	9.4	32.5	25.2	27.6	10.8	63.6	96.1
1984	3.8	16.2	2.1	22.1	9.1	44.6	8.0	61.7	83.8
1985	3.3	16.2	2.3	21.8	9.7	29.4	8.6	47.7	69.5
1986	1.9	19.2	0.9	22.0	10.9	39.5	7.7	58.1	80.1
1987	2.0	22.8	2.3	27.1	15.2	29.7	5.7	50.6	77.7
1988	3.0	26.0	1.6	30.6	14.2	44.2	8.9	67.3	97.9
1989	4.8	22.2	1.1	28.1	11.1	29.5	6.7	47.3	75.4
1990	3.5	26.6	0.9	31.0	12.9	43.2	16.9	73.0	104.0
1991	1.4	27.2	1.4	30.0	30.0	65.2	23.5	118.7	148.7

Tableau A.2 : Prises totales de listaos dans l'Atlantique Tropical Est.

Année	Canneurs					Senneurs				Total
	France	Esp.	Port.	Autre	Total	France	Esp	Autre	Total	
1980	2.4	4.0	3.5	2.2	12.1	3.3	4.4	1.0	8.7	20.8
1981	2.2	2.4	2.6	2.4	9.6	5.4	7.6	2.3	15.3	24.9
1982	1.8	1.5	1.8	1.7	6.8	4.8	7.5	1.6	13.9	20.7
1983	2.1	2.5	3.8	1.5	9.9	5.6	6.2	3.4	15.2	25.1
1984	2.1	2.8	3.9	2.2	11.0	2.0	10.8	3.2	16.0	27.0
1985	4	5.0	6.4	2.3	17.7	1.0	5.4	1.6	8.0	25.7
1986	3.2	3.5	7.0	1.3	15.0	1.1	7.4	0.7	9.2	24.2
1987	2.7	3.6	4.5	1.5	12.3	1.3	5.3	0.5	7.1	19.4
1988	2.5	2.6	2.2	1.8	9.1	1.7	5.4	0.5	7.6	16.7
1989	2.2	2.8	4.9	2.5	12.4	1.2	4.9	0.2	6.3	18.7
1990	2.7	3.8	5.9	2.8	15.2	2.2	6.1	1.1	9.4	24.6
1991	2.2	3.5	5.5	4.2	15.4	4.3	12.6	4.2	21.1	36.5

Tableau A.3 : Prises totales de patudos dans l'Atlantique Tropical Est.

Année	FRANCE			SENEGAL			CI	FIS			ESPAGNE			TOTAL		
	BB	SM	GS	BB	SM	GS	GS	BB	SM	GS	BB	SM	GS	BB	SM	GS
1980	28	1	25	1	0	0	8	29	1	33	0	2	39	29	3	72
1981	22	1	25	1	2	1	8	23	3	34	0	2	42	23	5	76
1982	23	0	26	0	2	2	8	23	2	36	0	2	45	23	4	81
1983	22	0	22	0	2	3	8	22	2	33	0	2	51	22	4	84
1984	21	0	14	1	1	3	6	22	1	23	0	2	45	22	3	68
1985	19	0	5	1	1	3	3	20	1	11	0	2	43	20	3	54
1986	15	0	9	2	2	2	0	17	2	11	0	2	40	17	4	51
1987	12	0	8	2	2	1	0	14	2	9	4	1	36	18	3	45
1988	15	0	10	2	2	1	0	17	2	11	1	1	37	18	3	48
1989	14	0	11	2	2	0	0	16	2	11	3	3	33	19	5	44
1990	14	0	21	1	1	0	0	15	1	21	3	2	36	18	3	57
1991	9	0	22	0	0	0	0	9	0	22	2	0	39	11	0	61
1992	7	0	17	0	0	0	0	7	0	17	2	0	39	9	0	56

Tableau A.4 : Evolution du nombre de navires des flottilles FIS (France, Côte d'Ivoire, Sénégal) et espagnoles dans l'Atlantique Tropical Oriental. Les abréviations utilisées sont les suivantes : BB pour canneurs (baitboats), SM pour senneurs moyens et GS pour grands senneurs.

Année	CANNEURS		SENNEURS					TOTAL	
	Ghana (*)	Cap Vert	Maroc	Japon	Ghana	Nor- vège	Autres	Can- neurs	Sen- neurs
1980	35	0	4	0	2	0	2	35	8
1981	35	0	3	0	3	0	3	35	9
1982	38	0	4	1	6	0	2	38	13
1983	36	0	3	1	5	0	1	36	10
1984	27	0	1	1	5	0	0	27	7
1985	27	0	0	2	7	1	0	27	10
1986	25	0	1	2	4	1	0	25	8
1987	27	0	0	2	2	1	0	27	5
1988	29	3	0	2	0	1	0	32	3
1989	32	0	0	1	0	2	1	32	4
1990	33	0	0	1	1	2	1	33	5
1991	28	0	0	2	0	1	1	28	4
1992		1	0	2	0	0	6		8

Tableau A.5 : Evolution du nombre de navires (canneurs et senneurs) des flottilles d'autre nationalité que FIS et espagnole dans l'Atlantique tropical Oriental.

(*) Dans "Ghana", on entend Ghana, plus les navires asiatiques (Japon et Corée) basés à Téma.

Année	FIS			ESPAGNE		
	Canneurs	Senneurs	Total	Canneurs	Senneurs	Total
1980	69	411	437	0	430	430
1981	60	397	406	0	382	382
1982	63	391	414	0	421	421
1983	58	469	485	0	424	424
1984	60	348	368	0	425	425
1985	49	366	377	0	420	420
1986	47	292	306	0	363	363
1987	42	330	343	12	361	363
1988	51	315	335	18	381	384
1989	52	323	350	12	361	364
1990	68	341	380	32	445	451
1991	43	384	404	29	464	471

Tableau A.6 : Nombre de carrés de 1°x1° prospectés par les flottilles FIS et espagnoles.

Année	Canneurs	Senneurs	
	FIS	FIS	Esp
1980	2162	13593	10486
1981	2441	14974	10105
1982	2520	14525	11204
1983	2658	13338	12961
1984	2400	3037	9623
1985	2601	2840	9646
1986	1828	2974	8501
1987	1727	3931	9480
1988	2010	3647	7967
1989	1967	4083	8263
1990	1873	3965	7886
1991	1143	7427	7913

Tableau A.7 : Effort de pêche (jours de mer standardisés) des flottilles de surface dans l'Atlantique Tropical Est.

Année	Albacore	Listao	Patudo	Total
1980	0.97	1.43	1.11	3.52
1981	1.19	1.07	0.90	3.15
1982	1.19	1.75	0.71	3.65
1983	1.02	0.98	0.79	2.78
1984	1.42	1.58	0.88	3.88
1985	1.11	1.27	1.54	3.92
1986	2.08	1.04	1.75	4.87
1987	2.20	1.16	1.56	4.92
1988	2.19	1.49	1.24	4.93
1989	1.32	2.44	1.12	4.88
1990	2.03	1.87	1.44	5.34
1991	3.85	1.22	1.92	7.00

Tableau A.8 : Prises par unité d'effort (en tonnes / jour) de la flottille de canneurs FIS.

Année	ALBACORE		LISTAO		PATUDO		TOTAL	
	FIS	Esp.	FIS	Esp.	FIS	Esp.	FIS	Esp.
1980	3.46	3.69	1.46	2.31	0.24	0.42	5.16	6.42
1981	3.27	5.08	1.50	3.10	0.36	0.75	5.12	8.93
1982	2.72	4.80	1.67	3.10	0.33	0.67	4.72	8.57
1983	2.71	3.94	1.89	2.13	0.42	0.48	5.02	6.55
1984	1.45	3.90	3.00	4.63	0.66	1.12	5.10	9.65
1985	3.35	6.63	3.42	3.05	0.35	0.56	7.11	10.24
1986	4.40	7.08	3.67	4.65	0.37	0.87	8.44	12.60
1987	3.43	6.69	3.87	3.13	0.33	0.56	7.63	10.38
1988	4.77	6.01	3.89	5.55	0.47	0.68	9.13	12.24
1989	6.96	7.32	2.72	3.57	0.29	0.59	9.97	11.48
1990	10.09	8.39	3.25	5.48	0.55	0.77	13.90	14.65
1991	4.01	7.08	4.04	0.00	0.58	1.59	8.63	8.67

Tableau A.9 : Prises par unité d'effort (en tonnes / jour) des flottilles de senneurs FIS et espagnols.

ANNEXE B

**QUANTIFICATION DES BILANS DE
MIGRATION DE L'ALBACORE ET DU
LISTAO.**

Année	Recrutement en millier d'individus
80	52600
81	78000
82	58400
83	75500
84	54900
85	73500
86	77300
87	64300
88	64300
89	64300
90	64300

Tableau B.1 : Recrutements estimés de l'albacore (en milliers d'individus) dans l'Atlantique Tropical (ICCAT, rapport du Groupe de Travail sur l'évaluation de l'albacore, Ténériffe, juin 1993).

Age	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	Moy
0	52605	78000	58405	75506	54904	73527	77308	64313	64335	64302	64335	66140
1	47676	70692	52933	68429	49757	66639	70060	58288	58309	58275	58309	59942
2	38972	57319	43200	55743	40508	54317	57197	47417	47568	46988	47663	48808
3	31352	45476	35075	44894	32442	43428	46247	37498	38107	37170	37807	39045
4	24330	34970	27897	35334	25661	33918	36441	28579	29515	28943	28794	30398
5	21796	18435	26292	21492	27494	20319	26375	28216	21637	22543	22536	23376
6	16904	13925	19616	16269	21317	15587	20527	22055	16268	16866	17595	17903
7	12996	10396	14450	12193	15683	11418	15570	17058	11880	12564	13076	13389
8	9632	7638	10472	9075	10811	8353	11741	13051	8802	9746	9596	9902
9	7432	7291	5842	8000	6943	8079	6484	9293	10470	7011	7859	7700
10	6013	5770	4623	6486	5511	6596	5293	7604	8692	5788	6529	6264
11	4788	4587	3589	5119	4277	5100	4233	6184	7174	4658	5342	5005
12	3861	3672	2792	3897	3316	3921	3373	5021	5936	3741	4328	3987
13	3541	3109	2871	2137	2984	2605	3038	2699	4007	4811	2941	3158
14	2916	2506	2201	1598	2390	2032	2362	2161	3154	3900	2246	2497
15	2339	2012	1702	1168	1941	1610	1874	1723	2533	3188	1737	1984
16	1821	1599	1288	847	1572	1248	1418	1326	2046	2571	1313	1550
17	1242	1281	1161	815	627	1077	843	922	939	1431	1871	1110
18	947	855	767	500	480	700	560	598	657	962	1293	756
19	732	613	554	361	378	547	431	458	510	743	992	574
20	534	460	426	261	301	424	323	351	414	567	793	441
21	277	364	323	285	198	215	304	223	255	290	373	282
22	212	250	209	187	158	151	229	164	195	195	238	199
23	164	187	150	144	129	123	189	134	162	152	179	156
24	125	145	118	114	107	101	156	111	137	119	141	125

Tableau B.2 : Pseudo-cohortes (calculées par analyse des cohortes) et cohorte moyenne (période 1980-1990) de l'albacore dans l'Atlantique Tropical (source : ICCAT, Groupe de Travail Ténériffe juin 1993).

Age	CV	NS	SS	SH	ENW	CP	GH	ESW	ESC	ESE	CL	ANG
1	0	0	110	938	5142	11502	6349	408	11752	10300	2303	0
2	994	1040	6876	5634	966	2828	3743	0	1265	1573	14086	938
3	464	1765	7539	1353	143	1551	7770	0	36	1282	9079	1400
4	30	131	1052	1611	3685	8336	5756	247	312	2723	969	289
5	0	0	172	1188	2411	4906	2485	506	3459	2841	751	0
6	625	377	2665	2202	405	931	1327	0	357	560	4516	315
7	167	514	2619	406	38	500	2399	0	17	442	3171	419
8	16	52	368	540	1048	2318	1950	55	88	1064	299	63
9	8	0	64	391	798	1532	802	142	1109	1003	224	0
10	238	158	902	757	183	371	430	7	160	180	1588	117
11	104	229	948	165	21	201	956	0	5	175	1222	173
12	7	23	142	210	473	1075	796	30	52	414	129	34
13	4	0	24	142	317	797	326	93	557	430	76	0
14	113	61	402	339	74	153	188	5	72	78	649	50
15	46	88	378	66	7	87	408	0	2	71	513	48
16	1	6	55	78	188	447	291	12	24	142	39	6
17	1	0	5	44	90	263	108	28	201	153	31	0
18	11	9	73	65	16	28	34	1	18	13	125	7
19	6	13	62	10	1	13	67	0	0	12	80	5
20	0	0	7	10	30	62	44	2	4	24	8	1
21	0	0	0	7	16	41	19	4	31	26	5	0
22	2	1	21	19	4	6	12	0	6	4	42	1
23	2	6	24	3	0	4	25	0	0	3	29	3
24	0	0	2	4	13	25	21	1	1	10	3	2

Tableau B.3 : Effectifs moyens (en milliers d'individus) par âge trimestriel et par zone de l'albacore dans l'Atlantique Tropical Est (période 1980-1990).

Age	CV	NS	SS	SH	ENW	CP	GH	ESW	ESC	ESE	CL	ANG
1	0	0	1911	10838	17968	52916	32304	4552	73072	48050	8388	0
2	5674	5074	39786	28936	3396	12119	18290	0	8118	8316	70108	4730
3	2923	8543	37844	6405	969	8760	36766	0	207	6850	49685	7182
4	304	810	5592	8483	19148	45120	29269	1068	2173	14954	4547	1683
5	0	0	993	4449	12454	28791	12468	3709	22615	14334	2891	0
6	3472	2623	13712	11042	2579	5190	7137	0	2177	3077	26070	1891
7	1964	2893	13520	2214	358	2754	12413	0	74	2179	16488	2485
8	84	264	1652	2473	5296	12883	8747	267	652	4643	1276	483
9	0	0	277	1480	3398	7647	3258	928	4859	3998	731	0
10	1231	800	3906	3121	764	1432	1676	34	734	649	6042	372
11	602	728	3545	560	75	605	3362	0	14	622	4516	523
12	17	58	488	711	1647	3810	2782	99	173	1309	416	77
13	0	0	86	561	1059	2483	1049	239	1798	1449	335	0
14	255	231	1433	1242	234	272	409	16	330	233	2530	149
15	165	124	1372	219	8	216	1449	0	5	258	1864	181
16	0	2	21	275	751	1819	1060	69	81	528	23	42
17	0	0	13	254	536	1141	423	79	512	630	192	0
18	59	44	679	591	70	44	135	22	76	60	1265	23
19	48	0	477	103	0	130	734	0	0	147	787	42
20	0	0	0	75	321	1132	358	57	57	0	0	0

Tableau B.4 : Effectifs moyens (en milliers d'individus) par âge trimestriel et par zone du listao dans l'Atlantique Tropical Est (période 1980-1990).

Age	CV	NS	SS	SH	ENW	CP	GH	ESW	ESC	ESE	CL	ANG
1	378	557	3264	2472	-752	-1398	275	-42	-2119	-1709	7221	579
2	-237	179	-193	-1738	-414	-595	1111	0	-814	-186	-2413	258
3	-113	-417	-1586	234	1427	2580	110	40	152	649	-1892	-203
4	-10	-52	-246	-202	-246	-686	-858	210	1214	205	-90	-159
5	-292	206	1319	801	-501	-940	1	-136	-824	-499	2457	177
6	-190	68	114	-584	-171	-151	504	0	-242	-32	-380	146
7	-51	-141	-712	50	360	-590	-133	22	33	203	-822	-68
8	-1	-18	-66	-55	8	-21	-206	85	482	106	-17	-28
9	136	103	533	319	-186	-369	-41	-44	-306	-262	1025	74
10	-71	42	45	-302	-107	-86	291	-42	-139	1	-127	63
11	-44	-93	-353	36	258	437	-26	8	25	125	-429	-56
12	-1	-13	-44	-33	3	84	-121	60	399	108	-19	-24
13	-74	-49	281	169	-107	-361	-59	-40	-264	-203	477	35
14	-37	27	31	-135	-41	-29	176	-22	-61	3	-22	15
15	-25	-41	-162	21	153	287	5	6	19	69	-251	-11
16	0	-5	-30	-34	-52	-84	-91	14	129	35	-8	-6
17	10	9	58	32	-8	-56	-17	9	30	-4	101	5
18	-1	4	4	-22	-4	-5	37	10	11	2	-14	1
19	-4	-6	-31	3	32	51	-1	0	3	18	-47	1
20	0	0	-5	-5	-8	-5	-15	4	31	9	-1	-2
21	2	2	18	10	-9	-31	-6	-2	-21	-18	36	1
22	0	4	8	-11	-4	0	16	-2	-6	0	-2	1
23	-1	-4	-16	2	16	25	3	0	1	8	-19	0
24	0	0	-3	-4	-12	-24	-19	-1	-1	-9	-3	-2

Tableau B.5 : Bilans migratoires moyens (en milliers d'individus) par âge trimestriel et par zone de l'albacore dans l'Atlantique Tropical Est (période 1980-1990).

