

THESE de DOCTORAT D'ETAT

ès Sciences Naturelles

présentée

à l'Université Pierre et Marie Curie
- Paris 6 -

par Jean-Michel STRETTA

pour obtenir le grade de DOCTEUR ès SCIENCES

**CONTRIBUTION DE LA TELEDETECTION AEROSPATIALE
A L'ELABORATION DES BASES DE L'HALIEUTIQUE OPERATIONNELLE :
L'EXEMPLE DES PECHERIES THONIERES TROPICALES DE SURFACE
(ASPECT PREDICTIF)**

soutenue le 15 mars 1991

devant le jury composé de :

P. NIVAL (Président)
F.X. BARD
R. BILLARD
H. FARRUGIO
J.P. DELPIERRE
A. TOULEMOND
L. WALD

1991

*A mes parents,
A Marie-Chantal, Edmée et Céline*

La mer n'achète pas de poissons.

(Proverbe turc)

REMERCIEMENTS

Le Professeur Paul NIVAL a accepté de diriger nos thèses ; nous l'en remercions sincèrement. Nous n'oublions pas l'accueil que nous a toujours réservé lors de nos courts séjours l'équipe dynamique de la Station de Villefranche dont en particulier le Professeur Paul BOUGIS qui a toujours suivi nos travaux avec intérêt.

Nous remercions vivement François-Xavier BARD, Roland BILLARD, Henri FARRUGIO et Lucien WALD de leur aide et de leur attention critiques dans l'examen de notre travail.

Nous remercions également J.-P. DELPIERRE et A. TOULEMOND de leur participation à ces jurys.

Nous tenons à remercier Michel SLEPOUKHA, vieux complice de toutes ces années au cours desquelles son action et son enthousiasme furent déterminants.

Le Bureau d'Aide à la Pêche et beaucoup de nos travaux n'auraient jamais vu le jour sans la confiance de la profession, et en particulier celle d'INTERTHON que nous remercions ici tout aussi chaleureusement.

Que toutes les personnes qui nous ont apporté leur soutien dans la réalisation de ces travaux trouvent ici l'expression de notre reconnaissance.

Nous ne voudrions pas terminer sans avoir une pensée pour Christian Champagnat et Michel Delais, deux personnalités aujourd'hui disparues, qui ont marqué profondément l'halieutique et qui nous ont toujours soutenus et encouragés.

SOMMAIRE

	Pages
SOMMAIRE	1
LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES	4
ANTI-PREFACE	7
INTRODUCTION GENERALE	9
Place de la ressource dans le contexte socio-économique	9
Les thonidés et la recherche halieutique	19
Problématiques et motivations des recherches entreprises	21
CHAPITRE 1 : THONIDES : LA SYNTHESE ECOLOGIQUE	25
1.1 PREAMBULE : QU'EST-CE QU'UN THON ?	25
1.2 L'HABITAT	25
1.2.1 Introduction	25
1.2.2 Historique des études de l'habitat des thonidés	26
1.2.3 Les principales structures hydrologiques rencontrées	27
1.2.3.1. Les eaux côtières	27
1.2.3.2. La zone de rupture du plateau continental	28
1.2.3.3. Les zones de convergence	28
1.2.3.4. Les eaux issues de l'upwelling équatorial	29
1.2.3.5. La crête thermique en hiver boréal	30
1.2.3.6. Les dômes thermiques	30
1.2.3.7. Les guyots	30
1.2.3.8. Les effets d'îles	31
1.2.3.9. Les eaux oligotrophes ou les eaux du large	31
1.2.4 Paramètres de l'environnement pour décrire l'habitat des thonidés	31
1.2.4.1 Introduction	31
1.2.4.2 Les paramètres physiques	32
1.2.4.3 Les systèmes associés	43
Les systèmes biotiques	43
Les systèmes abiotiques	44
1.2.5 Physiologie et comportement des thonidés en fonction de l'habitat	47
1.2.5.1 Généralités	47
1.2.5.2 La nourriture des thonidés	47
1.2.5.3 La thermorégulation chez les thonidés	48
1.2.6 Conclusion	49
1.3 THEORIE COHERENTE DU COMPORTEMENT DES THONIDES DANS LEUR HABITAT	52
1.4 DETERMINISME DU DEPLACEMENT DES THONIDES (DDT)	53
1.4.1. <i>DDT et la notion de banc</i>	53
1.4.1.1 <i>Méthode : Bases du calcul théorique</i>	
1.4.1.2 <i>Matériel et sources de données</i>	
1.4.1.3 <i>Résultats et discussions</i>	

1.4.2. DDT et la variabilité de l'environnement	54
1.4.2.1 Le milieu physique dans le golfe de Guinée	54
Climatologie	54
Circulation	55
Circulation méridienne	55
Hydroclimatologie	55
1.4.2.2 Zones productives dans le golfe de Guinée.	56
Généralités	56
Le concept de l'hétérogénéité spatiale	57
Les principaux mécanismes d'enrichissement des masses	58
d'eaux	58
Rôle joué par la télédétection dans la détection des processus	61
d'enrichissement	61
1.4.2.3 Les zones de pêches dans le golfe de Guinée	62
Les zones de pêche saisonnière	62
Les concentrations de thons	63
Déplacement des thons	64
CHAPITRE 2 : DE LA SYNTHÈSE ÉCOLOGIQUE À L'ASPECT PRÉDICTIF EN GESTION DES PÊCHES : LA PRAXÉOLOGIE	67
2.1 INTRODUCTION	67
2.2 PRINCIPES DE BASE DE LA PRÉVISION DES ZONES DE PÊCHE	67
2.3 PREVI-PÊCHE	69
2.3.1 Le contexte industriel et scientifique	69
2.3.2 Historique de PREVI-PÊCHE	71
2.3.3 Le modèle prévisionnel PREVI-PÊCHE	71
2.4. RESULTATS	72
2.4.1 Autres expériences dans le monde	72
2.4.2 Validation des prévisions de pêche	73
2.4.3 Comment aborder ce problème ?	73
2.4.4 Voies utilisées et résultats	73
2.4.5 Conclusions	77
CHAPITRE 3 : DE LA SYNTHÈSE ÉCOLOGIQUE À L'ÉVALUATION DE LA RESSOURCE : LES MÉTHODES DIRECTES PAR LA TÉLÉDETECTION	83
3.1 PREAMBULE	
3.2 PRÉSENTATION DU PROGRAMME DE RADIÉTRIE AÉRIENNE ET PROSPECTION THONNIÈRE (RAPT) DANS LE PACIFIQUE	
3.3 RAPT : MÉTHODOLOGIE ET APPLICATIONS	
3.3.1 <i>Rappels</i>	
3.3.2 <i>Notations</i>	
3.3.3 <i>Analyse de l'influence des divers paramètres</i>	
3.3.4 <i>Intégration des paramètres influençants par la méthode des distances</i>	
3.3.5 <i>Estimation de la surface prospectée</i>	
3.3.6 <i>Densité des thonidés potentiels à l'enregistrement</i>	
3.3.7 <i>Définition et calcul de la densité observable</i>	
3.3.8 <i>Évaluation du stock de thonidés observables dans notre zone d'étude</i>	
3.4 DISCUSSION	
3.4.1 <i>Définition d'"observables" (thonidés ou bancs)</i>	
3.4.2 <i>La distance d</i>	
3.4.3 <i>La valeur de la fauchée</i>	
3.5 DÉVELOPPEMENTS FUTURS : L'EXPÉRIENCE HAREM	

CHAPITRE 4 : PROSPECTIVES ET PERSPECTIVES	87
4.1 HALIEUTIQUE OPERATIONNELLE : INTEGRATION DE LA TELEDETECTION AEROSPATIALE	87
4.1.1 <i>Le contexte de la recherche halieutique ; actuelle et le concept de l'halieutique opérationnelle</i>	
4.1.2 <i>Analyses des potentialités et des limites de la télédétection aérospatiale</i>	
4.1.2.1 <i>Revue</i>	
4.1.2.2 <i>Radar spatial et halieutique</i>	
4.1.2.3 <i>le satellite SPOT et l'océanographie</i>	
4.1.2.4 <i>La détection de d'efflorescences phytoplanctoniques par des capteurs satellitaires</i>	
4.1.2.5 <i>En conclusion</i>	
4.2 HALIEUTIQUE OPERATIONNELLE : LA MODELISATION ET L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE	87
4.3 LES PROGRAMMATIONS	90
CHAPITRE 5. CONCLUSION GENERALE	91
CHAPITRE 6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	93
CHAPITRE 7. BIBLIOGRAPHIE	107
7.1. <i>Ecologie des thonidés</i>	107
7.2. <i>Océanographie physique et productivité</i>	110
7.3. <i>Modélisation</i>	113
7.4. <i>Télédétection et océanographie en général</i>	114
7.5. <i>Echantillonnage aérien et <i>line transect</i>.</i>	122
LISTE DES ANNEXES	125
ANNEXE A : Panorama de la pêche thonière dans le Pacifique et l'Atlantique	125
ANNEXE B : L'habitat des thonidés tropicaux	125
ANNEXE C : Déterminisme du déplacement des thonidés	125
ANNEXE D : PREVI-PECHE : Bases théoriques et détails du programme	125
ANNEXE E : La modélisation et l'intelligence artificielle	126
RESUME ET MOTS CLES	dos de couverture
ABSTRACT AND KEY WORDS	dos de couverture

LISTE DES TABLEAUX INSERES

PREAMBULE

Tableau 1 : Liste des espèces de thonidés et espèces voisines (et de leur code ICCAT) recensées et comptabilisées par l'ICCAT.

Tableau 2a: Prises mondiales des thonidés majeurs (source : IATTC, 1988)

Tableau 2b : Prises mondiales de thonidés majeurs en milliers de tonnes (Sources IATTC 1986, 1987, 1988, 1989).

Tableau 3a : Commerce international des produits thoniers : quantités échangées annuellement dans le monde entre 1985 et 1987 en millier de tonnes (D'après CHARNEAU, 1989)

Tableau 3b : Structure par pays des importations mondiales de thon frais, réfrigéré et congelé entre 1985 et 1987 en millier de tonnes (D'après CHARNEAU, 1989)

Tableau 3c : Structure par pays et par zone des exportations mondiales de thon frais, réfrigéré et congelé entre 1985 et 1987 en millier de tonnes (D'après CHARNEAU, 1989)

CHAPITRE 1

Tableau 1.1 : Gammes thermiques au sein desquelles se sont effectuées les pêches de thonidés en Atlantique pour les flottilles thonières FIS de 1979 à 1989 et espagnole de 1979 à 1987 et dans l'océan Indien pour la flottille thonière française de 1985 à 1988.

Tableau 1.2 : Nombre de calées totales, nombre de calées positives et nulles, prises moyennes par calées, pourcentages de calées nulles et pourcentages d'occurrence sur bancs libres et bancs associés à des DCP et à des animaux marins (CAYRE *et al.*, 1988).

CHAPITRE 2

Tableau 2.1 : Pêches, en tonnes, d'albacores/patudos et de listaos par les flottilles française et espagnole au sein des zones déclarées comme favorables à la pêche par PREVI-PECHE et en dehors de ces zones.

TABLEAU 2.2 : Résultat de l'analyse des 422 scénarios thermiques aboutissant à une action de pêche

TABLEAU 2.3 : Récapitulatif du nombre de scénarios thermiques classés par le modèle PREVI-PECHE pour les zones avec et sans action de pêche.

CHAPITRE 3

TABLEAU 3.1. : Evaluation du potentiel thonier à partir des opérations de radiométrie aérienne et prospection thonière dans la région Nouvelle-Calédonie/Vanuatu (d'après PETIT *et al.*, 1989).

LISTE DES FIGURES INSEREES

PREAMBULE

Figure 1 : Prises de thonidés majeurs dans les trois océans (Source IATTC).

Figure 2 : Prises de thonidés majeurs, d'espèces secondaires et de poissons porte-épée en Atlantique (Source IATTC).

Figure 3 : **Listao** (*Katsuwonus pelamis* Linnaeus, 1758) ICCAT (1972)

Figure 4 : **Albacore** (*Thunnus albacares* Bonnaterre, 1788) ICCAT (1972)

Figure 5 : **Patudo** (*Thunnus obesus* Lowe, 1839) ICCAT (1972)

Figure 6 : **Germon** (*Thunnus alalunga* Bonnaterre, 1788) ICCAT (1972)

CHAPITRE 1

Figure 1.1. : Exemple de représentation du système-pêche ou la relation "typique" homme-listao.

Clé :

1 : Homme	6 : Effort de nourriture
2 : Effort de recherche	7 : Espèces rivales
3 : Effort de pêche	8 : Espèces voisines
4 : Prise	9 : Listao
5 : Espèces prédatrices	10 : Espèces fourrage

(D'après WATANABE 1972, cité dans SHARP 1981)

Figure 1.2. : Zones de pêche dans le golfe de Guinée (Source STRETTA 1988)

Figure 1.3. : Distribution des calées de thonidés en fonction de la température de surface effectuées en Atlantique par les senneurs des flottilles FIS et espagnole et dans l'océan Indien par les senneurs de la flottille FIS.

Figure 1.4a : Gammes de températures données par divers auteurs dans lesquelles sont pêchés les albacores (Source STRETTA et PETIT, 1989)

Figure 1.4b : Gammes de températures données par divers auteurs dans lesquelles sont pêchés les listaos (Source STRETTA et PETIT, 1989)

Figure 1.5. : Prises d'albacore en fonction de la température de surface pour les senneurs FIS et espagnols, période 1980 à 1983 (sous échantillon des calées pour lesquelles sa température et la composition spécifique par taille sont connues), d'après STRETTA, 1988.

- 1 albacores de moins de 5 kg
- 2 albacores de 5 à 30 kg
- 3 albacores de plus de 30 kg
- 4 toutes tailles

Figure 1.6. : Prises de listao en fonction de la température de surface pour les senneurs FIS et espagnols, période 1980 à 1983 (sous échantillon des calées pour lesquelles sa température et la composition spécifique par taille sont connues), d'après STRETTA, 1988.

- 1 listaos de moins de 2 kg
- 2 listaos de 2 à 6 kg
- 3 listaos de plus de 6 kg
- 4 toutes tailles

Figure 1.7. : Prises de patudo en fonction de la température de surface pour les senneurs FIS et espagnols, période 1980 à 1983 (sous échantillon des calées pour lesquelles sa température et la composition spécifique par taille sont connues), d'après STRETTA, 1988.

- 1 patudos de moins de 5 kg
- 2 patudos de 5 à 30 kg
- 3 patudos de plus de 30 kg
- 4 toutes tailles

Figure 1.8. (Source STRETTA, 1988)

- a - Localisation des épaves dans l'océan Atlantique tropical oriental par zones de 2° de latitude par 5° de longitude (en nombre) ;
- b - rapport pêches avec DCP/pêche totales par zones de 2° de latitude par 5° de longitude (en pourcentage).

Figure 1.9. : Les différentes zones d'enrichissement dans l'Atlantique tropical oriental.(HERBLAND *et al.*, 1983)

Figure 1.10. : "*Modèle de migration du listao en Atlantique Est, entre sept compartiments, en fonction des trimestres décomptés sur trois ans. On note un recrutement important au cap Lopez au 2ème trimestre, d'une population dont on peut suivre l'évolution sur 9 trimestres. Il est identifié également un fort recrutement en Angola au 1er trimestre, dont l'identité avec celui du cap Lopez n'est pas certaine, et trois recrutements modérés dont le devenir n'est pas bien connu (cas du Cap-Vert en particulier)*" (Source BARD *et al.*, 1988).

CHAPITRE 2

Figure 2.1. : Distribution de tous les coups de senne dans les 422 scénarios thermiques.

Figure 2.2. : Distribution du nombre de coups de senne pour les scénarios classés "zone très favorable"

Figure 2.3. : Distribution du nombre de coups de senne pour les scénarios classés "zone moyennement favorable"

Figure 2.4. : Distribution du nombre de coups de senne pour les scénarios classés "zone en évolution favorable"

Figure 2.5. : Distribution du nombre de coups de senne pour les scénarios classés "zone défavorable"

Figure 2.6. : Distribution du nombre de coups de senne pour les scénarios classés "zone très favorable, moyennement favorable et en évolution favorable".

ANTI PREFACE

Ce travail tente bien sûr un synopsis sur quelques années de recherches, quelques bases de données acquises sur le terrain et les articles publiés. Autre lieu commun serait de dire que cette thèse est le fruit d'un travail d'équipe si tant est qu'en 1991 il puisse encore honnêtement exister de recherches, de programmes ou de résultats qui soient le fait d'une seule personne. La place de notre sujet d'étude implique aussi, bien évidemment, la pluridisciplinarité (télé-détection, environnement, biologie, pêches...).

En marge de tous ces qualificatifs qui se répandent dans chaque préface de thèses ou d'ouvrages comme des signes primaires de reconnaissance ou des mots-clés rassurants, il nous est venu à l'esprit, lors de la rédaction, de nous interroger sur l'origine de notre démarche ou plutôt sur les éléments de sa charpente. Deux d'entre eux, nous sont tellement familiers et intégrés que nous aurions pu les oublier. Le premier est la constante relation entre nos travaux et le monde aval de la pêche, qu'il s'agisse des pêcheurs eux-mêmes et autres "professionnels" ou des administrateurs, économistes, techniciens ou politiques. Cette relation est souvent une participation à nos travaux, en nature ou financière ; mais c'est toujours un jugement sur nos résultats et leur utilisation. Cette évaluation est sans complaisance, pragmatique et vaut bien tous les référés des publications. Nous y reviendrons plus tard, au cours de l'exposé.

Quant au second élément c'est, sans conteste, l'esprit d'équipe qui va bien au-delà du travail d'équipe. En effet, l'Unité de Recherche de l'ORSTOM dans laquelle nous travaillons, "**Environnement et ressources hauturières**" a déjà la particularité de couvrir toute la zone intertropicale dans les trois océans. Bien sûr, pendant une année (1978) à Abidjan et depuis 1986 à Montpellier, nous avons travaillé en équipe dans un même lieu, sur les mêmes programmes, chacun avec sa spécialité. Mais entre 1979 et 1986, l'un d'entre nous était en Afrique et l'autre dans le Pacifique sans pour autant que les échanges d'idées, de concepts, de données ou tout simplement de conseils ne cessent. C'est cette confiance réciproque qui fait l'esprit d'équipe et qui est à la base de notre travail et de certains résultats reconnus.

Le système-thèse, au moment de notre inscription, était en phase instable de réfection comme pour un grand monument dont on se demande s'il faut le raser ou le consolider... Les hasards de nos cursus et de bizarreries administratives ont voulu que nous dûmes nous inscrire sous des régimes différents, doctorat d'Etat et doctorat de l'Université. Bien que modifiée, la thèse, en son âme, reste sur une base encore bien individualiste. Refusant de tricher et de trahir l'esprit d'équipe, nous avons demandé à notre directeur de thèse la possibilité de présenter un synopsis commun. Cette demande motivée, qui est gageure d'un point de vue réglementaire, a été acceptée, sans réserve, par le Professeur P. BOUGIS, puis par son successeur le Professeur P. NIVAL. Ceci démontre, s'il en est besoin, que le règlement administratif aveugle ne peut rien contre l'intelligence et la largesse d'esprit.

D'un commun accord, il a été décidé de produire deux documents, signés individuellement pour satisfaire au règlement, mais avec un plan identique dont certaines parties sont écrites en commun et figurent sur les deux thèses et d'autres ne sont développées que sur l'un des deux documents - et rappelées sur l'autre par un court résumé pour favoriser la lecture séparée des dits documents. Le choix, arbitraire, des développements par l'un ou l'autre auteur correspond plus à la spécificité et la spécialité de chacun qu'à un travail isolé individuel.

D'un point de vue matériel, les résumés sont typographiés en italiques et une référence à l'autre document est mise en évidence. Ainsi, le chapitre introductif et la conclusion générale sont communs. Dans "la synthèse écologique" du chapitre premier,

l'habitat et la variabilité de l'environnement en relation avec le déplacement des bancs sont étudiés par J.-M. STRETTA, alors que M.PETIT développe la théorie cohérente du comportement des thonidés et la notion de banc en relation avec le déterminisme de leurs déplacements. Les aspects prédictifs (chapitre 2) et évaluatifs (chapitre 3) de nos recherches sont spécifiques respectivement à la thèse de J.-M. STRETTA et à celle de M.PETIT qui termine dans le troisième chapitre par une analyse sur la télédétection et l'halieutique opérationnelle, J.-M. STRETTA s'occupant de la modélisation.

INTRODUCTION GENERALE

Les thons et les espèces voisines sont regroupés en une seule famille : les *Scombridae*. Au sein de cette famille, la tribu des *Thunnini* est la plus évoluée et les quatre genres qui la constituent (*Auxis*, *Euthynnus*, *Katsuwonus* et *Thunnus*) sont, parmi les poissons osseux, les seuls à posséder une physiologie qui maintient une température interne supérieure à celle du milieu ambiant. Cette faculté, qui traduit un niveau d'évolution relativement élevé, est liée au développement du *rete mirabilis* que KISHINOUE (1923) qualifie de "système vasculaire échangeur de chaleur par circulation à contre courant" (CAYRE et al., 1988).

La FAO¹ et les commissions internationales pour la pêche au thon dans les trois océans² classent les thonidés en trois ensembles :

- les espèces majeures dont cinq pêchées : *Katsuwonus pelamis* dit listao ou bonites (*skipjack*, en anglais), *Thunnus albacares* dit albacore ou thons à nageoires jaunes (*yellowfin*, en anglais), *Thunnus obesus* dit patudo ou thon obèse (*big eye*, en anglais), *Thunnus alalunga* dit germon ou thon blanc (*albacore*, en anglais) et *Thunnus thynnus thynnus* dit thon rouge (*Northern bluefin*, en anglais) - dans l'hémisphère sud, en région sub-antarctique, deux autres espèces de thon rouge sont identifiées : *Thunnus maccoyii* (*Southern bluefin* en anglais) et *Thunnus atlanticus* dit thon à nageoires noires.
- les espèces secondaires, avec par ordre d'importance des captures au niveau mondial, *Scomberomorus sierra* dit thazard, *Euthynnus pelamis* dit black skipjack, *Auxis* sp. dit auxide ou ravil, *Sarda sarda* dit bonite à dos rayé.;
- les poissons porte-épée (*xiphiidae* et *istiophoridae*).

La liste complète des espèces de thonidés secondaires et des espèces voisines comptabilisées par l'ICCAT est présentée dans le tableau 1.

PLACE DE LA RESSOURCE DANS LE CONTEXTE SOCIO-ECONOMIQUE

Les prises mondiales de thonidés, toutes espèces confondues, ont atteint 3,4 millions de tonnes en 1987³ (IATTC, 1989) dont près de 2,4 millions de tonnes pour les thonidés dits majeurs, le reste comprenant les petits thonidés (0,9 million de tonnes) et les poissons porte-épée (0,1 million de tonnes). Si l'on examine les prises des espèces majeures de thonidés fournies par l'IATTC depuis 1975 (tableau 2a et 2b et figure 1), on note une augmentation de 51,6 % entre 1975 et 1987. L'essentiel de l'accroissement de

1 FAO : Food and Agricultural Organisation (Rome-Italie)

2 Atlantique est et ouest, Méditerranée : ICCAT (International Commission for Conservation of Atlantic Tuna. Madrid-Espagne)

Pacifique est : IATTC (Inter-American Tropical Tuna Commission. La Jolla-USA)

Pacifique ouest : CPS (Commission du Pacifique Sud. Nouméa-Nouvelle-Calédonie) et CPIP (Commission des Pêches de l'Indo-Pacifique de la FAO)

Océan Indien : IOFC Indian Ocean Fishery Commission de la FAO

3 L'Annuaire des pêches de la FAO donne une capture de thonidés et marlins de plus de 3,7 millions de tonnes en 1988.

ces prises est à porter à l'actif du listao. Par ailleurs, cette augmentation des prises est aussi à relier au fait que de nouveaux pays se sont lancés dans la pêche thonière (MARCILLE, 1986) ; en 1985, 83 pays ont fait état de captures commerciales de thons (JOSEPH *et al.*, 1988). Parmi ces pays, le Japon et les USA totalisent la moitié des prises et 75 % de la consommation de thons. Nous allons décrire sommairement ces espèces, par ordre d'importance des prises réalisées au cours de ces trois dernières années, en nous inspirant des fiches de la FAO (FISCHER *et al.*, 1981). Par ailleurs, leurs caractéristiques biologiques sont données en détail par CAYRE *et al.*, (1988).

Le listao (*Katsuwonus pelamis* Linnaeus, 1758)

Le listao représente, ces dernières années, près de 30 % des prises au niveau mondial soit plus d'un million de tonnes en 1984 et 1986. C'est un thon de petite taille. En Atlantique, la longueur maximale à la fourche caudale est de 100 cm, pour une moyenne comprise entre 30 et 80 cm, correspondant à un poids de 0,5 kg à 11,5 kg (DIOUF et AMON KOTHIAS, 1988). Sa distribution est cosmopolite dans les mers tropicales et subtropicales. Les listaos sont pêchés par des engins de surface : traîne, canne et senne.

L'albacore (*Thunnus albacares* Bonnaterre, 1788)

L'albacore ou thon à nageoires jaunes est au niveau mondial la deuxième espèce pêchée. En Atlantique oriental, l'albacore atteint au maximum 195 cm. et les longueurs à la fourche communes se situent entre 35 et 180 cm (0,8 kg à 111 kg (DIOUF et AMON KOTHIAS 1988). C'est une espèce pan-tropicale. En Atlantique oriental, cette espèce est pêchée des Açores à l'Afrique du Sud. Juvéniles et adultes sont capturés en surface par la canne et la senne. En revanche la palangre ne prend que des adultes.

Le patudo (*Thunnus obesus* Lowe, 1839)

Troisième espèce pêchée, le patudo peut dépasser les 240 cm. Les tailles communément rencontrées en Atlantique oriental par exemple, se situe entre 35 cm et 190 cm pour un poids compris entre 0,9 kg et 146 kg (DIOUF et AMON KOTHIAS 1988).

Comme pour l'albacore, on peut dire que c'est une espèce pan-tropicale. Le jeune patudo a un aspect et une répartition proches de ceux de l'albacore ; souvent au niveau des prises ces deux espèces sont confondues. Une fois adulte, le patudo présente une allure plus massive et sa répartition diffère quelque peu de celles de l'albacore. Les patudos adultes se rencontrent plus souvent dans les eaux froides au-delà de la zone tropicale et dans les eaux infra-thermoclines intertropicales. Les jeunes patudos sont capturés en surface par la canne et la senne, les adultes sont capturés en surface par la senne et en profondeur par la palangre. Depuis quelques années, les armements asiatiques recherchent particulièrement les patudos adultes avec des palangres profondes.

Le germon (*Thunnus alalunga* Bonnaterre, 1788)

Le thon blanc est une espèce cosmopolite que l'on rencontre du sud de l'Irlande (où il est pêché par les germoniers français et espagnols) à l'Afrique du sud. Il est également capturé en Méditerranée. D'après FISCHER *et al.*(1981), le germon a une longueur maximale à la fourche de 120 cm. Les tailles couramment rencontrées en Atlantique tropical se situent entre 35 et 110 cm (DIOUF et AMON KOTHIAS 1988). Dans l'Atlantique tropical, les senneurs pêchent le germon "accidentellement", c'est-à-dire que les bancs de germons n'apparaissent pas à la surface de la mer et sont capturés

avec des albacores ou plus rarement des listao, sous lesquels ils nagent. Les palangres pêchent des germons adultes qui vivent dans les eaux infra-thermoclines.

Le thon rouge (*Thunnus thynnus thynnus* Linnaeus, 1758)

Le thon rouge n'est pas capturé dans la zone tropicale. On le pêche par exemple au sud de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande, en Atlantique (de la Norvège aux Canaries) et en Méditerranée où il est activement recherché par une flottille de petits senneurs français, italiens et espagnols⁴. Le thon rouge atteint la taille maximale de 300 cm : c'est le plus grand des thonidés (FISCHER *et al.*, 1981). En pêche sportive, un thon rouge de 679,0 kg (taille non connue) a été pris en 1979 au large de la Nouvelle-Ecosse (IGFA, 1984).

Plus de détails sur l'évolution de la pêche de surface en Atlantique et dans le Pacifique sont donnés dans l'annexe A dont les principaux articles sont extraits du document technique des pêches de la FAO numéro 302 (1989).

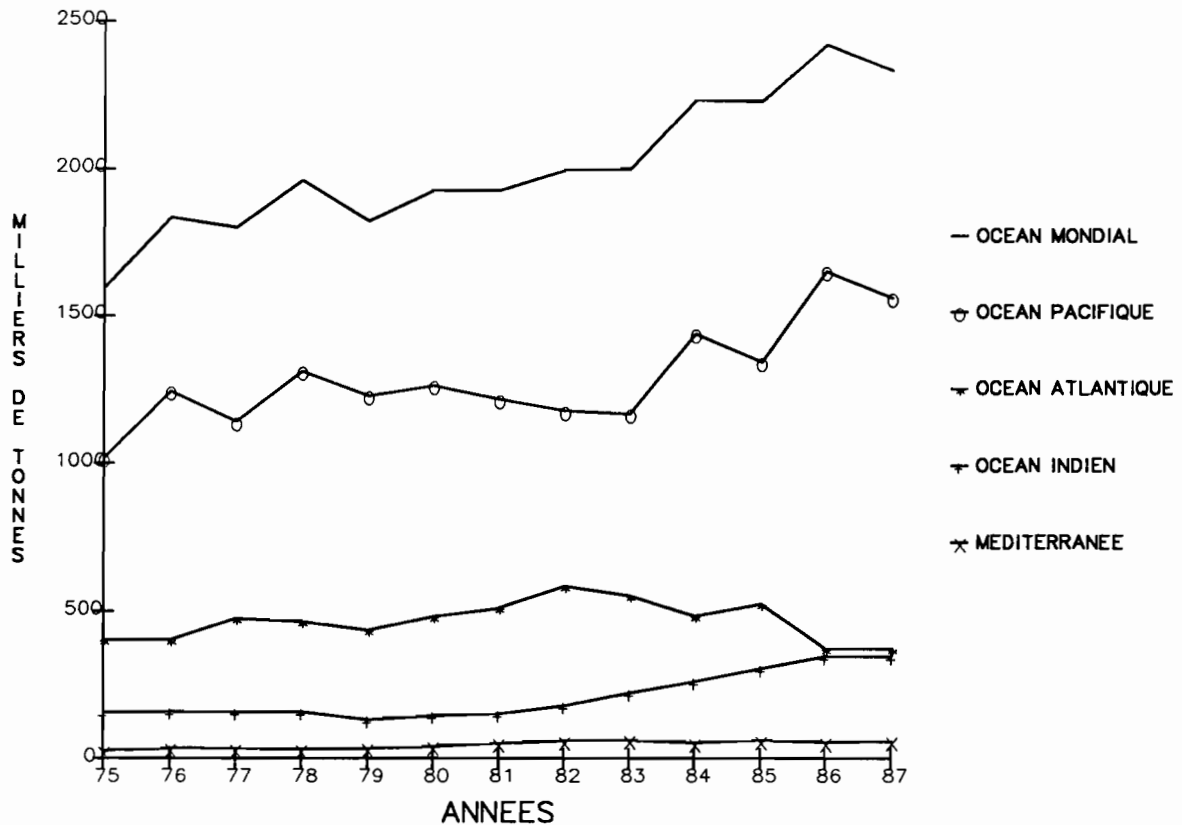


Figure 1 : Prises de thonidés majeurs dans les trois océans (Source IATTC).

Le marché des thonidés

Le marché du thon en conserve est tributaire des habitudes alimentaires des consommateurs. Les français et espagnols, habitués à manger un thon à chair claire, consomment préférentiellement le germon et l'albacore. Le marché italien où le consommateur est habitué à manger du thon à chair rouge achètera plutôt du gros

⁴ Prises de thon rouge en Méditerranée : 1983 : 13.10³t, 1984 : 17.10³t, 1985 : 18,5.10³t, 1986 13.10³t.

albacore ou du patudo. Depuis quelques mois le marché du thon en boîte pré-cuit commence à percer dans des pays où il n'y a pas de tradition de consommation de thon. Ce thon pré-cuit est vendu moins cher que le thon au naturel car contenant du listao (relativement moins cher).

Les thons pêchés par les flottilles asiatiques de palangriers sont en général de gros spécimens surtout destinés au marché japonais du *sashimi* (thon cru). Ils sont conservés éviscérés, étêtés et sans nageoires à une température de -60°C à sec. Ces poissons sont ensuite vendus congelés à la pièce à la criée de Tokyo, de Yaisu ou maintenant de Shimizu. En 1987, 85 000 tonnes de thons ont transités par Tsukidji, le marché de Tokyo. En 1987, le port de Yaisu a vu débarquer plus de 240 000 tonnes de thons par 384 palangriers, 523 canneurs, 337 senneurs et 128 autres bateaux de pêche pour une valeur de 550 millions de dollars US. Shimizu revendique la place de premier port thonier du Japon (donc du monde) avec un débarquement de 290 000 tonnes. Il y a 10 ans le thon frais représentait 90 % des ventes au Japon; aujourd'hui, 90 % du thon consommé est congelé. Les poissons les plus prisés des japonais sont le patudo de plus de 100 kg, le thon rouge, l'albacore et le germon. A Tokyo le prix du thon vendu au détail pour le *sashimi* (généralement la poitrine de patudo) peut atteindre la somme de 800 F le kilo !

En 1989, au niveau mondial, le marché des thons majeurs se répartit comme suit : 60% de la production soit 1,8 millions de tonnes est appertisée, 10% est consommé sous forme de poisson frais, 12% sous forme salée, et 17% sous forme de *sashimi* sur le marché japonais (CHARNEAU, communication personnelle). La même année, la production mondiale de thon en conserve s'élevait à 1,8 million de tonnes. Nous avons repris de la thèse de CHARNEAU (1989) quelques tableaux pour illustrer les échanges de thons frais, réfrigéré ou congelé au niveau mondial (TABLEAU 3a), par pays ou par région (TABLEAU 3b et 3c), les échanges mondiaux⁵ de thons en conserve (TABLEAU 3a) et la part que représentent les produits thoniers dans le commerce mondial des produits de la mer. CHARNEAU (*op. cit.*) rapporte le fait que les 869 millions de tonnes de thons échangées en 1986, ont atteint une valeur de 1,2 milliards de dollars soit respectivement en poids et en valeur 2,6% et 5,5% du commerce mondial des produits de la mer.

Les six principaux pays pêcheurs (Japon, USA, Espagne, France, Taïwan et Corée avec 1,45 million de tonnes pêchées en 1984) sont à une exception près les principaux pays producteurs de thon en conserve (USA, Japon, Italie, France, Espagne et Taïwan avec 0,5 million de tonnes traitées en 1985 - MARCILLE, 1986). Depuis cinq ans, la production thaïlandaise devient de plus en plus prépondérante : c'est ainsi qu'en 1989, ce pays a mis près de 400 000 tonnes de thons en boîte contre 87 000 tonnes en 1985 (CHARNEAU communication personnelle). Cette montée en puissance de la Thaïlande est à relier à la diminution voire la disparition des conserveries américaines. Les bas prix pratiqués par la Thaïlande ont entraîné une relance de la consommation aux USA, freinée, sous la pression des mouvements écologistes, depuis quelques mois par le problème des prises de thonidés associés à des dauphins.

La crise actuelle que vit le monde thonier a pour origine une surproduction de thon appertisé, associée à une mévente des conserves. C'est ainsi qu'en janvier 1990, l'albacore de plus de 10 kg se vendait, au niveau européen, à 1600 dollars la tonne (avec un dollar à 6,50 FF) alors qu'en décembre 1990, cette même tonne d'albacore se négociait à 1 000 dollars (pour un dollar à 5 FF). Le listao, sur lequel ne règne pas de suspicion de pêche en association avec des dauphins, se négocie entre 700 et 900 dollars la tonne CAF à Porto-Rico. Au niveau français, le prix de règlement aux armateurs par la SOVETCO⁶ qui tient compte d'une composition moyenne des captures⁷ était de 6,44 F en novembre 1989, 5,87 F en janvier 1990 contre 3,72 F en novembre 1990, soit le prix pratiqué en 1979 (source SNATC⁸).

5 CHARNEAU (*op.cit*) met en garde sur le caractère approximatif de l'évaluation des volumes des échanges en raison des carences et de l'hétérogénéité des appareils statistiques nationaux.

6 SOVETCO : SOciété de VEnte de Thon COngelé

7 50% d'albacore de plus de 10 kg, 5% de moins de 10 kg, 40% de listao de plus de 1,8 kg et de 5% de moins de 1,8 kg

8 SNATC : Syndicat National des Thoniers Congélateurs

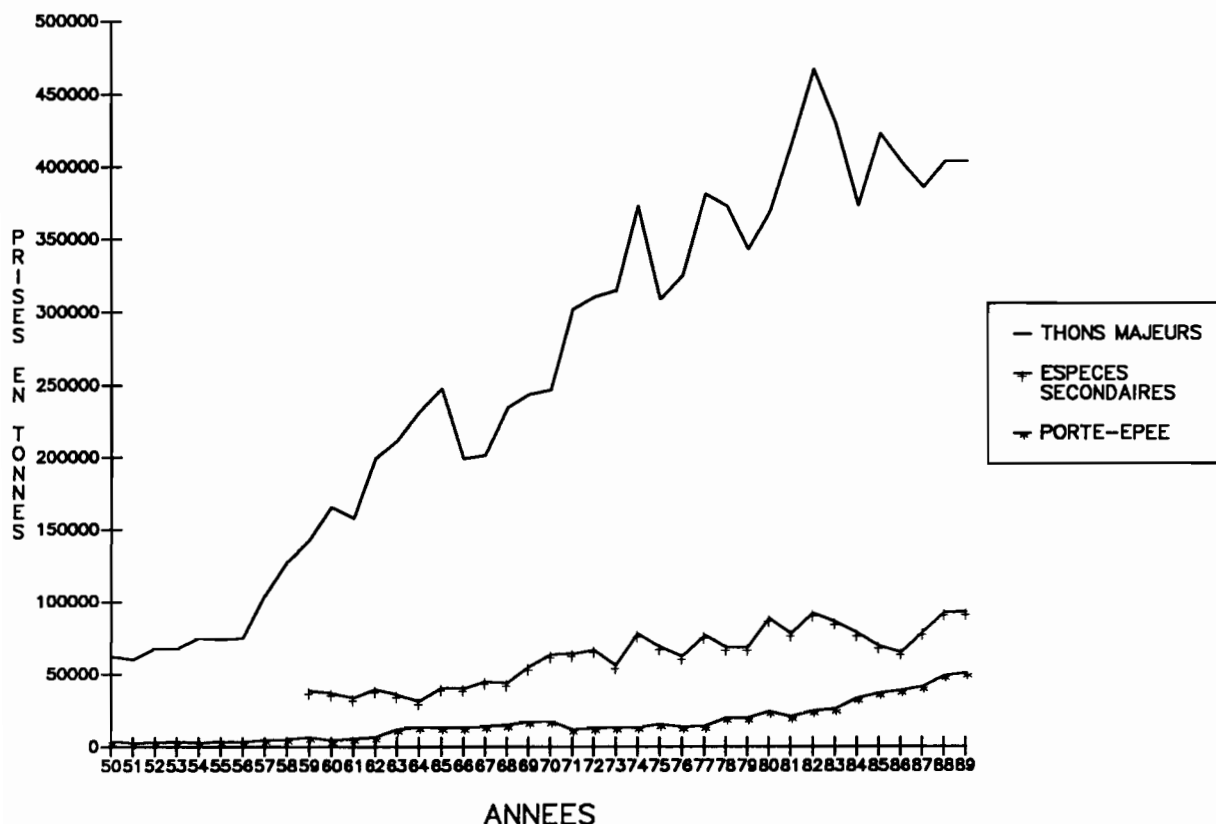


Figure 2 : Prises de thonidés majeurs, d'espèces secondaires et de poissons porte-épée en Atlantique (Source IATTC).

Etat des stocks

Le SCRS⁹ de l'ICCAT maintient l'hypothèse de l'existence de deux stocks indépendants dans l'Atlantique, malgré la possibilité de brassage entre les stocks d'albacore de l'Atlantique est et ouest confirmée par des récupérations de marques sur de grands poissons ayant traversé l'océan. Malgré ces faits, le SCRS, lors de sa dernière réunion en novembre 1990, n'a pas présenté d'évaluation du stock d'albacore selon l'hypothèse de l'existence d'un stock unique dans l'Atlantique. Du modèle global ajusté pour la période 1966-1989 il ressort que pour le stock de l'Atlantique est, la pêche actuelle pourrait être proche de la pleine exploitation (ICCAT, 1990).

Pour la première fois en 1990, une tentative d'évaluation du stock d'albacore de l'Atlantique ouest a été faite en 1990, il en ressort que la situation du stock serait proche de la pleine exploitation (ICCAT, 1990). Des résultats comparables ont été obtenus dans le Pacifique est.

La dernière évaluation détaillée de l'état du stock de listao de l'Atlantique est a été faite en 1984. A l'heure actuelle, le SCRS estime que l'on est dans une situation de sous-exploitation du stock (ICCAT, 1990). Le programme thonier de la Commission du Pacifique Sud a obtenu le même diagnostic pour l'ensemble du Pacifique occidental (KLEIBER *et al*, 1987).

Dans l'hypothèse de l'existence d'un seul stock de patudo dans tout l'Atlantique, l'analyse par modèle de production suggère que les captures actuelles seraient à un

⁹ SCRS : Sous-Comité pour la Recherche et les Statistiques

niveau inférieur à ceux calculés pour une prise maximum équilibrée (PME ou MSY en anglais). L'analyse au moyen du modèle global indique aussi que l'effort de pêche sur le patudo est à un niveau inférieur à l'effort de pêche optimal (ICCAT, 1990).

Ces quelques exemples de diagnostics par études de dynamique classique confirment qu'en règle générale, les thonidés sont en sous-exploitation en Atlantique comme dans le Pacifique. Le cas de l'océan Indien qui vient d'être le lieu d'un très fort développement de la pêche de surface ne sera pas discuté ici en raison du caractère relativement récent de ce développement par rapport à la validation des modèles.

Tableau 1 : Liste des espèces de thonidés et espèces voisines (et de leur code ICCAT) recensées et comptabilisées par l'ICCAT.

1. Espèces principales	
YFT	: Albacore <i>Thunnus albacares</i>
SKJ	: Listao <i>Katsuwonus pelamis</i>
BET	: Patudo <i>Thunnus obesus</i>
ALB	: Germon <i>Thunnus alalunga</i>
BFT	: Thon rouge <i>Thunnus thynnus thynnus</i>
SBF	: Thon rouge du sud <i>Thunnus maccoyii</i>
BLF	: Thon à nageoires noires <i>Thunnus atlanticus</i>
2. Espèces secondaires	
LTA	: Thonine <i>Euthynnus alleteratus</i>
BON	: Bonite à dos rayé <i>Sarda sarda</i>
FRI	: Auxide ou ravil <i>Auxis thazard</i>
BLT	: Auxide <i>Auxis rochei</i> *
BOP	: Palomette <i>Orcynopsis unicolor</i>
WAH	: Wahoo <i>Acanthocybium solandri</i>
SSM	: Maquereau espagnol <i>Scomberomorus maculatus</i>
KGM	: Thazard <i>Scomberomorus cavalla</i>
MAW	: Thazard blanc <i>Scomberomorus tritor</i>
CER	: Thazard franc <i>Scomberomorus regalis</i>
KGX	: Thazard non classés <i>Scomberomorus</i> spp.
3. Poissons porte-épée	
SWO	: Espadon <i>Xiphias gladius</i>
SAI	: Voilier <i>Istiophorus albicans</i>
BUM	: Marlin bleu <i>Makaira nigricans</i>
WHM	: Marlin blanc <i>Tetrapturus albidus</i>
BIL	: Porte-épée divers <i>Istiophoridae</i>
4. Autres	
OTH	: Espèces inconnues ou mélangées

* Espèce non capturée en Atlantique

Tableau 2a: Prises mondiales des thonidés majeurs (source : IATTC, 1988)

ANNEES	PACIFIQUE	ATLANTIQUE	INDIEN	OCEAN MONDIAL
1975	1 016	331	153	1 595
1976	1 242	348	158	1 835
1977	1 140	397	155	1 800
1978	1 310	389	156	1 959
1979	1 227	357	130	1 822
1980	1 262	379	144	1 926
1981	1 215	424	149	1 925
1982	1 176	479	177	1 995
1983	1 167	444	220	2 000
1984	1 437	365	260	2 182
1985	1 340	461	303	2 199
1986	1 651	438	344	2 433
1987	1 560	370	344	2 392

Tableau 2b : Prises mondiales de thonidés majeurs en milliers de tonnes (Sources IATTC 1986, 1987, 1988, 1989).

		1984		1985		1986		1987	
	LIS.	1029	33,6%	892	28,3%	1070	30,6%	987	29,0%
	ALB.	594	19,4%	740	23,5%	780	22,3%	823	24,2%
ESP.	PAT.	199	6,5%	231	7,3%	256	7,3%	238	7,0%
PRIN.	GER.	173	5,6%	171	5,4%	196	5,6%	171	5,0%
	THR	67	2,2%	68	2,1%	57	1,6%	55	1,6%
	TOT. ESP.PRIN.	2182	71,3%	2199	69,8%	2433	69,6%	2392	70,4%
	INCONNUES	120	4,0%	97	3,1%	74	2,1%	119	3,5%
	ESP. SECOND.	771	25,2%	843	26,7%	947	27,1%	892	26,2%
	P. PORTE EPEE	106	3,5%	110	3,5%	114	3,3%	116	3,4%
	TOTAL THONIDES	3059	100,0%	3152	100,0%	3494	100,0%	3400	100,0%

LIS : Listao ; ALB : Albacore ; PAT : Patudo ; GER : Germon ; THR : thon rouge ; ESP : Espèce ; PRIN : principale ; TOT : Total ; SECOND : secondaire ; P : Poisson.

