

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE AGRONOMIQUE DE RENNES

DÉPARTEMENT ENVIRONNEMENT ET EXPLOITATION
DE RESSOURCES NATURELLES

Laboratoire Halieutique

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE
POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'AGRONOMIE APPROFONDIE
OPTION HALIEUTIQUE

**ENVIRONNEMENT ET VARIABILITÉ DES CAPTURES
THONIÈRES A LA PALANGRE**

**ÉTUDE DANS LA ZONE ÉCONOMIQUE EXCLUSIVE
POLYNÉSIENNE AU NORD DE 20°S**

PRÉSENTÉ PAR : Christophe MISSELIS
SOUTENU LE : 26 septembre 1996

Sous la direction scientifique de : René ABBES¹
Pascal BACH²

¹Antenne IFREMER, Ressources halieutiques, c/o Centre ORSTOM, BP 529, Papeete, Polynésie Française
²Centre ORSTOM, BP 529, Papeete, Polynésie Française



Département : **Département Environnement
et Exploitation des Ressources**
Spécialisation : **Naturelles
Halieutique**

Enseignant Responsable : **J. Y. Le GALL**

Cadre réservé à la Bibliothèque Centrale

Auteur(s) : **MISSELIS Christophe**

Organisme d'accueil : **IFREMER-ORSTOM**

Adresse : **BP 529 TAHITI**

Nombre de pages : **94** annexe(s) : **14**

Responsable scientifique :

Année de soutenance : **1996**

René ABBES Pascal BACH

Titre : **Environnement et variabilité des captures thonières à la palangre : Etude dans la ZEE polynésienne au nord de 20°S**

Résumé : Depuis 1988, le gouvernement de Polynésie Française mène une politique de développement de la pêcherie hauturière qui vise l'exploitation de trois espèces de thonidés de subsurface : le germon, *Thunnus alalunga*, le thon jaune, *Thunnus albacares* et le thon obèse, *Thunnus obesus*.

Un programme scientifique a été mis en place, conjointement entre 3 organismes, l'IFREMER, l'ORSTOM, et l'EVAAM qui prévoit, entre autre, la réalisation de campagnes de pêche au moyen d'une palangre instrumentée. Au cours des trois campagnes de pêche étudiées dans ce travail, regroupant 51 stations, 300 thons ont été capturés. Les expérimentations sont menées à l'aide d'une palangre instrumentée qui permet de connaître les profondeurs de chaque capture. A chaque station, les profils verticaux de diverses variables hydrologiques (température, oxygène, salinité) sont réalisés à partir d'une sonde multiparamétrée.

La zone étudiée est caractérisée par de fortes homogénéités temporelles, de la couche homogène d'une part, et de la structure verticale des masse d'eau au sud de 10°S d'autre part. L'analyse des captures a ainsi permis de relier chacune des espèces à certaines variables environnementales. Les résultats permettent de mieux expliquer la distribution verticale et horizontale des thonidés au sein de la Zone Economique Exclusive au nord de 20°S.

Abstract :

Since 1988, French Polynesia Government has been implementing a fishery project, in order to exploit 3 species of tuna : albacore, *Thunnus alalunga*, yellowfin, *Thunnus albacares* and bigeye, *Thunnus obesus*.

Three institutes (IFREMER, ORSTOM and EVAAM) are involved to study fishing efficiency by instrumented longline. Three cruises including 51 stations led to 300 tunas catch. The deep of each capture is known by the instrumented longlines. Moreover, hydrological parameters as temperature, oxygen and density are known at each station.

The studied zone is characterised by an importante homogeneity of, on the one hand, homogeneous layer, and on the other hand vertical structure, if located south of 10°S.

Results explain the vertical and horizontal distribution of tunas in the Economic Exclusive Zone, north of 20°S.

Mots clés :

Palangre, Polynésie Française, thon, hydrologie, relations thons - environnement

Diffusion

non limitée

limitée (préciser au verso)

Je soussigné **Christophe MISSELIS** propriétaire des droits de reproduction du résumé du présent document, autorise toutes les sources bibliographiques à signaler et publier ce résumé.

Date **14 / 09 / 1996**

Signature,

Diffusion du mémoire

à remplir avec le Responsable Scientifique

Préciser les limites de la confidentialité (1) :

Confidentialité absolue : oui non
Résumé diffusable : oui non
Consultation : sur place reproduction prêt
durée de la confidentialité : 2 mois

Personne et/ou organisme à contacter :

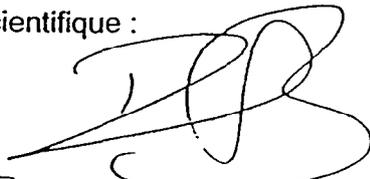
Nom : René ABBES Antenne IFREMER

Adresse : ORSTOM BP 529 Tahiti Polynésie Française

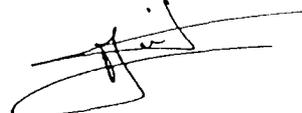
☎ 19 (689) 42 95 55 fax : 19 (689) 43 98 87

Le Responsable Scientifique :


René ABBES
Les membres du Jury :


Pascal BACH

L'auteur :


Chrit. TisseLIS

(1) L'administration et les différents documentations de l'ENSAR s'engagent à respecter cette éventuelle confidentialité.

Remerciements

Je tiens tout d'abord, à remercier tout particulièrement René Abbes, pour m'avoir soutenu tout au long de ce stage et pour m'avoir permis d'intégrer un programme de recherche passionnant.

Je tiens ensuite à remercier Pascal Bach, pour son soutien et son encadrement dans la réalisation de ce rapport. Je le remercie pour son dévouement et pour les nombreuses heures passées à lire et à relire toutes mes esquisses.

Je remerciais également, messieurs Dussert et Boccas , directeurs respectifs des centres IFREMER et ORSTOM, pour m'avoir accueilli dans leurs établissements.

Je remercie François-Xavier Bard et Erwan Josse pour leur gentillesse et leurs conseils avisés.

Toute ma reconnaissance à Arsène Stein et Stephen Yen, pour leur collaboration à la réalisation de cette étude.

Je tiens enfin à remercier, Arnaud Bertrand et Christophe Nicolas, tant pour leur aide que pour leur soutien tout au long de ce stage.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	3
1.1. Le programme ECOTAP	3
1.2. Les objectifs du travail	5
2. CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE	7
2.1. Exploitation des thonidés en Polynésie Française	7
2.1.1. Les flottilles palangrières asiatiques	7
2.1.2. La flottille palangrière polynésienne	10
2.2. Caractéristiques environnementales des eaux polynésiennes	11
2.2.1. La circulation océanique	12
2.2.2. Les paramètres physico-chimiques	13
2.2.2.1. La température	13
2.2.2.2. La salinité	14
2.2.2.3. La densité	14
2.2.2.4. L'oxygène dissous	14
2.2.2.5. Les phosphates et nitrates	14
2.2.3. Hydroclimat : la situation ENSO	15
2.3. Principales caractéristiques adaptatives des thonidés à l'environnement pélagique	17
2.3.1. La thermorégulation chez les thonidés	17
2.3.2. La vessie natatoire	19
2.4. Distribution verticale des thonidés	20
2.4.1. Influence des facteurs physico-chimiques	20
2.4.1.1. La température	20
2.4.1.2. L'oxygène	20
2.4.1.3. La salinité	21
2.4.2. Les facteurs nutritifs et les besoins alimentaires des thonidés	22
2.4.2.1. Productivité océanique de la ZEE polynésienne	22
2.4.2.2. L'alimentation des thons	22
2.5. Structure des stocks et répartition géographique	23
2.5.1. Le germon (<i>Thunnus alalunga</i>)	24
2.5.2. Le thon à nageoire jaune (<i>Thunnus albacares</i>)	25
2.5.3. Le thon obèse (<i>Thunnus obesus</i>)	25
3. LA PALANGRE : INSTRUMENTATION ET MODELISATION	27
3.1. Description de l'engin de pêche	27
3.2. L'instrumentation de la palangre	28
3.3. Modélisation de la forme de la palangre	29
3.3.1. Présentation des données	30
3.3.2. Estimation des paramètres du modèle	30
3.3.3. Généralisation du modèle au sein de l'intervalle d'observation	32

3.4. Calcul de la profondeur des captures et des mordages	33
3.4.1. Détermination des phases d'instabilité	33
3.4.2. Automatisation du calcul des profondeurs pendant la phase de stabilité	34
3.4.3. Calcul des profondeurs des hameçons pendant la descente	34
3.4.4. Calcul de la profondeur des hameçons pendant la remontée	36
3.5. Conclusion	38
4. LES DONNEES HYDROLOGIQUES	39
4.1. Matériel et méthodes	39
4.1.1. Collecte des données de l'environnement	39
4.1.2. L'Analyse en Composante Principale (ACP)	41
4.1.3. La Classification Hiérarchique Ascendante (CHA)	42
4.2. Résultats des analyses	42
4.2.1. Résultats des CHA	42
4.2.2. Résultats de l'ACP	50
4.3. Discussion	51
5. ANALYSE DES CAPTURES	53
5.1. Introduction	53
5.2. Matériel et méthodes	53
5.2.1. Acquisition des données de pêche	53
5.2.2. Calcul de l'effort de pêche	54
5.2.3. Les traitements statistiques	54
5.2.3.1. L'Analyse Factorielle Discriminante (AFD)	54
5.2.3.2. La comparaison de distribution (Kolmogorov-Smirnov)	58
5.3. Résultats	59
5.3.1. Résultats des campagnes de pêche	59
5.3.1.1. Résultats bruts	59
5.3.1.2. Résultats des captures par unité d'effort par zone hydrologique	60
5.3.1.3. Résultats des captures par unité d'effort par strates de profondeur	62
5.3.2. Résultats de l'AFD	65
5.3.2.1. Etude des variables	65
5.3.2.1. Etude des groupes et des individus	67
5.3.4. Résultats des tests de KOLMOGOROV-SMIRNOV	69
5.4. Discussion	72
5.4.1. Le germon (<i>Thunnus alalunga</i>)	72
5.4.2. Le thon à nageoire jaune (<i>Thunnus albacares</i>)	73
5.4.3. Le thon obèse (<i>Thunnus obesus</i>)	75
6. CONCLUSION	76
ANNEXES	81
Annexe 1 : Dendrogrammes des ACP	82
Annexe 2 : Détails du test de Kolmogorov-Smirnov	86
Annexes 3 : Rendements des palangriers polynésiens (94-95) dans la ZEE polynésienne	92

Introduction

1.1. LE PROGRAMME ECOTAP

En 1988, un projet de pêche industrielle est initié par le gouvernement de Polynésie Française visant l'exploitation des thonidés et plus particulièrement les populations de subsurface. Ce projet découle des observations suivantes :

- des travaux menés dans les années 80 par l'IFREMER¹, l'EVAAM² et l'ORSTOM³ ont montré que les stocks de thonidés de surface, et en particulier les stocks de bonite (*Katsuwonus pelamis*) étaient limités,
- les populations adultes de subsurface, exploitées dans la région par les asiatiques, sont devenues accessibles à des navires de taille modeste du fait de la mécanisation de la manoeuvre de la palangre dérivante,
- le contexte économique international favorise le commerce du thon au détail (en frais ou congelé) et des marchés intéressants se sont ouverts au Japon, aux Etats-Unis ou encore en Europe.

Une flottille palangrière polynésienne a donc vu le jour. La palangre s'avère être l'engin de pêche le mieux adapté pour l'exploitation des thons en profondeur. L'une des espèces cibles recherchée par ces navires est le thon obèse (*Thunnus obesus*) dont l'exportation vers le Japon est un marché privilégié.

Le développement et la maîtrise de l'engin de pêche sont le fruit d'une coopération entre pêcheurs et scientifiques. En effet, les pêcheurs polynésiens ont besoin de connaître les variations quantitatives et qualitatives de la ressource dans l'espace et le temps. Il est important pour eux de savoir où trouver leurs espèces cibles afin de répondre au mieux à la demande du marché pour rentabiliser leurs investissements.

Ainsi, un programme de recherche a été lancé conjointement entre l'EVAAM, l'IFREMER et l'ORSTOM ; ce programme est intitulé : " la distribution et le comportement des thons exploitables en subsurface de la ZEE de Polynésie Française : aide à l'aménagement de l'espace halieutique, à la mise en œuvre des stratégies de pêche et au développement durable de l'exploitation. "

¹ Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer

² Etablissement pour la Valorisation des Activités Aquacoles et Maritimes

³ Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération

Pour les principales espèces de thon étudiées, le germon (*Thunnus alalunga*), le thon à nageoire (*Thunnus albacares*) et le thon obèse (*Thunnus obesus*), ce programme devrait permettre :

1. • de connaître la répartition des poissons et d'en dresser la cartographie spatio-temporelle ; dans un premier temps dans le secteur nord-ouest de la ZEE couvrant la Société, le nord des Tuamotu et les Marquises, puis en utilisant les résultats de pêche des professionnels, d'extrapoler à l'ensemble de la zone ;
2. • de comprendre le comportement des différentes espèces vis-à-vis de l'environnement afin de définir pour chacune d'elles des valeurs préférentielles des paramètres physico-chimiques (température, salinité et oxygène dissous), ainsi que les facteurs susceptibles d'entraîner des variations de leur abondance ;
3. • de préciser la structure verticale des masses d'eau et ainsi déterminer la distribution bathymétrique des espèces sur les principales zones ;
4. • de connaître le comportement du poisson face à l'engin et de l'engin dans les conditions de son utilisation ;
5. • de mieux appréhender le déterminisme de l'agrégation des poissons face aux structures agrégatives, naturelles ou artificielles.

Ce programme qui prévoit la réalisation de campagnes à la mer (150 jours par an pendant deux ans) a obtenu une aide financière du gouvernement de Polynésie pour l'équipement et le fonctionnement du navire de l'ORSTOM "Alis" pour la durée de l'étude. Ces campagnes dont le prologue a été mené à bien en juillet/août 1993, peuvent être classées en deux catégories :

- des campagnes de "distribution" au cours desquelles sont effectuées des pêches à l'aide de palangres instrumentées, des sondages en écho-intégration et des relevés des principaux paramètres physico-chimiques. Ces observations permettront de préciser la répartition des différentes espèces et les préférences environnementales de chacune d'elles ,
- des campagnes "comportement" qui permettront, à partir d'écho-intégration, de marquages acoustiques, de DCP (Dispositifs de Concentration de Poissons) instrumentés, de relevés hydrologiques et de prélèvements biologiques, de mieux appréhender le déterminisme de l'agrégation des poissons et sa relation avec les différentes composantes de l'environnement.

1.2. LES OBJECTIFS DU TRAVAIL

Le programme ECOTAP a débuté en 1994 et sera achevé en 1998. Les campagnes à la mer, et donc l'acquisition de données à la mer, s'achèveront en septembre 1997. A l'heure actuelle 3 campagnes de pêche (ECOTAP 1, ECOTAP 2, ECOTAP 5) ont été effectuées, en juillet et août 1995 et en janvier et février 1996. Les données de pêche récoltées, ainsi que des relevés hydrologiques, permettent d'effectuer des analyses préliminaires.

Ce travail s'inscrit dans le cadre des actions 1, 2 et 3 du programme ECOTAP citées ci-dessus. L'objet de cette étude est l'analyse des premiers résultats de pêche et des données hydrologiques de chaque station d'échantillonnage. Les résultats devraient tout d'abord permettre d'approfondir les connaissances en matière de distribution spatio-temporelle, horizontale et verticale, dans la ZEE polynésienne, des 3 espèces de thonidés les plus intéressantes commercialement : le germon, *Thunnus alalunga*, le thon à nageoire jaune, *Thunnus albacares*, et le thon obèse, *Thunnus obesus*. Les données de pêche des palangriers polynésiens serviront de support pour l'étude de la distribution géographique, car, en effet, les résultats des campagnes ECOTAP ne pourront couvrir toute la ZEE.

Les relevés hydrologiques doivent permettre de caractériser différentes masses d'eau au sein de la ZEE ; ces masses d'eau doivent influencer la distribution des différentes espèces.

Cette caractérisation étant faite, il serait souhaitable d'établir des liens entre les paramètres environnementaux et l'abondance des différentes espèces. Si l'on définit des zones fréquentation préférentielle, il faut arriver à les expliquer avec certains caractères de l'environnement ; autrement dit, définir des *préférendum* en fonction des paramètres hydrologiques pour chacune des 3 espèces de thon. Ainsi, la répercussion de toute variation hydrologique sur les captures devrait être appréhendable.

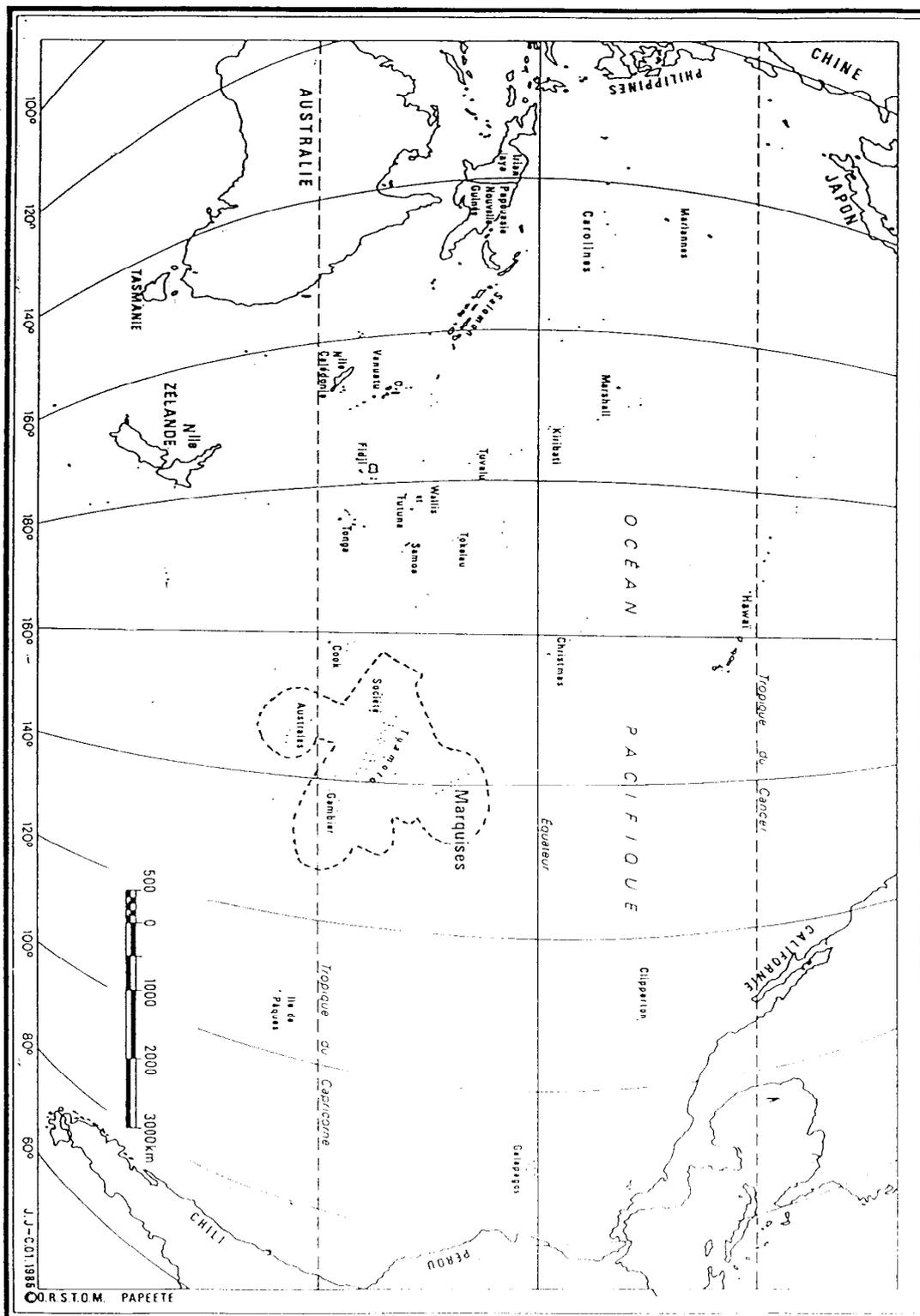


Figure 1 A : La ZEE polynésienne au sein du Pacifique.

2. Contexte général de l'étude

2.1. EXPLOITATION DES THONIDES EN POLYNESIE FRANÇAISE

La Zone Economique Exclusive (ZEE) polynésienne est connue comme l'une des plus grandes du Pacifique Sud avec 5,5 millions de km² (fig. 1 A et B). Elle englobe des eaux tropicales chaudes, biologiquement assez peu productives. La partie la plus riche se situe au nord, car c'est la plus proche de l'upwelling équatorial. La productivité planctonique est donc modérée et la productivité en thon *a priori* également.

2.1.1. Les flottilles palangrières asiatiques

Avant l'instauration d'une Zone Economique Exclusive en Polynésie Française, essentiellement 3 flottilles de palangriers exploitaient les thonidés de subsurface dans la région : la Corée du Sud, le Japon et Taïwan. Depuis l'instauration d'une ZEE, seuls les Coréens et les Japonais ont continué à exercer leurs activités, au terme d'accords de pêche annuels signés avec la France. Tout palangrier exerçant dans la ZEE est tenu de signaler aux autorités territoriales ses zones de pêche et ses captures grâce à une diffusion d'avis-pêche et de fiches de pêche. Les premiers sont transmis régulièrement par les capitaines en temps réel et les seconds sont envoyés par les armements une fois que le navire a rejoint son port d'attache.

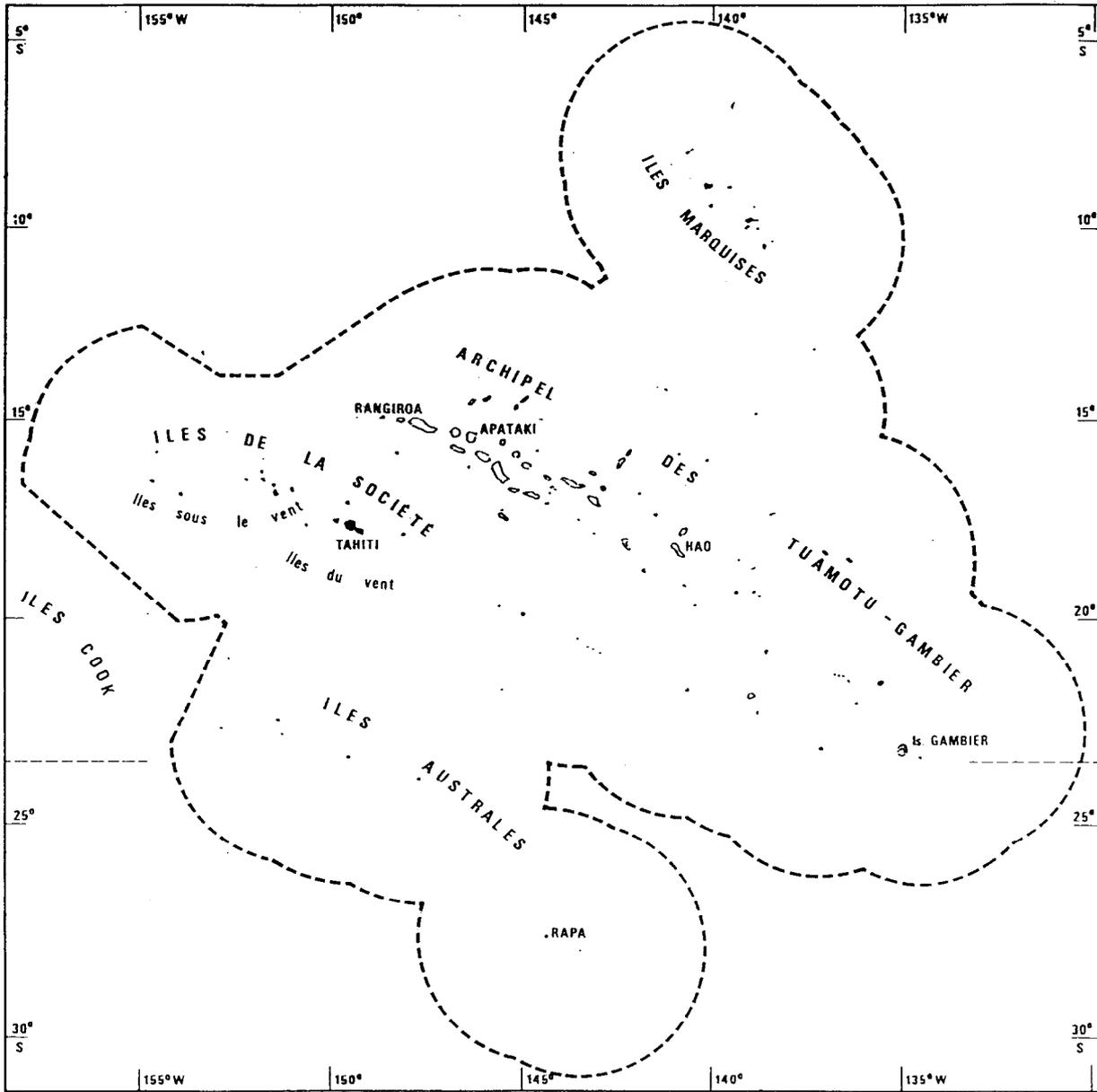
A l'aide des renseignements fournis par les armements depuis 1984, un suivi des pêches a pu être réalisé par l'ORSTOM. Ces données ont fait l'objet de certains travaux (Chabanne *et al.*, 1993 ; Thiriez, 1995).

Les flottilles japonaises n'ont concentré leur effort qu'au nord est des Marquises, au-dessus de 13°S de latitude. Les Coréens ont exercé dans l'ensemble de la ZEE, mais avec un effort de pêche maximal dans cette même zone (fig. 2 et 3). L'étude des captures de ces flottilles permet de distinguer deux grandes zones dans la ZEE :

- une zone au nord de 13°S où les palangriers capturent essentiellement du thon obèse (*Thunnus obesus*) et du thon à nageoire jaune (*Thunnus albacares*) ;
- une zone au sud de 16°S où le germon (*Thunnus alalunga*) est dominant et où le thon obèse disparaît presque entièrement des captures.

Les palangriers japonais ont concentré leurs efforts sur le thon obèse, espèce cible très recherchée par les consommateurs asiatiques. Le nord de la ZEE est en fait intégré dans une vaste zone d'exploitation du thon obèse, qui occupe toute la partie équatoriale du Pacifique (fig. 4). Depuis 1992 les Japonais ont quitté les eaux polynésiennes.

Les Coréens quant à eux ont peu à peu détourné leurs activités de l'exploitation du germon. Dès le début des années 90, ils se sont concentré sur la zone nord des Marquises, jusqu'alors exploitée par les Japonais.



D.R.S.T.O.M. PAPEETE. 10. 81.

Figure 1 B : La Polynésie Française et ses archipels.

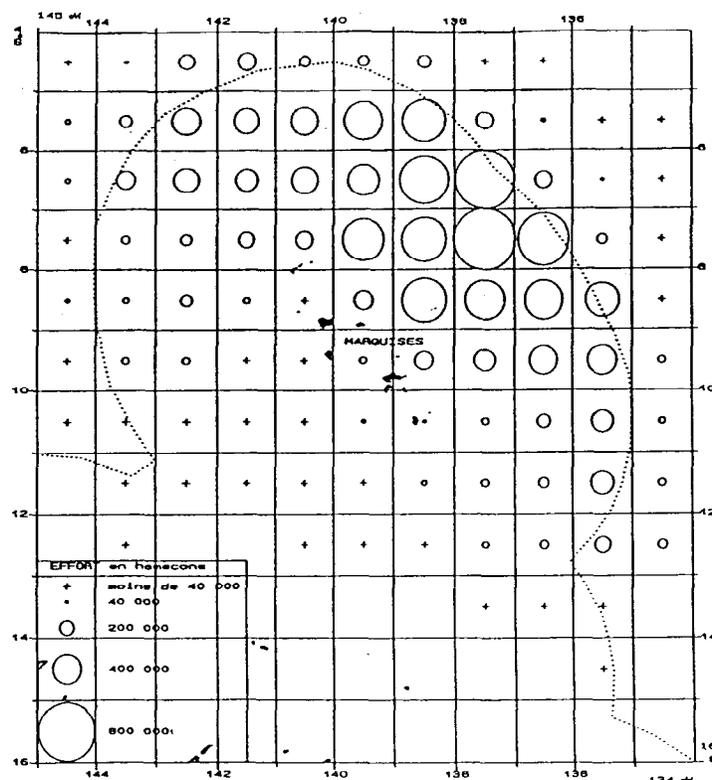


Figure 2 : Répartition géographique de l'effort de pêche des palangriers japonais durant la période 1984-1992 (d'après Chabanne *et al.*, 1993).