Age	CV	NS	SS	SH	ENW	CP	GH	ESW	ESC	ESE	CL	ANG
1	3051	1632	18855	10752	-3876	-10649	-1177	-1218	-18939	-10968	37070	2661
2	-867	2072	2283	-8480	-1193	-641	10354	0	-5308	-19	-3749	2690
3	-984	-2844	-11682	1998	10740	20049	1083	469	1347	5108	-16382	-1328
4	-140	-386	-1771	-1937	-2206	-5178	-6658	1781	10192	153	-973	-1252
5	2010	1278	7805	4920	-2803	-7052	-253	-1218	-7113	-3445	17194	1588
6	-858	224	-153	-3884	-1255	-1244	1965	0	-1705	-483	-3926	527
7	-590	-565	-2669	711	2860	5626	656	80	346	1660	-3836	70
8	-35	-137	-386	-305	462	268	-1610	691	3119	491	-214	-319
9	719	314	2059	1008	-1275	-3157	-788	-433	-2182	-1797	3500	177
10	-207	215	698	-954	-367	-292	1219	-172	-538	73	34	218
11	-272	-303	-1303	130	910	1726	-97	27	96	399	-1763	-109
12	-8	-34	-134	-82	44	227	-491	207	1529	521	4	-66
13	172	106	819	360	-606	-1616	-507	-154	-1114	-910	1542	75
14	-11	-26	258	-465	-136	15	812	-80	-273	65	80	131
15	-95	-70	-774	-5	376	666	-363	0	36	87	-989	-90
16	0	-1	4	-25	101	189	-132	68	441	278	125	-30
17	40	31	410	174	-349	-822	-234	-40	-347	-434	759	11
18	39	-22	342	-143	-43	163	984	-108	-64	180	499	328
19	-56	1	-552	-77	161	118	-685	0	13	-53	-892	-45
20	0	0	0	-35	-134	-472	-155	-12	-22	0	0	0

Tableau B.6 : Bilans migratoires moyens (en milliers d'individus) par âge trimestriel et par zone du listao dans l'Atlantique Tropical Est (période 1980-1990).

Age.	C est.	C ouest	F est	F ouest	Q est	Q ouest	Pop. est	Pop. ouest
1	6	1	3.80E-04	3.79E-07	8.22E-09	0.00E+00	57619	8521
2	533	2	4.42E-02	2.13E-03	8.99E-07	1.22E-09	58390	1552
3	1359	8	1.44E-01	1.06E-02	2.95E-06	2.39E-08	46632	2176
4	1871	15	2.61E-01	2.26E-02	5.20E-06	1.38E-07	37866	1179
5	1205	81	2.26E-01	8.66E-03	3.99E-06	1.62E-07	18979	11419
6	1162	163	2.76E-01	2.23E-03	6.03E-06	2.40E-06	11110	12266
7	1019	358	3.17E-01	1.91E-03	8.32E-06	6.66E-06	7208	10695
8	566	326	2.52E-01	5.21E-04	7.75E-06	1.23E-05	5308	8081
9	235	117	1.41E-01	1.00E-03	3.42E-06	1.18E-05	2358	7544
10	211	147	1.55E-01	3.25E-04	4.81E-06	1.10E-05	2317	5384
11	233	152	2.17E-01	5.92E-04	6.67E-06	1.12E-05	2494	3770
12	167	96	1.75E-01	6.29E-04	5.33E-06	1.01E-05	2654	2351
13	249	49	3.39E-01	3.34E-03	7.02E-06	4.72E-06	2428	1559
14	123	44	2.24E-01	1.82E-03	5.76E-06	4.51E-06	1989	1169
15	136	38	3.04E-01	4.10E-03	7.00E-06	3.38E-06	1675	822
16	129	24	3.73E-01	9.04E-03	8.73E-06	3.44E-06	1574	410
17	332	10	1.25E+00	1.76E-01	2.27E-05	2.27E-06	1409	141
18	101	9	5.00E-01	3.37E-02	1.06E-05	2.27E-06	1072	37
19	57	7	4.03E-01	3.30E-02	8.01E-06	3.68E-07	544	212
20	46	4	4.40E-01	6.40E-02	9.13E-06	3.12E-06	498	76
21	86	2	1.09E+00	4.40E-01	1.93E-05	1.40E-06	423	18
22	25	2	3.43E-01	6.51E-02	7.08E-06	8.42E-07	274	9
23	15	2	2.87E-01	6.63E-02	6.17E-06	2.26E-07	172	27
24	7	2	1.64E-01	2.73E-02	3.73E-06	9.73E-07	100	55

Tableau B.7 : Captures, taux instantanés de mortalité par pêche, coefficients de capturabilité et populations sous-jacentes moyennes (périodes 1980-1990 à l'est et 1986-1991 à l'ouest) par âge (en trimestres) de l'albacore dans l'Atlantique Est et Ouest. Captures et populations sont exprimées en milliers d'individus.

ANNEXE C

LES FLUX THEORIQUES DE MIGRATION ENTRE ZONES: UNE APPROCHE ORIGINALE PAR INTELLIGENCE ARTIFICIELLE ADAPTEE AU CAS DU LISTAO.

ANNEXE C1

La base de faits initiale utilisée dans le modèle.

Fichier MIGRTH4.FAI

INCLURE init16 * initialisation des zones sur n périodes
INCLURE migrinit
INCLURE migrin16 * migrations initialisées * 0
INCLURE popskj16 * fichier de données à traiter

Fichier INIT16.FAI

LIBERIA	UP	SENEGAL
LIBERIA	DOWN	GHANA
LIBERIA	LATUP	SENEGAL
LIBERIA	LATDOWN	GHANA
GHANA	UP	LIBERIA
GHANA	DOWN	CAP-LOPEZ
GHANA	LATUP	LIBERIA
GHANA	LATDOWN	CAP-LOPEZ
CAP-LOPEZ	UP	GHANA
CAP-LOPEZ	DOWN	ANGOLA
CAP-LOPEZ	LATUP	GHANA
CAP-LOPEZ	LATDOWN	ANGOLA
ANGOLA	UP	CAP-LOPEZ
ANGOLA	DOWN	NULL
ANGOLA	LATUP	CAP-LOPEZ
ANGOLA	LATDOWN	NULL
DATE-COURANTE	VALEUR	14
DATE-COURANTE	MAXI	16
DATE-COURANTE	ETAT	OK
SENEGAL	DOWN	LIBERIA
SENEGAL	UP	NULL
SENEGAL	LATDOWN	LIBERIA
SENEGAL	LATUP	NULL
LIBERIA16	BEFORE	LIBERIA15
LIBERIA16	PERIODE	16
LIBERIA16	DESIGNATION	LIBERIA
LIBERIA16	UP	SENEGAL15
LIBERIA16	DOWN	GHANA15
LIBERIA16	LATUP	SENEGAL16

LIBERIA16	LATDOWN	GHANA16
GHANA16	BEFORE	GHANA15
GHANA16	PERIODE	16
GHANA16	DESIGNATION	GHANA
GHANA16	UP	LIBERIA15
GHANA16	DOWN	CAP-LOPEZ15
GHANA16	LATUP	LIBERIA16
GHANA16	LATDOWN	CAP-LOPEZ16
CAP-LOPEZ16	BEFORE	CAP-LOPEZ15
CAP-LOPEZ16	PERIODE	16
CAP-LOPEZ16	DESIGNATION	CAP-LOPEZ
CAP-LOPEZ16	UP	GHANA15
CAP-LOPEZ16	DOWN	ANGOLA15
CAP-LOPEZ16	LATUP	GHANA16
CAP-LOPEZ16	LATDOWN	ANGOLA16
ANGOLA16	BEFORE	ANGOLA15
ANGOLA16	PERIODE	16
ANGOLA16	DESIGNATION	ANGOLA
ANGOLA16	UP	CAP-LOPEZ15
ANGOLA16	DOWN	NULL
ANGOLA16	LATUP	CAP-LOPEZ16
ANGOLA16	LATDOWN	NULL
SENEGAL16	BEFORE	SENEGAL15
SENEGAL16	PERIODE	16
SENEGAL16	DESIGNATION	SENEGAL
SENEGAL16	DOWN	LIBERIA15
SENEGAL16	UP	NULL
SENEGAL16	LATDOWN	LIBERIA16
SENEGAL16	LATUP	NULL

..... et ainsi de suite jusqu'à la période 1.....

LIBERIA1	BEFORE	LIBERIA0
LIBERIA1	PERIODE	1
LIBERIA1	DESIGNATION	LIBERIA
LIBERIA1	UP	SENEGAL0
LIBERIA1	DOWN	GHANA0
LIBERIA1	LATUP	SENEGAL1
LIBERIA1	LATDOWN	GHANA1
GHANA1	BEFORE	GHANA0
GHANA1	PERIODE	1
GHANA1	DESIGNATION	GHANA
GHANA1	UP	LIBERIA0
GHANA1	DOWN	CAP-LOPEZ0
GHANA1	LATUP	LIBERIA1
GHANA1	LATDOWN	CAP-LOPEZ1
CAP-LOPEZ1	BEFORE	CAP-LOPEZ0
CAP-LOPEZ1	PERIODE	1
CAP-LOPEZ1	DESIGNATION	CAP-LOPEZ
CAP-LOPEZ1	UP	GHANA0
CAP-LOPEZ1	DOWN	ANGOLA0

CAP-LOPEZ1	LATUP	GHANA1
CAP-LOPEZ1	LATDOWN	ANGOLA1
ANGOLA1	BEFORE	ANGOLA0
ANGOLA1	PERIODE	1
ANGOLA1	DESIGNATION	ANGOLA
ANGOLA1	UP	CAP-LOPEZ0
ANGOLA1	DOWN	NULL
ANGOLA1	LATUP	CAP-LOPEZ1
ANGOLA1	LATDOWN	NULL
SENEGAL1	BEFORE	SENEGAL0
SENEGAL1	PERIODE	1
SENEGAL1	DESIGNATION	SENEGAL
SENEGAL1	DOWN	LIBERIA0
SENEGAL1	UP	NULL
SENEGAL1	LATDOWN	LIBERIA1
SENEGAL1	LATUP	NULL
* LIBERIA0	PERIODE	0
* LIBERIA0	DESIGNATION	LIBERIA
* GHANA0	PERIODE	0
* GHANA0	DESIGNATION	GHANA
* CAP-LOPEZ0	PERIODE	0
* CAP-LOPEZ0	DESIGNATION	CAP-LOPEZ
* ANGOLA0	PERIODE	0
* ANGOLA0	DESIGNATION	ANGOLA
* SENEGAL0	PERIODE	0
* SENEGAL0	DESIGNATION	SENEGAL

Fichier MIGINIT.FAI

BACKTRACK COMPTEUR 0

* Les quantités de la période 1 sont connues, on commence en période 1

* "Black Hole", zone mystérieuse où le poisson n'est pas accessible

NULL	NOMBRE	0
NULL	MigrationDOWN	0
NULL	MigrationUP	0
NULL	MigrationLATUP	0
NULL	MigrationLATDOWN	0
NULL	PECHE	0
NULL	UP	NULL
NULL	DOWN	NULL
NULL	LATUP	NULL
NULL	LATDOWN	NULL
NULL	BEFORE	NULL

Fichier MIGINI6.FAI

SENEGAL1	MigrationUP	0
LIBERIA1	MigrationUP	0
GHANA1	MigrationUP	0

CAP-LOPEZ1	MigrationUP	0
ANGOLA1	MigrationUP	0
SENEGAL1	MigrationDOWN	0
LIBERIA1	MigrationDOWN	0
GHANA1	MigrationDOWN	0
CAP-LOPEZ1	MigrationDOWN	0
ANGOLA1	MigrationDOWN	0
SENEGAL1	MigrationLATUP	0
LIBERIA1	MigrationLATUP	0
GHANA1	MigrationLATUP	0
CAP-LOPEZ1	MigrationLATUP	0
ANGOLA1	MigrationLATUP	0
SENEGAL1	MigrationLATDOWN	0
LIBERIA1	MigrationLATDOWN	0
GHANA1	MigrationLATDOWN	0
CAP-LOPEZ1	MigrationLATDOWN	0
ANGOLA1	MigrationLATDOWN	0
SENEGAL1	MigrationLATTOT	0
LIBERIA1	MigrationLATTOT	0
GHANA1	MigrationLATTOT	0
CAP-LOPEZ1	MigrationLATTOT	0
ANGOLA1	MigrationLATTOT	0

.... et ainsi de suite pour chaque zone jusqu'à la période 16

Fichier POPSKJ16.FAI

SENEGAL1	CAPT	4
SENEGAL2	CAPT	63
SENEGAL3	CAPT	694
SENEGAL4	CAPT	698
LIBERIA1	CAPT	28
LIBERIA2	CAPT	11
LIBERIA3	CAPT	0
LIBERIA4	CAPT	1309
GHANA1	CAPT	61
GHANA2	CAPT	141
GHANA3	CAPT	579
GHANA4	CAPT	1431
CAP-LOPEZ1	CAPT	0
CAP-LOPEZ2	CAPT	747
CAP-LOPEZ3	CAPT	470
CAP-LOPEZ4	CAPT	86
ANGOLA1	CAPT	0
ANGOLA2	CAPT	186
ANGOLA3	CAPT	600
ANGOLA4	CAPT	88
SENEGAL5	CAPT	85
SENEGAL6	CAPT	2402
SENEGAL7	CAPT	1805
SENEGAL8	CAPT	613

LIBERIA5	CAPT	2141
LIBERIA6	CAPT	105
LIBERIA7	CAPT	3
LIBERIA8	CAPT	753
GHANA5	CAPT	1117
GHANA6	CAPT	683
GHANA7	CAPT	578
GHANA8	CAPT	711
CAP-LOPEZ5	CAPT	0
CAP-LOPEZ6	CAPT	1939
CAP-LOPEZ7	CAPT	1169
CAP-LOPEZ8	CAPT	25
ANGOLA5	CAPT	0
ANGOLA6	CAPT	39
ANGOLA7	CAPT	511
ANGOLA8	CAPT	37
SENEGAL9	CAPT	33
SENEGAL10	CAPT	602
SENEGAL11	CAPT	255
SENEGAL12	CAPT	57
LIBERIA9	CAPT	662
LIBERIA10	CAPT	19
LIBERIA11	CAPT	0
LIBERIA12	CAPT	55
GHANA9	CAPT	165
GHANA10	CAPT	63
GHANA11	CAPT	43
GHANA12	CAPT	72
CAP-LOPEZ9	CAPT	0
CAP-LOPEZ10	CAPT	147
CAP-LOPEZ11	CAPT	196
CAP-LOPEZ12	CAPT	1
ANGOLA9	CAPT	0
ANGOLA10	CAPT	8
ANGOLA11	CAPT	39
ANGOLA12	CAPT	0
SENEGAL13	CAPT	1
SENEGAL14	CAPT	9
SENEGAL15	CAPT	41
SENEGAL16	CAPT	1
LIBERIA13	CAPT	52
LIBERIA14	CAPT	0
LIBERIA15	CAPT	0
LIBERIA16	CAPT	2
GHANA13	CAPT	8
GHANA14	CAPT	5
GHANA15	CAPT	16
GHANA16	CAPT	5
CAP-LOPEZ13	CAPT	0
CAP-LOPEZ14	CAPT	54
CAP-LOPEZ15	CAPT	102