Tableau 3a : Commerce international des produits thoniers : quantités échangées annuellement dans le monde entre 1985 et 1987 en millier de tonnes (D'après CHARNEAU, 1989)

	1985	1986	1987
Thons frais, réfrigéré, congelé			
Importations	693,857	869,249	948,512
Exportations	588,693	815,612	785,599
Thon en conserve			
Importations	289,178	242,352	278,823
Exportations	464,822	575,594	667,163
Part du poids des produits thoniers dans le commerce mondial des produits de la mer			
	2,62%	2,68%	3,44%

Tableau 3b : Structure par pays des importations mondiales de thon frais, réfrigéré et congelé entre 1985 et 1987 en millier de tonnes (D'après CHARNEAU, 1989)

	Am.Nord	Japon	Europe ouest	Asie S.E.	Afrique noire	TOTAL
1985	195,5	149,6	144,9	86,1	82,1	693,1
1986	288,3	158,5	166,3	248,6	81,7	869,2
1987	281,8	285,6	241,9	285,8	72,2	948,5

Tableau 3c : Structure par pays et par zone des exportations mondiales de thon frais, réfrigéré et congelé entre 1985 et 1987 en millier de tonnes (D'après CHARNEAU, 1989)

	Japon	Europe	Afrique	A.latine	Asie S.E.	Océanie	TOTAL
1985	31,4	92,7	39,7	189,3	157,9	48,4	588,7
1986	53,1	137,6	27,4	142,3	272,6	53,6	815,6
1987	49,6	15,4	47,8	8,3	179,9	37,8	785,6

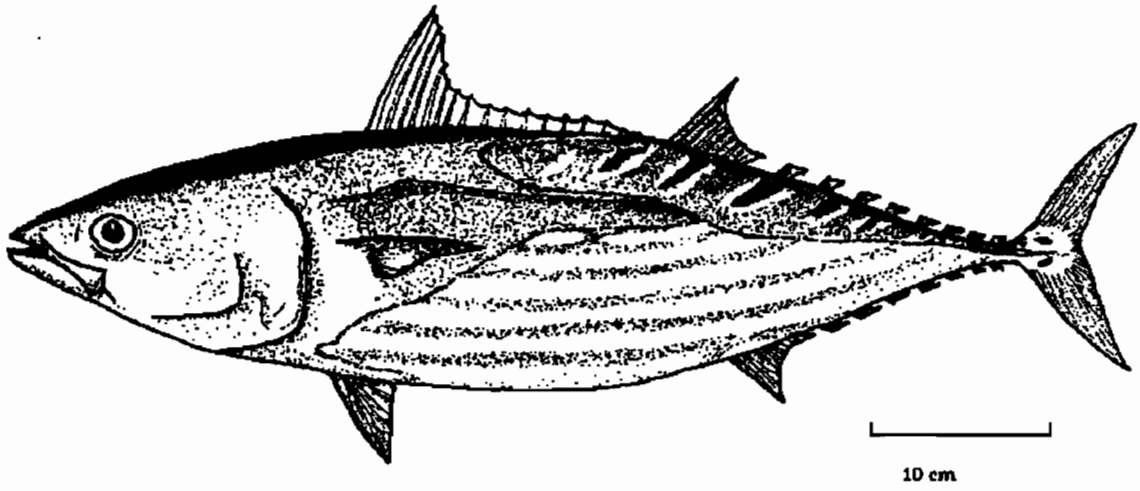


Figure 3 : Listao (*Katsuwonus pelamis* Linnaeus, 1758) ICCAT (1972)

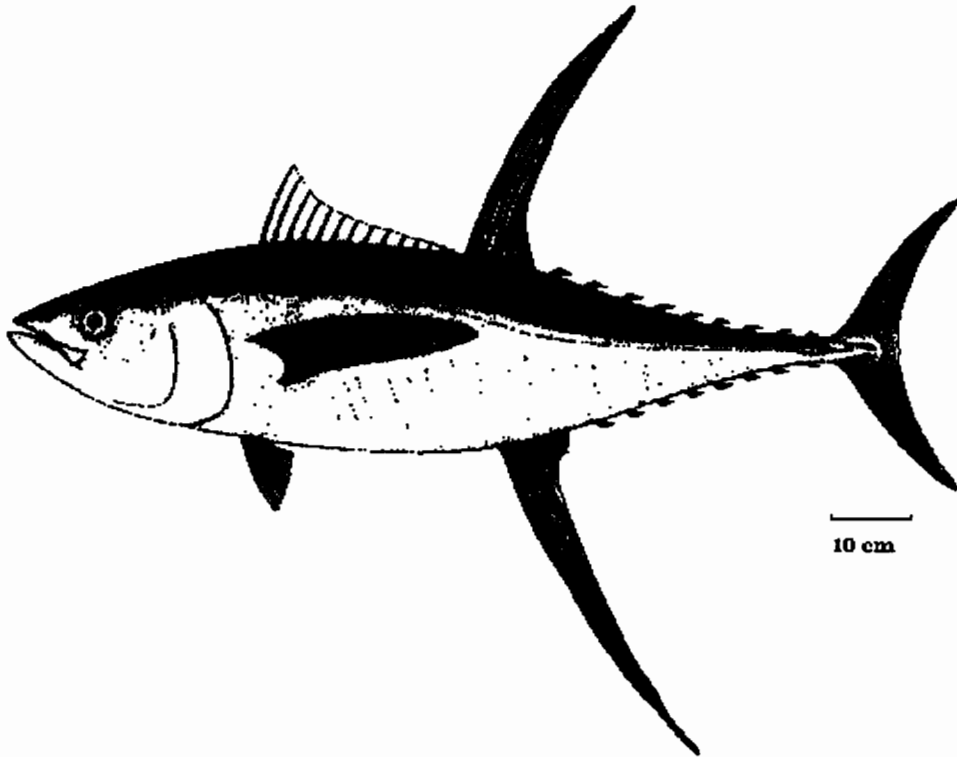


Figure 4 : Albacore (*Thunnus albacares* Bonnaterre, 1788) ICCAT (1972)

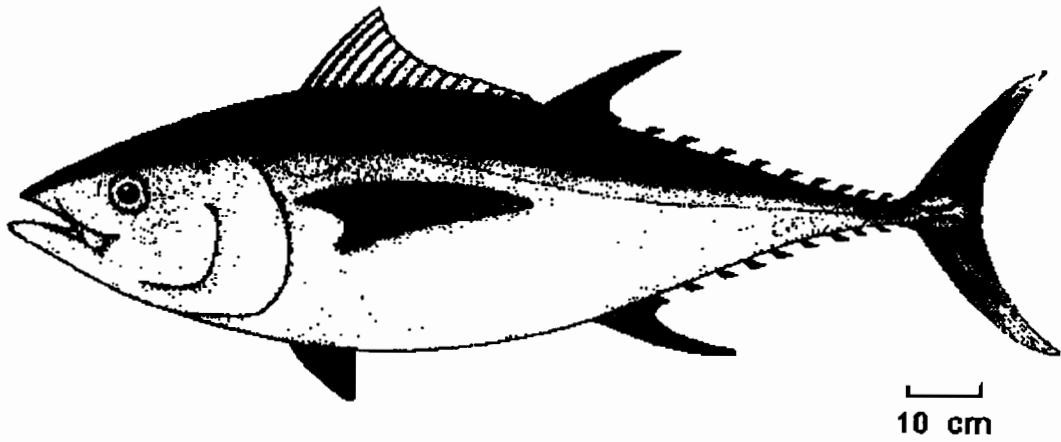


Figure 5 : Patudo (*Thunnus obesus* Lowe, 1839) ICCAT (1972)

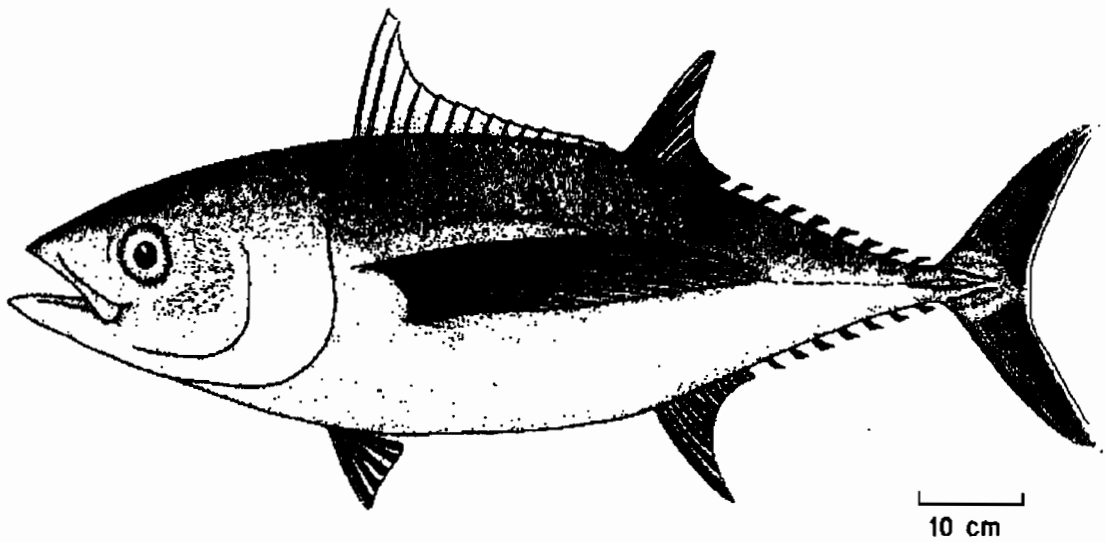


Figure 6 : Germon (*Thunnus alalunga* Bonnaterre, 1788) ICCAT (1972)

LES THONIDES ET LA RECHERCHE HALIEUTIQUE

Les thèses soutenues ces dernières années en halieutique et sur les thonidés en particulier, visent à l'aménagement rationnel de la ressource et des pêcheries (thèses de BARD, (1981) sur le germon de l'Atlantique nord, FONTENEAU (1981) sur l'albacore intertropical, FARRUGIO (1981) sur le thon rouge en méditerranée) et à une meilleure connaissance de la biologie de certaines espèces de thonidés (Thèses de ALONCLE et DELAPORTE (1975) sur le germon de l'Atlantique nord, CAYRE (1985) sur le listao). Ces recherches sont capitales à tous les stades de l'exploitation d'une ressource halieutique. Au début de cette exploitation, elles tendent à mettre en place les outils utiles à une gestion de la ressource la meilleure possible. Outre cette mise en place des outils, l'halieute fait le recensement de toutes les informations sur le milieu (courants, zones de divergence, de convergence, d'upwellings côtiers saisonniers ou permanents etc.). L'halieute devenu océanographe, dispose ensuite de tous les moyens modernes pour mettre en place une surveillance de la nouvelle zone d'exploitation (satellites, banques de données, rapidité de transmission des informations, etc.)

Quand la ressource est exploitée, ces recherches tendent au contrôle de l'effort de pêche, des tailles capturées pour permettre une exploitation optimale. Ces recherches s'appuient sur un réseau d'enquête et un travail indispensable et permanent d'échantillonnage. Le groupe cible de ses recherches est principalement le gestionnaire des pêches. Dans le cas d'une pêcherie internationale comme celle des thonidés, le travail de l'halieute se fait au sein d'un organisme international de gestion comme le sont l'ICCAT en Atlantique, l'IATTC dans le Pacifique oriental, etc.

Notre démarche concerne plus la recherche et l'évaluation de nouvelles ressources ainsi que l'amélioration des rendements d'un stock de thonidés en cours d'exploitation.

Les recherches sur l'évaluation de nouvelles ressources sont utiles au stade initial de l'exploitation d'un stock. Elles permettent la découverte de nouveaux gisements et également d'évaluer à la demande d'un pays ce qu'il pourrait escompter de l'exploitation de la ressource thonière quand elle est présente dans les eaux sous sa juridiction. Pour un pays ayant un accès à la ressource, cela peut se traduire en termes de développement d'une pêcherie propre soit industrielle soit artisanale, de l'octroi de licences de pêche et/ou le développement d'infrastructures liées à la pêche thonière source de devises. Les groupes cibles de ses recherches sont principalement les économistes et les administrateurs des pêches.

Les recherches sur l'amélioration des rendements d'un stock de thonidés tendent en fait à l'amélioration de la capturabilité potentielle des bancs de thons. Le groupe cible de ses recherches est principalement le pêcheur et également l'administrateur des pêches.

A l'ORSTOM, les recherches en matière de thonidés remontent à la fin des années 50. Elle se sont développées en suivant l'essor des flottilles thonières française, sénégalaise et ivoirienne. C'est ainsi que les centres de Dakar, d'Abidjan et de Pointe-Noire ont hébergé de nombreux halieutes. Les liens entre halieutes et professionnels sont étroits. Les premiers patrons français débarquant leur pêche dans l'océan Indien ont trouvé "naturel" de voir un halieute de l'ORSTOM monter à bord pour récolter les données de pêche de la marée. Le contact ne s'est jamais rompu. Au sein de l'ORSTOM, les programmes de recherches sur les thonidés sont regroupés dans une Unité de Recherche intitulée : "Environnement et ressources hauturières" au sein du Département Terre, Océan, Atmosphère. L'ORSTOM est le seul organisme de recherche travaillant sur les thonidés à une échelle mondiale selon une certaine coordination indépendamment des groupes cibles et des transferts potentiels, les

motivations, au sein de l'UNITE DE RECHERCHE, résident essentiellement dans la maîtrise de toute une chaîne d'analyse qui part des études sur l'environnement des thons pour aboutir à l'évaluation de stock et la prévision de zones de pêche à partir de données issues de la télédétection aérospatiale.

PROBLEMATIQUES ET MOTIVATIONS DES RECHERCHES ENTREPRISES

Les recherches que nous avons menées ont été initiées par des programmes conçus vers la fin des années 70 et le début des années 80. Pour en comprendre les développements, il est plus correct de les replacer dans la problématique d'alors plutôt qu'au travers de l'optique actuelle : il est plus honnête pour un alpiniste, une fois en haut, d'expliquer ses projets initiaux et les raisons qui l'ont fait éventuellement changer de voie plutôt que de démontrer, *ex abrupto*, que la seule voie logique est la sienne puisqu'il a bien fini par arriver au sommet.

Fin des années 70 donc, la science halieutique, forte de ses résultats ou de ses illusions, ne se remet pas vraiment en question et pense que les résultats de ses travaux peuvent contribuer à des changements dans la société aussi bien que dans l'écosystème. L'halieute fait donc partie des *"scientifiques à responsabilité"* (MAC CALL, 1985). Les modèles de dynamique sont très déterministes et procèdent d'une mécanique quasi newtonienne même si leurs utilisateurs à la fois s'en défendent et d'un autre côté les poussent jusqu'aux extrémité irréalistes des modèles multispécifiques. GLEICK (1987) explique que *"si à notre époque dominée par la relativité d'Einstein et le principe d'incertitude d'Heisenberg, l'optimisme de Laplace peut faire sourire, son rêve n'en a pas moins été poursuivi par une bonne partie de la science moderne !"*. Et il poursuit à propos de scientifiques tels que biologistes, neurologues, économistes auxquels nous ajoutons sans hésiter les halieutes : *"De manière implicite, la mission de ces scientifiques, a consisté à décomposer leurs univers en atomes simples qui obéissent aux lois scientifiques"*.

Sans que *"l'effet papillon"* des théoriciens du chaos n'aillent jusqu'à effleurer les dogmes halieutiques, au début des années 80 cependant, quelques désagréables réactions de stocks qui en dépit d'aménagements et de quota refusaient de s'aligner sur les courbes prévues et prédictives, ébranlent quelques certitudes. Et l'on redécouvre l'environnement...

Un autre fait, du ressort de la politique internationale, est alors décisif : la prise en compte et la mise en place des Zones Économiques Exclusives (ZEE). Les pays, responsables de leurs zones, sont fortement demandeurs d'une évaluation d'abondance halieutique dans un souci généralement d'exploitation mais aussi de gestion et de protection. Dans un certain nombre de cas, cette évaluation se devait d'être faite en l'absence de toute pêche.

Des groupes d'experts chargés d'examiner les méthodes d'évaluation d'abondance des stocks et de ses variations, patronnés ou non par des organismes internationaux tels que la FAO ou l'ICCAT, rassemblent leur expérience. Dans le cas de pêcheries en place, et d'accès aux statistiques des prises, deux méthodes sont très largement employées : la CPUE (capture par unité d'effort) qui souffrent de la difficulté chronique à définir cet effort et l'**analyse des cohortes** très sensible à la variation de la mortalité naturelle dont l'estimation est souvent des plus arbitraires. L'emploi de ces méthodes, dans de bonnes conditions, permet néanmoins un diagnostic du stock exploitable. En cas de pêcheries trop dispersées ou de statistiques inexploitable, on peut avoir recours à des prospectives par pêches commerciales (coopérative) ou expérimentales (recherche océanographique). Dans ce cas les résultats des évaluations sont très dépendants du plan d'échantillonnage et souvent pauvres compte tenu de facteurs externes tels que le coût. Très coûteuses aussi en budget et en temps, les techniques de marquages sont elles trop subordonnées à l'établissement ou au développement des pêcheries pour les recaptures. Une autre solution consiste à utiliser les recensements d'oeufs et de larves qui dans certains cas (pontes très localisées, par exemple) sont efficaces.

Enfin, restent les méthodes directes *sensu-stricto*, c'est-à-dire sans recours à la pêche : les prospections acoustiques et les prospections aériennes. Pour les premières, les experts réunis par la FAO à San José en 1983 considèrent qu'elles sont encore dans une phase de développement devant les problèmes d'étalonnage et d'échantillonnage. Pour les thonidés, de toute façon, la détection acoustique est peu utilisable. Ainsi pour répondre aux demandes d'évaluation du potentiel en thonidés et la part des pays et territoires hôtes, l'ORSTOM n'a pas eu vraiment le choix de la méthode pour les zones non pêchées et a logiquement organisé des programmes de Radiométrie Aérienne et Prospection Thonière (RAPT) tout en participant peu ou prou aux programmes de marquage menés par des organismes internationaux (ICCAT, CPS, Année Listao...). Cette orientation a d'autant été plus facile que la technique RAPT avait été initiée et testée à petite échelle dans les années précédentes par d'autres chercheurs de l'ORSTOM (LE GUEN *et al.*, 1972 ; STRETTA *et al.*, 1973 ; NOEL *et al.*, 1975).

Fin des années 1970, c'est encore le choc pétrolier et le poste énergie pèse très lourd dans les bilans d'exploitations des navires, plus particulièrement pour les senneurs qui consacrent la majorité de leur temps en "recherche". M. DION (1982), secrétaire du Syndicat National des Armateurs Thoniers Congélateurs (SNATC) explique : *"Mais cette recherche [effectuée par les senneurs] quelle est-elle ? Pour quoi et comment est-elle effectuée ? Pour se convaincre de l'importance de cette recherche, il faut se rappeler :*

1. que le thon suit des voies de migration de plusieurs milliers de milles nautiques, qui ne sont pas aussi immuables que la ligne métro Bastille-Nation,

2. que le thon est un poisson pélagique faisant de courtes apparitions en surface, généralement pour chasser sa nourriture.

Dès lors, le jeu (si l'on peut dire) va consister :

1. à découvrir les voies de migration donc, les conditions de l'environnement favorables à la présence du thon,

2. à découvrir les signes annonciateurs de la présence du thon (troupees d'oiseaux, cétaqués), sans parler des autres thoniers concurrents,

3. à découvrir le banc de thon lui-même (la matre),

4. à l'encercler dans la senne déployée par le thonier quand cette matre vient, ou est, en surface.

Seule, cette dernière opération constitue la pêche en elle-même, les trois premières étant des opérations de prospection. La majeure partie du temps de mer d'un thonier est donc consacrée à la recherche."

C'est dans ce contexte que le Bureau d'Aide à la Pêche (BAP), sorte d'interface avant l'heure profession / recherche, va être créé entre l'ORSTOM et la SNATC. Le terme "d'aide à la pêche", très en vogue à l'époque, comme nous le verrons dans la suite est très peu heureux, tout simplement parce que les pêcheurs n'ont pas besoin d'être aidé (appelle-t-on "aide aux agriculteurs", les prévisions du gel ?) et que dans un organisme de recherche et de développement d'état, il n'est pas très bien vu d'aider un groupe d'industriels privés. En fait, le BAP se révélait une structure de recherche de premier ordre en rassemblant dans une même base, données de pêche et données d'environnement.

En revenant à des recherches sur l'environnement, les programmes se heurtaient rapidement aux problèmes de modélisations et de vu synoptique dans l'espace et dans le temps des variations de cet environnement. Dans la même réunion FAO précédemment citée (San Jose, 1983), A.BAKUN explique : *"L'ignorance des processus régulant le recrutement a été identifiée comme étant peut être le problème le plus sérieux entravant le progrès de la science halieutique. L'étude des données historiques pour découvrir les relations claires, semble avoir été un échec remarquable. L'un des arguments est que l'on ne devrait pas s'attendre à trouver des relations simples ou constantes. Etant donné la multitude des effets ambiants concevables et la relative brièveté des séries chronologiques sur les pêches, on peut en général trouver quelque relation empirique entre les pêches et une série de données du milieu. Il est clair qu'une approche plus rigoureuse du problème est maintenant nécessaire à l'intérieur d'un cadre de travail conceptuel solide*

permettant à l'analyse de se développer d'une manière plus scientifique. Les approches rationnelles basées sur la compréhension des processus et les approches empiriques fondées sur l'analyse des séries chronologiques, devraient être combinées de manière à incorporer toute l'information pertinente disponible. La conception des programmes d'observation, des systèmes de suivi, et des expérimentations devrait être intégrée de manière à ce que tous ces éléments soient complémentaires. Toutes les méthodes "courtes" possibles telles que les études comparatives interrégionales ou autres devraient être évaluées et utilisées le cas échéant".

Comme pour l'évaluation d'abondance et la prospection, la télédétection allait s'avérer être l'outil de base pour l'acquisition des données du modèle empirique développé dans le cadre du BAP.

CHAPITRE 1

THONIDES : LA SYNTHÈSE ÉCOLOGIQUE

1.1 PREAMBULE : QU'EST-CE QU'UN THON ?

Dans la démarche adoptée dans la suite de l'exposé, qu'appellerons nous "thon" ? Tout d'abord, nous ne retiendrons que les espèces tropicales bien que ce qui suit s'appliquerait dans la grande majorité des cas aux espèces tempérées. En fait notre propos n'est pas du tout spécifique, comme cela se fait habituellement. Plus simplement, nous nous sommes efforcés d'étudier le problème sous l'angle de l'exploitation d'une niche écologique précise par des animaux d'espèces voisines, de métabolismes proches et soumis aux mêmes contraintes écophysologiques qui ont imposé une convergence certaine dans le comportement.

Les pêches de surface (senne, canne et traîne) portent sur des poissons de taille et de poids différents mais tous situés dans la même partie de leur cycle - à l'exception du listao. Ceci est vrai aussi bien dans l'Atlantique (FONTENEAU, 1986) que dans le Pacifique ou l'océan Indien.

En d'autres termes, la production intéressant la pêche de surface concerne surtout les immatures d'âge minimum situé autour de un an. Pour le listao, les auteurs ne s'accordent pas sur la taille de première maturité (YOSHIDA, 1964 ; CAYRE 1981, 1985) et il est, par conséquent difficile de dire si la majorité des listaos pêchés ont atteint ou non cet âge. De toutes façons, cette incertitude reste un peu secondaire dans notre étude car il est admis que la maturation des oeufs peut s'effectuer très rapidement et en tout lieu qui semble propice aux géniteurs (CAYRE, 1985).

En résumé, après ces quelques "simplifications", nous entendrons par le terme de "thons", des bancs de poissons dans une même période de leur cycle vital, présents dans les pêcheries de surface et exploitant la même niche écologique. Nous verrons plus loin que nous serons amenés à considérer essentiellement dans leur comportement la motivation trophique (figure 1.1.)

1.2. L'HABITAT DES THONIDES TROPICAUX

1.2.1. INTRODUCTION

L'habitat des thonidés tropicaux¹⁰ est conditionné par les mêmes principes généraux quelque soit l'océan étudié ; toutefois, pour le décrire, nous choisirons principalement nos exemples dans l'océan Atlantique oriental.

Les thonidés se déplacent, se concentrent, se nourrissent et se reproduisent dans la ceinture inter-tropicale de l'océan mondial. Ils évoluent au sein de différents systèmes hydrologiques qui sont largement conditionnés par la climatologie et l'hydroclimatologie qui règnent dans cette ceinture inter-tropicale.

Avant de décrire, dans les grandes lignes, le milieu physique dans lequel évoluent les thons, nous brosserons un rapide tableau de l'historique des études de l'habitat des thonidés au sein de l'océan mondial et du golfe de Guinée.

¹⁰ Par la suite, nous emploierons le terme thonidés pour désigner les thonidés tropicaux.

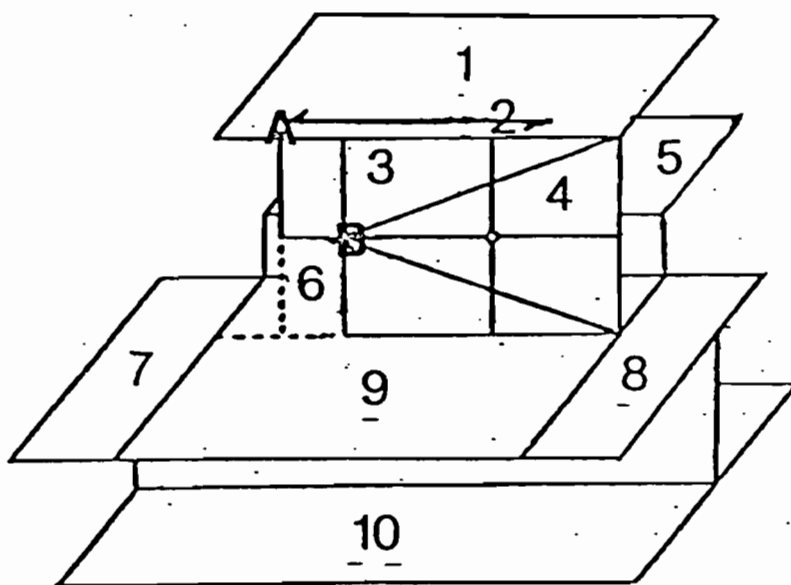


Figure 1.1. : Exemple de représentation du système-pêche ou la relation "typique" homme-listao.

Clé :

- | | |
|-------------------------|--------------------------|
| 1 : Homme | 6 : Effort de nourriture |
| 2 : Effort de recherche | 7 : Espèces rivales |
| 3 : Effort de pêche | 8 : Espèces voisines |
| 4 : Prise | 9 : Listao |
| 5 : Espèces prédatrices | 10 : Espèces fourrage |

(D'après WATANABE 1972, cité dans SHARP 1981)

1.2.2. HISTORIQUE DES ETUDES DE L'HABITAT DES THONIDES

Les études de l'habitat des thons sont anciennes ; dans le Pacifique les travaux de UDA (1931a et 1931b), BINI (1952) et ROBINS (1952) évoquent la température de surface pour caractériser l'environnement des thonidés. La première synthèse importante au niveau mondial a été faite par LAEVASTU et ROSA (1963) au cours du symposium de La Jolla (Californie USA) en 1962. Dans les actes de ce symposium, publiés par la FAO (1963), de nombreux auteurs sont cités quand des notions d'environnement sont évoquées pour chaque espèce. Ces notions d'environnement se bornent le plus souvent à rappeler les gammes thermiques au sein desquelles évoluent les thons.

Dans le golfe de Guinée les études d'environnement ont véritablement débuté par les travaux de POSTEL (1955a, 1955b) sur les thoniers GERARD TRECA et ALBACORE. POSTEL a défini les aires de répartition des principales espèces et les grandes lignes des relations des thons avec leur milieu. Par la suite, BANE (1963) a analysé les données de la campagne du COLUMBIA en 1959-1960 sur les côtes africaines du Libéria à l'Angola. L'étude de la relation thon/environnement s'est

poursuivie à l'ORSTOM par les travaux de LE GUEN *et al.*, (1965). Mais comme le soulignait POSTEL (1966), "*les connaissances acquises sur la répartition et l'abondance des thons dans cette région du golfe (de Guinée) sont dues beaucoup plus à l'analyse des données de la pêche commerciale qu'au dépouillement des expéditions océanographiques*".

1.2.3. LES PRINCIPALES STRUCTURES HYDROLOGIQUES RENCONTREES

Par delà ces traits principaux du milieu physique, le régime des vents et les circulations vont créer différents types de structures hydrologiques dans la ceinture tropicale des océans. Ces principaux types de structure hydrologique sont :

- les eaux côtières ;
- la zone de rupture du plateau continental ;
- les zones de convergence ;
- les eaux issues de l'upwelling équatorial ;
- la crête thermique (Atlantique sud) ;
- les dômes thermiques ;
- les guyots ;
- les effets d'îles ;
- les eaux oligotrophes.

Nous allons à présent décrire dans leurs grandes lignes ces différentes structures hydrologiques et évoquer leur relation avec les thonidés.

1.2.3.1. Les eaux côtières ;

Les eaux côtières peuvent se définir comme étant celles se trouvant sous l'influence de la côte, c'est-à-dire subissant l'influence continentale (apport terrigène par les eaux de ruissellement) et se situant au-dessus du plateau continental. Cette définition devient contestable lorsqu'il n'y a pas de plateau continental ou que ce dernier est très réduit comme c'est le cas par exemple autour d'îles d'origine volcanique. Nous prendrons comme définition des eaux côtières, l'ensemble des masses d'eaux sous l'influence continentale et sous l'influence de systèmes côtiers tels que les upwellings. Il ne faut pas perdre de vue que les régions océaniques au-dessus du plateau continental sont peu fréquentées par les senneurs du fait que la chute de leur senne (la hauteur) est le plus souvent supérieure à la profondeur, de plus ces eaux côtières sont sous la juridiction directe du pays riverain. Cependant les canneurs battant pavillon du pays riverain (ghanéens et sénégalais) pêchent dans cette zone de petits thonidés. C'est ainsi que les pêches artisanales des pays riverains font état de prises d'espèces secondaires de thonidés (ravail, thazards, etc.). Ces prises de thonidés secondaires alimentent uniquement les marchés locaux.

Dans le golfe de Guinée, les eaux côtières au sens large sont des zones de pêche active et l'on peut ainsi distinguer trois principales régions côtières : les provinces maritimes sénégal-mauritanienne, ivoiro-ghanéenne et gabonaise.

C'est ainsi qu'au large de la Côte d'Ivoire, la principale activité de pêche se déroule dans les strates côtières (de la côte à 4°N et de 7°W à 0°) avec 39,3% du nombre de calées et 29,9% de l'effort de pêche de l'ensemble de la province maritime ivoirienne que nous avons définie comme s'étendant de la côte à 2°S (Cf ANNEXE B). Cette distinction entre strates côtières et strates du large, n'est sensible que pendant les saisons de pêche de janvier à mars et d'octobre à décembre. En revanche pendant la saison de pêche de juillet à septembre on relève une certaine homogénéité entre les différentes strates pour le nombre de calées, les rendements et le nombre de calées d'un tonnage inférieur à 10 t et de celles d'un tonnage supérieur à 60 t. En revanche, il n'y a pas identité de l'effort de pêche et du nombre de calées pour celles dont le tonnage est compris entre 10 et 60 t dans les eaux côtières et dans les eaux du large.

Sans doute, la principale région côtière du golfe de Guinée s'étend au large du cap Lopez au Gabon. Cette zone de pêche est la plus importante du golfe de Guinée. Avant que ne se développe, dans les années 60, la pêche thonière, elle fut le siège d'une importante pêche baleinière de 1910 à 1950 (COLLIGNON et ROUX, 1950). Les baleines étaient pêchées devant le cap Lopez et étaient traitées à terre, en 1949, 1 356 baleines furent ainsi capturées (ACOLAS, 1950).

Cette zone de pêche est du point de vue hydrologique particulièrement complexe. Elle subit l'influence à la fois des fleuves de la région, du système d'upwellings côtiers, de la divergence équatoriale et de la terminaison du contre-sous-courant équatorial (courant de Lomonosov). Les fleuves vont induire des fronts de dessalure et être à l'origine de très nombreuses épaves constituées de touffes d'herbe arrachées aux rives par les crues. Les upwellings côtiers et la terminaison du courant de Lomonosov seront à l'origine de fronts thermiques.

1.2.3.2. La zone de rupture du plateau continental ;

Au sein des zones côtières et en dehors d'un système de type upwelling côtier, de nombreuses prises de thonidés s'effectuent dans la zone de rupture du plateau continental. A notre connaissance les raisons de ces prises n'ont pas été étudiées.

Dans le golfe de Guinée, au large du Sénégal plus particulièrement, la quasi totalité des prises se fait dans une frange très étroite, juste au delà de l'isobathe 200 mètres et à proximité immédiate du plateau continental (ANNEXE B). Les pêcheurs sportifs qui recherchent préférentiellement les poissons porte-épée (marlins et espadon au large de la côte d'Ivoire) traînent leur leurre en surface au niveau de la rupture du plateau continental. Chez les patrons de la flottille thonière FIS, on emploie l'expression "faire la corniche" c'est-à-dire de prospecter le long de la rupture du plateau continental ivoiro-ghanéen quand les thoniers font route entre le port d'Abidjan (Côte d'Ivoire) et le fond du golfe de Guinée.

1.2.3.3. Les zones de convergence ;

Les zones de convergence sont les parents pauvres de l'océanographie moderne. Dans le golfe de Guinée les chercheurs russes se sont penchés les premiers sur ces zones de convergence (GROUZOV, 1971) puis VOITURIEZ et HERBLAND (1977) ont fait une étude comparative des différents systèmes productifs du golfe de Guinée. De très importantes pêches de thonidés sont effectuées dans la zone Libéria (figure 1.2) dans le golfe de Guinée. Cette zone est une zone de convergence entre le contre-courant équatorial nord (courant de Guinée) et le courant équatorial sud (ANNEXE B). En 1981, plus de 35 000 t. de thons y ont été pêchés.

Au cours de la saison de pêche de juillet à septembre dans la province maritime ivoirienne, le caractère homogène de la région comprise entre la côte et 2°N que nous avons noté plus haut est à relier à l'existence du vortex anticyclonique au large de la Côte d'Ivoire qui tournant dans le sens des aiguilles d'une montre va créer une zone de convergence entre la côte et 2°N (ANNEXE B).

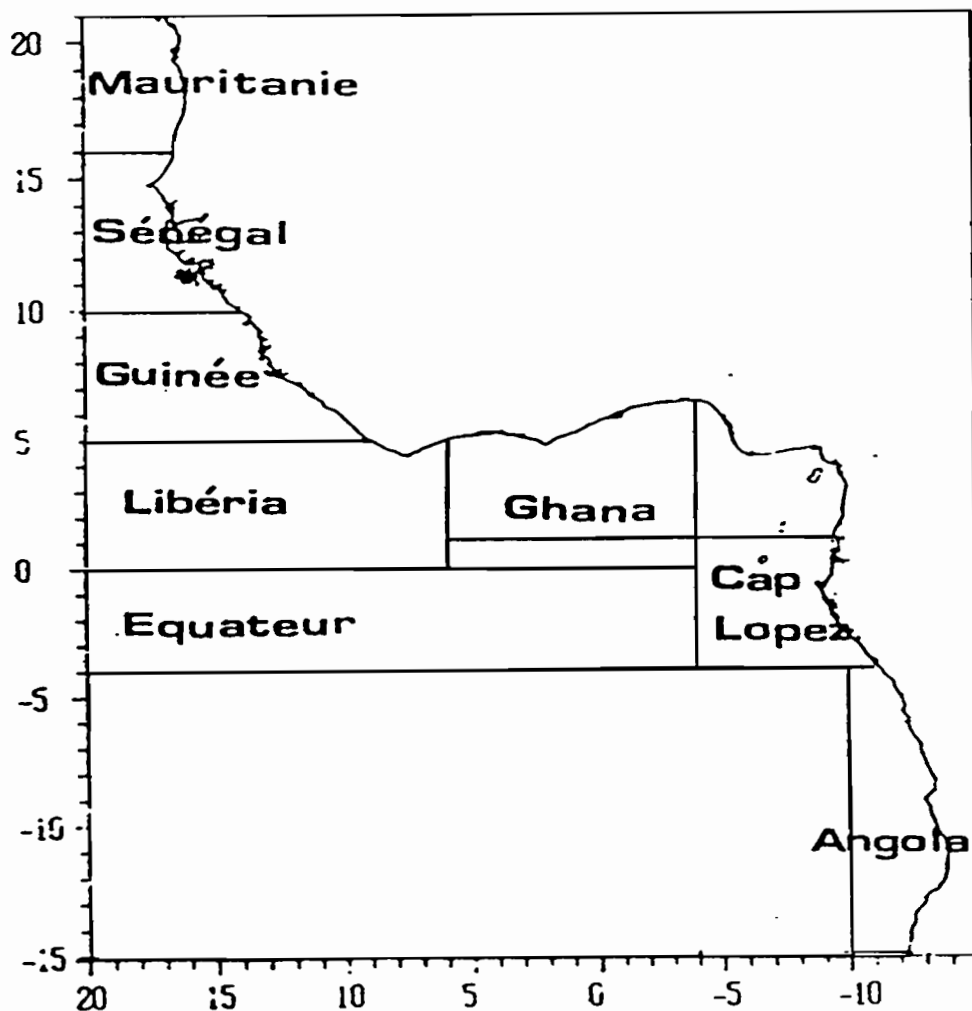


Figure 1.2. Zones de pêche dans le golfe de Guinée (Source STRETTA 1988)

1.2.3.4. Les eaux issues de l'upwelling équatorial ;

Dans le golfe de Guinée, aucun thonier ne prospecte au sein des eaux équatoriales en été boréal en raison des températures de surface inférieures à 20°C présentes entre 2°N et 2°S. Pour notre part, nous n'avons jamais observé de bancs de thons dans cette zone lors des opérations de radiométrie aérienne menées au cours des

campagnes CIPREA ¹¹. On peut raisonnablement penser que les probabilités de pêche thonière dans cette région et à cette époque sont faibles. Toutefois, comme nous l'avons vu plus haut en ce qui concerne les eaux côtières, les eaux issues de la divergence équatoriale vont être entraînées par le courant équatorial sud. Une partie de ces eaux va être reprise par le vortex anticyclonique qui règne entre la Côte d'Ivoire et la zone équatoriale. Cette zone est le siège de la principale saison de pêche thonière dans cette région du golfe de Guinée (ANNEXE B).

1.2.3.5. La crête thermique de l'Atlantique sud en hiver boréal ;

La région équatoriale se caractérise en saison chaude (octobre à mai) par la présence d'une crête thermique au sud de l'équateur centrée sur 2-3°S (cette crête se manifeste par une remontée des isothermes sans qu'il y ait de refroidissement en surface). Cette crête est un trait permanent de la structure thermique dans la zone équatoriale de l'océan Atlantique. Elle a été observée par 4°W en novembre 1971 (DUFOUR et STRETTA 1973a), à 10° W en novembre 1973 (STRETTA 1975) et jusqu'à 20° W (VOITURIEZ et HERBLAND 1977).

Depuis 1975, entre l'équateur et 2°S, s'est développée en hiver boréal une importante zone de pêche.

1.2.3.6. Les dômes thermiques ;

Si la crête thermique est une remontée latitudinale de la thermocline, le dôme thermique est également une remontée de la thermocline mais sous la forme d'un dôme. Cette structure particulière de la thermocline qui n'atteint pas la surface se rencontre au large de la Guinée (dôme de Guinée) dans l'Atlantique nord, au large de l'Angola (dôme d'Angola) en Atlantique sud - tous les deux décrits par MAZEIKA, (1967) - et au large du Costa-Rica (dôme du Costa-Rica) dans le Pacifique oriental nord.

Pour le dôme de Guinée, c'est la remontée de la thermocline en été boréal, associée à la circulation cyclonique de l'extrémité est du Contre-Courant Equatorial Nord (C.C.E.N.), qui se traduit par une thermocline en forme de dôme. Si l'on prend l'exemple du dôme de Guinée, il semble disparaître vers la fin septembre (MERLE 1978) or les pêches dans ce secteur, se déroulent d'août à novembre ; peut-on considérer que ces importantes prises soient associées à la production du dôme de Guinée?

La zone de pêche située au large de l'Angola est caractérisée elle aussi par la présence d'un dôme thermique pendant le premier trimestre de l'année. Les statistiques de pêche de la flottille FISM font état d'importantes prises d'albacores et de patudos pendant les mois de février de 1971 à 1974. Depuis cette date, les prises de thonidés dans cette région sont faibles pour des raisons non halieutiques.

1.2.3.7. Les guyots ;

Au sein de l'océan il existe une structure hydrologique (bien que ce terme soit audacieux), peu étudiée par les océanographes mais bien connue des pêcheurs, à savoir celle que l'on rencontre aux alentours d'un haut-fond sous-marin ou d'un guyot. En effet, on constate très souvent, dans une zone généralement située au large où il n'y a pas de poisson, que la présence d'un guyot va favoriser un rassemblement de poissons. La plupart des patrons des thoniers que nous rencontrons possède une liste, jalousement tenue secrète, de hauts-fonds connus ou inconnus, sur lesquels ils se rendent quand ils sont en à proximité.

¹¹ Les résultats des campagnes CIPREA sont analysés dans la revue *Océanographie tropicale* Vol. 18(2), 1983.

1.2.3.8. Les effets d'îles.

Nous emprunterons la définition de l'effet d'île à HERNANDEZ-LEON (1988), qu'il définit comme une perturbation produite par une île au sein d'une circulation océanique qui va être à l'origine d'un accroissement de la biomasse planctonique autour de l'île ou dans un site particulier (par exemple, sous le vent de l'île).

Des pêches importantes de thonidés sont réalisées dans le voisinage des îles. Dans l'océan Pacifique BLACKBURN (1965) ainsi que SUND *et al.* (1981) le relèvent. Dans l'océan Atlantique, la présence de maquereaux et de thonidés sont à lier à l'effet d'île qui règne autour des îles Canaries (RAMOS GONZALEZ communication personnelle) décrit par HERNANDEZ-LEON (1988) et ARISTEGUI *et al.*, (1989).

1.2.3.9. Les eaux oligotrophes ou les eaux du large.

Les eaux oligotrophes pourraient se définir par la négative à savoir des eaux qui ne rentreraient dans aucun des cas évoqués plus haut. Il serait préférable de les définir comme étant les masses d'eaux épipelagiques tropicales dans des conditions de stabilité (ou proche d'un état stable, SHARP *et al.*, 1980) comme la Structure Tropicale Typique définie par HERBLAND et VOITURIEZ, (1977) comme étant un système à deux couches dont celle de surface est dépourvue de nitrate. Jusqu'au début des années soixante dix, l'oligotrophie d'une masse d'eau était synonyme de désert biologique (HERBLAND *in* ORSTOM, 1989). Nous évoquerons plus loin ce concept d'oligotrophie des eaux tropicales quand nous aborderons les problèmes de la production dans l'océan tropical. Rencontre-t-on des thons dans les eaux oligotrophes ?

Pour en revenir à l'océan Atlantique, dans la zone qui se situe entre 2-3°N et l'équateur (zone oligotrophe ou jugée comme telle) et où l'on rencontre des thons, on pourrait avancer l'hypothèse que cette zone est incluse dans une des principales aires de ponte de l'albacore (ALBARET, 1977). Les thons viendraient dans cette zone qui serait favorable non pas pour eux mais pour leurs larves.

1.2.4. PARAMETRES DE L'ENVIRONNEMENT POUR DECRIRE L'HABITAT DES THONIDES

1.2.4.1. Introduction

De nombreux paramètres d'environnement sont pris en compte pour décrire l'habitat des thonidés. Nous citerons en premier lieu la température de surface. D'autres paramètres devront toutefois être aussi pris en compte : la profondeur de la thermocline, le gradient de température au sein de la thermocline, l'oxygène dissous, la salinité, la vitesse du courant, l'état du ciel, de la mer et la vitesse du vent. Les valeurs minimales et maximales de ces paramètres d'environnement sont à relier aux expériences menées en laboratoire sur la physiologie des thons pour permettre de fixer les limites physiologiques en regard des paramètres d'environnement.

A côté de ces paramètres physiques, il est des paramètres biotiques ou abiotiques associés aux thonidés. Nous évoquerons les associations entre les thonidés et d'autres animaux marins ainsi que l'association entre thonidés et des épaves abiotiques.

Mais ces paramètres décrivent-ils vraiment l'environnement des thonidés ou décrivent-ils les facteurs optimums de capturabilité des thonidés ? On en revient encore au problème évoqué plus haut et soulevé par POSTEL (1966) à savoir que nos connaissances sont dues à l'analyse des données de la pêche commerciale. Ce problème évoqué par POSTEL est toujours d'actualité car nous avons également utilisé pour

analyser les relations entre paramètres d'environnement et thonidés les informations relevées à partir des journaux de bord des thoniers. De 1976 à 1982, nous avons relevé les paramètres biologiques, océanographiques et météorologiques associés à 10 038 calées¹² effectuées par la flottille FIS.

1.2.4.2. Les paramètres physiques.

La température de surface

La température de surface est sans doute le paramètre le plus utilisé pour décrire l'environnement et la distribution des thonidés dans l'océan mondial. Les travaux qui font état de cette notion de température de surface sont nombreux à commencer par ceux qui définissent des gammes de température dans lesquelles on rencontre les thons aussi bien à l'échelle mondiale qu'à l'échelle d'une petite aire d'un océan. Pourquoi la température tient-elle une place aussi prépondérante ? Tout d'abord parce que c'est un paramètre facile à mesurer à partir d'un bateau : un seau et un thermomètre sont utilisés depuis plusieurs décennies (voire plus d'un siècle). De nos jours cette température de surface est mesurée en routine sur les navires marchands, les bateaux de pêche, les bouées ou les stations côtières. Depuis quelques années, les satellites météorologiques mesurent en permanence la température de surface à l'échelle de l'océan mondial. Cette TEMPERATURE DE SURFACE est un terme générique qui représente une certaine hauteur de mercure dans un thermomètre plongé dans un seau qui à l'aide d'un bout a recueilli un peu d'eau de mer, dans les quinze premiers centimètres, le long de la coque du navire. Les navires ont à présent un capteur de température installé sur la prise d'eau de refroidissement des machines. Cette prise d'eau se situe à faible profondeur (< 5 m) sur les bateaux de pêches ou à des profondeurs plus importantes (> 10 m) sur les pétroliers géants. Dans une zone où la thermocline est profonde, une température relevée à une dizaine de mètres de profondeur est peu différente de celle de surface, en revanche il n'en est pas de même dans des zones où la thermocline se situe dans les dix premiers mètres. Par ailleurs, la température de surface de la mer peut être mesurée à distance à partir d'un avion ou d'un satellite avec un radiomètre infrarouge; dans ce cas la mesure ne concerne que les premiers microns de la surface de la mer.

La température de surface qu'elle soit prise le jour de la pêche ou dans des atlas climatiques, est classiquement liée, corrélée aux prises de thonidés en général mais aussi aux principales espèces pêchées, à la taille des individus, à la taille des calées, etc.. Au sein d'une zone de capture, on peut étudier les prises par classe de température, par espèce ou par taille des individus en fonction des variations spatiales. L'étude de la température de surface en liaison avec la présence et/ou l'abondance des thons est particulièrement intéressante lorsque les zones de pêche se situent à la bordure de l'aire de répartition des thonidés. C'est ainsi que le paramètre température revêt une importance considérable quand on étudie par exemple les pêches des Açores. Cette île se trouvent à la limite nord des espèces de thonidés tropicales (albacore et listao) et à la limite sud des espèces septentrionales (germon), leur pêche artisanale sera tributaire de hydroclimat local.

La température de surface utilisée par les halieutes provient de diverses origines. Elle peut être relevée dans des atlas climatiques, dans des fichiers où sont collectées les données des navires marchands, dans des fichiers où sont collectées les données thermiques des satellites, sur des bateaux de pêche. L'avantage de l'utilisation de la température de surface mesurée par le thonier au moment de la pêche est la concomitance entre la donnée thermique et la capture du poisson.

¹² L'échantillon constitué par ce fichier "ECOLOGIE-THON" représente 36,3% des prises d'albacore, 38,1% des prises de listaos et 42,4% des prises de patudo pendant cette période.

Les études sur la température de surface et les thonidés que nous allons évoquer, portent sur les trois principales espèces pêchées : l'albacore (*Thunnus albacares*), le listao (*Katsuwonus pelamis*) et le patudo (*Thunnus obesus*).

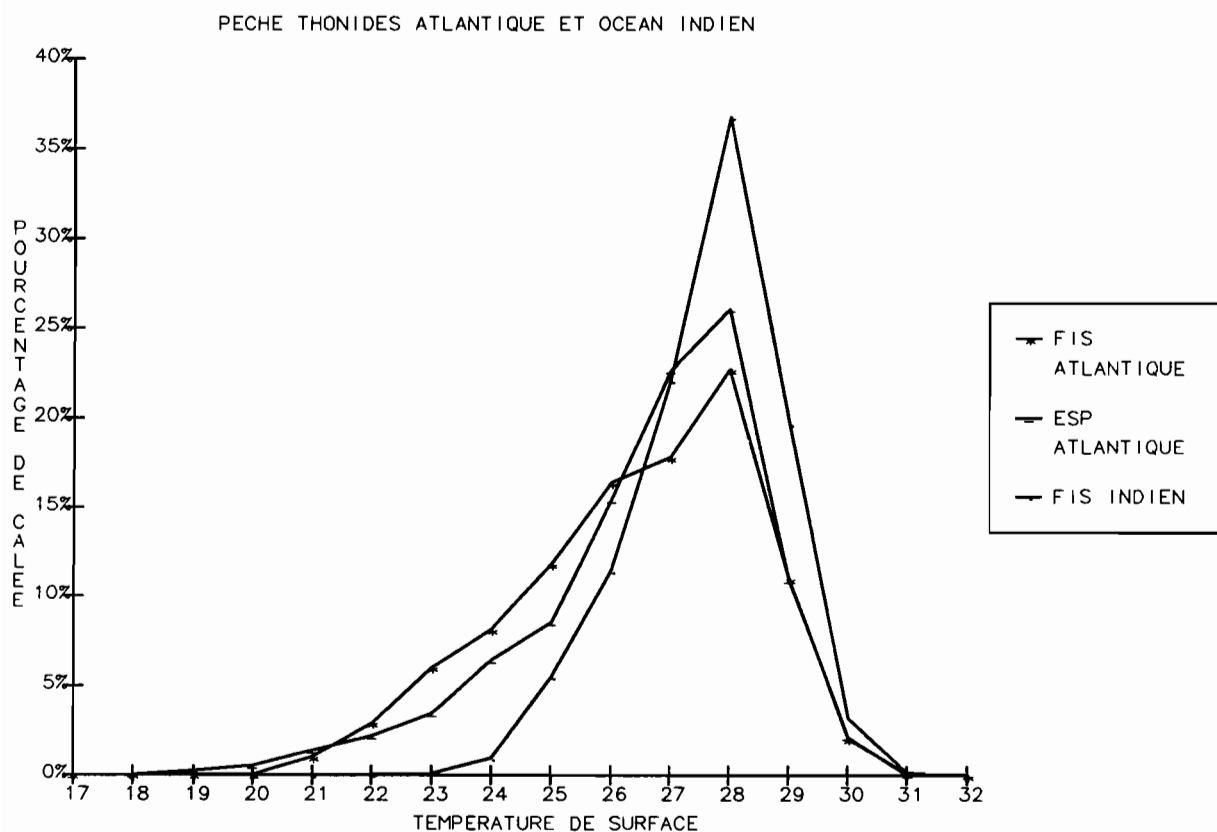


Figure 1.3. : Distribution des calées de thonidés en fonction de la température de surface effectuées en Atlantique par les senneurs des flottilles FIS et espagnole et dans l'océan Indien par les senneurs de la flottille FIS.

Relation capturabilité / température de surface

A un niveau global et à titre d'information, nous avons porté sur le tableau 1.1 et la figure 1.3. les gammes thermiques au sein desquelles se sont effectuées les pêches de thonidés en Atlantique pour les flottilles thonières FIS de 1979 à 1989 et espagnole de 1979 à 1987 et dans l'océan Indien pour la flottille thonière française de 1985 à 1988. En Atlantique, les flottilles française et espagnole pêchent dans les mêmes classes de température alors que dans l'océan Indien la flottille FIS pêche dans des eaux plus chaudes. Il est curieux de constater que le maximum de calées sont effectuées dans les eaux à 28°C.

A. Albacore

Dans l'océan mondial, LAEVASTU et ROSA (1963), donnent comme limites de distribution pour cette espèce, une fourchette thermique de 18° à 31° C avec un optimum thermique pour les pêches compris entre 21° et 24° C. Comme BLACKBURN (1965), nous émettons quelques réserves sur ces valeurs qui sont basées sur les positions moyennes des isothermes de surface correspondant aux limites des pêcheries de surface.

De plus cette fourchette thermique ne tient pas compte de la taille des poissons. Cependant, la plupart des auteurs (BLACKBURN 1965, NAKAMURA 1969, SUND *et al.*, 1981) s'accordent pour fixer les températures limites pour l'albacore à 18° et 31° C, avec une abondance maximale entre 20° et 30° C (Cf figure 1.4a.). Les albacores pêchés à la palangre évoluent dans des eaux comprises entre 15 et 20°C. Toutefois sa présence a été signalée au large du Pérou dans des eaux à 15° C (BINI, 1952). Par ailleurs, les albacores pêchés à la palangre évoluent en profondeur dans des eaux dont les températures sont comprises entre 15 et 20°C.