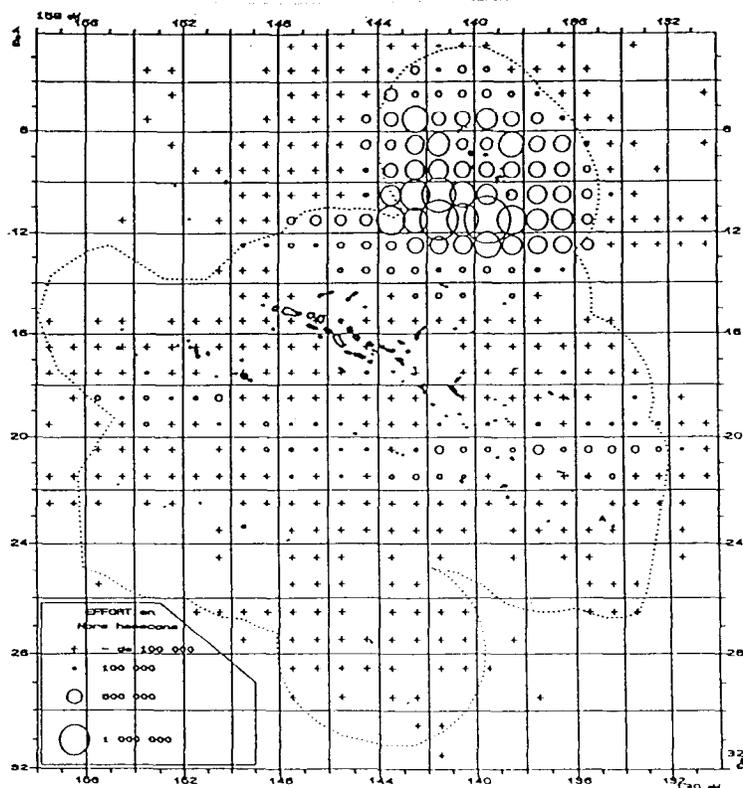


Figure 3 : Répartition géographique de l'effort de pêche des palangriers coréens durant la période 1984-1992 (d'après Chabanne

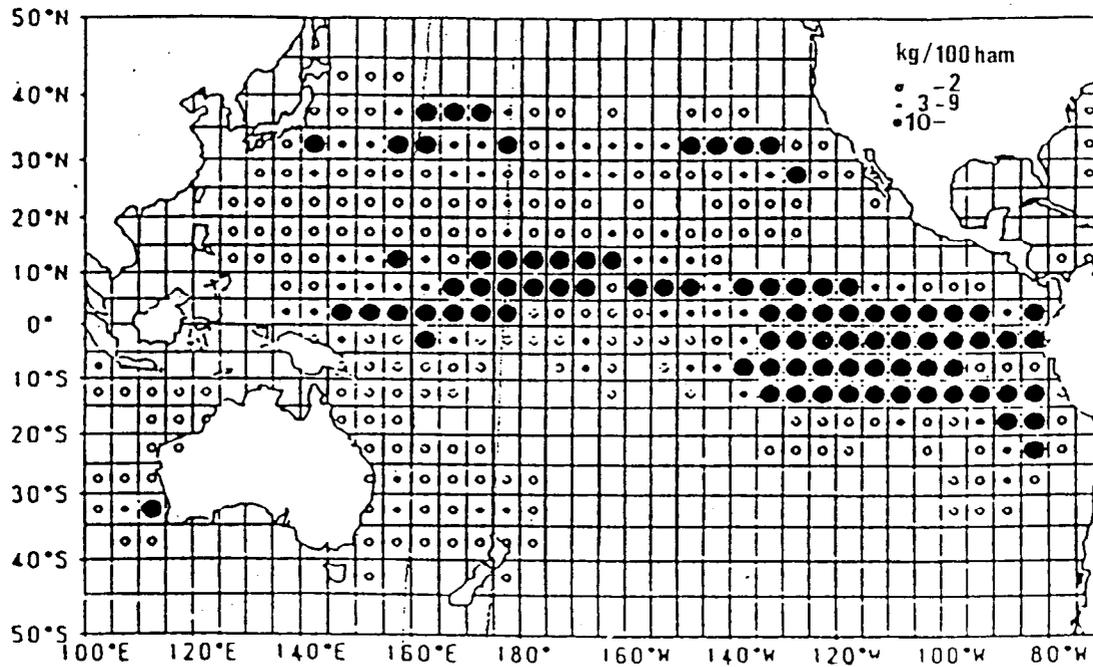


Figure 4 : Distribution des captures de thon obèse des palangriers japonais dans le Pacifique en 1987 (d'après Miyabe, 1994).

2.1.2. La flottille palangrière polynésienne

La flottille palangrière polynésienne n'exerce ses activités que depuis 1990. Cette pêche est en plein essor et au fil des années de plus en plus de palangriers sont armés. Alors qu'en 1994 la flottille comprenait 55 unités, en janvier 1996 on dénombre 71 navires (Anonyme, 1994) :

- 27 bonitiers palangriers,
- 8 thoniers de proximité,
- 27 thoniers de "pêche fraîche",
- 9 thoniers congélateurs.

Les bonitiers sont des navires qui pratiquaient la pêche traditionnelle de thonidés de surface et qui petit à petit se sont équipés pour faire de la palangre monofilament leur activité principale. Leur nombre n'a pas évolué depuis quelques années, puisqu'on en comptait 31 en 1994. Ce sont des embarcations de moins de 13 mètres qui effectuent des marées de 2 à 5 jours.

Les thoniers de pêche fraîche et de proximité sont des embarcations de construction beaucoup plus récente. Cette partie de la flottille est en plein essor. En 1994 seulement 18 navires étaient recensés et 35 au début de l'année 1996. La construction de ces navires fait l'objet d'une loi de défiscalisation qui rentre dans le cadre de la politique de développement de la pêche palangrière. Ces unités ont, pour la plupart, une autonomie relativement limitée (navire de moins de 16 mètres) qui ne leur permet que de rester 5 à 10 jours en mer.

Les thoniers congélateurs sont des navires de 20 à 25 mètres, à large rayon d'action, qui ont une capacité de stockage de l'ordre de 40 tonnes. Ils parcourent toute la ZEE et pratiquent durant l'été austral la pêche du germon à la traîne dans la zone de convergence subtropicale centrée autour de 40°S.

La production de la flottille s'est élevée à près de 3000 tonnes de thons en 1994 (derniers chiffres disponibles), parmi lesquelles 300 tonnes représentent les captures en germon de surface effectuées par les navires de 25 mètres. Ces chiffres ne représentent pas le potentiel de la flotte et ceci pour plusieurs raisons : l'effort de pêche n'est pas constant tout au long de l'année, car les bateaux peuvent avoir d'autres activités en dehors de la pêche ; de plus le recrutement de patrons et de matelots est souvent difficile.

A ces 3000 tonnes de thons pêchés par la flottille palangrière il convient d'ajouter :

- 1000 tonnes de bonites capturées par les bonitiers traditionnels,
- environ 200 tonnes pris par de plus petits navires aux activités polyvalentes qui pratiquent notamment la palangre verticale aux abords des DCP.

La production annuelle totale en thonidés pour les flottilles locales est actuellement de l'ordre de 4200 tonnes.

2.2. CARACTERISTIQUES ENVIRONNEMENTALES DES EAUX POLYNESEIENNES

De nombreuses études d'océanographie ont été réalisées sur la bande équatoriale de l'océan Pacifique, ce qui ne concerne que peu la zone océanique polynésienne. L'ORSTOM a cependant effectué quelques campagnes océanographiques dans la zone centrale du Pacifique sud (Rancher et Rougerie, 1993) qui concerne la ZEE polynésienne.

2.2.1. La circulation océanique

La bande équatoriale est caractérisée par 3 grands flux océaniques (fig. 5) :

- un Courant Equatorial Nord (CEN), au-dessus de 10°N , qui est créé par les alizés du nord-est, et qui a un flux ouest ;
- un Courant Equatorial Sud (CES), en-dessous de 5°S , qui est créé par les alizés du sud-est, et qui a lui aussi un flux ouest ;
- un Courant Equatorial, situé entre les deux flux précédents, et qui est la résultante du retour des eaux accumulées vers l'ouest.

A l'équateur, l'effet de ces courants, associé à la force de Coriolis, provoque une remontée d'eaux froides (upwelling), enrichies en phosphates et nitrates, permettant un enrichissement de la zone euphotique. Ces eaux froides remontent de l'équateur jusqu'à la limite sud du contre-courant. Une coupe méridienne met clairement en évidence une remontée des isothermes vers l'équateur et plus particulièrement entre 2°S et 5°N (fig. 6).

Notons également la présence d'un grand gyre à l'ouest de Tahiti, entre 10°S et 30°S , engendrée par les courants du Pacifique sud et le courant équatorial sud.

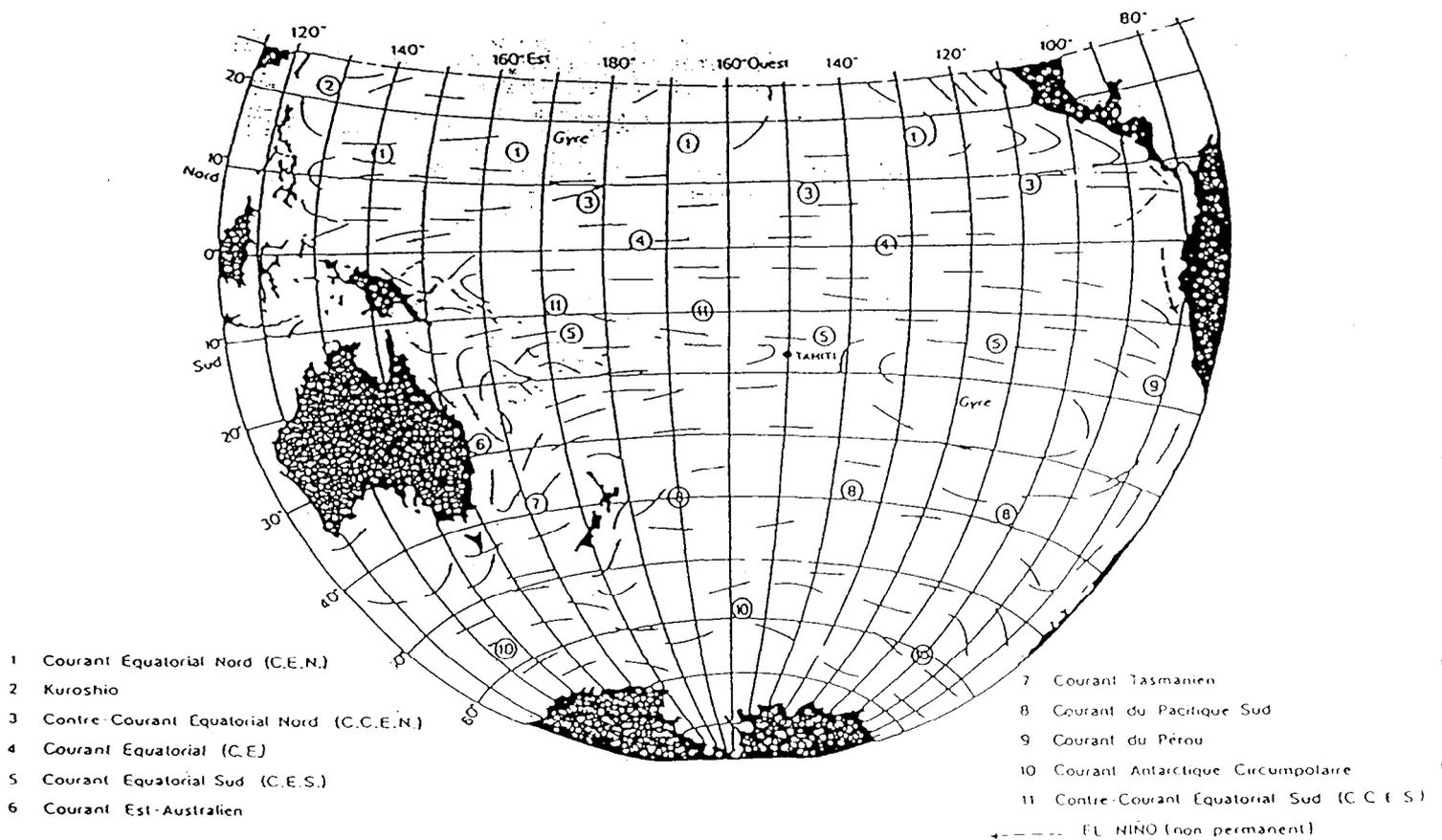


Figure 5 : Courants océaniques de surface dans le Pacifique équatorial sud (d'après Rancher et Rougerie, 1993).

2.2.2. Les paramètres physico-chimiques

2.2.2.1. La température

La température des eaux superficielles océaniques de la Polynésie est en général, et sur toute la ZEE, supérieure à 25°C. Cette température peut atteindre 28°C en été austral. Au delà de 20°S; il y a une baisse de 1°C tous les degrés de latitude, ce qui caractérise les frontières entre les zones tropicales et subtropicales.

Dans les 100 premiers mètres, la température est relativement constante sur l'ensemble de la zone. Plus on se rapproche de l'équateur et plus les gradients de température sont importants dans la tranche d'eau 100-500 mètres. Le nord de la ZEE (entre 5°S et 8°S) est caractérisé par une thermocline à faible profondeur, située entre 100 et 200 mètres. Plus on descend vers le sud, plus on observe une plongée de cette thermocline (fig. 6). Autour de la Société, la thermocline est quasiment inexistante et la baisse de température jusqu'à 500 mètres est régulière.

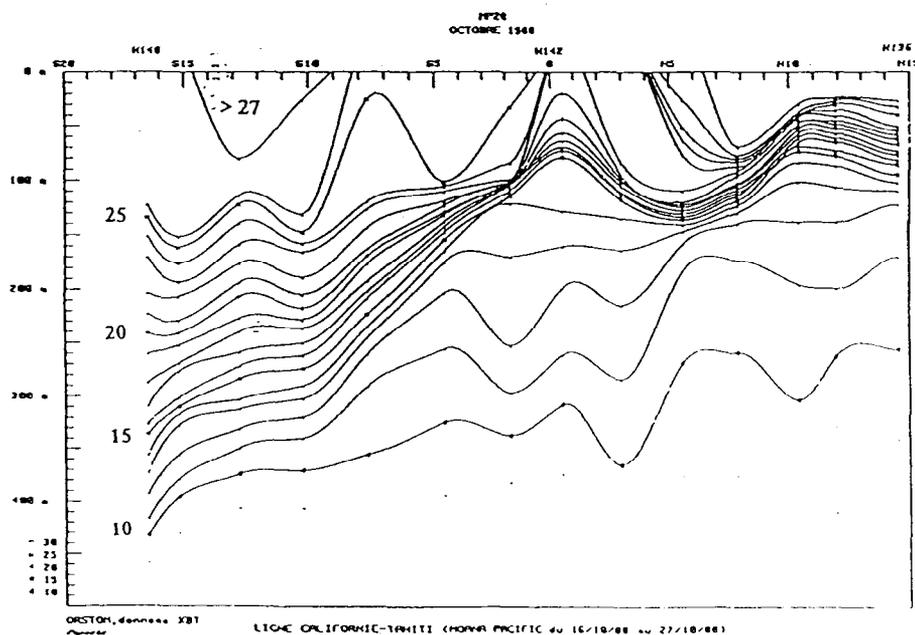


Figure 6 : Profils de température de 20°S à 15°N selon une ligne Californie-Tahiti (d'après Rancher et Rougerie, 1993).

2.2.2.2. *La salinité*

Entre 7°S et 25°S, la salinité de surface est en général supérieure à 35.6 g/kg. Entre 10°S et 20°S, à l'est des Tuamotu (17°S environ et 140°W), on observe une poche d'eau à salinité élevée (36.2 g/kg à 36.5 g/kg) située entre 50 mètres et 200 mètres de profondeur ; elle correspond à l'Eau Tropicale Sud (ETS) formée dans une zone où l'évaporation est beaucoup plus importante que les précipitations. Ce sont les eaux les plus salées du Pacifique. Ces eaux denses plongent au fur et à mesure de leur formation. Cette poche se déforme en s'allongeant vers l'équateur entre 100 et 200 mètres en raison de l'aspiration des eaux subsuperficielles sous l'effet de l'upwelling équatorial.

2.2.2.3. *La densité*

La zone océanique tropicale est stratifiée, avec des gradients verticaux contrôlés par la température. La couche de mélange apparaît homogène avec une densité égale ou inférieure à 1025 g/l ; ceci traduit le fait que les eaux tropicales de surface flottent sur un système subsuperficiel thermorégulé. La pycnocline est située entre 100 et 400 mètres de profondeur. En-dessous de 500 mètres, on retrouve les eaux froides de l'Antarctique qui remontent vers le nord.

2.2.2.4. *L'oxygène dissous*

Jusqu'à 100 mètres de profondeur, les eaux de la ZEE sont relativement bien oxygénées, puisque le taux d'oxygène dissous est supérieur à 3.5 ml/l. Les eaux de la Société conservent un taux supérieur ou égal à 3 ml/l jusqu'à 500 mètres de fond. Vers le nord et les Marquises, le taux d'oxygène varie énormément avec la profondeur. Une oxycline apparaît au nord des Tuamotu et remonte petit à petit jusqu'au nord des Marquises. Au nord de 7°S le taux d'oxygène est inférieur à 1 ml/l à partir d'une profondeur de 200 mètres. Ceci caractérise une importante consommation par des réactions d'oxydation/reminéralisation, conséquence d'une production primaire plus importante.

2.2.2.5. *Les phosphates et nitrates*

Au sud de 15°S, les teneurs en phosphates et nitrates de la couche euphotique sont de l'ordre de 0.1 mmol/m³ qui représente une des valeurs les plus faibles enregistrées dans les océans mondiaux. Au nord de 10°S, l'influence de l'upwelling équatorial semble significative. Les teneurs de surface en phosphates et nitrates sont respectivement de l'ordre de 0.2 à 0.5 mmol/m³. Sur le plan vertical on note un resserrement des isoplèthes. Ainsi, les eaux salées entre 15°S et 25°S avec des valeurs très faibles en phosphates et nitrates sont caractéristiques de l'ETS. Au nord de 13°S, les eaux correspondraient à un contre-courant est ou à une extension sud des eaux de l'upwelling équatorial.

2.2.3. Hydroclimat : la situation ENSO

Si la zone centrale du Pacifique sud donne l'impression d'une forte homogénéité hydroclimatique à une échelle temporelle faible (< 1 an), en revanche, elle est le théâtre de fortes variations inter-annuelles qui altèrent profondément l'équilibre décrit ci-dessus. La mieux connue de ces variations résulte de l'anomalie ENSO (El Nino Southern Oscillation) :

- les hautes pressions subtropicales de l'anticyclone de l'île de Pâques s'effondrent,
- les alizés du sud-est s'affaiblissent,
- l'upwelling équatorial disparaît,
- le Pacifique oriental se réchauffe,
- la ZCPS (Zone Centrale du Pacifique Sud) migre vers l'est,
- les basses pressions s'installent dans le Pacifique central.

On note dans ce cas une extension des eaux oligotrophes de l'ETS au nord de 13°S avec une forte élévation des températures de surface (jusqu'à 7°C au-dessus de la normale saisonnière (Rancher et Rougerie, 1993)) (fig. 7 et 8).

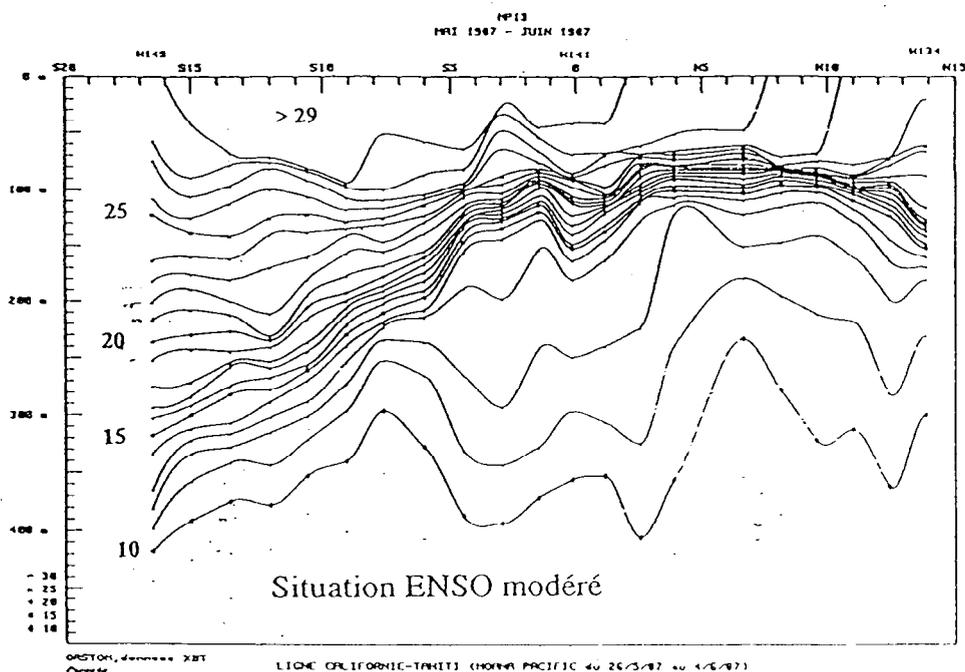


Figure 7 : Profils de température de 20°S à 15°N selon une ligne Californie-Tahiti en situation ENSO (d'après Rancher et Rougerie, 1993).

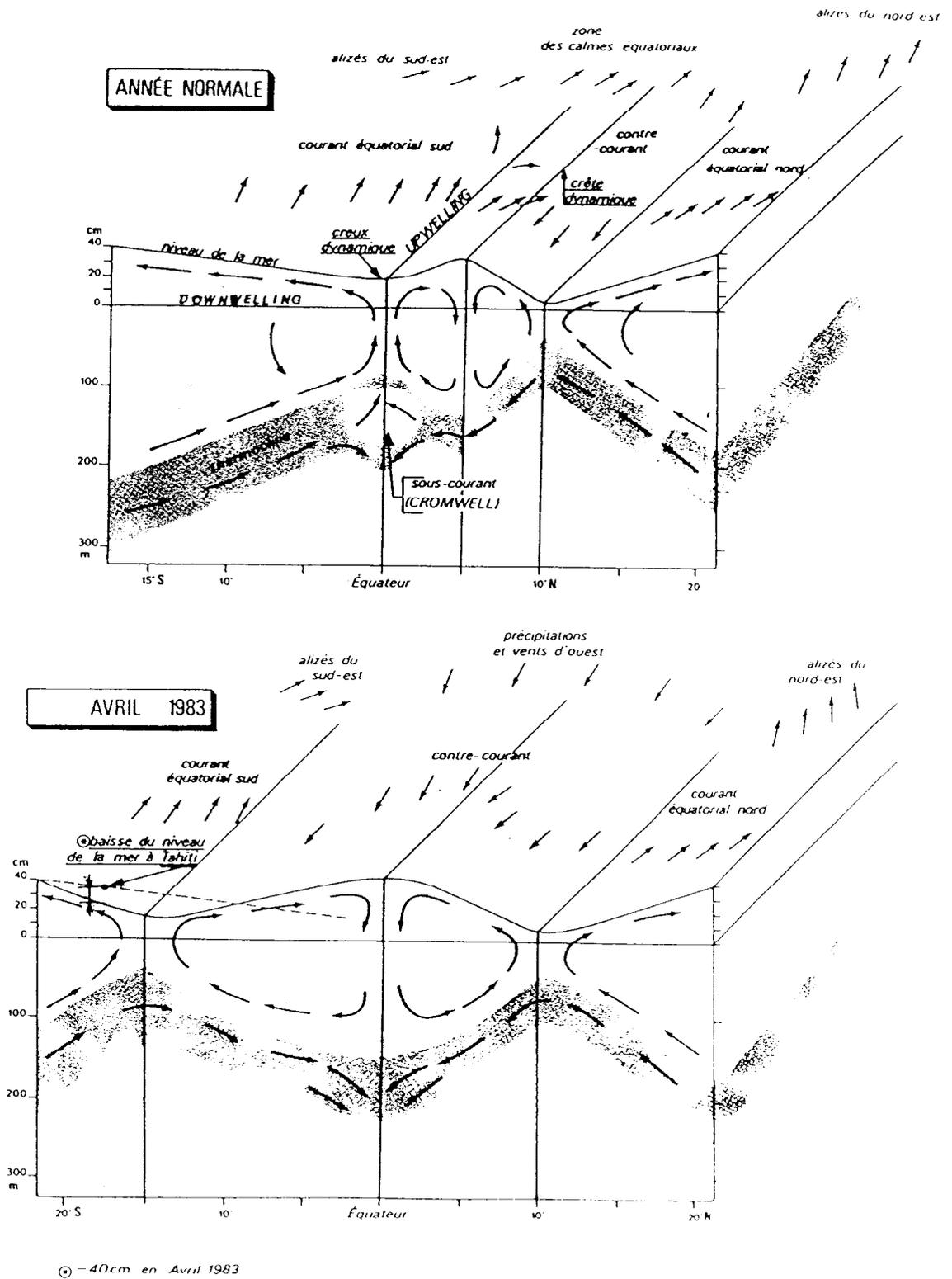


Figure 8 : Comparaison de l'hydro-climat dans la bande intertropicale de l'Océan Pacifique en situation dite normale et en situation ENSO (d'après Rancher et Rougerie, 1993).

2.3. PRINCIPALES CARACTERISTIQUES ADAPTATIVES DES THONIDES A L'ENVIRONNEMENT PELAGIQUE

Afin de mieux comprendre la distribution des thons dans leur environnement, il est important de connaître quelques aspects particuliers de leur physiologie. Les thons ont développé certaines caractéristiques adaptatives physiologiques afin de survivre dans un environnement souvent hostile. Ces caractéristiques qui diffèrent suivant les espèces, influent sur leurs distributions spatio-temporelles, horizontale et verticale. Les plus importantes d'entre elles concernent la thermorégulation et la vessie natatoire.

2.3.1. La thermorégulation chez les thonidés

Il est un paradoxe apparent inhérent au comportement des thonidés : ils sont considérés comme sténothermes et pourtant semblent capables de réguler leur chaleur interne. Ils sont souvent obligés de plonger profondément pour chasser, comme le révèlent les captures palangrières. Les eaux profondes ont parfois de faibles taux d'oxygène et des températures relativement basses. Ces deux facteurs qui sont limitants pour les répartitions verticales de nombreuses espèces de poissons, sembleraient l'être beaucoup moins pour les thonidés (Brill, 1994).

Les Scombridae sont sensibles aux variations thermiques du milieu dans lequel ils évoluent. Ils semblent s'adapter très vite aux changements de température. Cependant la nage et leurs activités ne paraissent pas affectées par de telles variations de l'environnement.

Tous les poissons osseux à l'exception des thonidés perdent leur chaleur interne durant la respiration à travers les branchies et la surface du corps. Or, depuis très longtemps, on a remarqué que les thons pêchés avaient une température interne supérieure à celle du milieu dans lequel ils vivaient. Les thons sont en effet capables de conserver une partie de la chaleur produite par leur métabolisme ; ils sont même capables de réguler leur température interne en fonction de la température du milieu ambiant et en fonction de leurs activités, d'où le terme de thermorégulation.

Diverses expériences (Dizon, 1977 ; Holland *et al.*, 1992 ; Dewar et Brill, 1994) ont montré que de brusques variations de la température du milieu extérieur n'entraînaient pas de variations aussi brutales et soudaines de la température interne de l'animal. Il y a un temps de latence qualifié d'inertie thermique. Cette inertie correspond à une régulation par les échangeurs de chaleur. Les thons possèdent un système vasculaire à contre-courant (échangeur de chaleur) qui permet de conserver une partie de la chaleur du métabolisme. Ce système a un effet tampon lorsque la température de l'eau baisse ; ainsi, la température interne varie beaucoup moins brutalement que la température extérieure.

Mais il existe d'autres mécanismes thermorégulateurs chez certains thonidés et en particulier des mécanismes de dissipation de la chaleur interne :

- élimination de la chaleur par les branchies,
- élimination de la chaleur par la surface du corps (la dissipation de chaleur peut être liée à la vitesse de nage ; plus la vitesse est élevée, plus la perte de chaleur à la surface du corps est importante. Il peut y avoir compensation avec la production de chaleur),
- élimination de la chaleur par augmentation du flux sanguin (le débit du sang circulant dans les branchies et dans les échangeurs de chaleur est plus important, augmentant ainsi les pertes thermiques. Réciproquement, une baisse du flux sanguin dans les vaisseaux ralentit les pertes thermiques et permet ainsi la conservation de chaleur lors de plongées brèves dans les eaux froides),
- utilisation différente des muscles rouges et des muscles blancs (les muscles blancs sont utilisés quand la température ambiante est élevée ou quand le thon se déplace à des vitesses importantes, car ils permettent un meilleur transfert de chaleur que les muscles rouges. Dans ce cas, la vascularisation est détournée des échangeurs de chaleur et orientée vers les branchies et la surface du corps qui éliminent rapidement les excédents de chaleur).

De nombreux auteurs ont montré que la bonite, *Katsuwonus pelamis*, et le thon à nageoire jaune, *Thunnus albacares*, n'étaient pas prisonniers de leurs mécanismes de thermorégulation (Brill, 1978 ; Dizon *et al.*, 1978 ; Dizon et Brill, 1979). Ils sont capables d'établir un équilibre entre la conservation et la dissipation de chaleur en fonction de leurs activités.

Des études chez le thon à nageoire jaune laissent supposer que celui-ci pourrait réguler le fonctionnement de ses vaisseaux échangeurs de chaleur. Les avantages conférés par l'inertie thermique sont importants quand le thon effectue des plongées en profondeur. Cela permet de maintenir pendant quelques temps la chaleur du corps quand l'animal passe sous la thermocline, et permet de retarder le gain de chaleur lors de la remontée ainsi que la réduction du taux de chaleur musculaire. Le thon à nageoire jaune évolue dans les eaux superficielles, voire au sommet de la thermocline, et ne fait que de brèves incursions dans les eaux plus froides (Cayre et Marsac, 1993).

Le thon obèse, *Thunnus obesus*, semblerait préférer des eaux froides, sous la thermocline, et ne ferait que de brèves remontées dans des eaux plus chaudes (Hanamoto, 1987 ; Holland *et al.*, 1992 ; Brill, 1994). Ce phénomène est expliqué par un besoin de se réchauffer, donc en quelque sorte de faire le "plein de chaleur", avant de replonger dans les eaux froides où les proies sont souvent plus abondantes en journée. Il y aurait donc une différence de thermorégulation chez les espèces. Holland (1992) montre que les plongées des thons obèses dans les eaux froides entraînent une réponse physiologique particulière : le flux sanguin devient important dans les artères latérales et vers les échangeurs de chaleur ; il minimise ainsi ses pertes thermiques. Lorsque sa température interne atteint un seuil minimum, il remonte et se réchauffe rapidement.

La thermorégulation peut faire appel à un mécanisme de court-circuit comme il a été montré chez le thon rouge, *Thunnus thynnus* (Funakoshi *et al.*, 1983). Deux voies pour le sang artériel ont été mises en évidence :

- des artères latérales aux échangeurs de chaleur pour conserver la chaleur interne,
- des branchies aux artères viscérales pour le refroidissement, car les échanges sont plus directs avec le milieu ambiant.

Ce mécanisme de court-circuit pourrait fonctionner dans les deux sens.

2.3.2. La vessie natatoire

Certains thons développent plus ou moins rapidement une vessie natatoire. Les thonidés ont un équilibre hydrostatique négatif. La bonite qui ne possède pas de vessie est constamment obligée de nager pour ne pas couler. Le thon à nageoire jaune, le thon obèse et le germon, au contraire, possèdent une vessie natatoire. De plus ces derniers disposent de nageoires pectorales bien développées, ce qui ne les oblige pas à nager aussi intensément pour maintenir un équilibre hydrostatique. Cette vessie leur permet d'avoir une flottabilité nulle pour pouvoir chasser en profondeur, et une flottabilité positive pour remonter.

Le développement de cette vessie natatoire est en général croissant avec l'âge de l'animal et semblerait être lié également au comportement des animaux. Ainsi, Pereira (1995) montre un développement différent chez deux groupes de jeunes thons obèses. Les premiers associés à un banc de bonites ont adopté le même comportement de chasse en surface et ont très peu développé leur vessie natatoire. Les deuxièmes, évoluant en banc monospécifique, ont adopté un comportement de chasse en profondeur et ont développé leur vessie natatoire. Ce même phénomène a été observé lors des missions ECOTAP (Bard *et al.*, 1996). De jeunes thons obèses pêchés sous une bouée ancrée au large avaient tous développé une vessie natatoire (fig. 9). Ceci pourrait être expliqué par la pauvreté en nourriture des eaux de surface et donc la nécessité pour eux de plonger en profondeur pour pouvoir se nourrir.