CAP-LOPEZ16	CAPT	0
ANGOLA13	CAPT	0
ANGOLA14	CAPT	1
ANGOLA15	CAPT	12
ANGOLA16	CAPT	0
SENEGAL1	ESTIM	5143
SENEGAL2	ESTIM	5362
SENEGAL3	ESTIM	23503
SENEGAL4	ESTIM	12142
LIBERIA1	ESTIM	36210
LIBERIA2	ESTIM	964
LIBERIA3	ESTIM	17
LIBERIA4	ESTIM	22778
GHANA1	ESTIM	78647
GHANA2	ESTIM	12074
GHANA3	ESTIM	19614
GHANA4	ESTIM	24894
CAP-LOPEZ1	ESTIM	0
CAP-LOPEZ2	ESTIM	63874
CAP-LOPEZ3	ESTIM	15906
CAP-LOPEZ4	ESTIM	1496
ANGOLA1	ESTIM	0
ANGOLA2	ESTIM	15891
ANGOLA3	ESTIM	20295
ANGOLA4	ESTIM	1526
SENEGAL5	ESTIM	1223
SENEGAL6	ESTIM	16006
SENEGAL7	ESTIM	11058
SENEGAL8	ESTIM	4792
LIBERIA5	ESTIM	30858
LIBERIA6	ESTIM	700
LIBERIA7	ESTIM	19
LIBERIA8	ESTIM	5892
GHANA5	ESTIM	16105
GHANA6	ESTIM	4551
GHANA7	ESTIM	3539
GHANA8	ESTIM	5560
CAP-LOPEZ5	ESTIM	0
CAP-LOPEZ6	ESTIM	12921
CAP-LOPEZ7	ESTIM	7164
CAP-LOPEZ8	ESTIM	197
ANGOLA5	ESTIM	0
ANGOLA6	ESTIM	2258
ANGOLA7	ESTIM	3128
ANGOLA8	ESTIM	291
SENEGAL9	ESTIM	449
SENEGAL10	ESTIM	6355
SENEGAL11	ESTIM	3101
SENEGAL12	ESTIM	1488
LIBERIA9	ESTIM	9063
LIBERIA10	ESTIM	196

LIBERIA11	ESTIM	5
LIBERIA12	ESTIM	1437
GHANA9	ESTIM	2259
GHANA10	ESTIM	670
GHANA11	ESTIM	525
GHANA12	ESTIM	1882
CAP-LOPEZ9	ESTIM	0
CAP-LOPEZ10	ESTIM	1552
CAP-LOPEZ11	ESTIM	2389
CAP-LOPEZ12	ESTIM	25
ANGOLA9	ESTIM	0
ANGOLA10	ESTIM	87
ANGOLA11	ESTIM	479
ANGOLA12	ESTIM	7
SENEGAL13	ESTIM	64
SENEGAL14	ESTIM	402
SENEGAL15	ESTIM	582
SENEGAL16	ESTIM	265
LIBERIA13	ESTIM	3240
LIBERIA14	ESTIM	19
LIBERIA15	ESTIM	0
LIBERIA16	ESTIM	453
GHANA13	ESTIM	490
GHANA14	ESTIM	229
GHANA15	ESTIM	234
GHANA16	ESTIM	1058
CAP-LOPEZ13	ESTIM	0
CAP-LOPEZ14	ESTIM	2352
CAP-LOPEZ15	ESTIM	1442
CAP-LOPEZ16	ESTIM	26
ANGOLA13	ESTIM	0
ANGOLA14	ESTIM	49
ANGOLA15	ESTIM	177
ANGOLA16	ESTIM	34

ANNEXE C2

Les règles de décision utilisées dans le modèle.

OPTION0

* Version 2.2 7 Fév. 1992

* Comparaison entre le nombre calculé et le nombre estimé

* Mortalité = nombre période précédente * 0.18

* Début en période 0

***** Commentaires généraux sur la simulation *****

*

* La pêcherie de Skipjack du Golfe de Guinée est divisée en 5 boîtes (zones).

* On fait tourner la simulation par période d'un trimestre.

* On connaît pour chaque strate spatio-temporelle la prise par âge (en nombre de poissons) et l'estimation de la biomasse présente (calculée par VPA).

* A partir des données en période N, on calcule le nombre des poissons qui devraient se trouver dans la même strate en période N+1.

* La différence entre l'estimation et le nombre calculé donne l'intensité des migrations. Ces migrations sont possibles entre 2 boîtes voisines, durant la même période ou entre 2 périodes successives.

*

***** Règles de calcul des migrations *****

REGLE : Calcul Effectifs et Ecart Formule Générale (entre 2 périodes)

SI

MigrationDOWN (BOX) = (DB)

MigrationUP (BOX1) = (UB1)

MigrationDOWN (BOX2) = (DB2)

MigrationUP (BOX2) = (UB2)

UP (BOX3) = (BOX)

DOWN (BOX3) = (BOX1)

BEFORE (BOX3) = (BOX2)

NOMBRE (BOX2) = (NBRE)

ESTIM (BOX3) = (ESTIMBOX3)

* PERIODE (BOX3) = (P)

* (P) MORTALITE = (M)

VALEUR DATE-COURANTE = PERIODE (BOX3)

COMPTEUR BACKTRACK = (C)

ALORS

* Calculs par année avec recrutement une fois par an

* $IN (BOX3) \leftarrow + (RECRUE (BOX3)) + (NBRE) + (DB) (UB1)$

* Calculs sur une cohorte: pas de recrutement

```
IN (BOX3) <-- + (NBRE) + (DB) (UB1)
OUT (BOX3) <-- +(CAPT (BOX2))+(UB2)+(DB2) (*(-(NBRE) (CAPT (BOX2))) 0.18)
NOMBRE (BOX3) <-- DIV (- (IN (BOX3)) (OUT (BOX3))) 1
ECART (BOX3) <-- ABS - (NOMBRE (BOX3)) (ESTIMBOX3)
AFFICHENL "Nombre de poissons dans " (BOX2) " = " (NBRE)
AFFICHE (BOX3) ": Entrées = " (IN (BOX3))
AFFICHE "; Sorties = " (OUT (BOX3))
AFFICHENL "; Nombre = " NOMBRE(BOX3) "; Estim = " (ESTIMBOX3)
* ECRIRENL "Nombre de poissons dans " (BOX2) " = " (NBRE)
* ECRIRE (BOX3) ": Entrées = " (IN (BOX3))
* ECRIRENL "; Sorties = " (OUT (BOX3))
* ECRIRE (BOX3) ": Nombre = " NOMBRE(BOX3)
* ECRIRENL "; Estim = " (ESTIMBOX3)
```

FR

REGLE: Calcul-Effectifs et Ecart Même Période

SI

```
VALEUR DATE-COURANTE = PERIODE (BOX3)
BEFORE (BOX3) = (BOX)
LATUP (BOX) = (BOX2)
LATDOWN (BOX) = (BOX1)
LATUP (BOX2) = (BOX4)
LATDOWN (BOX1) = (BOX5)
ESTIM (BOX) = (ESTIMABOX)
ESTIM (BOX1) = (ESTIMABOX1)
ESTIM (BOX2) = (ESTIMABOX2)
MigrationLATDOWN (BOX2) = (LD2)
MigrationLATUP (BOX1) = (LU1)
MigrationLATDOWN (BOX) = (LD)
MigrationLATUP (BOX) = (LU)
MigrationLATTOT (BOX) <> 0
MigrationLATDOWN (BOX4) = (LD4)
MigrationLATUP (BOX5) = (LU5)
MigrationLATDOWN (BOX1) = (LD1)
MigrationLATUP (BOX2) = (LU2)
* PERIODE (BOX) = (P)
* (P) MORTALITE = (M)
COMPTEUR BACKTRACK = (C)
```

ALORS

```
IN (BOX) <-- + (NOMBRINI (BOX)) + (LU1) (LD2)
OUT (BOX) <-- + (LD) (LU)
NOMBRE (BOX) <-- DIV (- (IN (BOX)) (OUT (BOX))) 1
IN (BOX1) <-- + (NOMBRINI (BOX1)) + (LU5) (LD)
OUT (BOX1) <-- + (LD1) (LU1)
NOMBRE (BOX1) <-- DIV (- (IN (BOX1)) (OUT (BOX1))) 1
IN (BOX2) <-- + (NOMBRINI (BOX2)) + (LU) (LD4)
OUT (BOX2) <-- + (LD2) (LU2)
NOMBRE (BOX2) <-- DIV (- (IN (BOX2)) (OUT (BOX2))) 1
ECART (BOX) <-- ABS - (NOMBRE (BOX)) (ESTIMABOX)
ECART (BOX1) <-- ABS - (NOMBRE (BOX1)) (ESTIMABOX1)
```

```

ECART (BOX2) <-- ABS - (NOMBRE (BOX2)) (ESTIMABOX2)
AFFICHENL (BOX) NOMBRE(BOX) " ; " (BOX1) NOMBRE(BOX1) " ; "
(BOX2) NOMBRE(BOX2)
* ECRIRENL (BOX) NOMBRE(BOX) " ; " (BOX1) NOMBRE(BOX1) " ; "
(BOX2) NOMBRE(BOX2)

```

FR

REGLE : Augmenter MigrationUP

* Augmenter MigrationUP en prenant tout sur le carré inférieur période précédente

SI

```

NOMBRE (BOX) < ESTIM (BOX)
DOWN (BOX) = (BOX1)
BEFORE (BOX2) = (BOX1)
NOMBRE (BOX2) > ESTIM (BOX2)
ECART (BOX) <= ECART (BOX2)

```

ALORS

```

MigrationUP (BOX1) <-- + (MigrationUP (BOX1)) (ECART (BOX))
AFFICHE (ECART (BOX))
AFFICHENL " milliers de poissons migrent de " (BOX1) " vers " (BOX)
ECRIRE (ECART (BOX))
ECRIRENL " milliers de poissons migrent de " (BOX1) " vers " (BOX)

```

FR

REGLE : Augmenter MigrationDOWN

* Augmenter MigrationDOWN en prenant tout sur le carré supérieur période précédente

SI

```

NOMBRE (BOX) < ESTIM (BOX)
UP (BOX) = (BOX1)
BEFORE (BOX2) = (BOX1)
NOMBRE (BOX2) > ESTIM (BOX2)
ECART (BOX) <= ECART (BOX2)

```

ALORS

```

MigrationDOWN (BOX1) <-- + (MigrationDOWN (BOX1)) (ECART (BOX))
AFFICHE (ECART (BOX))
AFFICHENL " milliers de poissons migrent de " (BOX1) " vers " (BOX)
ECRIRE (ECART (BOX))
ECRIRENL " milliers de poissons migrent de " (BOX1) " vers " (BOX)

```

FR

REGLE : Augmenter Partiellement MigrationUP

* le carré inférieur participe en partie à augmenter MigrationUP

SI

```

NOMBRE (BOX) < ESTIM (BOX)
DOWN (BOX) = (BOX1)
BEFORE (BOX2) = (BOX1)
NOMBRE (BOX2) > ESTIM (BOX2)
ECART (BOX) > ECART (BOX2)

```

ALORS

```

MigrationUP (BOX1) <-- + (MigrationUP (BOX1)) (ECART (BOX2))
AFFICHE (ECART (BOX2))
AFFICHENL " milliers de poissons migrent de " (BOX1) " vers " (BOX)

```

ECRIRE (ECART (BOX2))
ECRIRENL " milliers de poissons migrent de " (BOX1) " vers " (BOX)

FR

REGLE : Augmenter Partiellement MigrationDOWN

* le carré supérieur participe en partie à augmenter MigrationDOWN

SI

NOMBRE (BOX) < ESTIM (BOX)

UP (BOX) = (BOX1)

BEFORE (BOX2) = (BOX1)

NOMBRE (BOX2) > ESTIM (BOX2)

ECART (BOX) > ECART (BOX2)

ALORS

MigrationDOWN (BOX1) <-- + (MigrationDOWN (BOX1)) (ECART (BOX2))

AFFICHE (ECART (BOX2))

AFFICHENL " milliers de poissons migrent de " (BOX1) " vers " (BOX)

ECRIRE (ECART (BOX2))

ECRIRENL " milliers de poissons migrent de " (BOX1) " vers " (BOX)

FR

REGLE : Augmenter MigrationLATUP

* Augmenter MigrationLATUP en prenant tout sur le carré inférieur, même période

SI

NOMBRE (BOX) < ESTIM (BOX)

DOWN (BOX) = (BOX1)

DOWN (BOX2) = (BOX3)

BEFORE (BOX2) = (BOX1)

BEFORE (BOX4) = (BOX3)

NOMBRE (BOX4) > ESTIM (BOX4)

ECART (BOX) <= ECART (BOX4)

ALORS

Mouvement (BOX) <-- DIV (/ (ECART (BOX)) 0.82) 1

MigrationLATUP (BOX3) <-- + (MigrationLATUP (BOX3)) (Mouvement (BOX))

MigrationLATTOT (BOX1) <-- + (MigrationLATTOT (BOX1))

(MigrationLATUP (BOX3))

AFFICHE (Mouvement (BOX))

AFFICHENL " milliers de poissons migrent de " (BOX3) " vers " (BOX1)

ECRIRE (Mouvement (BOX))

ECRIRENL " milliers de poissons migrent de " (BOX3) " vers " (BOX1)

FR

REGLE : Augmenter MigrationLATDOWN

* Augmenter MigrationLATDOWN en prenant tout sur le carré supérieur, même période

SI

NOMBRE (BOX) < ESTIM (BOX)

UP (BOX) = (BOX1)

UP (BOX2) = (BOX3)

BEFORE (BOX2) = (BOX1)

BEFORE (BOX4) = (BOX3)

NOMBRE (BOX4) > ESTIM (BOX4)

ECART (BOX) <= ECART (BOX4)

ALORS

Mouvement (BOX) <-- DIV (/ (ECART (BOX)) 0.82) 1

MigrationLATDOWN (BOX3) <-- + (MigrationLATDOWN (BOX3))

(Mouvement(BOX))

MigrationLATTOT.(BOX1) <-- + (MigrationLATTOT (BOX1))

(MigrationLATDOWN (BOX3))

AFFICHE (Mouvement (BOX))

AFFICHENL " milliers de poissons migrent de " (BOX3) " vers " (BOX1)

ECRIRE (Mouvement (BOX))

ECRIRENL " milliers de poissons migrent de " (BOX3) " vers " (BOX1)

FR

REGLE : Augmenter Partiellement MigrationLATUP

* le carré inférieur participe en partie à augmenter MigrationLATUP

SI

NOMBRE (BOX) < ESTIM (BOX)

DOWN (BOX) = (BOX1)

DOWN (BOX2) = (BOX3)

BEFORE (BOX2) = (BOX1)

BEFORE (BOX4) = (BOX3)

NOMBRE (BOX4) > ESTIM (BOX4)

ECART (BOX) > ECART (BOX4)

ALORS

Mouvement (BOX4) <-- DIV (/ (ECART (BOX4)) 0.82) 1

MigrationLATUP (BOX3) <-- + (MigrationLATUP (BOX3)) (Mouvement

(BOX4))

MigrationLATTOT (BOX1) <-- + (MigrationLATTOT (BOX1))

(MigrationLATUP (BOX3))

AFFICHE (Mouvement (BOX4))

AFFICHENL " milliers de poissons migrent de " (BOX3) " vers " (BOX1)

ECRIRE (Mouvement (BOX4))

ECRIRENL " milliers de poissons migrent de " (BOX3) " vers " (BOX1)

FR

REGLE : Augmenter Partiellement MigrationLATDOWN

* le carré supérieur participe en partie à augmenter MigrationLATDOWN

SI

NOMBRE (BOX) < ESTIM (BOX)

UP (BOX) = (BOX1)

UP (BOX2) = (BOX3)

BEFORE (BOX2) = (BOX1)

BEFORE (BOX4) = (BOX3)

NOMBRE (BOX4) > ESTIM (BOX4)

ECART (BOX) > ECART (BOX4)

ALORS

Mouvement (BOX4) <-- DIV (/ (ECART (BOX4)) 0.82) 1

MigrationLATDOWN (BOX3) <-- + (MigrationLATDOWN (BOX3)) (Mouvement

(BOX4))

MigrationLATTOT (BOX1) <-- + (MigrationLATTOT (BOX1))

(MigrationLATDOWN (BOX3))

AFFICHE (Mouvement (BOX4))

AFFICHENL " milliers de poissons migrent de " (BOX3) " vers " (BOX1)
Ecrire (Mouvement (BOX4))
EcrireNL " milliers de poissons migrent de " (BOX3) " vers " (BOX1)

FR

REGLE : Augmenter MigrationLATDOWN de 2 carrés sup vers carré sup limitrophe

* Augmenter MigrationLATDOWN de 2 carrés plus haut vers le carré supérieur

* On prend tous les poissons nécessaires sur 2 carrés supérieurs

SI

NOMBRE (BOX) < ESTIM (BOX)

UP (BOX) = (BOX1)

UP (BOX2) = (BOX3)

UP (BOX4) = (BOX5)

BEFORE (BOX2) = (BOX1)

BEFORE (BOX4) = (BOX3)

BEFORE (BOX6) = (BOX5)

NOMBRE (BOX6) > ESTIM (BOX6)

ECART (BOX) <= ECART (BOX6)

ALORS

Mouvement (BOX) <-- DIV (/ (ECART (BOX)) 0.82) 1

MigrationLATDOWN (BOX5) <-- + (MigrationLATDOWN (BOX5)) (Mouvement (BOX))