B. Listao

Les auteurs qui ont analysé les limites thermiques de cette espèce s'accordent à reconnaître qu'elles varient en fonction de la taille du poisson et de la région où il est pêché. LAEVASTU et ROSA (1963) fixent pour le listao au niveau mondial (avec la même méthode que pour l'albacore), un intervalle thermique de 17° à 28° C avec un optimum pour les pêches compris entre 20° et 22° C. Depuis, différents auteurs (BROAHEAD et BARRET 1964, BLACKBURN 1965, NAKAMURA 1969, WILLIAM 1970, EVANS *et al.* 1981) ont défini, en utilisant des données thermiques concomitantes aux pêches de listao, un intervalle de température compris entre 17° et 30° C pour la présence du listao et de 20° à 29° C pour son abondance (Cf figure 1.4b.). Dans les eaux australiennes, ROBINS (1952) donne comme limite inférieure pour cette espèce une température de 15°C. Non loin de là, dans les eaux de la Nouvelle-Zélande, EGGLESTON et PAUL (1978) font état de faibles captures de listaos entre 16° et 18° C et de fortes captures entre 19° et 21° C pendant l'été 1976-77.

En Atlantique, autour des îles Canaries, GONZALEZ RAMOS (1989), a calculé la corrélation entre la température de surface et les prises de listao durant l'année 1982. A titre d'information, voici cette relation :

$$Y = 4,8X^2 - 172,24X + 1549 \quad n=27; r=0,779$$

(Y:prises de listaos en tonnes, X température de surface)

C. Patudo

Pour le patudo, LAEVASTU et ROSA (1965) fixent, au niveau mondial, un intervalle thermique compris entre 11° et 28°C, avec une gamme de températures où se situent les pêches entre 18° et 22°C. SUND *et al.* (1981), précisent que les températures les plus élevées correspondent aux pêcheries de surface, alors que les températures les plus froides correspondent aux pêches palangrières.

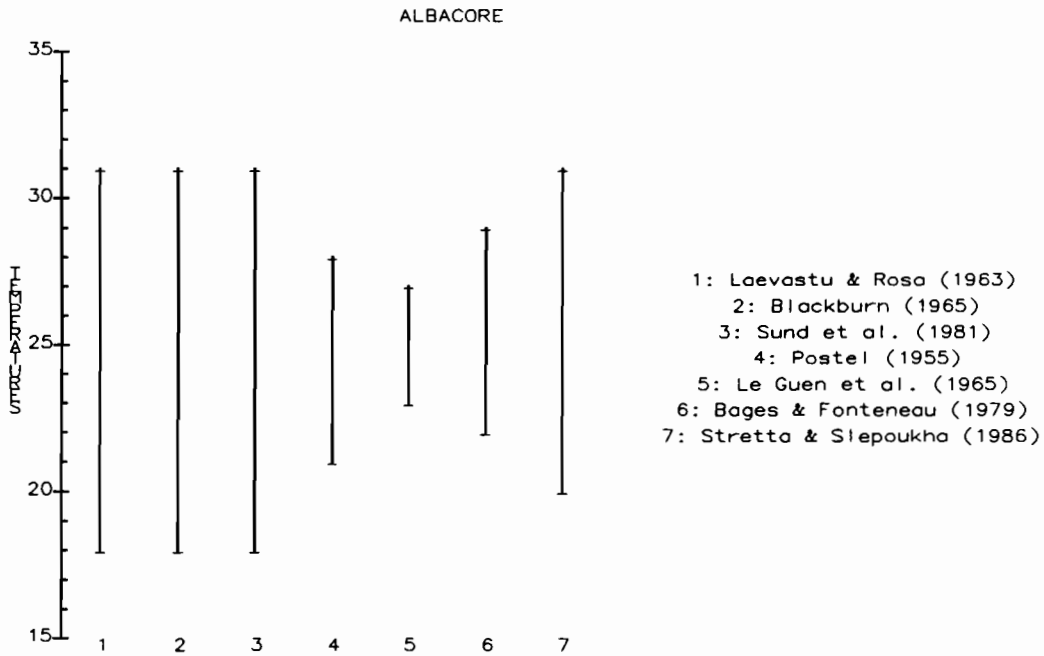


Figure 1.4a. : Gammes de températures données par divers auteurs dans lesquelles sont pêchés les albacores (Source STRETTA et PETIT, 1989).

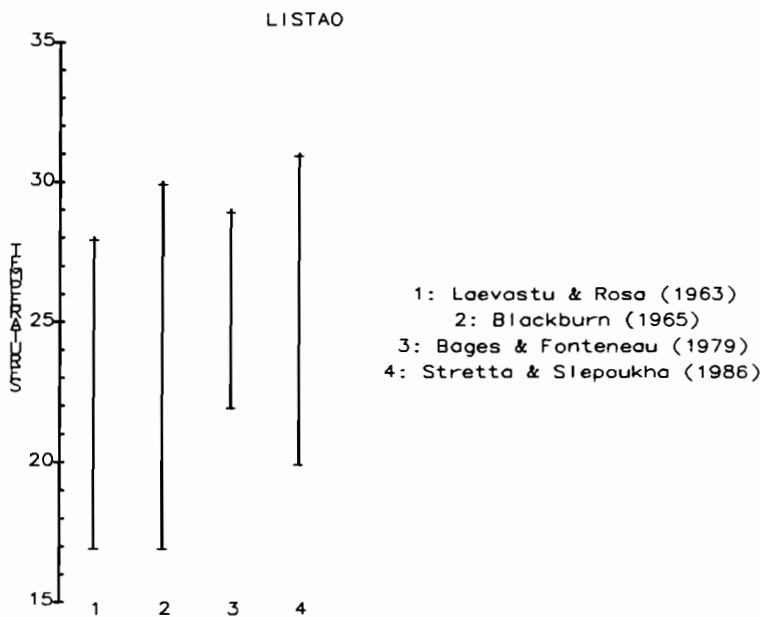


Figure 1.4b. : Gammes de températures données par divers auteurs dans lesquelles sont pêchés les listaos (Source STRETTA et PETIT, 1989).

Relation taille des thons/température de surface (ANNEXE B).

A Albacore

La répartition des albacores par classe de taille ¹³ en fonction de la température diffère pour les trois classes classiquement différenciées (figure 1.5) : les poissons de moins de 5kg, ceux compris entre 5 et 30 kg et ceux d'un poids supérieur à 30 kg. Pour la première catégorie, les pêches se font essentiellement entre 22 et 30.9°C avec cependant un pic pour la classe 28-28.9°C. Pour la deuxième catégorie (albacore de 5 à 30 kg), la répartition des prises est centrée sur 25-25.9°C avec également un autre pic à 28- 28.9°C. En revanche, pour les albacores de plus de 30 kg, la plus grande partie des prises a lieu dans des eaux dont la température de surface est supérieure à 25.0°C.

B. Listao

La grande majorité des patrons des thoniers FISM a l'habitude de classer les listaos en poissons de moins de 2 kg, de 2 à 4 kg ou de plus de 4 kg. Cependant certains patrons inscrivent avec précision les tailles des listaos pêchés. Nous avons analysé la répartition en fonction de la température pour les listaos de moins de 2 kg, de 2 à 4 kg, de 4 à 6 kg et de 6 à 8 kg (figure 1.6.). Pour les poissons de moins de 2kg, la courbe présente deux modes: le premier correspond à la classe 25.0-25.9°C avec 17.6% des tonnages capturés et le deuxième mode correspond à la classe 28.0-28.9°C avec 22.6% des tonnages capturés. Pour les listaos de 2 à 4 kg, les pêches se répartissent de façon assez uniforme entre 23 et 28.9°C. Pour les listaos de 4 à 6 kg, la répartition des prises est centrée autour de la classe 25-25.9°C. En revanche la répartition des prises pour les listaos de 6 à 8 kg (qui porte sur 58 calées) présente deux pics, le premier centré sur la classe 24-24.9°C et le deuxième sur la classe 27-27.9°C. Les prises dans ces deux gammes de température représentent près de 65% des captures.

C Patudo

Comme pour l'albacore, nous avons analysé à partir des journaux de bord des thoniers (avec les réserves énoncées plus haut) la répartition en fonction de la température pour les patudos de moins de 5 kg, pour ceux d'un poids compris entre 5 et 30 kg et pour ceux de plus de 30 kg. Pour les patudos de moins de 5 kg (figure 1.7.), on observe un pic entre 24 et 24.9°C qui représente 25% des tonnages pêchés. Un deuxième pic entre 28 et 28.9°C représente près de 20% des tonnages pêchés. Pour les patudos de 5 à 30 kg, la courbe des prises par classe de température présente un plateau entre 23 et 28.9°C: au sein de cet intervalle, 85.3% des prises sont réalisées. Pour les patudos de plus de 30 kg, 47.5 % des tonnages pêchés, le sont dans des températures inférieures à 25.0°C.; pour ces poissons il est à noter un pic de prises entre 25.0 et 25.9°C qui représente 26.8% des tonnages.

En conclusion, POSTEL (1966) permet de concilier les différentes gammes thermiques dans lesquelles chaque auteur note la présence de thons : *"Si l'on admet l'existence d'un intervalle d'euphorie par exemple de 22/23°C à 27/28°C et la concentration aux limites de cet intervalle (lorsque les conditions hydrologiques lui imposent un front froid d'un coté et (ou) un front de nature différente (dessalure, turbidité, etc.) dans les eaux chaudes de l'autre coté) de bancs qui y seraient amenés par hasard et - ne pouvant les franchir - s'y accumuleraient, ou qui y seraient attirés par une situation trophique favorable (abondance de nourriture), on arrive à une conception simple sinon parfaitement vraie des phénomènes observés."*

¹³ Une des limites du codage des informations de pêche à partir des journaux de bord des thoniers réside dans le fait que les compositions spécifiques des calées relevées par le patron manquent parfois de rigueur, en particulier les patudos sont souvent confondus avec des albacores quand ils sont de taille proche. Pour palier cette imprécision, nous avons dans notre analyse groupé sous le vocable "albacore", les pêches d'albacore et/ou de patudo. Une autre limite dans l'utilisation des livres de bord remplis par les patrons des thoniers réside dans le fait que les tonnages estimés par le patron, au moment de la mise en cuve du poisson, sont souvent sous-évalués par rapport à la réalité.

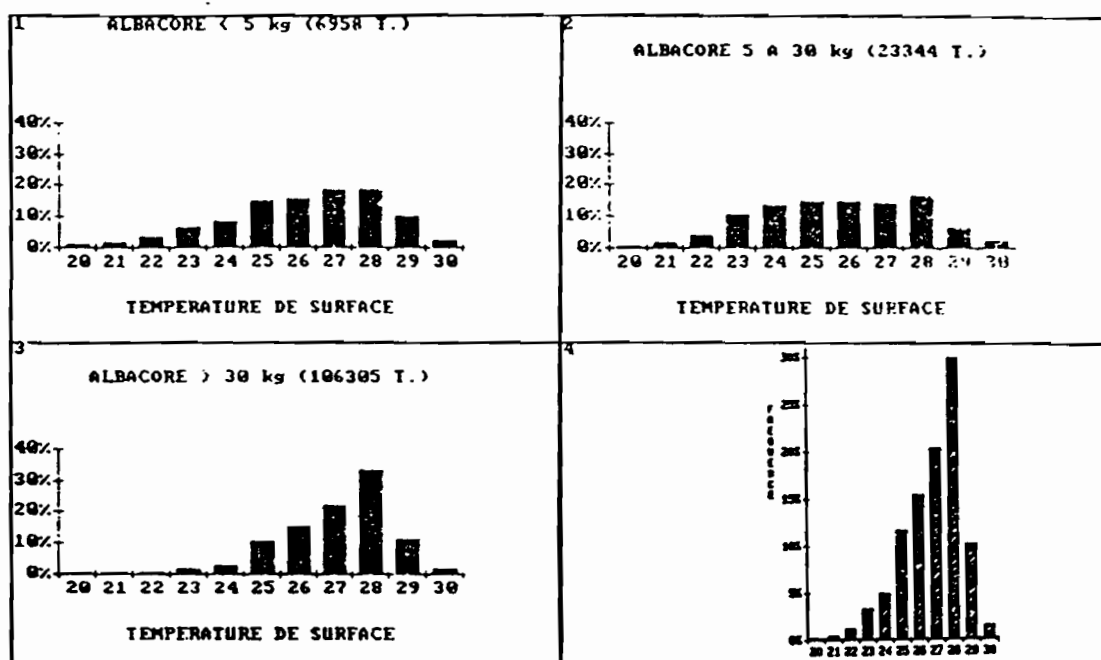


Figure 1.5. : Prises d'albacore en fonction de la température de surface pour les senneurs FIS et espagnols, période 1980 à 1983 (sous échantillon des calées pour lesquelles sa température et la composition spécifique par taille sont connues), d'après STRETTA, 1988.

- 1 albacores de moins de 5 kg
- 2 albacores de 5 à 30 kg
- 3 albacores de plus de 30 kg
- 4 toutes tailles

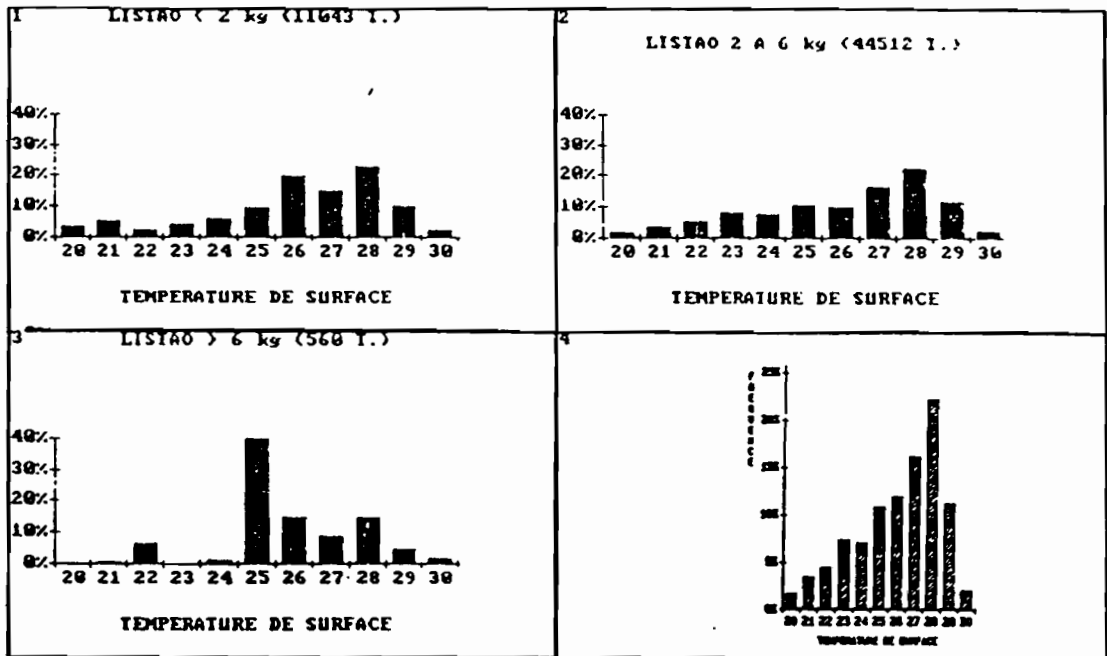


Figure 1.6. : Prises de listao en fonction de la température de surface pour les senneurs FIS et espagnols, période 1980 à 1983 (sous échantillon des calées pour lesquelles sa température et la composition spécifique par taille sont connues), d'après STRETTA, 1988.

- 1 listaos de moins de 2 kg
- 2 listaos de 2 à 6 kg
- 3 listaos de plus de 6 kg
- 4 toutes tailles

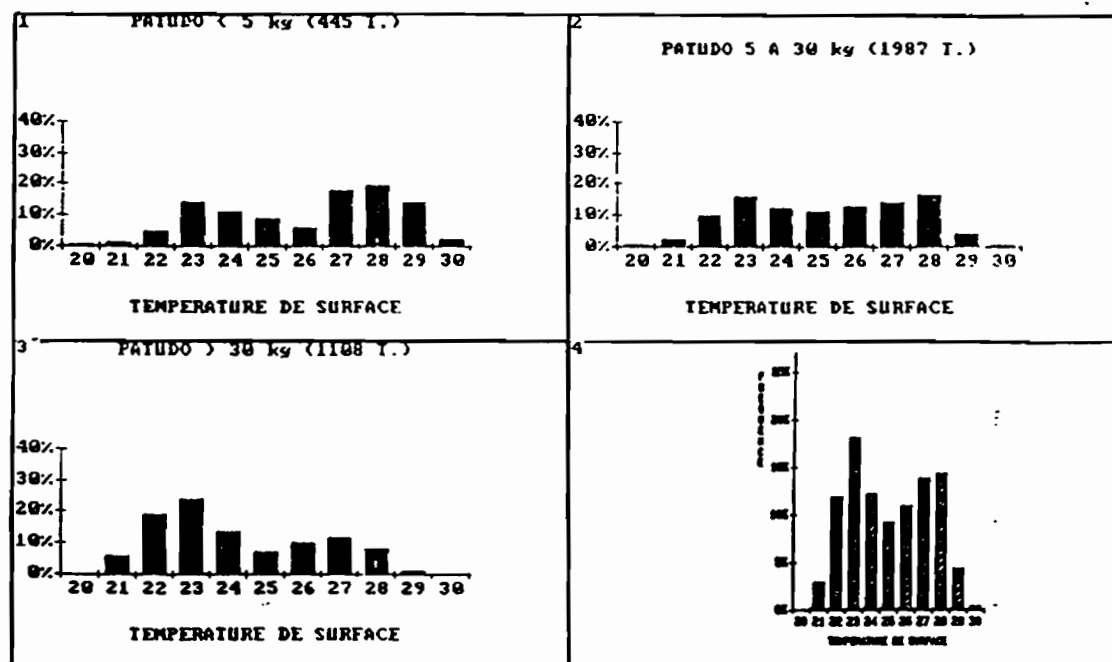


Figure 1.7. : Prises de patudo en fonction de la température de surface pour les senneurs FIS et espagnols, période 1980 à 1983 (sous échantillon des calées pour lesquelles sa température et la composition spécifique par taille sont connues), d'après STRETTA, 1988.

- 1 patudos de moins de 5 kg
- 2 patudos de 5 à 30 kg
- 3 patudos de plus de 30 kg
- 4 toutes tailles

La profondeur de la thermocline (ANNEXE B).

Si la température limite la distribution horizontale des thons, on peut raisonnablement penser qu'elle limite aussi leur répartition verticale (GREEN, 1967). Cet auteur étudie le taux de calées positives en fonction de la profondeur de la thermocline. De son analyse sur 1 855 coups de senne dans le Pacifique oriental tropical, il ressort que le taux de calées positives augmente quand l'épaisseur de la couche homogène est faible ; les meilleurs taux de calées positives se rencontrent quand la thermocline est à moins de 18,4 m et que le gradient de température dans la thermocline est supérieur à 0,55°C/m. Cet auteur pense que ces meilleurs taux de calées positives s'expliquent par la faible teneur en oxygène dissous (1ml/l) juste en dessous de la thermocline. SHARP (1978) présente une extension des travaux de GREEN en étudiant les variations de la vulnérabilité de l'albacore pêché à la senne en fonction de l'heure de la journée, de la profondeur de la couche homogène et de la profondeur des isothermes 23 et 15°C, pendant une période de 6 mois. Le choix de ces isothermes a été fait en fonction de critères physiologiques. Pour des pêches non associées à des bancs de dauphins, cet auteur trouve dans le Pacifique tropical oriental une forte corrélation ($r=0.94$) entre la prise par unité d'effort et la profondeur de l'isotherme 23°C; il en conclut que la vulnérabilité maximum de l'albacore dans le Pacifique oriental apparaît dans des zones où l'isotherme 23° est à une profondeur supérieure 45,7m (150 pieds) et où l'isotherme 15° est au dessus de 73,1m (240 pieds). Il est à noter que dans le Pacifique tropical occidental, les senneurs pêchent dans des eaux où la thermocline est à une profondeur supérieure à 150m. EVANS *et al.* (1980) montrent également que dans le Pacifique tropical oriental, le nombre de calées positives contenant du listao est maximum quand la couche homogène est à 15 mètres.

Les fronts thermiques ou le gradient horizontal de température (ANNEXE B)

L'observation de thons associés à des fronts thermiques est déjà ancienne (UDA, 1931b) et elle alimente toujours la littérature (FIEDLER *et al.*, 1987). SUND *et al.*, (1981) estiment que lorsque qu'un front thermique contient l'isotherme qui limite la distribution des thons, alors le front thermique devient une barrière pour les thonidés. Des expériences de marquage acoustique sur des germons montrent que le poisson reste près du front, issu d'un upwelling, quand il existe mais s'en éloigne quand l'upwelling cesse (LAURS *et al.*, (1977). D'après SUND *et al.*, (1981), les thons sont capables de détecter des variations de température aussi faible que 0,1°C.

La thermocline ou le gradient de température au sein de la thermocline (ANNEXE B).

Il était couramment admis que la thermocline fût une barrière quasiment infranchissable. POSTEL (1966) avance l'idée que le thon vivait dans une "baignoire" dont les bords serait l'isotherme 22°C et le fond la thermocline. Cette idée a depuis évolué, car des expériences de télémétrie acoustique montrent qu'un banc d'albacore nage essentiellement entre la surface et le sommet de la thermocline alors qu'un individu isolé a plutôt tendance à se diriger vers la thermocline (CAREY et OLSON 1981). En utilisant une marque ultrasonique, LEVENEZ (1981) montre qu'un listao peut effectuer de nombreux et d'importants mouvements verticaux ; il a même observé un listao passant rapidement d'une température de 28°C en surface à une température inférieure à 11°C à 400 m (donc en dessous de la thermocline). Cet auteur souligne qu'à cette profondeur la teneur en oxygène était probablement inférieure à 1,5ml/l. CAYRE (1985) pense que les listaos plongeraient dans des eaux froides au cours d'incursions brèves mais répétées pour permettre une dissipation directe dans le milieu de la chaleur produite par les muscles.

L'oxygène dissous (ANNEXE B).

La teneur en oxygène dissous de la masse d'eau, joue un rôle important dans la physiologie des thons. DIZON (1977), trouve qu'une valeur de 4 ppm d'oxygène dissous (env. 3.0 ml/l) est proche de la limite inférieure létale pour le listao ; en revanche, l'albacore est beaucoup plus apte que le listao à supporter de faibles teneurs en oxygène dissous: SHARP (1978) situe les besoins minimums en oxygène à 1.5 ml/l pour l'albacore et à 0.5 ml/l pour le patudo. L'albacore peut survivre plus de trois heures dans une eau contenant de 1,4 à 1,6 ppm d'oxygène (env. 1ml/l). BARKLEY *et al.* (1978) proposent la valeur de 5 ppm (env. 3.5 ml/l) d'oxygène dissous comme valeur limite à utiliser pour l'élaboration de modèle de distribution pour le listao. Ces auteurs ont pu ainsi dresser des cartes de répartition du listao dans le Pacifique. Dans l'océan Atlantique, EVANS *et al.* (1979) ont tracé des cartes de répartition potentielle des listaos à partir du niveau d'immersion le plus faible de l'isotherme 18°C ou de l'isoplethe 3.5 ml/l d'oxygène dissous. Ils trouvent ainsi que le listao est capable de vivre entre 40°N et 34°S. Ces auteurs pensent qu'en dehors des zones à upwelling côtier où l'habitat du listao est conditionné par l'immersion de l'isotherme 18°C dans les latitudes supérieures à 15°, dans la bande équatoriale, entre 15°N et 15°S, l'habitat du listao est conditionné par la concentration en oxygène dissous.

Dans le golfe de Guinée, CAYRE *et al.*, (1988) soulignent le fait que la teneur en oxygène de la couche de surface (0-50 mètres) n'atteint jamais des taux inférieurs à ceux correspondants aux seuils de tolérance de l'albacore et du listao. Pour le patudo pêchés par les palangres profondes (de 180 à 300 mètres), les plus importants rendements sont concentrés dans les régions des dômes de Guinée et d'Angola. Or d'après les cartes de distributions de l'oxygène dissous de OUDOT (1983) dans ces deux dômes, il semblerait que le patudo, ainsi que les poissons porte-épée, soient capables de supporter des teneurs en oxygène inférieures à 1,5 ml/l.

La salinité (ANNEXE B).

BLACKBURN (1965), au niveau mondial, ainsi que SUND *et al.* (1981), au niveau de l'océan Pacifique, soulignent le fait que la salinité de l'eau de mer ne semble pas avoir d'effet direct sur les thons. Dans le golfe de Guinée, la salinité de surface varie de 32 à 36 et il n'est pas non plus possible de caractériser les zones de distribution des thons par les salinités de surface. Dans le cadre des études menées sur des albacores et des listaos en captivité, DIZON (1977) n'a pas observé de variations dans la vitesse de nage ou dans le comportement de ces thons quand la salinité baissait de 34 à 29. En restant dans la gamme des valeurs que l'on rencontre habituellement dans le milieu naturel, on peut admettre que les thons ne sont pas sensibles aux variations naturelles de salinité. Cependant, DONGUY *et al.* (1978), notent des relations très nettes entre l'importance des prises de thons de surface et la salinité dans le Pacifique occidental. Dans les exemples présentés par ces auteurs, la salinité de surface est liée à des conditions océanographiques particulières telles que l'upwelling équatorial par vent d'est et un phénomène de "doming" vers 10°S par vent d'ouest. Dans ces deux cas, DONGUY *et al.* (1978), relèvent la présence d'un enrichissement superficiel. La salinité de surface n'est, dans ce cas, qu'un des principaux indicateurs de ces mécanismes d'enrichissement et non pas le paramètre agissant directement sur le comportement de la bonite.

Dans le golfe de Guinée, CAVERIVIERE *et al.* (1976), mettent en évidence pour l'albacore une relation entre la salinité et l'abondance des larves ou la ponte : ils n'ont jamais observé de larves dans des eaux de salinité inférieure à 33.5. En revanche pour le patudo et le listao, des larves ont été trouvées dans des eaux à 31.

La transparence

Comme les thons chassent à vue (comme nous le verrons plus loin), la transparence de l'eau joue un rôle capital. Mais ce paramètre est très peu souvent cité pour décrire l'environnement des thonidés. MURPHY (1959) évoque le fait que la turbidité de l'eau des zones côtières réduit le champ de vision des germons. NAKAMURA (1969) établit une relation empirique entre la présence de listaos et la profondeur du disque de Secchi ; la valeur limite est de 15m. Plus près de nous, GONZALEZ-RAMOS (1989) analyse les prises de listaos autour des îles Canaries en relation avec la turbidité de l'eau mesurée au disque de Secchi ; il trouve des valeurs limites comprises entre 23 et 29 m..

La vitesse du courant (ANNEXE B).

La vitesse du courant est un paramètre qui agit non pas sur la disponibilité des thons mais sur leur capturabilité. En effet la senne d'un senneur peut être sérieusement malmenée voire déchirée par fort courant. Quand on sait qu'une senne est un filet mesurant près de 2 000 mètres de long sur 180 à 220 mètres de largeur, soit une surface de plus ou moins 40 hectares !, on comprend aisément l'emprise au courant d'un tel engin. Certains thoniers sur l'équateur ont perdu leur senne à la suite d'un cisaillement créé par des courants contraires : le courant équatorial sud portant vers le nord-ouest et le contre courant de Lomonosov coulant vers 40 mètres de profondeur vers l'est.

Sur les livres de bord des thoniers le paramètre dérive du bateau est portée pour chaque coup de senne¹⁴. A partir de ces informations, nous avons analysé les prises par calée en fonction du paramètre vitesse du courant jusqu'à une vitesse de plus de 2 noeuds ; nous avons trouvé un effet significatif dû au courant pour les bancs composés uniquement d'albacore (bancs purs) ainsi que les bancs mixtes d'albacores et de listaos pêchés avec une épave. Les prises par calée diminuent quand la vitesse du courant augmente (ANNEXE B).

Il n'existe pas, à notre connaissance, d'étude sur la relation entre la disponibilité des thons et la vitesse du courant étudiée à partir d'un canneur.

Les paramètres météorologiques (ANNEXE B).

L'état du ciel, suivant la classification adoptée par les météorologistes (de ciel clair à ciel très nuageux), n'a pas d'influence sur les prises par calées de bancs de listaos purs et les bancs mixtes. En revanche l'état du ciel a un effet sur les prises par calées pour les bancs d'albacores purs : les prises diminuent en fonction de la nébulosité. En discutant ces résultats avec des patrons de la flottille FIS, ils ne nous ont pas confirmé ce dernier résultat. Au contraire, pour eux, un ciel couvert à très nuageux leur permet de distinguer plus facilement les bancs de thons grâce à l'absence du scintillement du soleil à la surface de la mer.

Les analyses faites entre les prises par calée et l'état de la mer ne permettent pas de dégager une influence de ce paramètre sur les bancs de thons en général.

Il en est de même quant à la vitesse du vent : il est difficile d'en tirer des règles générales. Toutefois, la vitesse du vent et l'agitation de la surface de la mer jouent un rôle considérable pour le repérage des bancs. Au delà de force 4 l'agitation causée par un banc en surface est difficile à distinguer de l'écume générée par les vagues dues au vent.

¹⁴ En fait ce paramètre dérive intègre la dérive du au courant agissant sur la senne et la dérive du au vent agissant sur les superstructures du navire

1.2.4.3. Les systèmes associés (ANNEXE B)

Au niveau de l'océan mondial, les pêches de thonidés associées à un "système" constitué soit par un ou plusieurs animaux pélagiques ou avec des épaves flottantes sont connues et depuis longtemps. Dans l'océan Atlantique, à partir des informations recueillies de 1976 à 1982 sur les livres de bord des thoniers de la flottille FIS débarquant dans le port d'Abidjan, 38 % des bancs exploités par les thoniers étaient des bancs associés à des systèmes biotiques ou abiotiques.

Les systèmes biotiques

A. Dauphins (ANNEXE B)

Dans l'océan Pacifique oriental, la pêche de thonidés est quasiment impossible sans que les bancs de thons soient associés à des bancs de dauphins (SUND *et al.* 1981).

Depuis quelques mois le problème des pêches de thonidés associées à des dauphins est devenu un sujet sensible voire polémique. Comme nous ne disposons pas à l'heure actuelle de données relevées par des scientifiques à bord de thoniers et cela en toute indépendance et sans pression extérieure, pour analyser objectivement cet aspect de l'environnement des thonidés nous ne l'aborderons pas. Toujours est-il que nous n'avons jamais observé dans l'océan Atlantique, tant au cours de nos embarquements à bord de thoniers ou à bord de l'avion (et tout le monde de la pêche s'accorde à le dire), d'association étroite entre thonidés et dauphins comme c'est le cas dans le Pacifique oriental.

Dans le Pacifique sud-ouest, au large de la Nouvelle-Calédonie et du Vanuatu¹⁵, PETIT (communication personnelle), n'a observé qu'une seule fois une association entre thons et dauphins sur 477 bancs de thons comptabilisés au cours de plus de 1 500 heures de vol. En Polynésie française, sur 169 bancs de thons observés, aucun ne l'était en association avec des dauphins.

Dans le tableau 1.2. tiré de CAYRE *et al.*, (1988), les analyses faites sur l'association thon/dauphin l'ont été à partir d'informations relevées sur les livres de bord des thoniers. Quand un patron de thonier notait dans son livre de bord la présence de dauphins cela n'impliquait pas que des dauphins fussent capturés avec le banc de thons.

B. Requin-baleine

Dans l'océan Atlantique, 8% des coups de senne sont effectués sur des bancs associés à un requin-baleine (ou de plusieurs comme cela c'est déjà produit). La présence d'un requin-baleine, va agir de façon différente sur la réussite de la calée suivant qu'il sera pêché avec du listao ou avec de l'albacore.

Si l'on compare la réussite de la calée entre un banc libre et un banc pêché en présence d'un requin baleine, la présence de ce dernier, n'a aucun effet sur la réussite de la calée quand le banc pêché est composé uniquement de listaos. En revanche, pour les bancs d'albacores purs, la présence d'un requin baleine fait augmenter de façon significative le taux de coup nul et diminuer la prise moyenne par calée. Pour les bancs mixtes d'albacore et de listao, le taux de coup nul baisse de façon significative par rapport à un banc libre alors que la prise moyenne par calée est peu différente. Les prises par classe de taille de la calée montrent une prépondérance de calées de petites taille.

¹⁵ Ces observations ont été réalisées lors des campagnes de Radiométrie aérienne et de prospection thonière.

C. Baleine.

Les pêches de thonidés avec une "baleine" (ce terme employé par les pêcheurs est un terme générique qui inclut les baleines, les cachalots et plus rarement les orques).

Dans l'océan Atlantique, 8% des bancs de thons sont pêchés avec des baleines. Les pourcentages d'occurrence de ce type d'association montrent que les bancs d'albacores seuls sont deux fois plus fréquents que les bancs de listaos seuls. Cependant en présence d'une baleine le taux de calée nulle n'est pas différent de celui d'un banc libre pour les pêches de bancs de listaos purs alors qu'il est significativement différent pour des pêches de bancs mixtes et de banc d'albacores purs. Pour ce dernier type de banc, la présence d'une baleine multiplie par deux le taux de coup nul. En revanche, les prises par calées sont peu différentes pour les trois types de bancs suivant qu'ils soient libres ou associés à une "baleine" (Cf. Tableau 1.2.). Toutefois il convient de signaler que dans la zone "SENEGAL" près de 15% des pêches de thonidés sont associés à des baleines alors que dans les autres zones hydrologiques, ce type d'association ne représente que 7 à 9% des calées.

Les systèmes abiotiques. (ANNEXE B)

A. Les épaves naturelles

Dans l'océan Pacifique occidental (SACCHI 1986) ainsi que dans l'océan Indien, la pêche de thonidés se fait de façon prépondérante à l'aide d'épaves flottantes. Dans la partie orientale de l'océan Atlantique, 17% des calées ont été réalisées grâce à des épaves flottantes jouant le rôle d'un dispositif concentrateur de poissons (DCP).

Les pourcentages des pêches de thonidés associés avec des DCP par rapport aux pêches totales par zone de 2° de latitude par 5° de longitude sont présentés dans la figure 1.8 (a et b). On note une prépondérance des coups de senne sur DCP naturels dans les zones comprises entre 5 et 10°E et entre 2°N et 4°S. Ceci est à relier au fait que dans ces régions, se jettent le fleuve Congo au sud et les nombreuses rivières gabonaises. Sur la figure 1.8 (a et b), on relève également qu'au large du Libéria, la proportion des pêches sur DCP naturel est supérieure à 40% près de la côte alors que dans la région équatoriale et au large du SENEGAL, région bordée par des terres arides, le taux de DCP est faible voire nul.

L'albacore et le listao, ne s'associent pas de la même façon sous ou à proximité d'un DCP. Le lien avec l'objet flottant apparaît beaucoup plus fort pour les listaos que pour les albacores (Cf Tableau 1.2). Cependant, les listaos sont fréquemment associés en bancs mixtes avec des petits albacores de même taille. C'est cet ensemble de thons de petites tailles (de 1.5 à 10 kg) que l'on trouve le plus souvent associé à des DCP. Par ailleurs, dans les zones actuellement exploitées dans l'océan Indien par ces senneurs, l'association des gros albacores avec un DCP semble plus fréquente (Marsac communication personnelle). Pour l'Atlantique, en analysant les tonnages moyens par calée positive, on constate que pour un banc de listao pur, la prise moyenne par calée en présence d'un DCP s'élève à 18.0 tonnes contre 11.8 tonnes par calée sans DCP. Pour des bancs mixtes d'albacore et de listao, la prise moyenne par calée s'élève à 24.9 tonnes (d'albacore et de listao) pour un banc mixte associé à un DCP contre 25.2 tonnes (d'albacore et de listao) pour un banc sans DCP. Pour les bancs d'albacore pur, la situation est inversée : la prise moyenne par calée s'élève à 8.7 tonnes pour un banc associé à un DCP contre 30.5 tonnes pour un banc sans DCP.

Par ailleurs, les DCP sont activement recherchés par les patrons de thoniers en raison du faible taux de calées nulles qu'ils réalisent grâce à eux. Dans le Tableau 1.2 nous présentons les différents taux de coup nul rencontrés en présence d'un DCP en fonction des trois types de bancs. Pour un banc de listao pur le faible taux de coup nul

est statistiquement significatif de celui d'un banc libre. En revanche pour un banc d'albacore pur, le taux de calée nulle n'est pas statistiquement différent de celui d'un banc libre. Enfin pour les bancs mixtes, le taux de calée nulle inférieur à 1% par rapport à un banc libre bien que statistiquement significatif serait le reflet d'un biais dans le fichier des données de pêche. Après discussion de ces valeurs avec les patrons de thonier, ces derniers situeraient le taux de calée nulle pour un banc mixte associé à un DCP aux environs de 3%. En ce qui concerne les prises par classe de taille de la calée, on peut noter pour les bancs d'albacores purs la présence d'un pic pour les calées de 1 à 10 tonnes. Les DCP mettent en évidence un point particulier du comportement des thons. Outre celui de se regrouper de jour sous une épave, les thons sont capables de s'en éloigner la nuit jusqu'à une distance de 5 à 10 milles (CAYRE et CHABANNE, 1986 ; HOLLAND *et al.*, 1990) et de revenir s'y "réfugier" de nouveau au lever du jour.

B. Les charognes

Il est un type de pêche particulièrement spectaculaire à savoir des pêches de thonidés en présence d'une charogne (cadavre de baleine ou de cachalot) dérivant en surface. La rencontre d'une charogne est rare : moins de 1% des prises sont réalisées avec ce type d'association. Nous présentons dans le Tableau 1.2 les pourcentages d'occurrence de ce type d'association pour les différents types de banc de thons.

A titre indicatif nous mentionnons le fait qu'en présence d'une charogne, le taux de calée nulle pour les différents types de bancs de thons, est proche ou égal à zéro (Cf Tableau 1.2). Les plus fortes prises par calée réalisées par la flottille FIS, l'ont été sur des charognes et des prises par calée de plus de 200 tonnes sont encore dans toutes les mémoires.

C. Le thonier

Une autre forme de pêche tout aussi spectaculaire est celle où le thonier joue lui-même le rôle d'un DCP. Il arrive parfois au lever du soleil, au moment où le thonier s'appête à remettre en pêche, qu'un banc de thons soit plaqué sous la coque du navire. Ce type d'association est relativement rare; d'après notre fichier, près de 3% des calées ont été effectuées de cette façon. Cependant, ce type d'association favorise de façon significative un faible taux de coup nul (par rapport à un banc libre) pour un banc de listaos purs ou pour un banc mixte ; pour les bancs d'albacores purs, ce taux de coup nul est même le plus bas relevé (Cf. Tableau 1.2) mais il n'est pas statistiquement différent de celui relevé pour un banc libre. Quant aux prises moyennes par calée (Cf Tableau 1.2) et aux prises par classe de taille de la calée, le thonier se comporte comme un DCP.

Cette forme de pêche est mise à profit par les canneurs qui opèrent dans la région de Dakar. Il arrive très fréquemment qu'un canneur pêche plusieurs jours de suite sur le même banc de thonidés "collé" à sa coque. Lorsque ses cales sont pleines le canneur va "céder" son banc à un autre canneur qui à son tour pêchera jusqu'à la fin de sa marée. Un même banc de thons peut ainsi être exploité en continuité pendant plusieurs semaines par deux bateaux se relayant.

1.2.5. PHYSIOLOGIE ET COMPORTEMENT DES THONIDES EN FONCTION DE L'HABITAT

1.2.5.1. Généralités

Les besoins physiologiques des thons sont importants. D'après KITCHELL *et al.* (1978) un listao de moins de 1kg consommerait quotidiennement de 7,3 à 19% de son poids. Pour les albacores juvéniles, les quantités de nourriture ingérées par jour sont proches de celles mesurées pour les listaos. Les faibles quantités de graisse et les besoins énergétiques importants font qu'un thon qui est dans l'impossibilité de se nourrir, meurt au bout d'une dizaine de jours (OLSON et BOGGS, 1986). Le thon est donc un animal en quête permanente de nourriture.

1.2.5.2. La nourriture des thonidés (ANNEXE B).

C'est par l'analyse des contenus stomacaux que l'on étudie essentiellement la nourriture des thons dans la nature. Tous les travaux sur la nourriture des thonidés, menés dans tous les océans, s'accordent à reconnaître que les thons (albacore, listao et patudo) ont une alimentation très variée, mais pas de nourriture préférentielle. Ce sont des prédateurs actifs, opportunistes qui chassent à vue dans la zone épipélagique aux crépuscules, avec pour le patudo une possibilité de se nourrir la nuit. Dans sa revue bibliographique sur la nourriture des thons en Atlantique, DRAGOVICH (1969), cite plus de 500 formes différentes identifiées dans les estomacs des sept principales espèces de thons. Sur ces 500 formes identifiées, il trouve que l'alimentation de ces espèces se compose de : 63% de poissons, 21% de crustacés, 14% de mollusques et de 2% de tuniciers.

Si les thons ont une nourriture assez semblable, il semblerait qu'au sein d'un même banc, l'albacore et le listao ne consommeraient pas les mêmes proies, mais ils auraient cependant une préférence pour les poissons dès qu'ils seraient capable de les capturer.

Les variations qualitatives de la nourriture en fonction de l'hydroclimat sont possibles en raison du comportement alimentaire opportuniste des thons. En revanche, l'absence d'étude des variations quantitatives de la nourriture de l'albacore et du listao en fonction de la saison ne permet pas d'avoir une vue d'ensemble de la biologie de ces deux espèces en liaison avec la reproduction et la migration. Cependant les travaux de KITCHELL *et al.* (1978), montrent que la disponibilité de la nourriture est un facteur limitant la croissance des juvéniles d'albacore et de listao tandis que pour les thonidés adultes, le facteur limitant est leur capacité à consommer et à assimiler la nourriture disponible.

Ces mêmes auteurs évaluent, dans le Pacifique central, à 2,5 ppb la quantité d'organismes proies dans la mer et évoquent le fait que malgré cette nourriture théoriquement très diluée, les thons peuvent survivre ; ceci témoigne premièrement de la forte répartition en tache de la nourriture et deuxièmement de la remarquable capacité des thons à localiser et à "moissonner" ces agrégats d'organismes proies.

Cette constatation faite par KITCHELL *et al.* (1978) ne s'arrête pas là. Ces auteurs soulèvent un problème qui selon eux peut sembler paradoxal à savoir que : "*la nourriture puisse manquer alors qu'elle est un facteur limitant la croissance des thons étant donné qu'ils vivent dans ce qui est sûrement l'endroit le plus pauvre fréquenté par des poissons : la zone épipélagique des mers tropicales*". Ce paradoxe ne s'arrête pas là car ROGER et GRANDPERRIN (1976) trouvent que les thons ne se nourrissent que de jour sur des proies épipélagiques et qu'ils se nourrissent très rarement des poissons du micronecton qui migrent verticalement la nuit (ces poissons constituent la majeure

partie de la D.S.L.¹⁶). De plus, les poissons proies des thons ne se nourrissent également que le jour sur des euphausiacés (*Stylocheiron*) qui ne migrent pas. Ces deux auteurs constatent donc que tous les maillons de la chaîne alimentaire habitent la couche 0-450 m le jour et se nourrissent le jour. Selon ces auteurs, cela implique que l'ichthyofaune épipélagique n'a pas la possibilité à travers la chaîne alimentaire de bénéficier de la biomasse considérable des espèces migrantes. Récemment, BARD et PEZENNEC (1990) ont trouvé des poissons appartenant à la faune mésopélagique ou bathypélagique dans les contenus stomacaux d'albacores de plus de 10 kg pêchés dans la zone équatoriale du golfe de Guinée. Un poisson, *Neoscopelus macrolepidotus*, a été souvent rencontré dans les estomacs d'albacore et parfois en très grand nombre. Ces auteurs précisent que ce poisson est connue comme fréquentant les profondeurs de 200 à 2 000m et participe à la faune migrant verticalement selon le cycle nyctéméral. Devant ces analyses contradictoires, nous avons interrogé ROGER qui maintient les conclusions de son article écrit avec GRANPERRIN. Toutefois, selon ROGER et GRANDPERRIN (1976), les thons, par l'intermédiaire des céphalopodes (qui entrent pour une bonne part dans leur ration alimentaire), bénéficient un peu de cette faune migratrice. Les céphalopodes ont également une activité alimentaire nocturne.

1.2.5.3. La thermorégulation chez les thonidés.

Nous avons évoqué dès le début de cet ouvrage le fait que les thonidés sont les seuls poissons osseux à posséder un système circulatoire qui permette de conserver la chaleur interne. Les avantages liés à la conservation de la chaleur seraient (ce ne sont que des hypothèses) de faciliter le travail musculaire et d'assurer une vitesse de nage soutenue maximale (CAREY *et al.*, 1971) et de permettre une certaine indépendance vis-à-vis des variations extérieures de la température et par là faciliter les déplacements dans des milieux aux caractéristiques contrastées (GRAHAM, 1975) comme par exemple les déplacements verticaux des thons qui passent rapidement des eaux chaudes en surface aux eaux plus froides des couches profondes comme nous l'avons évoquer plus haut avec les expériences de marquage acoustique.

D'autres chercheurs (SHARP et VLYMEN, 1979), ont émis l'idée que le système circulatoire particulier des thonidés participerait à un processus tendant plutôt à faire baisser la quantité de chaleur à l'intérieur du corps qu'à la conserver.

Cette théorie pourrait être remise en question par les travaux, de HOLLAND, BRILL et HARMAN¹⁷ qui ont pour la première fois marqué des thons et des marlins avec une marque ultrasonique équipée de deux transmetteurs, le premier donnant des indications sur la profondeur de nage et le second, et c'est là où réside la nouveauté, transmettant en permanence la température du coeur du muscle du poisson. Au cours de cette expérience, un patudo (sur quatre marqués), a, après le lever du soleil, plongé jusqu'à une profondeur de 600 pieds (183 m), ce qui est, selon ces auteurs, une profondeur de nage diurne habituelle pour un patudo. Alors que ce patudo évoluait dans des eaux froides (entre 14 et 17°C), la température interne de son muscle diminuait graduellement jusqu'à atteindre la température de 18°C. A ce moment là, le thon s'est mis à nager vers les eaux plus chaudes alors que l'on assistait à un réchauffement du coeur de ses muscles. Ce comportement s'est répété chaque fois que la température du coeur du muscle a atteint le même seuil. Ce type de comportement va à l'encontre de l'idée que les thons (mais peut-être pas le patudo) plongent vers les eaux froides pour évacuer un excédent de chaleur accumulé par le travail musculaire dans les eaux chaudes de surface.

Les marquages acoustiques (HOLLAND *et al.*, op. cit.) montrent que le patudo effectue de larges et fréquentes excursions vers la surface pendant la journée, que l'albacore passe 68% des heures du jour dans la couche homogène et dans des eaux où la température est de un degré inférieure à celle de la couche homogène. En revanche,

¹⁶ Deep Scattering Layer

¹⁷ Lettre de W.H. BAYLIFF (IATTC) du 7/8/89 aux membres du "Informal Working Party on Tuna and Billfish Tagging.

la nuit, le patudo évolue dans des eaux beaucoup plus chaudes; l'albacore reste près de la surface. Reprenant les marquages acoustiques chez le patudo, HOLLAND *et al.*, (op. cit.) pensent que ces comportements sont liés aux problèmes de thermorégulation. Evoquant les travaux énoncés ci-dessus, ces auteurs pensent qu'une possible motivation de ce comportement pourrait être liée à l'opportunité de se nourrir de poissons, de céphalopodes et de crustacés de profondeur et suggèrent qu'il existerait, pour le patudo, une forte motivation pour habiter les eaux froides et profondes.

HOLLAND *et al.*, (op. cit.) posent la question suivante : "*Monitoring the core muscle temperature of bigeye tuna would indicate if, in fact, the large upward excursions are a form of behavioral thermoregulation which, when combined with physiological thermoconservation, allows these fishes to exploit an otherwise unreachable resource*". Comme le dit BAYLIFF dans sa lettre de 1989, ces expériences ouvrent de nouvelles perspectives mais ce scoop n'est que timidement repris par HOLLAND *et al.*, (op. cit.). Ce type de comportement n'a sans doute été relevé que pour le patudo. Quant au listao et à l'albacore, l'idée émise par (SHARP et VLYMÉN, 1979) semble être toujours d'actualité.

Quelque soit l'hypothèse retenue, ce phénomène de thermorégulation joue un rôle sur la répartition verticale et horizontale des thonidés, sur le comportement et en conséquence sur la disponibilité des thons aux engins de pêche.

1.2.6. CONCLUSIONS

Nous venons de voir que la disponibilité dans l'espace et dans le temps des thons, est soumise à de fortes variations et ce n'est que si certaines conditions d'environnement sont réunies que les thons pourront se rassembler. En d'autres termes, le comportement des thonidés dans un écosystème donné, dépend directement des paramètres physiques et biologiques et de leurs interactions c'est-à-dire de leur action synergique.

Ces paramètres d'environnement ou ces situations environnementales, que nous venons d'évoquer, vont avoir sur la biomasse des thonidés des effets directs et indirects. Effets directs sur la mortalité des espèces à différents stades, sur la croissance en agissant sur les facteurs favorisant la présence de nourriture et sur le recrutement. Effets indirects sur la migration, sur la disponibilité des thons aux engins de pêche et sur l'effort de pêche. La nourriture des thonidés, qui agit directement sur la physiologie des thonidés, va induire la distribution des thons au sein des bornes définies par les paramètres physiques et physiologiques (BLACKBURN 1965, SUND *et al.* 1981, STRETTA, 1988).