Il existe des différences physiologiques dans la vessie natatoire des 3 espèces de thons concernées (Bard *et al.*, 1996) :

- le thon obèse possède une grande vessie qui semble assez résistante pour pouvoir supporter de grandes variations de pression,
- le germon en possède une plus petite et plus fragile qui éclate presque toujours dans les derniers mètres lorsqu'il est remonté à la surface,
- le thon à nageoire jaune possède la vessie natatoire la plus petite, mais elle semble assez peu fragile.

Ces différences physiologiques pourraient expliquer des différences de comportement et de distribution verticale de ces 3 espèces.

2.4. DISTRIBUTION VERTICALE DES THONIDES

2.4.1. Influence des facteurs physico-chimiques

2.4.1.1. La température

Les thons sont sensibles aux changements de température bien qu'ils soient capables de thermorégulation, comme cela a été décrit précédemment.

De nombreuses études effectuées sur la bonite montrent que la température agit sur son comportement. La bonite est un poisson à forte activité métabolique, en "course perpétuelle contre l'environnement" (Barkley *et al.*, 1978) pour se nourrir dans des milieux souvent pauvres. Ses activités sont à l'origine d'une importante production d'énergie thermique, qui peut, soit être conservée par les systèmes échangeurs de chaleur, soit être dissipée par les branchies et par la surface du corps (référence à la conductivité). Un excès important de chaleur, qui pourrait entraîner une surchauffe de l'animal, conduirait la bonite à effectuer des plongées profondes et rapides sous la thermocline et à court-circuiter ses échangeurs de chaleur. Ce comportement est souvent observé sur les autres thonidés lors de marquages acoustiques et est qualifié de comportement en ascenseur.

La compilation de statistiques de pêche, recoupée avec des données hydrologiques en bassin ont permis la définition de *préférendum* thermiques pour les principaux thonidés (Sharp et Pirages, 1978) :

- entre 14 et 18°C pour *Thunnus alalunga*,
- entre 23 et 32°C pour *Thunnus albacares*,
- entre 11 et 15°C pour *Thunnus obesus*.

La température influence la distribution verticale des thonidés, et peut dans certains cas s'avérer être un facteur limitant. De très faibles températures doivent affecter le métabolisme, mais si les thons ne sont pas trouvés au delà de certaines profondeurs, on peut supposer que c'est surtout par manque d'oxygène. Après près de trente ans de recherche sur la physiologie des thonidés, les effets isolés et conjugués de facteurs limitant la distribution verticale de thonidés sont mal connus. Ceci reste une voie de recherche d'actualité (Brill, 1994).

2.4.1.2. L'oxygène

De nombreuses études ont été faites sur les besoins en oxygène des thonidés. L'espèce la plus étudiée a sans doute été la bonite. Il s'avère que celle-ci a des besoins importants, mais certains éléments de sa physiologie ne permettent pas de la comparer aux trois espèces qui nous intéressent. En effet, cette dernière ne possède pas de vessie natatoire et est dotée de petites nageoires caudales qui lui confèrent un équilibre hydrodynamique négatif. La bonite a

besoin de beaucoup nager et a donc une activité métabolique importante. Ses besoins en oxygène sont de surcroît relativement élevés.

Dizon (1977), au travers d'expériences en bassins, a montré que les réactions de la bonite et du thon à nageoire jaune différaient en situation d'hypoxie. La vitesse de nage de la bonite est inversement proportionnelle à la concentration en oxygène du milieu. Le thon à nageoire jaune, au contraire, ne semble pas affecté par ces variations, son seuil de tolérance est très inférieur à celui de la bonite.

Certains auteurs ont mis en évidence une réaction adaptative du thon dans un milieu ambiant pauvre en oxygène (Bushnell et Brill, 1992). Les thons semblent baisser leur rythme cardiaque afin que l'hémoglobine séjourne plus longtemps dans les branchies. Les thons ont en effet de grandes capacités d'échange à travers les branchies, qui sont beaucoup plus allongées et larges que celles des autres téléostéens (Brill, 1994). De plus, l'hypothèse de réserves d'oxygène dans les veines est également retenue (Bushnell et Brill, 1991). Ces réserves permettraient en particulier au thon obèse de fréquenter des eaux très pauvres en oxygène avec des seuils inférieurs à 1 ml/l.

Si les thonidés ont des besoins élevés en oxygène, ils ont des seuils de tolérance différents les uns des autres (Sharp et Dizon, 1978) :

- <i>Thunnus alalunga</i>	de 50 cm	1.6 ml/l
	de 75 cm	1.4 ml/l
- <i>Thunnus albacares</i>	de 50 cm	1.5 ml/l
	de 75 cm	2.3 ml/l
- <i>Thunnus obesus</i>	de 50 cm	0.5 ml/l
	de 75 cm	0.6 ml/l

Ces valeurs ne sont que des extrapolations de calculs hydrodynamiques (Magnuson, 1973) et de bilans énergétiques supportés par quelques observations en bassins. Elles ne reflètent absolument pas les *préférences* rencontrés dans le milieu naturel. Ce ne sont que des valeurs critiques considérées comme létales. La distribution verticale des thonidés semble en partie liée à cette variable. Le germon et le thon à nageoire jaune qui sont les plus demandeurs se répartissent moins profondément que le thon obèse qui semble mieux tolérer de faibles concentrations en oxygène dissous.

2.4.1.3. La salinité

La salinité n'a jamais été un facteur véritablement pris en compte dans la distribution verticale des thonidés. La salinité ne semblerait pas déterminer la distribution des thons (Sund *et al.*, 1981) ; ce serait plus un indicateur de l'origine des masses d'eau.

2.4.2. Les facteurs nutritifs et les besoins alimentaires des thonidés

2.4.2.1. Productivité océanique de la ZEE polynésienne

La productivité des eaux est estimée par la teneur en chlorophylle, qui donne une estimation de la biomasse phytoplanctonique et donc de la productivité primaire du milieu. Ainsi, la ZEE polynésienne peut être découpée en deux parties (Chabanne, 1988) :

- au nord de 10°S, où la production primaire est maximale,
- le reste de la ZEE, où la productivité est plus faible et décroît avec la latitude.

La région nord est sous l'influence de l'upwelling équatorial qui enrichit les eaux superficielles en sels nutritifs et entraîne une forte productivité. Cette observation rejoint les mesures des taux en oxygène. L'oxycline est relativement élevée dans cette région, en raison d'une intense activité oxydatrice dans les eaux superficielles.

Le reste de la ZEE est très oligotrophe et aucun enrichissement localisé n'y a été encore détecté.

La présence d'île est également un facteur d'enrichissement par les apports terrigènes. Mais cela est supposé très localisé ; l'écosystème récifal court-circuite le niveau trophique primaire, ce qui concentre la production sur une bande relativement étroite (Chabanne, 1988).

Au large, des structures particulières favorisent la concentration de poissons pélagiques :

- Les fronts, qui sont d'origine strictement hydrologique. Plusieurs études (Fiedler et Bernard, 1986 ; Marchal *et al.*, 1990) ont montré que des thons s'accumulaient près de fronts thermiques. Ils se trouvent dans les eaux chaudes de ces fronts qui sont moins productives que les eaux froides, mais qui concentrent plus de micronecton.
- Les monts sous-marins, même très profonds, semblent à l'origine de concentration de poissons pélagiques. Ils perturbent en effet les flux hydrologiques en profondeur et peuvent être à l'origine de micro-upwelling à meso-échelle.

2.4.2.2. L'alimentation des thons

Les thons sont considérés comme des prédateurs opportunistes. Les analyses de leurs contenus stomacaux diffèrent suivant les régions et les saisons de l'année (Alverson, 1963 ; Calkins, 1980 ; Bukley et Miller, 1994 ; Roger, 1994). Les deux groupes majeurs consommés par les thons sont :

- les poissons mésopélagiques (myctophidés et gonostomatidés) ;
- les crustacés euphausiacés qui effectuent des migrations nocturnes vers la surface (Roger, 1974).

Les thons consomment aussi des poissons épipelagiques, des céphalopodes, des mollusques et des crustacés, ainsi que des larves de leur propre groupe. Ce sont de gros consommateurs qui ont de forts besoins en nourriture. Ils ne semblent pas être très sélectifs dans le choix de leurs proies. L'analyse des contenus stomacaux de thons pêchés sous des DCP (Dispositifs de Concentration de Poissons) montre qu'ils ne consomment quasiment que des poissons pélagiques (Bukley et Miller, 1994).

Le thon a un sens olfactif développé (chémo-récepteurs). Des expériences en bassin ont montré que certains thonidés étaient stimulés par des odeurs, même à très faible concentration (Holland, 1983). On peut supposer qu'en mer, les thons doivent tout d'abord repérer leurs proies par olfaction, et à partir d'une certaine distance se servir de leur vue.

Certains auteurs ont suggéré que le thon ne se nourrissait que de jour (Marchal *et al.*, 1990 ; Roger et Marchal, 1993 ; Bukley et Miller *loc. cit.*). Cette constatation est en général faite à partir de pêches effectuées la nuit qui ne donnent pas de résultats, ou bien à partir de l'analyse de contenus stomacaux de poissons pêchés le matin. Mais de plus en plus d'observations, dont les marquages acoustiques, tendent à montrer que les thonidés se nourrissent quelques fois la nuit dans certaines circonstances (Bard *et al.*, 1996).

Une des grandes questions est de savoir comment les thonidés trouvent leur nourriture dans ce grand désert océanique qu'est le Pacifique. Le développement des sondeurs scientifiques a permis d'étudier les propriétés de la couche diffusante. Cette couche pourrait être une source de nourriture potentielle importante pour les thonidés (Marchal *et al.*, 1990). Très profonde le jour, souvent entre 400 et 500 mètres de profondeur, elle migre à la surface à la tombée de la nuit. Ses mouvements verticaux sont principalement guidés par la luminosité. Durant la journée, elle ne semble pas pouvoir être atteinte par les thons à nageoire jaunes et les germons, le thon obèse qui chasse plus profondément y a sans doute accès. Il est possible que la plupart des thons chassent intensivement aux crépuscules (matin et soir), lors de la migration verticale du micronecton.

2.5. STRUCTURE DES STOCKS ET REPARTITION GEOGRAPHIQUE

Après avoir étudié quels étaient les paramètres pouvant influencer la distribution verticale de 3 espèces de thonidés, il est intéressant d'aborder la notion de stock et la distribution géographique (distribution horizontale) des trois espèces, *Thunnus alalunga*, *Thunnus albacares* et *Thunnus obesus*, à l'échelle du Pacifique.

2.5.1. Le germon (*Thunnus alalunga*)

Il y a deux zones de reproduction distinctes de part et d'autre de l'équateur (Nakano, 1994). La quasi totalité de la ZEE est englobée dans la zone de reproduction la plus au sud (fig. 10).

La distribution des adultes s'étire d'est en ouest, au nord de 10°N et au sud de 5°S environ (fig. 11). Au niveau de la ZEE, le germon se répartit dans les eaux de la Société, des Tuamotu et est moins abondant plus au nord et surtout dans la région des Marquises.

Les conditions environnementales, supposées tolérées par les stades larvaires et juvéniles montrent que les eaux équatoriales constitueraient une barrière physiologique entre les stocks du Pacifique nord et du Pacifique sud. Bien que ces conditions ne soient pas a priori limitantes pour les adultes, les très faibles rendements des prises palangrières dans cette région viennent conforter cette idée de barrière équatoriale (Lewis, 1990). Le très faible retour d'individus adultes capturés dans le Pacifique sud et marqués au stade juvénile dans le Pacifique nord, montre que si les échanges sont possibles, ils restent quantitativement limités.

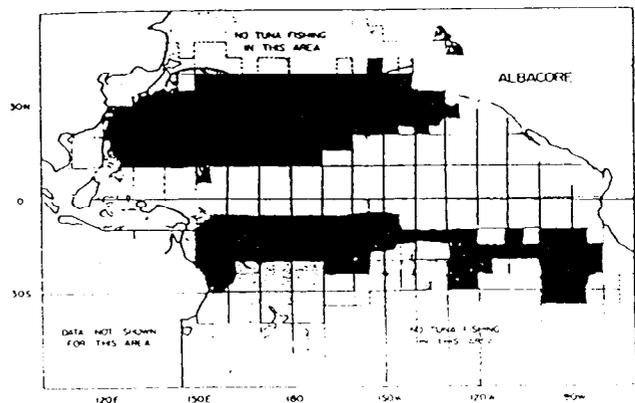
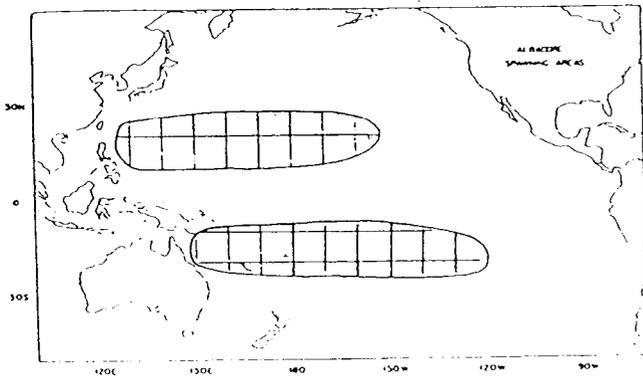


Figure 10 : Zone de reproduction du germon (d'après Sund *et al.*, 1981) dans le Pacifique. Figure 11 : Distribution du germon (d'après Sund *et al.*, 1981) dans le Pacifique.

2.5.2. Le thon à nageoire jaune (*Thunnus albacares*)

Contrairement au germon, les zones de reproduction du thon à nageoire jaune sont concentrées autour de l'équateur, et forment une bande s'élargissant vers l'ouest (fig. 12). Au niveau de la ZEE, les Marquises semblent être le lieu réunissant les conditions les plus favorables.

Les adultes se répartissent très largement entre 30°N et 30°S (fig. 13). La ZEE n'est que partiellement couverte, puisque l'abondance de l'albacore ne semble pas importante au sud. Les mouvements migratoires du thon à nageoire jaune sont très peu connus et la plupart des travaux se réfèrent aux déplacements saisonniers des pêcheries. Ainsi, l'influence des courants de Kuroshio et du courant est australien implique une migration vers les hautes latitudes durant la saison chaude et un retour vers les basses latitudes en saison froide. En revanche, peu d'informations sont disponibles quant aux déplacements est-ouest.

L'hypothèse d'un stock unique est retenue dans la plupart des analyses de dynamique des populations.

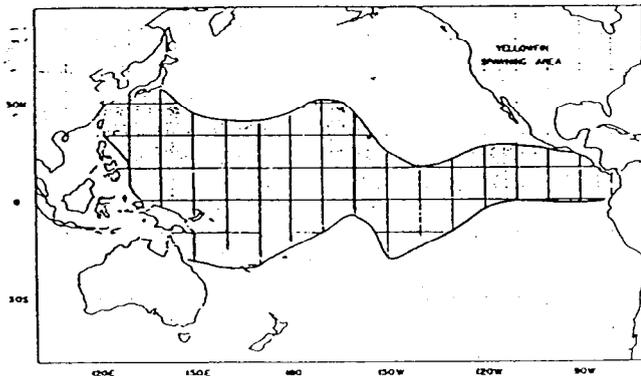


Figure 12 : Zone de reproduction du thon à nageoire jaune (d'après Sund *et al.*, 1981) dans le Pacifique.

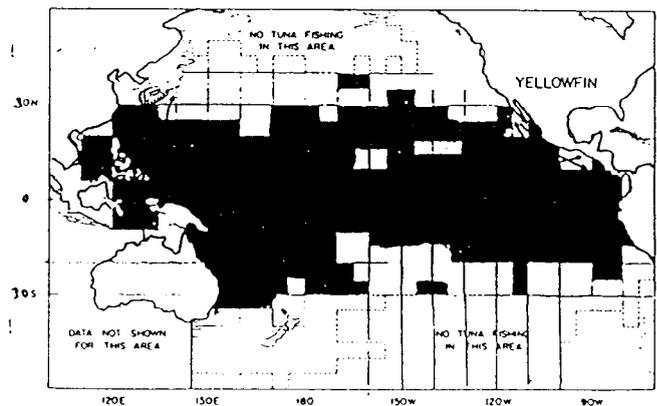


Figure 13 : Distribution du thon à nageoire jaune (d'après Sund *et al.*, 1981) dans le Pacifique.

2.5.3. Le thon obèse (*Thunnus obesus*)

Les zones de reproduction du thon obèse se répartissent tout le long de l'équateur, et forment une bande beaucoup moins large que celle du thon à nageoire jaune (fig. 14). Dans les

eaux polynésiennes, seules les Marquises semblent posséder les conditions nécessaires pour la reproduction du thon obèse.

Les adultes se répartissent très largement entre 40°N et 30°S sur l'ensemble du Pacifique (fig. 15). Le thon obèse est présent dans toute la ZEE polynésienne, et est plus abondant aux Marquises.

La question de la structure du stock a été considérée à partir de statistiques de pêche. Les données qui supportent l'hypothèse d'un stock unique dans l'océan Pacifique concernent :

- la distribution continue du thon obèse dans cet océan,
- l'homogénéité des fréquences de taille dans des régions voisines,
- une large aire de reproduction dans l'espace et dans le temps.

Il n'y a pas la preuve d'un stock unique, mais d'après Suda et Kume (1967) cette hypothèse est plus raisonnable que celle de plusieurs populations.

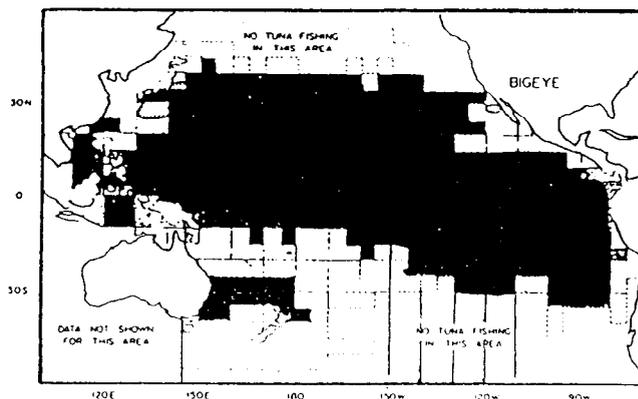
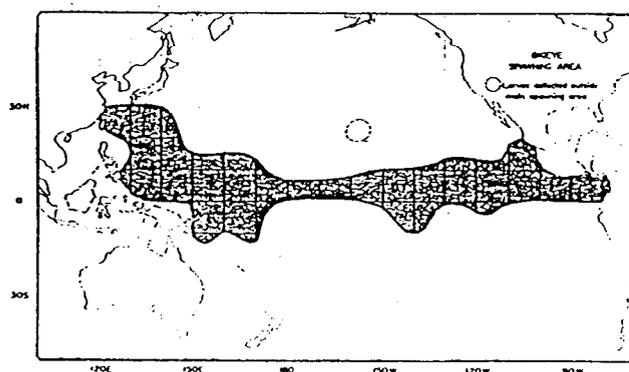


Figure 14 : Zone de reproduction du thon obèse Figure 15 : Distribution du thon obèse
(d'après Sund *et al.*, 1981) dans le Pacifique. (d'après Sund *e*

3. La palangre : instrumentation et modélisation

3.1. DESCRIPTION DE L'ENGIN DE PECHE

La palangre dérivante monofilament a été choisie comme engin de prospection des thonidés de subsurface pour les raisons suivantes :

- le même engin est utilisé par les professionnels polynésiens et les résultats techniques obtenus sont donc susceptibles d'être transférés sans difficulté,
- il s'agit de l'un des rares engins capables d'échantillonner les populations de thons adultes sur une tranche d'eau importante (jusqu'à 500 m de profondeur),
- c'est un engin qui permet de prospecter une grande zone, ce qui est important lorsque l'on s'adresse à des populations dont les individus semblent relativement dispersés,
- l'utilisation de cet engin se développe énormément à l'heure actuelle et en particulier en Polynésie, où il est à la base du développement du secteur économique de la pêche.

La palangre mise en oeuvre lors des prospections est analogue à celle utilisée par les professionnels polynésiens. Elle est constituée d'une ligne mère en Nylon monofilament de 3 mm de diamètre à laquelle sont attachés les avançons par l'intermédiaire d'attaches rapides ou "snaps". Ces avançons, en Nylon monofilament de 2 mm de diamètre, mesurent 6 brasses de long (environ 11 m) et portent à leur extrémité libre un hameçon droit à ardillon du type Mustad n°8/0.

La ligne utilisée est scindée en éléments (fig. 16) comportant 25 hameçons distants de 50 m. La palangre est maintenue en position horizontale par une série de paires de bouées de 18 litres fixées aux extrémités de chaque élément par l'intermédiaire d'un orin de 25 brasses (45 mètres). La fixation des orins de bouées sur la ligne mère s'effectue à l'aide de deux snaps montés en patte d'oie afin de limiter les glissements de l'attache des orins sur la ligne principale lors des tractions importantes que subit l'ensemble quand un gros poisson est capturé.

A chacune des extrémités de la palangre, qui comporte entre 18 et 24 éléments, est fixée une balise gonio dont les signaux permettent de repérer l'engin et éventuellement de le suivre en cas de dérive. Un treuil hydraulique enrouleur permet le stockage d'environ 25 milles de ligne mère dont la vitesse de mise à l'eau est réglée par l'intermédiaire d'un lanceur (ou "shooter").

De façon générale pour les pêches expérimentales, la palangre est filée vers 6 heures du matin pour être virée vers 13 heures, soient 7 heures de temps de pose environ. Les temps de pose et de virage ont varié respectivement entre 2 et 2.5 heures et entre 3 et 3.5 heures environ selon le nombre d'hameçons posés.

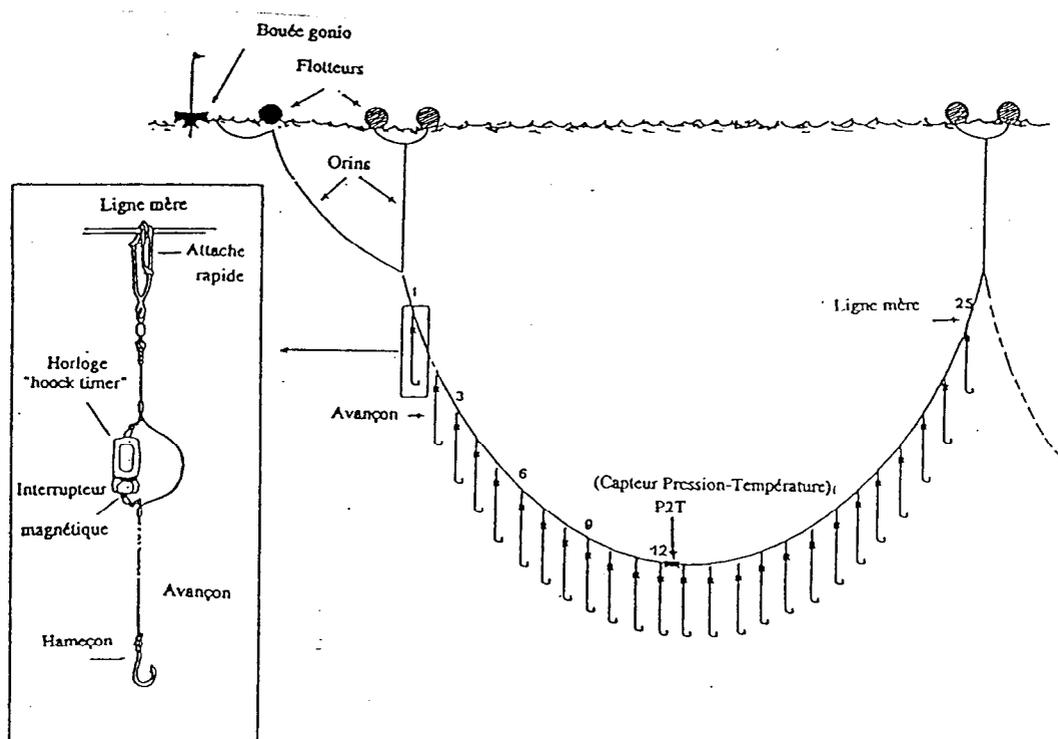


Figure 16 : Représentation schématique d'un élément de la palangre instrumentée.

3.2. L'INSTRUMENTATION DE LA PALANGRE

La palangre est instrumentée avec deux types d'appareil : des enregistreurs de profondeur de marque Micrel (modèle P2T, qui enregistre pression, température et temps) qui sont placés au centre de la ligne mère, et des horloges (hook-timer) qui sont montées sur les avançons.

Chaque module Micrel comporte deux canaux. Le premier canal enregistre la profondeur de 0 à 600 m, et le second la température. Ces enregistrements sont effectués automatiquement toutes les minutes dès que le Micrel a atteint quelques mètres de profondeur.

Compte tenu du nombre de P2T disponibles, seul un élément sur deux a pu être instrumenté, l'immersion des éléments qui en étaient dépourvus étant obtenue par extrapolation. Les P2T furent placés au point médian des éléments afin d'obtenir l'évolution temporelle de la profondeur maximale au cours de la pose. Ainsi, pour des éléments de 25 hameçons, le P2T est placé entre les hameçons 12 et 13.

Les "hook-timer" sont de petites horloges à quartz fixées sur les avançons dont la mise en route est commandée par un interrupteur maintenu en position ouverte par un aimant. La libération de l'aimant lorsqu'une traction suffisante s'exerce sur l'hameçon (un mordage par exemple) provoque la fermeture du circuit et la mise en route de l'horloge. L'ensemble est noyé dans un cylindre de résine à inclusion. Ce modèle a été mis au point et testé pour la première fois à Hawaï (Boggs, 1992).

Les horloges sont placés sur tous les avançons de chaque élément. Quand la palangre est virée, on relève le temps indiqué par l'horloge s'il y a eu mordage. Il représente le temps écoulé depuis le déclenchement du hook-timer, et donc par soustraction à l'heure de sa sortie de l'eau, on obtient l'heure de mordage ou de capture.

3.3. MODELISATION DE LA FORME DE LA PALANGRE

Le calcul de la profondeur des hameçons, donc des captures, nécessite au préalable la modélisation de la forme de la palangre dans l'eau. Pour ce faire, nous avons repris l'approche développée par Wendling (1994) pour l'exploitation de nouvelles données acquises lors de la campagne ECOTAP 4 (1996) en vue d'étendre les limites de validité du modèle. Le modèle retenu est un modèle asymptotique de la forme :

$$P = P_{\text{inf}} * (1 - \exp(-K * \text{dist})) + \varepsilon + \varepsilon'$$

- P : profondeur atteinte par la palangre en un point i,
- dist : distance entre la bouée et la projection verticale du point i sur l'axe horizontal,
- P_{inf} , K : paramètres du modèle,
- ε : tendance résiduelle due au modèle
- ε' : erreur aléatoire.

3.3.1. Présentation des données

Lors de la campagne ECOTAP 4, de nouvelles données de profondeur de palangre ont été obtenues en faisant varier les tactiques de filage (nombre d'hameçons par élément, vitesse de filage) pour étendre les limites de validité du modèle développé par Wendling (1994).

Lors de ces expériences, les hameçons des éléments équipés d'enregistreur de profondeur n'étaient pas appâtés afin d'éliminer les variations de la profondeur de la ligne mère dues à la capture de poissons. Un descriptif sommaire de ces expériences est porté dans le tableau 1.

3.3.2. Estimation des paramètres du modèle

Les données acquises permettent la construction de courbes types expérimentales à partir de séries de couples d'observations (profondeur, distance à la bouée). L'ajustement du modèle asymptotique à chacune de ces séries a été réalisé à partir de la procédure NLIN (algorithme de Marquardt) du progiciel SAS. Les valeurs des paramètres K et Pinf calculés pour chaque courbe type sont représentées dans le tableau 2.

Comme l'a étudié Wendling (1994), on montre que le modèle asymptotique engendre une erreur non aléatoire des estimations des profondeurs. Cette erreur constitue une tendance qui doit être prise en compte.

Si l'on trace la courbe des résidus réduits du modèle en fonction de la distance à la bouée, une tendance générale sinusoïdale des valeurs résiduelles est mise en évidence (fig. 17). Cette tendance peut être modélisée par une fonction polynomiale d'ordre 4 qui s'exprime sous la forme :

$$RR = 354.72 * dist^4 - 532.55 * dist^3 + 273.10 * dist^2 - 53.819 * dist + 3.051$$

RR : résidu réduit

dist : distance à la bouée en km

Tableau 1 : Descriptif des expériences effectuées.