MigrationLATDOWN (BOX3) <-- + (MigrationLATDOWN (BOX3)) (Mouvement (BOX))

MigrationLATTOT (BOX3) <-- + (MigrationLATTOT (BOX3)) (MigrationLATDOWN (BOX3))

AFFICHE (Mouvement (BOX))

AFFICHENL " milliers de poissons migrent de " (BOX5) " vers " (BOX3)

AFFICHE " et " (Mouvement (BOX))

AFFICHENL " milliers de poissons migrent de " (BOX3) " vers " (BOX1)

Ecrire (Mouvement (BOX))

EcrireNL " milliers de poissons migrent de " (BOX5) " vers " (BOX3)

Ecrire " et " (Mouvement (BOX))

EcrireNL " milliers de poissons migrent de " (BOX3) " vers " (BOX1)

FR

REGLE : Augmenter MigrationLATUP de 2 carrés inf vers carré inf limitrophe

* Augmenter MigrationLATUP de 2 carrés plus bas vers le carré inférieur

* On prend tous les poissons sur 2 carrés inférieurs

SI

NOMBRE (BOX) < ESTIM (BOX)

DOWN (BOX) = (BOX1)

DOWN (BOX2) = (BOX3)

DOWN (BOX4) = (BOX5)

BEFORE (BOX2) = (BOX1)

BEFORE (BOX4) = (BOX3)

BEFORE (BOX6) = (BOX5)

NOMBRE (BOX6) > ESTIM (BOX6)

ECART (BOX) <= ECART (BOX6)

ALORS

Mouvement (BOX) <-- DIV (/ (ECART (BOX)) 0.82) 1

```

MigrationLATUP (BOX5) <-- + (MigrationLATUP (BOX5)) (Mouvement (BOX))
MigrationLATUP (BOX3) <-- + (MigrationLATUP (BOX3)) (Mouvement (BOX))
MigrationLATTOT (BOX3) <-- + (MigrationLATTOT (BOX3))
(MigrationLATUP (BOX5))
AFFICHE (Mouvement (BOX))
AFFICHENL " milliers de poissons migrent de " (BOX5) " vers " (BOX3)
AFFICHE " et " (Mouvement (BOX))
AFFICHENL " milliers de poissons migrent de " (BOX3) " vers " (BOX1)
Ecrire (Mouvement (BOX))
EcrireNL " milliers de poissons migrent de " (BOX5) " vers " (BOX3)
Ecrire " et " (Mouvement (BOX))
EcrireNL " milliers de poissons migrent de " (BOX3) " vers " (BOX1)
FR

```

REGLE : Augmenter Partiellement MigrationLATDOWN 2 carrés sup même période
* le 2ème carré supérieur participe en partie à augmenter MigrationLATDOWN

```

SI
  NOMBRE (BOX) < ESTIM (BOX)
  UP (BOX) = (BOX1)
  UP (BOX2) = (BOX3)
  UP (BOX4) = (BOX5)
  BEFORE (BOX2) = (BOX1)
  BEFORE (BOX4) = (BOX3)
  BEFORE (BOX6) = (BOX5)
  NOMBRE (BOX6) > ESTIM (BOX6)
  ECART (BOX) > ECART (BOX6)
ALORS
  Mouvement (BOX6) <-- DIV ( / (ECART (BOX6)) 0.82) 1
  MigrationLATDOWN (BOX5) <-- + (MigrationLATDOWN (BOX5)) (Mouvement
(BOX6))
  MigrationLATDOWN (BOX3) <-- + (MigrationLATDOWN (BOX3)) (Mouvement
(BOX6))
  MigrationLATTOT (BOX3) <-- + (MigrationLATTOT (BOX3))
(MigrationLATDOWN (BOX5))
  AFFICHE (Mouvement (BOX6))
  AFFICHENL " milliers de poissons migrent de " (BOX5) " vers " (BOX3)
  AFFICHE " et " (Mouvement (BOX6))
  AFFICHENL " milliers de poissons migrent de " (BOX3) " vers " (BOX1)
  Ecrire (Mouvement (BOX6))
  EcrireNL " milliers de poissons migrent de " (BOX5) " vers " (BOX3)
  Ecrire " et " (Mouvement (BOX6))
  EcrireNL " milliers de poissons migrent de " (BOX3) " vers " (BOX1)
FR

```

REGLE : Augmenter Partiellement MigrationLATUP 2 carrés inf même période
* le 2ème carré inférieur participe en partie à augmenter MigrationLATUP

```

SI
  NOMBRE (BOX) < ESTIM (BOX)
  DOWN (BOX) = (BOX1)
  DOWN (BOX2) = (BOX3)
  DOWN (BOX4) = (BOX5)

```

```
BEFORE (BOX2) = (BOX1)
BEFORE (BOX4) = (BOX3)
BEFORE (BOX6) = (BOX5)
NOMBRE (BOX6) > ESTIM (BOX6)
ECART (BOX) > ECART (BOX6)
```

ALORS

```
Mouvement (BOX6) <-- DIV ( / (ECART (BOX6)) 0.82) I
```

```
MigrationLATUP (BOX5) <-- + (MigrationLATUP (BOX5)) (Mouvement
(BOX6))
```

```
MigrationLATUP (BOX3) <-- + (MigrationLATUP (BOX3)) (Mouvement
(BOX6))
```

```
MigrationLATTOT (BOX3) <-- + (MigrationLATTOT (BOX3))
```

```
(MigrationLATUP (BOX5))
```

```
AFFICHE (Mouvement (BOX6))
```

```
AFFICHENL " milliers de poissons migrent de " (BOX5) " vers " (BOX3)
```

```
AFFICHE " et " (Mouvement (BOX6))
```

```
AFFICHENL " milliers de poissons migrent de " (BOX3) " vers " (BOX1)
```

```
ECRIRE (Mouvement (BOX6))
```

```
ECRIRENL " milliers de poissons migrent de " (BOX5) " vers " (BOX3)
```

```
ECRIRE " et " (Mouvement (BOX6))
```

```
ECRIRENL " milliers de poissons migrent de " (BOX3) " vers " (BOX1)
```

FR

***** Les Règles d'affichage d'informations *****

REGLE : Affichage

* Après chaque mise à jour, on affiche la quantité de poissons dans le carré

DES QUE

```
NOMBRE (BOX) = (VALEUR)
```

```
(VALEUR) <> 0
```

ALORS

```
AFFICHENL "Il y a " (VALEUR) " milliers de poissons dans " (BOX)
```

```
ECRIRENL "Il y a " (VALEUR) " milliers de poissons dans " (BOX)
```

FR

REGLE : Affichage écart

* Après chaque mise à jour, on affiche le déficit en poisson, s'il y a lieu

DES QUE

```
ECART (BOX) = (VALEUR)
```

```
NOMBRE (BOX) < ESTIM (BOX)
```

ALORS

```
AFFICHE "Il manque "
```

```
AFFICHE (VALEUR)
```

```
AFFICHENL " milliers de poissons dans " (BOX)
```

```
ECRIRE "Il manque " (VALEUR)
```

```
ECRIRENL " milliers de poissons dans " (BOX)
```

FR

REGLE : RESUME

* A la fin des calculs, on résume les quantités dans chaque carré

APRES

```
NOMBRE (BOX) >= ESTIM (BOX)
```

ALORS

ETAT DATE-COURANTE <-- MAJ

AFFICHENL "RESUME : Il y a finalement " NOMBRE (BOX) " milliers de
poissons dans " (BOX)

ECRIRENL "RESUME : Il y a finalement " NOMBRE (BOX) " milliers de
poissons dans " (BOX)

FR

REGLE : RESUME écart

APRES

NOMBRE (BOX) < ESTIM (BOX)

ALORS

AFFICHE " RESUME : Il manque " (ECART (BOX))

AFFICHENL " milliers de poissons dans " (BOX)

ECRIRE " RESUME : Il manque " (ECART (BOX))

ECRIRENL " milliers de poissons dans " (BOX)

FR

***** Règles concernant le Temps *****

REGLE : Le temps passe

APRES

ETAT DATE-COURANTE = MAJ

VALEUR DATE-COURANTE = (X)

PERIODE (BOX1) = (X)

LATUP (BOX1) = NULL

LATDOWN (BOX1) = (BOX2)

LATDOWN (BOX2) = (BOX3)

LATDOWN (BOX3) = (BOX4)

LATDOWN (BOX4) = (BOX5)

LATDOWN (BOX5) = NULL

ALORS

ETAT DATE-COURANTE <-- OK

VALEUR DATE-COURANTE <-- + 1 (X)

Z NBRE <-- / (- (VALEUR DATE-COURANTE) 1) 4

PERIODE RECRUTEMENT <-- - (DIV (Z NBRE) 1) (Z NBRE)

NOMBRINI (BOX1) <-- NOMBRE (BOX1)

NOMBRINI (BOX2) <-- NOMBRE (BOX2)

NOMBRINI (BOX3) <-- NOMBRE (BOX3)

NOMBRINI (BOX4) <-- NOMBRE (BOX4)

NOMBRINI (BOX5) <-- NOMBRE (BOX5)

ECRIRENL (BOX1) " : " NOMBRINI (BOX1)

ECRIRENL (BOX2) " : " NOMBRINI (BOX2)

ECRIRENL (BOX3) " : " NOMBRINI (BOX3)

ECRIRENL (BOX4) " : " NOMBRINI (BOX4)

ECRIRENL (BOX5) " : " NOMBRINI (BOX5)

* ECRIRENL PERIODE RECRUTEMENT

AFFICHE "----- Période"

AFFICHENL VALEUR DATE-COURANTE "----- "

ECRIRE "----- Période"

ECRIRENL VALEUR DATE-COURANTE "----- "

FR

ANNEXE D

**LA DYNAMIQUE DES
CONCENTRATIONS DE THONIDES.**

ANNEXE D1

Chaîne de repérage des concentrations à partir des fichiers CD61 (livres de bord) (en Fortran 77 et en C).

```
C *****
C NOM: CONCENT1.FOR
C OBJET: Programme ramenant l'origine du repère en bas en gauche
C        sommant les prises des trois catégories de thon
C        éliminant les prises en dessous du seuil IQMIN.
C AUTEUR: Eric FOUCHER
C DATE: Janvier 1993
C *****
```

```
CHARACTER*24 file1,file2
integer*2 nbat,jj,nat,type,nbc,hp
integer*2 qx(3),nj(12)
integer*2 con(60,60)
real*4 xlat,xlon
data nj/0,31,59,90,120,151,181,212,243,273,304,334/
data con/3600*0/
```

```
rlats=-20.
rlatn=20.
rlonw=-25.
rlone=15.
dim=40
ipentade=0
```

C Ouverture et lecture du fichier

```
open(5,file="concent1.par")
read(5,50)file1,file2
50 format(a24)
read(5,51)iqmin,jmin,jmax
51 format(5i5)
open(1,file=file1)
open(2,file=file2)
```

C Lecture des données

```
1 read(1,100,end=99)nbat,j,m,nat,type,nbc,nbcz,xlat,xlon,hp,
&(qx(i),i=1,3)
100 format(i4,6i2,2f6.2,i2,3i5)
jj=nj(m)+j
```

C Dans les fichiers THON (CD61 ou CPTxx) les longitudes Est
C sont comptées négativement

```
xlon=xlon*(-1.)
if(jj.lt.jmin.or.jj.ge.jmax) goto 1
if(ipentade.ne.int((jj-jmin)/5+1)) then
  do 10 i=1,dim
  do 10 j=1,dim
    if(con(i,j).gt.iqmin)then
      write(2,200)i,j,con(i,j),ipentade
      con(i,j)=0
200    format(4i6)
    endif
10    continue
      ipentade=int((jj-jmin)/5+1)
endif
if(xlat.lt.rlat.or.xlat.gt.rlatn.or.xlon.lt.rlonw.or.xlon.gt.
&rlone) goto 1

iqtot=qx(1)+qx(2)+qx(3)
```

C Changement de repère

```
iy=xlat-rlats
ix=xlon-rlonw
```

C Seuillage des prises

```
if(iqtot.ne.0) con(ix,iy)=con(ix,iy)+int(iqtot/10)

goto 1
```

C Ecriture de la dernière pentade dans fichier resultat

```
99  continue
    do 20 i=1,dim
    do 20 j=1,dim
      if(con(i,j).gt.iqmin)then
        write(2,200)i,j,con(i,j),ipentade
        con(i,j)=0
      endif
20  continue

    close(1)
    close(2)
    close(5)
    stop
    end
```

```

/* NOM: CONCENT2.C */
/* OBJET: Deuxième étape détermination des concentrations */
/* Classe le fichier d'entrée en classe par pentade */
/* en ramenant le repere en bas a gauche. */
/* AUTEUR: Jean-Luc LAMOTTE */
/* DATE: Janvier 1993 */

#include<stdio.h>

#include<math.h>
#define DIM 40
#define DIST 2

void voisin();

main(argc,argv)
int argc;
char * argv[];
{
FILE *fd,*fic;
int i,j,tampon,classe;
int x,y,con,pent,concent[DIM][DIM];

if(argc!=3){
printf("Nombre de parametres incorrects\n");
printf("[NOM du programme] [Fichier entree] [fichier sortie]\n");
exit(1);
}

/* Initialisation */

tampon=0;
classe=0;

for(i=0;i<DIM;i++)
for(j=0;j<DIM;j++) {
concent[i][j]=0;
}

/* Ouverture des fichiers */
/* Fichier d'entree */
if ((fd=fopen(argv[1],"r"))==NULL){
printf("erreur ouverture fichier\n");
exit(1);
}
/* Fichier de sortie */
if ((fic=fopen(argv[2],"w"))==NULL){
printf("erreur ouverture fichier\n");
exit(1);
}
}

```

```

/* Lecture de la matrice dans le fichier formate*/
fscanf(fd,"%d%d%d%d\n",&x,&y,&con,&pent);
while(!feof(fd)){
    if(pent==tampon){
        /* Au sein d'une meme pentade */
        concent[x][y]=con;
    }
    else {
        /* Si on change de pentade. on calcule les classes de prise */
        for(i=0;i<DIM;i++)
            for(j=0;j<DIM;j++) {
                if(concent[i][j]!=0) {
                    classe=classe+1;
                    voisin(concent,i,j,tampon,classe,fc);
                }
            }
        /* On reinitialise pour la nouvelle pentade */
        concent[x][y]=con;
        classe=0;
        tampon=pent;
    }
    fscanf(fd,"%d%d%d%d",&x,&y,&con,&pent);
}
fclose(fd);
fclose(fc);
}

```

```

/* Procedure calculant les classes de proximite*/
/* Si la distance est inferieure à 2 alors meme classe */
/* Entree */
/* Matrice de la carte des prises */
/* Indices de l'element dont on calcule les voisins */
/* Numero de pentade de classe et de fichier de sortie*/

```

```

void voisin(concent,i,j,pent,classe,fc)
int concent[DIM][DIM],i,j,pent,classe;
FILE *fc;
{
    int k,l;
    double d;
    k=0;l=0;
    /* Ecriture sur fichier de l'element puis elimination pour */
    /* qu'il ne soit plus pris en compte dans la recherche de ses voisins*/
    fprintf(fc,"%d %d %d %d %d\n",pent,classe,i,j,concent[i][j]);
    concent[i][j]=0;
    while(k+i<DIM || k<3){
        /* Recherche des voisins dans les deux lignes suivantes */
        for(l=0;l<DIM;l++) {
            if(concent[k+i][l]!=0){
                /* si element non nul ,on calcule sa distance avec l'element */

```

```
        d=sqrt((double)(k*k+(l-j)*(l-j)));
        if(d<=DIST){
            /* le voisin du voisin est aussi un voisin */
            voisin(concent,k+i,l,pent,classe,fc);
        }
    }
    k++;
}
return;
}
```

```

/* NOM: CONCENT3.C */
/* Programme permettant à partir des classes rangees chronologiquement*/
/* de calculer les diverses concentrations */
/* Entree: nbpent=nbre de pentade minimum */
/* Sortie: sur fichier les concentrations, leurs pentades */
/* et coordonnees */
/* AUTEUR: Jean-Luc LAMOTTE */

```

```

#include<stdio.h>
#include<math.h>
#define NCLASSE 200
#define NPENTADE 15
#define DIST 5

```

```

/* abscisse, ordonnee et poid de la prise*/

```

```

typedef struct

```

```

{
int abs;
int ord;
int poid;
}
concent;

```

```

/* Structure du fichier */

```

```

typedef struct
{
int ind;
int cumul;
concent tab[NPENTADE];
}
conc;

```

```

conc fich[NCLASSE];