Tableau 1.1 Gammes thermiques au sein desquelles se sont effectuées les pêches de thonidés en Atlantique pour les flottilles thonières FIS de 1979 à 1989 et espagnole de 1979 à 1987 et dans l'océan Indien pour la flottille thonière française de 1985 à 1988.

TEMP.	FIS ATL		ESP ATL		F OI	
17	6	0,02%	3	0,01%		
18	6	0,02%	17	0,07%		
19	14	0,04%	65	0,27%		
20	77	0,22%	131	0,54%	1	0,00%
21	373	1,04%	335	1,39%	0	0,00%
22	1049	2,94%	530	2,19%	9	0,04%
23	2138	5,99%	832	3,45%	28	0,11%
24	2889	8,09%	1546	6,40%	236	0,97%
25	4212	11,79%	2052	8,50%	1340	5,48%
26	5841	16,36%	3722	15,41%	2798	11,45%
27	6344	17,76%	5460	22,61%	5396	22,08%
28	8072	22,62%	6285	26,03%	8987	36,77%
29	3915	10,96%	2632	10,90%	4812	19,69%
30	732	2,05%	519	2,15%	782	3,20%
31	39	0,11%	15	0,06%	46	0,19%
32	0	0,00%	2	0,01%	3	0,01%
Total	35707		24146		24438	

TEMP. : Température de surface relevée par le thonier
 FIS ATL : Flottille française, ivoirienne et sénégalaise en Atlantique
 ESP ATL : Flottille espagnole en Atlantique
 F OI : Flottille française dans l'Océan Indien

Tableau 1.2 Nombre de calées totales, nombre de calées positives et nulles, prises moyennes par calées, pourcentages de calées nulles et pourcentages d'occurrence sur bancs libres et bancs associés à des DCP et à des animaux marins. (ns: non significatif). (Source CAYRE *et al.*, 1988)

ESPECES	LIBELLES PARAMETRES	BANCS LIBRES	BANCS ASSOCIES AVEC:						TOTAL
			REQUIN BALEINE	DAUPHIN	BALEINE	DCP	CHAROGNE	THONIER	
LISTAO	Nbr.calées	1676	118	34	109	390	32	71	2430
	Calées >0	1169	88	24	86	367	32	67	1833
	Calées <0	507	30	10	23	23	0	4	597
	P.moy.cal.	11.8 t	9.9 t	4.4 t	15.2 t	18.0 t	31.4 t	18.3 t	
	% cal.nul.	30.25%	25.42%	70.59%	21.10%	5.90%	0.00%	5.63%	24.56%
	% occur.	68.97%	4.86%	1.40%	4.48%	16.05%	1.31%	2.92%	
LISTAO + ALBACORE	Nbr.calées	1435	491	30	259	1070	27	163	3475
	Calées >0	1238	457	28	240	1064	27	160	3214
	Calées <0	197	34	2	19	6	0	3	261
	P.moy.cal.	25.2 t	21.2 t	31.7 t	29.5 t	24.9 t	27.8 t	23.3 t	
	% cal.nul.	13.73%	6.92%	6.67%	7.34%	0.64%	0.00%	1.84%	7.51%
	% occur.	41.29%	14.13%	0.86%	7.45%	30.80%	0.77%	4.69%	
ALBACORE	Nbr.calées	3393	234	80	460	318	3	49	4537
	Calées >0	2444	136	49	301	259	2	40	3231
	Calées <0	949	98	31	159	59	1	9	1306
	P.moy.cal.	30.5 t	9.9 t	22.5 t	29.3 t	8.7 t	ns	9.3 t	
	% cal.nul.	27.97%	41.88%	38.75%	34.57%	18.55%	ns	18.37%	28.78%
	% occur.	74.78%	5.15%	1.76%	10.13%	7.01%	0.06%	1.08%	

Nbr.calées = Nombre de calées totales.

Calées >0 = Nombre de calées positives.

Calées <0 = Nombre de calées nulles.

P.moy.cal. = Prise moyenne par calée en tonnes.

% cal.nul. = Pourcentage de calées nulles.

% occur. = Pourcentage d'occurrence.

1.3. THEORIE COHERENTE DU COMPORTEMENT DES THONIDES DANS LEUR HABITAT

RESUME (Ce paragraphe est développé dans la thèse de M. PETIT)

Les études du paragraphe précédent sur l'habitat sont regroupées et montrent qu'il n'est pas correct de considérer un facteur de l'environnement pris isolément et que la règle du facteur limitant se doit d'être remplacée par la notion de **synergie** entre les différents paramètres. L'abondance en thonidés dans l'espace-temps est déterminée par le degré d'optimisation d'un complexe de facteurs physiques et biologiques qui approchent des limites de tolérance du poisson vis-à-vis de ces facteurs. Le comportement du poisson tendra à le ramener vers des conditions les plus proches possibles de son "**euphorie**" (POSTEL, 1966) que certains auteurs (CURY et ROY, 1989) nomment, de façon plus restrictive, "**fenêtre environnementale optimale**" ou "**cellules optimales**" (MAUGHAN, 1972 ; PETIT, 1976 ; PETIT, 1979 ; PETIT et HENIN, 1982 ; PETIT et KULBICKI, 1982). Trois niveaux de probabilités sont considérés :

- la **probabilité de présence (Pp)** du thon dans un espace-temps qui correspond aux valeurs limites des paramètres par rapport à son écophysiologie,
- la **probabilité de concentration (Pc)** des bancs qui correspond au niveau euphorique,
- la **probabilité de capturabilité** ou vulnérabilité (**Pv**) des bancs qui dépend des conditions optimales requises pour une bonne efficacité de l'engin de pêche lors de la capture.

Est ensuite étudiée la solution adaptative présentée par les thonidés vis-à-vis des contraintes de la niche écologique occupée. Cette solution passe par un fort opportunisme dans la reproduction et surtout la nutrition. Il s'en suit un comportement essentiellement dicté par la **recherche d'un bilan énergétique positif ou nul allié à une grande faculté à se déplacer donc à "prospector" le plus grand volume d'eau.**

Cependant, en dépit de ce fort pouvoir de prospection, il est tout-à-fait possible que ce volume "filtré" ne suffise pas si les déplacements sont aléatoires. D'où l'idée (PETIT, 1986) que les **thonidés pouvaient avoir une connaissance innée non pas des zones de fortes productions mais des conditions ou plutôt des "signes" qui y conduisent.** En d'autres termes, le postulat de base d'une théorie cohérente du comportement thonier peut s'énoncer ainsi :

"Si dans un espace-temps donné, des bancs de thons sont présents, ils auront tendance à se concentrer près des anomalies (gradients) présentées par les paramètres de l'environnement qu'ils sont aptes à percevoir".

Ce postulat est ensuite argumenté et des corollaires en sont déduits. Notamment la **notion même de migration disparaît au profit de cette de déplacement.** Les thons ne migrent pas *sensu stricto* mais se déplacent dès que le lieu où ils se trouvent ne suffit plus à les nourrir ; c'est-à-dire lorsque leur bilan énergétique tend à devenir négatif. Dans un grand nombre de cas, d'ailleurs, ces déplacements doivent aboutir à un échec d'où une mortalité naturelle très élevée. **Ainsi, dans ce concept, la fameuse migration des thonidés n'est que la fonction émergente de comportements élémentaires - presque binaires - que nous essayons actuellement de modéliser.** D'un point de vue plus mathématique, une modélisation selon la théorie des catastrophes (THOM, 1972) est prospectée en prenant comme axe de la surface de contrôle le niveau de nourriture du milieu et les conditions du milieu, la variable d'état étant bien sûr le niveau de concentration des bancs.

1.4. DETERMINISME DU DEPLACEMENT DES THONIDES (DDT)

1.4.1. DDT ET LA NOTION DE BANC

RESUME (Ce paragraphe est développé dans la thèse de M. PETIT)

Les thons sont parmi les 11 000 espèces de poissons qui montrent, au moins pendant une partie de leur vie, un comportement de rassemblement en banc. La question est de savoir quel est le but d'un tel comportement. Nous approcherons ce problème d'un point de vue trophique. Pour cela, nous introduisons la notion de la "biomasse-proie" B , qui est la quantité de nourriture nécessaire pour la survie des bancs par mètre cube d'eau traversée par le thon. Quelques hypothèses fondées sur les données de la littérature peuvent être utilisées pour bâtir une équation pour B . Ces hypothèses sont :

- 1 Un banc de thon est une sphère pendant la période de chasse
- 2 Le rayon de la sphère de détection d'une proie est fonction du rayon du banc et d'un coefficient de perception (calculé)
- 3 La densité au sein du banc est de 2 à 4 thons par mètre cube
- 4 La constante allométrique α est proche de 3
- 5 La quantité de nourriture nécessaire par jour est proportionnelle au poids du banc
- 6 La distance prospectée par jour et par banc, en condition moyenne, est entre 30 et 50 mk.

Si nous considérons H comme la racine cubique du tonnage du banc et comme le paramètre utilisé pour caractériser le banc, la nourriture nécessaire par jour est directement proportionnelle au cube de H , le volume d'eau traversé au carré de H et de B , la biomasse-proie à H . Nous obtenons la formule simple $B = k_p H$. L'estimation de k_p , et sa dérivée, est fondamentale et a été testée en dépit de l'absence d'expérimentations. Dans des conditions moyennes, la valeur médiane s'élève à : 18,7 (si B est exprimé en mg.m^{-3} et le poids du banc en tonnes).

De ces calculs, nous pouvons en déduire plusieurs conséquences:

1 Si la nourriture nécessaire augmente avec le cube de H (c'est-à-dire le tonnage du banc), la biomasse-proie augmente **seulement** avec H . Ainsi, les individus ou les petits bancs de thons tendent à se rassembler en bancs plus importants jusqu'à ce que l'environnement, à travers la biomasse-proie, soit capable d'assurer "la charge". Quand l'environnement devient moins généreux, les gros bancs auront tendance à se fragmenter. D'un autre côté, en accord avec la théorie qui soutient le fait qu'un gros banc est composé de petites unités d'individus de même taille, même espèce et probablement d'une même ponte.

2 Du point de vue de l'efficacité écologique, il est plus avantageux pour un thon isolé d'être au sein d'un gros banc que d'un petit car pour une même dépense énergétique, le volume prospecté sera beaucoup plus important, ce qui est essentiel si l'on considère le caractère agrégatif de la nourriture dans l'environnement.

3 Si toutes ces hypothèses sont vérifiées, la taille du banc serait un bon index pour estimer les ressources dans l'océan en tenant compte du niveau trophique formé par les proies des thons et qui est difficile à évaluer. Ainsi, le thon, ou plus exactement le banc de thons, constituerait une bonne évaluation de ce niveau. Les petits bancs (moins de 5 tonnes) nécessiteraient une biomasse-proie de $3,5 \text{ g.m}^{-2}$ (B intégrée dans la colonne d'eau) alors que les gros bancs (= 80 tonnes) auraient besoin de 12 g.m^{-2} . Ces valeurs sont en accord avec les densités de micronecton mesurées à la fois dans les eaux oligotrophiques et dans les régions à fortes productivités (upwelling, dôme ...). Quelques exemples de la région de Nouvelle Calédonie et de l'océan Atlantique tropical sont présentés.

Enfin, et par analogie avec l'agronomie, il est possible d'avancer deux concepts:

1 La "charge" supportable par une masse d'eau qui pourrait être caractérisée par la taille de bancs capturés ou échantillonnés.

2 La surface de pêche efficace (SPE), qui pourrait être modélisée par la "charge" et d'autres paramètres environnementaux ou économiques.

1.4.2. DETERMINISME DU DEPLACEMENT DES THONIDES ET VARIABILITE DE L'ENVIRONNEMENT

Avant d'aborder les notions de production au sein des différents systèmes hydrologiques que nous avons évoqués plus haut, il est nécessaire de rappeler, dans leurs grandes lignes, les principaux traits de l'hydroclimatologie du golfe de Guinée pour situer chacun de ces systèmes par rapport aux autres.

1.4.2.1. LE MILIEU PHYSIQUE DANS LE GOLFE DE GUINEE

1. Climatologie

Les déplacements saisonniers de la zone intertropicale de convergence (ZITC) déterminent les variations climatiques de toute la zone intertropicale de l'océan Atlantique. Ces déplacements sont liés à ceux de l'anticyclone de Sainte-Hélène centrés approximativement sur 25° S. Cet anticyclone remonte vers le nord pendant l'été boréal. Les alizés du sud-est se renforcent et dominent alors dans toute la région du golfe de Guinée en tournant vers l'ouest, au nord de l'équateur pour former la mousson du sud-ouest. L'apparition de la mousson du sud-ouest s'accompagne de précipitations importantes et déclenche, le long de la côte, des upwellings côtiers locaux. Sur la zone équatoriale, les alizés déclenchent et entretiennent une divergence équatoriale. Cette période est désignée sous le nom de **saison froide**.

Le renforcement du flux d'alizés, en été boréal, serait le responsable des upwellings côtiers saisonniers le long des côtes du Congo et du Gabon, (du Cap Frio au Cap Lopez) et sur la côte d'Afrique occidentale au large de la Côte-d'Ivoire et du Ghana, (du Cap des Palmes au Cap des Trois Pointes) de juin à septembre.

Cette explication classique du déclenchement des upwellings côtiers sous l'influence des alizés était largement admise (MORLIERE, 1970 ; WAUTHY, 1983); elle est actuellement fortement contestée. Les modèles numériques ont permis, d'après GOURIOU (1988), de préciser les mécanismes de la réponse de l'océan à l'action du vent. Il semblerait que l'océan réagit à la tension du vent intégrée sur l'ensemble du bassin. Sans entrer dans les discussions qui animent les océanographes physiciens, nous pouvons retenir que la baisse de la température de surface entre le Cap des Palmes et le Cap des Trois Pointes est due à la montée de thermocline (VERSTRAETE et PICAUT, 1983). PICAUT (1983) a montré que le signal d'upwelling saisonnier se propage verticalement et que d'après Mc CRÉTY *et al.* (1984) cité dans VERSTRAETE et PICAUT (op. cit.), "l'énergie (de ce signal) se propage verticalement sous la forme d'une superposition d'ondes libres excitées initialement par le vent dans l'Atlantique équatorial ouest".

L'explication classique de la divergence équatorial induite également par l'accélération des flux des alizés du fait du changement de sens de la force de Coriolis au niveau de l'équateur de mai à juillet est, elle aussi, remise en cause. VOITURIEZ (1983), dans son introduction sur l'étude du sous-courant équatorial, pense que ce refroidissement superficiel peut être considéré comme le résultat à la fois de la variation

de la pente dynamique le long de l'équateur et de la divergence équatoriale induite localement au sud de l'équateur par les alizés de sud-est.

Au moment de la descente vers le sud de l'anticyclone de Sainte-Hélène pendant l'hiver boréal, la zone des calmes s'étend en direction de l'équateur. Les vents sont faibles (et les alizés de sud-est n'entretenaient plus la divergence équatoriale ?). Le long de la côte, les upwellings disparaissent : c'est la **saison chaude**.

2. Circulation

L'essentiel de la circulation en surface dans le golfe de Guinée est connu depuis fort longtemps. HISARD (1983) retrace l'historique des études sur la circulation dans le golfe de Guinée et il cite plusieurs ouvrages du XVII^{ème} siècle contenant divers renseignements sur les courants dans le golfe de Guinée.

Les courants de surface dans le golfe de Guinée sont stables sauf dans la baie de Biafra et au voisinage des côtes (LEMASSON et REBERT, 1973). En subsurface, au niveau de la thermocline, les courants sont nettement différents : une coupe nord-sud le long du méridien 4° W fait apparaître le long du talus continental le sous-courant ivoirien opposé au courant de surface et prolongé vers le sud par une autre veine de courant ouest baptisée contre-courant de Guinée (LEMASSON et REBERT, 1973).

A l'équateur, le sous-courant équatorial ou courant de Lomonosov s'écoule vers l'est. Sa vitesse est maximale (2 noeuds) au printemps et minimale en été et en automne (0,6 noeud) lorsque les mécanismes d'enrichissement s'intensifient (HISARD, 1973). Le rôle du courant de Lomonosov est d'autant plus important, qu'en se divisant en deux branches à la longitude de l'île de Sao Tomé, il prend une part active dans la formation du contre-courant de Guinée et à l'apparition de la zone frontale du Cap Lopez (HISARD, MORLIERE, 1973 ; HISARD *et al.*, 1975). Vers le 5° S le contre-courant équatorial sud s'écoule vers l'est. Ce courant a été mesuré par LEMASSON et REBERT (1973). De plus, ces courants se signalent par leurs caractéristiques physiques, chimiques et biologiques propres (DUFOUR et STRETTA, 1973a ; STRETTA, 1975, LEMASSON, 1975).

3. Circulation méridienne

Les liaisons méridiennes entre ces différents courants posent encore de nombreux problèmes. Il existe au large de la Côte-d'Ivoire un tourbillon anticyclonique entre le courant de Guinée et la branche nord du courant équatorial. Si cette circulation méridienne est difficilement mesurable, nous rejoignons l'opinion de GRANDPERRIN (1975) en pensant que les déplacements méridiens des eaux issues d'upwellings sont en zone tropicale déterminants dans les processus de production. En novembre 1971, nous avons pu constater l'effet de la divergence équatoriale jusqu'à 2° S (DUFOUR et STRETTA, 1973a).

4. Hydroclimatologie

La notion d'hydroclimat est assez intuitive (BERRIT, 1973). Selon cet auteur, "c'est l'équivalent, au sein d'une eau, du climat météorologique. On peut la définir comme la succession habituelle des caractères d'une couche d'eau en un lieu donné". Par ailleurs, le système hydrologique lié aux hydroclimats est le système **frontologique**.

On observe en effet deux zones frontales en hiver boréal : le front nord au niveau du Cap Verga (Guinée Bissau), le front sud au niveau du Cap Frio (Angola). Durant l'été boréal, on retrouve ces deux zones frontales qui se sont déplacées, la première jusqu'au Cap Blanc (Mauritanie), la seconde jusqu'au Cap Lopez au Gabon (BERRIT, 1973). Egalement pendant l'été boréal, deux zones frontales

supplémentaires, engendrées par les upwellings côtiers, se situent, l'une au large du Libéria, l'autre de part et d'autre du Cap des Trois Pointes.

1.4.2.2. ZONES PRODUCTIVES ET APPARITION DES THONS DANS LE GOLFE DE GUINEE.

1. Généralités

Avant d'aborder la productivité des différents types de masses d'eaux, nous devons avoir en mémoire les grands traits de la production dans le golfe de Guinée tels qu'on se les présentait au début de nos travaux.

Le golfe de Guinée, tel que nous l'avons défini, est occupé en majeure partie par des eaux chaudes et dessalées (Température de surface $> 24^{\circ}$ et Salinité < 35 g/l) baptisées "eaux guinéennes" par BERRIT (1961)¹⁸. Or, une des caractéristiques essentielles du golfe de Guinée est la présence de zones d'upwellings auxquelles sont associées des zones frontales. Un des upwellings particulièrement étudié est celui de Mauritanie où, à la "source" de l'upwelling, HERBLAND *et al.*, (1973) avaient mesuré des teneurs en nitrates de $20,5 \mu\text{atg/l}$, des teneurs en phosphates de $1,85 \mu\text{atg/l}$. En suivant une drogue mise à l'eau à la source, les valeurs intégrées de 0 à 20 m de production primaire atteignent au bout de 5 jours $0,32 \text{ gC.m}^{-2}.\text{h}^{-2}$ et des maximums de phytoplancton supérieurs à $40 \text{ mg Chla.m}^{-2}$ se trouvent au-dessous des maximums de production primaire. A titre de comparaison, DUFOUR et STRETTA (1973) avaient mesuré, dans les "eaux guinéennes" au nord du front du Cap Lopez, des teneurs quasiment nulles de nitrates et des quantités de phytoplancton proche de 10 mgCla.m^{-2} . Ces eaux oligotrophes ne pouvaient supporter qu'une production primaire faible par régénération des sels nutritifs. Tout au moins c'est ce que l'on croyait.

Au début des années 70, on ne disposait en Atlantique, que des cartes de production primaire, tracées à partir des campagnes EQUALANT I et II, pour cerner et tenter d'apprécier le degré de productivité des zones de l'Atlantique couvertes par les eaux chaudes oligotrophes. Jusqu'à cette époque, l'oligotrophie était synonyme de désert biologique, depuis, ce concept est battu en brèche. Les eaux oligotrophes ont (ou avait ?) pour principale caractéristique d'être pauvres en chlorophylle *a* mais HERBLAND (1983), souligne que dans l'Atlantique tropical oriental, (qu'il ne considère pas à proprement parler comme étant une région oligotrophe bien que la couche homogène ne contienne pas de nitrate), il existe "*des indices en faveur de l'extrême dynamisme de cette couche d'eau où les biomasses restent faibles*". HERBLAND *et al.* (1985), montrent que dans la majeure partie de l'Atlantique tropical oriental (de 5°N à 5°S), 90% du total de la chlorophylle *a* est contenu en moyenne dans la fraction du phytoplancton inférieure à $10\mu\text{m}$. Cela pose un sérieux problème pour le zooplancton, car comme le fait remarquer HERBLAND (1983), qui cite les travaux de NIVAL et NIVAL (1976), comment ces particules peuvent-elles être broutées par le zooplancton si le premier stade copépodite d'*Acartia* ne retient pas les particules inférieures à $3\mu\text{m}$. HERBLAND *et al.* (1983) pensent que ; "*dans la Structure Typique, toute une micro-communauté d'hétérotrophes variés*¹⁹ *serait capable d'exploiter au jour le jour une production de matière végétale qui ne peut s'accumuler. Est-ce qu'un tel type d'écosystème est capable de générer une production nette de matière exportable plus importante qu'on ne le pense aujourd'hui ?*"

Dans une synthèse récente, HERBLAND (1990) souligne le fait que "*rien n'empêche d'imaginer, du moins en théorie, qu'une biomasse phytoplanctonique double, triple ou quadruple entre le matin et le soir et que cette biomasse soit broutée (surtout la*

¹⁸ Cette dénomination ne s'applique pas pour les eaux chaudes et dessalées au sud du Cap Lopez (WAUTHY, 1977).

¹⁹ Il ne faut pas oublier le rôle important joué par les ciliés mixotrophes, de découverte récente, responsables de l'énorme activité de régénération

nuît) par un zooplancton lui aussi très actif qui, via l'excrétion, fournirait au phytoplancton du lendemain, les sels nutritifs nécessaires à sa très forte croissance."

Par ailleurs, HERBLAND *et al.* (1983) considèrent le fait que dans l'océan Atlantique tropical oriental les variations à court terme des conditions hydrologiques (circulation verticale et horizontale et mélange turbulent associé) ont probablement plus d'importance qu'on ne le pense et il semble que toute la zone équatoriale soit soumise à des sortes de "pulsations verticales" encore mal expliquées et en tout cas non modélisées. BARALE (1987) confirme cette hypothèse à savoir qu'une zone qualifiée d'oligotrophe va voir sa production biologique être localement très élevée sous forme de tâche. Cette hypothèse se confirme également par l'analyse des images satellitaires de la couleur de la mer obtenue avec le capteur CZCS²⁰ du satellite NIMBUS 7. Comme le précise HERBLAND ces images ont révélé une hétérogénéité spatiale et une variabilité temporelle surprenantes, même pour des régions réputées oligotrophes. Ce concept de l'hétérogénéité spatiale va nous servir de transition entre la production des eaux oligotrophes et les grands systèmes productifs de l'océan car ce qui conditionne la richesse d'une zone, c'est l'intensité de la production nouvelle qui s'élabore à partir du nitrate, d'origine exogène, puisque la production de régénération consomme des composés organiques azotés dont l'urée et les acides aminés, qui ont déjà coûté de l'énergie à l'écosystème pour être produits. De plus, ces variations hydrologiques à court terme - qui vont être à l'origine des conditions planctoniques et de la production d'animaux fourrage - sont si imprévisibles que la stratégie *r* de l'opportunisme est d'après VALIELA (1984) favorable à long terme pour les animaux pélagiques.

2. Le concept de l'hétérogénéité spatiale

L'idée déjà ancienne, exprimée par MULLIN et BROOKS (1977), est que le zooplancton ne pourrait pas trouver l'énergie nécessaire à son développement en broutant des "concentrations moyennes" de phytoplancton dans les océans. Aussi à partir de ce concept de la variabilité spatiale, qui depuis joue un rôle central en écologie marine (STEELE 1978), de nombreux biologistes se sont focalisés sur ce sujet. C'est ainsi que BARALE (1987), qui aborde les problèmes du développement en tache du phytoplancton et du zooplancton, souligne le fait que la survie de la chaîne alimentaire océanique est liée à ce développement en tache où les concentrations en nourriture excèdent les valeurs moyennes observées à grande échelle ("*exceeds the large-scale mean value*"). Par ailleurs ce même auteur précise que les mesures à distance devraient permettre, en principe, d'obtenir ce type d'informations globales. Sans être aussi catégorique que BARALE, PLATT et SATHYENDRANATH (1988) suggèrent que pour appréhender les problèmes de la production primaire, tout en tenant compte de l'hétérogénéité spatiale, il est nécessaire de combiner la connaissance des champs de pigments en surface, par les techniques de la télédétection, avec la connaissance de la dynamique biogéographique des structures verticales et de paramètres physiologiques. La connaissance des structures verticales ne doivent pas être sous-estimées car dans l'océan tropical et plus particulièrement dans la zone équatoriale, la thermocline est sujette à de brutales variations en profondeur. HOLLIGAN *et al.* (1985), ont observé des variations de 50 à 80 m. d'amplitude des isothermes sous l'effet d'ondes internes. Par ailleurs autour de la Nouvelle-Calédonie le phytoplancton de surface est tributaire pour sa croissance de nutriments qui remontent par "bouffées" de dessous la thermocline (DANDONNEAU et LEMASSON, 1987). Le capteur CZCS du satellite NIMBUS 7 a permis d'observer des enrichissements en chlorophylle très localisés dans une zone dite "homogènement pauvre" (C. DUPOUY communication personnelle). Ces informations corroborent la thèse de HERBLAND *et al.* (1983) qui estiment que dans l'Atlantique, "les variations à court terme des conditions hydrologiques ont probablement plus d'importance qu'on le pense." De son côté GOLDMAN (1987) évoque des explosions indétectables de croissance de phytoplancton créant des zones eutrophisation éphémère.

²⁰ CZCS Coastal Zonal Color Scanner

Cette notion de bouffées de sels nutritifs se retrouve également mais dans une moindre mesure au dessus des guyots. En effet, dans des eaux oligotrophes, KOZLOV *et al.*, (1982)²¹ ainsi que BOEHLERT et GENIN (1987) ont noté que la production de phytoplancton augmente si la remontée des isothermes se fait dans la couche euphotique. GENIN et BOEHLERT (1985) ont ainsi observé une augmentation de 50% des concentrations en chlorophylle au dessus d'un guyot.

Le concept de l'hétérogénéité spatiale, rejoint la notion avancée par LEMASSON (*in* ORSTOM, 1989) comme quoi les "*processus d'enrichissement engendrée par le vent à une petite échelle espace-temps (micro-upwelling) très variables, donneraient à ces vastes zones un aspect de "peau de panthère" dont il faudrait pouvoir quantifier l'importance de la production nouvelle.*"

En résumé, si les eaux oligotrophes *sensu stricto*, sont le siège d'une importante productivité comme HERBLAND nous pensons que : "*D'un point de vue halieutique, ce système très actif est stérile, puisqu'en quelque sorte la production se mord la queue.*" Mais au sein de ces eaux oligotrophes il existerait des îlots de richesse ayant pour origine ces micros upwellings évoqués par LEMASSON. Ces micros upwellings évoqués par LEMASSON nous ramènent au fait que les zones d'enrichissement ont un point commun : celui des mouvements verticaux de la thermocline dans la couche euphotique. Cette remontée peut atteindre la surface et l'altération de la thermocline se traduira par un refroidissement en surface ; c'est le cas d'un upwelling côtier ou de la zone de la divergence équatoriale. Si cette remontée de la thermocline n'atteint pas la surface on assistera alors à la formation d'une structure en dôme ou d'une structure du type crête thermique.

3. Les principaux mécanismes d'enrichissement des masses d'eaux

En dehors des zones de convergence, les processus d'enrichissement des masses d'eaux ont pour point commun, la remontée de la thermocline dans la couche euphotique. Ces différents processus sont : les upwellings côtiers, l'upwelling ou la divergence équatoriale, les micros upwellings, les dômes thermiques, la crête thermique, les effets d'îles et les guyots. Nous avons regroupé dans le Tableau 1.3 les taux de production primaire maximum observés dans l'Atlantique tropical oriental au sein des différents systèmes productifs.

Nous avons évoqué plus haut les principaux systèmes hydrologiques dans lesquels les thons évoluent. Nous allons à présent, à la lumière des besoins et des exigences physiologique des thons, analyser les systèmes d'enrichissement de chaque entité hydrologique que nous avons évoquée plus haut.

Les zones de convergence

La présence des thons dans les zones de convergence peut s'expliquer selon MARCILLÉ et BOUR (1981) par l'accumulation d'animaux fourrage. En dehors de la zone équatoriale, le calcul du "rotationnel du vent" permet de cerner dans le Pacifique sud-ouest, ces zones de convergence dont une située entre 170°W et 170°E et entre 4 et 7°S se situe dans le courant équatorial sud à la limite nord du contre-courant équatorial sud.

21 Cités par BOEHLERT et GENIN (1987)

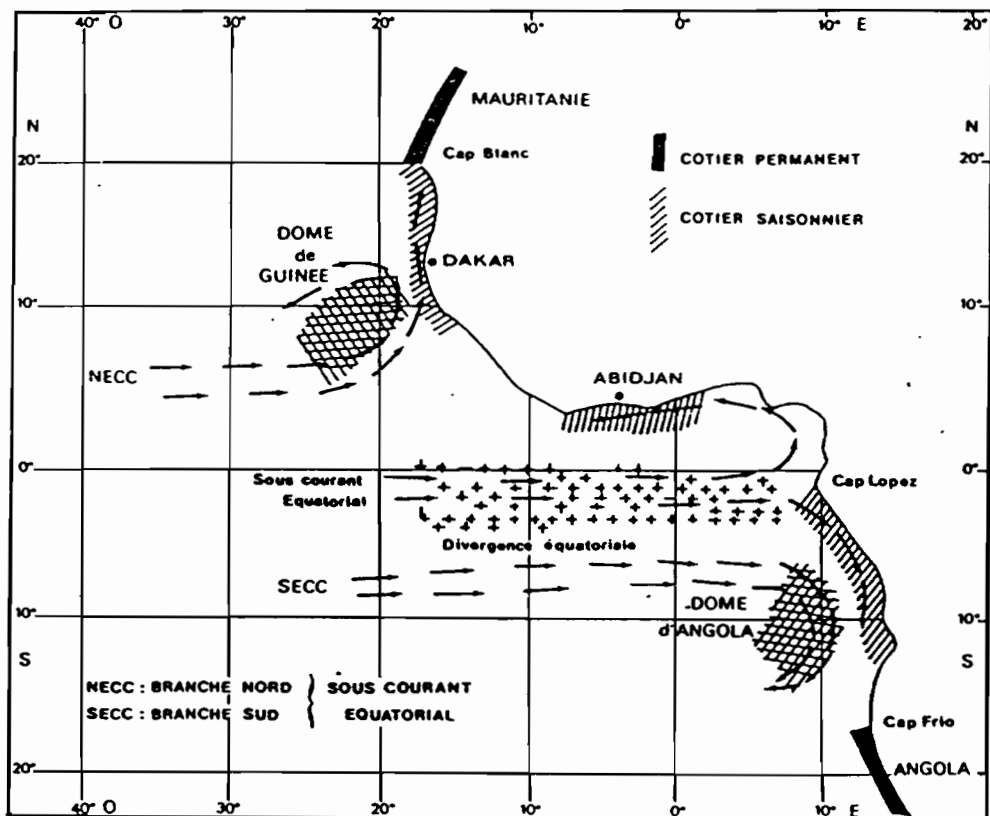


Figure 1.9. Les différentes zones d'enrichissement dans l'Atlantique tropical oriental. (HERBLAND *et al.*, 1983)

Tableau 1.3 : Tableau comparatif des valeurs moyennes de Production Primaire Intégrée exprimées en $\text{mgC.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ rencontrées dans différents systèmes productifs du golfe de Guinée.

	Upwelling Mauritanie	Front Cap Lopez	Dômes Guinée & Angola	Equateur Crête ther.	upwelling	Conver gence
Prod.Prim. Intégr.						
Val.moyenne $\text{mgC/m}^2/\text{h}$	137-200 (1)	> 73 (2)	80 (1)	70 (3)	133 (4)	38 (3)

C.ther : crête thermique

Prod.Prim.Intégr : Production primaire intégrée

(1) VOITURIEZ et HERBLAND (1982)

(2) Valeur calculée par VOITURIEZ et HERBLAND (1977) d'après DUFOUR et STRETTA (1973a)

(3) VOITURIEZ et HERBLAND (1977)

(4) VOITURIEZ et HERBLAND (1978)

Les upwellings côtiers

Les eaux côtières riches en thons sont le siège d'upwelling saisonnier. Les eaux froides issues de ces remontées font entrer en contact avec les eaux chaudes (oligotrophes) présentes dans le secteur et créer une zone frontale (ANNEXE B). Quant à la zone de rupture du plateau continental, la présence de thonidés dans cette frange maritime très étroite est peut-être à relier au fait que les thons se nourrissent activement sur les stocks de pélagiques côtiers parfois très abondant comme c'est le cas au large du Sénégal. De plus, l'enrichissement de cette zone peut provenir d'upwellings côtiers à caractère sporadique comme c'est le cas au large de la Côte d'Ivoire (ANNEXE B).

L'upwelling ou la divergence équatoriale

La remontée de la thermocline à la surface va être à l'origine d'un enrichissement considérable non seulement sur toute la zone équatoriale, mais également sur une grande partie du golfe de Guinée par le jeu du courant équatorial sud et du contre courant équatorial nord (enrichissement au sud de la Côte d'Ivoire) puis du courant de Guinée et du sous-courant de Lomonosov (enrichissement au niveau du cap Lopez).

Les micros upwellings

Ces micros upwellings étaient pressentis depuis de nombreuses années. Tout récemment, THIBAUT (1990), a pu observer durant l'hiver boréal : "la présence au niveau de l'équateur d'un front froid ressemblant à la signature thermique de l'upwelling équatorial en été boréal". A notre connaissance, c'est la première fois que ce type de structure hydrologique ait pu être décrit. Cette observation vient corroborer la notion d'une micro zone riche au sein d'eaux à caractère oligotrophique et accréditer la thèse de zone de l'océan dotée d'un aspect en "peau de panthère" avancée par LEMASSON.

Les dômes thermiques

Selon VOITURIEZ et DANDONNEAU (1974), la remontée de la thermocline entraîne un accroissement important de la production primaire, dont on peut penser qu'il favorisera le développement de la chaîne trophique pouvant conduire à la présence de nourriture pour le thon.

Toutefois, pendant la période de présence d'un dôme thermique, HERBLAND et STRETTA (1973) ont dressé des cartes de répartition du micronecton dans le dôme d'Angola et ont tenté de relier cette quantité de micronecton à la présence des thons.

La crête thermique

Cette saison de pêche hivernale entre l'équateur et 2°S est à relier à l'enrichissement de la zone par la crête thermique. HERBLAND *et al.*, (1985) avancent l'hypothèse que la présence de la crête thermique serait capable d'entretenir une importante production toute l'année. Si l'on s'en tient à cet article, il semble difficile de penser que les seules retombées de l'enrichissement provoqué par la crête thermique en saison chaude pourrait être à l'origine des importantes pêches de thonidés.

Les effets d'îles

Dans l'Atlantique oriental, THIBAUT (1990) relève un effet d'île très net au niveau des îles du Cap Vert (au large de Dakar). Ce phénomène d'effet d'île est particulièrement étudié dans le Pacifique tropical Sud-Ouest où ce phénomène d'enrichissement en chlorophylle autour des terres n'est, toutefois, pas observé de façon systématique (DANDONNEAU et CHARPY, 1985). Ces auteurs, s'appuyant sur la collecte à maille large du réseau de navires marchands SURTROPAC²², montrent que la chlorophylle s'accroît autour des îles volcaniques du Vanuatu et de Fiji et non autour de l'île soulevée et entourée d'un lagon de Nouvelle-Calédonie. Cependant DUPOUY (1990), s'appuyant sur les données satellitaires du CZCS de NIMBUS 7 montrent qu'il y a des effets d'îles qui apparaissent autour de la Nouvelle-Calédonie, mais qui sont plus réduits autour des îles Loyauté.

Les guyots (ANNEXE C).

Comme le soulignent BOEHLERT et GENIN (1987) l'enrichissement de la masse d'eau qui se produit près d'un guyot résulte d'une remontée générale des isothermes. Il y a au niveau d'un guyot une anomalie qui pourrait être le gradient bathymétrique et/ou une turbulence de courant ou alors la modification d'un autre paramètre (qui pour le moment nous échappe) créé par le guyot lui-même. Nous avons récemment démontré l'effet attractif d'un guyot lorsque celui-ci est présent dans une zone ne présentant pas de structure d'enrichissement particulière alors qu'un guyot présent dans une zone sous l'influence d'un upwelling côtier n'aura aucun effet concentrateur de poissons.

4. Rôle joué par la télédétection dans la détection des processus d'enrichissement

Nous avons déjà évoqué plus haut le rôle joué par la détection à distance de petites cellules d'enrichissement à l'aide du capteur couleur de l'eau CZCS de NIMBUS 7. En effet, ce type de capteur permet de connaître, dans les grandes lignes, la

²² SURTROPAC : SURveillance TRansocéanique du PACifique

production primaire totale (P_t). Pour rechercher les zones riches au sein de l'océan, ce qui est important de connaître, c'est la production nouvelle (P_n). Cette production nouvelle ne peut pas être mesurée à distance. Par ailleurs, PLATT *et al.*, (1989) pensent qu'un accroissement soudain et localisé de la biomasse de phytoplancton (provenant d'une arrivée de nutriment azoté) pourrait élever localement le rapport f^{23} ($f = P_n/P_t$). Selon LORENZ *et al.*, (1988), il y aurait quelque possibilité de connaître f de manière semi quantitative à partir du taux de changement de la chlorophylle mesurée à partir d'une série d'images obtenue par télédétection. Connaissant f et P_t on pourrait en déduire la production nouvelle P_n . Cette approche arrive trop tard car depuis quelques années le satellite NIMBUS 7 a cessé de transmettre. De plus ce type d'information n'aurait jamais pu avoir, même du temps où NIMBUS 7 fonctionnait, un caractère opérationnel et en temps réel. Force nous est d'utiliser un autre paramètre pour détecter les zones productives de l'océan comme nous le verrons plus loin. Par ailleurs le satellite SPOT s'est révélé être capable de détecter une déformation de la surface de la mer en utilisant une particularité de ce satellite à savoir le dépointage de son capteur l'est, vers la terre éclairée en lumière rasante par le soleil. Cette particularité nous a permis de détecter une modification de la houle créée par la présence d'un haut fond (ANNEXE C). Cette technique ne peut pas être étendue à tous les hauts fonds car il ne sont pas tous aussi proche de la surface que celui que nous avons étudié dans le Pacifique. Toutefois, BAUDRY (1989) a pu dresser une carte des hauts fonds dans le Pacifique sud-ouest grâce au satellite GEOSAT équipé d'un radar altimétrique.

1.4.2.3. LES ZONES DE PECHE DANS LE GOLFE DE GUINEE (ANNEXE B).

1. Les zones de pêche saisonnière

Une zone de pêche se situe à l'échelle d'une région océanique et possède le plus souvent un caractère saisonnier. C'est ainsi que dans le golfe de Guinée, les pêcheurs parlent de la saison de pêche du "cap Lopez" entre l'île de Sao Tomé et le Gabon, du "cap des Trois Pointes" dans les provinces maritimes du Ghana et de la Côte d'Ivoire ou de l'Equateur. Nous verrons comment rattacher chaque grande zone de pêche aux différents systèmes d'enrichissement que nous venons d'évoquer.

Au cours du Symposium "Année Listao" qui s'est tenu en juin 1983 aux Canaries (Espagne) sous l'égide de l'ICCAT²⁴, des halieutes et des physiciens de la côte ouest africaine se sont penchés sur le difficile problème de délimiter dans l'espace et dans le temps des zones de pêche dans le golfe de Guinée. Les discussions sur le découpage de l'Europe au cours du Congrès de Vienne en 1815 n'ont pas du être aussi âpres que les nôtres. Finalement nous sommes arrivés à tracer des frontières hydro-climato-halieutiques de huit régions océaniques (Cf. Figure 1.2). Récemment ces frontières ont évolué, c'est ainsi que FOUCHER (1990), pour une étude de dynamique, a opéré un découpage du golfe de Guinée en onze entités qui n'ont plus de signification hydrologique.

On peut ainsi distinguer différents types de zones de pêche : celles qui sont liées à un système hydrologique fortement typé comme c'est le cas pour la région du cap Lopez, du Sénégal ou du cap des Trois Pointes, ou des systèmes moins typé comme la saison de pêche dans la région équatoriale. Ces saisons de pêche sont en liaison avec l'hydroclimat.

²³ $f = P_n/P_t$ (EPPLEY et PETERSON 1979)

$P_t = P_r + P_n$

P_t : Production totale

P_r : Production de régénération

P_n : Production nouvelle

²⁴ International Commission for Conservation of Atlantic Tunas, Madrid (Espagne).

Les huit régions retenues présentent trois types de situations hydrologiques et de systèmes productifs différents :

- **les zones enrichies par des upwellings côtiers :**
 - une zone MAURITANIE/SENEGAL située au nord de Dakar qui englobe les îles Canaries, la zone côtière de la Mauritanie et du Sénégal en été boréal ;
 - la zone CAP LOPEZ du mois de mai à août ;
 - la zone GHANA caractérisée par la présence de deux upwellings saisonniers (l'un en janvier-février créant la petite saison froide, l'autre de juillet à septembre formant la grande saison froide) ;
 - la zone ANGOLA en été boréal ;

- **les zones enrichies par la présence d'une structure hydrologique en forme de dôme :**

- la zone GUINEE avec le dôme de Guinée d'août à novembre et la zone ANGOLA avec le dôme d'Angola en hiver boréal ;

- **une zone hybride caractérisée par une crête thermique et une divergence :**
 - la zone EQUATEUR se caractérise en saison chaude (octobre à mai) par la présence d'une crête thermique au sud de l'équateur centrée sur 2-3°S (sans qu'il y ait de refroidissement en surface) et plus au nord par des micros upwellings et en saison froide (juin à septembre) par la présence d'un refroidissement et d'un enrichissement en sels nutritifs de la couche superficielle sans que l'on puisse parler d'un véritable upwelling;

- **une zone de transition**
 - la zone SHERBRO/LIBERIA. La structure hydrologique de cette zone est mal connue; elle serait une zone de convergence entre le courant de Guinée et le courant équatorial sud.

C'est dans les zones fortement typées que nous avons orienté tous nos efforts. C'est ainsi que nous nous sommes particulièrement intéressé à deux zones de pêche, la zone située entre le cap Lopez et l'île de Sao Tomé qui est le siège en juin-juillet d'un front thermique et la zone située au large de la Côte d'Ivoire et le Ghana entre la côte et la latitude de 2°S. (ANNEXE B).

2. Les concentrations de thons.

Les bancs de thons se regroupent parfois en concentration qui se définit comme un groupement, parfois important de bancs de thons, limité dans le temps et dans l'espace. Deux hypothèses peuvent être retenues pour trouver en mer des concentrations de thons suffisamment importantes pour être le siège d'une pêcherie de surface active : soit les concentrations de thons sont liées à la reproduction, soit elles sont liées à une concentration de nourriture.

La première hypothèse découle d'une certaine logique mais elle n'a jamais été confirmée. Quant à la deuxième hypothèse, un certain nombre d'arguments viennent la confirmer.

Il arrive que le phénomène de concentration soit favorisé par des conditions hydrologiques exceptionnelles créant un enrichissement très localisé tels qu'une convergence de courant, un micro upwelling ou la formation d'un front thermique et/ou halin particulièrement actif, la présence d'une couche homogène peu épaisse accompagnée d'une thermocline aiguë, ou alors, comme cela est le cas au large de l'Angola (INGHAM *et al*, 1977), la présence d'une couche homogène peu épaisse accompagnée d'une thermocline aiguë avec une concentration en oxygène dissous au niveau de cette thermocline inférieure à 3.5 ml/l. Dans la région du cap Lopez, les

structures thermiques ou thermo-halines se présentant sous la forme d'une poche d'eau chaude environnée d'une structure frontale que l'on a observées en juillet 1972 et 1974 (ANNEXE B), ont été le siège de pêche de plus de 2 000 tonnes de thons en quelques jours. Des concentrations de plusieurs milliers de tonnes de thons pêchées par plusieurs dizaines de senneurs ne sont pas rares.

3. Déplacement des thons

Nous avons vu dans les chapitres précédents que les albacores et les listaos ne suivent pas de telles routes migratoires comme certaines espèces d'oiseaux. La migration de l'albacore est assez mal connue et n'exclut pas l'existence d'une population sédentaire. Toutefois, si l'on examine le schéma du modèle de migration de l'albacore proposé par BARD *et al.*, (1988), on rencontre toujours les jeunes albacores (d'une taille inférieure à un mètre) et les adultes dans des zones qui ont été le siège d'un enrichissement antérieurement à leur venue.

Quant au patudo, nos connaissances sur leur migration sont très faibles car le patudo était considéré jusqu'à ces dernières années comme une espèce accessoire, souvent confondue avec l'albacore tant par les pêcheurs que par les scientifiques (BARD *et al.*, 1988).

En revanche, pour le listao les connaissances sur les migrations du listao ont énormément progressées à la suite du programme de recherche international (International Skipjack Year Program) suscité par la Commission pour la Conservation des Thonidés de l'Atlantique (ICCAT) qui s'est déroulé de 1979 à 1983. Si l'on prend le modèle de migration de cette espèce en Atlantique proposé par BARD *et al.*, (1988) et qui présente les migrations entre sept compartiments par trimestres (Cf. figure 1.10.), on peut remarquer qu'à chaque fois qu'il y a une forte abondance dans une zone, une migration importante et prouvée se fait vers un compartiment où règne (ou a régné) un système hydrologique favorisant un enrichissement des masses d'eaux.

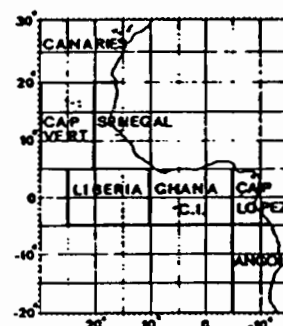
La majorité des listaos se déplacent au cours des trois premières années de leur vie d'une zone riche vers une autre zone riche. C'est ainsi que les listaos entre 40 et 49 cm de longueur se trouvant dans la région du Cap Lopez au cours du troisième trimestre de l'année peuvent soit rester dans la zone pendant une année, soit migrer vers le sud vers l'Angola ou encore migrer vers le nord ouest vers la zone GHANA. La voie de migration la plus importante se situe vers le nord-ouest. Mais peut-on employer le terme de "choix d'une direction de migration" pour les jeunes listaos qui sont présents dans la région du cap Lopez ? La question que l'on peut se poser est de savoir si nous sommes bien en présence d'une migration ou alors de déplacements au vu des arguments avancés dans les paragraphes précédents ?

Figure 1.10. : "Modèle de migration du listao en Atlantique Est, entre sept compartiments, en fonction des trimestres décomptés sur trois ans. On note un recrutement important au cap Lopez au 2ème trimestre, d'une population dont on peut suivre l'évolution sur 9 trimestres. Il est identifié également un fort recrutement en Angola au 1er trimestre, dont l'identité avec celui du cap Lopez n'est pas certaine, et trois recrutements modérés dont le devenir n'est pas bien connu (cas du Cap-Vert en particulier)" (BARD et al., 1988).

Taille	40 - 49 cm				50 - 59 cm				60 cm et plus			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Canaries							☆					
Cap Vert.			R ☆☆					☆				
Sénégal			R ☆			☆☆	☆☆	☆☆				☆
Liberia	R ☆☆			☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆		
Ghana C.I.			☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆				
Cap Lopez		R	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆				☆
Angola	R		☆☆	☆☆								

Légende: ☆ Faible abondance, ☆☆ Forte abondance

- R Recrutement modéré, R Fort recrutement
 → Migration importante prouvée
 ⇌ Migration modérée prouvée
 - - - - - Migration possible



CHAPITRE 2

DE LA SYNTHÈSE ÉCOLOGIQUE À L'ASPECT PRÉDICTIF EN GESTION DES PÊCHES : LA PRAXÉOLOGIE

Ce chapitre reprend des articles publiés ces deux dernières années et que nous avons regroupés dans l'annexe D

2.1. INTRODUCTION

Dans l'océan les mouvements et les concentrations de thons ne peuvent pas être observés directement. Nous devons donc les déduire soit par la connaissance des routes migratoires ou des concentrations liées à la reproduction, soit indirectement à partir de ce que nous savons du comportement des thons en fonction de leur physiologie et des paramètres classiquement relevés pour l'étude de leur environnement. Mais si l'on retient l'hypothèse, que les concentrations de thons sont liées à leur quête perpétuelle de nourriture, cela soulève trois problèmes à savoir que:

- les masses d'eaux épipelagiques tropicales dans des conditions de stabilité sont relativement pauvres (LE BORGNE, 1977) ;
- la faune migrante semble ne pas participer aux rations alimentaires des thons (ROGER et GRANDPERRIN, 1976) ;
- les besoins en nourriture des principales espèces de thons pour différents niveaux d'activité sont élevés (KITCHELL *et al.*, 1978).