Nombre d'éléments / palangre	Numéro de l'élément équipés	Nombre d'hameçons / élément	Vitesse de filage (noeuds)	Position du capteur	No. courbes types
15	4	25	5	4-5 / 8-9 / 13	1
15	4	25	5	4-5 / 8-9 / 13	2
15	4	25	5	4-5 / 8-9 / 13	3
15	4	25	5	4-5 / 8-9 / 13	4
16	4	20	4	3-4 / 7 / 10-11	5
16	7	25	4	4-5 / 8-9 / 13	6
16	11	20	5	3-4 / 7 / 10-11	7
16	15	25	5	4-5 / 8-9 / 13	8
16	4	20	4	3-4 / 7 / 10-11	9
16	7	25	4	4-5 / 8-9 / 13	10
16	15	25	5	4-5 / 8-9 / 13	11
16	4	20	4	3-4 / 7 / 10-11	12
16	7	30	4	5-6 / 10-11 / 15-16	13
16	12	20	5	3-4 / 7 / 10-11	14
16	15	30	5	5-6 / 10-11 / 15-16	15
16	4	20	4	3-4 / 7 / 10-11	16
16	7	30	4	5-6 / 10-11 / 15-16	17
16	12	20	5	3-4 / 7 / 10-11	18
16	15	30	5	5-6 / 10-11 / 15-16	19

Tableau 2 : Résultats du modèle asymptotique

Courbe n°	Pmax	Distance entre bouées (m)	Distance de ligne filée (m)	Pinf	K
1	304	742	950	303.93	0.013
2	466	816	1502	507.29	0.006
3	318	742	1200	333.59	0.009
4	200	930	1052	210.25	0.007
5	251	696	1200	272.81	0.007
6	366	814	1213	380.69	0.010
7	292	1022	1350	329.73	0.003
8	310	680	1300	331.93	0.007
9	525	880	1518	527.40	0.010
10	236	700	1111	255.38	0.007
11	388	1110	1457	397.51	0.006
12	240	600	818	240.09	0.011
13	496	870	1500	509.50	0.007
14	214	760	1089	237.06	0.006
15	384	1064	1250	402.40	0.006
16	256	872	1051	268.27	0.006
17	242	1080	1555	251.01	0.005
18	280	1106	1249	311.56	0.004
19	330	1222	1430	372.55	0.003

Suite à ces analyses, l'estimation de la profondeur de la palangre en fonction de la distance à la bouée correspond à la somme entre l'estimation de la profondeur par le modèle asymptotique et l'erreur non aléatoire de cette estimation (résidu du modèle non aléatoire) :

$$P = P_{inf} * [1 - \exp(-K * dist)] + \sigma_{res} * RR$$

avec σ_{res} : écart-type des valeurs résiduelles

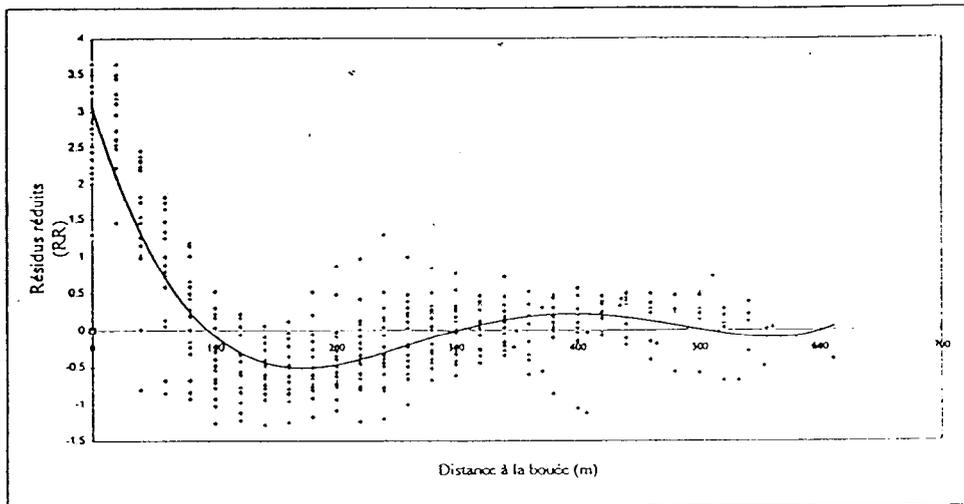


Figure 17 : Modélisation de la tendance des résidus réduits

3.3.3. Généralisation du modèle au sein de l'intervalle d'observation

La forme de chaque élément de la palangre change lors de chaque pose, et en conséquence la probabilité de rencontrer des situations analogues aux courbes types précédemment modélisées est faible. Pour décrire la forme de chaque élément il est donc nécessaire de pouvoir calculer une valeur des paramètres K et P_{inf} à partir des variables explicatives telles que la profondeur maximale atteinte par la ligne, la distance entre bouées et la distance de ligne filée.

Le paramètre P_{inf} est bien corrélé à la variable P_{max} et la droite de régression ajustée correspond à l'équation :

$$P_{inf} = 1.0023 * P_{max} + 17.307 \quad \text{avec } r^2 = 0.985 \quad (1)$$

L'estimation du paramètre K qui rend compte de la forme de la ligne nécessite la prise en compte de trois variables, à savoir la profondeur maximale, la distance entre bouée et la distance de ligne filée .

Le modèle de régression multiple ajusté explique 70 % de la variabilité des valeurs de K et correspond à l'équation (fig. 18) :

$$K = 2.66e^{-5} * P_{max} - 5.6e^{-6} * \text{dist } b - 1.3e^{-5} * \text{dlf} + 0.01982 \quad (2)$$

- K en m⁻¹
- P_{max} : profondeur maximale en m,
- dist b : distance entre bouées en m,
- dlf : distance de ligne filée en m.

Les expressions (1) et (2) permettent de déduire les valeurs P_{inf} et K du modèle à partir des caractéristiques de mouillage de la ligne filée. Ainsi, au sein des limites de validité de ces modèles, il est possible de déterminer la profondeur P de la ligne en un point i situé à une distance d_i de la bouée.

3.4. CALCUL DE LA PROFONDEUR DES CAPTURES ET DES MORDAGES

Lorsqu'un poisson est capturé ou a mordu à un hameçon, il déclenche une horloge, qui permet à la sortie de l'eau de repérer le temps écoulé depuis l'événement. Connaissant l'heure de mordage, nous pouvons déduire la profondeur du capteur de pression à la même période sur le même élément ou sur l'élément le plus proche. Cette profondeur est appelée P_{max} lorsque la ligne est stable et nous permet grâce au modèle décrit précédemment de retrouver la profondeur de chaque hameçon à l'heure du mordage.

L'application du modèle d'estimation des profondeurs des hameçons n'est cependant valable que lorsque la palangre est en phase de stabilité. En effet, lors de la mise à l'eau ou bien lors de la remontée, la ligne étant en mouvement nous supposons que la palangre et les hameçons ne se répartissent pas suivant la forme décrite par le modèle. Le calcul des profondeurs de chaque hameçon sera donc différent.

3.4.1. Détermination des phases d'instabilité

Il est nécessaire de distinguer des phases d'instabilité afin de déterminer les laps de temps durant la période d'immersion pendant lesquels le modèle n'est pas applicable. Trois phases de mouvement sont rencontrées :

- la descente de la palangre lors de la mise à l'eau,
- la remontée lors du virage,
- les mouvements intermédiaires, qui sont la conséquence de forts courants, ou bien de captures de gros poissons qui remontent toute une partie d'un élément de palangre.

Nous considérerons qu'il y a mouvement quand l'enregistreur aura une vitesse de descente ou de remontée supérieure à 1 mètre par minute.

Les heures de mise à l'eau et de début et fin de virage sont relevées à bord du navire. L'heure du début du virage n'est pas indicatrice du début de la phase de remontée de l'élément, car celui-ci commence à bouger quelques minutes avant. En effet, le bateau lors du virage d'un élément tire sur les suivants et commence ainsi à les remonter. Cependant on considérera que le modèle reste applicable tant que les hameçons ne sortent pas de l'eau.

Pour la descente, la vitesse n'est jamais constante et en fonction des facteurs hydrologiques, le temps nécessaire pour atteindre une phase de stabilisation n'est jamais le même d'un élément à l'autre. Donc, la fin de la descente est déterminée après examen des profils de profondeur des enregistreurs. Les phases des mouvements intermédiaires sont aussi déterminées après observation des profils de profondeur.

3.4.2. Automatisation du calcul des profondeurs pendant la phase de stabilité

Un programme informatique a été conçu afin d'aller rechercher automatiquement dans les fichiers de données des enregistreurs la valeur du Pmax, puis de calculer aussitôt la profondeur de l'hameçon qui nous intéresse. Ce programme prend en compte les phases d'instabilité qui auront été définies préalablement et signale pour chaque mordage ou capture s'ils ont eu lieu ou non durant une phase de mouvement.

Le calcul des profondeurs de mordage ou de capture pendant la descente ou la remontée de la palangre ne se fait pas à partir du modèle. En revanche, pour les phases d'instabilité intermédiaires, l'application du modèle reste valable. En effet, 2 phénomènes sont à l'origine de ces mouvements : d'une part les courants et nous considérons alors qu'ils ont la même répercussion sur tous les hameçons donc que la palangre garde sa forme ; d'autre part les captures de gros poissons qui afin de se libérer remontent vers la surface, entraînant avec eux une partie de la ligne. Dans ce dernier cas, lorsque la variation de la profondeur n'est que de quelques dizaines de mètres et ne concerne que peu d'hameçons, l'application du modèle n'entraîne pas d'importantes erreurs quant à l'estimation des profondeurs.

3.4.3. Calcul des profondeurs des hameçons pendant la descente

La première phase d'instabilité est la descente. La palangre, pendant plusieurs minutes, n'adopte pas la forme définie par le modèle ; le calcul des profondeurs des hameçons nécessite donc une approche différente.

Lors de la descente on considère que tous les hameçons sont animés de la même vitesse. La descente est donc supposée régulière de la surface à la profondeur de stabilisation.

La vitesse étant considérée comme uniforme, la position des hameçons par rapport au capteur de pression est constante. Ainsi, lors de cette phase d'instabilité, la détermination de la profondeur de chaque hameçon est réalisée par rapport à la profondeur du Micrel.

Le problème de cette approche est que tous les hameçons n'ont pas la même durée de descente. Il est donc important de connaître la profondeur de stabilité de chacun des hameçons. Pour cela on utilise le modèle qui calcule la profondeur des 25 hameçons dès que le Micrel a atteint sa profondeur de stabilité. Ces valeurs de profondeur sont ensuite comparées aux valeurs calculées en phase de descente :

- la première valeur (P1), qui correspond à la phase de mouvement, est calculée à partir de la position du Micrel lors de la descente,
- la deuxième valeur (P2) est calculée au début de la phase de stabilité par le modèle développé précédemment avec Pmax de l'enregistreur.

♦ P1 est calculée à partir de la profondeur connue du Micrel à chaque minute de la descente.

La pose d'un élément de la palangre dure en moyenne 6 minutes. Nous considérons donc que :

• la 1 ^{ère} minute sont mis à l'eau les hameçons	1 à 4
• la 2 ^{ème} minute -----	5 à 8
• la 3 ^{ème} minute -----	9 à 13
• la 4 ^{ème} minute -----	14 à 17
• la 5 ^{ème} minute -----	18 à 21
• la 6 ^{ème} minute -----	22 à 25

La profondeur P1 va donc être calculée à partir de ces temps de mise à l'eau. S'il y a mordage sur un hameçon, il est facile de retrouver sa profondeur par rapport à la profondeur du Micrel au même temps. Les hameçons 1 à 11 sont posés dans les 3 premières minutes et les hameçons 14 à 25 dans les trois dernières minutes. Lors de la descente on admet que les hameçons sont tous animés d'une même vitesse. Ainsi les hameçons 1 à 11 seront constamment au dessus de la profondeur du Micrel, et les hameçons 14 à 25 en dessous à quelques minutes d'intervalle :

• les hameçons 1 à 4 sont à la profondeur où sera le Micrel	à	t+3 minutes
• les hameçons 5 à 8 -----	à	t+2 minutes
• les hameçons 9 à 11 -----	à	t+1 minute
• les hameçons 12 et 13 sont à la profondeur du Micrel	à	t minutes
• les hameçons 14 à 17 sont à la profondeur où était le Micrel	à	t-1 minute
• les hameçons 18 à 21 -----	à	t-2 minutes
• les hameçons 22 à 25 -----	à	t-3 minutes

♦ P2 est la profondeur de l'hameçon quand il atteint sa phase de stabilité. Cette profondeur est calculée à partir du modèle asymptotique avec la valeur Pmax de l'enregistreur au moment où il termine sa descente.

P1 et P2 sont ensuite comparés ; sachant que P2 est la valeur maximale pouvant être atteinte par l'hameçon lors de la descente :

- - si $P1 < P2$, alors la profondeur de l'hameçon est P1 ;
- - si $P1 > P2$, alors la profondeur de l'hameçon est P2.

3.4.4. Calcul de la profondeur des hameçons pendant la remontée

L'heure du début du virage est relevée à bord du navire ; elle correspond à la sortie de l'eau de la première bouée de l'élément. La profondeur de chacun des hameçons de la palangre est calculée juste avant la remontée. Pour ce, le modèle est exécuté en choisissant la valeur de Pmax une minute avant l'heure de remontée qui est relevée à bord du bateau.

Le temps total de la remontée, T, permet de calculer la vitesse moyenne du Micrel :

$$v = P_{\max}/T$$

Pmax : profondeur de l'enregistreur une minute avant la remontée

T : durée de la remontée

La longueur de ligne entre les hameçons 'dist' est calculée à partir du modèle. Cette variable et la vitesse de remontée permettent de connaître à un temps donné t' le nombre d'hameçons sortis de l'eau, m :

$$m = v * (t' - t) / \text{dist}$$

m : nombre d'hameçons sortis de l'eau

t : heure de début de la remontée

t' : heure du mordage ou de la capture

dist : longueur de ligne entre les hameçons

On considère que la palangre durant sa phase de stabilité présente un axe de symétrie vertical au niveau de l'hameçon 13. Quand les hameçons sortent de l'eau on considère que cet axe de symétrie se déplace vers les derniers hameçons (fig. 19).

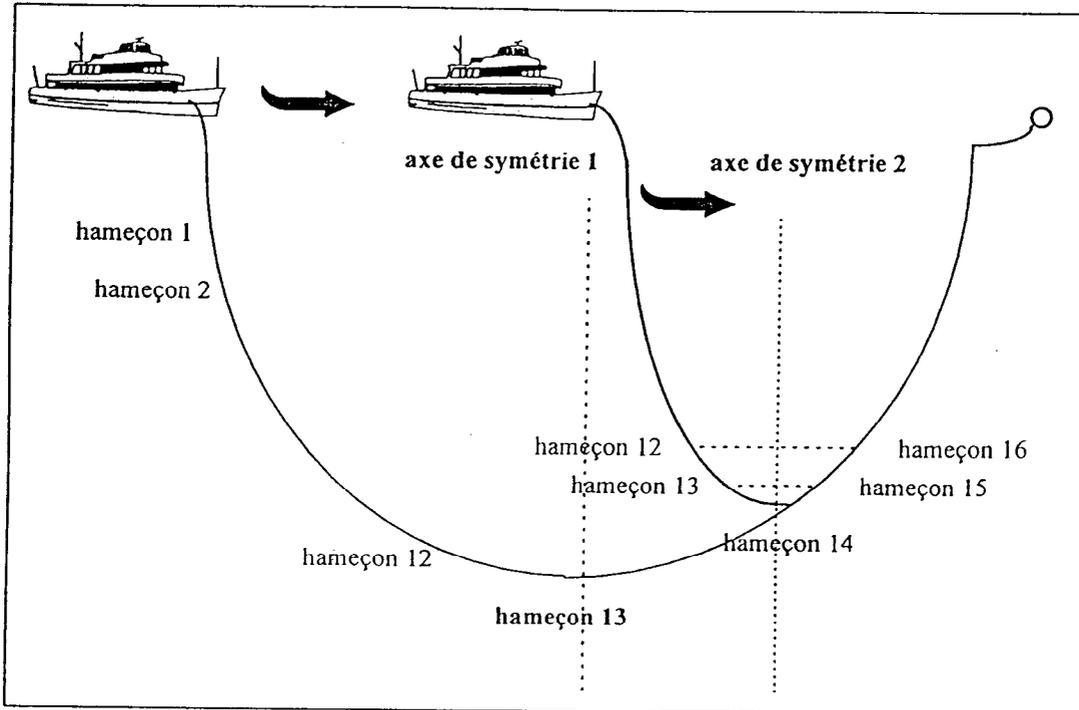


Figure 19 : Virage de la palangre et déplacement de l'axe de symétrie

Quand deux hameçons sortent de l'eau, l'axe de symétrie se déplace d'un hameçon (par exemple quand les hameçons 1 et 2 sont sortis de l'eau, le nouvel axe de symétrie est sur l'hameçon 14). La position de l'axe quand m hameçons sont sortis de l'eau est :

$$m' = 13 + m/2$$

m' : numéro de l'hameçon par lequel passe le nouvel axe de symétrie

m : nombre d'hameçons sortis de l'eau

Une fois que le programme a défini la position de l'axe, la profondeur des hameçons dans l'eau est calculée par symétrie :

- les hameçons dont le numéro est supérieur à m' gardent les valeurs de profondeur calculées avec le P_{max} initial,
- pour les hameçons dont le numéro est inférieur à m' , il y a symétrie et donc même profondeur que l'hameçon opposé.

Le programme de calcul des profondeurs définit une nouvelle position de l'axe de symétrie à chaque fois que deux hameçons sont sortis de l'eau.

3.5. CONCLUSION

Chaque mordage ou capture produit à une heure donnée, connue à partir de la lecture des horloges, peut être caractérisé par sa profondeur estimée durant les phases de stabilité et d'instabilité de la ligne.

Le modèle asymptotique corrigé de ses valeurs résiduelles apparaît comme un bon descripteur de la forme de la palangre. Cependant, comme tout modèle, il possède ses limites. Tout d'abord son élaboration s'est faite à partir de 19 courbes types, ce qui signifie que les profondeurs maximales atteintes et les distances entre les bouées doivent rester dans les intervalles définis par ces courbes :

- profondeur de 200 à 525 mètres,
- distance entre les bouées comprise entre 600 et 1222 mètres.

D'autre part il nécessite plusieurs hypothèses :

- - distance inter-hameçon constante ;
- - influence longitudinale des courants sur la palangre constante ;
- - influence du courant sur l'avancéon négligeable.

Pour les phases d'instabilité, les hypothèses de vitesse de descente constante de la ligne ou du déplacement régulier de l'axe de symétrie de la ligne lors de la remontée, sont probablement source d'erreur dans les estimations des profondeurs. Elles s'avèrent toutefois satisfaisantes au mieux le compromis entre la qualité des estimations et l'automatisation des calculs.

4. Les données hydrologiques

Il est commun de considérer que la température, l'oxygène et la salinité sont des paramètres caractéristiques des masses d'eau océaniques. L'observation de leurs valeurs en surface (carte de température et de salinité de surface) ou en profondeur (profils verticaux) permet d'expliquer l'origine des masses d'eau et leur dynamique dans l'espace et dans le temps. Cela permet également de quantifier l'influence de phénomènes hydrologiques tels que les upwelling, mais aussi climatiques comme "El Nino".

Les eaux superficielles de la ZEE polynésienne sont homogènes et la variabilité spatio-temporelle de la température, de la salinité et de l'oxygène sont très faibles. En revanche, la structure verticale de ces paramètres varie considérablement selon la latitude. Cette variabilité résulte, entre autre, de la présence de l'upwelling équatorial au nord de la ZEE. La forme des profils des 3 paramètres entre l'Archipel de la Société et le nord des Marquises est en partie dépendante de l'intensité de l'upwelling.

Le but de ce chapitre consiste à identifier au sein de notre zone d'étude les aires les plus homogènes en terme de structure verticale des paramètres température, oxygène et densité. L'objectif des analyses est de regrouper le nombre de stations hydrologiques d'après les différents profils des variables environnementales qui caractérisent les masses d'eau.

Dans un premier temps, les variables ont été étudiées séparément ; les stations ont ainsi été regroupées en fonction de leur profil de densité, de température et d'oxygène par Classification Hiérarchique Ascendante. Dans un deuxième temps, toutes les variables de l'environnement ont été regroupées et étudiées au moyen d'une Analyse en Composante Principale. L'interprétation de cette analyse a été appuyée par la superposition des résultats d'une Classification Hiérarchique Ascendante, afin de mettre en évidence des groupes de stations.

4.1. MATERIEL ET METHODES

4.1.1. Collecte des données de l'environnement

L'étude concerne l'analyse de 51 stations hydrologiques, réalisées dans le cadre de 3 campagnes de pêche ECOTAP (fig. 20 A et B). La première mission (ECOTAP 1) a eu lieu du 10 au 20 juillet 1995 et s'est déroulée dans les eaux de l'Archipel de la Société. Les deux autres missions (ECOTAP 2 et 5) ont eu lieu du 26 juillet au 25 août 1995 pour la première et du 8 janvier au 8 février 1996 pour la seconde, et ont concerné une zone s'étendant des Tuamotu au nord des Marquises. Ces 3 campagnes ont été réalisées à bord du navire océanographique ALIS appartenant à l'ORSTOM. A la fin de chaque pose de palangre, une station hydrologique est réalisée à partir d'une sonde Seacat (sonde CTD Seacat SBE19) afin d'acquérir des données de température, salinité, oxygène dissous et de lumière jusqu'à 700m de profondeur.

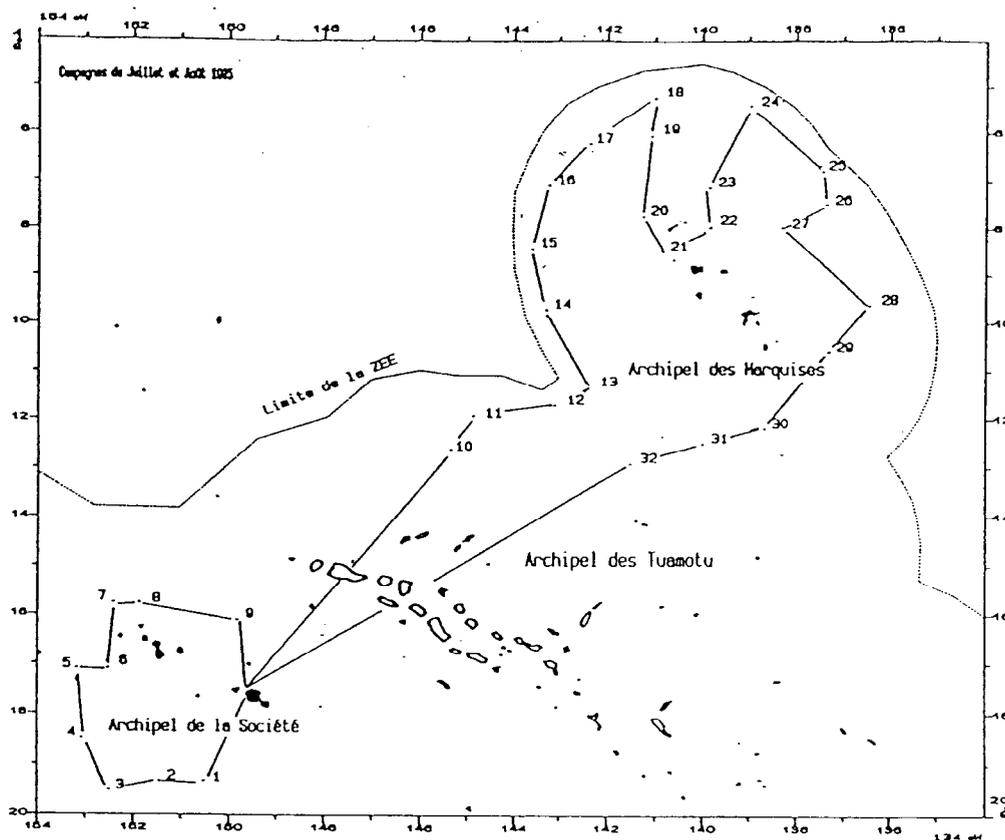


Figure 20 A : Campagnes ECOTAP 1 (stations 1 à 9) et ECOTAP 2 (stations 10 à 32) réalisées en juillet-août 1995.

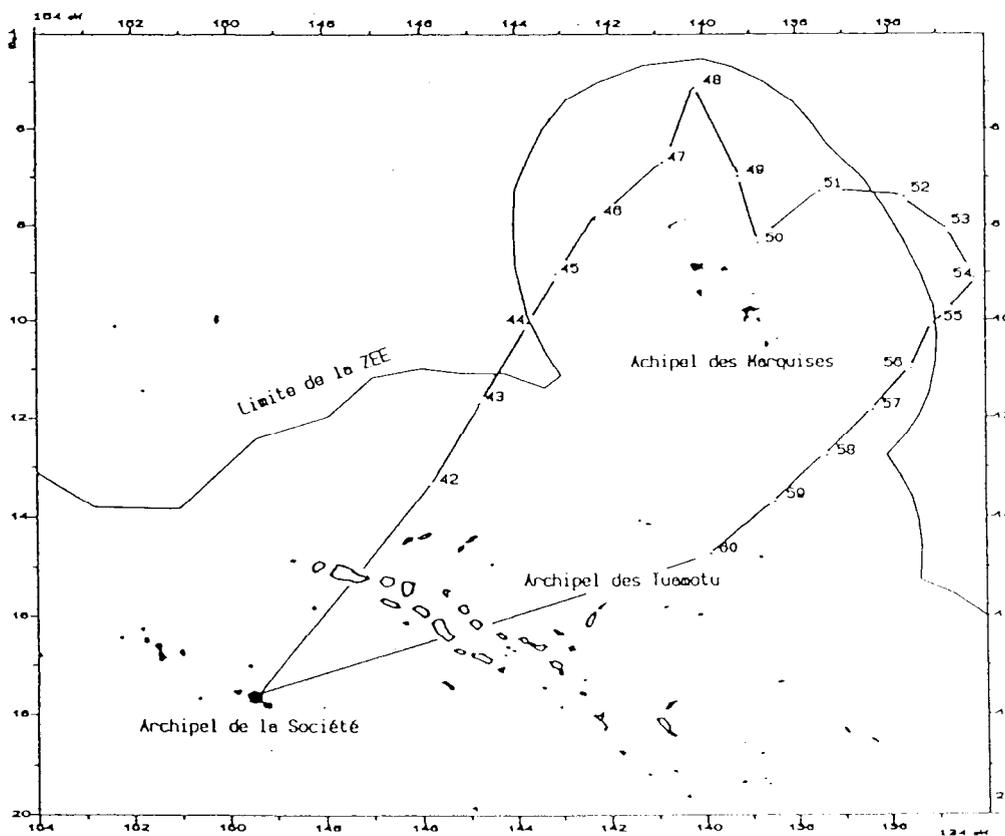


Figure 20 B : Campagne ECOTAP 5 (stations 42 à 60) réalisée du 8 janvier au 8 février 1996.

La meilleure signature hydrologique des masses d'eau est le diagramme T-S (température-salinité). La salinité n'a pas été prise en compte comme une simple variable hydrologique, mais a servi à calculer la densité qui s'avère être une bonne représentation du diagramme T-S (Yvanoff, 1972).

Les valeurs des variables ont été retenues jusqu'à 500 mètres de profondeur qui correspond à la limite inférieure des profondeurs échantillonnées par la palangre.

4.1.2. L'Analyse en Composante Principale (ACP)

Cette méthode a pour objet la description des données contenues dans un tableau individus-caractères : p caractères sont mesurés sur n individus. C'est une méthode statistique essentiellement descriptive qui présente sous forme graphique le maximum d'information contenu dans un tableau de données (Philippeau, 1986).

Les n individus peuvent être représentés dans un espace à p dimensions. Par combinaison linéaire entre les descripteurs, l'ACP permet de concentrer la variabilité de l'information dans un espace à dimension plus réduite. Ceci permet de comprendre comment se structurent les variables entre elles (association ou opposition) et comment se répartissent les individus (ressemblance ou contraire) par rapport à ces variables. L'ACP transforme donc p variables quantitatives (plus ou moins corrélées) en $p-1$ nouvelles variables quantitatives non corrélées appelées composantes principales.

L'ACP a été réalisée sur une matrice de données comprenant 33 descripteurs (température, oxygène et densité relevés tous les 50 mètres de la surface à 500 mètres de fond) observés sur 51 stations hydrologiques (fig. 21).

	T0	O0	D0	-----	T250	O250	D250	-----	T500	O500	D500
station 1											
station n											
station 51											

Figure 21 : Matrice objets (en ligne)/ variables (en colonne) utilisée pour l'ACP.

En ligne : les stations hydrologiques

En colonne : les facteurs physico-chimiques

4.1.3. La Classification Hiérarchique Ascendante (CHA)

Les méthodes de classification ont pour but de regrouper les individus en un nombre restreint de classes homogènes. Il s'agit de décrire les données en procédant à une réduction du nombre d'individus. La méthode de classification hiérarchique produit des suites de partitions en classes de plus en plus vaste (Bouroche et Saporta, 1983).

Le critère de classification utilisé ici est celui de Ward qui consiste à fusionner les deux classes pour lesquelles la perte d'inertie est la plus faible. Si des individus sont les points d'un espace euclidien, l'inertie totale du nuage de points est égale à la somme de l'inertie interclasse et de l'inertie intraclasse. Une bonne partition est celle pour laquelle l'inertie interclasse est forte et l'inertie intraclasse faible. Le principe de la méthode est de regrouper les individus qui rendent l'inertie intraclasse minimale, pour un nombre de classes données.

Faux ! liens complets

La représentation des résultats d'une classification hiérarchique est faite sur un dendrogramme. Cette hiérarchie est indiquée par une valeur appelée niveau d'agrégation (ou niveau de similarité).

Les CHA ont été réalisées sur des matrices comportant :

- en ligne, les stations hydrologiques ;
- en colonne, les valeurs de ou des variables analysées tous les 50 mètres.

Dans un premier temps, les variables hydrologiques (température, oxygène et densité) ont été considérées séparément afin de voir comment chacune d'elles structurait l'espace océanographique étudié. Dans un deuxième temps, ces variables ont été regroupées et ont constitué la matrice présentée ci-dessus (fig. 21) qui a été traitée par l'ACP.

L'ACP et la classification étant deux méthodes complémentaires, les résultats de cette dernière ont été superposés à ceux de l'ACP. Cette approche permet en effet d'interpréter statistiquement la représentation graphique des individus obtenus sur le plan factoriel.

4.2. RESULTATS DES ANALYSES

4.2.1. Résultats des CHA

Les trois paramètres retenus pour les analyses permettent de dresser des profils verticaux de chaque station de pêche.

Chacune met en évidence des groupes de stations différents. Le choix des groupes est toujours délicat. Dans le cas présent, il s'agit de ne pas trop découper le nord de la ZEE, car un trop grand nombre de masses d'eau serait difficilement interprétable et de plus le coefficient d'agrégation ne serait pas assez important (les dendrogrammes sont présentés en annexe). Les regroupements qui apparaissent les plus évidents à l'examen des dendrogrammes sont les suivants :

- ◆ La température délimite 5 zones, qui regroupent les stations suivantes (fig. 22 A et B) :
 - Zone 1 : stations 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9
 - Zone 2 : stations 6, 8, 10, 11, 31, 32, 42, 43, 58, 59, 60
 - Zone 3 : stations 12, 13; 14; 28; 29; 30; 44; 45; 56; 57
 - Zone 4 : stations 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 27, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55
 - Zone 5 : stations 18, 24, 25, 26

- ◆ L'oxygène délimite 4 zones (fig. 23 A et B) :
 - Zone 1 : stations 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 42, 60
 - Zone 2 : stations 10, 11, 12, 13, 14, 29, 30, 31, 32, 43, 44, 45, 56, 57, 58, 59
 - Zone 3 : stations 15, 20, 21, 22, 27, 28, 46, 47, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55
 - Zone 4 : stations 16, 17, 18, 19, 23, 24, 25, 26, 48

- ◆ La densité délimite 3 zones (fig. 24 A et B) :
 - Zone 1 : stations 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 29, 30, 31, 32, 42, 43, 44, 56, 57, 58, 59, 60,
 - Zone 2 : stations 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 27, 28, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55
 - Zone 3 : stations 24, 25, 26

Il est intéressant de noter que même si chaque facteur conduit à un nombre différent de groupes, tous les trois conduisent à une même structuration de la zone. En effet, on note des frontières communes : la température et l'oxygène délimitent deux frontières de transition latitudinales :

- entre 12 et 13°S
- entre 9 et 10°S

La densité qui fait apparaître moins de groupes fait également ressortir la frontière entre 9 et 10°S. Ces frontières semblent exister quelle que soit la saison, puisque les échantillons couvrent l'été et l'hiver boréal.