```

```

/* Initialise courant à tamp */

```

```

void init(tamp, courant)
concent tamp, *courant;
{
courant->ord=tamp.ord;
courant->abs=tamp.abs;
courant->poid=tamp.poid;
}

```

```

/* initialise tab à 0 */

```

```

void initialisation(fich)
conc fich[NCLASSE];
{
  int i,j;
  for(i=0;i<NCLASSE;i++){
    fich[i].ind=0;
    for(j=0;j<NPENTADE;j++){
      fich[i].tab[j].abs=0;
      fich[i].tab[j].ord=0;
      fich[i].tab[j].poid=0;
    }
  }
}

```

/* Teste l'existence de la classe dans la pentade precedente */

```

int test_exist(fich,courant,rang)
conc fich[NCLASSE];
int rang;
concent courant;
{
  int i,x1,x2,y1,y2,d;
  int numcase;
  if(rang==0) return(-1);
  for(i=0;i<NCLASSE;i++){
    if(fich[i].ind>=rang-NPENTADE){
      numcase = rang-1-fich[i].ind;
      x1=fich[i].tab[numcase].abs;
      x2=courant.abs;
      y1=fich[i].tab[numcase].ord;
      y2=courant.ord;
      d=(x1-x2)*(x1-x2)+(y1-y2)*(y1-y2);
      if(d<=DIST){
        return(i);
      }
    }
  }
  return(-1);
}

```

/* Calcule le nombre'indice d'elements non nuls du vecteur */
/* Renvoie 0 si vecteur nul */

```

int nbelement(fich)
concent fich[NPENTADE];
{
  int i,res;
  res=0;

```

```

for(i=0;i<NPENTADE;i++)
    if(fich[i].poid!=0)
        res=res+1;
return(res);
}

/* Procédure ouvrant un fichier */
FILE *ouverture(nom_fic,mode)
char *nom_fic,*mode;
{
FILE *TMP;
if((TMP=fopen(nom_fic,mode))==NULL){
    fprintf(stderr,"Erreur d'ouverture fichier %s\n",nom_fic);
    exit(1);
}
return(TMP);
}

```

/* Sauvegarde sur fichier de sortie */

```

void sauve(nbpent,fic)
FILE *fic;
int nbpent;
/*conc fich[NCLASSE]; */
{
int i,j,iqtotal,nbc=0;

for(i=0;i<NCLASSE;i++){
    if(fich[i].cumul < 1000) continue;
    iqtotal=0;
    if(nbelement(fich[i].tab)>nbpent){
        nbc++;
        fprintf(fic,"concentration n:%d\n",nbc);
        for(j=0;j<NPENTADE;j++) {
            if(fich[i].tab[j].poid!=0){
                iqtotal=iqtotal+fich[i].tab[j].poid;
                fprintf(fic,"Pentane:%2d  ",
                    j+fich[i].ind);
                fprintf(fic,"An REP:%3d %3d ",
                    fich[i].tab[j].abs,
                    fich[i].tab[j].ord);
                fprintf(fic,"NEW RE:%3d %3d ",
                    25-fich[i].tab[j].abs,
                    fich[i].tab[j].ord-20);
                fprintf(fic,"Poid:%3d\n",
                    fich[i].tab[j].poid);
            }
        }
        fprintf(fic,"Total:%d\n",iqtotal);
        fprintf(fic,"\n");
    }
}

```

```

}
}

main(argc,argv)
int argc;
int * argv[];
{
    FILE *fd,*fic;
    concent tamp,courant;
    int i,j,k,compteur=0,res,nbclasse=0,pentade,classe;
    int pentold=-1,classeold=-1;
    int x1,x2,y1,y2,d;
    int nbpent,val;
    int iqttotal,atoi();
    int res1;
    courant.abs=0;
    courant.ord=0;
    courant.poid=0;
    initialisation(fich);
    /* Test de validite d'appel du programme*/
    if(argc!=4){
        fprintf(stderr,"Nbre d'arguments incorrects\n");
        fprintf(stderr," %s : FichierEntree FichierSortie NbrePentane\n",argv[0]);
        exit(1);
    }
    fd=ouverture(argv[1],"r");
    fic=ouverture(argv[2],"w");
    nbpent=atoi(argv[3]);
    while(!feof(fd)){
        /* Lecture dans le fichier pentade/classe*/
        fscanf(fd,"%d %d %d %d %d\n",&pentade,&classe,&tamp.abs,&tamp.ord,&tamp.poid);
        /*printf("%d %d %d\n",pentade,classe,res1);          */

        if(pentade!=pentold || classe!=classeold){
            if(pentold!=-1){
                courant.abs/=compteur;
                courant.ord/=compteur;
                res=test_exist(fich,courant,pentold);
                if(res==-1){
                    res=nbclasse++;
                    fich[res].ind=pentold;
                }
                /* printf("%d ind %d rang %d\n",pentold-fich[res].ind,fich[res].ind,res);*/
                fich[res].tab[pentold-fich[res].ind].abs=courant.abs;
                fich[res].tab[pentold-fich[res].ind].ord=courant.ord;
                fich[res].tab[pentold-fich[res].ind].poid=courant.poid;
                fich[res].cumul+=courant.poid;
            }
            pentold=pentade;
            classeold=classe;
        }
    }
}

```

```
compteur=0;
courant.abs=0;
courant.ord=0;
courant.poid=0;
}
courant.abs+=tamp.abs;
courant.ord+=tamp.ord;
courant.poid+=tamp.poid;
compteur++;
}
sauve(nbpent, fic);
/* Fermeture des fichiers */
fclose(fd);
fclose(fic);
}
```

ANNEXE D2

Tableaux de données :

	Mois	CV	NS	SS	Sh	EN W	CP	Gh	ESW	ESC	ESE	CL	Ang	Tot.
A L B A C O R E	Janv	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	3
	Fév	0	0	0	0	1	3	1	0	4	1	0	0	10
	Mars	0	0	0	1	1	2	0	2	4	0	0	0	10
	Avril	0	0	0	2	0	1	0	1	2	0	0	0	6
	Mai	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Juin	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Juil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Août	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	5
	Sept	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	4
	Oct	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0	0	0	4
	Nov	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0	4
	Déc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
L I S T A O	Janv	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2
	Fév	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mars	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Avril	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3
	Mai	0	1	5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	7
	Juin	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	4
	Juil	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Août	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	Sept	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4
	Oct	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3
	Nov	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2
	Déc	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	3
M I X T E	Janv	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	Fév	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Mars	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	Avril	0	0	2	1	0	2	0	0	0	0	0	1	6
	Mai	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	4	0	7
	Juin	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	9	0	10
	Juil	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0	6	0	10
	Août	0	1	4	0	0	0	1	0	0	0	4	0	10
	Sept	0	0	5	0	0	0	1	0	0	0	4	1	11
	Oct	0	0	1	1	0	3	1	0	0	0	0	0	6
	Nov	0	0	0	0	4	3	2	0	0	0	0	0	9
	Déc	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2
Tot	An	1	5	31	7	13	21	15	3	12	7	32	6	153

Tableau D.1 : Nombre de concentrations par mois, par zone et par espèce principale.

ANNEXE D3

Figures D1 : Principales concentrations de thonidés de 1980 à 1990.

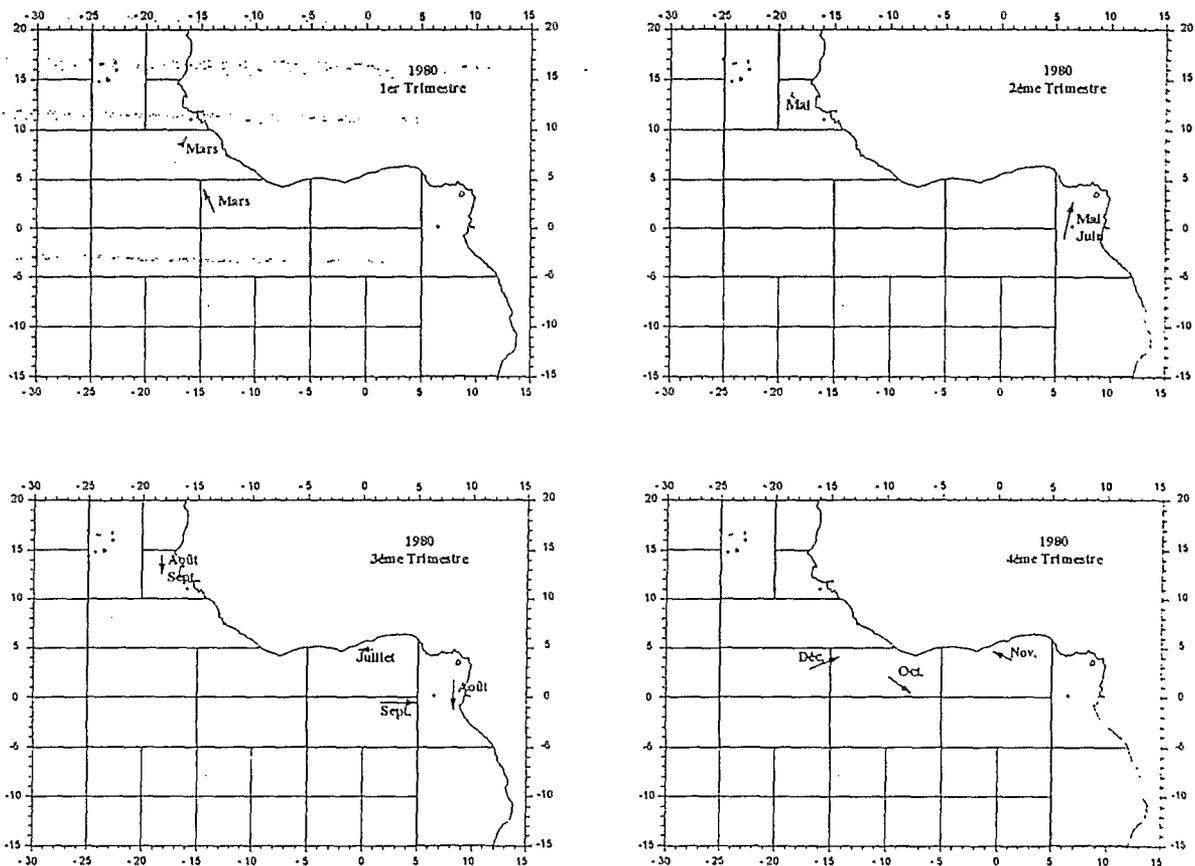


Figure D.1 : Principales concentrations de thonidés mises en évidence en 1980. Les flèches marquent les latitudes et longitudes moyennes de début et de fin. La direction de la flèche donne le sens du déplacement de la concentration, et sa couleur la composition spécifique de la concentration.

- + 75% YFT
- + 75% SKJ
- Bancs mixtes

Légende.

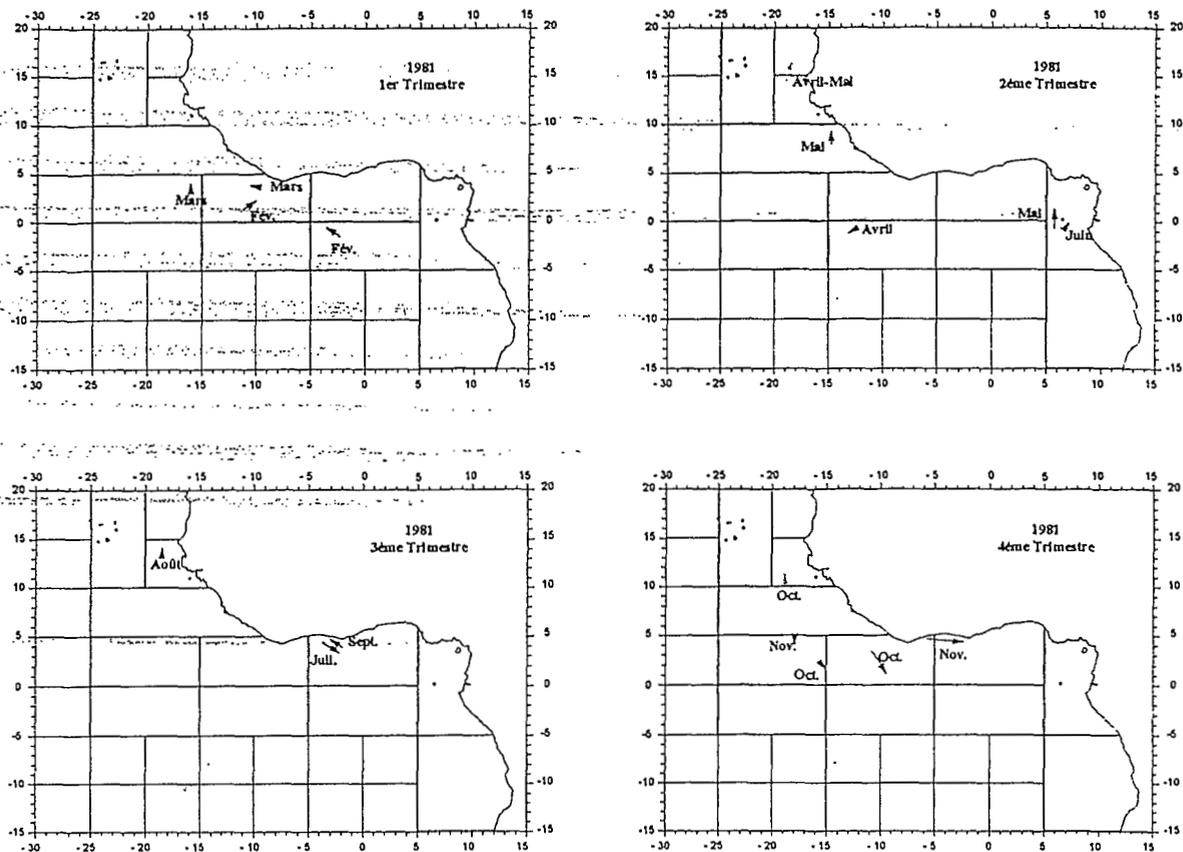


Figure D.1 (suite): Principales concentrations de thonidés mises en évidence en 1981.

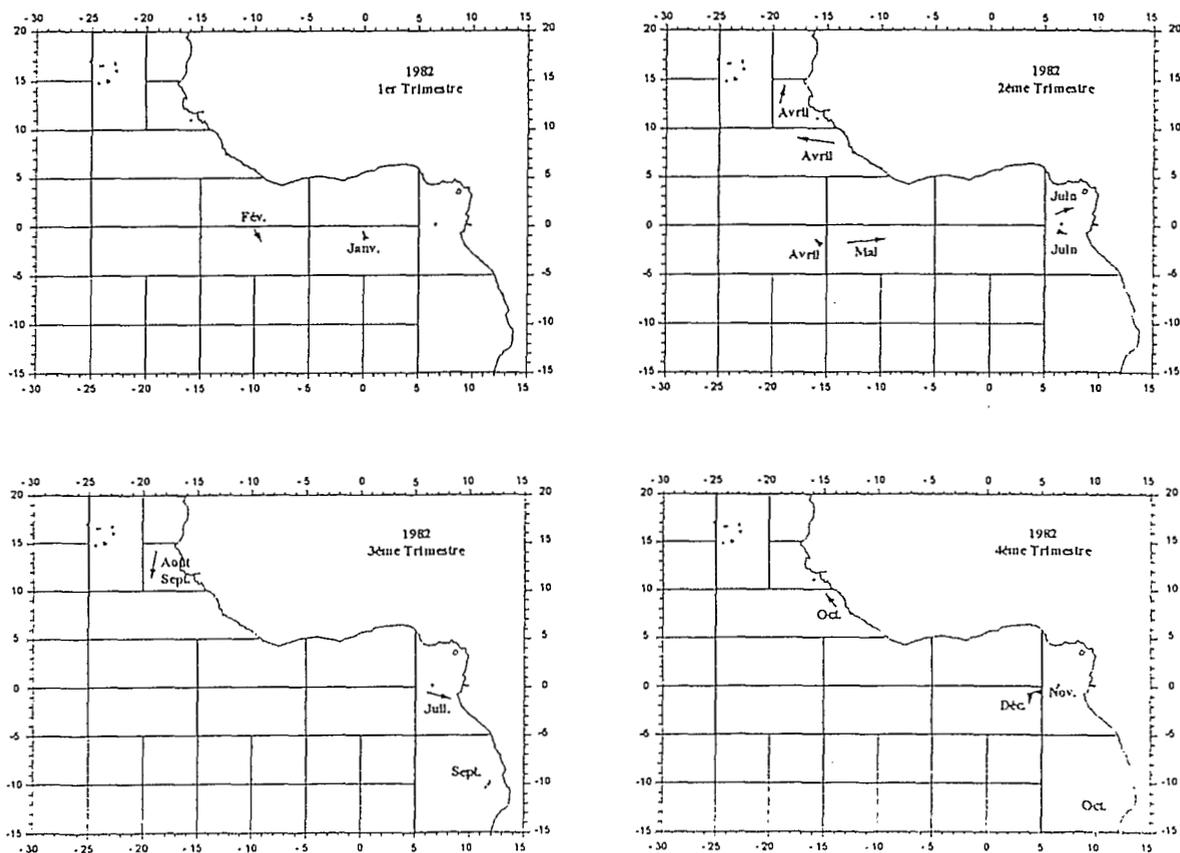


Figure D.1 (suite): Principales concentrations de thonidés mises en évidence en 1982.