L'énoncé de ces problèmes nous fait aboutir à la question paradoxale, soulevée par KITCHELL *et al.* (1978), de savoir comment des bancs de thons peuvent-ils vivre au sein d'un environnement aussi pauvre ?

2.2. PRINCIPES DE BASE DE LA PRÉVISION DES ZONES DE PÊCHE.

Si l'on part du principe que les concentrations de thons sont influencées par la température de surface et par la nourriture disponible, se pose alors le problème de la localisation de cette nourriture. Si l'on connaît, dans les grandes lignes, l'implication directe entre la présence des thons et les paramètres d'environnement, pourquoi n'utiliserait-on pas l'implication inverse à savoir déduire la présence des thons à partir des données d'environnement ?

Pour trouver les zones de concentration de thons, il nous faudrait donc rechercher les aires de fortes densité de nourriture²⁵. Cette recherche, nous entraîne à trouver dans l'océan les zones où la production nouvelle est suffisamment importante pour pouvoir supporter une forte production secondaire et micronectonique qui sera la base de la nourriture des thons : il nous faut donc rechercher dans l'océan des zones où se déroulent des mécanismes d'enrichissement. Cette idée n'est pas récente car BRANDHORST (1958) souligne le fait qu'un des facteurs les plus importants influençant l'agrégation de poissons pélagiques dans les eaux tropicales est la présence de nourriture tributaire de la production du phytoplancton. Dans le Pacifique tropical oriental, cet auteur trouve une relation inverse entre la profondeur de la thermocline et la quantité de zooplancton et cette quantité de zooplancton paraît être reliée dans quelques régions à l'abondance des thons.

Nous avons vu plus haut qu'au sein des eaux tropicales, le système qui joue un rôle primordial dans l'enrichissement de la couche épipélagique est celui de la remontée de la thermocline en surface (ou seulement dans la couche euphotique). Cette remontée peut atteindre la surface et l'altération de la thermocline se traduira par un refroidissement en surface ; c'est le cas d'un upwelling côtier ou de la zone de la divergence équatoriale ou encore des micros upwellings. Si cette remontée de la thermocline n'atteint pas la surface on assistera alors à la formation d'une structure en dôme ou d'une structure du type crête thermique. Cette diminution de la température de surface de la mer sera le signe de l'arrivée en surface d'eaux froides de la thermocline ou infra-thermoclinale et le début des processus d'enrichissement de la masse d'eau. Si l'apparition d'eaux froides à la surface de l'océan est le signe annonçant le début d'un enrichissement de la masse d'eau, il convient à présent de suivre les mécanismes de fertilisation. Alors se pose la question de savoir comment suivre dans le temps la maturation de la masse d'eau. Ce problème difficile à résoudre directement peut cependant être abordé théoriquement par l'analyse de la signature thermique en surface des mécanismes de fertilisation des masses d'eau (STRETTA et SLEPOUKHA, 1983). C'est ainsi que le suivi d'une drogue dans l'upwelling mauritanien par HERBLAND *et al.* (1973) montre que l'augmentation de la température de surface reflète l'augmentation des biomasses du phytoplancton et du zooplancton. On peut donc dire qu'une diminution de la température de surface suivie d'une lente augmentation de cette température de surface représentent la signature thermique de surface des mécanismes de fertilisation et de maturation au sein de la masse d'eau.

Cette recherche de zone riche en nourriture par une méthode indirecte, nous amène à aborder le concept du passé hydrologique de la masse d'eau qui est le principe de base de la prévision des zones de pêche. En fait nous allons, par le suivi de la température de surface dans le temps, analyser une succession d'événements qui débutent au moment de l'apparition d'eaux froides en surface jusqu'à la présence d'animaux fourrage pour les thons.

Ce type d'analyse qui se situe à un niveau global se propose donc, au lieu d'étudier des flux d'énergie entre les compartiments de l'écosystème, d'étudier l'évolution (au sens large) de l'ensemble de l'écosystème en décomposant les différents événements océanographiques qui s'enchaînent pour aboutir aux concentrations de thons.

Nous avons appelé cette analyse des événements ou des actions qui se succèdent dans le temps l'analyse praxéologique²⁶.

Cette signature thermique de surface peut-être donc être détectée à distance par radiométrie infrarouge et les outils privilégiés pour le repérage de ces variations des conditions hydrologiques de surface sont l'avion et le satellite équipés de radiomètres

²⁵ Le terme nourriture des thons que nous employons est un terme générique qui englobe la nourriture ingérée par les thons ainsi que celle ingérée par les proies des thons en fait ce terme implique que la chaîne trophique se soit déroulée depuis le phytoplancton jusqu'aux animaux proies des thons.

²⁶ praxéologie : néologisme établi à partir du grec "praxis" (πρᾶξις): action. Analyse de l'évolution des événements (ou des actions) dans le temps.

infrarouge. Une des limites dans l'emploi d'un satellite pour rechercher des zones d'enrichissement est l'impossibilité de détecter une structure hydrologique en forme de crête ou de dôme thermiques à partir de l'espace. Comme nous l'avons vu plus haut, dans ces deux situations, la thermocline n'atteint pas la surface.

En résumé, nous utilisons donc l'évolution dans le temps de la température de surface comme signe extérieur de la richesse d'une masse d'eau. C'est l'évolution de la température de surface dans le temps qui nous renseignera sur le degré d'enrichissement et de maturité de la masse d'eau où la nourriture potentielle du thon sera abondante et non pas la température de surface seule isolée de son contexte passé. Notre vision de la température de surface est une vision dynamique et non pas une vision statique comme c'est le cas quand on essaie de relier une prise de thonidés à une température de surface relevée le jour de la pêche.

2.3. PREVI-PECHE

2.3.1. Le contexte industriel et scientifique

Comme nous l'avons vu précédemment, les études de l'environnement des thonidés ont véritablement débuté dans le golfe de Guinée dans les années soixante après les travaux exploratoires de POSTEL. Les biologistes des pêches commencent à tracer les premières cartes de distribution des thonidés. De leur côté, les physiciens décrivent l'hydroclimat du golfe de Guinée à partir des lignes de navigation. C'est ainsi que les travaux de BERRIT (1961, 1962a, 1962b) et de DONGUY et PRIVE (1964a, 1964b) sont utilisés pour décrire les nouvelles zones de pêche. Mais POSTEL (1969) soulève déjà la question de savoir si les cartes de distribution des différentes espèces de thonidés sont la figuration réelle de ces distributions ou celle de la distribution des bateaux qui les recherchent?

C'est au cours de cette même décennie, que les canneurs ont commencé à "s'aventurer" vers le sud le long des côtes africaines. L'intérêt des halieutes s'est, dans un premier temps, porté sur la description des pêches associées à un système frontal. La fin des années soixante voit la pêche thonière changer radicalement d'échelle. De la structure artisanale de la pêche à la canne, l'arrivée des senneurs a fait basculer le monde de la pêche dans un univers industriel. Les armateurs ont très vite compris cette situation où la notion de rentabilité des unités de production que sont devenues les senneurs s'est associée à la notion de compétition entre les flottilles FIS²⁷, espagnole et américaine. Pour augmenter la puissance de la flottille FIS, ces armateurs se sont regroupés au sein de la société INTERTHON²⁸ qui s'est dotée d'un outil puissant de repérage des bancs de thons : un avion. Cet avion volant à une altitude de 500-700 pieds permet de surveiller, à une vitesse de 120-150 noeuds une zone de 2 à 3 milles de part et d'autre de l'axe de vole et ce pendant 6 à 8 heures, une superficie de plus de 4 000 milles² contre plus de 1 500 milles² pour un senneur qui naviguerait de l'aube au couchant²⁹ en estimant que le senneur soit capable de détecter un banc de thons, associé à des oiseaux, jusqu'à 6 milles de part et d'autre de l'axe du navire.

Parallèlement à cette mutation industrielle, le monde de la recherche océanographique changeait. Les océanographes isolés et dotés de moyens à la mer limités, ne pouvaient pas entreprendre de programmes hauturiers ambitieux, mais l'arrivée en 1970 dans les eaux tropicales du navire océanographique CAPRICORNE et de toute une équipe d'océanographes physiciens, chimistes et biologistes, a permis dès 1971 de programmer les premières campagnes pour étudier l'environnement des thonidés.

²⁷ FIS Flottille thonière française, ivoirienne et sénégalaise

²⁸ INTERTHON: Société Anonyme. Coopérative d'Intérêt Maritime à Capital variable. Concarneau (France).

²⁹ 120nd*6h*6m = 4320 milles² pour l'avion

11nd*12h*12m = 1584 milles² pour le senneur non équipé des derniers perfectionnement en matière de radar pour détecter les oiseaux

Comme nos prédécesseurs, nous avons succombé à l'attrait des systèmes frontaux qui se développent dans la province maritime ivoiro-ghanéenne et dans la région qui s'étend entre le cap Lopez et l'île de Sao Tomé. Rapidement, l'utilisation d'un, voire de deux, navires océanographiques et d'un scientifique embarqué à bord d'un sennear s'est avérée peu efficace pour décrire les mouvements d'une zone frontale. A l'échelle d'un navire, lors des campagnes océanographiques au sein des zones frontales, il est arrivé de ne plus être capable de s'orienter au sein de ces systèmes hydrologiquement complexes. C'est à la suite de ces premières campagnes que naquit l'idée d'utiliser un avion équipé d'un radiomètre infrarouge pour mesurer la température de surface de la mer. La technique, datant des années cinquante, était depuis quelques années parfaitement opérationnelle (SAUNDERS, 1970). De plus, l'avantage d'un avion réside dans le fait qu'il est capable de décrire rapidement une large zone océanique fournissant ainsi une image quasi instantanée (de l'ordre de quelques jours) du champ thermique superficiel. L'utilisation de ce type de vecteur permet également de recenser toutes sortes d'apparences à la surface de la mer (bancs de thons, objets flottants, cétacés etc..) et de les positionner dans un contexte thermique. C'est lors d'une campagne océanographique au large du cap Lopez que l'avion d'INTERTHON (LE GUEN *et al.*, 1972), équipé d'un radiomètre, a permis de décrire la structure thermique de surface de la région du cap Lopez pendant que le NO Capricorne et le NO Nizery, à partir des données transmises par l'avion, organisaient leur plan de croisière et choisissaient la position "hydrologique" de leurs stations. La méthodologie utilisée lors des opérations de radiométrie aérienne est décrite la thèse de M. PETIT (chapitre 3). Le Groupe de Radiométrie Aérienne de l'ORSTOM était né. En 1973, l'accent était mis sur les concentrations de thons au large de la Côte d'Ivoire (STRETTA *et al.*, 1973). De 1974 à 1976, des opérations du même type se sont poursuivies dans les régions du cap Lopez et de la Côte d'Ivoire avec la collaboration étroite de divers organismes (CNEXO³⁰, Laboratoire d'Optique Atmosphérique³¹, CMS³², ORSTOM, INTERTHON).

Ces opérations ont permis d'analyser les mouvements des zones frontales, l'enrichissement des masses d'eau et les mécanismes de concentrations de thons (DUFOR et STRETTA, 1973 ; VERCESI, 1973 ; STRETTA, 1977a ; STRETTA, 1977b ; STRETTA *et al.*, 1975 ; STRETTA et SURUGUE, 1977 ; VIOLLIER, 1976).

A partir de l'expérience acquise lors des opérations de radiométrie aérienne au large du cap Lopez de 1972 à 1975, nous avons tenté au cours de l'opération de 1976 de faire des prévisions des mouvements de la zone frontale.

Les mouvements de la zone frontale que nous avons observés de 1974 à 1976 par radiométrie aérienne, nous ont permis de décrire le "scénario thermique" du système frontal du cap Lopez. Le terme "scénario" signifie la description détaillée de la succession des différents événements qui concourent à la mise en place et des mouvements, dans le temps et dans l'espace, des isothermes de surface ainsi que de l'apparition des concentrations de thons.

Le travail à bord de l'avion permettait de diffuser, peu de temps avant l'atterrissage, une analyse de la situation hydrologique qui venait d'être décrite. Ce type d'information permettait aux thoniers de se situer par rapport aux mouvements de la zone frontale. Ces analyses avaient un caractère informel et se déroulaient sous la forme d'un dialogue entre un ou deux patrons de la flottille et l'équipe embarquée dans l'avion. De plus, nous nous sommes aperçus qu'en nous appuyant sur le scénario thermique de la zone, il était possible de jeter les premières bases d'une prévision à court terme (de l'ordre de deux à trois jours) des mouvements du système frontale. C'est ainsi qu'à partir de l'avion nous avons pu, au cours de l'opération de radiométrie de

30 CNEXO: Ancien sigle de l'IFREMER (Institut Français pour l'Exploitation de la Mer (Paris - France).

31 Faculté des Sciences et Techniques de Lille (France).

32 CMS: Centre de Météorologie Spatiale (Lannion - France).

1976, diffuser un "bulletin hydrologique prévisionnel" pour la zone cap Lopez. Ce travail en temps réel a été très bien perçu par les patrons de la flottille thonière FIS. De cette expérience limitée dans le temps naquit l'idée de créer une structure mixte recherche/industrie qui tout en permettant de poursuivre un travail de recherche scientifique sur les thonidés et leur environnement, pouvait apporter au monde de la pêche des informations globales sur la pêche et l'hydroclimat de golfe de Guinée. Par la signature d'une convention entre l'ORSTOM et INTERTHON naquit, en mars 1978, le Bureau d'Aide à la Pêche (BAP) sur le port de pêche d'Abidjan (Côte d'Ivoire). Cette convention fixait au BAP les objectifs suivants :

- collecter les informations concernant la pêche et les conditions hydrologiques dans le golfe de Guinée ;
- tenir à jour des fichiers concernant ces données ;
- fournir à la flottille thonière cotisant à INTERTHON des analyses sur les conditions hydrologiques dans le golfe de Guinée ;
- conseiller l'équipage de l'avion³³ d'INTERTHON dans l'établissement des plans de vol ;
- prendre en charge les vols lors de la reconnaissance de nouvelles zones de pêche.

2.3.2. Historique de PREVI-PECHE

De mars 1978 à décembre 1981, les données thermiques satellitaires étaient analysées visuellement. Il était parfois possible de cerner des zones les plus favorables à la pêche thonière en confrontant les données recueillies en temps réel (avion, thoniers, navires marchands, etc.), les données reçues en temps quasi réel (cartes GOSSTCOMP, cartes METEOSAT) d'une part et les données historiques d'autre part.

A partir des résultats acquis par d'autres équipes dans la dynamique des phénomènes d'enrichissement (dôme thermique, upwelling côtier, upwelling équatorial, crête thermique) et dans les systèmes frontaux qui parfois résultaient de ces remontées d'eaux, il a été possible de développer une méthode d'analyse originale de prévisions de pêche. Cette méthode s'appuie exclusivement sur des données radiométriques satellitaires ; l'information radiométrique aéroportée est alors utilisée pour vérifier la température de surface mesurée par satellite et la présence effective du poisson.

2.3.3. Le modèle prévisionnel PREVI-PECHE

Si le principe de l'analyse praxéologique ainsi que la structure même du modèle prévisionnel sont développés dans les articles dans l'annexe D, nous avons préféré dans cet ouvrage mettre l'accent sur la validation de ce modèle, ce qui n'avait encore jamais été présentée.

Le modèle PREVI-PECHE a permis de distribuer régulièrement de 1982 à 1985, dans le cadre du Bureau d'Aide à la Pêche, 108 "BULLETIN PREVISIONNEL" pour définir des zones favorables à la pêche thonière dans l'Atlantique tropical oriental auprès de la flottille thonière FIS. Les informations thermiques utilisées pour alimenter ce modèle avaient deux origines : les cartes thermiques GOSSTCOMP de la NOAA et celles dressées à partir des données du satellite METEOSAT suivant l'algorithme de CITEAU et DEMARCQ (1990).

³³ Beech Craft 18 Volpar Turboliner (A partir de février 1978).

2.4. RESULTATS

2.4.1. Autres expériences dans le monde

A notre connaissance, il y a peu d'expérience de prévisions pour les pêches thonières en temps réel.

Aux USA, LAURS (1989) fait l'historique des opérations pour l'aide à la pêche germonière au large des côtes ouest des USA dès le début des années 70 et des analyses routinières de température de surface à partir de données satellitaires transmises par fac-similé depuis 1976. En 1988, une société privée³⁴, transmet par fac-similé et courrier des analyses thermiques de surface (issues de données satellitaires AVHRR) avec des mentions particulières pour les zones frontales. Une souscription-abonnement est nécessaire pour recevoir ces informations thermiques. D'après les documents présentés par LAURS (1989), cette société ne transmet que des informations thermiques. Ce même auteur précise que : "*ceci aide réellement les pêcheurs à localiser les zones favorables à la pêche au germon*". Quand le satellite NIMBUS-7 et son capteur couleur de l'eau CZCS étaient opérationnels, LAURS *et al.*, (1984) ont démontré que les données thermiques de surface associées à des données couleur de l'eau définissent les limites environnementales des zones de pêche au germon. C'est ainsi que LAURS (1989) montre que les germons se regroupent dans les eaux chaudes et claires de la zone frontale et évitent les eaux plus froides à haute productivité mais turbide. Ce rassemblement des germons dans les eaux claires est fonction de leur capacité de vision.

Sur la côte Est des USA, en Floride, ROFFER, ancien chercheur du NMFS de Miami a créé, en 1988, la société ROFFS qui vend des prévisions pour les secteurs de pêche sportive au large de Miami en Floride.

Au large du sud du Brésil, ABDON (1984) présente des cartes de zones favorables à la pêche thonière à partir de cartes thermiques dressées avec des données satellitaires.

Au Japon existe depuis 1972 au niveau gouvernemental un organisme, le JAFIC³⁵, qui apporte aux pêcheurs des informations opérationnelles pour la pêche de poissons pélagiques (sardines, anchois, thonidés). L'outil de base pour les prévisions de pêche est la carte de température de surface dressée à partir d'informations satellitaires et/ou à partir d'informations thermiques transmises par les bateaux de pêche. YAMANAKA (1982 ; 1983). Dans leur ouvrage de synthèse, YAMANAKA *et al.*, (1989) évoquent les prévisions faites pour la pêche du listao autour des îles du Japon.

Il existe au Japon deux types de prévisions : celles à long terme (plusieurs mois, voire plusieurs années à l'avance) et celles à court terme (de l'ordre de une à deux semaines à l'avance). Les prévisions à long terme se vont une fois par an, en juin et les éléments de décision sont les prises totales de la région considérée, la corrélation entre les prises totales et les prises des poissons de la classe d'âge 1 dans les eaux tropicales l'année précédente et les prises dans la zone des poissons des classes d'âge 2 et 3 l'année précédente. Les prévisions à court terme sont faites au JAFIC à partir de critères océanographiques s'appuyant sur des données satellitaires, les données de pêche en temps réel, des données aériennes et des données des navires de pêche. YAMANAKA *et al.*, (1989) soulignent le fait que les méthodes utilisées sont empiriques. Une visite au JAFIC en novembre 1988 ne nous a pas permis d'en apprendre davantage. Apparemment, les cartes transmises par cet organisme aux navires en mer insistent particulièrement sur les structures thermiques de surface constituées essentiellement par des fronts et des tourbillons entre les deux systèmes de courant au large du Japon (le Kuro-shio, le courant chaud d'origine tropicale et l'Oya-shio, le courant froid d'origine polaire). En ce qui concerne les prévisions pour la pêche thonière, il semblerait qu'elles portent sur l'évolution des tourbillons dans le temps. Aucune précision n'est donnée quant à la méthode d'analyse des données de diverses origines. Pour la pêche sardinière,

³⁴ Ocean Imaging Company, San Diego, California, USA.

³⁵ Japanese Fisheries Center, Tokyo Japon.

la seule chose que nous avons appris auprès du JAFIC, est que les prévisions de pêche sont réalisées de façon empirique. En fait, il ressort de ces expériences ou parfois de ces services, que les informations fournies aux pêcheurs sont un élément supplémentaire dans leur processus décisionnel qui englobe d'autres paramètres qu'il serait intéressant d'élucider dans le cadre du développement d'un système expert pour la pêche thonière (Cf Annexe D).

2.4.2. Validation des prévisions de pêche

Quant à la validation de l'expérience menée par LAURS *et al.*, (1984), LAURS (1989) reste assez vague, il fait état de : "nombreux témoignages de satisfaction reçus de la part des pêcheurs de germon américains et autres nationalités, à propos de l'utilité de l'information d'origine satellitaire pour l'aide à la localisation de zones favorables à la pêche". Il précise que les analyses thermiques ont fait gagner 25 à 30% des temps de recherche et l'analyse des cartes de couleurs de l'océan ont fait gagner jusqu'à 50%. Cet auteur conclue son article en précisant que l'examen rigoureux de l'impact économique de l'utilisation de données satellitaires n'a pas été réalisé.

Au Japon, le taux de réussite des prévisions de pêche est inconnu et aucune étude de validation n'a été entreprise. YAMANAKA *et al.*, (1989) soulignent le fait qu'il n'y a pas d'étude sur la balance "coût/revenu" des prévisions de pêche. Ils se retranchent derrière le fait que ces prévisions sont une priorité japonaise décidée par le gouvernement. De notre côté, nous avons appris que près de 50% des recettes du JAFIC proviennent des cotisations des organismes de pêche (fédérations de pêche, préfectures) et de la vente des produits.

2.4.3. Comment aborder ce problème ?

Au delà de ces expériences d'aide à la pêche, elles se heurtent toutes à la difficulté de valider les informations transmises aux pêcheurs. Les discussions que nous avons eue avec les halieutes impliqués dans ce type de recherche (Lauris, Roffier et les scientifiques du JAFIC) reflètent également ces difficultés. On pourrait les énumérer

- valider une zone déclarée favorable alors qu'aucun bateau ne l'a parcourue
- zone déclarée favorable et parcourue par un bateau n'y prospectant qu'un temps très limité ;
- présence de poisson en trop faible quantité pour mettre le filet à l'eau (donc pas d'enregistrement de prise dans les fichiers) dans une zone déclarée favorable ;
- ne pas disposer des données fines de toutes les flottilles ayant opéré dans la zone d'étude. C'est ainsi qu'il nous a fallu plus de cinq années pour disposer des données de la flottille thonière espagnole.;

Malgré ces difficultés, la question est de savoir comment valider des prévisions de pêche. Nous avons vu plus haut que les japonais se retranchent derrière l'obligation qui leur est faite de fournir ces prévisions alors que les américains se fondent sur l'accueil fait aux prévisions de pêche par les professionnels. Si cette forme de validation est satisfaisante pour l'esprit et démontre que ce type de travail est bien accueilli par les pêcheurs, qui sont ne l'oublions pas la cible de ce genre de recherche, elle manque toutefois de rigueur scientifique. Nous pourrions nous aussi nous retrancher derrière l'accueil positif de la part des pêcheurs à nos prévisions de pêche mais nous avons tenté d'explorer différentes méthodes de validation.

2.4.4. Voies utilisées et résultats

La recherche de zones favorables à la pêche thonière avec le modèle PREVI-PECHE est fondée sur l'analyse dans le temps de la température de surface d'une zone de l'océan. La comparaison entre l'évolution thermique, que nous avons appelé "scénario thermique", d'une zone et sa comparaison avec un scénario thermique idéal

(STI) thermique définit la zone analysée comme étant soit très favorable, soit moyennement favorable, soit peu favorable, soit en évolution favorable ou alors comme étant défavorable à la pêche.

Trois façons de valider le modèle se présentent :

- vérifier si globalement les pêcheurs ont réalisé des pêches dans les zones déclarées comme favorable³⁶ à la pêche ;
- comparer les prises dans les zones de pêche "prévues" et ailleurs ;
- analyser, sur une grande période de temps pour chaque coup de senne³⁷ effectué, le scénario thermique qui précédait cette prise et le confronter au modèle.

Méthode 1 :

Sur les 108 bulletins prévisionnels réalisés³⁸ et distribués aux professionnels, à 14 reprises aucun thonier ne s'est rendu sur les zones déclarées comme favorable. Pour expliquer ces cas, deux hypothèses peuvent être émises :

- soit il n'y avait pas de poisson dans ces zones ;
- soit personne n'a prospecté dans ces zones, car elles se situaient trop loin de la zone d'activité de la flottille.

Il n'est hélas pas possible de lever l'ambiguïté de présence ou non de poisson dans ces zones.

Méthode 2 :

En comparant les prises d'albacore/patudo et de listaos pour les flottilles FIS et espagnole dans les zones de pêche "prévues" et ailleurs, on aboutit aux résultats présentés dans le tableau 2.1.

Tableau 2.1 : Pêches, en tonnes, d'albacores/patudos et de listaos par les flottilles française et espagnole au sein des zones déclarées comme favorables à la pêche par PREVI-PECHE et en dehors de ces zones.

Espèce flottille	Pêche zones favorables	Pêche ailleurs	Total pêche	% zones favo.
Albacore				
FIS	31151,3	105447,3	136598,6	22,8%
Espagnol	33717,8	97667,9	131385,7	25,7%
Total	64869,1	203115,2	267984,3	24,2%
Listao				
FIS	42827,8	93295,3	136123,1	31,5%
Espagnole	20251,6	85692,1	105943,7	19,1%
Total	63079,4	178987,4	242066,8	26,1%

Pourcentage zones favo. = Pourcentage de pêche dans les zones déclarées favorables

³⁶ Sous le vocable "zone favorable" à la pêche, nous regroupons les zones déclarées comme étant très favorables, moyennement favorables et en évolution favorable.

³⁷ Une calée est un coup de senne positif.

Un coup nul est un coup de senne sans capture.

Le terme coup de senne englobe les calées et les coups nuls.

³⁸ Nombre de bulletins prévisionnels établis : 45 en 1982, 39 en 1983 et 24 en 1984

Pour l'albacore, le tonnage minimum pêché dans les zones favorables s'élève à 0%, cela pendant 11 semaines sur 108 pour la flottille FIS et 10 semaines pour la flottille espagnole.

C'est ainsi que pour la flottille FIS, le tonnage maximum d'albacores pêchés dans les zones prévues s'élève à 87,1% du total des prises lors de la semaine du 9 au 15 mars 1983. Au cours de cette semaine, 1 732 t d'albacore ont été pêchées contre 255,5t. ailleurs.

Pour la flottille espagnole, ce pourcentage s'élève à 97,5% du total des prises lors de la semaine du 23 février au 1er mars 1983. Au cours de cette semaine, 2 971,2 t. d'albacore ont été pêchées contre 75t. ailleurs.

Pour le listao, le tonnage minimum pêché dans les zones favorables s'élève à 0% cela pendant 13 semaines sur 108 pour la flottille FIS et 9 semaines pour la flottille espagnole.

Pour la flottille FIS, le tonnage maximum de listaos pêchés dans les zones prévues s'élève à 96,1% du total des prises lors de la semaine du 7 au 13 mars 1984. Au cours de cette semaine, 680 t. de listao ont été pêchées contre 28t ailleurs.

Pour la flottille espagnole, ce pourcentage s'élève à 81,6% du total des prises lors de la semaine du 31 mars au 6 avril 1982. Au cours de cette semaine, 650 t de listao ont été pêchées contre 150 ailleurs.

Méthode 3 :

La disponibilité des informations thermiques devient le facteur limitant lorsque l'on veut analyser, sur une grande période de temps et pour chaque coup de senne effectué, le scénario thermique qui précédait cette prise. Sachant que les cartes de température de surface de l'océan que l'on recevait de la NOAA³⁹ (cartes GOSSTCOMP⁴⁰) ou de l'Antenne ORSTOM de Lannion, l'ont été de 1982 à 1987, nous avons donc, pour cette période, analysé tous les scénarios thermiques pour toutes les zones de l'océan Atlantique. Cependant, notre analyse est divisée en deux. Tout d'abord nous avons analysé tous les scénarios précédant chaque coup de senne effectué par les thoniers de la flottille FIS et espagnole, puis, dans un deuxième temps, tous les scénarios de chaque zone où il n'y a pas eu de pêche.

La première partie de cette méthode, revient à analyser les scénarios thermiques de 45 029 coups de senne. En fait le fichier traitant des actions de pêche des thoniers FIS et espagnols pendant cette période, totalise 60 202 coups de senne. Nombreux sont les scénarios thermiques précédant ces opérations de pêche, inutilisables car l'information thermique était soit non disponible (cartes thermiques jamais reçues, réorganisation du système expérimental GOSSTCOMP) ou non fiable. Pendant une longue période, en 1983 et 1984, la NOAA prévenait les utilisateurs des cartes thermiques qu'elles étaient entachées d'erreurs à la suite des explosions des volcans St Helens au Canada et El Chichon au Mexique. Ces volcans ont envoyé dans la haute atmosphère des poussières qui créaient un écran entre la terre et le radiomètre du satellite.

Pour en revenir à la troisième méthode de validation que nous avons utilisée, nous n'avons retenu que le nombre de coups de senne, que ceux-ci soient positifs ou nuls, réalisés par les deux flottilles thonières. Pourquoi choisir le nombre de coup de senne ? Le modèle PREVI-PECHE recherche les zones favorables à la présence de thons, c'est-à-dire des zones riches en animaux fourrage pour les thons et non pas le critère quantité de poisson. Utiliser ce critère quantitatif aurait entraîné un biais

³⁹ NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration (USA).

⁴⁰ GOSSTCOMP : Global Operational Sea Surface Temperature Computation.

considérable du fait de la migration à partir de 1985 de plus de la moitié de la flottille FIS et d'une grande partie de la flottille espagnole.

Si l'on reprend le fonctionnement de PREVI-PECHE (ANNEXE D), il est nécessaire d'analyser la température de surface pendant cinq semaines. Si l'on considère que la température est susceptible de varier de $+3^{\circ}\text{C}$ à -3°C par rapport à la température de départ (soit une amplitude de 7°C) on devrait avoir 7^4 soit 2 401 évolutions thermiques possibles. Il est évident que parmi ces scénarios théoriquement possibles, il en est qui sont hydrologiquement impossibles.

Les 45 029 coups de senne retenus se regroupent dans 422 scénarios thermiques différents. Tous ces scénarios n'aboutissent pas au même résultat : c'est ainsi que l'évolution thermique la plus rencontrée, regroupe 3 823 coups de senne (soit 8,5% des coups de senne) et les scénarios les moins fréquents sont au nombre de 27, avec chacun un coup de senne ⁴¹.

Pour situer la "valeur" en coup de senne des scénarios thermiques, nous notons qu'environ 50% des coups de senne se rencontrent à l'issue de 22 évolutions thermiques différentes et que 90% des coups de senne se situent à l'issue du déroulement de 146 scénarios (Figure 2.1).

Examinons à présent comment se répartissent les 422 scénarios thermiques après leur analyse à travers le modèle PREVI-PECHE (Tableau 2.2.).

Les zones classées comme zones très favorables se retrouvent dans 84 évolutions thermiques, les zones moyennement favorables se retrouvent dans 148 scénarios et les zones en évolution favorable, se rencontrent dans 16 scénarios. Mais le modèle PREVI-PECHE classe 248 évolutions thermiques comme "Zone défavorable" alors que ces séquences de température de surface ont aboutit à une action de pêche. Pour situer le nombre de coup de senne dans chaque type de zone nous avons représenté leur distribution sur les figures 2.2. à 2.6.

Si l'on considère le nombre d'évolutions thermiques précédant une action de pêche, on obtient les résultats suivants : 58,8% des évolutions thermiques sont validés par le modèle et 41,2% ne le sont pas.

Mais nous avons vu plus haut que les scénarios thermiques n'ont pas le même poids, aussi nous allons considérer à présent le nombre de coups de senne comptabilisés à l'issue des différentes évolutions thermiques classées par PREVI-PECHE.

On obtient les résultats suivants :

- 13 997 coups de senne ont été effectués dans des zones très favorable,
- 15 966 dans des zones moyennement favorables
- 2 225 dans des zones en évolution favorable
- 12 841 coups de senne dans des zones défavorables.

En résumé, 71,5% du nombre de coups de senne sont validés par le modèle et 28,5% ne le sont pas.

⁴¹ Parmi ces 27 coups de senne dans 27 scénarios différents on ne dénombre que 4 calées positives.

TABLEAU 2.2 : Résultat de l'analyse des 422 scénarios thermiques aboutissant à une action de pêche

	nombre scénarios	calées	coups nuls	total cp senne	% cp senne
ZTF	84	5878	8119	13997	31,1%
ZMF	148	6701	9265	15966	35,5%
ZEF	16	870	1355	2225	4,9%
T.ZF	248	13449	18739	32188	71,5%
ZDF	174	5481	7360	12841	28,5%
TOTAL	422	182930	26099	45029	100%

ZTF = Zone très favorable

ZMF = Zone moyennement favorable

ZEF = Zone en évolution favorable

ZDF = Zone défavorable

T.ZF = Total zones favorables

cp. senne = coups de senne

Dans un deuxième temps, nous avons voulu analyser avec le modèle prévisionnel les évolutions de la température de surface sur toutes les zones où il n'y a pas eu de pêche déclarée. Nous trouvons ainsi 345 scénarios (différents des précédents) et qui n'aboutissent pas à une séquence de pêche.

Parmi ces évolutions thermiques, 26 sont déclarés comme "zone très favorable", 77 comme "zone moyennement favorable", 28 comme "zone en évolution favorable" et 214 comme "zone défavorable".

Si l'on s'en tient aux résultats du modèle, on aurait 131⁴² types de scénarios susceptibles d'aboutir, théoriquement, à une séquence de pêche (Tableau 2.3).

En conclusion, à l'image des pêcheurs américains, l'accueil réservé à nos prévisions de pêche par les pêcheurs de la flottille FIS a été très positif. A la différence de LAURS (1989), une société d'audit⁴³ a conduit en 1985, pour le compte de l'IFREMER, une enquête auprès des pêcheurs et des armateurs de la flottille FIS pour mesurer l'impact qu'ont eu ces expériences "d'aide à la pêche" dans le cadre du Bureau d'Aide à la Pêche (BAP) à Abidjan. De cette enquête (DG CONSEIL, 1985), il ressort que (pages 4 et 5) : *"Les patrons pêcheurs, dans leur grande majorité ont utilisé les cartes de "probabilités de pêche" par zone que leur communiquait le BAP d'Abidjan tous les 15 jours environ. Ils les ont utilisées :*

- en complément à d'autres sources d'informations ;
- pour "recoller" à la pêche après une escale au port ;
- pour aller sur des zones déclarées favorables ;
- ou pour constituer des archives personnelles.

Dans leur majorité, ils évaluent positivement l'ensemble du système et souhaitent qu'il soit reconduit."

42 131 = 26 + 28 + 77

43 Société DG CONSEIL.

TABLEAU 2.3 : Récapitulatif du nombre de scénarios thermiques classés par le modèle PREVI-PECHE pour les zones avec et sans action de pêche.

	scénarios avec pêche	scénarios sans pêche
ZTF	84	26
ZMF	148	77
ZEF	16	28
T.ZF	248	131
ZDF	174	214
TOTAL	422	345

ZTF = Zone très favorable
 ZMF = Zone moyennement favorable
 ZEF = Zone en évolution favorable
 ZDF = Zone défavorable
 T.ZF = Total zones favorables

2.4.5. Conclusion

La traduction par un modèle empirique d'un système naturel ne doit pas nous faire perdre de vue qu'il est difficile de traduire les multiples interactions qui existent entre les différents éléments d'un écosystème. Toutefois, si le modèle PREVI-PECHE a démontré que l'outil télédétection, même très rudimentaire, peut largement contribuer à la prévision de zones de pêche thonière, l'avenir des modèles prévisionnels pour des activités de pêche devrait prendre un nouvel essor avec une démarche radicalement opposée à savoir l'utilisation des techniques de simulation du comportement animal.

Loin de se laisser enfermer dans le cadre purement technique de nouvelles méthodes et soucieux de valoriser des résultats collectés à l'issue de prospections et de contacts avec les pêcheurs, la création d'une cellule d'expertise en matière de prévisions de pêche et d'évaluation du potentiel halieutique d'une zone devrait être raisonnablement envisagée pour l'actuelle décennie.

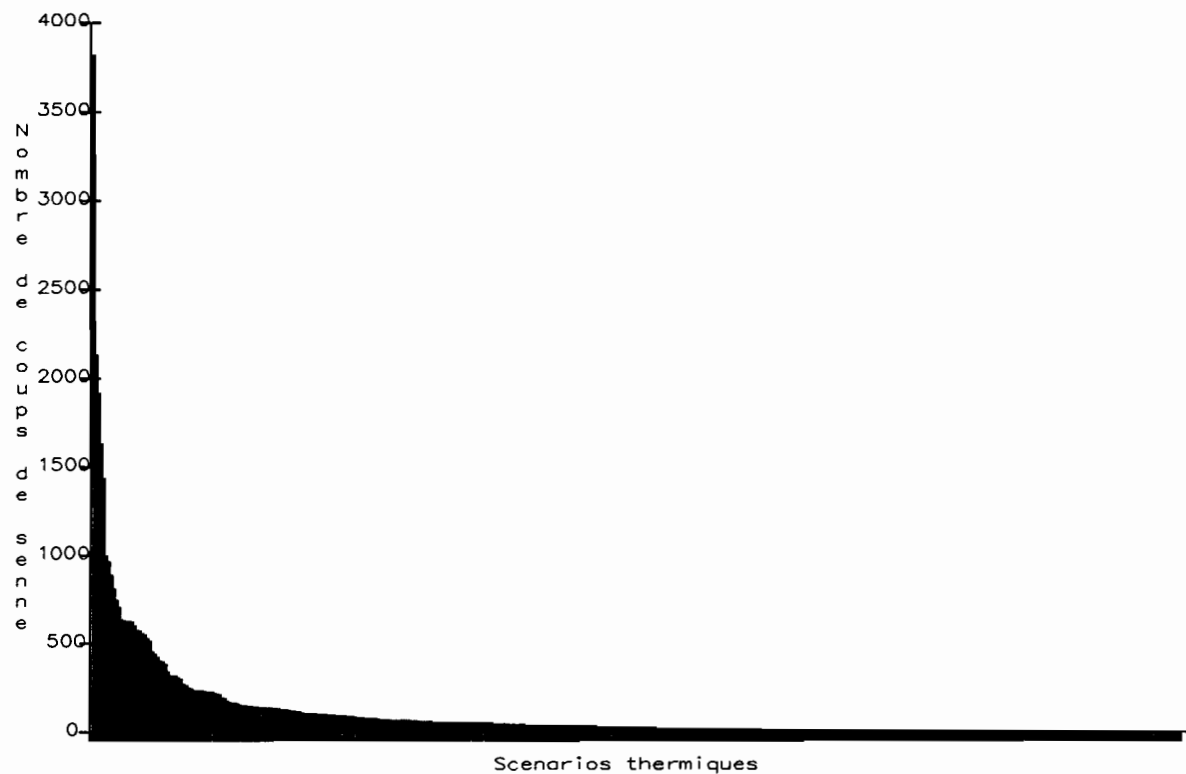


Figure 2.1 : Distribution de tous les coups de senne dans les 422 scénarios thermiques.

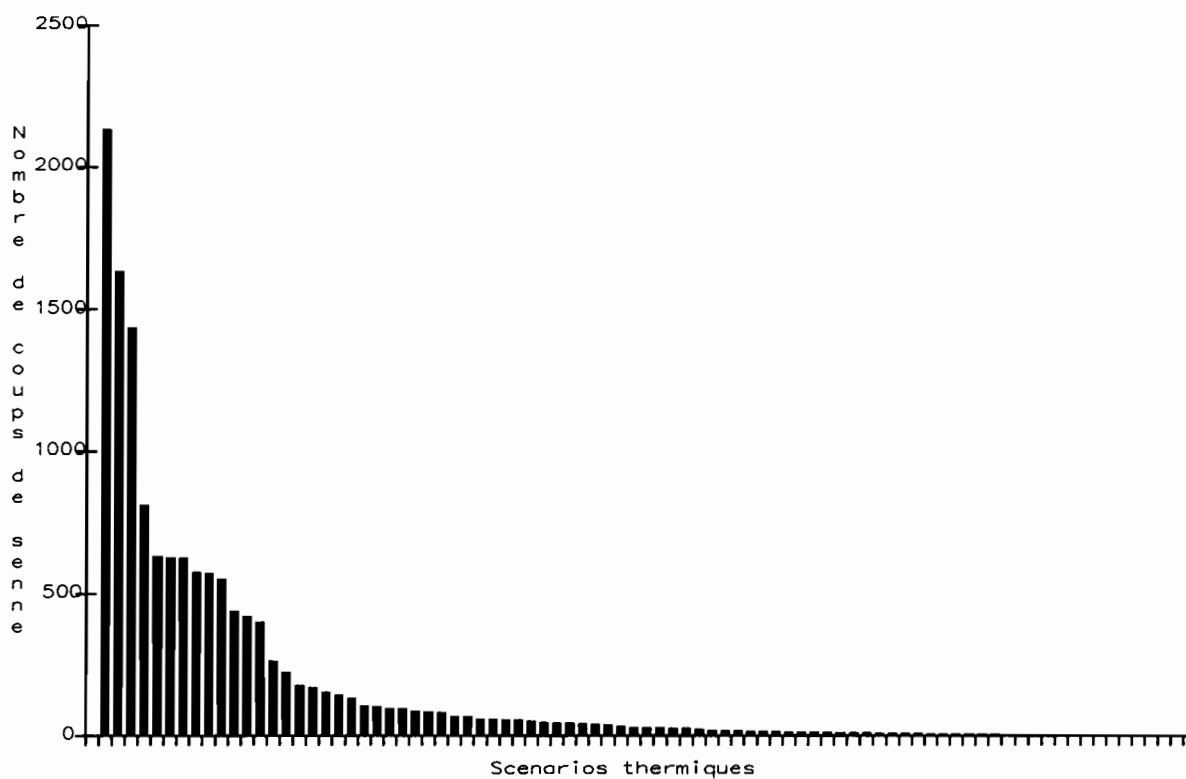


Figure 2.2 : Distribution du nombre de coups de senne pour les 84 scénarios classés "zone très favorable"

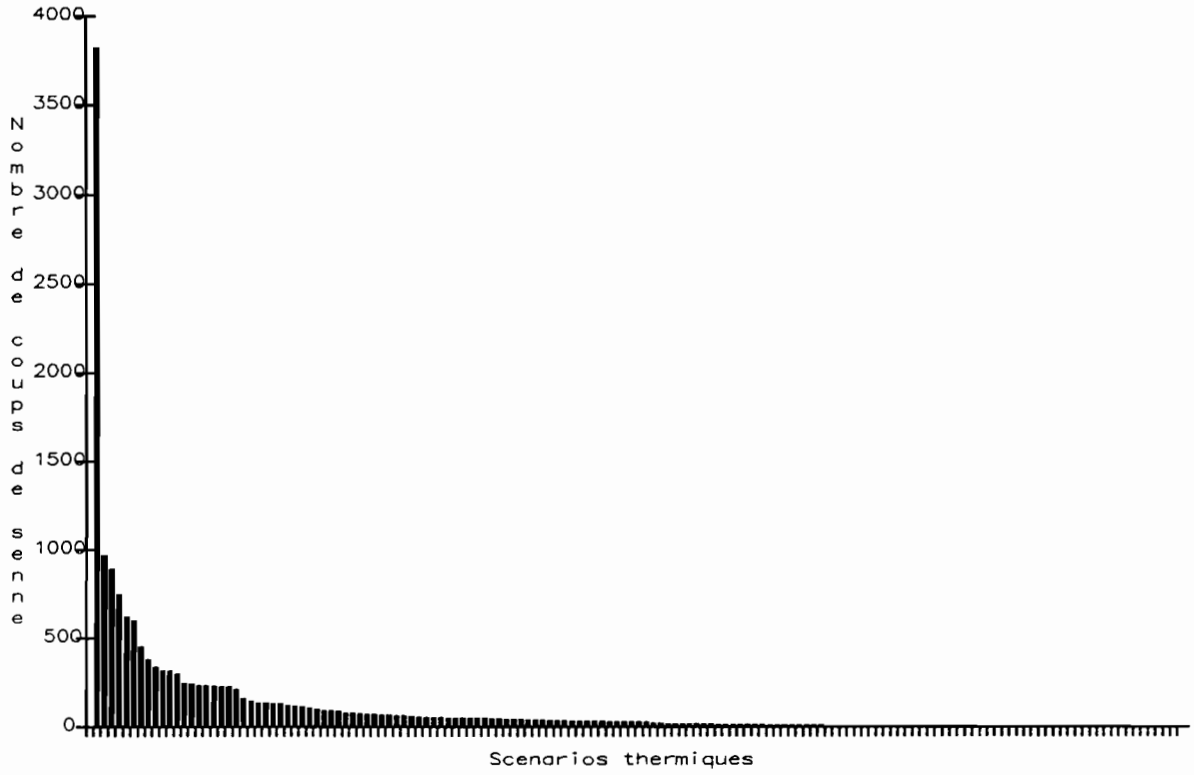


Figure 2.3 : Distribution du nombre de coups de senne pour les 148 scénarios classés "zone moyennement favorable"

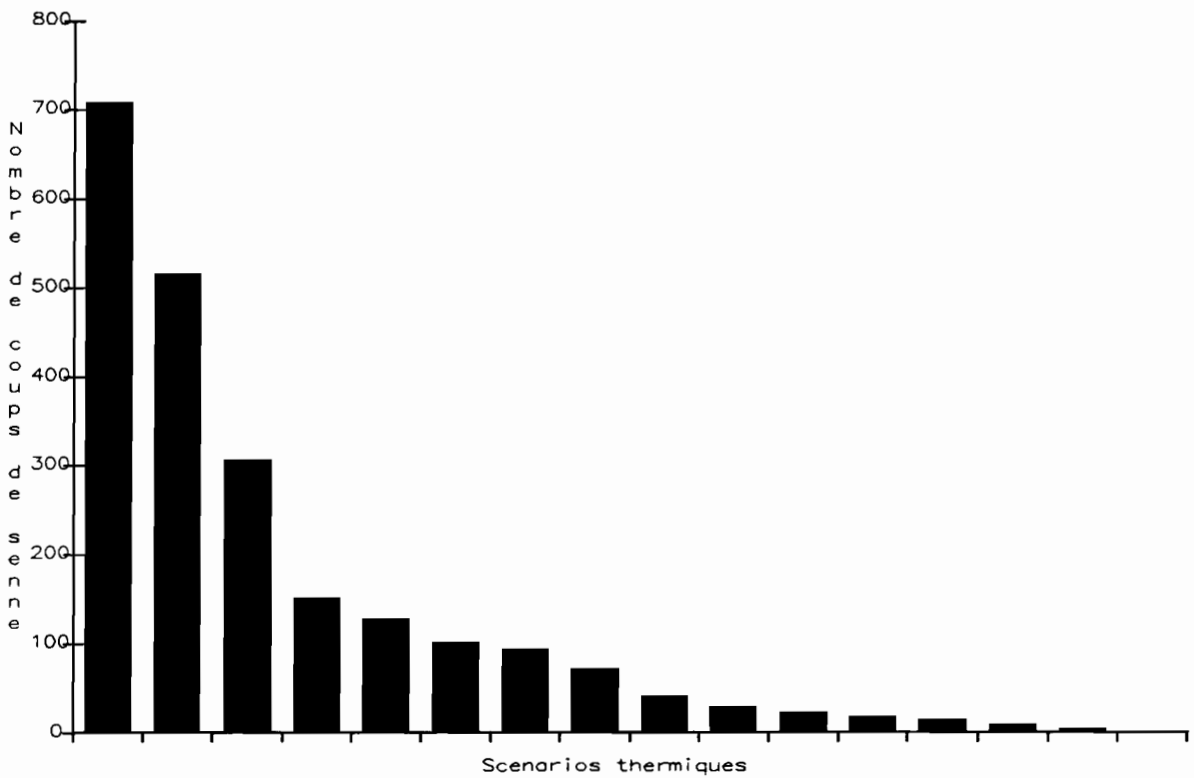


Figure 2.4 : Distribution du nombre de coups de senne pour les 16 scénarios classés "zone en évolution favorable"

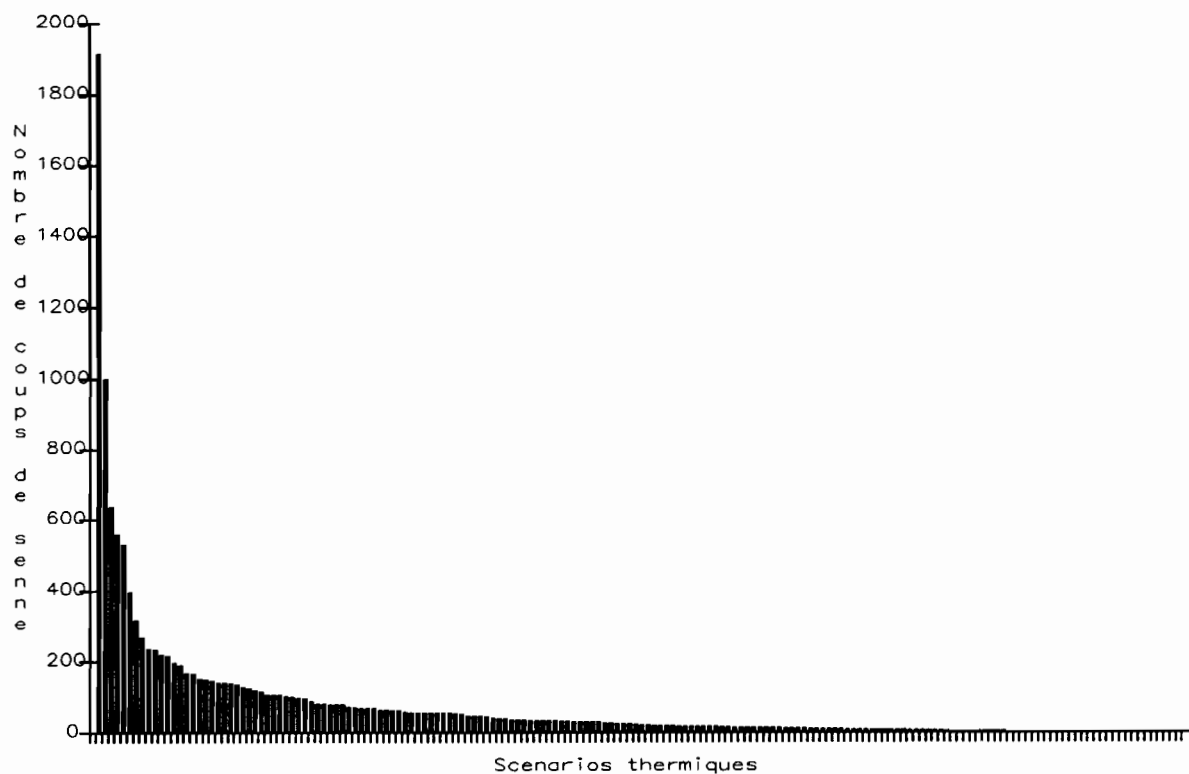


Figure 2.5 : Distribution du nombre de coups de senne pour les 174 scénarios classés "zone défavorable"

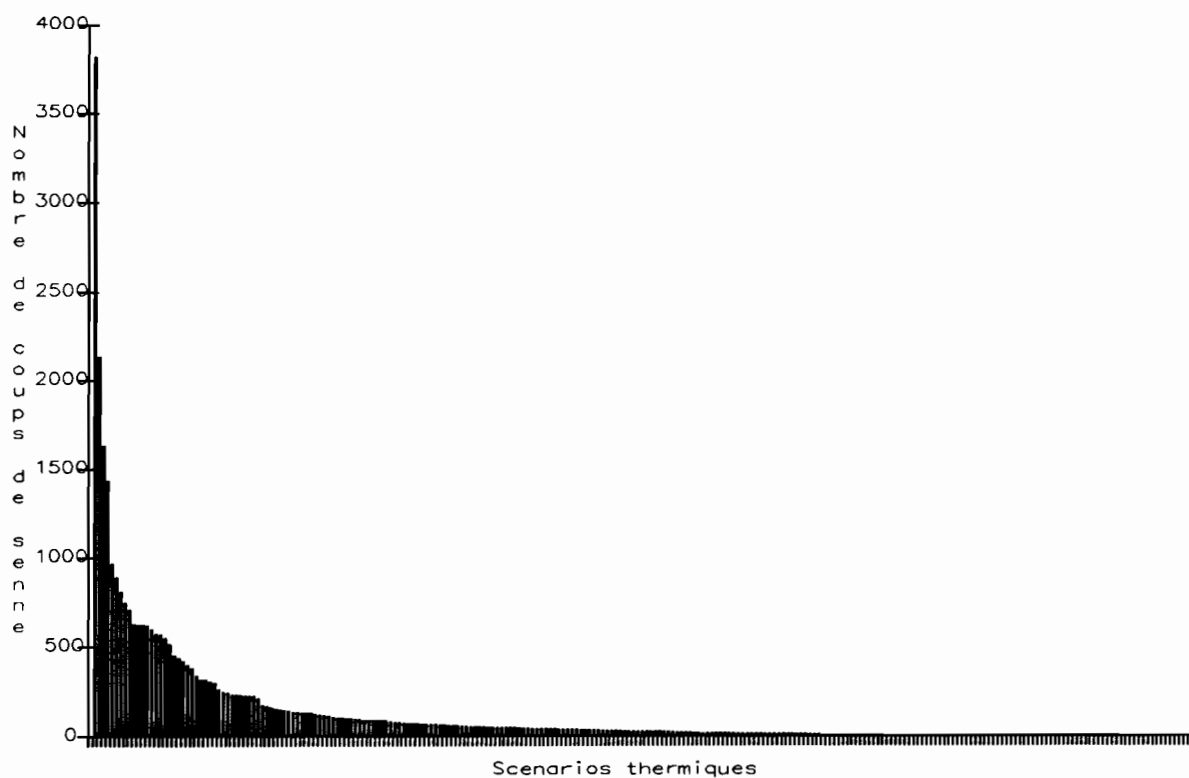


Figure 2.6 : Distribution du nombre de coups de senne pour les 248 scénarios classés "zone très favorable, moyennement favorable et en évolution favorable".