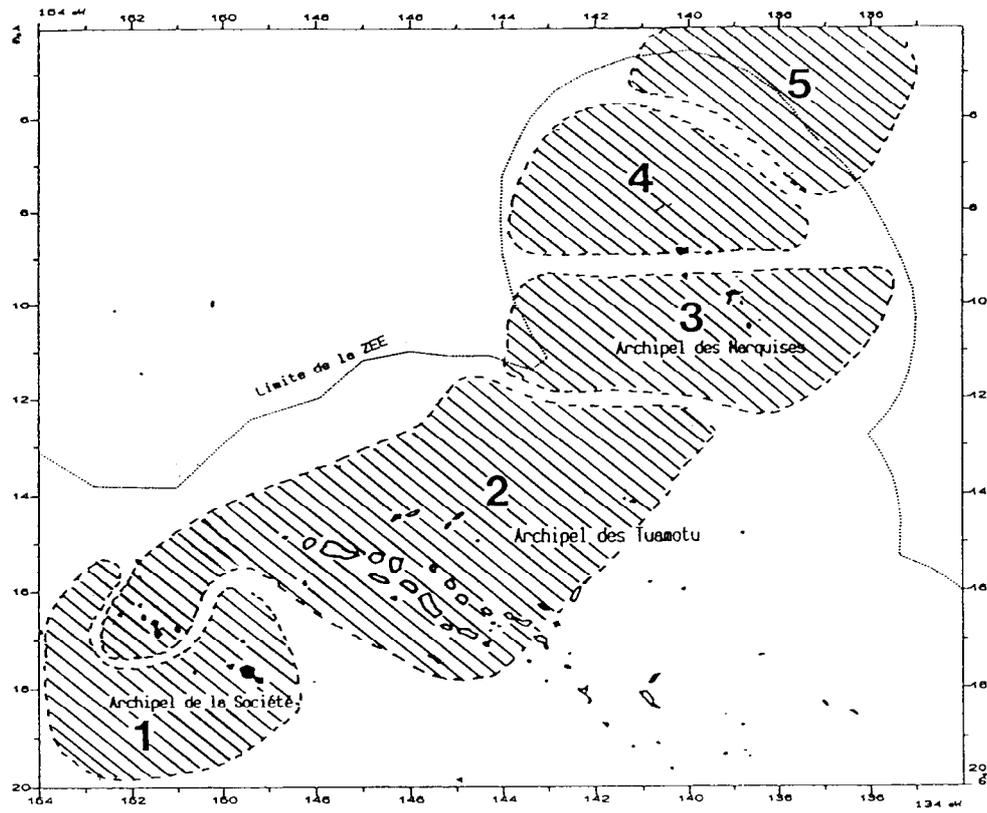


Figure 22 A : Découpage des masses d'eau en fonction de la température en juillet-août 1995.

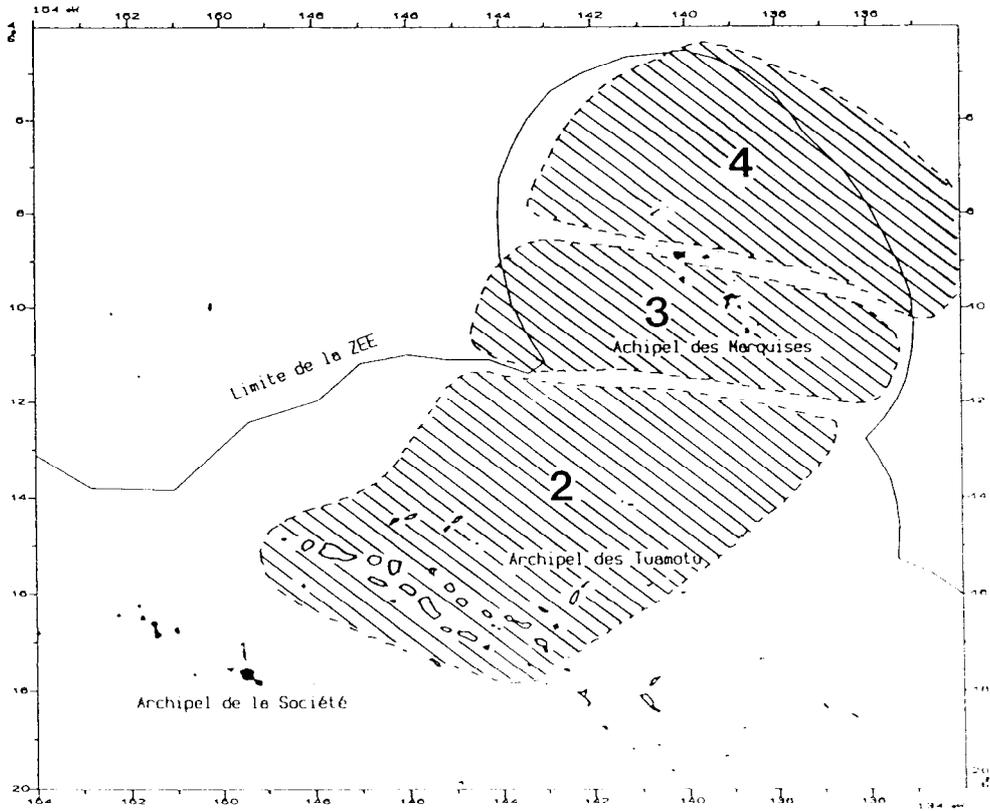


Figure 22 B : Découpage des masses d'eau en fonction de la température en janvier-février 1996.

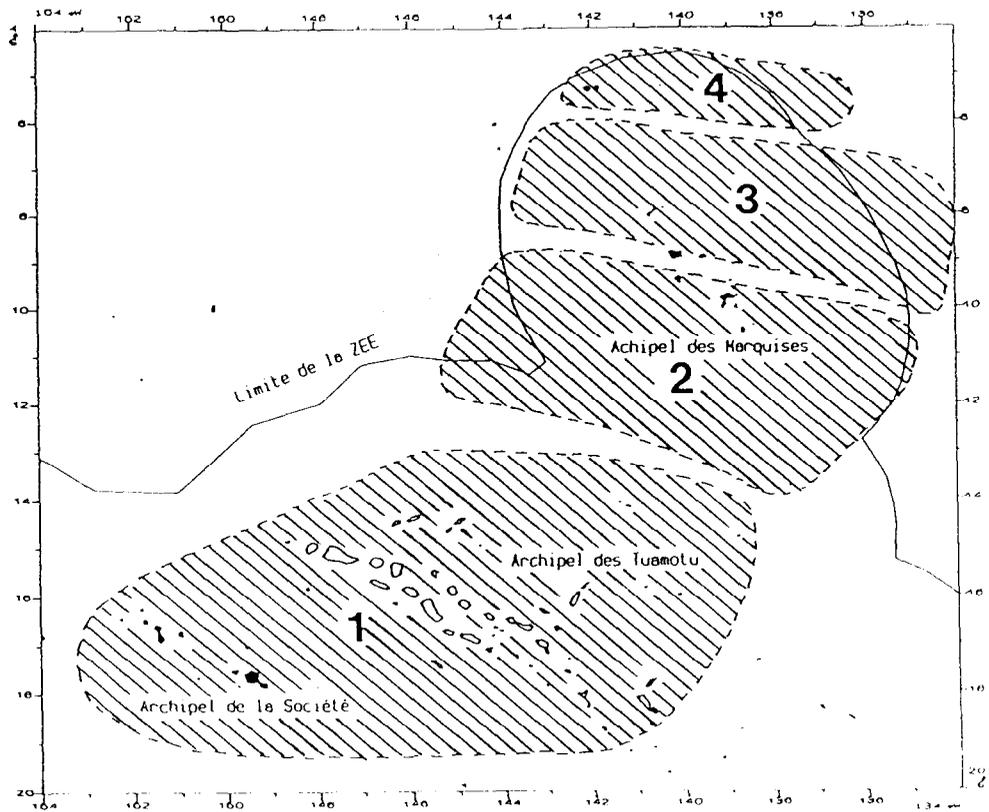


Figure 23 A : Découpage des masses d'eau en fonction du taux d'oxygène dissous en juillet-août 1995.

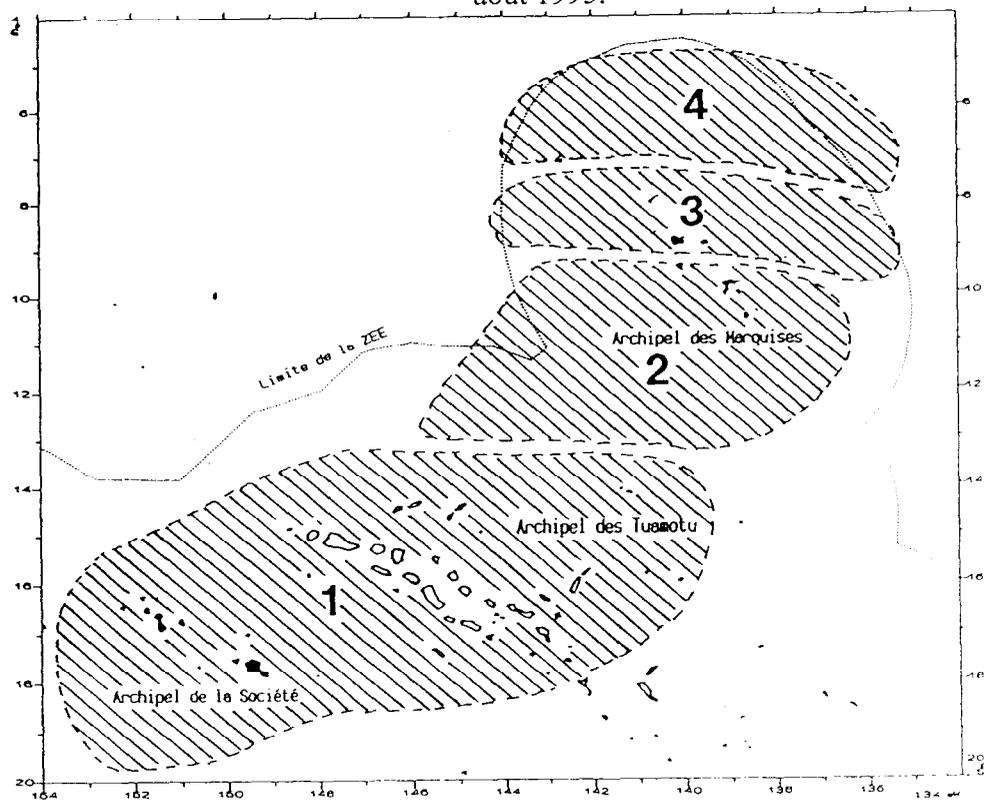


Figure 23 B : Découpage des masses d'eau en fonction du taux d'oxygène dissous en janvier-février 1996.

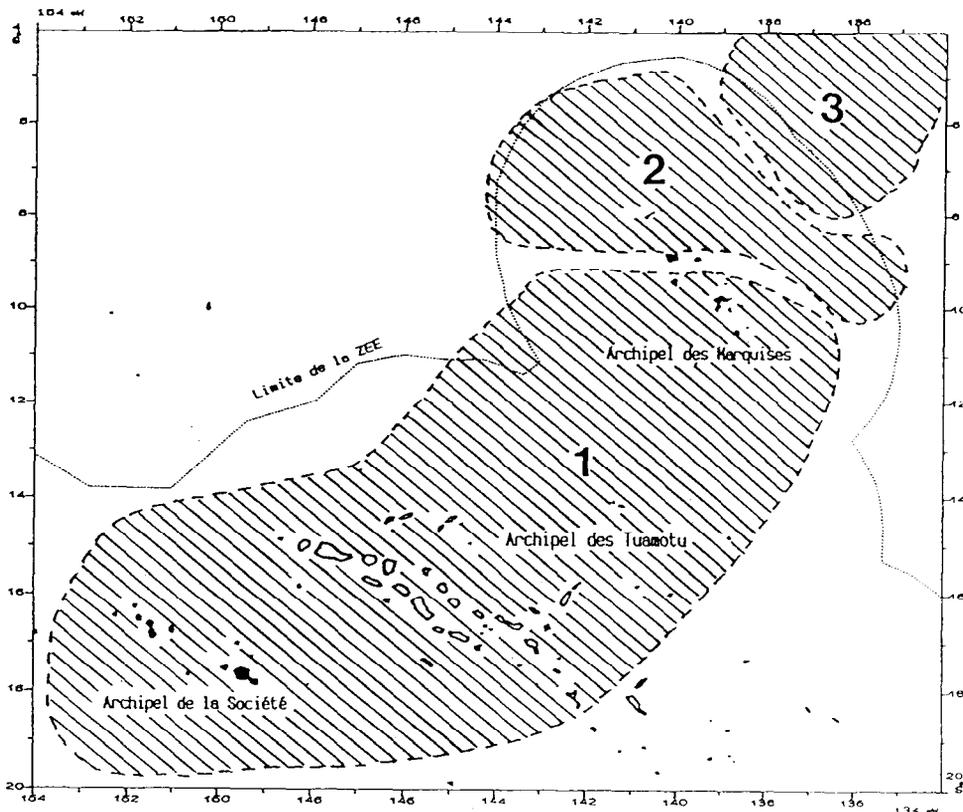


Figure 24 A : Découpage des masses d'eau en fonction de la densité en juillet-août 1995.

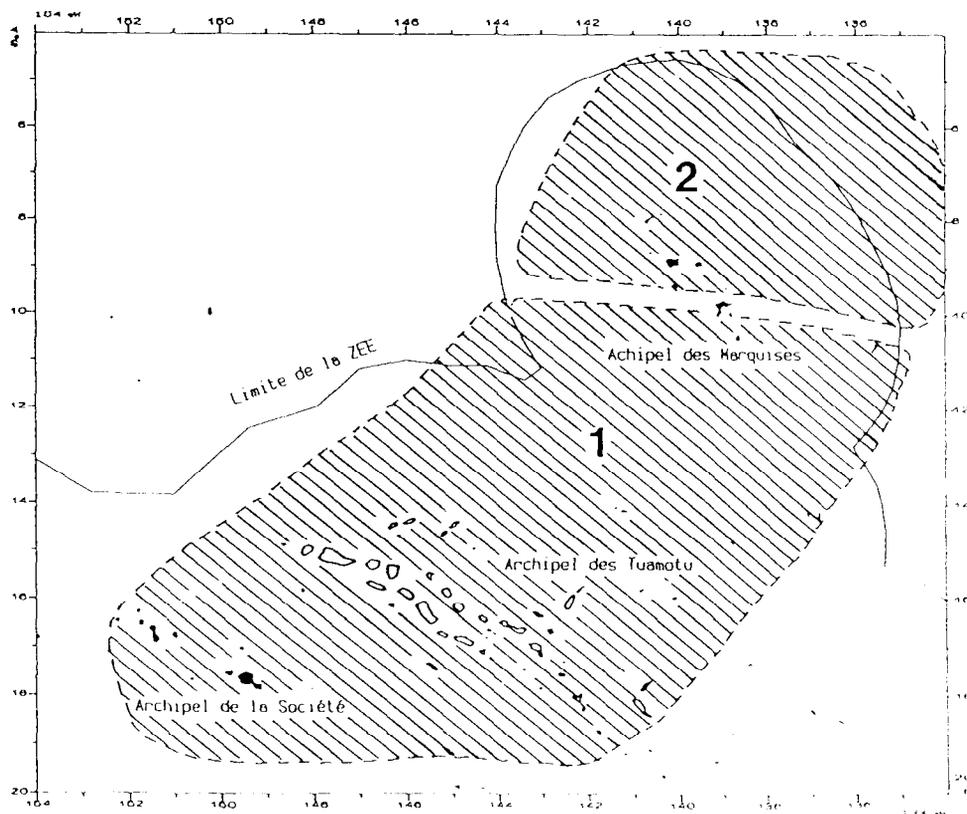


Figure 24 B : Découpage des masses d'eau en fonction de la densité en janvier-février 1996.

Cette relative homogénéité des découpages de la zone en regard des variables température, oxygène et densité nous a amené à les regrouper dans une même matrice, qui a fait l'objet d'une classification hiérarchique.

Quatre groupes qui apparaissent les plus évidents au vue du dendrogramme, sont mis en évidence (fig. 25 A et B).:

- Zone 1 stations 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 42, 59, 60
- Zone 2 stations 10, 11, 12, 13, 14, 29, 30, 31, 32, 43, 44, 45, 56, 57, 58
- Zone 3 stations 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 27, 28, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55
- Zone 4 stations 18, 24, 25, 26

L'hétérogénéité latitudinale est confirmée et la variabilité saisonnière de l'hydrologie du nord de la ZEE est mise en évidence. En janvier, les stations 42 et 60 sont regroupées avec les stations de la Société du mois de juillet, ce qui laisse supposer une grande zone homogène s'étendant de 17°S à 14°S. Ce n'est pas le cas pour la saison juillet-août, car le manque d'information concernant les Tuamotu ne permet pas d'établir de frontière bien définie entre les zones 1 et 2. L'effet de la saisonnalité est bien marqué, puisque les relevés ont été réalisés sur deux saisons (été et hivers boréal) ce qui permet d'observer l'évolution des différentes masses d'eau. Les zones semblent s'agrandir ou se déformer entre ces deux périodes. Juillet et août laissent apparaître une masse d'eau supplémentaire au nord-est des Marquises par rapport à janvier.

Pour interpréter les caractéristiques des profils verticaux de chaque variable propre à chaque zone, un profil moyen a été calculé pour chaque zone identifiée.

En ce qui concerne la température (fig. 26), on observe une remontée de la thermocline de la zone 1 à la zone 4, c'est à dire de la Société aux nord des Marquises. La thermocline est particulièrement haute dans la zone 4, entre 100 et 200 mètres de profondeur, alors qu'elle n'est pas apparente dans l'archipel de la Société.

Pour l'oxygène (fig. 27), on observe une remontée de l'oxycline du sud vers le nord. Dans la quatrième zone, l'oxycline se situe aux environs de 200 mètres, alors qu'elle est pratiquement inexistante dans la première zone.

On observe également pour la densité, une remontée de la picnocline du sud vers le nord (fig. 28). Elle est très peu marquée de la Société au sud des Marquises, et s'accroît au nord des Marquises. La zone 4 marque une très nette picnocline entre 50 et 100 mètres.

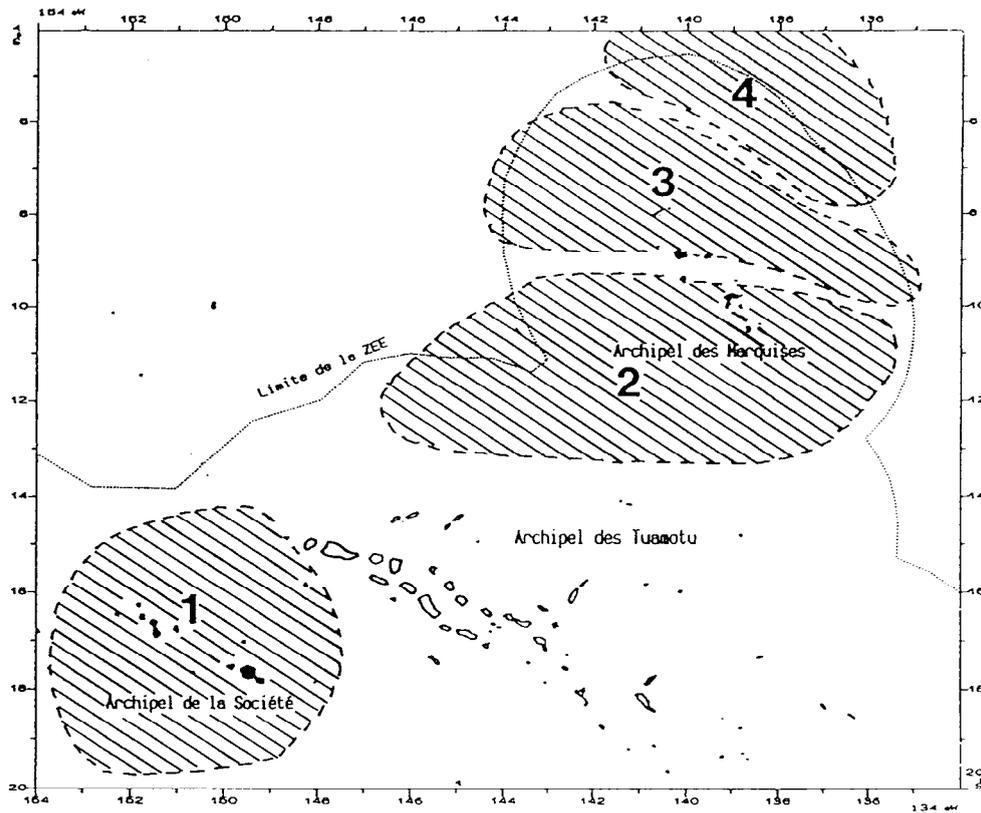


Figure 25 A : Découpage des masses d'eau retenu en juillet-août 1995.

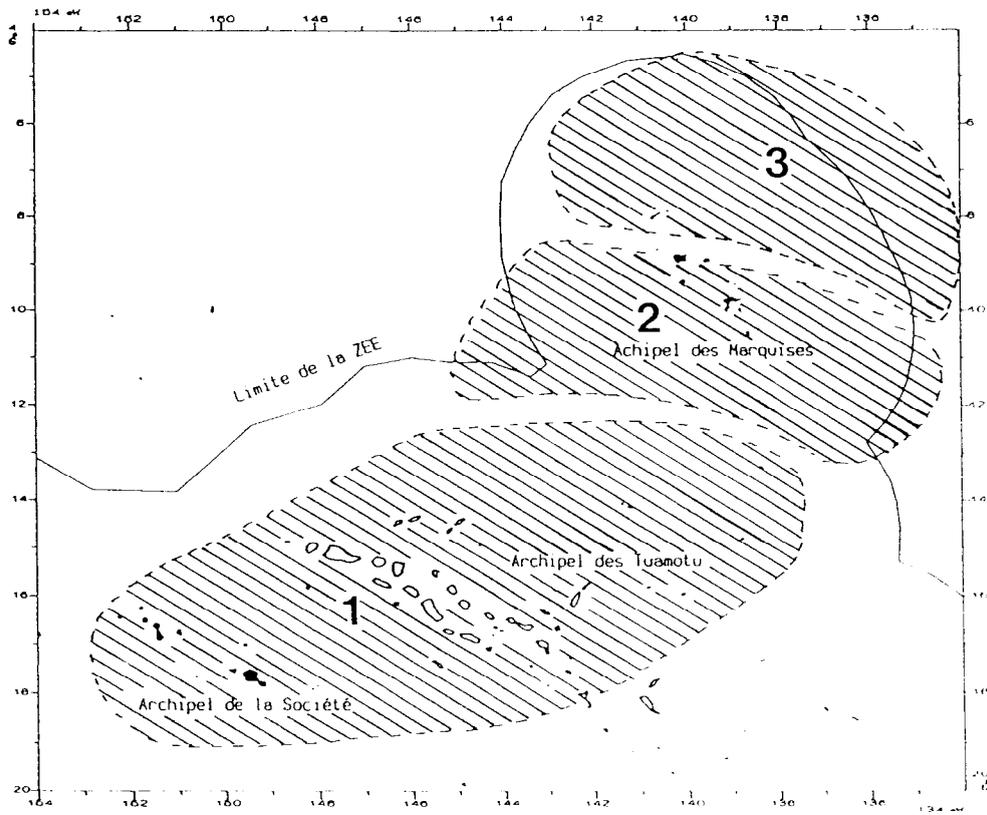


Figure 25 B : Découpage des masses d'eau retenu en janvier-février 1996.

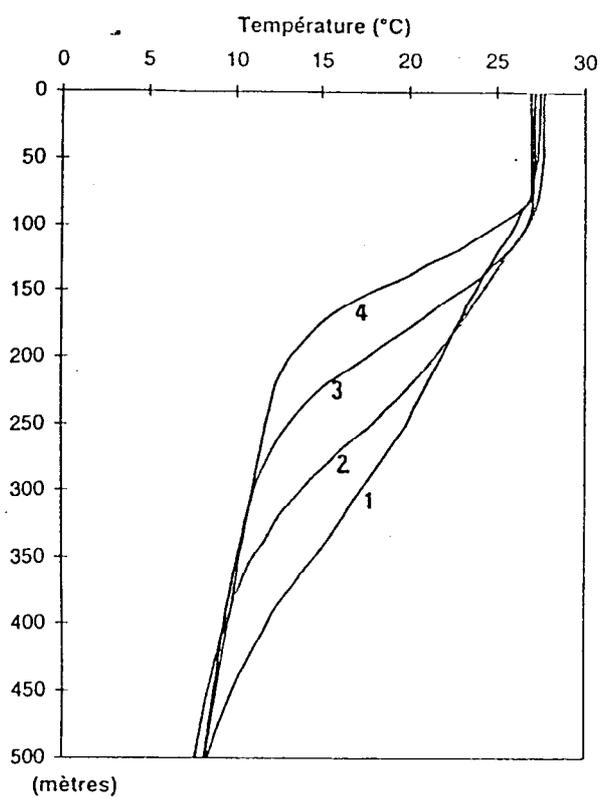


Figure 26 : Profils de température (°C) des 4 zones.

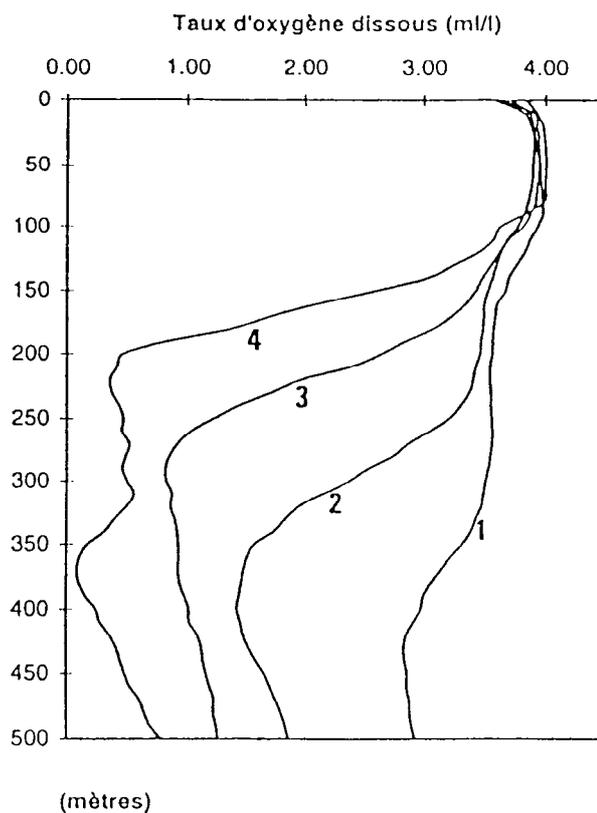


Figure 27 : Profils d'oxygène (ml/l) des 4 zones.

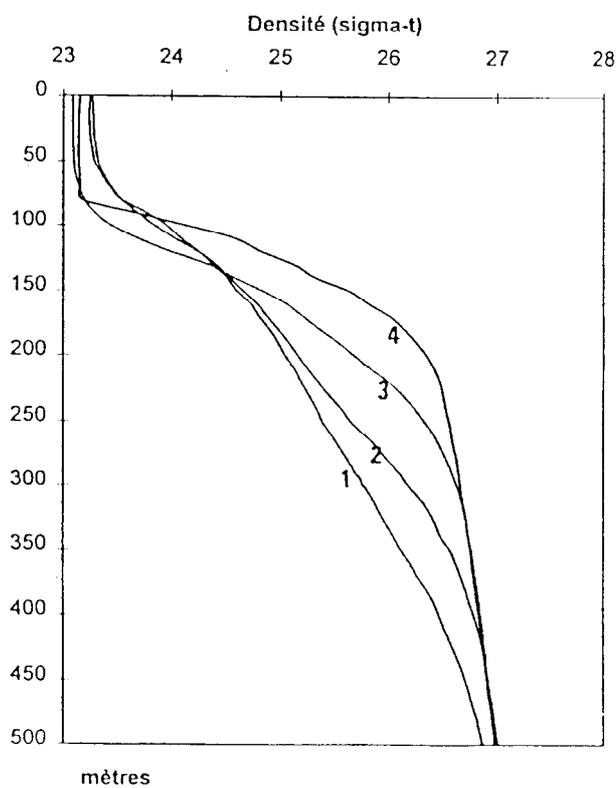


Figure 28 Profils de densité (Sigma-T) des 4 zones.

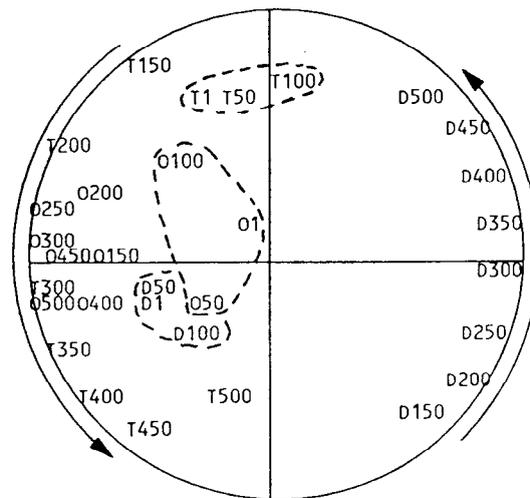
4.2.2. Résultats de l'ACP

Les deux premiers axes de l'ACP expliquent respectivement 51.8 % et 18.7 % de la variance totale (tab. 3). Le taux de contribution des autres axes est relativement faible. L'étude ne se fera donc que sur le plan factoriel 1-2.

Tableau 3 : Résultats de la diagonalisation.

Axes	1	2	3	4	5
Valeurs propres	17.08	6.19	2.94	2.29	1.05
Contribution à la variation totale	51.8 %	18.7 %	8.9 %	6.9 %	3.2 %

Le cercle des corrélations des variables de la matrice (fig. 29) met en évidence une très nette opposition entre les variables température et les variables densité. Ces variables sont inversement corrélées. L'oxygène contribue surtout à l'axe 1, et le tire vers la gauche. La température et la densité sont donc redondantes. Cette dernière a tout de même été conservée, car elle apporte un gain de 3 % de variabilité expliquée sur le plan factoriel 1-2.



Points vus : O250 T300 points cachés : T250 O350

figure 29 : cercle des corrélations sur le plan 1-2.