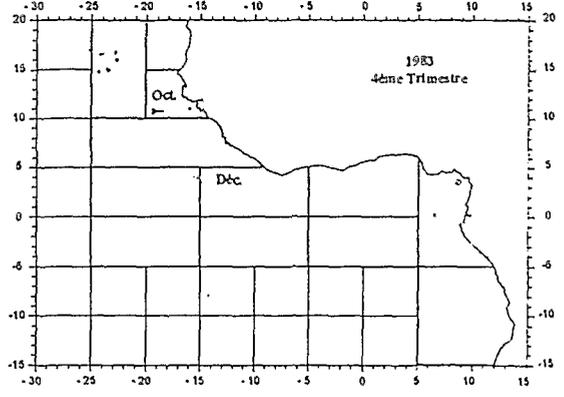
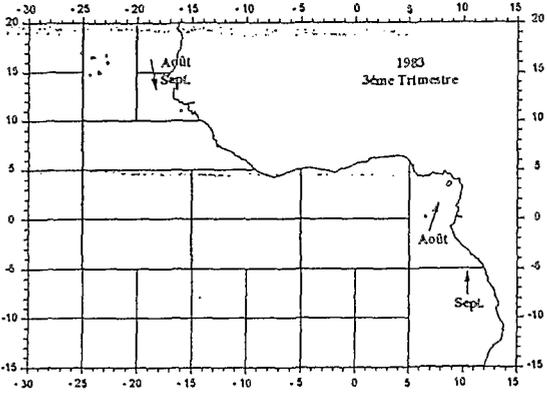
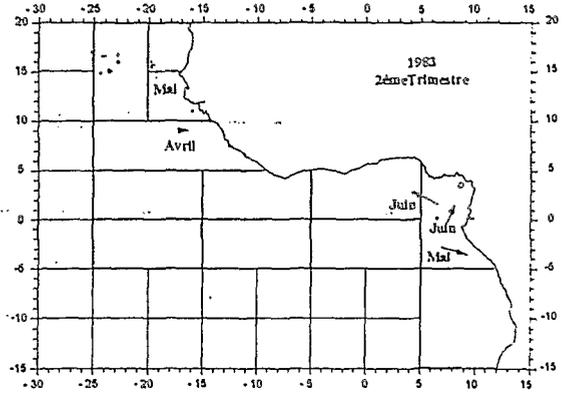
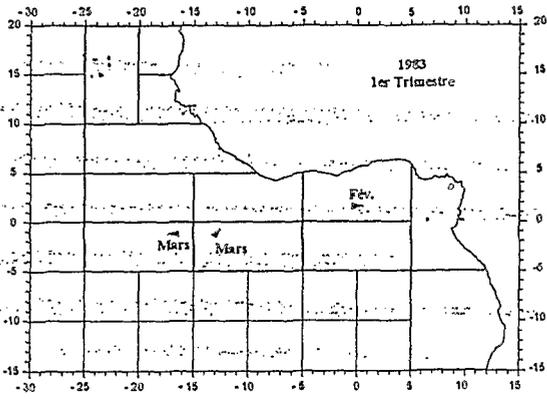


Figure D.1 (suite): Principales concentrations de thonidés mises en évidence en 1983.

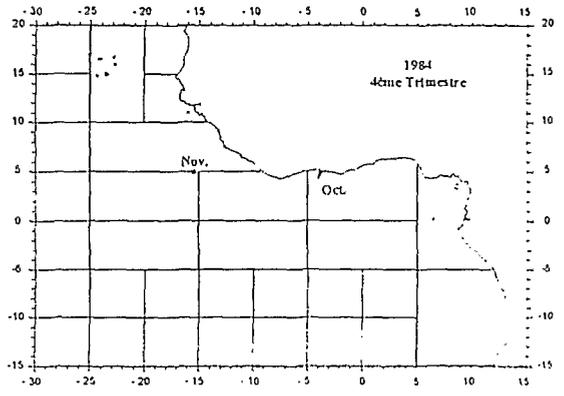
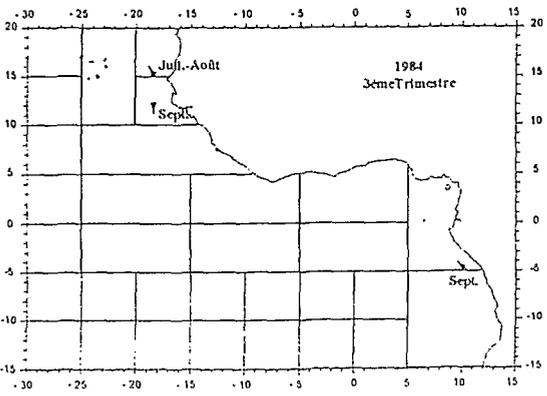
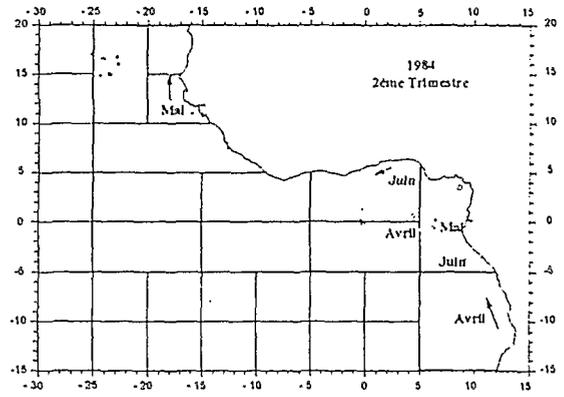
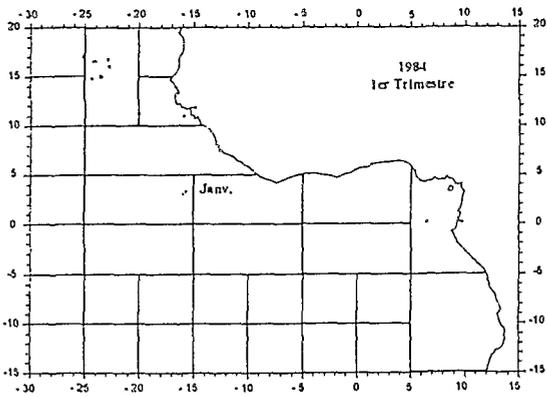


Figure D.1 (suite): Principales concentrations de thonidés mises en évidence en 1984.

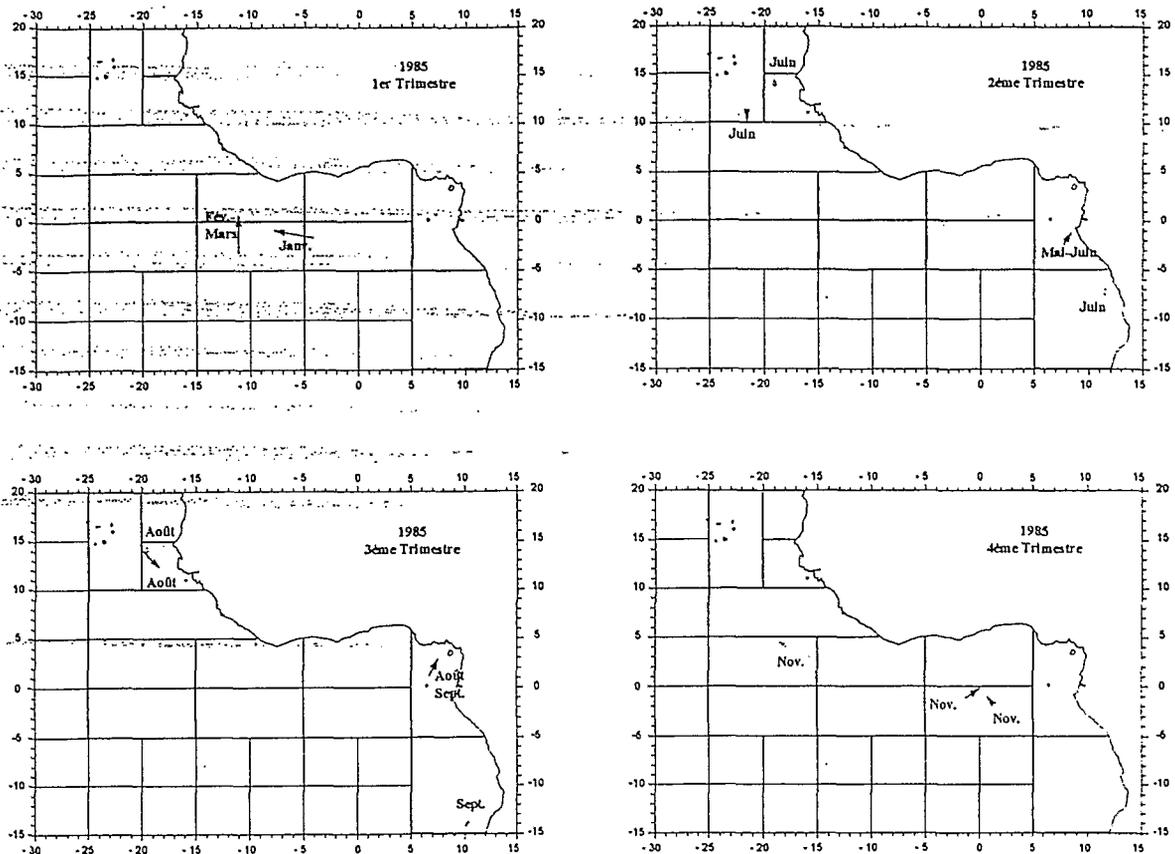


Figure D.1 (suite): Principales concentrations de thonidés mises en évidence en 1985.

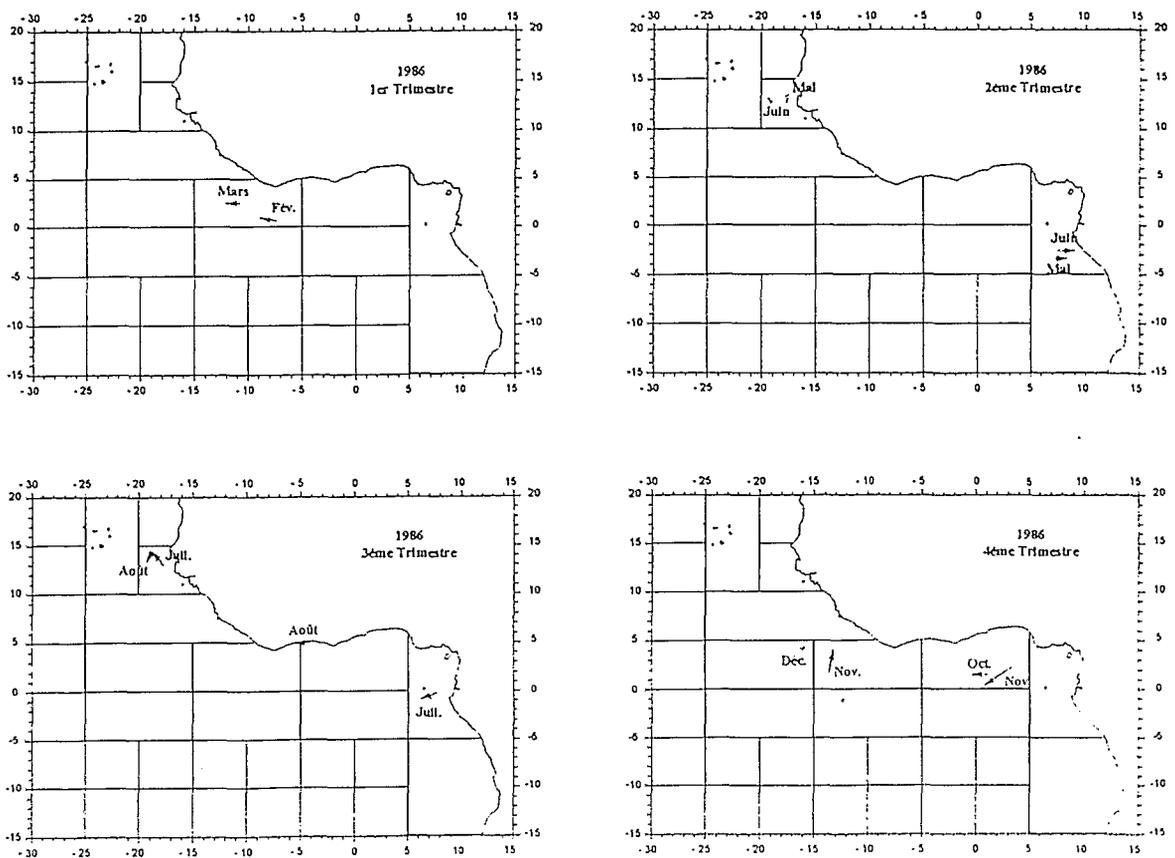


Figure D.1 (suite): Principales concentrations de thonidés mises en évidence en 1986.

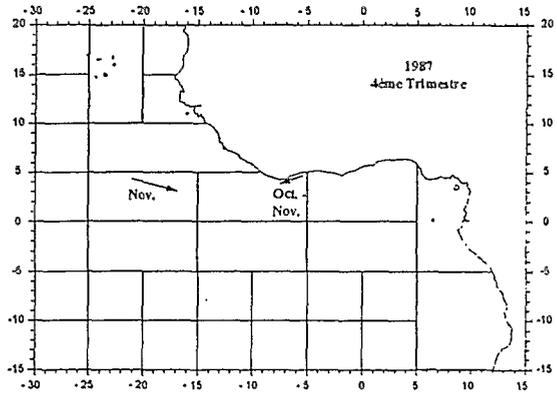
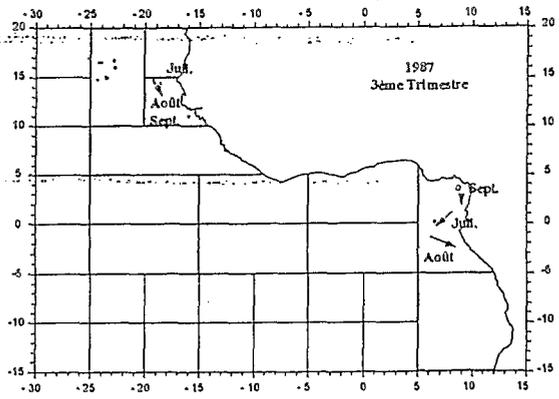
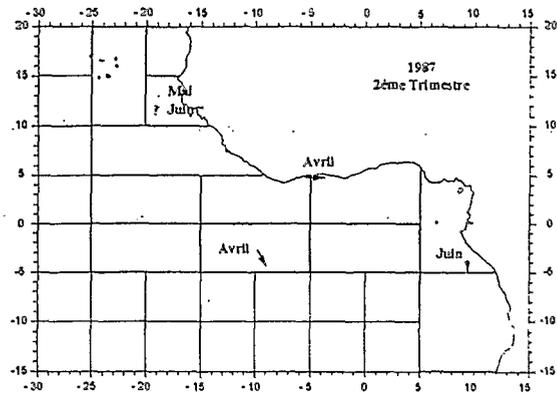
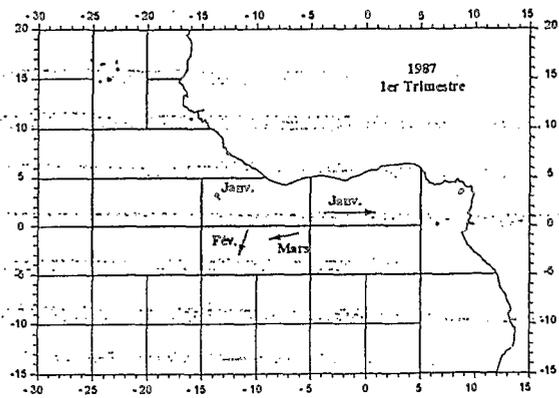


Figure D.1 (suite): Principales concentrations de thonidés mises en évidence en 1987.