CHAPITRE 3

DE LA SYNTHÈSE ÉCOLOGIQUE À L'ÉVALUATION DE LA RESSOURCE LES MÉTHODES DIRECTES PAR LA TÉLÉDETECTION

RESUME (Ce paragraphe est développé dans la thèse de M. PETIT)

Après un bref rappel sur la définition et les possibilités des méthodes directes dans le cadre de l'halieutique thonière, la méthodologie et l'esprit du programme de radiométrie aérienne et prospection thonière (RAPT) est exposé. Puis, en exemple, sont présentés les résultats dans le Pacifique Sud où l'immensité de la zone occupée par les pêcheries est souvent rédhibitoire pour toute étude classique d'océanographie ou de biologie des pêches. De plus, les changements très rapides observés dans le paysage halieutique thonier de cette région ont rendu trop souvent ces études inadaptées ou amoindrissent leur intérêt.

Entre 1979 et 1984, l'ORSTOM a développé un important programme de télédétection aéroportée sur l'ensemble des territoires français du Pacifique Sud ainsi qu'au Vanuatu et en Nouvelle-Zélande. Le principal objectif de ces recherches était d'évaluer les potentialités des ressources thonières des régions centrées sur les ZEE de Nouvelle-Calédonie et de Wallis et Futuna en vue d'un développement de la pêche. Ces régions, comme l'ensemble du Pacifique Sud, avaient, à l'époque, une thermographie de surface mal connue et une pêche thonière limitée à celle des canneurs japonais.

Brièvement, le mode opératoire est le suivant : le plan de vol est établi après examen des données historiques variées (hydrologie générale, statistiques de pêche), des divers documents décrivant la situation thermique superficielle récente transmise par les navires marchands ou les satellites, et des enseignements tirés des vols précédents quant aux températures de surface relevées à la pêche et à la météorologie locale. La zone à prospecter est donc définie, mais le trajet au sein de cette zone peut toutefois être modifié au cours du vol en fonction des évolutions thermiques ou météorologiques qui se manifestent : la recherche des conditions optimales de prospection est un élément fondamental du succès et de la rentabilité des vols.

Un vol est composé d'une succession de trajets linéaires ou radiales effectuées à une altitude de 500 pieds (150 mètres). Le long de ces radiales, toutes les cinq minutes, soit tous les 10 milles, ou à chaque événement rencontré⁴⁴ sont relevés la nature de l'événement lui-même, l'heure, la nébulosité, utile pour la correction atmosphérique, la température de surface de la mer après les corrections instrumentale et atmosphérique, la position, le cap suivi, l'état de la mer, la couleur de l'eau, la vitesse et la direction du vent et enfin la distance d'observation des bancs par rapport à l'axe de vol.

⁴⁴ Par événement, nous entendons tout banc de thons, objet flottant ou phénomène particulier survolé, à savoir : les fronts thermiques, les changements de couleur de l'eau, les mammifères marins, les oiseaux, les épaves, les thoniers en pêche, etc.

Ces données sont saisies en cours de vol, en partie automatiquement en ce qui concerne la valeur de la température de surface issue du radiomètre et la position, en partie manuellement sur le micro-ordinateur pour les autres paramètres.

La radiométrie aérienne infrarouge, en permettant de localiser les anomalies thermiques de surface, focalise l'observation aérienne sur les zones privilégiées où les thonidés présents ont tendance à se rassembler. Par l'inventaire de ces sites, cette méthode de prospection donne trois types de résultats qui concernent l'écologie des thonidés, l'évaluation et la répartition d'abondance, et l'estimation, en temps réel, de la richesse de la région prospectée pour la pêche PETIT et KULBICKI, 1982 ; PETIT et HENIN, 1982, PETIT, 1984.

Notamment, il a été confirmé que, dans la région, lorsque zones frontales et thonidés sont présents, ceux-ci se concentrent près de celles-là. L'effet agrégatif des îles et hauts-fonds a également été mis en évidence. L'ensemble de ces observations a permis d'élaborer la théorie cohérente sur le comportement des thonidés (PETIT, 1986) exposée dans le précédent chapitre.

L'évaluation en temps réel du potentiel halieutique des zones survolées et l'aide à la pêche directe ont été pratiquées à plusieurs reprises au cours de ces opérations : en Nouvelle-Zélande avec les senneurs américains, à Tahiti avec les bonitiers ou encore avec les compagnies locales de pêche à la canne en Nouvelle-Calédonie.

Le résultat principal de ces opérations est la mise au point d'une méthode d'évaluation du stock de thonidés de surface et son application à la Nouvelle-Calédonie et au Vanuatu. Cette méthode intègre un modèle mathématique qui tente de tenir compte aussi bien de l'influence des différents paramètres du vol (heure, température de surface, nébulosité, état de la mer, distance à la côte, distance entre bancs, saison) que du caractère discontinu des observations (bancs de thons, oiseaux, baleines, dauphins...). Ce modèle définit une distance mathématique "d" qui ramène à une dimension l'ensemble des paramètres retenus pour l'analyse. Par ajustement d'une courbe à ces données, on peut alors calculer la relation existant entre cette distance d et la probabilité d'observation ("P.O. = potentiel observable"), utilisée comme indice d'abondance. Il s'en déduit une relation entre d et la densité en thons à partir de l'évaluation de la taille des bancs et de la surface prospectée. Il a été montré que ces deux relations sont de forme exponentielle. Enfin, à partir de cette densité estimée, l'évaluation du potentiel en thons de surface peut être faite. Le tableau 3.1 donne le résultat de l'application de cette méthode à la région Nouvelle-Calédonie/Vanuatu (PETIT, 1984).

Selon ce modèle, le stock de surface s'élève pour la ZEE de Nouvelle-Calédonie à 155 000 tonnes (avec un intervalle compris entre 90 000 et 220 000 tonnes) et pour celle du Vanuatu à 68 000 tonnes (avec un intervalle compris entre 40 000 et 96 000 tonnes) ce qui représente une densité d'environ 0,12 tonne/km². Les résultats obtenus par le programme de marquage de la CPS, pour toute la zone CPS, donne une densité comparable pour l'ensemble du stock (surface et profondeur) de 0,1 tonne/km².

Ensuite sont exposés les résultats de l'expérimentation HAREM : (HALieutique, Radar, Expérimentation en Méditerranée) qui est une étude des potentialités du radar SAR en halieutique thonière et en pêche artisanale.

TABLEAU 3.1. : Evaluation du potentiel thonier à partir des opérations de radiométrie aérienne et prospection thonière dans la région Nouvelle-Calédonie/Vanuatu (d'après PETIT *et al.*, 1989).

	NOUVELLE- CALEDONIE	VANUATU
Zone d'étude	14°30-26°00S 158°00-175°00E	12°50-22°00S 165°00-174°00E
Surface prospectée dans l'aire d'étude (1)	222 309 milles ²	121 431 milles ²
Surface de la ZEE (2) (lettre d'information n° 14 de la CPS)	1 540 000 km ²	670 000 km ²
Intersection de (1) et (2)	environ 200 000 milles ²	environ 100 000 milles ²
Tonnage estimé dans l'aire d'étude (tonnes)	88 848 t (51 988 t-126 055 t)	47 910 t (27 971 t-68 032 t)
et densité (tonnes/km ²)	0,117 (0,068 t-0,165 t)	0,115 (0,067 t-0,163t)
Tonnage estimé pour la ZEE	154 566 t (90 440 t-219 295 t)	67 663 t (39 502 t-96 082 t)

CHAPITRE 4

PROSPECTIVES ET PERSPECTIVES

Si dans le premier chapitre, pour paraphraser Henri Poincaré, nous avons exposé "*les problèmes qui se posent*", les chapitres deuxième et troisième tentent de répondre aux "*problèmes que l'on se pose*" avec l'aide de modèles alimentés par les données de télédétection aérospatiale. Cette réponse a été cherché principalement dans un but de recherche de connaissances et de compréhension de l'écosystème pélagique premier. Cependant, le double contact permanent que nous avons eu avec les professionnels de la pêche et ceux du développement nous a inévitablement conduit à envisager les bases d'une halieutique opérationnelle

4.1 HALIEUTIQUE OPERATIONNELLE : INTEGRATION DE LA TELEDETECTION AEROSPATIALE

RESUME (Ce paragraphe est développé dans la thèse de M. PETIT)

Le contexte de la recherche halieutique actuelle est brièvement rappelé et le concept de l'halieutique opérationnelle ou encore d'océanographie des pêches opérationnelle est établi : il est évident que dans les prochaines années la gestion des pêches ne pourra se contenter de quelques points rajoutés sur des courbes de prises par unité d'effort. Le caractère limité de la ressource halieutique et la redistribution des bénéfices vers les pays riverains, ajoutés à l'augmentation des coûts d'exploitation, devraient inciter les administrations et la science halieutiques à agir non plus en adaptant tant bien que mal modèles et règlements existants aux problèmes posés mais plutôt en développant structures et recherches capables de fournir en temps quasi réel - *ipso facto*, sans attendre le développement anarchique des pêcheries - le maximum de données sur les ressources par l'utilisation de la technologie moderne (dont la télédétection aérospatiale). C'est le but que l'on doit fixer à l'halieutique opérationnelle. Dans cette optique, une analyse des potentialités et des limites de la télédétection aérospatiale est ensuite exposé aux travers d'exemples (capteurs passifs et actifs) originaux et exposés en détail dans les publications mises en annexe.

4.2 HALIEUTIQUE OPERATIONNELLE : LA MODELISATION ET L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Si l'on s'en tient à la philosophie générale de PREVI-PECHE, nous avons vu que nous utilisons la température de surface comme seule variable pour caractériser la maturation des masses d'eaux. Les résultats prometteurs de NIMBUS-7 et de son capteur couleur de l'eau CZCS nous ont fait, pendant quelques temps, imaginer des

développement de PREVI-PECHE fondés sur l'analyse de la chlorophylle voire de la production primaire au sein des masses d'eaux. Hélas, NIMBUS-7 n'est plus et il faudra attendre plusieurs années avant d'avoir des satellites (Sea WiFs, SPOT 4/5) capable de nous renseigner en temps réel et de façon continue sur la productivité des masses d'eaux.

En revanche, l'utilisation des techniques de simulation du comportement animal pourrait être l'avenir des modèles prévisionnels pour des activités de pêche. Si cette démarche est radicalement opposée à celle de PREVI-PECHE et de l'utilisation de la télédétection aérospatiale nous verrons plus loin qu'il n'en est rien.

Les travaux portant sur des simulations du comportement adaptatif chez les animaux datent de moins de cinq années. Selon MEYER et GUILLOT (1990), ce soudain engouement peut sans doute être expliqué par le fait que ce sujet promet d'être fertile en innovations théoriques.

Dans sa dernière publication, WILSON (1991) montre qu'il y a deux types d'approche scientifique pour comprendre l'intelligence animale. On pourrait qualifier la première, d'approche naturelle car elle analyse et expérimente les phénomènes de la vie, de la raison et de l'intelligence tels qu'ils existent dans la nature. Cette approche s'appuie sur la physiologie (plus particulièrement sur la neurophysiologie) et sur des études portant sur les animaux à travers leur comportement. A l'opposé le deuxième type d'approche pour comprendre l'intelligence animale, peut être désigné comme synthétique et simulable dans laquelle les objets étudiés sont construits en imitant les systèmes vivants ou leur comportement. Cette forme d'approche n'est pas récente, elle avait été évoquée par TURING en 1952 dans "*Computing machinery and intelligence*", mais surtout elle aborde le monde nouveau de la vie artificielle. Ce type de simulation commence à être connu sous le vocable "*animat*" et proposé par WILSON (1985) et comme le souligne WOOD (1991) ce nouveau domaine explore des simulations limitées du comportement animal dans un environnement artificiel.

Le problème fondamental que se pose tout animal, qu'il soit naturel ou artificiel (un *animat*) capable d'avoir un fonctionnement autonome dans un monde réel ou artificiel, est de décider de ce qu'il va faire dans l'instant suivant (BEER et CHIEL, 1991). Par ailleurs, les besoins et les exigences d'un animal, ne se traduisent pas par une valeur ponctuelle d'un ou de plusieurs paramètres mais oscillent au sein d'une gamme de variation comme nous l'avons vu dans le chapitre sur l'habitat des thonidés. La survie d'un animal est intimement lié à sa physiologie et son comportement et c'est pour cela que dans un environnement non prévisible et plus ou moins menaçant, son comportement sera de caractère adaptatif aussi longtemps qu'il lui permet de survivre (MEYER et GUILLOT *op. cit.*). En d'autres termes, les besoins et les exigences physiologiques peuvent se traduire par des variations de variables que l'on qualifiera d'essentielles⁴⁵ entre deux bornes. Toutes ces variables essentielles et leur gamme de variation vont créer un espace à n dimensions (n = nombre de variables) au sein duquel l'animal devra s'adapter. Il s'adaptera d'autant plus longtemps qu'il évitera de sortir de ces limites de viabilité. C'est ainsi que SIBLY et McFARLAND (1976) et MEYER et GUILLOT (*op. cit.*) estiment que le comportement de l'animal est de caractère adaptatif car s'il est situé à la limite de son espace de viabilité, il devra recourir à une action corrective pour éviter de franchir les limites de cet espace.

Pour répondre à des exigences physiologiques (recherche de nourriture, d'eau, d'un abri, d'un environnement optimal, etc.), la créature⁴⁶ considérée devra prendre une décision qui sera fonction d'informations sur l'environnement immédiat reçues par des organes sensoriels sur le milieu (présence de nourriture, d'eau, etc.). Si les organes sensoriels ne captent pas ces informations nécessaires, la créature est amenée à prendre

45 "essential variables" suivant la terminologie donnée par ASHBY (1952)

46 Le terme créature désigne aussi bien des animaux que des *animats* ; il a été introduit par le laboratoire d'intelligence artificielle du MIT (Boston USA).

la décision de se déplacer, donc mettre en oeuvre des organes sensoriels et des organes moteurs pour détecter un environnement favorable et pour détecter le plus tôt possible l'arrivée près des bornes et/ou pour quitter efficacement un environnement hostile (MEYER et GUILLOT *op. cit.*). Cela est essentiel car en cas d'échec, la créature meure. MEYER et GUILLOT (*op. cit.*) précisent que dans cette ligne de pensée, il est évident que l'équivalent d'un système nerveux est capable de connecter la perception d'un *animat* à ses actions et que les circuits réflexes activés aussi vite que possible augmentent la nature adaptative de son comportement. Ces auteurs de poursuivre en précisant qu'il est de même clair qu'un potentiel adaptatif supplémentaire est fourni à chaque *animat*, capable de répondre avec autre chose qu'un simple réflexe, s'il est capable de choisir parmi plusieurs réactions possibles la seule qui se trouve être la mieux adaptée à une situation donnée. De plus, il n'est pas impensable qu'une capacité de mémorisation de la séquence perception/action qui ont montré par elles-mêmes être les plus utiles ou nuisibles dans le passé est d'une valeur adaptative considérable pour chaque animat obligé de décider ce qu'il doit faire dans une situation donnée.

La simulation d'organismes artificiels est très importante pour des études d'écologie, d'adaptation et d'évolution de systèmes dynamiques qui sont trop complexes pour des études analytiques ou expérimentales (COLLINS & JEFFERSON, 1991). Certaines approches ont été tentées avec succès dans un passé très récent et selon BROOKS (1991), elles sont à l'origine d'une réanalyse, dans le domaine de l'intelligence artificielle, de la nature des entités nécessaires et dans la conception d'un système architectural pour ces créatures. Pour simuler un comportement chez l'animal, on va être amené à créer un système avec une certaine architecture où l'on ne pourra pas isoler une entité (par exemple les caractéristiques des capteurs sensoriels) de l'ensemble des entités composants ce système (BROOKS, 1991).

Avant de simuler le comportement d'un thon artificiel, il nous faut créer (modéliser) le milieu dans lequel il évoluera. Nous allons être obligé de le simplifier avant de pouvoir intégrer des données issues de la télédétection aérospatiale (Cf ANNEXE D). La relation entre le milieu et le thon artificiel s'appuie sur des organes sensoriels. Cette tâche de base se divise en trois sous-tâches à savoir, selon TYRRELL & MATHEW (1991), la perception permanente de l'environnement (perception), à partir de cette perception et en fonction d'un ensemble de comportement adopter le plus approprié (choix de comportement) et enfin transformer le comportement choisi en un mouvement du corps (contrôle moteur). Le but de ce genre de simulation est de comprendre les mécanismes sous-jacent au deuxième type de sous-tâche à savoir le choix du comportement qui se réfère à différentes actions à savoir la prise de nourriture, la fuite devant un prédateur etc. Les comportements que l'on adoptera, par exemple celui de la prise de nourriture, resteront à un niveau décisionnel, c'est à dire que dans le cas de la nourriture, l'on ne s'intéressera pas aux mécanismes secondaires de la façon dont l'animal va se positionner par rapport à sa proie, comment il va l'avalier etc. On établira le principe simple à savoir : si présence de nourriture perceptible par les organes sensoriels alors l'animal (ou l'animat) s'en saisi.

Cette notion de perception du milieu suivi d'une action appropriée fait partie du concept de la sensation/action (*sensory-motor concept*) objet de très nombreuses études dont celles développées par van HEERDEN (1968), WINSTON (1984), WILSON (1985).

Pour "survivre" dans un monde artificiel il faut :

- équiper notre thon artificiel, de capteurs capables de détecter une variation significative d'un gradient thermique, de turbidité, de bathymétrie etc. Comme ces gradients sont associés à des gradients de nourriture, nous allons dans un premier temps ramener les capteurs sensoriels de l'animat à un capteur capable de détecter un gradient de nourriture.

- faire le choix de comportement à partir de règles, que dans un premier temps nous voulons simples et qui vont être fixé en fonction de ce que l'on connaît sur l'éthologie des thons en milieu naturel ou en bassin ;
- faire le choix d'un déplacement à savoir comment il va s'orienter dans le milieu pour en fonction de ses besoins physiologiques (recherche de nourriture)

Mais au delà d'une simulation d'une population de thonidés, il apparait que cette voie de recherche, relativement nouvelle dans le domaine de la pêche, débouche également sur des notions de comportement collectif, à savoir comment évolue un banc dans le temps et l'espace, quel est le pouvoir d'adaptation d'un thon à un milieu à priori peu favorable il y a-t-il adaptation? Si oui est-ce une adaptation physiologique, sensitive? Enfin comme le soulève McFARLAND (1991), qu'elle est la part de l'apprentissage dans le comportement adaptatif.

Si cette simulation nous oblige à nous poser de nombreuses questions elle pourrait servir de base au développement d'une véritable océanographie opérationnelle des pêches

4.3 LES PROGRAMMATIONS

Enfin, nous ferons cette remarque sur l'organisation de l'halieutique opérationnelle. Il est légitimement prévisible qu'à terme, pour des raisons de coûts de la recherche et de souplesse des structures, cette halieutique ne pourra se développer qu'au sein d'interfaces entre professionnels de la pêche et chercheurs, dans le cadre de groupement d'intérêt ou de filiales mixtes. L'Europe a certainement une carte à jouer, avec ses flottilles thonières espagnoles, italiennes, françaises et associées. Elle reste bien placée face au géant asiatique et concurrentielle face aux Etats Unis.

CHAPITRE 5

CONCLUSION GENERALE

Parmi les grands domaines des applications classiques de la télédétection aérospatiale tels que les sciences agronomiques, la climatologie ou l'occupation des sols, l'halieutique est toujours restée relativement discrète, bien qu'elle ait été présente depuis la naissance de cette technique : les premières observations aériennes de thonidés ont été faites par des scientifiques avant 1925. L'une des raisons principales de cette "discrétion" est certainement la méconnaissance, liée à la complexité, ou plutôt complication, du système pêche, de la part des décideurs et techniciens. Cette méconnaissance a souvent abouti à une schématisation extrême de la problématique, particulièrement dans les années soixante dix, schématisation où l'on souhaitait fortement, voire affirmait, que la mesure satellitaire correspondait directement à une capture...

Bien sûr, ces lacunes ont parfois transformé en leurre l'outil télédétection et en échec quelques programmes scientifiques, ou encore, avec des conséquences plus graves, elles ont engendré une certaine défiance vis-à-vis de l'outil de la part des professionnels ou des administrateurs de la pêche. Avec le recul des ans cependant, il s'avère qu'il ne s'agit que d'erreurs de jeunesse qui se retrouvent finalement dans d'autres domaines : par exemple, l'inadéquation bien connue en agriculture entre la possibilité d'avoir par télédétection une bonne prévision des rendements et celle d'exploiter cette donnée dans l'organisation professionnelle et administrative des marchés...

Erreurs de jeunesse, qui devrait être oubliées rapidement, car, justement, l'halieutique opérationnelle est en train de naître sur des bases solides, des concepts scientifiques mêmes, des techniques de pointe dont la télédétection mais aussi l'intelligence artificielle.

Le contexte social, politique et économique est aussi en pleine évolution et dans la "nouvelle donne" il faut intégrer la responsabilisation des pays face à leurs zones économiques qui entraîne par exemple l'annulation du fameux secret de la localisation des captures, caractéristique jusqu'ici intouchable du système pêche.

Au cours des trois dernières années, plusieurs colloques (SHIMIZU 88⁴⁷, IGARSS'89 et 90⁴⁸, ISOFO-CANADA 89⁴⁹) ont démontré que la télédétection aérospatiale se révélait être un outil de premier ordre dans l'optimisation de l'halieutique et que cette interface halieutique/télédétection était arrivée à maturité et prête à intégrer la masse de données, voire de concepts nouveaux, que vont générer les tout prochains programmes tels que TOPEX POSEIDON, ERS1 ou ADEOS.

47 Colloque de franco-japonais de la Maison franco-japonaise.
 48 International Geoscience and Remote Sensing Symposium
 49 International Symposium on Operational Fisheries Oceanography.

CHAPITRE 6

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABDON, M.M. (1984).- Maps of favorable areas for tuna fishing in the southwestern Atlantic prepared from satellite data. *Rec. Doc. Scient. ICCAT* Vol. 20(2): 523-537.
- ACOLAS R. (1950).- Note sur la pêche à la baleine à Madagascar et au Gabon. Congrès des Pêches et des Pêcheries dans l'Union Française d'Outre-Mer. Institut Colonial de Marseille 11-14/10/1950.: 210-216.
- ALBARET J.J. (1977).- La reproduction de l'albacore (*Thunnus albacares*) dans le golfe de Guinée. *Cah. ORSTOM, sér. Océanogr.*, vol. XV(4): 389-419.
- ALONCLE H. (1975).- Rythmes alimentaires et circadiens chez le germon (*Thunnus alalunga*) dans le NE Atlantique. thèse d'état Université de Paris VI.
- ALPERS W. (1985).- *Nature* 314, 245-247.
- ARISTEGUI J., S. HERNANDEZ-LEON, M. GOMEZ, L. MEDINA, A. OJEDA and S. TORRES (1989).- Influence of the north trade winds on the biomass and production of neritic plankton around Gran Canaria island. *Topics in Marine Biology* (J.D. ROS Ed.). *Scient. Mar.*, Vol 52(2-3): 223-229.
- ASHBY W.R. (1952).- *Design for a brain*. Edition Chapman & Hall.
- BAKUN A. (1985).- Rapport du groupe de travail sur l'étude et le suivi de l'environnement. Rapp. FAO sur les pêches FIRM/R291 vol.1. Csirke & Sharp éd.;102 p.
- BANE G. W. Jr. (1963).- The biology of the yellowfin tuna, *Thunnus albacares* (Bonnaterre) in the gulf of Guinea. Thesis, Cornell University 444P.
- BARALE V. (1987).- Remote observations of the marine environment: spatial heterogeneity of the mesoscale ocean color field in CZCS imagery of California near-coastal waters. *Remote Sensing of Environment*, Vol 22: 173-186.
- BARD F.X. (1981).- Le thon germon (*Thunnus alalunga* Bonnaterre 198) de l'océan Atlantique. Thèse d'état, Université Paris 6.
- BARD F.X. (1983).- La pêche thonière française. *La Nouvelle Revue Maritime*. N° 396: 78-95.
- BARD FX, J.-M. STRETTA et M. SLEPOUKHA (1985).- Les épaves artificielles comme auxiliaires de la pêche thonière en océan Atlantique. Quel avenir ? *La Pêche Maritime* Octobre 1985: 655-658.

- BARD F.X., P. CAYRE et T. DIOUF (1988).- Les migrations. pp 111-156. In *Ressources, pêche et biologie des thonidés tropicaux de l'Atlantique centre-est*. (Fonteneau A. et J. Marcille Eds). *FAO Fish. Tech. Pap.*(292): 391 p.
- BARD F.X. et O. PEZNEC (1990).- Analyse des contenus stomacaux des albacores (*Thunnus albacares*) pêchés à la senne dans le golfe de Guinée. *ICCAT Document SCRS*, N 90/67, 13 p.
- BARKLEY R.A., W.H. NEILL and R.M. GOODING (1978).- Skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, habitat based on temperature and oxygen requirements. *Fish. Bull.*, U.S. vol 76: 653-662.
- BAUDRY N. (1986).- Filtering SEASAT and GEOS-3 altimeter data in the southwest Pacific. Rapport - ORSTOM Nouméa, géologie-géophysique, N 4-86, 11 p.
- BEER R.D. and H.J. CHIEL (1991).- The neural basis of behavioral choice in an artificial insect. pp. 247-254. In (J.A. Meyer and S.W. Wilson ed.), *From animals to animats*. Proceedings of the first international conference on the simulation of adaptive behavior. The MIT Press/Bradford Books. 551p.
- BERRIT G.R. (1961).- Contribution à la connaissance des variations saisonnières dans le golfe de Guinée. Observations de surface le long des lignes de navigation. Première partie: généralités. *Cah. Océanogr.*, XIII(10): 715-727.
- BERRIT G.R. (1962a).- Contribution à la connaissance des variations saisonnières dans le golfe de Guinée. Observations de surface le long des lignes de navigation. Deuxième partie : étude régionale. *Cah. Océanogr.*, XIV(9) : 633-643.
- BERRIT G.R. (1962b).- Contribution à la connaissance des variations saisonnières dans le golfe de Guinée. Observations de surface le long des lignes de navigation. Troisième partie : étude régionale (suite et fin). *Cah. Océanogr.*, XIV(10) : 719-729.
- BERRIT G.R. (1973).- Recherches hydroclimatiques dans les régions côtières de l'Atlantique tropical oriental. Etat des connaissances et perspectives. *Bull. Museum Nat. Hist. Nat.* 3° série n°148. *Ecologie générale* 4:86-89.
- BINI G. (1952).- Osservazioni sulla fauna marina delle coste del Cile e del Perù con speciale riguardo alle specie ittiche in generale ed i tonni in particolare. *Bull. Pesca Piscic. Idrobiol.*, 7(1): 11-60.
- BLACKBURN M. (1965).- Oceanography and the ecology of tunas. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 3: 299,322.
- BOEHLERT G.W. and A. GENIN (1987).- A review of the effects of seamounts on biological processes, in : *Seamounts, islands, and atolls*, ed. B.H. Keating, P. Fryer, R. Batiza & G.W. Boehlert, pp. 319-334. - Washington, D.C. : American geophysical union. - (Geophysical monograph 43).
- BRANDHORST W., (1958).- Thermocline topography, zooplankton standing crop, and mechanisms of fertilization in the eastern tropical Pacific. *Journal du Conseil*, 24, 1, pp. 16-31.
- BROADHEAD G.C. and I. BARRET (1964).- Some factors affecting the distribution and apparent abundance of yellowfin and skipjack tuna in the Eastern Pacific ocean. *Bull. Inter. Amer. Trop. Tuna Commn.*, vol 8: 417-473.

BROOKS R.A. (1991).- Challenges for complete creature architectures. pp. 434-443. In (J.A. Meyer and S.W. Wilson ed.), *From animals to animats*. Proceedings of the first international conference on the simulation of adaptive behavior. The MIT Press/Bradford Books. 551p.

CAREY F.G. and R.J. OLSON (1981).- Sonic tracking experiments with tunas. *ICCAT SYMP/81/4*: 458-466.

CAVERIVIERE A., F. CONAND et E. SUISSE DE SAINTE-CLAIRE (1976).- Distribution et abondance des larves de thonidés dans l'Atlantique tropico-oriental. Etude des données de 1963 à 1974. *Doc. Sci. Centre Rech. Océanogr.* Abidjan Vol VII(2):49-70.

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 à 1979) au port de Dakar. *Rec. Doc. Scient. ICCAT* Vol.15(1): 135-149.

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 Université Paris 6. Tome 1 181 p.

CAYRE P. et J. CHABANNE (1986).- Marquage acoustique et comportement de thons tropicaux (albacore : *Thunnus albacares*, et listao : *Katsuwonus pelamis*) au voisinage d'un dispositif concentrateur de poissons. *Océanographie tropicale*. Vol. 21(2):167-183.

CAYRE P., A. FONTENEAU et T. DIOUF (1986).- Statistiques de la pêche thonière FISM durant la période 1969 à 1985. *Rec. Doc. Scient. ICCAT* Vol. 26(1): 237-242.

CAYRE P., J.B. AMON KOTHIAS, J.-M. STRETTA et T. DIOUF (1988).- Biologie des thons. pp.: 157-268. In *Ressources, pêche et biologie des thonidés tropicaux de l'Atlantique centre-est*. (Fonteneau A. et J. Marcille Eds). *FAO Fish. Tech. Pap.* (292): 391 p.

CHARNEAU D. (1989).- La dynamique de la filière française du thon depuis 1945. Internationalisation et compétitivité. Thèse de doctorat. Université de Bordeaux I. 470p.

CHAUVEAU J.-P. (1989).- Histoire de la pêche industrielle au Sénégal et politique d'industrialisation. Deuxième partie : L'essor thonier et les limites d'une politique nationale d'industrialisation de la pêche (de 1955 aux premières années de l'Indépendance). *Cahiers des Sciences Humaines*. Vol 52(1-2): 259-277.

CITEAU (J.) et DEMARCQ (H.) 1990.- Restitution de la température de surface océanique en zone intertropicale à partir des données du satellite METEOSAT. *Bulletin de l'Institut océanographique, Monaco, n° spécial 6* (M. Petit et J.-M. Stretta Eds.), pp. 149-172.

COLLIGNON J. et C. ROUX (1950).- L'industrie baleinière au Gabon. Congrès des Pêches et des Pêcheries dans l'Union Française d'Outre- Mer. Institut Colonial de Marseille 11-14/10/1950.: 2206-207.

COLLINS R.J. and D. R. JEFFERSON (1991).- Representations for artificial organisms. pp. 382-390. In (J.A. Meyer and S.W. Wilson ed.), *From animals to animats*. Proceedings of the first international conference on the simulation of adaptive behavior. The MIT Press/Bradford Books. 551p.

CURY P. et C. ROY (1987).- Upwelling et pêche des espèces pélagiques côtières de Côte d'Ivoire : une approche globale. *Oceanologica Acta*, vol 10(3) : 347-358.

DANDONNEAU Y. (1979).- Concentrations en chlorophylle dans le Pacifique tropical sud-ouest : comparaison avec d'autres aires océaniques tropicales. *Oceanologica acta*, Vol 2: 133-142.

DANDONNEAU Y. and L. CHARPY (1985).- An empirical approach to the island mass effect in the south tropical Pacific based on sea surface chlorophyll concentrations. *Deep-sea research*, (A) 32, 6, pp. 707-721.

DANDONNEAU Y. et L. LEMASSON (1987).- Water-column chlorophyll in an oligotrophic environment : correction for the sampling depths and variations of the vertical structure of density, and observation of a growth period. *J. Plankton Research*, Vol 9(1): 215-234.

DG CONSEIL (1985).- Enquête sur l'utilisation des systèmes d'aide à la pêche. - Paris : DG conseil, 1985. - 53 p.

DIOUF T. et J.B. AMON KOTHIAS (1988).- Présentation systématique et distribution géographique des espèces. pp : 3-10. *In* Ressources, pêche et biologie des thonidés tropicaux de l'Atlantique centre-est. (FONTENEAU A. et J. MARCILLE Eds). *FAO Fish. Tech. Pap.*, 292 : 391p.

DIZON A.E. (1977).- Effect of dissolved oxygen concentration and salinity on swimming speed of two species of tunas. *Fish. Bull.*, U.S. Vol 75: 649-653.

DONGUY J.R. et M. PRIVE (1964a).- Les conditions de l'Atlantique entre Abidjan et l'équateur. *Cah. Océanogr.* vol. XVI(3) : 193-204.

DONGUY J.R. et M. PRIVE (1964b).- Les conditions de l'Atlantique entre Abidjan et l'équateur. Deuxième partie : Variations hydrologiques annuelles entre Abidjan et l'équateur. *Cah. Océanogr.*, vol. XVI(5) : 393-398.

DONGUY J.R., W. BOUR, P. GALENON et J.A. GUEREDRAT (1978).- Les conditions océanographiques et la pêche de la bonite (*Katsuwonus pelamis*) dans le Pacifique occidental. *Cah. ORSTOM*, sér. Océanogr. vol XVI(3-4): 309-317.

DRAGOVICH A. (1969).- Review of studies of tuna food in the Atlantic ocean. *U.S. Fish Wildl. Ser., Spec. Sci. Rep. Fish.* 593, 21 p.

DUFOUR P et J.-M. STRETTA (1973a).- Production primaire, biomasse du phytoplancton et du zooplancton dans l'Atlantique tropical sud le long du méridien 4°W. *Cah. ORSTOM*, sér. Océanogr., Vol XI(4):419-429.

DUFOUR P. et J.-M. STRETTA (1973b).- Fronts thermiques et thermohalins dans la région du Cap Lopez (Golfe de Guinée) en juin-juillet 1972 : phytoplancton, zooplancton, micronecton et pêche thonière. *Doc. Sci. Centre Rech. Océanogr.* Abidjan Vol IV (3): 99-142.

DUPOUY C. (1990).- La chlorophylle de surface observée par le satellite NIMBUS-7 dans une zone d'archipel (Nouvelle-Calédonie et Vanuatu). Une première analyse. *Bulletin de l'Institut océanographique*, Monaco, n° spécial 6 (M. Petit et J.-M. Stretta Eds.): 125-148

EGGLESTON and PAUL (1978).- Satellites, sea temperature and skipjack. In G.V. Habib and P.E. Roberts (Compilers). *Proceedings of the Pelagic Fisheries Conference, July 1977:75-84. New Zealand. Minis. Agric. Fish. Res. Div., Occas. Publ.* 15.

EPPLEY R.W. and B.W. PETERSON (1979).- Particulate organic matter flux and planktonic new production in the deep ocean. *Nature*: 282: 677-680.

EVANS R.H., D.R. MACLAIN and R.A. BAUER (1981).- Atlantic skipjack tuna: influences of the environment on their vulnerability to surface gear. *Rec. Doc. Scient. ICCAT Vol.9(1)*: 264-274.

FAO (1963).- Proceeding of the world scientific meeting on the biology of tunas and related species. La Jolla, California, USA, July 2-14, 1962. *FAO Fisheries Report*. N°6 volumes 1,2,3,4.

FIEDLER, P.C. and H.J. BERNARD (1987).- Tuna aggregation and feeding near fronts observed in satellite imagery. *Cont. Shelf Res.*, vol. 7(8): 871-881.

FISCHER W., G. BIANCHI et W.B. SCOTT (Eds), (1981).- Fiches FAO d'identification pour les besoins de la pêche. Atlantique Centre-Est (Zone de pêche 34 et 47 (en partie)). Vol. I-VII: pag.var. Editions FAO Rome.

FONTENEAU A. (1981).- Dynamique de la population d'albacore (*Thunnus albacares*, Bonnaterre 1788) de l'océan Atlantique. Thèse de doctorat Université Paris 6. 324 p.

FONTENEAU A. (1986).- Analyse de l'exploitation de quelques concentrations d'albacore par les senneurs durant la période 1980-1983 dans l'Atlantique Est. Collective volume of scientific papers - International commission for the conservation of Atlantic tunas, 25, pp. 81-98.

FONTENEAU A. et T. DIOUF (1986).- Les pêcheries thonières de l'Atlantique tropical est. *Doc. ICCAT SCRS 86/59*: 99 pp.

FONTENEAU A., T. DIOUF et M. MENSAH (1988).- Les pêcheries thonières de l'Atlantique tropical est. pp: 33-110. In Ressources, pêche et biologie des thonidés tropicaux de l'Atlantique centre-est. (FONTENEAU A. et J. MARCILLE Eds). *FAO Fish. Tech. Pap.*, 292 : 391p.

FOUCHER E. (1990).- La prise par unité d'effort comme indice d'abondance locale dans les pêcheries de thonidés tropicaux. *ICCAT Document SCRS 90/104*: 15p.

GARCIA MAMOLAR J.M. y A.M. Fernandez Gonzalez (1987).- Estadísticas de la pesquería atunera tropical en el Atlántico este 1979-1984. *Rec. Doc. Scient. ICCAT Vol. 26(1)*: 192-197.

GENIN A. and G.W. BOEHLERT (1985).- Dynamics of temperature and chlorophyll structures above a seamount: an oceanic experiment. *J. Mar. Res.* 43:907-924.

GLEICK J. (1987).- Chaos, making a new science. The Viking press, New York, 352 p.

GOLDMAN J.C. (1987).- Spatial and temporal discontinuities of biological processes in pelagic surface waters. NATO Advanced Research Workshop "Toward a Theory on Biological-Physical Interactions in the World Ocean", Chateau de Bonas, Castera-Verduzan, France. October 1987.

GONZALEZ RAMOS A. (1989).- Influencia de las condicionantes medioambientales en la pesquería superficial del atun listado (*Katsuwonus pelamis*) en aguas del archipiélago Canario. *Rec. Doc. Scient. ICCAT Vol.XXX(1)*: 138-149.

GOURIOU Y. (1988).- Le milieu dans l'Atlantique tropical est. pp 11-32. In Ressources, pêche et biologie des thonidés tropicaux de l'Atlantique centre-est. (Fonteneau A. et J. Marcille Eds). *FAO Fish. Tech. Pap.*(292): 391 p.

GRANDPERRIN R. (1975).- Structures trophiques aboutissant aux thons de longue ligne dans le Pacifique sud-ouest tropical. Thèse d'état. Faculté d'Aix-Marseille II. Editions de l'ORSTOM.

GROUZOV L. N. (1971).- La formation des accumulations de zooplancton dans la zone pélagique du golfe de Guinée. In Les zones productives de l'océan Atlantique équatorial et les conditions de leur formation. *Trav. AtlantNIRO*, vol. XXXVII: 406-428. Kaliningrad. Traduction de P. Hisard (ORSTOM Montpellier, France).

HEERDEN (van) P.J. (1968).- The foundation of empirical knowledge. Wassemar, The Netherlands : Wistik.

HERBLAND A. (1990).- Oligotrophie et eutrophie : relation de cause à effet. *Rec. Doc. Scient. ICCAT* Vol. 32(1).

HERBLAND A. et J.-M. STRETTA (1973).- Zooplancton et micronecton dans la région du dôme d'Angola en février-mars 1971 et relation avec les thons. *Doc. Scient. Centre rech. Océanogr. Abidjan.*, Vol IV(2): 45,70.

HERBLAND A. et VOITURIEZ B. (1977).- Production primaire, nitrate et nitrite dans l'Atlantique tropical. I.- Distribution du nitrate et production primaire. *Cah. ORSTOM, sér. Océanogr.*, vol. XV(1): 47-56.

HERBLAND A., A. LE BOUTEILLER and P. RAIMBAULT (1985).- Size structure of phytoplankton and nutrient enrichment in the equatorial Atlantic ocean. *Deep Sea Res.*, 32(7): 819-824.

HERBLAND A., R. LE BORGNE et B. VOITURIEZ (1973).- Production primaire, secondaire et régénération des sels nutritifs dans l'upwelling de Mauritanie. *Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr. Abidjan.* Vol.IV(1): 1-75.

HERBLAND A., R. LE BORGNE, A. LE BOUTEILLER et B. VOITURIEZ (1983).- Structure hydrologique et production primaire dans l'Atlantique tropical oriental. *Océanogr. trop.* vol 18(2): 249-293.

HERBLAND A., R. LE BORGNE, A. LE BOUTEILLER et B. VOITURIEZ (1983).- Structure hydrologique et production primaire dans l'Atlantique tropical oriental. *Océanogr. trop.* vol 18(2): 249-293.

HERNANDEZ-LEON S. (1988).- Gradients of mesozooplankton biomass and ETS activity in the wind-shear area as evidence of an island mass effect in the Canary Islands waters. *J. Plankton Research*, Vol 10(6): 1141-1154.

HISARD P. (1973).- Variations saisonnières à l'équateur dans le golfe de Guinée. *Cah. ORSTOM, sér. Océanogr.*, vol. XI(3):349-356.

HISARD P. (1983).- Deux précurseurs de l'étude du golfe de Guinée au XIX^e siècle. *Océanogr. trop.* vol 18(1): 95-101.

HISARD P. et A. MORLIERE (1973).- La terminaison du contre courant équatorial subsuperficiel Atlantique (courant de Lomonosov) dans le golfe de Guinée. *Cah. ORSTOM.,sér. Océanogr.*,vol XII(4): 455-464.

HISARD P. J. CITEAU et A. MORLIERE (1975).- La branche sud des contre-courants équatoriaux subsuperficiels dans l'océan Atlantique. *Cah. ORSTOM.,sér. Océanogr.*,vol XIII: 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 aggregating devices. *Fishery Bulletin*, Vol. 88: 499-507.

IATTC (1986).- Annual report of th Inter-American Tropical Tuna Commission. Year 1985. IATTC La Jolla, California USA, 248p.

IATTC (1987).- Annual report of th Inter-American Tropical Tuna Commission. Year 1986. IATTC La Jolla, California USA, 264p.

IATTC (1988).- Annual report of th Inter-American Tropical Tuna Commission. Year 1987. IATTC La Jolla, California USA, 222p.

IATTC (1989).- Annual report of th Inter-American Tropical Tuna Commission. Year 1988. IATTC La Jolla, California USA, 288p.

ICCAT (1972).- Manuel d'opérations pour les statistiques et l'échantillonnage des thonidés et espèces voisines dans l'océan Atlantique. Pagination multiple. Secretariat ICCAT (Madrid-Espagne).

ICCAT (1982a).- Bulletin statistique historique Vol. 1 (1950-59): 79p. Secretariat ICCAT (Madrid-Espagne).

ICCAT (1982b).- Bulletin statistique historique Vol. 2 (1960-69): 109p. Secretariat ICCAT (Madrid-Espagne).

ICCAT (1988).- Bulletin statistique historique Vol. 3 (1970-79): 180p. Secretariat ICCAT (Madrid-Espagne).

ICCAT (1989).- Bulletin statistique. Vol 19. 1988: 158p. Secretariat ICCAT (Madrid-Espagne).

ICCAT (1990).- Rapport du Comité permanent pour la recherche et les statistiques (SCRS). Secretariat ICCAT, Madrid-Espagne) octobre-novembre 1990.

IGFA (1984).- World record game fishes. IGFA editions. 320p.

INGHAM M.C., J.R. GOULET Jr and J.T. BRUCKS (1968).- Oceanic conditions in the northwestern gulf of Guinea, Geronimo Cruise 4, 5 august to 13 october 1964. *US Fish and Wildlife Service Data Report* 26: 48 pp.

JOSEPH J., W. KLAWE and P. MURPHY (1988).- Tuna and billfish - fish without a country. Editions IATTC La Jolla (USA), 69p.

KISHINOUE K. (1923).- Contributions to the comparative study of so-called scombroid fishes. *J. Coll. Agric. Imp. Univ. , Tokyo*, Vol 8: 293-475.

KITCHELL J.F., W. H. NEILL, A. E. DIZON and J. J. MAGNUSON (1978).- Bioenergetic spectra of skipjack and yellowfin tunas. In, *The Physiological Ecology of Tunas*. SHARP & DIZON Edit. Academic Press, New-York: 357,368.

KLEIBER P., A.W. ARGUE and R.E. KEARNEY (1987).- Assessment of Pacific Skipjack tuna resources by estimating stock and components of population turnover from tagging data. *Can. Journ. Fish. Aquat. Sci.* 44 (6) : 1122-1134.

KOZLOV V. F., V.B. DARNITSKY and M.I. ERMAKOV (1982).- An experiment in modeling topographic vortices over underwater mountains. *Problems in oceanography (State Committee of the USSR for Hydrometeorology and Environmental Monitoring)* 96: 3-25.

LAEVASTU and ROSA (1963).- Distribution and relative abundance of tunas in relation to their environment. *FAO Fish. Rep.* 6(3): 1835- 1851.

LAURS R. M. (1989).- Application de la télédétection satellitaire au germon du Pacifique Nord, *Thunnus alalunga* (Bonnaterre).pp. 87-97. *FAO Fish. Tech. Pap.* n:302, 148p..

LAURS R.M., H.S.H. YUEN and J.H. JOHNSON (1977).- Small-scale movements of albacore, *Thunnus alalunga*, in relation to ocean features as indicated by ultrasonic tracking and oceanographic sampling. *Fishery Bulletin*, 75: 347-355.