Nous pouvons noter une faible participation des 3 variables prises à 1, 50 et 100 mètres. Elles sont réparties au centre du cercle et participent très peu à la formation des axes. Ceci révèle une certaine homogénéité de la couche d'eau 0-100 mètres dans l'ensemble de la zone d'étude, puisque cette tranche d'eau ne permet pas de séparer

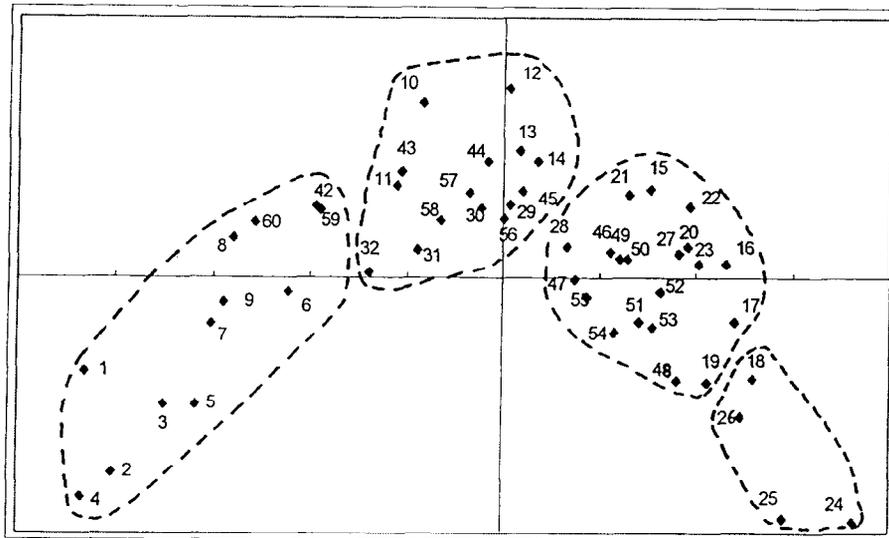


Figure 30 : Représentation des stations hydrologiques dans le plan factoriel 1-2.

La forme du nuage des points objets, à savoir les stations, est en V (V renversé dans le cas de la figure 30) : cela traduit un effet Guttman (Benzecri et Benzecri, 1984, *in* Jouffre 1989). Cet effet révèle la présence d'un gradient dans l'ensemble des échantillons. La distribution des regroupements de stations (fig. 25) suit, en effet, un gradient du sud vers le nord qui se traduit par la remontée des différents isothermes et oxycline.

Les stations du sud ont des températures qui varient régulièrement de la surface à 500 mètres de fond. Leur baisse est régulière et n'est pas caractérisée par de forts gradients. Les valeurs du taux d'oxygène dissous décroissent également très progressivement, l'oxycline est peu accentuée. La densité quant à elle, augmente à partir de 75 mètres, mais toujours très progressivement jusqu'à 500 mètres.

Les stations les plus au nord ont des profils de température et d'oxygène beaucoup plus marqués. La thermocline et l'oxycline remontent, et sont trouvées entre 100 et 200 mètres au nord des Marquises. La densité a également de plus forts gradients au nord, car la pycnocline se répartie entre 75 et 150 mètres.

4.3. DISCUSSION

Les différents regroupements des 51 stations de pêche en fonction des variables hydrologiques montrent une distribution latitudinale de plusieurs masses d'eau. Si l'on regroupe toutes les variables pour n'avoir qu'une seule partition, 4 zones sont ainsi identifiées entre l'archipel de la Société (20°S) et le nord de la ZEE (5°S).

L'effet de la saisonnalité est bien marqué puisque la dernière zone n'apparaît qu'en juillet-août, et que les 3 autres se déforment mais ne semblent pas avoir de déplacement latitudinal important. Seul le nord (zone au nord de 10°S) paraît subir des variations saisonnières. La proximité de l'upwelling équatorial nous conduit à lier les deux événements.

L'upwelling équatorial fait remonter des eaux froides et denses qui s'étendent jusqu'aux Marquises. Cette tendance est confirmée par la remontée de la thermocline et de la pycnocline dans les stations du nord. La remontée de ces eaux entraîne une accumulation de sels nutritifs à de faibles profondeurs, et donc une production primaire relativement importante. Les réactions trophiques en chaîne qui en découlent ont d'important besoin d'oxygène, ce qui explique les forts gradients de l'oxycline entre 100 mètres et 200 mètres de fond en particulier dans la zone 4.

Les Marquises possèdent les eaux les plus riches de la ZEE polynésienne. La plus grande partie de la zone semble relativement pauvre, mis à part quelques zones proches de l'upwelling équatorial.

La baisse des alizés entraîne une baisse de l'intensité de l'upwelling et donc une remontée d'eaux froides moins importante. Les masses d'eau chaudes s'étendent ainsi vers l'équateur. Ceci explique l'absence de la zone 4 en janvier 1995, avec l'extension de la zone 3 vers le nord, puisque durant cette saison, l'intensité des alizés de sud-est dans la zone est minimale. On remarque cependant la constance de la limite 9-10°S quelque soit la période considérée. Celle-ci pourrait correspondre à la limite de l'influence de l'upwelling équatorial dans les eaux de la ZEE polynésienne.

Les masses d'eau sont donc vouées à des déplacements latitudinaux saisonniers plus ou moins importants. Les ressources pélagiques dont les distributions verticales et horizontales sont liées aux paramètres environnementaux doivent donc subir l'influence de ces phénomènes. Leur répartition géographique devrait varier suivant les saisons et les années et suivant les zones définies.

Dans le cas des deux périodes étudiées, aucun phénomène de type ENSO n'a pu être mis en évidence. Il n'est pas exclu que des perturbations hydroclimatiques, en plus de la baisse des alizés, puissent avoir eu lieu. Malheureusement le manque d'information à ce sujet ne permet pas d'approfondir nos résultats.

5. Analyse des captures

5.1. INTRODUCTION

L'étude concerne l'analyse des 3 campagnes de pêche réalisées dans le cadre du programme ECOTAP à savoir : ECOTAP 1, ECOTAP 2 et ECOTAP 5 (fig. 20).

Comme cela a été décrit précédemment, la modélisation de la forme de la palangre permet de connaître la profondeur de capture de chaque poisson. Ces profondeurs, rapportées aux données environnementales récoltées à chaque station de pêche (sonde Seacat), caractérisent ainsi chaque capture d'une valeur de température, de taux d'oxygène dissous et de taux de salinité.

L'objectif est de caractériser chacune des 3 espèces de thons (germon, thon obèse et thon à nageoire jaune) à partir des variables environnementales. Les variables utilisées ont été la température et l'oxygène car d'après les analyses du chapitre précédent, la salinité qui sert en fait à calculer la densité, est une variable redondante de la température et présente donc peu d'intérêt. En plus des variables environnementales, ont été retenus les facteurs zones hydrologiques identifiées précédemment et profondeur des captures.

Les résultats devraient permettre d'établir des liens entre la répartition du thon et les paramètres environnementaux. En effet, l'amélioration de nos connaissances en matière de distribution verticale et de distribution géographique à l'échelle de la ZEE polynésienne doit permettre aux pêcheurs d'optimiser leur effort de pêche sur certaines espèces cibles.

5.2. MATERIEL ET METHODES

5.2.1. Acquisition des données de pêche

Les saisons et les sites d'échantillonnage correspondent à ceux utilisés dans le cadre de la caractérisation hydrologique de la zone d'étude.

Compte tenu de la faible efficacité de l'engin de pêche, aucun plan d'échantillonnage biologique des prises n'a été nécessaire et tous les poissons remontés ont été identifiés, pesés et mesurés. Toutefois, les espèces d'intérêt majeur, et notamment les thons, ont fait l'objet d'observations particulières sur l'état de développement des gonades, l'état de réplétion de l'estomac et le développement de la vessie natatoire. Pour ces mêmes espèces, les estomacs ont été prélevés pour l'étude de leur contenu ainsi que les otolithes pour une étude ultérieure de l'âge.

5.2.2. Calcul de l'effort de pêche

L'effort de pêche permet d'apprécier la pression de pêche exercée sur un stock. Il est indispensable de définir une unité d'effort afin d'exprimer les résultats de pêche en capture par unité d'effort (CPUE). Dans le cadre de la pêche palangrière, l'effort de pêche nominal est régulièrement exprimé en nombre d'hameçons. Le nombre d'hameçons mouillés est connu pour chaque station de pêche, ce qui permet de calculer un effort total et un effort journalier.

Il est apparu intéressant de calculer un effort par strate de profondeur. Pour ce, le modèle de la palangre décrit précédemment (Chapitre 3) a été employé. Le principe consiste à définir la profondeur des 25 hameçons de chaque élément par intervalle de temps régulier, durant tout le temps de l'immersion. L'unité d'effort de pêche retenue a été l' "hameçon-dix-minutes". Le modèle est donc exécuté toutes les 10 minutes, classant les profondeurs des hameçons par tranche d'eau de 50 mètres. Ainsi, pour chaque pêche, on dispose d'une distribution du nombre d'hameçons ayant pêché 10 minutes par strate de profondeur. L'observation des variations de profondeur des capteurs de pression au cours du temps montre qu'un intervalle de temps de 10 minutes permet de bien rendre compte de l'occupation des tranches d'eau par les hameçons d'un élément.

5.2.3. Les traitements statistiques

Les données sont analysées au moyen de différentes méthodes statistiques dont ne seront évoqués que les principes généraux. Tous les traitements ont été réalisés à l'aide du progiciel STAT-ITCF.

5.2.3.1. L'Analyse Factorielle Discriminante (AFD)

L'objectif des analyses est de déterminer quelles variables environnementales influent le plus sur la distribution de chaque espèce de thonidés en essayant de montrer si l'espèce représente une entité homogène quant à ses réponses aux variations de l'environnement. L'AFD s'est révélée l'analyse répondant le mieux à cet objectif.

Le principe de l'AFD est le même que celui de l'ACP. Cette méthode consiste à représenter des individus dans un espace réduit créé à partir de descripteurs. Mais cette analyse a l'avantage d'ajouter un caractère discriminant ; c'est à dire que les n objets peuvent être classés en x groupes et l'AFD évaluera la qualité de cette discrimination.

Cette analyse recouvre deux aspects : le premier consiste à séparer "au mieux" l'ensemble des individus et donc des groupes à partir des p variables ; l'AFD permet ainsi la discrimination de la population. Le deuxième objectif de la méthode est de reclasser les n individus dans les x groupes et d'estimer l'erreur de classement associée ; l'AFD permet donc d'effectuer un classement des n objets.

Les variables qui ont été prises en compte dans cette analyse sont :

les zones retenues lors de l'analyse des masses d'eau		(Zone) ;
la profondeur des captures		(Prof) ;
la température		(Temp) ;
l'oxygène		(Oxy) ;
le gradient de température	(°C/10m)	(G_T) ;
le gradient d'oxygène	(ml/l/10m)	(G_O) ;

L'analyse n'a pas été réalisée sur les valeurs brutes de ces variables, elles ont toutes été divisées en classes. Ce classement permet de mieux dégager les tendances des relations entre capture et environnement en diminuant en particulier "le bruit" causé par des erreurs d'estimation des profondeurs. La qualité de la discrimination est ainsi améliorée, ainsi que son interprétation au niveau biologique.

- *La profondeur* : Elle a été divisée en classes de 50 mètres, de 100 à 400 mètres de fond. Peu de poissons ont été pêchés en dessous de 400 mètres et donc le dernier intervalle (qui porte le numéro 9) regroupe toutes les captures de 400 à 500 mètres. Au dessus de 100 mètres, 2 classes ont été distinguées : de 0 à 20 mètres et de 20 à 100 mètres ; le premier intervalle regroupe tous les poissons pêchés en surface et permet ainsi de les distinguer de ceux pêchés plus profondément. Les pêches en surface sont en effet à considérer avec précaution puisqu'elles se situent aux limites de validité du modèle.
- *La température* : Les classes ont été établies à partir des profils de température des 4 zones hydrologiques. Les bornes ont été choisies en fonction des ruptures de pente des différents profils (fig. 31) :

< 12°C	(classe 1)
12-15°C	(classe 2)
15-20°C	(classe 3)
20-26°C	(classe 4)
> 26°C	(classe 5)

La borne supérieure a été fixée à 26°C, car elle caractérise, sur les 4 zones, la limite inférieure de la couche homogène. La borne 15°C caractérise la limite inférieure de la thermocline de la zone 4, ainsi que 12°C pour les zones 2 et 3.

- *L'oxygène* : Les bornes des intervalles ont été fixées en fonction des profils des 4 zones hydrologiques. On distingue les intervalles (fig. 32) :

< 0,5 ml/l	(classe 1)
0,5-0,9 ml/l	(classe 2)
0,9-1,6 ml/l	(classe 3)
1,6-3,0 ml/l	(classe 4)
3,0-3,4 ml/l	(classe 5)
3,4-3,8 ml/l	(classe 6)
> 3,8 ml/l	(classe 7)

Le taux 3.8 ml/l détermine le début des oxyclines des zones 2, 3 et 4. L'intervalle 3.0 à 3.4 ml/l caractérise la faible oxycline de la zone 1, entre 350 et 400 mètres de profondeur. Les taux 1.6, 0.9 et 0.5 ml/l délimitent respectivement les ruptures de pente des oxyclines des zones 2, 3 et 4.

- *Le gradient de température* : Ils ont été calculés tous les dix mètres de 10 à 500 mètres de profondeur. Ils représentent la variation de température dans des tranches d'eau successives de 10 mètres (fig. 33). Les classes de gradient de température suivants ont été définies :

0.00-0.02°C	(classe 1)
0.02-0.04°C	(classe 2)
0.04-0.06°C	(classe 3)
0.06-0.08°C	(classe 4)
0.08-0.10°C	(classe 5)
0.10-0.12°C	(classe 6)
0.12-0.14°C	(classe 7)
> 0.14°C	(classe 8)

- *Les gradients d'oxygène* : Ils ont été calculés comme les précédents. Ils représentent la variation du taux d'oxygène par tranche de 10 mètres (fig. 34). Les gradients varient de -0.03 à 0.06 ml/l/10m (classes 1 à 11). La première classe regroupe les gradients inférieurs à -0.01 ml/l et la dernière les gradients supérieurs à 0.04 ml/l. Les autres classes ont un intervalle constant de 0.005 ml/l.
- *Les zones* : Les zones hydrologiques ont été également classées : la zone la plus au sud prend ainsi la valeur 1, tandis que la dernière zone, au nord des Marquises, se voit attribuer la valeur 4.

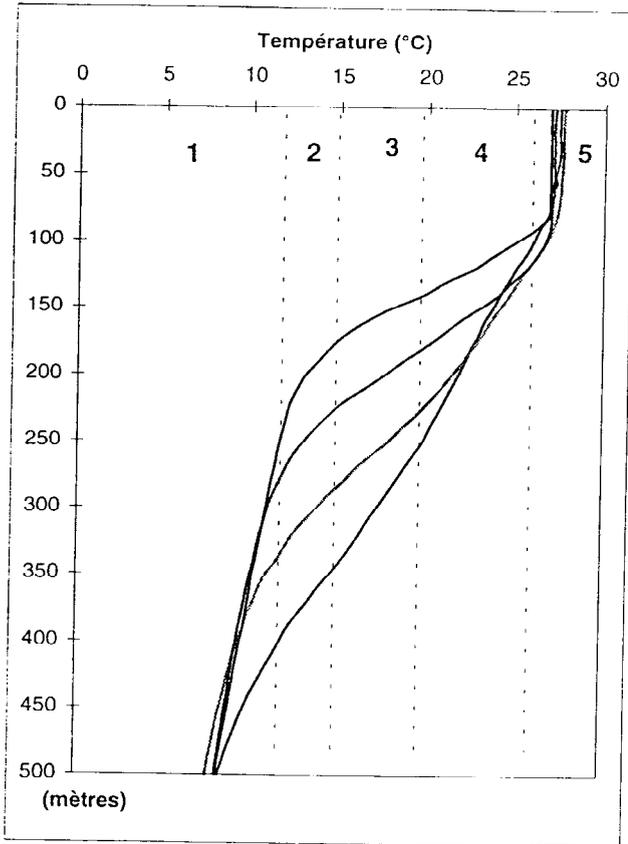


Figure 31 : Profils et classes de température.

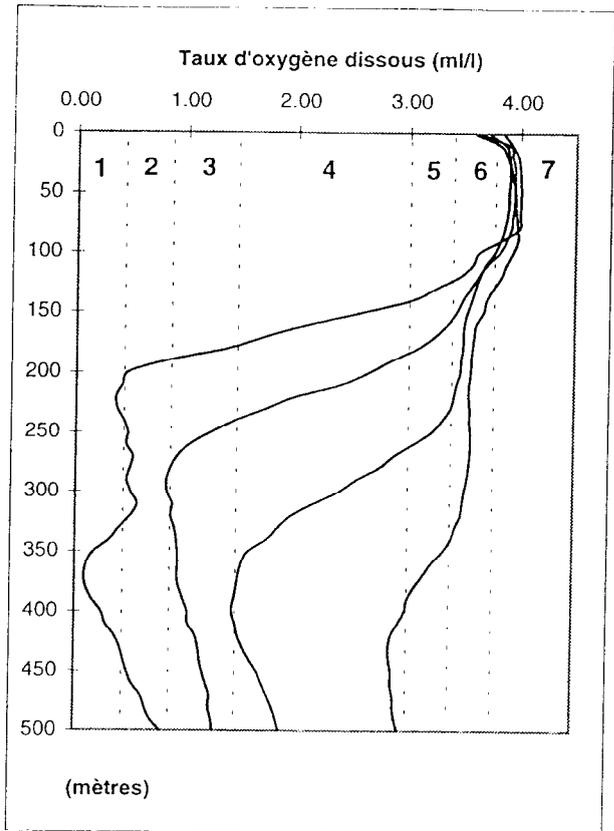


Figure 32 : Profils et classe d'oxygène.

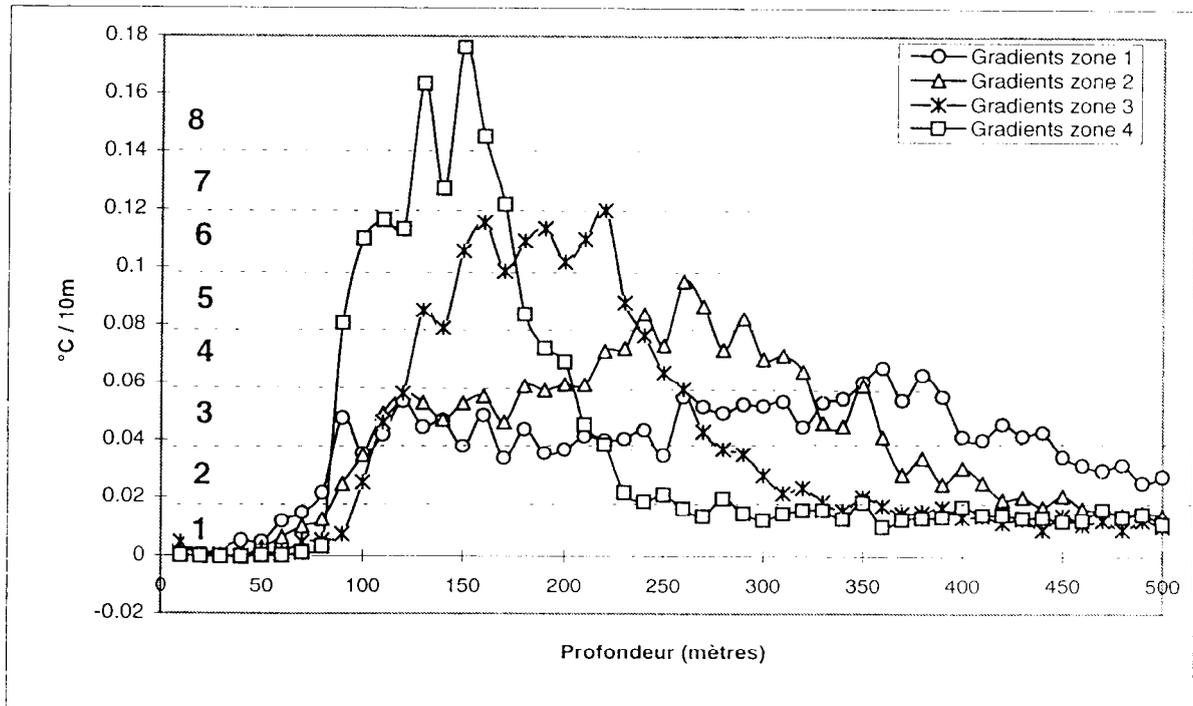


Figure 33 : Gradients de température (°C / 10m) et classes définies.

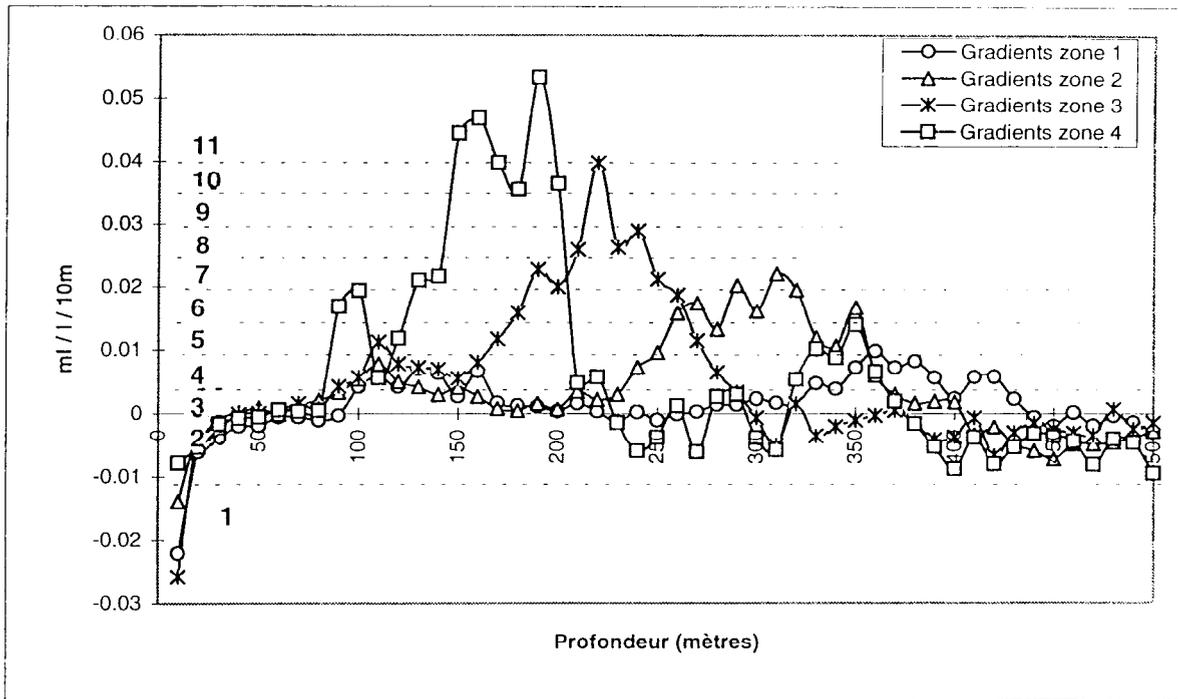


Figure 34 : Gradients d'oxygène (ml / l / 10m) et classes définies.

5.2.3.2. La comparaison de distribution (Kolmogorov-Smirnov)

Le test de comparaison de Kolmogorov-Smirnov est un test non paramétrique de conformité qui est utilisé pour comparer deux échantillons indépendants. Il s'applique aux variables quantitatives et possède l'avantage d'être puissant (Sherrer, 1984). Il consiste à calculer les différences existant entre les distributions de fréquences relatives cumulées de deux échantillons et à vérifier si la plus grande des différences peut être le fruit de fluctuations fortuites d'échantillonnage. Si ce n'est pas le cas, l'écart peut provenir d'une différence de position des deux distributions ou encore d'une différence de dispersion, d'asymétrie ou autre.

Ce test a été utilisé pour confirmer et appuyer certains résultats de l'AFD ; il permet de comparer les distributions des 3 thonidés étudiés par rapport aux variables retenues pour l'analyse discriminante.

5.3. RESULTATS

5.3.1. Résultats des campagnes de pêche

5.3.1.1. Résultats bruts

Au cours des missions ECOTAP 1, ECOTAP 2, ECOTAP 5, un total de 27 739 hameçons ont été mouillés. Les captures sont de 517 individus, parmi lesquels 58 % sont des thons (tab. 4).

Les 300 thons pêchés représentent un poids total d'environ 7.4 tonnes (tab. 5). Les germes représentent 46 % des prises des thons, avec un poids moyen de 21.8 kg. Le poids moyen des thons à nageoire jaunes (19.6 % des prises de thons) s'élève à 24.2 kg. Ce poids moyen atteint 28.5 kg pour les thons obèses qui représentent 34.7 % des captures des thons.

Tableau 4 : Résultats des pêches (en effectifs) par mission.

ESPECES	ECOTAP 1	ECOTAP 2	ECOTAP 5	TOTAL
"Lancetfish" <i>Alepisaurus ferox</i>	8	10	17	35
Barracuda <i>Sphyraena barracuda</i>	2	4	1	7
Fausse carangue <i>Bramidae gen. sp.</i>	0	7	15	22
Espadon <i>Xiphia gladius</i>	2	2	2	6
Germon <i>Thunnus alalunga</i>	48	45	45	138
Bonite <i>Katsuwonus pelamis</i>	0	2	4	6
Mahi-mahi <i>Coryphaena hippurus</i>	0	26	0	26
Marlin bleu <i>Makaira mazara</i>	1	5	8	14
Marlin à rostre court <i>Tetrapturus angustirostris</i>	4	9	1	14
Marlin rayé <i>Tetrapturus audax</i>	16	3	0	19
Requin bleu <i>Prionace glauca</i>	3	11	13	27
Requin crocodile <i>Pseudocarcharias kamoha</i>	0	5	1	6
Requin nag. blanches <i>Charcharinus longimanus</i>	0	3	4	7
Requin soyeux <i>Charcharinus falciformis</i>	0	3	3	6
Raie violette <i>Dasyatis violacea</i>	1	1	5	7
Saumon des dieux <i>Lampris regius</i>	2	2	0	4
Thazard <i>Acanthocybium solandri</i>	3	4	4	11
Thon à nageoire jaune <i>Thunnus albacares</i>	6	24	28	58
Thon obèse <i>Thunnus obesus</i>	12	63	29	104
TOTAL	108	229	180	517

Tableau 5 : Captures des 3 principales espèces de thon lors de chaque mission.

	ECOTAP 1		ECOTAP 2		ECOTAP 5		TOTAL	
	Nombre	Poids (kg)	Nombre	Poids (kg)	Nombre	Poids (kg)	Nombre	Poids (kg)
Germon	48	1099	45	966	45	945	138	3010
Thon à nageoire jaune	6	151	24	529	28	726	58	1406
Thon obèse	12	373	63	1657	29	932	104	2962
TOTAL	66	1623	132	3152	102	2603	300	7378

5.3.1.2. Résultats des captures par unité d'effort par zone hydrologique

L'analyse de la variabilité géographique des prises se fera à partir des variations des captures par unité d'effort, l'effort de pêche étant exprimé en nombre d'hameçon. Les captures, en effectif et en poids, par station sont trop faibles pour qu'une tendance dans la variation des CPUE puisse être mise en évidence. C'est pourquoi, un regroupement des stations de pêche a été réalisé. Ce regroupement a été obtenu sur la base d'un critère hydrologique. Ainsi, les stations de pêche ont été regroupées au sein des zones hydrologiques précédemment définies.

Les tableaux 6 et 7 montrent respectivement les distributions de l'effort de pêche et des captures (effectif et poids) des thons par zone. Les CPUE par zone de toutes espèces de thons confondues, en effectif et en poids, suivent les mêmes tendances (fig. 35 A et B). Au sud de 10°S, les rendements pondéraux dépassent 30 kg / 100 hameçons, tandis qu'au nord, ils chutent jusqu'à atteindre 11 kg / 100 hameçons dans la zone 4.

Tableau 6 : Effort (en nombre d'hameçons) déployé par zone hydrologique.

	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4
hameçons	6462	8181	10946	2150

Tableau 7 : Captures (en effectifs et poids) des 3 espèces de thons dans les 4 zones hydrologiques.

	zone 1		zone 2		zone 3		zone 4	
	nombre	poids	nombre	poids	nombre	poids	nombre	poids
Germon	72	1608	56	1161	9	178	1	23
Thon obèse	13	398	58	1513	28	832	3	119
Thon à nageoire jaune	6	151	15	322	33	843	4	90

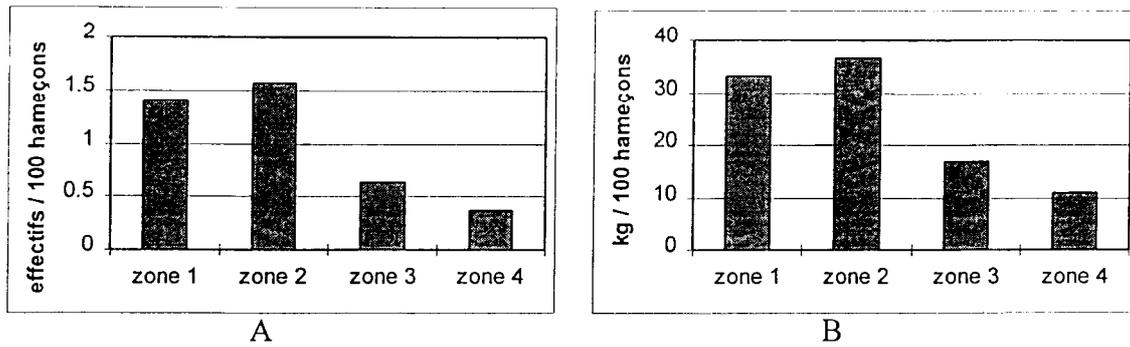


Figure 35 : CPUE des 3 espèces de thons confondues (en poids (A) et en effectifs (B)) dans les 4 zones hydrologiques.

Les distributions des CPUE du germon exprimées en effectif et en poids sont similaires, ce qui traduit l'absence de variation inter-zone du poids moyen (fig. 36 A et B). La même tendance est observée pour les deux autres espèces thon à nageoire jaune et thon obèse.

Les CPUE du germon diminuent du sud au nord (fig. 36 B). On passe de 25 kg/100 hameçons dans la zone 1 à 14 kg dans la zone 2, 2kg dans la zone 3 et 1 kg/100 hameçons dans la zone 4. Il y a une très nette barrière entre les zones 2 et 3, soit à la latitude 10°S.

Les rendements du thon obèse sont à peu près équivalents dans les zones 1, 3 et 4 avec environ 6 kg / 100 hameçons (fig. 36 B). La zone 2 est à considérer avec précaution puisqu'elle contient la station 32 qui fût le lieu de pêche de 24 individus (soit 646 kg). Sans ce coup de pêche exceptionnel, le rendement de cette zone qui sont de 18 kg / 100 hameçons, seraient équivalent à ceux des autres zones.