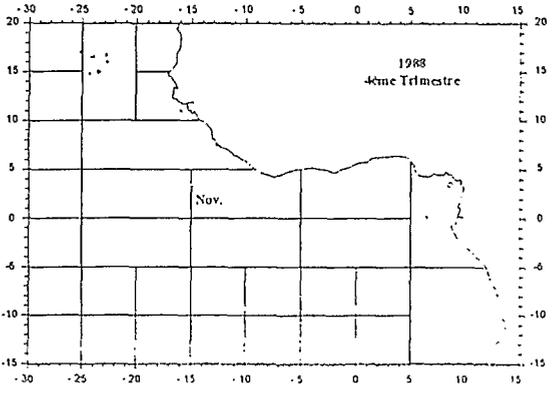
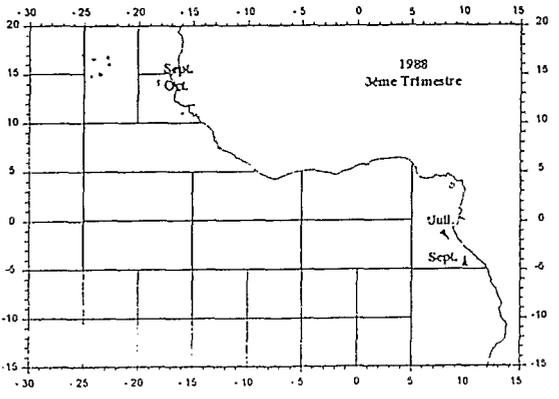
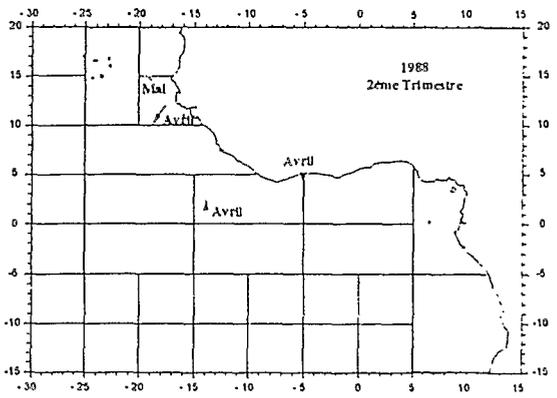
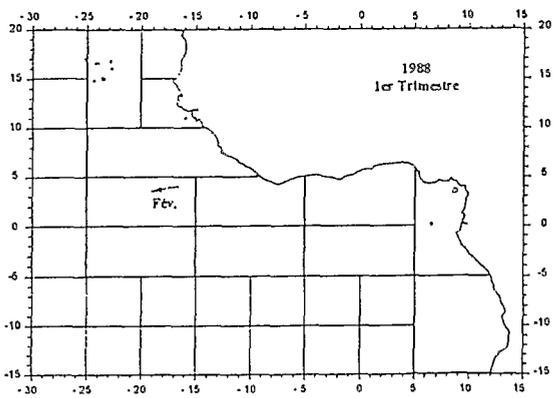


Figure D.1 (suite): Principales concentrations de thonidés mises en évidence en 1988.

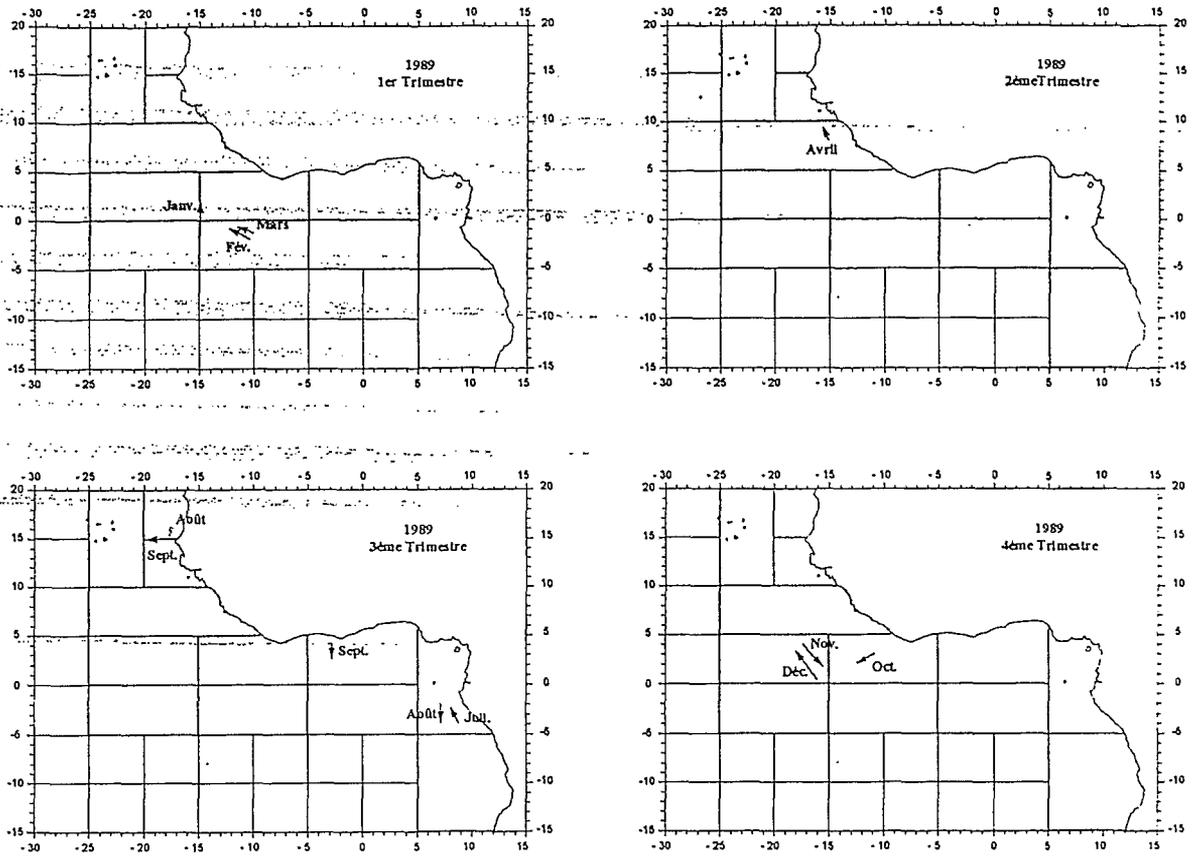


Figure D.1 (suite): Principales concentrations de thonidés mises en évidence en 1989.

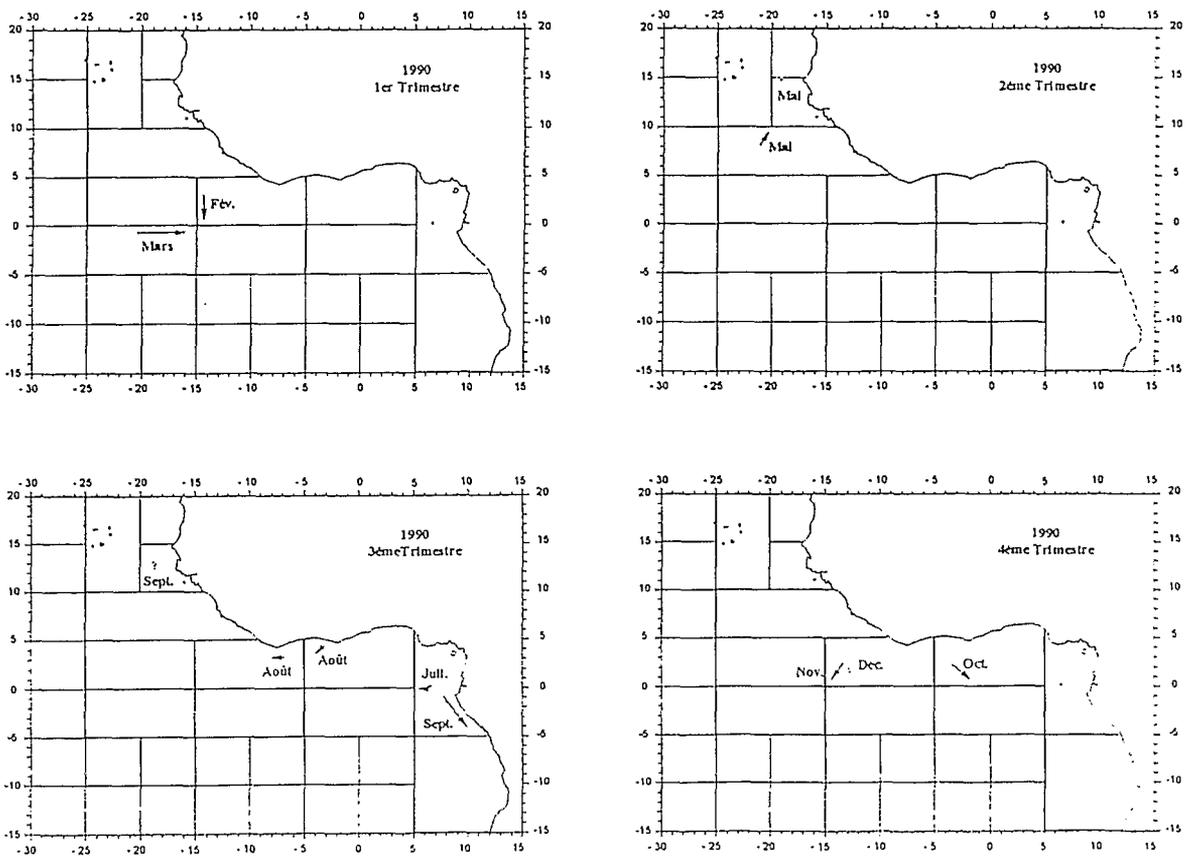


Figure D.1 (fin): Principales concentrations de thonidés mises en évidence en 1990.

ANNEXE D4

Principaux résultats de l'analyse des correspondances multiples et de la classification automatique.

NUMERO	VALEUR PROPRE	POURCENT.	POURCENT. CUMULE	
1	.3771	13.47	13.47	*****
2	.2680	9.57	23.04	*****
3	.2415	8.62	31.66	*****
4	.1785	6.38	38.04	*****
5	.1557	5.56	43.60	*****
6	.1428	5.10	48.70	*****
7	.1300	4.64	53.34	*****
8	.1268	4.53	57.87	*****
9	.1186	4.24	62.11	*****
10	.1108	3.96	66.06	*****
11	.0954	3.41	69.47	*****
12	.0905	3.23	72.70	*****
13	.0869	3.11	75.81	*****
14	.0806	2.88	78.69	*****
15	.0774	2.76	81.45	*****
16	.0687	2.45	83.90	*****
17	.0653	2.33	86.24	*****
18	.0600	2.14	88.38	*****
19	.0570	2.04	90.41	*****
20	.0515	1.84	92.25	*****
21	.0441	1.58	93.83	*****
22	.0387	1.38	95.21	*****
23	.0357	1.27	96.49	*****
24	.0301	1.08	97.56	*****
25	.0231	.82	98.39	*****
26	.0202	.72	99.11	*****
27	.0131	.47	99.58	***
28	.0118	.42	100.00	***

Tableau D2 : Histogramme des 28 premières valeurs propres issues de l'ACM.

MODALITES			COORDONNEES					CONTRIBUTIONS					COSINUS CARRES					
IDEN	LIBELLE	P.REL	DISTO	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1. Type de concentration																		
YFT	- Plus de 75% YFT	3.29	2.04	-.28	1.01	.34	.10	.40	.7	12.4	1.6	.2	3.4	.04	.50	.06	.01	.08
SKJ	- Plus de 75% SKJ	2.03	3.93	.07	-.30	-.08	.79	-1.37	.0	.7	.0	7.1	24.4	.00	.02	.00	.16	.48
YSB	- 3 especes melangees	4.69	1.13	.16	-.58	-.21	-.41	.31	.3	5.8	.8	4.5	2.9	.02	.29	.04	.15	.09
CONTRIBUTION CUMULEE =									1.0	18.9	2.4	11.8	30.7					
2. Duree																		
DMI	- duree < 20 j.	3.50	1.86	-.96	.01	-.32	.18	.42	8.5	.0	1.5	.7	4.0	.49	.00	.05	.02	.10
DMO	- duree entre 20 et 40	5.24	.91	.26	.02	.51	-.27	-.34	.9	.0	5.6	2.1	3.9	.07	.00	.29	.08	.13
DMX	- duree > 40 j.	1.26	6.94	1.59	-.11	-1.24	.62	.25	8.5	.1	8.0	2.7	.5	.37	.00	.22	.05	.01
CONTRIBUTION CUMULEE =									17.9	.1	15.1	5.5	8.4					
3. Surface																		
SMI	- surface < 40000 m2	4.90	1.04	-.55	-.35	-.17	.33	-.13	3.9	2.2	.6	3.0	.6	.29	.12	.03	.11	.02
SMO	- surface entre 40 et	2.66	2.76	.20	.27	.48	-.18	.16	.3	.7	2.5	.5	.5	.01	.03	.08	.01	.01
SMX	- surface > 70000 m2	2.45	3.09	.88	.40	-.18	-.47	.09	5.1	1.5	.3	3.0	.1	.25	.05	.01	.07	.00
CONTRIBUTION CUMULEE =									9.3	4.4	3.4	6.5	1.1					
4. Prise totale																		
TOT1	- < 2000 t.	3.08	2.25	-.96	-.22	-.61	-.09	-.05	7.6	.6	4.7	.2	.1	.41	.02	.16	.00	.00
TOT2	- entre 2000 et 4000 t	2.80	2.58	-.16	-.34	.70	.11	.12	.2	1.2	5.7	.2	.3	.01	.05	.19	.00	.01
TOT3	- entre 4000 et 6000 t	2.38	3.21	.47	.01	.13	-.20	-.01	1.4	.0	.2	.5	.0	.07	.00	.01	.01	.00
TOT4	- > 6000 t.	1.75	4.72	1.31	.93	-.23	.27	-.09	8.0	5.7	.4	.7	.1	.37	.18	.01	.02	.00
CONTRIBUTION CUMULEE =									17.2	7.5	11.0	1.6	.4					
5. Trimestre																		
T1	- 1er trim	1.82	4.50	.13	1.50	.45	.28	.37	.1	15.2	1.5	.8	1.6	.00	.50	.04	.02	.03
T2	- 2eme trim	3.01	2.33	-.02	-.49	.41	.17	-.19	.0	2.7	2.1	.5	.7	.00	.10	.07	.01	.02
T3	- 3eme trim	2.94	2.40	.19	-.67	-.25	.29	.53	.3	4.9	.7	1.4	5.3	.02	.19	.03	.03	.12
T4	- 4eme trim	2.24	3.47	-.34	.33	-.60	-.84	-.74	.7	.9	3.3	8.8	7.9	.03	.03	.10	.20	.16
CONTRIBUTION CUMULEE =									1.1	23.8	7.7	11.4	15.5					
6. Zone																		
SS	- Sud Senegal	2.03	3.93	.43	-.74	-.39	.91	-.64	1.0	4.1	1.3	9.4	5.4	.05	.14	.04	.21	.10
SH	- Sherbro	.49	19.43	-.28	-.17	.76	-.85	.39	.1	.1	1.2	2.0	.5	.00	.00	.03	.04	.01
ENW	- Equ. Nord Ouest	.70	13.30	.13	.48	-.87	-1.59	-1.60	.0	.6	2.2	9.9	11.5	.00	.02	.06	.19	.19
CP	- Cap des Palmes	1.75	4.72	.11	.75	-.14	-.25	-.33	.1	3.7	.1	.6	1.2	.00	.12	.00	.01	.02
GH	- Ghana	1.19	7.41	-.89	.32	-.34	-.64	.55	2.5	.5	.6	2.7	2.3	.11	.01	.02	.06	.04
ESC	- Equ. Sud Centre	.84	10.92	.32	1.53	1.15	.58	.39	.2	7.3	4.6	1.6	.8	.01	.21	.12	.03	.01
ESE	- Equ. Sud Est	.42	22.83	-1.14	1.15	-.39	.68	.67	1.5	2.1	.3	1.1	1.2	.06	.06	.01	.02	.02
CL	- Cap Lopez	2.03	3.93	.30	-1.02	.32	-.35	.86	.5	7.9	.8	1.4	9.6	.02	.26	.03	.03	.19
ANG	- Angola	.56	16.88	-.64	-.26	.45	1.48	-.34	.6	.1	.5	6.9	.4	.02	.00	.01	.13	.01
CONTRIBUTION CUMULEE =									6.5	26.2	11.5	35.7	32.9					

Tableau D3 : Coordonnées, contributions et cosinus carrés des modalités actives sur les axes 1 à 5.