LAURS R.M., P.C. FIEDLER and D.R. MONTGOMERY (1984).- Albacore tuna catch distribution relative to environmental features observed from satellites. *Deep Sea Res.* 31(9): 1085-1099.

LE GUEN J.C., DESCHAMPS P.Y., GUILLERM J.M. et METAYER M., (1972).- Compte-rendu de l'opération radiométrie à infrarouge sur l'avion INTERTHON. *Centre ORSTOM de Pointe-Noire (Congo), Document S.R. n°541*, 28 p.

LE GUEN J.C., F.POINSARD et J.P. TROADEC (1965).- La pêche de l'albacore (*Neothunnus albacares*, Bonnaterre) dans la zone orientale de l'Atlantique intertropical. Etude préliminaire. *Doc. Scient. Centre ORSTOM. Pointe-Noire. S.R. n°263*: 27 pp.

LEMASSON L. (1975).- Matière en suspension et phosphore en particules dans l'Atlantique tropical sud le long de 4°W en novembre 1971. *Marine Chemistry*, Vol 3: 321-335.

LEMASSON L. (1990).- Les relations production halieutique et environnement. *Rec. Doc. Scient. ICCAT* Vol 32(1).

LEMASSON L. et J.P. REBERT (1973).- Les courants marins dans le golfe ivoirien. *Cah. ORSTOM., sér. Océanogr.*, vol XI: 67-95.

LEVENEZ J.J. (1981).- Note préliminaire sur l'opération sénégalaise de tracking de listao. *Int. Comm. Conserv. Atlantic Tunas (SCRS 1981) N° 81/73*: 189-194.

LORENZ S.E., R.A. ARNONE, D.A. WIESENBERG and I.P. DePALMA (1988).- Satellite detection of transient enhanced primary production in the western Mediterranean sea. *Nature*, 335: 245-247.

MAC CALL (1985).- Rapport du groupe de travail sur l'étude et le suivi des ressources. *Rapp. FAO sur les pêches FIRM/R291 vol.1. Csirke & Sharp éd.*;102 p.

McFARLAND D. (1991).- What it means for robot behavior to be adaptive. pp. 22-28. In (J.A. Meyer and S.W. Wilson ed.), *From animals to animats*. Proceedings of the first international conference on the simulation of adaptive behavior. The MIT Press/Bradford Books. 551p.

MARCILLE J. (1986).- La pêche thonière mondiale. Situation actuelle et essai de prospective. *La Pêche Maritime*, mai 1986: 332-336.

MARCILLE J., et W. BOUR (1981).- La pêche des thons à la senne et à la canne dans l'océan pacifique tropical. Situation actuelle et perspective de développement. *Travaux et Documents de l'ORSTOM* N° 134: 259p.

MAZEIKA P.A. (1967).- Thermal domes in the eastern tropical Atlantic Ocean. *Limnol. Océanogr.*, 12(3): 537-539

Mc CREARY J.P., J. PICAUT and D.W. MOORE (1984).- Effects of remote annual forcing in the eastern tropical Atlantic ocean. *J. Mar. Res.*, 42 : 55-81.

MAUGHAM P.M. (1972).- The impact of remote sensing data on the U.S. menhaden and shrimp Fisheries. Final report prepared for spacecraft oceanography project. n° 62306-71-C-0173 Earth Sat. Corporation - Washington.

MERLE J. (1978).- Atlas hydrologique saisonnier de l'océan Atlantique intertropical. *Travaux et Documents de l'ORSTOM*. n: 82. 134pp.

MEYER J.-A. and A. GUYOT (1990).- From animals to animats: Everything you wanted to know about the simulation of adaptive behavior. Technical Report BioInfo-90-1. Paris september 1990, 40p.

MOLONEY C. A. (1883).- West african fisheries with particular reference to the Gold Coast Colony. In *International Fisheries Exhibition* London 1883 74p. Edition: W. CLOWES and sons, Ltd.

MORLIERE A. (1970).- Les saisons marines devant Abidjan. *Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr.* Abidjan Vol. 1(2):1-15.

MULLIN M.M and E. BROOKS (1977).- Some consequences of distributional heterogeneity of phytoplankton and zooplankton. *Limnology and Oceanography*, 21: 784-796.

MURPHY G. I. (1959).- Effect of water clarity on albacore catches. *Limnology and Oceanography*, 4:86,93.

NAKAMURA E. L. (1965).- Food and feeding habits of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) from the Marquesas and Tuamotu islands. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 94: 236,242.

NIVAL P. et S. NIVAL (1976).- Particle retention efficiencies of an herbivorous copepod *Acartia clausi* (adult and copepodits stages): effect on grazing. *Limnol. Oceanogr.*, vol 21: 24-38.

NOEL J., J.-M. STRETTA et L. VERCESI (1975).- Compte rendu de l'opération CAP LOPEZ 1975. Rapport CNEXO, 23p.

ORSTOM (1989).- Colloque "Thons et environnement", Paris du 12 au 15 septembre 1988. - Paris. *Série Colloques et séminaires*, Editions ORSTOM, 84 p.

OUDOT C. (1983).- Les gaz dissous (azote -oxygène) dans le golfe de Guinée : distribution, échanges physiques, relation avec la production primaire. *Océanogr. trop.* vol 18(2): 201-221.

PETIT M. (1976).- Ecologie du germon et télédétection aérospatiale. Mémoire d'ingénieur (Diplôme d'agronomie approfondie - halieutique) Ecole nationale supérieure d'agronomie de Rennes, 72 p.

PETIT M. (1979).- Prospection Thonière et Radiométrie Aérienne en Nouvelle Calédonie et à Wallis et Futuna. Conférence de la mer, Nouméa, Septembre 1979.

- PETIT M. (1986).- Coherent theory on tuna behavior. 35 th Tuna Conference. Lake Arrowhead, may 1986.
- PETIT M. et HENIN C. (1982).- Prospection thonière par observations et radiométrie aérienne. Rapport final Vanuatu. *Notes et Doc. Océanograph*; n° 3. ORSTOM Port-Villa: 98p.
- PETIT M. et KULBICKI M. (1982).- Radiométrie aérienne et prospection thonière dans la zone économique exclusive de Polynésie. *Notes et Doc. Océanograph.*; n° 20. ORSTOM Nouméa: 98 p
- PETIT M., J.-M. STRETTA, M. SIMIER et A. WADSWORTH (1989).- Anomalies de surface et pêche thonière. Un potentiel inattendu de SPOT pour la détection des zone de pêche par l'inventaire des hauts-fonds. *Mappemonde* 89(3):13-16.
- PICAUT J. (1983).- Propagation of seasonal upwelling in the Eastern Equatorial Atlantic. *Jour. Physical Oceanography* 13: 100-128.
- PLATT T. and S. SATHYENDRANATH (1988).- Oceanic primary production : estimation by remote sensing at local and regional scales. *Science* 241: 1613-1620.
- PLATT T., W.G. HARRISON, M.R. LEWIS, W.K.W. LI, S. SATHYENDRANATH, R.E. SMITH and A.F. VEZINA (1989).- Biological production of the oceans : the case for a consensus. *Marine Ecology Progress series*, Vol 52: 77-88.
- POSTEL E. (1954).- Contribution à l'étude des thonidés de l'Atlantique tropical. *J. Cons.* 19: 356,362.
- POSTEL E. (1955a).- Contribution à l'étude de la biologie de quelques *Scombridae* de l'Atlantique tropico-oriental. *Ann. Station Océanogr. Salammbô* n° 10: 167pp.
- POSTEL E. (1955b).- Recherches sur l'écologie du thon à nageoires jaunes, *Neothunnus albacora* (Lowe), dans l'Atlantique tropico- oriental. *Bull. Inst. Franç. Afr. Noire*, Sér. A, 17: 279,318.
- POSTEL E. (1966).- Répartition et abondance des thons dans l'Atlantique tropical. In : *Proceedings of the Symposium on the oceanography and fisheries resources of the tropical Atlantic, Abidjan, Ivory Coast, 20-28 October 1966, review papers and contributions*, pp. 109-138. - Paris : Unesco.
- ROBINS J.P. (1952).- Further observations on the distribution of striped tuna *Katsuwonus pelamis* L., in eastern australian waters, and its relation to surface temperature. *Aust. J. mar. freshwat. Res.*, 3: 101-110.
- ROGER C. and GRANDPERRIN R. (1976).- Pelagic food webs in the tropical Pacific. *Limnology and oceanography*, 21, 5, pp. 731-735.
- SACCHI J.(1986).- Les dispositifs de concentration de poissons et le développement des pêches côtières. *EQUINOXE* N9: 14,22
- SAUNDERS P.M. (1970).- Corrections for airborne radiometry. *J. Geophys. Res.*, Vol 75: 7596-7601.
- SHARP G.D. (1978).- Behavioral and physiological properties of tunas and their effects on vulnerability to fishing gear. p397-450 In *The physiological ecology of tunas*. Sharp and Dizon Editors. Academic Press. New-York.

- SHARP G.D. (1981).- What is a tuna school ?. ICCAT SYMP Working Paper 2620
- SIBLY R.M. and D.J. McFARLAND (1976).- On the fitness of behavior sequences. *Amer. Natur.* 110: 610-617.
- STEELE J.H. (1978).- Some comments on plankton patches. In *Spatial Pattern in Plankton Communities* (J.H. Steele, Ed), Plenum, New York and London pp. 1-20.
- STEUQUERT B. et F. MARSAC (1983).- Pêche thonière à la senne. Expérience dans l'océan Indien. *Initiations et Documents Technique* N° 59: 30 pp. Editions ORSTOM.
- STRETTA J.-M. (1975).- Biomasses du phytoplancton et du zooplancton dans l'Atlantique tropical oriental le du méridien 10°W. Résultats de la campagne CAPRICORNE 7314. *Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr.* Abidjan, Vol VI(1): 83-96
- STRETTA J.-M. (1977).- Température de surface et pêche thonière dans la zone frontale du cap Lopez (Atlantique tropical oriental) en juin et juillet 1972, 1974 et 1975. *Cahiers ORSTOM, série océanographie*, 15, 2, pp. 163-180.
- STRETTA J.-M. (1977a).- Sea surface temperature measured by aerial radiometry and tuna concentration in the gulf of Guinea. *FAO Fish. Tech. Pap.* (170): 62-65.
- STRETTA J.-M. (1977b).- Température de surface et pêche thonière dans la zone frontale du cap Lopez (Atlantique tropical oriental) en juin et juillet 1972, 1974 et 1975. *Cah. ORSTOM sér. Océanogr.*, Vol XV(2):163-180.
- STRETTA J.-M. (1985).- Description et mode d'emploi du logiciel PREVI-PECHE. *Note à Diffusion Restreinte* 03/85. Centre Rech. Océanogr. Abidjan, juillet 1985 : 15pp.
- STRETTA J.-M. (1987).- Régime et comportement alimentaires de l'albacore, du listao et du patudo dans l'Atlantique tropical oriental (Revue bibliographique). *Rec. Doc. Scient. ICCAT* Vol. 26(1): 95-104.
- STRETTA J.-M. (1988).- Environnement et pêche thonière en Atlantique tropical oriental. pp: 269-316. In *Ressources, pêche et biologie des thonidés tropicaux de l'Atlantique centre-est.* (Fonteneau A. et J. Marcille Eds). *FAO Fish. Tech. Pap.*(292): 391 p.
- STRETTA J.-M. (1990).- La télédétection infrarouge thermique peut-elle aider à la prévision des zones de pêche? La réponse praxéologique. *Bulletin de l'Institut océanographique*, Monaco, n° spécial 6 (M. Petit et J.-M. Stretta Eds.): 173-198.
- STRETTA J.-M., J. NOEL et J.C. LE GUEN (1973).- Mesures de température de surface par radiométrie aérienne et concentrations de thons au large d'Abidjan en août 1973. *Document Multigr. CRO Abidjan*, 16 pp.
- STRETTA J.-M., J. NOEL et L. VERCESI (1975).- Caractérisation des situations hydro-biologiques et potentialités de pêche thonière au cap Lopez en juin et juillet 1972 et 1974. *Doc. Centre Rech. Océanogr.* Abidjan Vol VI(2):59-74.
- STRETTA J.-M. et M. PETIT (1989).- Panorama des pêcheries de thonidés en Atlantique Intertropical. pp:9-21. In *Télédétection satellitaire et pêcheries thonières océaniques.* *FAO Fish. Tech. Pap.* n:302, 148p.
- STRETTA J.-M. et M. PETIT (1989b).- Télédétection spatiale et pêche thonière en Atlantique Intertropical. pp:99-110. In *Télédétection satellitaire et pêcheries thonières océaniques.* *FAO Fish. Tech. Pap.* n:302, 148p.

STRETTA J.-M. et SLEPOUKHA M. (1983a).- Les satellites, l'ordinateur et l'aide à la pêche thonière. *Pêche maritime*, 62, 1258, pp. 38-40.

STRETTA J.-M. et SLEPOUKHA M. (1983b).- A forecasting model for tuna fisheries in the intertropical Atlantic, in : Proceedings of the 34th annual tuna conference, Lake Arrowhead, May 15-18, 1983, p. 36.

STRETTA J.M et M. SLEPOUKHA (1986).- Analyse des facteurs biotiques et abiotiques associés aux bancs de listaos. pp 161-169. *In Proceedings of the ICCAT Conference on the International Skipjack Program.* (P.E.K Symons, P.M. Miyake and G.T. Sakagawa Editors) ICCAT :161-169.

STRETTA J.-M., M. PETIT et M. SLEPOUKHA (Sous presse).- Les prises de thonidés et leur environnement au large de la Côte d'Ivoire. 24p, 9 tableaux, 16 figures. *In Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire.* Tome I : Le milieu marin (Editeurs P. Le Loeuff, E. Marchal et J.B. Amon Kothias), Editions ORSTOM

STRETTA J.-M. et B. SURUGUE (1977).- Température de surface et pêche thonière. Film 16mm , couleurs, son optique, 7 minutes, version française, anglaise, portugaise, arabe. (Disponible en vidéo U Matic 3/4 pouce) Production ORSTOM, Diffusion ORSTOM, SFRS, Médiathèque Centrale, ADPF.

SUND P. N., M. BLACKBURN and F. WILLIAMS (1981).- Tunas and their environment in the Pacific Ocean: a review. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 19: 443,512.

THIBAUT D. (1990).- Etude des structures océaniques de surface dans l'Atlantique tropical est observables par l'imagerie satellitaire : le cas de l'upwelling équatorial. Rapport de DEA d'océanologie, Université d'Aix-Marseille, Centre d'océanologie de Marseille, septembre 1990, 30p.

THOM R (1972).- Stabilité structurelle et morphogénèse. InterEditions Paris p. 350.

UDA M. (1931a).- Conditions of Zunan albacore fishery conditions and oceanographic conditions. *Suisan Butsuri Danwakai Kaiho*, 27: 413-416. (En japonais).

UDA M. (1931b).- Studies of skipjack fishery conditions north of Zunan in 1930. *Suisan Butsuri Danwakai Kaiho*, 2. (En japonais).

VALIELA (1984).- Marine ecological processes. Springer Advanced Texts in Life Sciences (D.E. Reichle, Ed.). Springer-Verlag. 546 pp.

VERCESI L. (1973).- Résultats de la campagne de radiométrie ANGOLA 1973. *Document Ronéo, Cent. Rech. Océanogr.* Abidjan n°10.73, 11 p.

VERSTRAETE J.M. et J. PICAUT (1983).- Variations du niveau de la mer, de la température et des hauteurs dynamiques le long de la côte nord du Golfe de Guinée. *Océanogr. trop.* vol 18(2):139-162.

VIOLLIER M. (1976).- Contribution à l'étude du rayonnement retrodiffusé par l'océan: application à la télédétection de la chlorophylle. Thèse doctorat de spécialité. Université des Sciences et Techniques de Lille. N° 610. 90 pp.

VOITURIEZ B. (1983).- Les variations saisonnières des courants équatoriaux à 4°W et l'upwelling équatorial du golfe de Guinée. 1- Le sous-courant équatorial. *Océanogr. trop.* vol 18(2):163-183.

- VOITURIEZ B. et A. HERBLAND (1977).- Etude de la production pélagique de la zone équatoriale de l'Atlantique à 4°W. I- Relations entre la structure hydrologique et la production primaire. *Cah. ORSTOM. sér. Océanogr.*, vol. XV, n°4, 1977: 313-331
- VOITURIEZ B. et Y. DANDONNEAU (1974).- Relations entre la structure thermique, la production primaire et la régénération des sels nutritifs dans le dôme de Guinée. *Cah. ORSTOM. sér. Océanogr.*, Vol XII:245-255.
- WALSH J.J. (1976).- Herbivory as a factor in patterns of nutrient utilization in the sea. *Limnology and Oceanography*, Vol 21: 1:13.
- WAUTHY B. (1977).- Révision de la classification des eaux de surface du golfe de Guinée (BERIT, 1961). *Cah. ORSTOM. Sér. Océanogr.*, vol XV: 279-295.
- WAUTHY B. (1983).- Introduction à la climatologie du golfe de Guinée. *Océanogr. trop.* vol 18(2): 103-138.
- WILLIAMS F. (1970).- Sea surface temperature and the distribution an apparent distribution of skipjack (*Katsuwonus pelamis*) in the eastern Pacific ocean, 1951-1968. *Inter-Am. Trop. Tuna Comm. Bull.* 15: 229- 281.
- WILSON S.W. (1985).- Knowledge growth in an artificial animal. In Grefenstette (Ed), *In Proceedings of the first international conference on genetic algorithms and their applications* pp16-23. Hillsdale, New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates.
- WINSTON P.H. (1984).- Artificial intelligence. 2nd ed. Reading, Massachussets : Addison-Wesley.
- WOOD D. (1991).- A Von Neumann approach to a genotype expression in a neural animat. pp. 427-432. In (J.A. Meyer and S.W. Wilson ed.), *From animals to animats*. Proceedings of the first international conference on the simulation of adaptive behavior. The MIT Press/Bradford Books. 551 p.
- YAMANAKA I. (1982).- Application of satellite remote sensing to fishery studies in Japan. *NAFO Sci. Counc. Stud.*; no. 4, pp. 41-50.
- YAMANAKA I. (1983).- Application of satellites in tuna fisheries. *Bull. Jap. Soc. Fish. Oceanogr./Suisan Kaiyo Kenkyukaiko*, no. 42 : 40-43.
- YAMANAKA I., S. ITO, K. NIWA, R. TANABE, Y. YABUTA and S. CHIKUNI (1989).- The fisheries forecasting system in Japan for coastal pelagic fish. *FAO Fisheries Technical Paper*.(301): 72 p.
- YOSHIDA H.O. (1964).- Skipjack tuna spawning in the Marquesas islands and Tuamotu archipelago. *Fish. Bull.* 65(2) : 479-488.

CHAPITRE 7

BIBLIOGRAPHIE

7.1. Ecologie des thonidés

- ALVERSON F.G. (1963).- The food of yellowfin and skipjack tunas in the eastern tropical Pacific ocean. Bull. inter-Am. Trop. Tuna Comm. Vol. VII(5): 295,396.
- ANKENBRANDT L. (1983).- Food habits of bait-caught skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) from the southwestern Atlantic ocean. ICCAT, Doc. SKJ Conf. 83/3. Tenerife June 1983.
- BAGES et A. FONTENEAU (1979).- Prises de la flottille thonière Franco- Ivoir-Sénégalaise et température de surface en 1977. Int. Comm. Conserv. Atlantic Tunas (SCRS 1979) Sci. Pap. 7(1): 180-198.
- BARD F. X. et J.-M. STRETTA (1981).- Résumé des connaissances actuelles sur la biologie et la pêche des thons tropicaux en Atlantique. Arch. Sci. Centre Rech. Océanogr. Abidjan, Vol VII(2): 1,37.
- BARD F.X. (1984).- Résultats des campagne de marquages effectuées de 1980 à 1982. La Pêche Maritime n:1275, juin 1984.
- BAUDIN LAURENCIN F. et J.P. REBERT (1969).- Août, septembre : une nouvelle saison de pêche thonière dans le secteur ivoirien. Doc. Scient. Prov., Centre Rech. Océanogr. Abidjan, N°39, 7 p.
- BAUDIN LAURENCIN F. et J.P. REBERT (1970).- La pêche thonière à Abidjan de 1966 à 1969. Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr. Abidjan, vol 1(1) : 37-61.
- BEARDSLEY G. L. (1969).- Distribution and apparent relative abundance of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the eastern tropical Atlantic in relation to oceanographic features. Bull. Mar. Sci., 19(1): 48,56.
- BEEBE W. (1936).- Food of the Bermuda and West Indian tunas of the genera *Parathunnus* and *Neothunnus*. Zoologica 21: 195,205.
- BERNARD H.J., HEDGEPEETH J.B. and REILLY S.B. (1985).- Stomach contents of albacore, skipjack, and bonito caught off southern California during summer 1983. Reports - California cooperative oceanic fisheries investigations, 26, pp. 175-182.
- BLACKBURN M. (1968).- Micronekton of the eastern tropical Pacific ocean: family composition, distribution, abundance and relations to tuna. Fishery Bull., 67(1): 71,115.
- BLACKBURN M. (1969).- Conditions related to upwelling which determine distribution of tropical tunas off western Baja California. Fish. Bull. Vol 68(1):147-176.
- BLACKBURN M. (1969b).- Outlook for tuna oceanography. In, Perspectives in Fisheries Oceanography, Jap. Soc. Fish. Oceanogr., Tokyo: 221,225.
- BLACKBURN M. and M. LAURS (1972).- Distribution of skipjack tuna (*Euthynnus pelamis*) in the eastern tropical Pacific. U.S. Fish Wildl. Ser., Spec. Sci. Rep. Fish. 649, 16 p.
- BORODULINA O. D. (1982).- Food composition of yellowfin tuna *Thunnus albacares* (*Scombridae*). J. Ichthyol., 21(6) : 38-46.
- BOUXIN J. et R. LEGENDRE (1936).- La faune pélagique de l'Atlantique au large du golfe de Gascogne, recueillie dans les estomacs de germons. Deuxième partie : Céphalopodes. Ann. Inst. Océanogr. 16: 1,102.
- CAYRE P. (1984).- Biologie et comportement du listao. La Pêche Maritime, N° 1274: 274,282.
- CAYRE P. et C. ROY (1985).- Variabilité des rendements en albacore (*Thunnus albacares*) et listao (*Katsuwonus pelamis*) en relation avec les anomalies interannuelles de la température de surface. Int. Comm. Conserv. Atlantic Tunas (SCRS 1985) N° 85/74 : 13pp.

- CAYRE P., A. FONTENEAU et T. DIOUF (1986).- Statistiques de la pêche thonière FISM durant la période 1969 à 1985. Rec. Doc. Scient. ICCAT Vol. 26(1): 237-242.
- CHUR V. N. (1973).- On the use of mean index of stomach filling in short-term forecasts of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) catches. ICES, C.M. 1973/J:14, Pelagic Fish (Southern) Committee.
- CITEAU J., B. GUILLOT et R. LAE (1984).- Opération LISTAO: Reconnaissance de l'environnement physique en Atlantique intertropical à l'aide des satellites METEOSAT et GOES-E. Initiations - Documentations Techniques N 63 (Teledetection 10): 28 pp. Editions ORSTOM.
- CITEAU J., J.-Y. LE GALL et R. PIANET (1981).- Le satellite METEOSAT et la flottille thonière intertropical. La Pêche Maritime. N° 1245. Décembre 1981: 740-744.
- DELCLAUX P. (1978a).- Aide à la pêche. Notice d'utilisation des programmes. Rapport CNES. CT/EMT/MT/AT/N° 558. Décembre 1978. 37pp.
- DRAGOVICH A. (1970).- The food of skipjack and yellowfin tunas in the Atlantic Ocean. Fish. Bull., U.S. Vol 68(3): 445,460.
- DRAGOVICH A. and T. POTTHOFF (1972).- Comparative study of food of skipjack and yellowfin tunas of the coast of west africa. Fish. Bull., U.S. Vol 70(4): 1087,1110.
- DRAGOVICH A. (1969).- Review of studies of tuna food in the Atlantic ocean. U.S. Fish Wildl. Ser., Spec. Sci. Rep. Fish. 593, 21 p.
- FEDOSEEV Yu. P. and V.N. CHUR (1979).- Relationship between feeding intensity of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) of the gulf of Guinea and their catches in the day time. ICCAT Col. Sci. Pap. Vol. IX(2): 287,290.
- FONTENEAU A. (1985).- Panorama de l'évolution de la pêche thonière dans le monde (1946-1984). La Pêche Maritime. Février 1985: 90-94.
- FONTENEAU A. (1987).- Composition spécifique des captures des thons de petite taille (albacore, listao et patudo) par les senneurs et les canneurs dans le secteur du cap des Trois Pointes. Rec. Doc. Scient. ICCAT, vol XXVI(1) : 210-215.
- FONTENEAU A. et T. DIOUF (1987).- Etat du stock d'albacore de l'Atlantique est au 30 septembre 1987. Doc. ICCAT SCRS 87/75.
- GAIKOV V. Z. (1983).- Feeding intensity of bigeye tuna, *Thunnus obesus* (Lowe) in the Atlantic ocean. ICCAT (SCRS/83/76):175,179.
- GALLARDO (Y.) et LE GUEN (J.-C.) (1972).- Caractères hydrologiques des régions frontales d'Angola, du Gabon et du Congo favorables aux concentrations d'albacores. Documents scientifiques du Centre de Pointe-Noire ORSTOM, (N.S.) 23, 18 p.
- HESTER F.J. (1961).- A method of predicting tuna catch by using coastal sea-surface temperatures. California fish and game, 47, 4, pp. 313-326.
- ICCAT (1986).- Rapport de la Conférence ICCAT sur le Programme de l'Année Internationale du Listao. pp.: 13-22. In Proceedings of the ICCAT Conference on the International Skipjack Program. (P.E.K. Symons, P.M. Miyake and G.T. Sakagawa Editors) ICCAT 388pp.
- KEARNEY R.E. (1978).- Le programme d'étude et d'évaluation des stocks de bonites de la CPS . Document de travail n° 11. Conférence annuelle. CPS-Nouméa.
- KISHINOUE K (1923).- Young scombroid fishes from the gulf of Mexico. Bull. Mar. Sci., 9(1) : 100-115.
- KORNILOVA G. N. (1981).- Feeding of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, and bigeye tuna, *Thunnus obesus*, in the equatorial zone of the Indian ocean. J. Ichthyol. 20(6): 111,119.
- MAGNUSON J.J.(1963).- Tuna behavior and physiology, a review. FAO fisheries reports, 6, 3, pp. 1057-1066.
- MARCHAL E. (1959).- Analyse de quelques contenus stomacaux de *Neothunnus albacora* (Lowe). Bull. Inst. Franç. Afr.Noire, Sér. A, 21 : 1123,1136.

MARSAC F., M. PETIT et J.-M. STRETTA (1987).- Radiométrie aérienne et prospection thonière à l'ORSTOM. Méthodologie, Bilan et Perspective. Initiations et Documents Techniques n° 68, (Télé-détection 12). 33 pp. Editions ORSTOM.

MENDHELSON R. and C. ROY (1986).- Environmental influences on the F.I.S.M. tuna catches in the gulf of Guinea. pp.: 170-188. In Proceedings of the ICCAT Conference on the International Skipjack Program. (P.E.K. Symons, P.M. Miyake and G.T. Sakagawa Editors) ICCAT 388pp.

MIYABE N. and BARD F.X. (1986).- Movements of skipjack in the eastern Atlantic, from results of tagging by Japan, in : Proceedings of the ICCAT conference on the international skipjack year program, ed. P.E.K. Symons, P.M. Miyake and G.T. Sakagawa, pp. 342-347. - Madrid : International commission for the conservation of Atlantic tunas.

NAKAMURA H. (1969). Tuna distribution and migration. Fishery News (Books) Ltd., London, 76 pp.

OLSON R.J. and BOGGS C.H. (1986).- Apex predation by yellowfin tuna (*Thunnus albacares*): independent estimates from gastric evacuation and stomach contents, bioenergetics, and cesium concentrations. Canadian journal of fisheries and aquatic sciences, 43, 9, pp. 1760-1775.

OLSON R.J. (1982).- Feeding and energetics studies of yellowfin tuna, food for ecological thought. Collective volume of scientific papers - International commission for the conservation of Atlantic tunas, 17, 2, pp. 444-457.

OLSON R. J. (1981).- Feeding and energetics studies of yellowfin tuna, food for ecological thought. ICCAT Col. Vol. Sci. Pap. Vol XVII(2): 444,457.

PEREIRO J. A. y A. FERNANDEZ (1974).- Estado actual de la pesqueria de tunidos del Africa occidental. Boletín de Informacion Pesquera N°2: 63,87.

PETIT M. (1984a).- La pêche des thoniers senneurs dans le Pacifique Tropical Ouest. La pêche maritime Nov. 84.

PETIT M. (1984b).- Aerial radiometry and tuna survey: a method for evaluation of surface tuna stocks in New Caledonia and Vanuatu aera. 35th Annual tuna conference - Lake Arrowhead - IATTC NMFS.

PETIT M. (1988).- Tuna school, predation strategy and oceanic resources, in : Proceedings of the 38th annual tuna conference, Lake Arrowhead, California, May 17-20, 1987, p. 22. - La Jolla : Inter-American tropical tuna commission.

PETIT M., MUYARD J. et MARSAC F. (1980).- Radiométrie aérienne et prospection thonière. Rapport de synthèse provisoire, Nouvelle-Calédonie. ORSTOM Nouméa, 103p.

PIANET R. (1981).- Les stocks pélagiques hauturiers: les thonidés. pp.: 279-312. In *Milieu marin et ressources halieutiques de la République Populaire du Congo*. Editeur scientifique: A. Fontana. Travaux et Documents de l'ORSTOM N° 138. Editions de l'ORSTOM (Paris) 1981; 352 p.

POSTEL E. (1955).- Recherches sur l'écologie du thon à nageoires jaunes, *Neothunnus albacora* (Lowe), dans l'Atlantique tropico-oriental. Bull. Inst. Franç. Afr. Noire, Sér. A, 17: 279,318.

POSTEL E. (1963).- Exposé synoptique des données biologiques sur la bonite à ventre rayé *Katsuwonus pelamis* (Linné) 1758. F.A.O. Fisheries Reports, 6(2):515,537.

SCHAEFER M.B. (1957).- Report on the investigations of the Inter-American tropical tuna commission for the year 1956. Annual report - Inter-American tropical tuna commission, 1956, pp. 33-70.

SHARP G.D. (1978).- Behavioral and physiological properties of tunas and their effects on vulnerability to fishing gear. p397-450 In *The physiological ecology of tunas*. Sharp and Dizon Editors. Academic Press. New-York.

STRETTA J.-M. (1979).- Surface thermal data and their use in surface tuna fishing in the eastern tropical Atlantic. *IOC Workshop report N:17: 477-480*. Moscow 1979.

STRETTA J.-M. (1985).- Description et mode d'emploi de la chaîne d'analyse des paramètres écologiques associés à la pêche thonière. Note à Diffusion Restreinte Cent. Rech. Océanogr. Abidjan, 04/85, 26p.

- STRETTA J.-M. (1986).- Hydrological history of water masses as a new concept in tuna ecology ? - 116th annual meeting A.F.S., 76th annual meeting I.A.F.W.A., Providence, Rhode Island, September 14-18, 1986, p. 78.
- STRETTA J.-M. and J. NOEL (1974).- Relation between tunas and thermic fronts (measured by ART) in the gulf of Guinea. First Congress of Ecology The Hague (september 1974).
- STRETTA J.-M., J.-C. FAVARD et J. CITEAU (1980).- METEOSAT et l'expérience d'aide à la pêche. Compte rendus du 6^e Symposium canadien sur la télédétection 21-31 mai 1980, Halifax, Canada.
- SUND P. N. and W. J. RICHARDS (1967).- Preliminary report on the feeding habits of tunas in the gulf of Guinea. U.S. Fish Wildl. Serv., Spec. Sci. Rep. Fish, 551, 6p.
- TALBOT F. H. and PENRITH M J. (1963).- Synopsis of biological data on species of the genus *Thunnus* (*sensu lato*) (South Africa). F.A.O. Fish. Rep. 6(2): 608,646.
- THOMAS P. T. (1964).- The food of *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus) and *Neothunnus macropterus* (Temmick and Schlegel) from Minicoy waters during the season 1960-1961. In Proceedings of the Symposium on Scombroïd Fishes, p.626,630. Mar. Biol. Ass. India, Symp. ser 1.
- THOMAS P. T. and M. KUMARAN (1963).- Food of indian tunas. F.A.O. Fish. Rep. N6(3): 1659-1667.
- VALLE S., N. MEZENTSEVA y A. RODRIGUEZ (1979).- Contenido estomacal del atun de aleta amarilla (*Thunus albacares*) en el Atlantico centro oriental. ICCAT. Sci. Pap., vol. IX(2) : 199-208.
- WALDRON K. D. (1963).- Synopsis of biological data on skipjack *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus) 1758 (Pacific ocean). F.A.O. Fish. Rep. Vol 6(2): 695,748.
- WALDRON K. D. and J. E. KING (1963).- Food of skipjack in the central Pacific. F.A.O. Fish. Rep. Vol 6(3): 1431,1457.
- ZAVALA-CAMIN L.A. (1983a).- Areas de crecimiento de listado (*Katsuwonus pelamis*) obtenidas por medio de datos historicos de examenes de contenido estomacal de predadores. ICCAT, Doc. SKJ Conf. 9p.
- ZAVALA-CAMIN L.A. (1983b).- SKIPJACK PROGRAMM (ICCAT). Stomach contents analysis. Final Report. SKJ Conf. n° 83/47: 5p.
- ZHAROV V.L., IU. ZHEREBENKOV, IU. KADIL'NIKOV and V. KUZNETSOV (1964).- Tuntsy i ikh promysel v Alanticheskom Okeane (Tunas and tuna fishery in the Atlantic ocean). Kaliningradskoe Knizhnoe Izdatel' stvo, Kaliningrad, 182 pp.

7.2. Océanographie physique et productivité

- ARFI R., O. PEZENNEC, S. CISSOKO et M. MENSAH (1988).- Evolution spatio-temporelle d'un indice caractérisant l'intensité de la résurgence ivoiro-ghanéenne. Groupe de travail "Impact des fluctuations environnementales sur la dynamique des stocks pélagiques côtiers en Afrique de l'ouest", CRODT, Dakar, Sénégal, décembre 1988. 22p.
- BERRIT G.R. (1969).- Les eaux dessalées du golfe de Guinée. pp 13-22, In *Actes du symposium sur l'océanographie et les ressources halieutiques de l'Atlantique tropical*, Abidjan 1966. Organisé conjointement par l'UNESCO, la FAO et l'OUA. Edité par l'UNESCO, Paris, 430p.
- BERTALANFFY L. von (1973).- Théorie générale des systèmes : physique, biologie, psychologie, sociologie, philosophie.- Paris : Dunod.- XV-296 p.
- BINET D. (1976).- Biovolumes et poids secs zooplanctoniques en relation avec le milieu pélagique au-dessus du plateau ivoirien. Cah. ORSTOM, sér. Océanogr., vol. XIV(4) : 301-326.
- CEDIR K.A. (1967).- Quelques données sur les courants de l'Atlantique équatorial. Trav. AtlantNIRO, XVIII. Kaliningrad. Traduction de P. Hisard (ORSTOM Montpellier, France).
- CHAMPAGNAT C. et F. DOMAIN (1978). Migration des poissons démersaux le long des côtes ouest africaines de 10 à 24° de latitude nord. Cah. ORSTOM, sér. Océanogr. vol XVI(3-4): 209-228.

- DAGNELIE P. (1970).- Théorie et méthodes statistiques. vol. 1 et 2. Editions J. Duculot, Gembloux (Belgique).
- DANDONNEAU Y. (1972).- Etude du phytoplancton sur le plateau continental de Côte d'Ivoire. II. Représentativité de l'eau de surface pour la description et pour l'interprétation des phénomènes dynamiques. Cahiers ORSTOM, série océanographie, 10, 3, pp. 267-274.
- DANDONNEAU Y. (1975).- Relations phytoplancton-zooplancton dans l'Atlantique tropical oriental. Cah. ORSTOM, sér. Océanogr., Vol XIII(3): 239-250.
- DANDONNEAU Y. (1971).- Etude du phytoplancton sur le plateau continental de Côte d'Ivoire. I Groupes d'espèces associées. Cah. ORSTOM, sér. Océanogr., vol IX(2) : 247-265.
- DANDONNEAU Y. (1973).- Etude du phytoplancton sur le plateau continental de Côte d'Ivoire. III. Facteurs dynamiques et variations spatiotemporelles. Cah. ORSTOM, sér. Océanogr., vol XI(4) : 431-454.
- DIA A.K. (1972).- Etude de la nutrition de certains clupéidés (poissons téléostéens) de Côte d'Ivoire. FAO-PNUD Rapport scientifique RS 11/72, Abidjan, 33p.
- DODSON A.N. and THOMAS W.H. (1977).- Marine phytoplankton growth and survival under simulated upwelling and oligotrophic conditions. Journal of experimental marine biology and ecology, 26, 2, pp. 153-161.
- DOMAIN F. (1978).- Le satellite METEOSAT et l'océanographie. Etude des températures de la mer au voisinage des côtes de Mauritanie et du Sénégal. Initiations - Documentations Techniques N 43 (Télétection 3) :39 pp. Editions ORSTOM.
- EDWARDS E.F. and KLEIBER P. (In press).- Effects of non-randomness on line transect estimates of dolphin abundance. Fishery bulletin.
- FIALA M., G. CAHET, G. JACQUES, J. NEVEUX et M. PANOUSE (1976).- Fertilisation de communautés phytoplanctoniques. I Cas d'un milieu oligotrophe: Méditerranée nord-occidentale. J. exp. mar. Biol. Ecol. Vol. 24: 151-163.
- FISHER R.A. and F. YATES (1963).- Statistical tables for biological, agricultural and medical research. Oliver and Boyd Edit., Edinburg. 146p.
- FRONTIER S. (1977a).- Réflexions pour une théorie des écosystèmes. Bulletin d'écologie, 8, 4, pp. 445-464.
- FRONTIER S. (1977b).- Interface entre deux écosystèmes, exemples dans le domaine pélagique. Journal de recherche océanographique, 2, 1, pp. 24-25.
- FRONTIER S. (1983).- Essai d'écologie frénétique. (Manuscrit non publié).
- FRONTIER S. (1978).- Interface entre deux écosystèmes : exemple dans le domaine pélagique. Ann. Inst. océanogr. Paris, vol. 54(2) : 95-106
- GALLARDO Y., Y. DANDONNEAU et B. VOITURIEZ (1974).- Variabilité, circulation et chlorophylle dans la région du dôme d'Angola en février-mars 1971. Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr. Abidjan. Vol V(1): 1-51.
- GERLOTTO F. (1975).- Note sur les biomasses pélagiques évaluées par écho-intégration dans la zone équatoriale du golfe de Guinée: premiers résultats. Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr. Abidjan. Vol VI(2): 119-138.
- GRIFFITHS R.C. (1965).- A study of ocean fronts off cape San Lucas, Lower California. US Fish Wildl. Serv. Spec. Sci. Rep. Fish., 499, 54p.
- HASTENRATH S. and P.J. LAMB (1977).- Climatic atlas of the tropical Atlantic and eastern Pacific oceans. The University of Wisconsin Press, 112pp..
- HERBLAND A. (1983).- Le maximum de chlorophylle dans l'Atlantique tropical oriental: description, écologie, interprétation. Océanogr. trop. vol 18(2): 295-318.
- HISARD P. (1975).- La circulation superficielle dans la partie occidentale du golfe de Guinée. Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr., Abidjan, vol VI(2) : 41-57.

- INGHAM M.C. (1970).- Coastal upwelling in the northwestern gulf of Guinea. *Bull. of Mar. Sci.*, 20(1) : 1-34.
- JONES R. (1982).- Ecosystems, food chains and fish yields. p : 195-239. In Pauly and Murphy (Eds).- *Theory and management of tropical fisheries. ICLARM Conference Proceedings*, 9, 360p.
- LE BORGNE R. (1977).- Etude de la production pélagique de la zone équatoriale de l'Atlantique à 4°W. II. Biomasses et peuplements du zooplancton. *Cahiers ORSTOM, série océanographie*, 15, 4, pp. 333-348.
- LE BORGNE R., A. HERBLAND, A. LE BOUTEILLER et C. ROGER (1983).- Biomasse, excrétion et production du zooplancton - micronecton hauturier du golfe de Guinée. Relations avec le phytoplancton et les particules. *Océanogr. trop.*, vol 18(2) : 419-460.
- LEGAND M., P. BOURRET, P. FOURMANOIR, R. GRANDPERRIN, J. A. GUEREDRAT, A. MICHEL, P. RANCUREL, R. REPELIN et C. ROGER (1972).- Relations trophiques et distributions verticales en milieu pélagique dans l'océan Pacifique intertropical. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Océanogr.* vol X(4): 303,391.
- MAHNKEN C. V. W (1969).- Primary organic production and standing stock of zooplankton in the tropical Atlantic ocean. *Equalant I and II. Bull. Mar. Sci.*, 19(3) : 550-567.
- MARGALEF R. (1978).- What is an upwelling ecosystem. In *Upwelling ecosystems* : 12-14. Boje and Tomczak(Editors). Springer-Verlag, New- York, 303p.
- MERLE J. (1977).- Seasonal variations of temperature and circulation in the upper layer of the equatorial Atlantic Ocean (GATE area), in : GATE workshop, Miami, February 28 to March 10, 1977, pp. 1.87-1.88.
- MORLIERE A. et J.P. REBERT (1972).- Etude hydrologique du plateau continental ivoirien. *Doc. Scient. Centre Rech. Océanogr.*, Abidjan vol 3(2) : 1-30.
- MORLIERE A. P. HISARD et J. CITEAU (1974) Le courant de Lomonossov dans le fond du golfe de Guinée en 1973. *Doc. Scient. CRO Abidjan*, vol 5(1-2):1-51.
- ORSTOM (1976).- Rapport du groupe de travail sur la sardinelle (*S. aurita*) des côtes ivoiro-ghanéennes. FRU Tema, CRO Abidjan, ORSTOM. Editions de l'ORSTOM, Paris. 90p.
- POSTEL E. (1973).- Théorie des pêches (Dynamique des populations exploitées). Université de Rennes.
- REBERT J.P (1979).- Aperçu sur l'hydrologie du plateau continental ouest africain de la Mauritanie à la Guinée. *Rapport COPACE, série 78/10*.
- REID J.L. jr. (1962).- On circulation, phosphate-phosphorus content, and zooplankton volumes in the upper part of the Pacific Ocean. *Limnology and oceanography*, 7, 3, pp. 287-306.
- RIGLER F.H. (1982).- The relation between fisheries management and limnology. *Transactions of the American fisheries society*, 111, 2, pp. 121-132.
- ROGER C. (1982).- Macroplankton et micronecton de l'Atlantique tropical. I Biomasses et composition taxonomique. *Océanogr. trop.* vol 17(1): 85-96.
- ROSNAY J. de (1975).- *Le microscope : vers une vision globale.*- Paris : Editions du seuil.- 295 p.
- ROSSIGNOL M. (1973).- Contribution à l'étude du "complexe guinéen". *Doc. ORSTOM, Centre de Cayenne. Guyane.*
- ROSSIGNOL M. et ABOUSSOUAN M.T. (1965).- Hydrologie marine côtière de la presqu'île du Cap-Vert. *Doc. Scient. Prov. ORSTOM Centre d'Océanographie de Dakar-Thiaroye.*
- ROSSIGNOL M. et MEYRIUS A.M. (1964) Campagne océanographique du Gérard Treca. Régions comprises entre les Iles du Cap-Vert et les Côtes du Sénégal et de la GUINEE (juin 1962). *Office Rech. Scient. Tech. Outre-Mer Doc. Scient. Centre d'Océanographie de Dakar- Thiaroye*, 53 pp.
- RYTHER J. H. (1969).- Photosynthesis and fish production in the sea. *Science*, 166 : 72-76.
- SCHERRER B. (1984).- *Biostatistiques.* Gaëtan Morin Editeur, Québec, Canada, 850p

TROADEC J.P. (1982).- Introduction à l'aménagement de pêcheries: Intérêt, difficultés et principales méthodes. FAO Document Technique des Pêches n 224 64pp.

UDA (1957).- A consideration of the long years trend of fisheries fluctuation in relation to sea condition. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 23(7-8): 368-372.

VARLET (1958).- Le régime de l'Atlantique près d'Abidjan. Etudes Eburnéennes, 7 : 97-222.

VINOGRADOV M.E. (1983).- Open-ocean ecosystems, in: *Marine ecology*, volume V: ocean management, part 2: ecosystems and organic resources, ed. O. Kinne, pp. 657-737.- Chichester : J. Wiley and sons.

VOITURIEZ B., VERSTRAETE J.M. et LE BORGNE R. (1973).- Conditions hydrologiques de la zone frontale du cap Lopez pendant la campagne thonière de juin-juillet 1971. Cahiers ORSTOM, série océanographie, 11, 2, pp. 229-249.

VOITURIEZ B. et A.HERBLAND (1978).The use of the salinity maximum of the equatorial undercurrent for estimating nutrient enrichment and primary productivity in the gulf of Guinea. Deep-Sea Res., 25:77-83.

VOITURIEZ B. et A.HERBLAND (1982).- Comparaison des systèmes productifs de l'Atlantique Tropical Est: dômes thermiques, upwelings côtiers et upwelling équatorial. Rapp. P.- V. Réun. Cons. Int. Explor. Mer, 180: 114,130.

VOITURIEZ B. et P. HISARD (1975).- Nutrient enrichment in the equatorial upwelling: a comparison between the Atlantic and the Pacific ocean. Third International Symposium of Upwelling Ecosystem, Kiel August 1975.

WADSWORTH A. et M. PETIT (1987).- SPOT, un satellite pour l'océanographie. Actes du colloque: SPOT 1 utilisation des images, bilan, résultats. 1087-1094. Paris Novembre 1987. CNES.

WALSH J.J. (1972).- Implications of a systems approach to oceanography. Science, 176, 4038, pp. 969-975.

WALSH J.J. (1976).- Herbivory as a factor in patterns of nutrient utilization in the sea. Limnol. Oceanogr., Vol 21: 1:13.

WALSH J.J., T.E. WHITLEDGE, J.C. KELLEY, S.A. HUNTSMAN and R.D.PILLSBURY (1977).- Further transition strates of the Baja California upwelling ecosystem. Limnol. Oceanogr., 22(2):264-280.

YENTSCH C.S. (1973).- Remote sensing for productivity in pelagic fisheries. Nature, 244, 5414, pp. 307-308.

7.3. Modélisation

AGOUMI A. (1985).- Modélisation de l'écosystème pélagique en Manche. Etude de l'influence des phénomènes physiques sur le système planctonique. Thèse Sciences naturelles, Université Pierre et Marie Curie Paris 6, pagination multiple.

ARBIB M.A. and D. HOUSE (1987).- Deth and detours: an essay on visually guided behavior. In Arbib and Hanson (Ed.), Visio, brain and cooperative communication. The MIT Press.

BEER R.D. (1989).- Intelligence as adaptative behavior : an experiment in computational neuroethology. Technical Report (TR 89-118). Center for Automation and Intelligent Systems Research. Case Western Reserve University.

BENHAMOU S. et P. BOVET (1990).- Modeling and simulation of animals movements. Poster presented during the First international conference on the simulation of adaptive behavior. Paris september 24-28 1990.

BEVERTON R.J.H. and S.J. HOLT (1957).- The dynamics of exploited fish populations. Fishery Investigations, Ser. II, vol XIX.

CHAPMAN D. (1989).- Penguins can make cake. AI magazine, 10(4):45-50.

CHATAIN J.-N. et DUSSAUCHOY A. (1987).- Systèmes experts, méthodes et outils.- Paris : Eyrolles.- XXX-279 p.

CRUSE H. (1991).- Coordination of the movement in walking animals. pp. 105-119. In (J.A. Meyer and S.W. Wilson ed.), *From animals to animats*. Proceedings of the first international conference on the simulation of adaptive behavior. The MIT Press/Bradford Books. 551p.

DENEUBOURG J.L., S. GOSS, N. FRANKS, A SENDOVA-FRANKS, C. DETRAIN and L. CHRETIEN (1991).- The dynamics of collective sorting robot-like ants and ant-like robots. pp. 356-363. In (J.A. Meyer and S.W. Wilson ed.), *From animals to animats*. Proceedings of the first international conference on the simulation of adaptive behavior. The MIT Press/Bradford Books. 551p.

DIEMENTIEVA T.F. (1971).- Considérations sur la formation des stocks exploitées et sur les fluctuations des propriétés biologiques des populations de poissons en vue de l'établissement des prévisions de pêche. Traductions des travaux du VNIRO (Moscou) CNRS 1971.

DINCBAS M. (1983).- Contribution à l'étude des systèmes experts. Thèse docteur-ingénieur, ENSAE Toulouse, 178 p.

FIEDLER P.C. and H.J. BERNARD (1987).- Tuna aggregation and feeding near fronts observed in satellite imagery. *Cont. Shelf Res.*, Vol.7(8): 871-881

HARVEY I. (1991).- The artificial evolution of behaviour. pp. 400-408. In (J.A. Meyer and S.W. Wilson ed.), *From animals to animats*. Proceedings of the first international conference on the simulation of adaptive behavior. The MIT Press/Bradford Books. 551p.

JAMON M. (1991).- The contribution of quantitative models to the long distance orientation problems. pp. 160-168. In (J.A. Meyer and S.W. Wilson ed.), *From animals to animats*. Proceedings of the first international conference on the simulation of adaptive behavior. The MIT Press/Bradford Books. 551p.