Le thon à nageoire jaune a les rendements pondéraux les plus faibles dans les zones 1 et 2, puisqu'ils ne dépassent pas 4 kg/100 hameçons (fig. 36 B). Ses rendements sont à peu près égaux à ceux du thon obèse dans les zones 3 et 4, soit 5-6 kg / 100 hameçons.

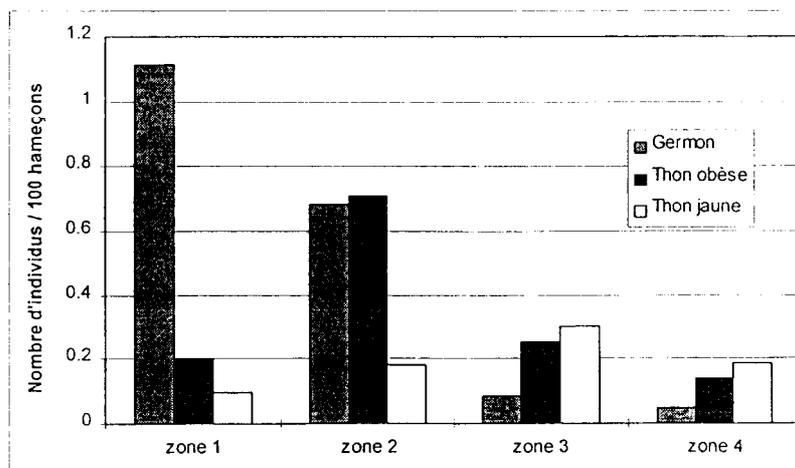


Figure 36 A: CPUE en effectifs des 3 espèces de thons par zone hydrologique.

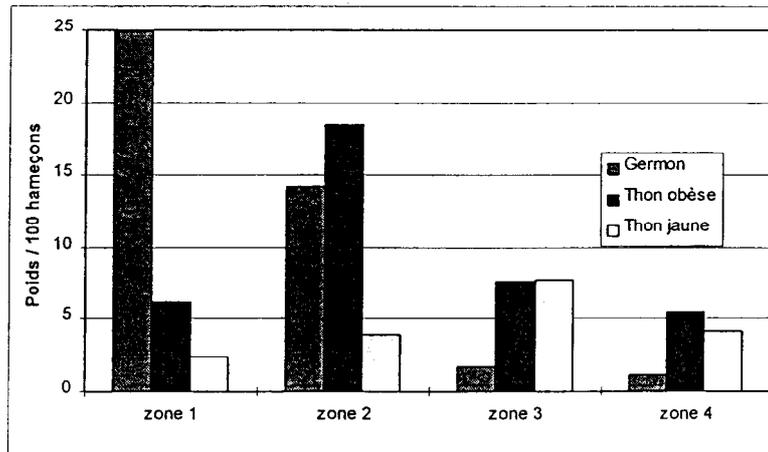


Figure 36 B : CPUE en poids (kg) des 3 espèces de thons par zone hydrologique.

5.3.1.3. Résultats des captures par unité d'effort par strates de profondeur

L'analyse des CPUE par strates de profondeur nécessite la connaissance de la profondeur de capture, profondeur qui est déterminée à partir de l'heure de capture. Le mauvais fonctionnement de certaines horloges n'a pas permis de déterminer la profondeur de captures de tous les individus. Ainsi, 251 thons (83.7 % de l'échantillon) ont été pris en compte dans les analyses, à savoir :

- 118 germes (85.5 % des germes capturés),
- 83 thons obèses (80 % des thons obèses capturés),
- 50 thons à nageoire jaune (86.2 % des thons à nageoire jaune capturés).

L'unité d'effort de pêche retenue dans cette analyse est le nombre d'hameçons ayant pêché 10 minutes. Cet effort a été réparti par tranche de profondeur de 50 mètres.

La distribution des hameçons-dix-minutes en fonction de la profondeur (fig. 37) montre que l'effort maximal est réparti entre 50 et 300 mètres de profondeur avec près de 85000 hameçons-dix-minutes par strate de 50 mètres. Au delà de 400 mètres, l'effort est réduit de moitié tous les 50 mètres. L'effort en surface (dans la strate 0-50 mètres) est également faible, mais cette tranche d'eau est à analyser avec précaution puisque les hameçons sont souvent animés d'un mouvement lors de la remontée ou lors de la descente de ligne, et ont donc un comportement différent par rapport aux autres strates.

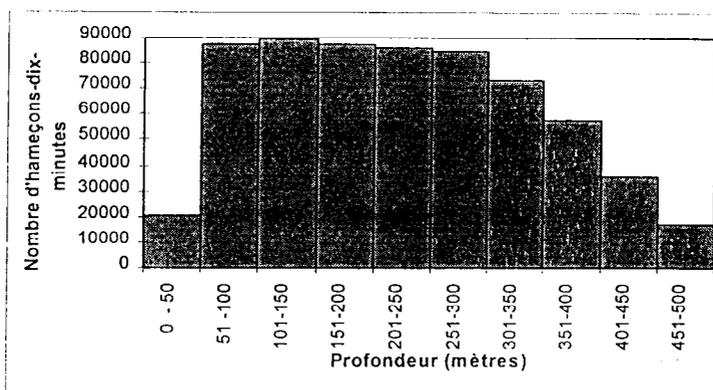


Figure 37 : Répartition de la totalité des hameçons-dix-minutes par strates de profondeur.

Les CPUE en effectif et en poids par strates de profondeur, toutes espèces de thons confondues, suivent les mêmes tendances (fig. 38). La strate 0-50 mètres ne peut être objectivement comparée aux autres profondeurs puisque de nombreux poissons ont été capturés en surface alors que la ligne était en mouvement. Les CPUE sont maximum entre 200 et 350 mètres de profondeur, avec un maximum de 1.5 kg / 100 hameçons-dix minutes entre 300 et 350 mètres. Le rendement minimal est entre 450 et 500 mètres où il ne dépasse pas 0.3 kg / 100 hameçons-dix-minutes.

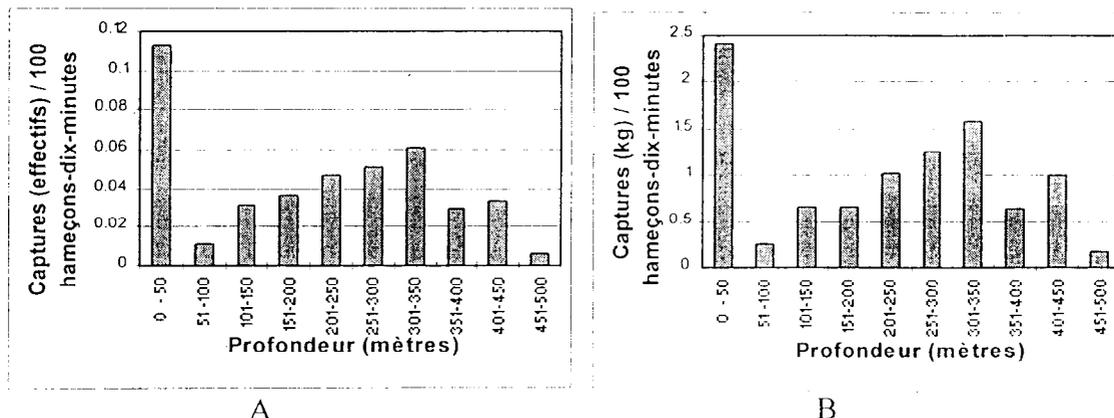


Figure 38 : CPUE des 3 espèces de thons confondues (en effectifs (A) et en poids (B)) par strates de profondeur.

Les distributions des CPUE (effectifs, poids) par espèce par strate de profondeur sont portées sur les figures 39 A et B. Il faut, sur ce graphe aussi, considérer avec précaution la strate 0-50 mètres, qui n'est pas révélatrice d'une réalité biologique, mais est le fait du comportement de l'engin.

Le rendement maximal du germon (de l'ordre de 0.6 kg/100 hameçon-dix-minutes) est situé entre 200 et 350 mètres de profondeur. Au delà, les CPUE sont faibles et inférieures à 0.2 kg / hameçon-dix-minutes.

Le thon obèse a des rendements pondéraux maximaux plus profonds et plus importants. Ils atteignent 0.8 kg/100 hameçon-dix-minutes entre 250 et 450 mètres de profondeur. Il est le seul à être pêché en deçà de 450 mètres. En revanche, ses captures en surface ne sont pas aussi importantes que celles des autres thonidés.

Le thon à nageoire jaune a des rendements décroissants avec la profondeur. Ses rendements sont inférieurs à ceux des autres espèces hormis dans la tranche d'eau 100-150 mètres, avec 0.3 kg/100 hameçons-dix-minutes (rendement équivalent à celui du germon dans cette tranche d'eau).

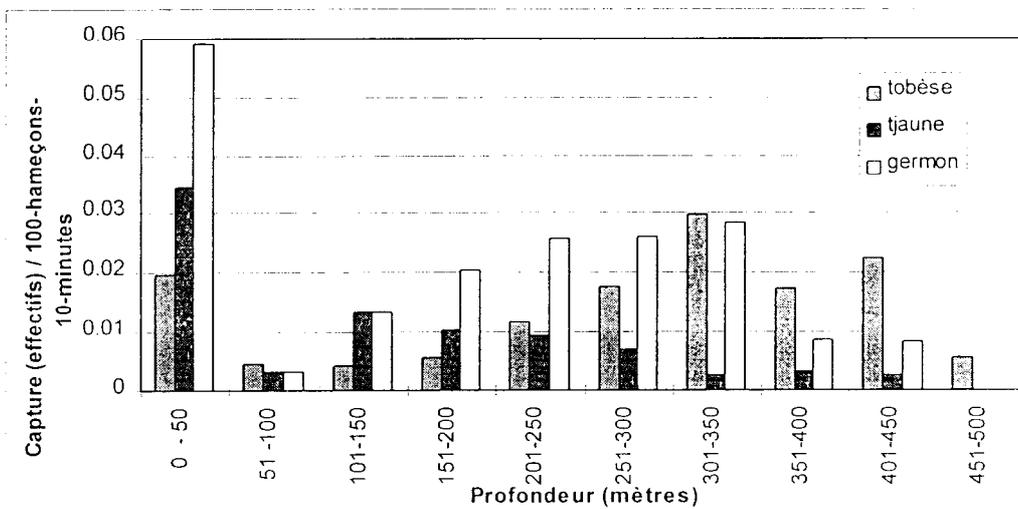


Figure 39 A : CPUE en effectif des 3 espèces de thon par strate de profondeur.

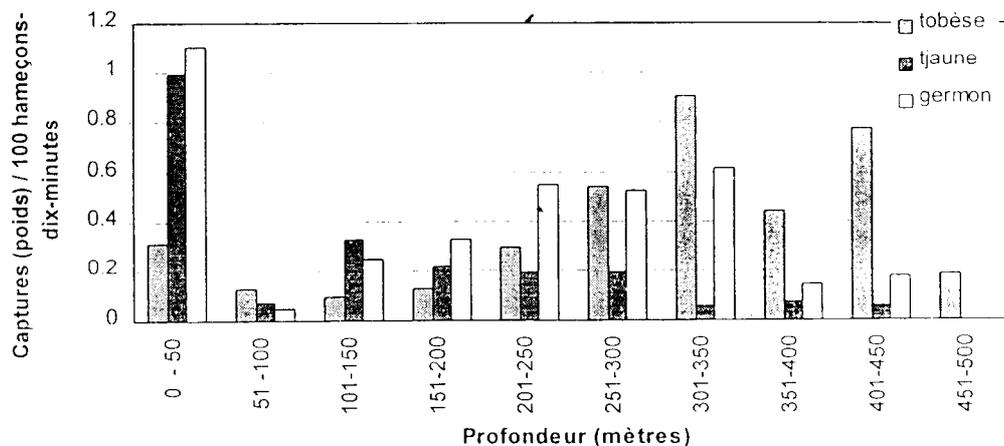


Figure 39 B : CPUE en poids (kg) des 3 espèces de thon par strate de profondeur.

5.3.2. Résultats de l'AFD

5.3.2.1. Etude des variables

L'analyse rend compte, dans un premier temps, des corrélations entre variables (tab. 8). La température est corrélée négativement à la profondeur et positivement à l'oxygène. Les gradients de température et d'oxygène sont également corrélés positivement, mais dans une moindre mesure.

Tableau 8 : Matrice de corrélation entre les variables (r^2)

	Zone	Gradient de température	Gradient d'oxygène	Profondeur	Température	Oxygène
Zone	1.00					
Grad température	0.27	1.00				
Grad oxygène	0.36	0.75	1.00			
Profondeur	-0.20	0.19	0.29	1.00		
Température	-0.06	-0.24	-0.39	-0.87	1.00	
Oxygène	-0.31	-0.26	-0.47	-0.58	0.82	1.00

L'analyse tente de discriminer les groupes en fonction des variables. Un test de Fisher est ainsi effectué sur chaque variable sous l'hypothèse nulle H_0 "tous les groupes sont égaux". Dans le cas de cette analyse, toutes les variables permettent de discriminer les 3 groupes avec un risque de première espèce de 5 % (tab. 9). La zone est la variable ayant le plus fort taux de discrimination. Le gradient de température au contraire discrimine très peu les 3 groupes.

Tableau 9 : Résultats de l'étude par variable

Variabes	F(2/248)	Probabilité
Zone	62.25	0.00 %
Gradient de température	4.92	0.81 %
Gradient d'oxygène	16.20	0.00 %
Profondeur	14.82	0.00 %
Température	20.61	0.00 %
Oxgène	22.03	0.00 %

Un deuxième test, rendant compte de l'homogénéité des groupes, est effectué à partir de la quantité "pseudo-F". La valeur la plus forte du pseudo-F est plus élevée que la valeur la plus forte du F de Fisher (tab. 10). Ceci permet de juger de l'intérêt de l'analyse, puisque cela

montre que les 3 groupes sont bien identifiés et que la combinaison linéaire entre les variables discriminantes contribue à une meilleure discrimination.

Tableau 10 : Résultats de la diagonalisation

Axe	Valeur propre	Inertie	Pseudo-F	Wilks	ddl	Proba	Corrélation
1	0.628	76.2 %	77.89	163.7	12	0.00 %	0.39
2	0.196	23.8 %	24.33	44.0	5	0.00 %	0.16

Le coefficient de corrélation (tab. 10) explique la structure des groupes : plus il est proche de 1, meilleure est la séparation globale des groupes donc meilleure est la discrimination. Dans le cas présent, l'axe 1 et les variables qui lui sont rattachés contribuent le plus à la discrimination des groupes.

La statistique de Wilks (tab. 10) correspond à un test d'absence de différence entre les groupes. Cette statistique est comparée à une probabilité qui suit une loi du Khi2. Pour les axes 1 et 2 sa valeur est supérieure aux valeurs de la colonne "proba" ; cette dernière n'est d'ailleurs pas nulle mais inférieure à 1 %. Cette comparaison, ou test du Khi2, nous permet de conclure qu'il y a bien des différences entre les trois groupes correspondant aux 3 espèces. De plus cela nous permet de connaître la dimension de représentation : puisque les deux valeurs sont supérieures aux probabilités, la dimension de représentation sera 2.

L'étude des valeurs propres et de l'inertie nous permet de juger de la qualité de la représentation. Le premier axe explique à lui seul 76 % de l'information.

La contribution de chaque variable aux axes du plan factoriel 1-2 est représentée sur un cercle de corrélation (fig. 40 et tab. 11). Les variables zone et gradient d'oxygène sont fortement corrélées à l'axe 1 et le tire vers la gauche. Les variables profondeur et température sont quant à elles liées à l'axe 2 ; la profondeur tire l'axe vers le bas, tandis que la température qui est corrélée négativement à cette dernière, le tire vers le haut.

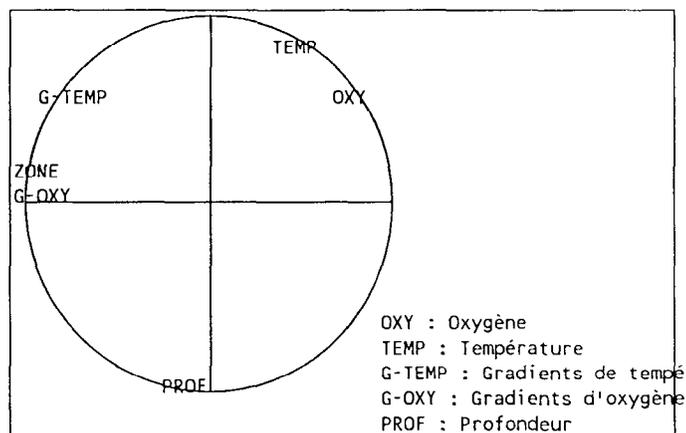


Figure 40 : Cercle de corrélation des variables

Tableau 11 : Corrélations intra-classes entre les variables et les axes discriminants

Variables	Axe 1	Axe 2
Zone	-0.9798	0.2001
Gradients de température	-0.7409	0.6716
Gradients d'oxygène	-0.9982	0.0607
Profondeur	-0.1550	-0.9879
Température	0.5123	0.8588
Oxygène	0.7496	0.6618

5.3.2.1. Etude des groupes et des individus

Les calculs des distances de Mahalanobis (tab. 12) nous apprennent que les groupes thon à nageoire jaune et germon sont les plus distants, les variables qui caractérisent ces deux groupes ont donc des valeurs très différentes. Les groupes thon à nageoire jaune et thon obèse sont les plus proches.

Tableau 12 : Distance de Mahalanobis entre les groupes

GROUPES	1	2	3
1 (germon)	0.00		
2 (thon obèse)	1.28	0.00	
3 (thon à nageoire jaune)	1.49	1.16	0.00

Le plan factoriel permet une représentation synthétique des résultats. Chaque groupe de thon est représenté sur le plan factoriel 1-2 par son centre de gravité G1, G2 ou G3 (tab. 13 et fig. 41).

Le groupe germon (G1) a son centre de gravité sur l'axe 1 : les individus semblent surtout se répartir dans les zones 1 et 2 (puisque les valeurs élevées de zone, c'est à dire 3 et 4, sont à gauche), et dans de faibles gradients d'oxygène; ces deux variables semblent avoir le plus d'importance dans la distribution du germon. Le taux d'oxygène dissous semble important pour une partie des individus, qui se répartissent d'ailleurs à de faibles profondeurs.

Le groupe thon obèse (G2) quant à lui est rattaché à de fortes profondeurs, et donc de basses températures (ces deux variables étant corrélées négativement), avec des gradients d'oxygène relativement élevés. Le taux d'oxygène dissous joue également un rôle important puisque la plupart des individus ont été pêchés dans des zones à taux très faible. En revanche, les gradients de température ne semblent pas influencer la distribution du thon obèse.

Le groupe thon à nageoire jaune (G3) est quasiment le symétrique du groupe G2 par rapport à l'axe 2. Il se répartit dans des eaux chaudes à forts gradients de température, à de faibles profondeurs et avec des gradients d'oxygène relativement élevés. Il semble surtout se distribuer dans les zones 3 et 4.

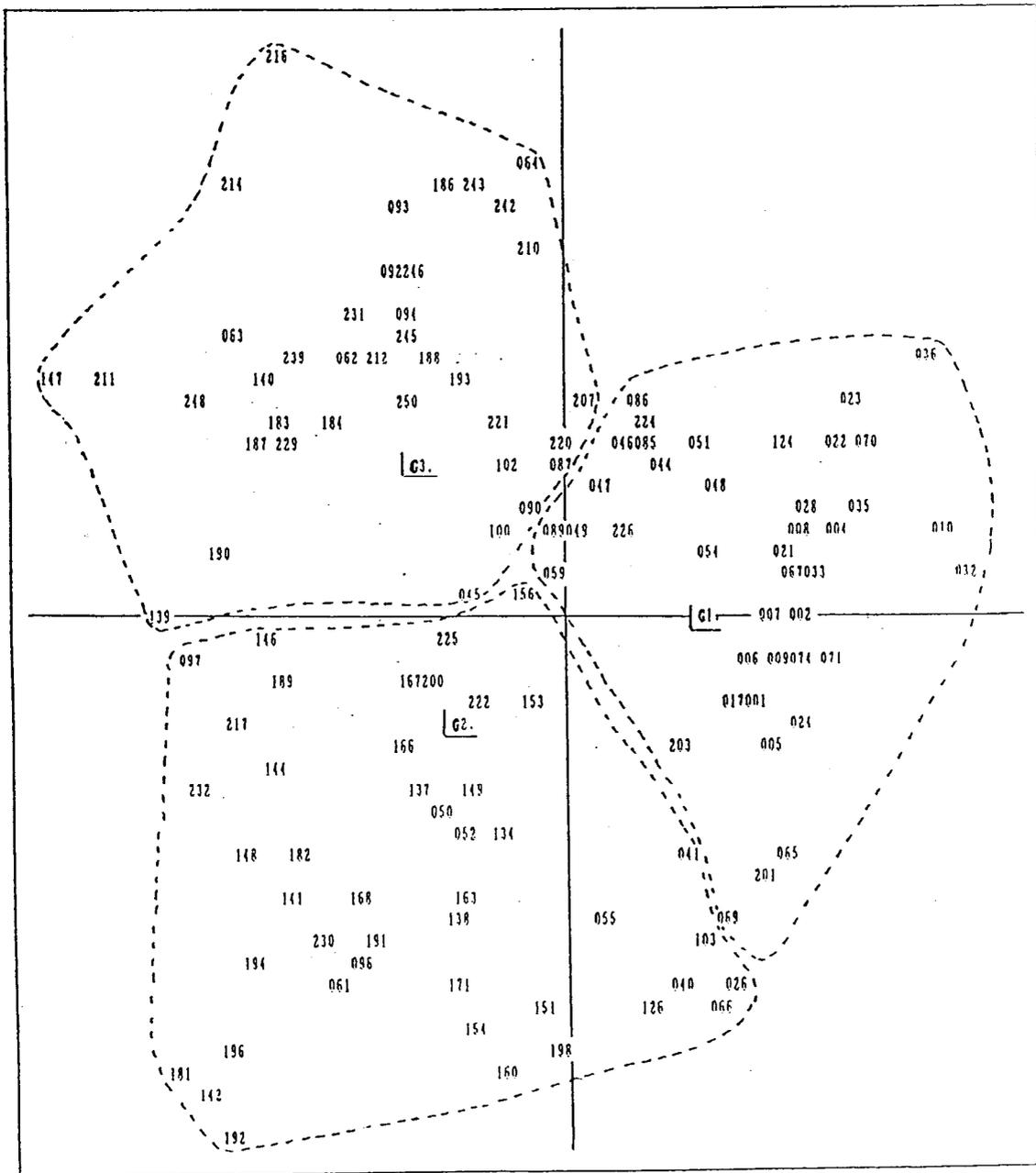


Figure 41 : Représentation des individus sur le plan factoriel 1-2

- de 1 à 118 : germons

- de 119 à 201 : thons obèses

- de 201 à 251 : thons à nageoire jaune

G1 : groupe germon

G2 : groupe thon obèse

G3 : groupe thon à nageoire jaune

Tableau 13 : Coordonnées des centres de gravité des groupes

Groupes	Axe 1	Axe 2
1 (germon)	0.66	0.04
2 (thon obèse)	-0.51	-0.47
3 (thon à nageoire jaune)	-0.69	0.67

L'AFD permet également de reclasser les individus étudiés, dans les groupes auxquels ils appartiennent le mieux (tab. 14).

- 79 % des germons sont qualifiés de biens classés, ce qui signifie que les variables qui les caractérisent ont des tendances communes, propres à ce groupe. Les quelques individus mal classés ont été pêchés dans les zones 3 et 4 ou bien dans des eaux dont les gradients d'oxygène sont supérieurs à ceux que l'on pourrait attendre du groupe.

- 58 % des thons obèses sont bien classés. Deux sous-groupes mal classés se dégagent du groupe principal. Le premier concerne les individus classés avec le groupe thon à nageoire jaune, qui ont tous été pêchés en surface ou à de faibles profondeurs. Le deuxième regroupe les individus pêchés dans la zone 1, caractérisée par des taux d'oxygène relativement importants, et qui sont donc classés dans le groupe germon.

- 66 % des thons à nageoire jaune sont bien classés. Les individus qui ont été classés avec le groupe germon ont été pêchés dans la zone hydrologique 1. Les individus qui ont été classés avec le groupe thon obèse ont été pêchés à de grandes profondeurs.

Tableau 14 : Tableau d'appartenance des individus capturés

GROUPES	1	2	3	% de bien classés
1 (germon)	93	12	13	79 %
2 (thon obèse)	18	48	17	58 %
3 (thon à nageoire jaune)	9	8	33	66 %

5.3.4. Résultats des tests de KOLMOGOROV-SMIRNOV

Les distributions spécifiques des captures pour les variables discriminantes retenues dans l'AFD ont été comparés à l'aide d'un test non paramétrique de Kolmogorov-Smirnov (fig. 42). Le détail des résultats des tests est présenté en annexe. Un risque de première espèce de 5 % sera retenu pour juger de la significativité des résultats (tab. 15).

- En ce qui concerne l'étude des zones hydrologiques, le test confirme une différence de distribution géographique des 3 espèces de thons. Il faut cependant noter que si la station de pêche 32 n'est pas comptabilisée, alors les distributions du thon obèse et du thon à nageoire jaune ne sont plus significativement différentes (fig. 42 A).
- Pour ce qui est des gradients de température et d'oxygène (fig. 42 B et C), le germon se différencie des 2 autres espèces ; le thon à nageoire jaune et le thon obèse fréquentent des eaux similaires du point de vue de ces deux variables.
- Au niveau de la profondeur, les 3 espèces se distribuent différemment (fig. 42 D). Cependant, si l'on prend un risque de première espèce de 1 %, aucune différence n'apparaît entre les distributions du thon à nageoire jaune et du germon.
- La distribution du thon obèse en fonction de la température est différente de celle du thon à nageoire jaune et de celle du germon (fig. 42 E). Ces deux derniers ne sont pas différents vis-à-vis de cette variable.
- Enfin, les 3 espèces se distribuent différemment en fonction du taux d'oxygène dissous (fig. 42 F).

Tableau 15 : Résultats des comparaisons des distributions de fréquence des individus des 3 espèces de thons en regard des variables environnementales à partir du test de Kolmogorov-Smirnov

	Zones	G.- temp	G.- oxy	Prof.	Temp.	Oxy.
Germon-Thon obèse	**	**	**	**	**	**
Thon à nageoire jaune-Thon obèse	**	ns	ns	**	**	**
Germon-Thon à nageoire jaune	**	**	**	**	ns	**

** : significatif ($\alpha = 5 \%$)

ns : non significatif

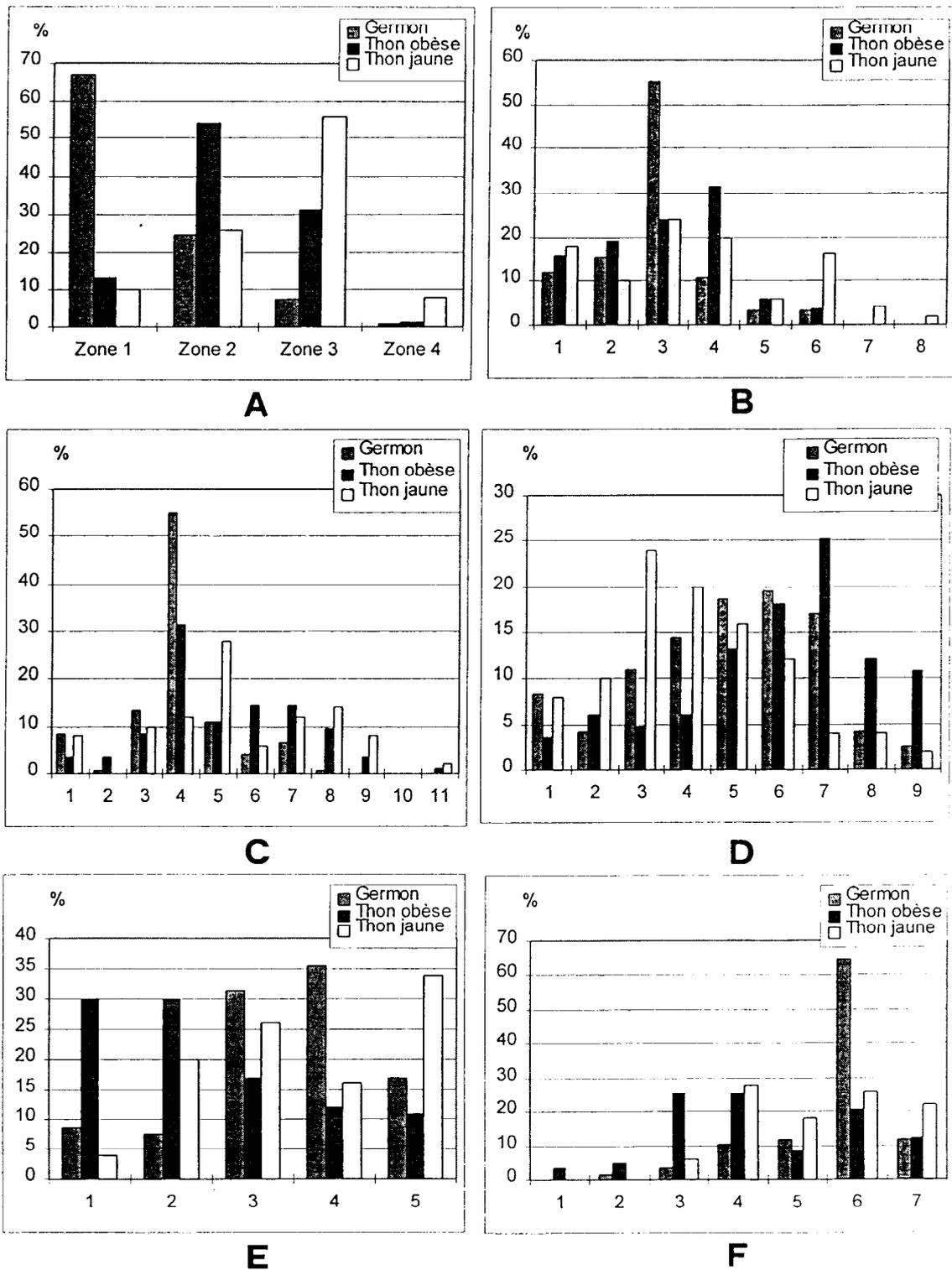


Figure 42 : Répartition (%) des individus dans les classes définies par les différentes variables

- A : Zone
- B : Gradient de température
- C : Gradient d'oxygène
- D : Profondeur
- E : Température
- F : Taux d'oxygène

5.4. DISCUSSION

La distribution géographique des espèces dans la ZEE a été établie, dans un premier temps, à partir des statistiques de pêche des flottilles palangrières asiatiques entre 1984 et 1992 (Chabanne *et al.*, 1993) et polynésiennes, en 1994 et 1995 (Stein, 1996) (voir annexes). On a depuis longtemps remarqué que le germon est pêché plus au sud que le thon obèse et le thon à nageoire jaune. Mais aucune limite n'est bien définie, et les raisons de cette répartition ne sont pas connues, d'autant que les stratégies de pêche sont susceptibles de conduire à des aires de distribution souvent éloignées de la réalité.