MODALITES			COORDONNEES					CONTRIBUTIONS					COSINUS CARRES					
IDEN	LIBELLE	P.REL	DISTO	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
7 . Nombre de bancs																		
BcF	- moins de 200 bancs	5.73	7.74	-.70	.09	-.16	-.01	-.03	7.5	.2	.6	.0	.0	.67	.01	.03	.00	.00
BcM	- 200 < Nb bancs < 400	2.80	2.58	.58	-.42	.98	.01	-.09	2.5	1.8	11.2	.0	.2	.13	.07	.38	.00	.00
BcG	- + de 400 bancs	1.47	5.81	1.64	.45	-1.26	.00	.31	10.5	1.1	9.7	.0	.9	.46	.03	.27	.00	.02
									CONTRIBUTION CUMULEE = 20.5 3.1 21.4 .0 1.1									
8 . PUE																		
UF	- Pue < 20 t/j	2.80	2.58	.40	-.88	-.13	-.15	.47	1.2	8.2	.2	.4	3.9	.06	.30	.01	.01	.09
UMOY	- 20 < Pue < 40 t/j	5.31	.88	-.00	.13	.02	-.10	-.32	.0	.3	.0	.3	3.6	.00	.02	.00	.01	.12
UG	- Pue > 40 t/j	1.89	4.30	-.59	.95	.12	.50	.22	1.7	6.4	.1	2.7	.6	.08	.21	.00	.06	.01
									CONTRIBUTION CUMULEE = 2.9 14.9 .3 3.3 8.1									
9 . Bateaux																		
BATF	- nbre de batx < 100	4.27	1.34	-.93	.04	-.37	.17	.04	9.8	.0	2.4	.7	.0	.64	.00	.10	.02	.00
BATM	- 100 < batx < 300	4.55	1.20	.41	-.15	.75	-.20	-.11	2.1	.4	10.5	1.0	.3	.14	.02	.47	.03	.01
BATG	- + de 300 batx	1.19	7.41	1.76	.43	-1.54	.15	.29	9.8	.8	11.7	.1	.6	.42	.02	.32	.00	.01
									CONTRIBUTION CUMULEE = 21.6 1.2 24.6 1.9 1.0									
10 . Pays																		
Fran	- France	1.05	8.53	-.76	.05	-.64	-1.25	.17	1.6	.0	1.8	9.2	.2	.07	.00	.05	.18	.00
Espa	- Espagne	5.03	.99	.17	-.01	-.03	.58	.06	.4	.0	.0	9.5	.1	.03	.00	.00	.34	.00
Mixt	- France+Espagne	3.92	1.55	-.01	-.00	.21	-.41	-.13	.0	.0	.7	3.7	.4	.00	.00	.03	.11	.01
									CONTRIBUTION CUMULEE = 2.0 .0 2.5 22.3 .7									

Tableau D3 (suite).

----- CLASSE 1 -----																									
8001	8002	8009	8105	8114	8202	8204	8302	8303	8501	8602	8611	8612	8614	8703	8704	8705	8803	8901	8902	8903	8908	8911	8912	9001	
9002	9003	9012																							
----- CLASSE 2 -----																									
8005	8006	8106	8108	8203	8205	8207	8208	8209	8306	8307	8308	8311	8404	8405	8406	8409	8410	8508	8509	8604	8607	8609	8710	8712	
8805	8904	8905	9004	9008																					
----- CLASSE 3 -----																									
8004	8007	8109	8111	8210	8309	8313	8401	8408	8502	8503	8601	8707	8711	8714	8801	8806	8807	8809	9011						
----- CLASSE 4 -----																									
8003	8110	8113	8211	8212	8304	8305	8310	8312	8402	8403	8504	8505	8507	8510	8603	8605	8606	8608	8706	8708	8709	8713	8804	8808	
8906	8907	8909	9005	9007	9009																				
----- CLASSE 5 -----																									
8008	8010	8011	8101	8102	8103	8104	8107	8112	8115	8116	8117	8201	8206	8213	8214	8215	8301	8407	8411	8412	8506	8511	8512	8513	
8610	8613	8701	8702	8715	8802	8910	9006	9010																	

Tableau D4 : Composition des 5 classes de concentrations issues de la CAH.

MODALITES CARACTERISTIQUES		IDEN	POURCENTAGES			POIDS	V.TEST PROBA	
			CLA/MOD	MOD/CLA	GLOBAL			
CLASSE 1		aala			19.58	28		
Type de concentration	Plus de 75% YFT	YFT	44.68	75.00	32.87	47	4.95	.000
Zone	Equ. Sud Centre	ESC	81.82	32.14	7.69	11	4.40	.000
Trimestre	1er trim	T1	53.85	50.00	18.18	26	4.23	.000
Bateaux	100 < batx < 300	BATH	35.38	82.14	45.45	65	4.21	.000
Duree	duree entre 20 et 40	DMO	32.00	85.71	52.45	75	3.87	.000
Mois	Mars	Mars	72.73	28.57	7.69	11	3.73	.000
Zone	Cap des Palmes	CP	41.67	35.71	16.78	24	2.55	.005
Duree	duree < 20 j.	DMI	8.00	14.29	34.97	50	-2.44	.007
Bateaux	nbre de batx < 100	BATF	8.20	17.86	42.66	61	-2.84	.002
Surface	surface < 40000 m2	SMI	8.57	21.43	48.95	70	-3.10	.001
Zone	Cap Lopez	CL	.00	.00	20.28	29	-3.16	.001
Zone	Sud Senegal	SS	.00	.00	20.28	29	-3.16	.001
PUE	Pue < 20 t/j	UF	2.50	3.57	27.97	40	-3.30	.000
Type de concentration	3 especes melangees	YSB	7.46	17.86	46.85	67	-3.32	.000
Trimestre	3eme trim	T3	2.38	3.57	29.37	42	-3.46	.000
Prise totale	< 2000 t.	TOT1	.00	.00	30.77	44	-4.31	.000
CLASSE 2		aa2a			20.98	30		
Bateaux	100 < batx < 300	BATH	46.15	100.00	45.45	65	7.14	.000
Nombre de bancs	200 < Nb bancs < 400	BcM	62.50	83.33	27.97	40	7.12	.000
Zone	Cap Lopez	CL	55.17	53.33	20.28	29	4.47	.000
PUE	Pue < 20 t/j	UF	42.50	56.67	27.97	40	3.57	.000
Type de concentration	3 especes melangees	YSB	32.84	73.33	46.85	67	3.09	.001
Mois	Mai	Mai	52.94	30.00	11.89	17	2.90	.002
Duree	duree entre 20 et 40	DMO	30.67	76.67	52.45	75	2.83	.002
Trimestre	2eme trim	T2	37.21	53.33	30.07	43	2.82	.002
Prise totale	entre 2000 et 4000 t	TOT2	37.50	50.00	27.97	40	2.71	.003
PUE	Pue > 40 t/j	UG	3.70	3.33	18.88	27	-2.39	.008
Zone	Cap des Palmes	CP	.00	.00	16.78	24	-2.89	.002
Trimestre	1er trim	T1	.00	.00	18.18	26	-3.06	.001
Duree	duree < 20 j.	DMI	6.00	10.00	34.97	50	-3.20	.001
Prise totale	< 2000 t.	TOT1	4.55	6.67	30.77	44	-3.25	.001
Type de concentration	Plus de 75% YFT	YFT	4.26	6.67	32.87	47	-3.49	.000
Trimestre	4eme trim	T4	.00	.00	22.38	32	-3.57	.000
Bateaux	nbre de batx < 100	BATF	.00	.00	42.66	61	-5.80	.000
Nombre de bancs	moins de 200 bancs	BcF	3.66	10.00	57.34	82	-5.86	.000

Tableau D5 : Modalités caractéristiques des différentes classes identifiées.

MODALITES CARACTERISTIQUES		IDEN	POURCENTAGES		POIDS	V. TEST	PROBA
		CLA/MOD	MOD/CLA	GLOBAL			
CLASSE 3		aa3a			13.99	20	
Bateaux	+ de 300 batx	BATG	100.00	85.00	11.89	17	8.91 .000
Nombre de bancs	+ de 400 bancs	BcG	85.71	90.00	14.69	21	8.53 .000
Duree	duree > 40 j.	DMX	77.78	70.00	12.59	18	6.69 .000
Prise totale	> 6000 t.	TOT4	56.00	70.00	17.48	25	5.58 .000
Surface	surface > 70000 m2	SMX	31.43	55.00	24.48	35	2.97 .002
Bateaux	100 < batx < 300	BATH	4.62	15.00	45.45	65	-2.81 .002
Surface	surface < 40000 m2	SMI	4.29	15.00	48.95	70	-3.14 .001
Prise totale	entre 2000 et 4000 t	TOT2	.00	.00	27.97	40	-3.16 .001
Prise totale	< 2000 t.	TOT1	.00	.00	30.77	44	-3.41 .000
Duree	duree < 20 j.	DMI	.00	.00	34.97	50	-3.77 .000
Bateaux	nbre de batx < 100	BATF	.00	.00	42.66	61	-4.43 .000
Nombre de bancs	moins de 200 bancs	BcF	.00	.00	57.34	82	-5.74 .000
CLASSE 4		aa4a			21.68	31	
Surface	surface < 40000 m2	SMI	41.43	93.55	48.95	70	5.74 .000
Nombre de bancs	moins de 200 bancs	BcF	36.59	96.77	57.34	82	5.30 .000
Bateaux	nbre de batx < 100	BATF	42.62	83.87	42.66	61	5.12 .000
Type de concentration	Plus de 75% SKJ	SKJ	48.28	45.16	20.28	29	3.44 .000
Prise totale	< 2000 t.	TOT1	40.91	58.06	30.77	44	3.40 .000
Duree	duree < 20 j.	DMI	38.00	61.29	34.97	50	3.20 .001
Zone	Sud Senegal	SS	44.83	41.94	20.28	29	2.99 .001
Zone	Angola	ANG	71.43	16.13	4.90	7	2.55 .005
Trimestre	3eme trim	T3	35.71	48.39	29.37	42	2.35 .009
Duree	duree > 40 j.	DMX	.00	.00	12.59	18	-2.37 .009
Nombre de bancs	+ de 400 bancs	BcG	.00	.00	14.69	21	-2.67 .004
Surface	surface entre 40 et	SMO	5.26	6.45	26.57	38	-2.85 .002
Prise totale	> 6000 t.	TOT4	.00	.00	17.48	25	-3.05 .001
Type de concentration	Plus de 75% YFT	YFT	6.38	9.68	32.87	47	-3.08 .001
Prise totale	entre 4000 et 6000 t	TOT3	2.94	3.23	23.78	34	-3.11 .001
Trimestre	1er trim	T1	.00	.00	18.18	26	-3.14 .001
Nombre de bancs	200 < Nb bancs < 400	BcH	2.50	3.23	27.97	40	-3.62 .000
Bateaux	100 < batx < 300	BATH	7.69	16.13	45.45	65	-3.63 .000
Surface	surface > 70000 m2	SMX	.00	.00	24.48	35	-3.91 .000

Tableau D5 (suite).

MODALITES CARACTERISTIQUES		IDEN	POURCENTAGES			POIDS	V.TEST	PROBA
			CLA/MOD	MOD/CLA	GLOBAL			
CLASSE 5		aa5a			23.78	34		
Nombre de bancs	moins de 200 bancs	BcF	41.46	100.00	57.34	82	6.31	.000
Bateaux	nbre de batx < 100	BATF	49.18	88.24	42.66	61	6.12	.000
Prise totale	< 2000 t.	TOT1	54.55	70.59	30.77	44	5.39	.000
Zone	Ghana	GH	76.47	38.24	11.89	17	4.72	.000
Duree	duree < 20 j.	DWI	48.00	70.59	34.97	50	4.71	.000
Pays	France	Fran	80.00	35.29	10.49	15	4.66	.000
Trimestre	4eme trim	T4	53.13	50.00	22.38	32	3.98	.000
Mois	Novembre	Nov	69.23	26.47	9.09	13	3.40	.000
PUE	Pue > 40 t/j	UG	48.15	38.24	18.88	27	2.91	.002
Zone	Equ. Sud Est	ESE	83.33	14.71	4.20	6	2.75	.003
Bateaux	+ de 300 batx	BATG	.00	.00	11.89	17	-2.45	.007
Trimestre	3eme trim	T3	9.52	11.76	29.37	42	-2.48	.007
Duree	duree > 40 j.	DMX	.00	.00	12.59	18	-2.56	.005
Nombre de bancs	+ de 400 bancs	BcG	.00	.00	14.69	21	-2.88	.002
Duree	duree entre 20 et 40	DWO	13.33	29.41	52.45	75	-2.90	.002
Pays	Espagne	Espa	12.50	26.47	50.35	72	-3.03	.001
Prise totale	> 6000 t.	TOT4	.00	.00	17.48	25	-3.27	.001
Zone	Sud Senegal	SS	.00	.00	20.28	29	-3.65	.000
Zone	Cap Lopez	CL	.00	.00	20.28	29	-3.65	.000
Bateaux	100 < batx < 300	BATH	6.15	11.76	45.45	65	-4.54	.000
Nombre de bancs	200 < Nb bancs < 400	BcH	.00	.00	27.97	40	-4.59	.000

Tableau D5 (fin).

NUM. LABELLE	VARIABLES CARACTERISTIQUES	IDEN	MOYENNES		ECARTS TYPES		V. TEST	PROBA
			CLASSE GENERALE		CLASSE GENERAL			
	CLASSE 1	aa1a	(POIDS = 28.00		EFFECTIF = 28)			
15.	PUE calculée	PUEC	36.932	29.174	10.736	12.602	3.62	.000
12.	Surface totale en 1000nm2	SCON	76.679	52.238	56.531	44.727	3.21	.001
13.	Captures totales en tonnes	CCON	5571.143	3998.636	2395.804	2904.816	3.18	.001
	CLASSE 2	aa2a	(POIDS = 30.00		EFFECTIF = 30)			
15.	PUE calculée	PUEC	20.667	29.174	6.813	12.602	-4.14	.000
	CLASSE 3	aa3a	(POIDS = 20.00		EFFECTIF = 20)			
14.	Nombre total de bancs captures	BANC	599.400	235.748	211.919	192.895	9.06	.000
16.	Nombre maximal de bateaux	BATC	389.800	157.727	128.910	124.045	8.99	.000
11.	Duree totale en jours	DCON	46.700	25.133	15.140	12.118	8.55	.000
13.	Captures totales en tonnes	CCON	8469.850	3998.636	3191.202	2904.816	7.40	.000
12.	Surface totale en 1000nm2	SCON	89.300	52.238	58.917	44.727	3.98	.000
19.	Vitesse moyenne de deplacement	Vit	2.720	4.844	1.736	3.552	-2.87	.002
	CLASSE 4	aa4a	(POIDS = 31.00		EFFECTIF = 31)			
18.	Distance parcourue en milles	Dist	76.752	106.220	56.021	64.728	-2.85	.002
11.	Duree totale en jours	DCON	19.290	25.133	4.780	12.118	-3.02	.001
14.	Nombre total de bancs captures	BANC	122.194	235.748	38.720	192.895	-3.69	.000
12.	Surface totale en 1000nm2	SCON	23.645	52.238	11.420	44.727	-4.01	.000
16.	Nombre maximal de bateaux	BATC	78.355	157.727	26.216	124.045	-4.01	.000
13.	Captures totales en tonnes	CCON	1942.709	3998.636	730.604	2904.816	-4.44	.000
	CLASSE 5	aa5a	(POIDS = 34.00		EFFECTIF = 34)			
15.	PUE calculée	PUEC	36.188	29.174	14.260	12.602	3.70	.000
19.	Vitesse moyenne de deplacement	Vit	6.660	4.844	4.795	3.552	3.40	.000
20.	Année	An	83.647	84.811	2.959	3.115	-2.49	.006
12.	Surface totale en 1000nm2	SCON	34.265	52.238	23.831	44.727	-2.67	.004
11.	Duree totale en jours	DCON	17.529	25.133	4.779	12.118	-4.18	.000
13.	Captures totales en tonnes	CCON	2069.470	3998.636	1222.633	2904.816	-4.42	.000
14.	Nombre total de bancs captures	BANC	86.971	235.748	40.516	192.895	-5.13	.000
16.	Nombre maximal de bateaux	BATC	60.294	157.727	32.714	124.045	-5.23	.000

Tableau D6 : Caractérisation des classes identifiées par les variables continues.

VU
LE DIRECTEUR DE THESE

VU
LE PRESIDENT DU JURY

VU
Rennes, le

VU
Rennes, le

LE PRESIDENT DE
L'UNIVERSITE DE RENNES I

LE DIRECTEUR DE L'ECOLE
NATIONALE SUPERIEURE
AGRONOMIQUE DE RENNES

ISBN : 2-7099-1251-1
Éditions de l'ORSTOM
72, route d'Aulnay
93143 BONDY Cedex