LAUREC A. et J.C. LE GUEN (1981).- Dynamiques des populations exploitées. Tome 1: Concepts et Modèles. CNEOX RST n°45-1981. 118 pp.

SAARENMAA H. and NIKULA A. (1989).- Managing moose damage in forest plantations: a deep model of animal behavior on a geographic information system platform, in : 9th international workshop on expert systems and their applications, Avignon, France, May 29-June 2, 1989, pp. 825-831.

SAARENMAA H., STONE N.D., FOLSE L.J., PACKARD J.M., GRANT W.E., MAKELA M.E. and COULSON R.N. (1988).- An artificial intelligence modelling approach to simulating animal/habitat interactions. *Ecological modelling*, 44, pp. 125-141.

SCHNEPF U. (1991).- Robot ethology : A proposal for the research into intelligent autonomous systems. pp. 465-474. In (J.A. Meyer and S.W. Wilson ed.), *From animals to animats*. Proceedings of the first international conference on the simulation of adaptive behavior. The MIT Press/Bradford Books. 551p.

STEELS L. (1991).- Towards a theory of emergent functionality. pp. 451-461. In (J.A. Meyer and S.W. Wilson ed.), *From animals to animats*. Proceedings of the first international conference on the simulation of adaptive behavior. The MIT Press/Bradford Books. 551p.

THERAULAZ G., S. GOSS, J. GERVET and J.L. DENEUBOURG (1991).- Task differentiation in *Polistes* wasp colonies : a model for self-organizing groups of robots. pp. 346-355. In (J.A. Meyer and S.W. Wilson ed.), *From animals to animats*. Proceedings of the first international conference on the simulation of adaptive behavior. The MIT Press/Bradford Books. 551p.

7.4. Télédétection et océanographie en général

ALBUISSON (M.), MONGET (J.M.) and NIHOUS (C.), 1979. - Sea surface temperature anomaly mapping using the NOAA satellites, in : Use of data from meteorological satellites, proceedings of a technical conference, Lannion, France, September 17-21, 1979, ed. B. Battrick, pp. 201-204. - Paris : European space agency. - (ESA SP-143).

ALLAN (T.D.), ed., 1983. - Satellite microwave remote sensing. - Chichester : Ellis Horwood. - 526 p. - (Ellis Horwood series in marine science).

AMIDEI (R.), ed., 1985. - Applications of remote sensing to fisheries and coastal resources : report of a California Sea Grant workshop, November 30, 1983, Scripps Institution of Oceanography, University of California, San Diego. - La Jolla : California Sea Grant College Program. - 64 p. - (Report No. T-CSGCP-012).

APEL (J.R.), ed., 1972. - Sea surface topography from space. Proceedings of a conference sponsored jointly by the National Oceanic and Atmospheric Administration, the National Aeronautics and Space Administration, and the United States Navy, Key Biscayne, Florida, October 6-8, 1971. NOAA technical report ERL 228-AOML, 7, 2 vol., pagination multiple.

Association européenne de laboratoires de télédétection, 1985. - EARSeL workshop on sea surface temperature satellite measurements, CTAMN, Ecole nationale supérieure des mines, Valbonne, France, 9-12 October 1984. - Paris : EARSeL. - III-137 p.

Association européenne océanique, 1977. - Aerial/spatial remote sensing and marine living resources, present and future possibilities. Proceedings of the information/brainstorming session jointly organized by Association européenne océanique-Eurocéan and Centre national pour l'exploitation des océans-CNEXO Centre océanologique de Bretagne, Brest, France, 14-17 March 1977. - Monaco : Association européenne océanique. - II-396 p.

BADGLEY (P.C.), MILOY (L.) and CHILDS (L.), ed., 1969.- Oceans from space. Proceedings of a symposium on the status of knowledge, critical research needs, and potential research facilities relating to the study of the oceans from space, Houston, Texas. - Houston : Gulf publishing co. - IX-234 p.

BALLESTER (A.), ed., 1986. - Seminario sensores remotos '84, Barcelona, junio-octubre 1984. - Barcelona : Instituto de investigaciones pesqueras, Consejo superior de investigaciones científicas. - 63 p.

BARTON (G.), ROBERTS (B.), RICCIO (E.) and STACKPOLE (L.), 1986. - Satellite remote sensing of the marine environment: literature and data sources. National environmental data referral service publication NEDRES, 5, pagination multiple.

BATES (J.), 1983. - Use of VAS multispectral data for sea surface temperature determination, in : Satellite-derived sea surface temperature workshop. - Pasadena : Jet propulsion laboratory, California institute of technology. - (JPL publication 83-84).

BEAL (R.C.), DeLEONIBUS (P.S.) and KATZ (I), ed., 1981. - Spaceborn synthetic aperture radar for oceanography. Johns Hopkins oceanographic studies, 7, 215 p.

BEAL (R.C.), ed., 1987. - Proceedings of the symposium, Measuring ocean waves from space, held at the Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, April 15-17, 1986. Johns Hopkins APL technical digest, 8, 1, pp. 3-161.

BELSHER (T.), 1987. - Apport du satellite SPOT à la cartographie qualitative et quantitative des végétaux marins de la Manche, de l'Atlantique Nord, de la Méditerranée occidentale et du Pacifique Sud. Rapport IFREMER/DERO/EL, 193 p. + 6 annexes.

BELSHER (T.), MEINESZ (A.), LEFEVRE (J.R.) and BOUDOURESQUE (C.-F.), 1988. - Simulation of SPOT imagery for charting shallow-water benthic communities in the Mediterranean. Marine ecology, 9, 2, pp. 157-165.

BEN MOUSSA (H.), 1987. - Contribution de la télédétection satellitaire à la cartographie des végétaux marins : archipel de Molène (Bretagne/France). Thèse Ecologie, Aix-Marseille II, 118 p. + annexes.

BEN MOUSSA (H.), VIOLLIER (M.) et BELSHER (T.), 1989. - Télédétection des algues macrophytes de l'archipel de Molène (France) : radiométrie de terrain et application aux données du satellite SPOT. International journal of remote sensing, 10, 1, pp. 53-69.

BERLOT (N.), SCOTT (N.A.), CHEDIN (A.) and SITBON (P.), 1982. - Calibration of geostationary satellite infrared radiometers using the Tiros-N vertical sounder: application to METEOSAT. Journal of applied meteorology, 21, 1, pp. 84-89.

BERNSTEIN (R.L.), ed., 1982. - SEASAT I. Journal of geophysical research, 87, C5, pp. 3171-3438.

- BINA (R.T.), CARPENTER (K.), ZACHER (W.), JARA (R.) and LIM (J.B.), 1978. - Coral reef mapping using LANDSAT data: follow-up studies, in : Proceedings of the Twelfth international symposium on remote sensing of environment, 20-26 April 1978, 3, pp. 2051-2070. - Ann Arbor : Center for Remote Sensing Information and Analysis, Environmental Research Institute of Michigan.
- BIZZARRI (B.), 1979. - Satellite data for weather analysis and prediction, in : Use of data from meteorological satellites, proceedings of a technical conference, Lannion, France, September 17-21, 1979, ed. B. Battrick, pp. 31-42. - Paris : European space agency. - (ESA SP-143).
- BLIZARD (M.A.), ed., 1984. - Ocean optics VII, June 25-28, 1984, Monterey, California. Proceedings of SPIE, 489, VI-413 p.
- BLIZARD (M.A.), ed., 1986. - Ocean optics VIII, 31 March-2 April 1986, Orlando, Florida. Proceedings of SPIE, 637, VI-373 p.
- BROWN (E.H.), FIOCCO (G.) and MASTRANTONIO (G.), ed., 1984. - Proceedings Second international symposium on acoustic remote sensing of the atmosphere and oceans, Istituto di fisica dell'atmosfera, Consiglio nazionale delle ricerche, Rome, Italy, August 29-1 September 1983. - Rome : C.N.R. - pagination multiple.
- BROWN (R.J.), ed., 1977. - Remote sensing of the ocean. Part 2. Dynamics, a bibliography with abstracts, search period covered 1970-June 1977. - Springfield : National Technical Information Service. - IV-114 p. - (NTIS/PS-77-0533).
- BROWN (R.J.), ed., 1978. - Remote sensing of the ocean. Part 1. Physical, chemical, and geological properties, a bibliography with abstracts, 1 : search period covered 1970-1975 2 : search period covered 1976-May 1978. - Springfield : National Technical Information Service. - V-198 p. + III-96 p. - (NTIS/PS-78/0562 NTIS/PS-78/0563).
- CASSANET (J.), 1981. - Etude par télédétection des températures et turbidités des eaux au large de la Loire Atlantique. - Montrouge : Ecole normale supérieure. - II-200 p. - (Collection de l'Ecole normale supérieure de jeunes filles 21).
- Centre national d'études spatiales, 1984. - L'océanologie spatiale = Space oceanology, 1982. - Toulouse : CEPADUES éditions. - 888 p.
- Centre national pour l'exploitation des océans (CNEXO), 1978. - Utilisation pour l'océanologie des satellites d'observation de la terre, journées nationales d'études, Brest, France, 6-8 février 1978. Publications du Centre national pour l'exploitation des océans (CNEXO), Actes de colloques, 5, 422 p.
- CHAMPAGNE-PHILIPPE (M.) et HARANG (L.), 1982. - Fronts superficiels en Méditerranée d'après les télé-mesures AVHRR, avril 1979-mars 1981. Note de travail de l'Etablissement d'études et de recherches météorologiques, 31, 172 p.
- CHENEY (R.E.) and MILLER (L.), 1988. - Mapping the 1986-1987 El Niño with GEOSAT altimeter data. Eos, transactions - American geophysical union, 69, 31 pp. 754-755.
- CHENEY (R.E.), DOUGLAS (B.C.) and MILLER (L.), 1989. - Evaluation of Geosat altimeter data with application to tropical Pacific sea level variability. Journal of geophysical research, 94, C4, pp. 4737-4747.
- CHESSELET (R.), ed., 1987. - Océanographie spatiale, actes du colloque de l'action thématique programmée (ATP) "Télédétection spatiale", Brest, 19-20 nov. 1985. Oceanologica acta, vol. spécial 7, 97 p.
- CHESTER (T.J.), 1980. - Sea surface temperature measurement from the SEASAT SMMR, in : Proceedings of a workshop on applications of existing satellite data to the study of ocean surface energetics, 19-21 November 1980, University of Wisconsin, ed. C. Gautier, pp. 175-179.
- CITEAU (J.), GUILLOT (B.) et LAE (R.), 1984. - Opération Listao : reconnaissance de l'environnement physique en Atlantique intertropical à l'aide des satellites METEOSAT et GOES-E. Initiation - documentations techniques, ORSTOM, 63, 28 p.
- CLAASEN (D. Van R.), ed., 1986. - The application of digital remote sensing techniques in coral reef, oceanographic and estuarine studies. Report on a regional Unesco/COMAR/GBRMPA workshop, Townsville, Australia, August 1985. Unesco reports in marine science, 42, III-151 p.

COURBOULES (J.), 1989. - Contribution de la télédétection à haute et très haute résolution spatiale à la perception des ressources naturelles renouvelables : exemples d'applications aux zones littorales tropicales de mer Rouge (données TM de LANDSAT 4, HRV de SPOT 1 et photographies aériennes numérisées). Thèse Sciences de la vie, Nice, 234 p.

CRACKNELL (A.P.), ed., 1980. - Coastal and marine applications of remote sensing. Proceedings of the Sixth annual conference of the Remote Sensing Society, 18th-19th December, 1979, University of Dundee. - Reading : Remote Sensing Society. - 119 p.

CRACKNELL (A.P.), ed., 1981. - Remote sensing in meteorology, oceanography and hydrology. - Chichester : Ellis Horwood. - 542 p. - (Ellis Horwood series in environmental science).

CRACKNELL (A.P.), ed., 1983. - Remote sensing applications in marine science and technology. - Dordrecht : D. Reidel. - XII-466 p. - (NATO ASI series series C, 106).

CUQ (F.), 1983. - Télédétection du littoral saintongeais. Méthodes de traitements et interprétation d'images satellitaires. - Montrouge : Ecole normale supérieure. - 192 p. - (Collection de l'Ecole normale supérieure de jeunes filles 23).

DANIAULT (N.), 1984. - Apport des techniques spatiales à la connaissance des courants de surface. Application à l'océan Antarctique. Thèse docteur-ingénieur, Océanographie physique, Brest, (B) 17, 69-47 p.

DEEPAK (A.), ed., 1980. - Remote sensing of atmospheres and oceans. Proceedings of the Interactive workshop on interpretation of remotely sensed data held in Williamsburg, Virginia, May 23-25, 1979. - New York : Academic press. - XIV-641 p.

DELMAS (R.), 1987. - Logiciel de décodage et de rectification des images NIMBUS-7 (CZCS). Document techniques CISI, 60 p.

DEMARCO (H.), 1985. - Applications de la télédétection infrarouge et visible en océanographie. Etude de la zone de dilution rhodanienne, observations des zones de production dans le golfe du Lion et estimation de l'éclairement solaire global en Méditerranée occidentale. Thèse troisième cycle, Sciences de la mer et de l'environnement, Aix-Marseille II, 226 p.

DEN HARTOG (C.), 1970. - The sea-grasses of the world. Verhandelingen der Koninklijke Nederlandse akademie van wetenschappen, afd. natuurkunde, (2) 59, 1, pp. 1-275.

DESCHAMPS (P.Y.) and VIOLLIER (M.), 1987. - Algorithms for ocean colour from space and application to CZCS data. Advances in space research, 7, 2, pp. 11-19.

DUDHIA (A.), 1986. - Inter-calibration of METEOSAT and AVHRR. AES experts meeting "Measuring the greenhouse effect", Toronto, Canada, 15-19 September 1986.

DUNTLEY (S.Q.), ed., 1980. - Ocean optics VI, October 23-25, 1979, Monterey, CA. Proceedings of the Society of photo-optical instrumentation engineers, 208, VIII-265 p.

DUPOUY (C.) and DEMARCO (H.), 1987. - CZCS as an aid for understanding modalities of the phytoplankton productivity during upwelling off Senegal. Advances in space research, 7, 2, pp. 63-71.

DUPOUY (C.), 1982. - Etude des floraisons du phytoplancton sur la radiale Roscoff-Plymouth (Manche occidentale) en 1980 et 1981. Apport des images satellitaires de la couleur de l'océan. Thèse troisième cycle, Lille, 974, pagination multiple.

EPPLEY (R.W.), STEWART (E.), ABBOTT (M.R.) and HEYMAN (U.), 1985. - Estimating ocean primary production from satellite chlorophyll. Introduction to regional differences and statistics for the Southern California Bight. Journal of plankton research, 7, 1, pp. 57-70.

European Space Agency, 1978. - European workshop on space oceanography, navigation and geodynamics, organised by ESA, Council of Europe, EARSeL and Working party on geodynamics, Schloss Elmau, Germany, 16-21 January 1978. - Paris : ESA. - VIII-350 p. - (ESA SP-137).

European Space Agency, 1981. - Application of remote sensing data on the continental shelf. Proceedings of an EARSeL-ESA symposium held at Voss, Norway, 19-20 May 1981 in co-operation with the Royal Norwegian Council for Scientific and Industrial Research (NTNF). - Paris : ESA. - VIII-290 p. - (ESA SP-167).

EWING (G.C.), ed., 1965. - Oceanography from space. Proceedings of the conference on the feasibility of conducting oceanographic explorations from aircraft, manned orbital and lunar laboratories, held at Woods Hole, Massachusetts, 24-28 August 1964. - Woods Hole : Woods Hole Oceanographic Institution. - XXI-469 p. - (Ref. No. 65-10).

FELDMAN (G.), CLARK (D.) and HALPERN (D.), 1984. - Satellite color observations of the phytoplankton distribution in the eastern equatorial Pacific during the 1982-1983 El Niño. *Science*, 226, 4678, pp. 1069-1071.

FELDMAN (G.), KURING (N.), NG (C.), ESAIAS (W.), McCLAIN (C.), ELROD (J.), MAYNARD (N.), ENDRES (D.), EVANS (R.), BROWN (J.), WALSH (S.), CARLE (M.) and PODESTA (G.), 1989. - Ocean color, availability of the global data set. *Eos, transactions - American geophysical union*, 70, 23, pp. 634-635, 640-641.

FROUIN (R.), 1981. - Contribution à l'étude de la température de surface de la mer par télédétection au moyen de l'expérience spatiale HCMM. Thèse troisième cycle, Lille, 877, 145 p.

GAUTIER (C.) and FIEUX (M.), ed., 1984. - Large-scale oceanographic experiments and satellites. - Dordrecht : D. Reidel. - X-288 p. - (NATO ASI series series C, 128).

GEOSAT. *Journal of geophysical research*, 95, C3, pp. 2833-3179 (1990).

GIERLOFF-EMDEN (H.G.), 1977. - Orbital remote sensing of coastal and offshore environments, a manual of interpretation. - Berlin New York : W. de Gruyter. - 176 p.

GILLOT (R.A.) and TOSELLI (F.), ed., 1985. - The Archimedes I experiment. Directorate General for Science, Research and Development, Joint Research Centre, Ispra Establishment. - Luxembourg : Commission of the European Communities. - V-223 p. - (EUR 10216 EN).

GIRARD (M.C.) et GIRARD (C.M.), 1989. - Télédétection appliquée : zones tempérées et intertropicales. - Paris : Masson. - XVIII-260 p. - (Collection sciences agronomiques).

GORDON (H.R.) and MOREL (A.Y.), 1983. - Remote assessment of ocean color for interpretation of satellite visible imagery, a review. - New York Berlin Heidelberg Springer-Verlag. - 114 p. - (Lecture notes on coastal and estuarine studies 4).

GORDON (H.R.), 1980. - Ocean remote sensing using lasers. NOAA technical memorandum ERL PMEL, 18, VII-200 p.

GORDON (H.R.), CLARK (D.K.), BROWN (J.W.), BROWN (O.B.), EVANS (R.H.) and BROENKOW (W.W.), 1983. - Phytoplankton pigment concentrations in the Middle Atlantic Bight: comparison of ship determinations and CZCS estimates. *Applied optics*, 22, 1, pp. 20-36.

GORDON (H.R.), CLARK (D.K.), MUELLER (J.L.) and HOVIS (W.A.), 1980. - Phytoplankton pigments from the Nimbus-7 coastal zone color scanner: comparisons with surface measurements. *Science*, 210, 4465, pp. 63-66.

GOWER (J.F.R.) and APEL (J.R.), 1986. - Opportunities and problems in satellite measurements of the sea. *Unesco technical papers in marine science*, 46, XII-70 p. (= *Observation de l'océan par satellite : problèmes et perspectives. Documents techniques de l'Unesco sur les sciences de la mer*, 46, XII-113 p. (1989)).

GOWER (J.F.R.), ed., 1981. - Oceanography from space. - New York London : Plenum Press. - XIX-978 p. - (Marine science 13).

GOWER (J.F.R.), ed., 1987. - Oceanography from space. Proceedings of the topical meeting of the COSPAR interdisciplinary scientific commission A (meeting A3) of the COSPAR twenty-sixth plenary meeting held in Toulouse, France, 30th June-11th July 1986. *Advances in space research*, 7, 2, 141 p.

GUYENNE (T.D.), ed., 1987. - Ocean colour workshop. Proceedings of an ESA workshop held at Villefranche-sur-Mer, France, 5-6 November 1986. - Paris : European Space Agency. - 118 p. - (ESA SP-1083).

HAMMACK (J.C.), 1977. - Landsat goes to sea. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 43, 6, pp. 683-691.

HOLLIGAN (P.M.), VIOLLIER (M.), HARBOUR (D.S.), CAMUS (P.) and CHAMPAGNE-PHILIPPE (M.), 1983. - Satellite and ship studies of coccolithophore production along a continental shelf edge. *Nature*, 304, 5924, pp. 339-342.

HOUGHTON (J.T.), COOK (A.H.) and CHARNOCK (H.), ed., 1983. - The study of the ocean and the land surface from satellites. Proceedings of a Royal Society discussion meeting held on 10 and 11 November 1982. *Philosophical transactions of the Royal Society of London*, (A) 309, 1508, pp. 241-464.

HOVIS (W.A.), CLARK (D.K.), ANDERSON (F.), AUSTIN (R.W.), WILSON (W.H.), BAKER (E.T.), BALL (D.), GORDON (H.R.), MUELLER (J.L.), EL-SAYED (S.Z.), STURM (B.), WRIGLEY (R.C.) and YENTSCH (C.S.), 1980. - Nimbus-7 coastal zone color scanner: system description and initial imagery. *Science*, 210, 4465, pp. 60-63.

Joint Oceanographic Institutions, 1984. - Oceanography from space, a research strategy for the decade 1985-1995. (1) Executive summary. 2. Proposed measurements and missions. - Washington, D.C. : JOI. - 20 + 32 p.

KIRWAN (A.D.), AHRENS (T.J.) and BORN (G.H.), ed., 1983. - SEASAT II. *Journal of geophysical research*, 88, C3, pp. 1529-1952.

KUCHLER (D.A.), BINA (R.T.) and CLAASEN (D. Van R.), 1988. - Status of high-technology remote sensing for mapping and monitoring coral reef environments, in : Proceedings of the Sixth international coral reef symposium, Townsville, Australia, 8th-12th August 1988, 1, pp. 97-101.

LANDSAT thematic mapper. *Remote sensing of environment*, 28, 347 p. (1989).

LARSON (S.E.), 1980. - Sea surface temperature variability implications for the role of satellite derived SST's in climate research, in : Proceedings of a workshop on applications of existing satellite data to the study of ocean surface energetics, 19-21 November 1980, University of Wisconsin, ed. C. Gautier, pp. 151-162.

LE GALL (J.-Y.) Ed, 1989. - Télédétection satellitaire et pêcheries thonières océaniques. FAO document technique sur les pêches, 302, VII-148 p.

LEFEVRE (J.-R.), VALERIO (C.) et MEINESZ (A.), 1984. - Optimisation de la technique de la photographie aérienne pour la cartographie des herbiers de Posidonies, in : International workshop on Posidonia oceanica beds, Porquerolles/France, 23-25 October 1983, ed. C.-F. Boudouresque, A. Jeudy de Grissac et J. Olivier, pp.49-55. - Marseille : GIS Posidonie.

LOHRENZ (S.E.), ARNONE (R.A.), WIESENBURG (D.A.) and DePALMA (I.P.), 1988. - Satellite detection of transient enhanced primary production in the western Mediterranean Sea. *Nature*, 335, 6187, pp. 245-247.

LOUBERSAC (L.), DAHL (A.L.), COLLOTTE (P.), LEMAIRE (O.), OZOUVILLE (L. d') and GROTTÉ (A.), 1988. - Impact assessment of cyclone Sally on the almost atoll of Aitutaki (Cook Islands) by remote sensing, in : Proceedings of the Sixth international coral reef symposium, Townsville, Australia, 8th-12th August 1988, 2, pp. 455-462.

LYONS (K.J.), 1977. - Evaluation of an experimental bathymetric map produced from LANDSAT data. *Cartography*, 10, 2, pp. 75-82.

Marine technology society. - Satellite remote sensing. *Marine technology society journal*, 20, 2, pp. 3-100 (1986).

MASSIN (J.-M.), 1984. - Remote sensing for the control of marine pollution. - New York : Plenum Press. - XI-466 p. - (NATO challenges of modern society 6).

MASSIN (J.-M.), ed., 1978. - Remote sensing for the control of marine pollution, preliminary inventory of available technologies = Télédétection appliquée à la lutte contre la pollution marine, premier inventaire des techniques et moyens. - Bruxelles : Comité sur les défis de la société moderne. - non paginé. - (Rapport du CDSM 78).

MATHEWS (T.) and HICKS (R.B.), ed., 1982. - Proceedings of the International symposium on acoustic remote sensing of the atmosphere and oceans, the University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada, June 22-25, 1981. - Calgary : University of Calgary. - pagination multiple.

- MAUL (G.A.), 1981. - Application of GOES visible-infrared data to quantifying mesoscale ocean surface temperatures. *Journal of geophysical research*, 86, C9, pp. 8007-8021.
- MAUL (G.A.), 1985. - Introduction to satellite oceanography. - Dordrecht : M. Nijhoff. - X-606 p. - (Remote sensing of earth resources and environment).
- McCLAIN (E.P.), 1980. - Results of global tests of a two-window method for satellite-derived sea surface temperature, in : *Proceedings of a workshop on applications of existing satellite data to the study of the ocean surface energetics*, 19-21 November 1980, University of Wisconsin, ed. C. Gautier, pp. 169-173.
- McCLAIN (E.P.), PICHEL (W.G.), WALTON (C.C.), AHMAD (Z.) and SUTTON (J.), 1983. - Multichannel improvements to satellite-derived global sea surface temperatures. *Advances in space research*, 2, 6, pp. 43-47.
- McROY (C.P.), ed., 1973. - *Seagrass ecosystems: research recommendations of the International seagrass workshop*, Leiden, the Netherlands, 22 to 26 October 1973. - III-62 p.
- MILLER (L.), CHENEY (R.E.) and DOUGLAS (B.C.), 1988. - GEOSAT altimeter observations of Kelvin waves and the 1986-87 El Niño. *Science*, 239, 4835, pp. 52-54.
- MOLINIER (R.) et PICARD (J.), 1954. - Nouvelles recherches bionomiques sur les côtes méditerranéennes françaises. *Recueil des travaux de la Station marine d'Endoume*, 13 (= bulletin 8), pp. 9-23.
- MONGET (J.-M.), ed., 1979. - Applications of remote sensing to fisheries research. *Proceedings - ICES (CIEM) working group on aerospace remote sensing*, Ecole nationale supérieure des mines de Paris, Valbonne, 13-14 June 1979. - Valbonne : Ecole nationale supérieure des mines de Paris. - 89 p.
- MOREL (A.), 1980. - In-water and remote measurements of ocean color. *Boundary-layer meteorology*, 18, 2, pp. 177-201.
- MORGAN (J.), 1979. - METEOSAT calibration. Report - MDMD/MET, ESOC, 1, 24 p.
- NACINI (E.), 1985. - An atlas of original and Mercator-transformed satellite-data images of the Alboran Sea, August-October 1983. *SACLANTCEN report*, SR-89, I-129 p.
- National Aeronautics and Space Administration, 1984. - Frontiers of remote sensing of the oceans and troposphere from air and space platforms. *Proceedings of the URSI commission F symposium and workshop*, Shosh, Israel, May 14-23, 1984. NASA conference publication, 2303, VIII-622 p.
- National Aeronautics and Space Administration, 1986. - *Oceanography from space*. - Washington, D.C. : NASA. - 16 p., 14 pl. en coul.
- National Center for Atmospheric Research, 1981. - A collection of extended abstracts presented at the Symposium on the radiation transfer in the oceans and remote sensing of ocean properties, IAMAP third scientific assembly, 17-28 August 1981, Hamburg. - Boulder : NCAR. - IX-221 p.
- NEREM (R.S.), TAPLEY (B.D.) and SHUM (C.K.), 1990. - Determination of the ocean circulation using Geosat altimetry. *Journal of geophysical research*, 95, C3, pp. 3163-3179.
- NIHOUL (J.C.J.), ed., 1984. - Remote sensing of shelf sea hydrodynamics. *Proceedings of the 15th International Liège colloquium on ocean hydrodynamics*. - Amsterdam : Elsevier. - XII-354 p. - (Elsevier oceanography series 38).
- Oceanography from space. *Oceanus*, 24, 3, 75 p. (1981).
- Oceans 82, Conference record : industry, government, education ... partners in progress, Washington, D.C., September 20-22, 1982. - Washington, D.C. : Marine technology society New York : IEEE council on oceanic engineering. - 1293 p. - (Cf. Program D : Remote sensing, pp. 371-493).
- PHULPIN (T.) and DESCHAMPS (P.Y.), 1980. - Estimation of sea surface temperature from AVHRR infrared channels measurements, in : *Coastal and marine applications of remote sensing. Proceedings of the Sixth annual conference of the Remote Sensing Society*, 18th-19th December, 1979, University of Dundee, ed. A.P. Cracknell, pp. 47-58. - Reading : Remote Sensing Society.

PHULPIN (T.) et LE BORGNE (P.), 1984. - Utilisation de la radiométrie hyperfréquence dans les domaines océanographique et météorologique. Notes techniques - Direction de la météorologie, 7, 163 p.

PIRAZZOLI (P.A.), 1982. - Télédétection en milieu récifal. Utilisation d'une image LANDSAT pour évaluer la bathymétrie dans l'atoll de Rangiroa (Polynésie française). *Océanis*, 8, 4, pp. 297-308.

PIRAZZOLI (P.A.), 1984. - Cartographie des hauts fonds par télédétection dans l'archipel des Gambier (Polynésie française). *Espace géographique*, 1984, 3, pp. 277-284, 304.

PIRAZZOLI (P.A.), 1985. - Bathymetric mapping of coral reefs and atolls from satellite = Cartographie bathymétrique de récifs coralliens et d'atolls par satellite, in : *Proceedings of the Fifth international coral reef congress, Tahiti, 27 May-1 June 1985*, 6, pp. 539-544. - Moorea : Antenne Muséum-EPHE.

REGRAIN (R.), 1980. - Géographie physique et télédétection des marais charentais. Thèse Géographie, Brest, 1979, 512 p.

ROBINSON (I.S.), 1985. - *Satellite oceanography, an introduction for oceanographers and remote-sensing scientists*. - Chichester : Ellis Horwood. - 455 p. - (Ellis Horwood series in marine science).

SALTZMAN (B.), ed., 1985. - *Satellite oceanic remote sensing*. - Orlando : Academic Press. - XVI-511 p. - (Advances in geophysics 27).

SCHULKIN (M.), ed., 1980. - NOAA workshop on ocean acoustic remote sensing, Seattle, Washington, January 21-24, 1980. - Rockville : National Oceanic and Atmospheric Administration, Office of Sea Grant. - 2 vol., III-42 p. + pagination multiple.

SHANNON (L.V.), ed., 1985. - South African ocean colour and upwelling experiment. - Cape Town : Sea Fisheries Research Institute. - IX-270 p.

SHANNON (L.V.), MOSTERT (S.A.), WALTERS (N.M.) and ANDERSON (F.P.), 1983. - Chlorophyll concentrations in the southern Benguela current region as determined by satellite (Nimbus-7 coastal zone colour scanner). *Journal of plankton research*, 5, 4, pp. 565-583.

SINHA (E.), 1970. - Oceanography from space and aircraft, state of the art, technology/applications : an annotated bibliography. *Ocean engineering information series*, 2, XV-79 p.

SLATER (P.N.), 1980. - *Remote sensing, optics and optical systems*. - Reading : Addison-Wesley. - XVI-575 p. - (Remote sensing 1).

SMITH (V.E.), ROGERS (R.H.) and REED (L.E.), 1975. - Thematic mapping of coral reefs using LANDSAT data, in : *Remote sensing of environment, proceedings of the 10th international symposium on remote sensing of environment*, Ann Arbor, October 6-10, 1975, pp. 585-594.

SMITH (W.L.), 1980. - Sea surface temperatures: improved observation from geostationary satellites, in : *Proceedings of a workshop on applications of existing satellite data to the study of the ocean surface energetics*, 19-21 November 1980, University of Wisconsin, ed. C. Gautier, pp. 163-168.

SÖRENSEN (B.M.), ed., 1979. - Workshop on the EURASEP ocean color scanner experiments 1977 proceedings, Joint Research Centre Ispra 30-31 October 1979. - Ispra : JRC of the Commission of the European Communities. - 200 p.

STEWART (R.H.), 1985. - *Methods of satellite oceanography*. - Berkeley : University of California Press. - VIII-360 p. - (Scripps studies in earth and ocean sciences 1).

Texas A&M University, 1971. - *Proceedings of the Symposium on remote sensing in marine biology and fishery resources*, January 25-26, 1971, College Station, Texas. - College Station : Texas A&M University Remote Sensing Center. - VII-299 p. - (TAMU-SG-71-106).

THOMSON (V.), NEVILLE (R.A.) and O'NEIL (R.A.), 1980. - *A bibliography on the remote sensing of oil pollution*. - Ottawa : Canada Centre for Remote Sensing. - 92 p.

TOBA (Y.) and MITSUYASU (H.), ed., 1985. - The ocean surface : wave breaking, turbulent mixing and radio probing. *Proceedings of the symposium held at Tohoku University, Sendai, Japan on 19-25 July, 1984*. - Dordrecht : D. Reidel. - XIII-586 p.

TOURNADRE (J.), 1990. - Sampling of oceanic rings by satellite radar altimeter. *Journal of geophysical research*, 95, C1, pp. 693-697.

TSAI (J.J.), 1984. - Acoustic remote sensing of waste disposal in the ocean. NOAA technical memorandum ERL AOML, 59, IX- 99 p.

VERGER (F.), ed., 1977. - Télédétection du littoral océanique de la France. - Montrouge : Ecole normale supérieure. - 310 p. - (Collection de l'Ecole normale supérieure de jeunes filles 11).

VERNBERG (F.J.) and DIEMER (F.P.), ed., 1982. - Processes in marine remote sensing. Workshop, University of Manchester, 26-30 June, 1979. - Columbia : University of South Carolina. - XIV-545 p. - (The Belle W. Baruch library in marine science 12).

VIOLLIER (M.), BELSHER (T.) et LOUBERSAC (L.), 1985. - Signatures spectrales des objets du littoral, in : Proceedings of the Third international symposium of spectral signature of objects in remote sensing, Les Arcs, pp. 253-256.

VIOLLIER (M.), SOURNIA (A.), BIRRIEN (J.-L.), CHRETIENNOT-DINET (M.-J.), LE BORGNE (P.), LE CORRE (P.), MORIN (P.) and OLRV (J.P.), 1988. - Satellite (AVHRR/NOAA-9) and ship studies of a coccolithophorid bloom in the western English Channel. *Marine nature*, 1, 1, pp. 1-14.

VIOLLIER (M.), TANRE (D.) and DESCHAMPS (P.Y.), 1980. - An algorithm for remote sensing of water color from space. *Boundary-layer meteorology*, 18, 3, pp. 247-267.

VOLLMERS (R.R.) and MASSIN (J.-M.), ed., 1981. - Airborne remote sensing of oil spills in coastal waters = Télédétection des rejets d'hydrocarbures dans les eaux côtières. Proceedings of the First workshop, held at Washington, D.C., 18-20 April 1979. - Washington, D.C. : U.S. Coast Guard : Neuilly : Ministère de l'environnement et du cadre de vie. - V-344 p.

WARNE (D.K.), 1978. - Landsat as an aid in the preparation of hydrographic charts. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 44, 8, pp. 1011-1016.

WEILL (A.), ed., 1986. - Proceedings - Third international symposium on acoustic remote sensing of the atmosphere and oceans, October 14/17, 1985, Issy-les-Moulineaux. - Issy-les-Moulineaux : C.N.E.T./C.R.P.E. - IX-587 p.

WEINREB (M.P.) and HILL (M.L.), 1980. - Calculations of atmospheric radiances and brightness temperatures in infrared windows channels of satellite radiometers. NOAA technical report NESS, 80, 40 p.

WITTE (J.M.), ed., 1984. - Winds over water : a bibliography. - Fort Lauderdale : Nova University/NYIT Press. - V-178 p. - (Nova University/New York Institute of Technology Press research series).

YAMANAKA (I.), ITO (S.), NIWA (K.), TANABE (R.), YABUTA (Y.) and CHIKUNI (S.), 1988. - The fisheries forecasting system in Japan for coastal pelagic fish. *FAO fisheries technical paper*, 301, VIII-72 p.

ZAITZEFF (J.B.), CORNILLON (P.) and AUBREY (D.A.), ed., 1980. - Remote sensing in the coastal and marine environment. Proceedings of the First U.S. North Atlantic regional workshop held at the W. Alton Jones Campus, University of Rhode Island, May 30-June 1, 1979. - Kingston, R : Center for Ocean Management Studies Woods Hole : Woods Hole Oceanographic Institution. - V-250 p. - (WHOI-80-10).

ZION (P.M.), 1989. - Remote sensing of large marine ecosystems : uses of CZCS and AVHRR data, in : Biomass yields and geography of large marine ecosystems, ed. K. Sherman and L.M. Alexander, pp. 345-376. - Boulder : Westview Press Washington, D.C. : American Association for the Advancement of Science. - (AAAS selected symposium 111).

7.5. Echantillonnage aérien et *line transect*.

BARLOW, J., OLIVER, C.W., JACKSON, T.D. and TAYLOR, B.L., 1988. - Harbor porpoise, *Phocoena phocoena*, abundance estimation for California, Oregon, and Washington: II. Aerial surveys. *FISH. BULL.*, Vol. 86(3) pp. 433-444.

BAYLISS, P. 1986. - Factors affecting aerial surveys of marine fauna, and their relationship to a census of dugongs in the coastal waters of the Northern Territory. *AUST. WILDL. RES.*, Vol. 13(1) pp. 27-37.

BLAYLOCK R.A., 1988 - Distribution and abundance of the bottlenose dolphin, *Tursiops truncatus* (Montagu, 1821), in Virginia. *FISH. BULL.*, Vol. 86(4) pp. 797-805.

- BONNELL, M.L. and FORD, R.G. 1987 - California sea lion distribution: A statistical analysis of aerial transect. *J. WILDL. MANAGE.*, vol. 51(1) pp. 13-20.
- BOYD, H. 1984 - US Fish and Wildlife Service estimates of duck numbers in northwestern. *WATERFOWL STUDIES IN ONTARIO, 1973-81*. N°54, pp. 10-13
- BRIGGS, K.T., TYLER, W.B. and LEWIS, D. 1985 - Aerial surveys for seabirds: Methodological experiments. *J. WILDL. MANAGE.*, Vol. 49(2) pp. 412-417.
- CLARKE, J.T., MOORE, S.E. and LJUNGBLAD, D.K. 1987 - Observations of bowhead whale (*Balaena mysticetus*) calves in the Alaskan Beaufort Sea during the autumn migration, 1982-85 (SC/38/PS3). *REP. INT. WHALING COMM.*, Vol. 37, pp. 287-293.
- CONROY, M.J., GOLDSBERRY, J.R., HINNES J.E. and STOTTS, D.B. 1988. - Evaluation of aerial transect surveys for wintering American black ducks. *J. WILDL. MANAGE.*, Vol. 52(4) pp. 694-703.
- DOHL, T.P., BONNELL, M.L. and FORD, R.G. 1986 - Distribution and abundance of common dolphin, *Delphinus delphis*, in the Southern California Bight: A quantitative assessment based upon aerial transect data. *FISH. BULL.*, Vol. 84(2) pp. 333-343.
- ERICKSON, A.W. 1985. - Aerial census of seals, whales, and penguins in the pack ice of the northwestern Weddell Sea, November 1983. *ANTARCT. J. U.S.*, Vol. 19(5) pp. 121-124.
- ERICKSON, A.W., HANSON, M.B. and KEHOE, D.M. 1983 - Population densities of seals and whales observed during the 1983 circumnavigation of Antarctica by the USCGC Polar Star. *ANTARCT. J. U.S.*, Vol. 18(5) pp. 163-166.
- HARA, I. 1986 - Raintoransekuto-ho o mochiita Dotovkaiiki ani okeru maiwashi shigenryo no suitei. (Stock assessment of Japanese sardine in the waters off the southeast coast). *BULL. JAP. SOC. SCI. FISH./NISSUISHI.*, Vol. 52(1) pp. 69-73.
- HARA, I. 1987 - Swimming speed of sardine school on the basis of aerial survey. *NIPPON SUISAN GAKKAISHI/BULL. JAP. SOC. SCI. FISH.*, Vol. 53(2) pp.223-227.
- HOLT, R.S., COLOGNE, J. 1987 - Factors affecting line transect estimates of dolphin school density. *J. WILDL. MANAGE.*, Vol. 51(4) pp. 836-843.
- LEATHERWOOD, S., SHOW, I.T.,JR., REEVES, R.R. and WRIGHT, M.B. 1982 - Proposed modification of transect models to estimate population size from aircraft with obstructed downward visibility. *REP. INT. WHALING COMM.*, Vol. 32, pp. 577-580.
- NELLIS, M.D. 1984 - A remote sensing approach for modeling water resource use. *WATER RESOUR. BULL.*, Vol. 20(5) pp. 789-793.
- ROSS, G.J.B., COCKCROFT, V.G. and BUTTERWORTH, D.S. 1987. - Offshore distribution of bottlenosed dolphins in Natal coastal waters and Algoa Bay, eastern Cape. *S. AFR. J. ZOOL./S.-AFR. TYDSKR. DIERKD.*, Vol. 22(1) pp. 50-56.
- SALE, P.F. and SHARP, B.J. 1983 - Correction for bias in visual transect censuses of coral reef fishes. *CORAL REEFS.*, Vol. 2(1) pp. 37-42.

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A : (Panorama de la pêche thonière dans le Pacifique et l'Atlantique)

STRETTA J.-M. et M. PETIT (1989).- Panorama des pêcheries de thonidés en Atlantique Intertropical. pp:9-21. *In* Télédétection satellitaire et pêcheries thonières océaniques. *FAO Fish. Tech. Pap.* n:302, 148p.

PETIT M., J.-M. STRETTA et R. PIANET (1989).- Panorama de la pêche thonière dans le Pacifique Sud-Ouest. pp:31-42. *In* Télédétection satellitaire et pêcheries thonières océaniques. *FAO Fish. Tech. Pap.* n:302, 148p.

Réactualisation de l'article STRETTA J.-M. et M. PETIT (1989).- Panorama des pêcheries de thonidés en Atlantique Intertropical (non publié).

ANNEXE B : (L'habitat des thonidés tropicaux)

STRETTA J.-M., M. PETIT et M. SLEPOUKHA (Sous presse).- Les prises de thonidés et leur environnement au large de la Côte d'Ivoire. 24p, 9 tableaux, 16 figures. *In* *Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire. Tome I: Le milieu marin* (Editeurs P. Le Loeuff, E. Marchal et J.B. Amon Kothias), Editions ORSTOM.

STRETTA J.-M. (1988).- Environnement et pêche thonière en Atlantique tropical oriental. pp: 269-316. *In* *Ressources, pêche et biologie des thonidés tropicaux de l'Atlantique centre-est.* (Fonteneau A. et J. Marcille Eds). *FAO Fisheries Technical Papers.*(292): 391 p.

STRETTA J.-M. (1977).- Température de surface et pêche thonière dans la zone frontale du cap Lopez (Atlantique tropical oriental) en juin et juillet 1972, 1974 et 1975. *Cahier ORSTOM série Océanographie.*, Vol XV(2):163-180.

STRETTA J.M et M. SLEPOUKHA (1986).- Analyse des facteurs biotiques et abiotiques associés aux bancs de listaos. pp 161- 169. *In* *Proceedings of the ICCAT Conference on the International Skipjack Program.* (P.E.K Symons, P.M. Miyake and G.T. Sakagawa Editors) ICCAT.

STRETTA J.-M. (1987).- Régime et comportement alimentaires de l'albacore, du listao et du patudo dans l'Atlantique tropical oriental (Revue bibliographique). *Recueil Documents Scientifique ICCAT* Vol. 26(1): 95-104.

ANNEXE C : (Déterminisme du déplacement des thonidés)

PETIT M., J.-M. STRETTA, M. SIMIER et A. WADSWORTH (1989).- Anomalies de surface et pêche thonière. Un potentiel inattendu de SPOT pour la détection des zone de pêche par l'inventaire des hauts-fonds. *Mappemonde* 89(3):13-16.

ANNEXE D : (De la synthèse écologique à l'aspect prédictif en gestion des pêches. PREVI-PECHE : Bases théoriques et détails du programme)

STRETTA J.-M. (1990).- La télédétection infrarouge thermique peut-elle aider à la prévision des zones de pêche ? La réponse praxéologique. *Bulletin de l'Institut océanographique*, Monaco, n° spécial 6: 173-198.

STRETTA J.-M. et M. PETIT (1989).- Télédétection spatiale et pêche thonière en Atlantique Intertropical. pp:99-110. In *Télédétection satellitaire et pêcheries thonières océaniques*. *FAO Fisheries Technical Papers*. n:302, 148p.

STRETTA J.-M. (1991).- Forecasting tuna fishery with aerospatial remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, Vol 12(4): 771-779.

ANNEXE E : (La modélisation et l'intelligence artificielle)

STRETTA J.-M., M. PETIT M. et M. SIMIER (1990).- Intégration de la télédétection aérospatiale dans la base de données d'un système expert dédié à la pêche thonière. *Bulletin de l'Institut océanographique*, Monaco, n° spécial 6: 199-207.

STRETTA J.-M., M. PETIT, M. SIMIER et M. SPRATT (1991).- Simulation du comportement adaptatif chez les thonidés. *Recueil Documents Scientifiques*. *ICCAT* Vol. 35(1): 163-167.

PETIT M., J.-M. STRETTA, M. SIMIER (1991).- Interactions environnement-thonidés : difficulté de modélisation de l'agrégation des bancs. *Recueil Documents Scientifiques ICCAT* Vol. 35(1): 180-183.

RESUME

Les thonidés se déplacent, se concentrent, se nourrissent et se reproduisent dans la ceinture inter-tropicale de l'océan mondial. Ils évoluent au sein de différents systèmes hydrologiques qui sont largement conditionnés par la climatologie et l'hydroclimatologie qui règnent dans cette ceinture inter-tropicale.

Après avoir passé en revue les principaux paramètres d'environnement et les facteurs biotiques ou abiotiques associés aux bancs de thons, qui régissent l'habitat des thons, nous tentons de les préciser en fonction des besoins physiologiques des thons et en particulier de la nourriture. Les thons sont des prédateurs actifs et leur alimentation, qui agit directement sur leur physiologie, va induire leur distribution au sein des bornes définies par les paramètres physiques.

Les mouvements des thons sont difficilement observables depuis l'espace. Nous devons les déduire à partir de modèles s'appuyant sur les connaissances que l'on a du comportement alimentaire des thons.

Pour rechercher des zones favorables aux thons nous nous appuyons sur deux faits (1) les thons sont attirés par des anomalies perceptibles dans leur environnement immédiat, (2) que ces anomalies physiques sont à l'origine d'un système capable de créer des zones à forte densité de nourriture. Pour les détecter, nous devons rechercher des zones où la productivité est élevée. Dans les eaux tropicales, le système qui joue un rôle considérable dans l'enrichissement de la couche épipelagique est celui de la remontée de la thermocline en surface (ou dans la couche euphotique). Cette remontée va ainsi créer une zone frontale (ou un dôme thermique) et nous amener à développer un nouveau concept en écologie des thons : celui du passé hydrologique d'une masse d'eau. Cette notion nous permet d'appréhender le problème de la localisation de la nourriture en étudiant la signature thermique en surface des mécanismes de fertilisation des masses d'eaux (qui peut être détectée par avions ou par satellites équipés de radiomètres infrarouge pour mesurer la température de surface de la mer). Le modèle le plus simple pour cerner la période et la zone où la probabilité de trouver des animaux proies sera la plus élevée consiste en une analyse (dite analyse praxéologique) de l'évolution dans l'espace et dans le temps de la température de surface. Le modèle prévisionnel PREVI-PECHE qui a été développé pour prévoir, à l'attention des pêcheurs des flottilles thonières française, ivoirienne et sénégalaise, les zones favorables à la pêche. Ce modèle a démontré son efficacité car plus de 70% des calées effectuées par les flottilles Atlantique sont validées par l'analyse des évolutions thermiques qui les précèdent. PREVI-PECHE a démontré l'outil télédétection, même très rudimentaire, peut largement contribuer à la prévision de zones de pêche thonière.

Toutefois, l'avenir des modèles prévisionnels pour des activités de pêche devrait prendre un nouvel essor avec l'utilisation des techniques de simulation du comportement animal.

Mots clés : halieutique spatiale, télédétection infrarouge, écologie des thons, bancs de thons, pêche thonière de surface, modèle prévisionnel

ABSTRACT

Subject : Contribution to aerial and spacial remote sensing to create the basis of operational halieutic : example in tropical surface tuna fisheries (forecasting aspect)

Tunas move, concentrate, feed and reproduce inside of different hydrological systems which are under climatic and hydroclimatic control inside of the inter tropical belt.

After checking the main environmental parameters and the biotic and the abiotic factors associated whit tuna schools which manage tuna habitat, we try to precise them under in relation whit the physiological needs and feeding. Tunas are active and opportunist predators and their feeding induce their distribution inside of limits defined by physical parameters.

Tuna movements cannot be observed in the open ocean from space. We must deduce movements from models based on tuna behaviour. In order to find high concentrations of tunas, we know (1) that tunas are attracted by anomalies detected in their close environment, (2) that physical anomalies are at the begening of systems able to produce area with high density of tuna forage. Typically, the popping up of the thermocline is the more important enrichment factor in the epipelagic waters. This phenomenon creates fronts, upwellings or domes and give us the opportunity to develop a new concept in tuna ecology : the concept of the hydrological history of water masses. From this notion we can estimate forage production and thereby predict tuna distribution by measuring the surface thermal signature of fertilizing processes of water masses. This signature can be detected by airplane, or satellites equipped with infrared radiometer for measuring sea surface temperature. The simplest model will be the praxeological analysis to follow the sea surface temperature along time/space scale and to point out the area where the probability of finding forage organisms for tunas is supposed to be high. The forecasting model PREVI-PECHE has been developed to forecast favorable fishing ares, to french, ivorian and senegalese atlantic tuna fleets. More than 70% of the tuna sets are validate by the evolution of the thermal analysis which occurs five weeks before the catch. PREVI-PECHE points out that remote sensing tools can be useful to forecast tuna fishing ground.

However, the future for fisheries forecasting models could take a new dimension by using the new technics of simulating animal behavior.

Key words : fishery from space, infrared remote sensing, tuna ecology, tuna school, surface tuna fishery, forecasting model.