L'existence de "frontières" qui délimiteraient la répartition géographique des thonidés semble pouvoir être expliquée à partir des variations des paramètres hydro-climatiques. Chaque espèce de thon a des *préférences* hydrologiques qu'il s'agit de mettre en évidence pour pouvoir expliquer des différences d'abondance dans les zones hydrologiques retenues.

L'étude de la distribution des thonidés à l'échelle de la ZEE polynésienne se fait à deux niveaux :

- d'une part au niveau géographique pour la distribution horizontale ;
- d'autre part au niveau bathymétrique pour la distribution verticale.

Chacune des espèces sera analysée à tour de rôle, en essayant de mettre en exergue les facteurs expliquant le mieux leurs distributions verticale et horizontale.

5.4.1. Le germon (*Thunnus alalunga*)

En regroupant les captures par zones hydrologiques, on observe une baisse brutale des CPUE du germon au nord de la zone 2. Dans le cadre des missions ECOTAP, il est beaucoup moins pêché au nord de 10°S, alors que la tactique de pêche est la même. Il semblerait donc y avoir une "barrière" environnementale entre 8°S et 10°S qui réduirait l'extension de l'habitat du germon vers le nord.

Ces résultats sont similaires à ceux de la pêche polynésienne (les résultats de pêche pour la période 1994-95 sont présentés en annexe). Bien que l'effort de pêche soit moins important dans les eaux marquisiennes que dans l'archipel de la Société, les rendements en germon des palangriers locaux sont beaucoup plus faibles au nord de 10°S qu'au sud.

Ces résultats concordent avec les résultats de la pêche palangrière asiatique sur la période 1984-1992 (Chabanne *et al.*, 1993). Une frontière très nette apparaît aux alentours de 10°S dans les rendements des navires japonais et coréens. Mais ces résultats, comme ceux de la pêche polynésienne sont à interpréter avec précaution, car nous ne savons pas s'ils reflètent véritablement une réalité biologique, ou bien s'ils sont le résultat de différentes tactiques de pêche.

Cette barrière pourrait correspondre à la limite sud de l'influence de l'upwelling équatorial. Ce qui signifie qu'au sud les eaux sont moins soumises à des variations hydroclimatiques et sont plus constantes sur de grandes périodes. Toutefois, au nord, l'influence des alizés et des phénomènes du genre ENSO sont à l'origine d'importantes perturbations des masses hydrologiques, ce qui pourrait affecter la distribution horizontale du germon. Lewis (1990) évoque l'idée d'une barrière équatoriale pour la répartition des germons adultes dans le Pacifique, aux vues des captures palangrières. Cette frontière pourrait être en fait aux alentours de 10°S, au moins dans la ZEE polynésienne.

L'analyse discriminante a associé le groupe germon à différents paramètres hydrologiques. Cette espèce ne semble pas se répartir dans des eaux à forts gradients d'oxygène, car 80 % des individus sont dans des strates dont les gradients sont inférieurs à 0.01°C/10 m. Il fréquente des eaux avec des concentrations en oxygène dissous élevées mais à faibles gradients dans la tranche d'eau où il est capturé. En effet, 76 % des individus sont au-dessus des oxyclines, c'est à dire à des taux supérieurs à 3.4 ml/l. Il se répartit à des profondeurs comprises entre 0 et 450 mètres, mais est le plus souvent capturé entre 150 et 350 mètres de profondeur. Ceci est confirmé par les CPUE par strates de profondeur dont les valeurs maximales sont enregistrées à 0.5 kg/100 hameçons-dix-minutes entre 200 et 350 mètres. Le germon est donc une espèce qui semble avoir des besoins importants en oxygène.

Dans le cadre de cette étude, ses besoins en oxygène paraissent très supérieurs à ceux du thon obèse, et dans une moindre mesure à ceux du thon à nageoire à nageoire jaune. Cette constatation n'est pas surprenante en ce qui concerne le thon obèse (Bushnell et Brill, 1991 ; Brill, 1994). Cependant, cela diffère des propos de Sharp et Dizon (1978), qui définissaient des seuils de tolérance pour chacune de ces trois espèces, mais plaçaient le thon à nageoire à nageoire jaune comme étant plus demandeur. Le rattachement de sa distribution aux faibles gradients d'oxygène est intéressant, et pourrait être plus important que la valeur même d'oxygène dissous.

Le contraste entre les zones 2 et 3 apparaît à 2 niveaux : D'une part, les gradients d'oxygène et de température deviennent élevés entre 120 et 300 mètres de profondeur. Ils atteignent 0.4 ml / l / 10m d'oxygène et 0.12°C / 10m à 220 mètres. D'autre part, en dessous de 300 mètres les taux d'oxygène sont de 2 à 2.5 fois moins importants dans la zone 3, où ils se stabilisent autour de 1 ml/l jusqu'à 400 mètres. Le facteur oxygène pourrait donc jouer un rôle de barrière pour le germon. Etant donné qu'il ne semble pas fréquenter les eaux de surface, la zone 3 serait donc une barrière au niveau gradient et taux d'oxygène dissous.

5.4.2. Le thon à nageoire jaune (*Thunnus albacares*)

Les CPUE par zones hydrologiques et les résultats de l'analyse discriminante montrent que le thon à nageoire jaune a une répartition préférentielle au nord de 13°S, c'est à dire au nord de la zone hydrologique 1. On remarque tout de même, dans le cadre des campagnes ECOTAP, que ses rendements pondéraux sont faibles et n'excèdent jamais 7 kg pour 100 hameçons.

La pêcherie palangrière polynésienne nous permet d'observer la même distribution géographique. Les plus importants rendements de thon à nageoire jaune enregistrés en 1994 et 1995, se situent aux alentours des Marquises. Les résultats des pêches asiatiques suivent cette même tendance. Bien que les tactiques de pêche de ces deux flottilles puissent être différentes entre le nord et le sud, la notion de barrière environnementale réapparaît encore ici dans le cas du thon à nageoire jaune.

Au vue des résultats des pêches des navires polynésiens, et en les combinant avec les données hydrologiques récoltées en 1995-96, on pourrait supposer l'existence d'une frontière environnementale, pour le thon à nageoire jaune, aux alentours de 13°S. Cela correspondrait approximativement à une transition entre les zones 1 et 2. Les Marquises sembleraient être un secteur réunissant des conditions favorables pour la reproduction du thon à nageoire jaune (Sund *et al.*, 1981). Les adultes qui se répartissent jusqu'à 30°S dans le Pacifique, sembleraient se limiter à 13°S dans la Polynésie Française.

Les résultats de l'AFD associent le thon à nageoire jaune à différents paramètres environnementaux. A l'inverse du germon, le thon à nageoire jaune semble fréquenter des eaux caractérisées par des gradients de température et d'oxygène élevés. Ainsi 48 % des individus sont répartis dans des eaux dont le gradient de température est supérieur à 0.06°C / 10m et 42% sont capturés dans des eaux dont le gradient en oxygène est supérieur à 0.015 ml / l / 10m. Il fréquente de faibles profondeurs et 78 % d'entre eux ont été capturés entre la surface et 250 mètres. Il préfère de surcroît des eaux assez chaudes, puisque 50 % des individus se rencontrent à des températures supérieures à 20°C et 32 % à des températures supérieures à 26°C.

Le thon à nageoire jaune évolue donc dans les eaux superficielles (Cayre et Marsac, 1993). Il se distribue préférentiellement au sommet de la thermocline et de l'oxyclyne, ce qui explique les forts gradients fréquentés. Il ne ferait que de brèves incursions dans les eaux plus profondes, pour se refroidir ou y trouver de la nourriture.

En résumé, sa distribution verticale s'oppose à celle du germon à deux niveaux :

- il fréquente des eaux dont les gradients de température et d'oxygène sont beaucoup plus élevés,
- il est pêché plus en surface.

Le fait qu'il ne soit pas trouvé dans des eaux plus au sud peut être expliqué par la disparition des gradients de température et d'oxygène dans la zone 1. La distribution de cette espèce pourrait donc être davantage liée à la variabilité verticale de la valeur de ces paramètres, qu'à leurs valeurs brutes. Cayre et Marsac (1993) observent un résultat analogue pour la température dans l'océan Indien à partir de marquages ultrasoniques. De plus les zones du nord sont le lieu d'une importante productivité primaire, qui est le résultat de l'influence de l'upwelling équatorial. Le facteur trophique pourrait donc aussi expliquer l'abondance du thon à nageoire au nord de 13°S.

5.4.3. Le thon obèse (*Thunnus obesus*)

Au niveau de la répartition géographique, l'analyse des résultats de pêche associe le thon obèse aux zones les plus au nord, mais ce n'est pas aussi net que pour le thon à nageoire jaune. On note cependant un pic des captures dans la zone 2, mais qui est la conséquence d'une pêche exceptionnelle à la station 32.

Les données de pêche des polynésiens montrent des rendements maximaux au nord de 13°S pour les années 1994 et 1995. Les rendements asiatiques entre 1984 et 1992 suivent la même tendance. Cependant, le thon obèse est l'espèce cible de la majorité des palangriers polynésiens et asiatiques. Les tactiques de pêche sont probablement différentes au nord de la ZEE.

Certains auteurs (Sund *et al.*, 1981) définissent les zones de reproduction du thon obèse autour de l'équateur, et en ce qui concerne le ZEE polynésienne, aux alentours des Marquises. Les adultes semblent tout de même se répartir dans toute la ZEE, mais reste plus abondant au nord de 13°S.

Du point de vue de la distribution verticale, l'analyse discriminante associe le thon obèse à de forts gradients d'oxygène. De même, on note une préférence pour des taux d'oxygène dissous faibles, car 34 % des individus fréquentent des eaux avec des concentrations en oxygène inférieures à 1.6 ml/l. Il est aussi associé à de grandes profondeurs (66 % des individus sont capturés au-delà de 300 mètres) et par conséquent à de faibles valeurs de température (60% sont capturés à des températures inférieures à 15°C).

Le thon obèse fréquente donc des eaux froides et pauvres en oxygène dissous. Cela confirme sa distribution très profonde, sous la thermocline et l'oxycline (Hanamoto, 1987 ; Holland *et al.*, 1992 ; Brill, 1994). Contrairement au thon à nageoire jaune, il ne ferait que de brèves incursions en eaux plus chaudes. L'oxygène ne semble pas être un facteur aussi limitant que pour les autres espèces (Bushnell et Brill, 1991). Le thon obèse s'adapte à l'environnement profond, où il trouve sans doute la nourriture nécessaire à ses besoins. Il se répartit dans des eaux totalement différentes de celles du germon. Les tests statistiques révèlent des différences significatives (avec $\alpha=5$ %) entre leur distribution vis-à-vis de toutes les variables hydrologiques étudiées.

6. Conclusion

Le développement de la pêche palangrière polynésienne repose sur l'exploitation des thonidés de subsurface. Trois espèces sont commercialement intéressantes, le germon, *Thunnus alalunga*, le thon à nageoire jaune, *Thunnus albacares*, et le thon obèse, *Thunnus obesus*. La connaissance de l'accès à cette ressource est capitale pour la rentabilité des embarcations.

La distribution de ces 3 espèces majeures de thons, dans le nord de la Zone Economique Exclusive polynésienne, est dépendante des paramètres hydrologiques. Le thon à nageoire jaune, qui est capturé le plus en surface, dans des eaux à température élevées, semble se distribuer au sommet de la thermocline et de l'oxycline, au nord de 13°S. Le germon, quant à lui, est capturé dans des eaux où les gradients d'oxygène ne sont pas très importants. Il se distribue dans des strates d'eau où les concentrations en oxygène dissous sont élevées. Au contraire, le thon obèse est souvent capturé beaucoup plus profondément que les deux autres espèces, dans des eaux à faibles taux d'oxygène. Il fréquente des eaux froides et se distribue sous la thermocline et l'oxycline.

Ces études sur la distribution des thonidés ont montré que la considération de gradients, qu'ils soient de température ou d'oxygène, est révélatrice de tendances qui ne sont pas mises en évidence par les valeurs brutes de ces variables. Les variations de température ou d'oxygène peuvent être de véritables barrières et notamment pour le thon à nageoire jaune et le germon au niveau 10°S et 13°S. Les traitements futurs des résultats de pêche devront donc tenir compte de ces paramètres.

La connaissance du comportement de l'engin de pêche permet aux professionnels de choisir leur stratégie, en décidant de pêcher plus ou moins profondément. De plus, la connaissance des variables hydrologiques du milieu et de leurs variations au cours du temps, doit permettre de juger de la disponibilité de la ressource cible. Le pêcheur peut alors adopter des tactiques de pêche particulières.

Actuellement, la conjoncture du marché international des produits de la pêche en frais, place le thon obèse en position privilégiée. Il représente une espèce cible pour de nombreuses flottilles et en particulier pour les palangriers polynésiens. La stratégie de pêche employée lors des différentes campagnes ECOTAP n'a pas permis d'optimiser l'effort de pêche sur cette espèce, quand on compare les résultats à ceux des palangriers asiatiques par exemple. En effet, le thon obèse qui semble être présent sur toute la ZEE, se répartit à des profondeurs relativement importantes. Un changement de tactique qui consisterait à mouiller les hameçons plus profondément serait intéressant, car il permettrait d'approfondir nos connaissances en matière d'accessibilité à la ressource. Ce protocole devrait être adopté lors des prochaines missions afin de mieux rendre compte de l'influence de la stratégie de pêche dans la représentation géographique de la disponibilité de la ressource thonière dans la ZEE de Polynésie Française.

Bibliographie

- Alverson F. G., 1963. The food of yellowfin and skipjack tunas in the eastern-tropical Pacific Ocean. *Bull. IATTC VII*, 5.
- Anonyme, 1994. La pêche palangrière polynésienne. Situation en janvier 1994. Perspectives de recherche. Equipe "recherche halieutique" IFREMER. ORSTOM Tahiti, *Doc. Dactyl.*, 10 p.
- Bard F.X., E. Josse et P. Bach, 1996. Peculiarity of swimming bladder of large albacore (*Thunnus alalunga*) caught by longline. Doc submitted at 6 th SPAR meeting, 3 p.
- Barkley R. A., W. H. Neill et R. M. Gooding, 1978. Skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, habitat based on temperature and oxygen requirements. *U. S. Fish. Bull.*, 1976, 653-662.
- Boggs C. H., 1992. Depth, capture time and hooked longevity of longline-caught pelagic fish : timing bites of fish with chips. *Fish. Bull.*, 90, 642-648.
- Bouroche J. M. et Saporta G., 1978. L'analyse de données. *Press. Univ. de France*, 127 p.
- Brill R. W., 1978. Temperature effects on speeds of muscle contraction and stasis metabolic rate. pp. 277-284 in Sharp G. D. et A. E. Dizon (Eds), *The physiological ecology of tunas*, Academic Press.
- Brill R. W. et P. G. Bushnell, 1990. Effect of open and closed system of temperature changes on blood oxygen dissociation curves of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, and yellowfin tuna, *Thunnus albacares*. *Can. J. Zool.* 69, 1814-1821.
- Brill R. W., 1994. A review of temperature and oxygen tolerance studies of tunas pertinent to fisheries oceanography, movement models and stock assessments. *Fish. Oceanogr.* 3 (3), 204-216.
- Brill R. W., H. Dewar et J. B. Graham, 1994. Basic concepts relevant to heat transfer in fishes and their use in measuring the physiological thermoregulation abilities of tunas. *Env. Biol. Fishes*, 40, 109-124.
- Bushnell P. G. et R. W. Brill, 1991. Responses of swimming skipjack (*Katsuwonus pelamis*) and yellowfin (*Thunnus albacares*) tunas to acute hypoxia, and the model of their cardiorespiratory function. *Physiol. Zool.*, 64 (3), 787-811.
- Bushnell P. G. et R. W. Brill, 1992. Oxygen transport and cardiovascular responses in skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) and yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) exposed to acute hypoxia. *J. Comp. Physiol.*, B 162, 131-143.

- Calkins T.P., 1980. Synopsis of biological data on the bigeye tuna (*Thunnus obesus*), in the Pacific Ocean. *Bull. IATTC*, 40 p.
- Cayre P. et F. Marsac, 1993. Modelling the yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) vertical distribution using sonic tagging results and local environmental parameters. *Aquat. Living Resour.*, **6 (1)**, 1-14.
- Chabanne J., 1988. Les ressources en poissons pélagiques hauturiers en Polynésie Française. *Colloque sur la Mer - Pêches hauturières - Perspectives*. Annexe 1, 52 p.
- Chabanne J., R. Abbes et E. Josse, 1993. La pêche palangrière asiatique dans la ZEE de Polynésie Française. Analyse des données disponibles de 1984 à 1992. Centre ORSTOM de Tahiti, *Arch. d'Océanogr.*, N **93.04**, 28 p.
- Dewar H., J. B. Graham et R. W. Brill, 1994. Studies of tropical tuna swimming performance in a large water tunnel : II. Thermoregulation. *J. exp. Biol.*, **192**, 33-44.
- Dewar H., J. B. Graham et R. W. Brill, 1994. Studies of tropical tuna swimming performance in a large water tunnel : I. Energetic. *J. exp. Biol.*, **192**, 1-32.
- Dizon A. E., 1977. Effect of dissolved oxygen concentration and salinity on swimming speed of two species of tunas. Sharp G. D. et A. E. Dizon (Eds), *The physiological ecology of tunas*. Academic Press, 485 p.
- Dizon A. E., W. H. Neill et J. J. Magnuson, 1977. Rapid temperature compensation of volitional swimming speeds and lethal temperatures in tropical tunas (Scombridae). *Env. Biol. Fish.* **1**, 83-92.
- Dizon A. E. et R. W. Brill, 1979. Thermoregulation in tunas. *Amer. Zool.*, **19**, 249-265.
- Fiedler, P.C. et H. Bernard, 1986. Tuna aggregation and feeding near fronts observed in satellite imagery. *Contin. Shelf Resear.* vol **7**, No 8, 871-881.
- Funakoshi S., T. Suzuki, et K. Wada, 1983. Anatomical observation on the rete mirabile of young bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). *Bull. Natl. Inst. Aquaculture* **4**, 87-98.
- Hanamoto E., 1987. Effect of oceanographic environment on bigeye tuna distribution. *Bull. Jpn. Soc. Fish. Oceanogr.*, **51** : 203-215.
- Holland K., 1983. Le sens olfactif et le comportement alimentaire du thon. *Lettre CPS d'information sur les pêches*. **26**, 20-25.
- Holland K. N., R. W. Brill, R. K. C. Chang, J. Sibert et D. Fournier, 1992. Physiological and behavioral thermoregulation in bigeye tuna (*Thunnus obesus*). *Nature*, **358**, 410-412.
- Ivanoff A., 1972. Introduction à l'océanographie, propriétés physiques et chimiques des eaux de mer. Tome 2, Vuibert (Eds.), Paris, 332 p.

- Jouffre D., 1989. Etude de l'organisation spatiale du zooplancton dans l'étang de Thau (France) et de l'influence des échanges entre la lagune et la mer. Thèse dr. 3^e cycle,, Univ. Scien. Techn. Languedoc, Montpellier II, 243 p.
- Kawamura G., et Nishimura W., 1980. Vision of tuna and marlins. Mimeo, 133 p.
- Lewis A. D., 1990. South Pacific albacore stock structure : a review of available information. First South Pacific Albacore Research (SPAR) Workshop, *SPC, Comm. BP/2*.
- Magnuson J.J., 1973. Comparative study of adaptations for continuous swimming and hydrostatic equilibrium of scombroids and xiphoids fishes. *U.S. Fish. Bull.* 71 (2), 337-356.
- Marchal E., F. Gerlotto et B. Stequert, 1990. Scattering layer of micronekton, thermal structure and tuna abundance in the Eastern Atlantic Equatorial Current System. ICES C.M. 1990/L12 Session R.
- Miyabe M., 1994. A review of the biology and fisheries for bigeye tuna, *Thunnus obesus*, in the Pacific Ocean. pp 207-243 in Shomura R.S., J. Majkowski et S. Langi (Eds) : Interactions of Pacific tuna fisheries, 2, Papers on biology and fisheries, *FAO Fish. Tech. Pap.*, 336/2.
- Nakano S., 1994. Review of biology and fisheries on albacore in the north Pacific Ocean. ICAAT SCRS/94/38, 12 p.
- Peirera J.G., 1995. A pesca do atum nos Açores e o atum patudo (*T.obesus*) do Atlantico. Thesis Univ. Acores, 330 p.
- Philippeau G., 1986. Comment interpréter les résultats d'une analyse en composante principale. STAT-ITCF (Eds.), 63 p.
- Rancher J. et F. Rougerie, 1993. *Hydropol : Situations océaniques du Pacifique central sud.* Edition SMSR (2^{ème} édition), 91 p.
- Roger C., 1974. Répartitions bathymétriques et migrations verticales des euphausiacés (Crustacés) dans des zones de pêche au thon du Pacifique Sud-Tropical. *Cah. ORSTOM, Sér. Océanogr.*, XII (4), 221-239.
- Roger C. et E. Marchal, 1993. Mise en évidence de conditions favorisant l'abondance des albacores (*Thunnus albacares*) et des listao (*Katsuwonus pelamis*) dans l'Atlantique équatorial est. ICAAT SCRS/93/82.
- Roger C., 1994. The plankton of the tropical western Indian Ocean as a biomass indirectly supporting surface tunas (yellowfin, *Thunnus albacares*, and skipjack, *Katsuwonus pelamis*). *Env. Biol. Fish.* 39, 161-172.
- Sharp G. D. et A. E. Dizon (Eds), 1978. The physiological ecology of tunas. *Academic Press*, 485 p.

- Sharp G.D. et S.W. Pirages, 1978. The distribution of red and white swimming muscles, their biochemistry, and the biochemical phylogeny of selected scombrid fishes. Sharp G. D. et A. E. Dizon (Eds), the physiological ecology of tunas. *Academic Press*, 485 p.
- Sherrer B., 1984. Biostatistique. Morin G. (Eds.), Paris, 850 p.
- Stein A., 1995. La pêche palangrière polynésienne en 1994. Doc. EVAAM, Tahiti, 10 p.
- Suda A. et S. Kume, 1967. Survival and recruit of bigeye tuna in the Pacific Ocean estimated by the data of tuna longline catch. *Rep. Nankai Reg. Fish. Res. Lab.*, **25**, 91-104.
- Sund P., M. Blackburn et F. Williams, 1981. Tunas and their environment in the Pacific Ocean : a review. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* **19**, 443-512.
- Thiriez G., 1995. La pêche palangrière des flottilles japonaise et coréenne dans la Zone Economique Exclusive polynésienne au nord de 16° sud : Des sources de données aux analyses de l'activité de pêche et des prises par unité d'effort du thon obèse (*Thunnus obesus*). Mémoire de D.E.A. Connaissance et Gestion des Milieux Coralliens Littoraux et Océanique, Université Française du Pacifique, 42 p.
- Wendling B., 1994. La pêche thonière polynésienne à la palangre monofilament. Comportement de l'engin : aide à la connaissance de la ressource. Mémoire de Diplôme d'Agronomie Approfondie, Halieutique, ENSAR, Rennes, 88 p.

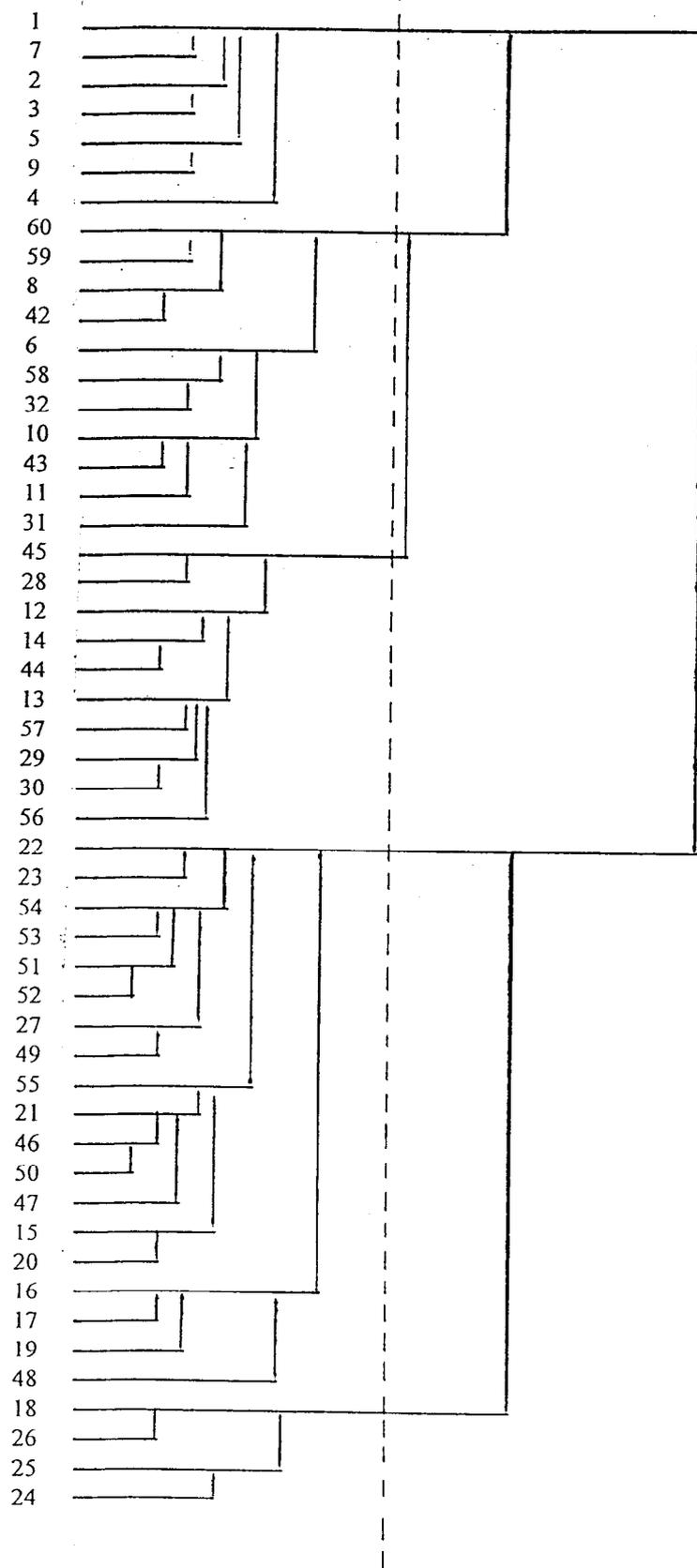
ANNEXES

Annexe 1 : Dendrogrammes de l'ACP

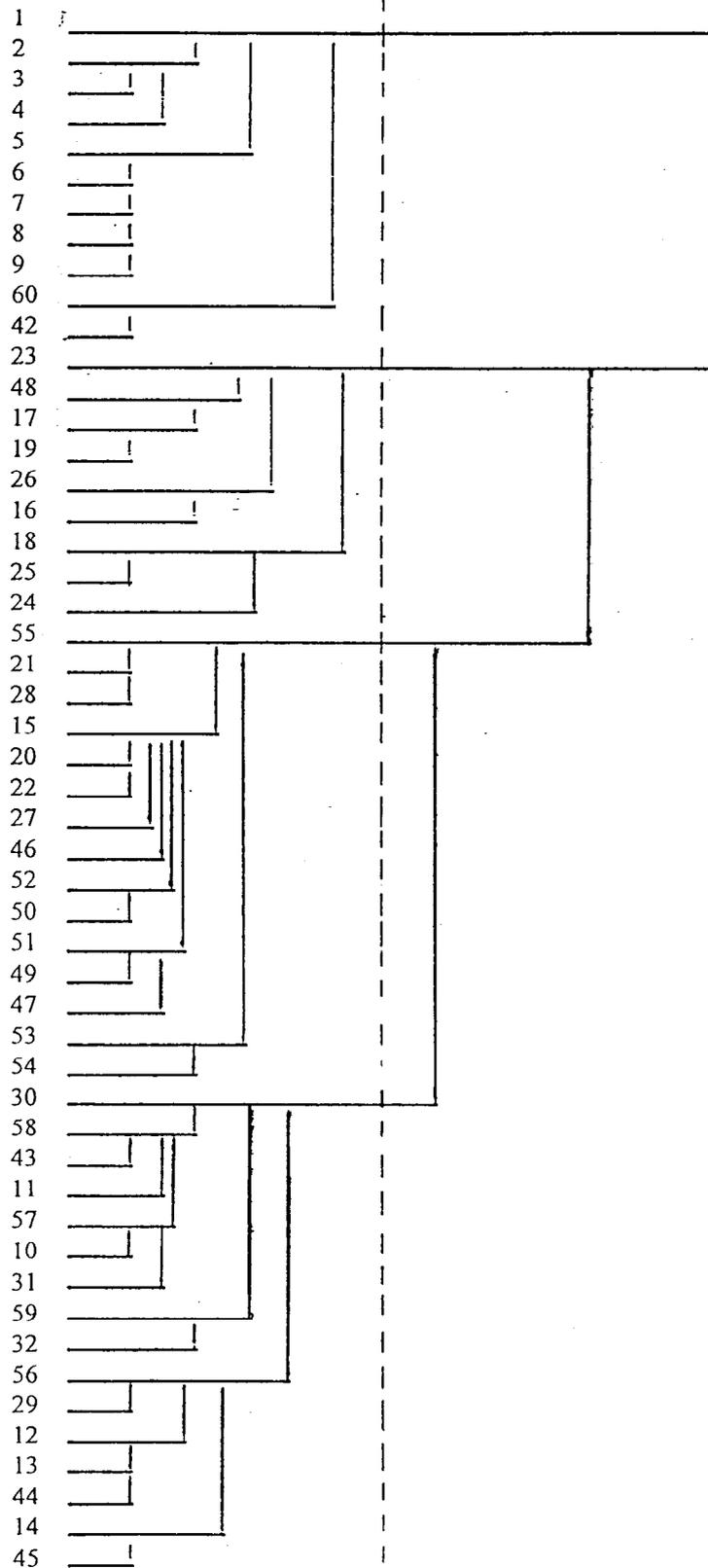
- température,
- oxygène,
- densité,
- ensemble des 3 paramètres.

Annexe 2 : Détails du test de Kolmogorov-Smirnov

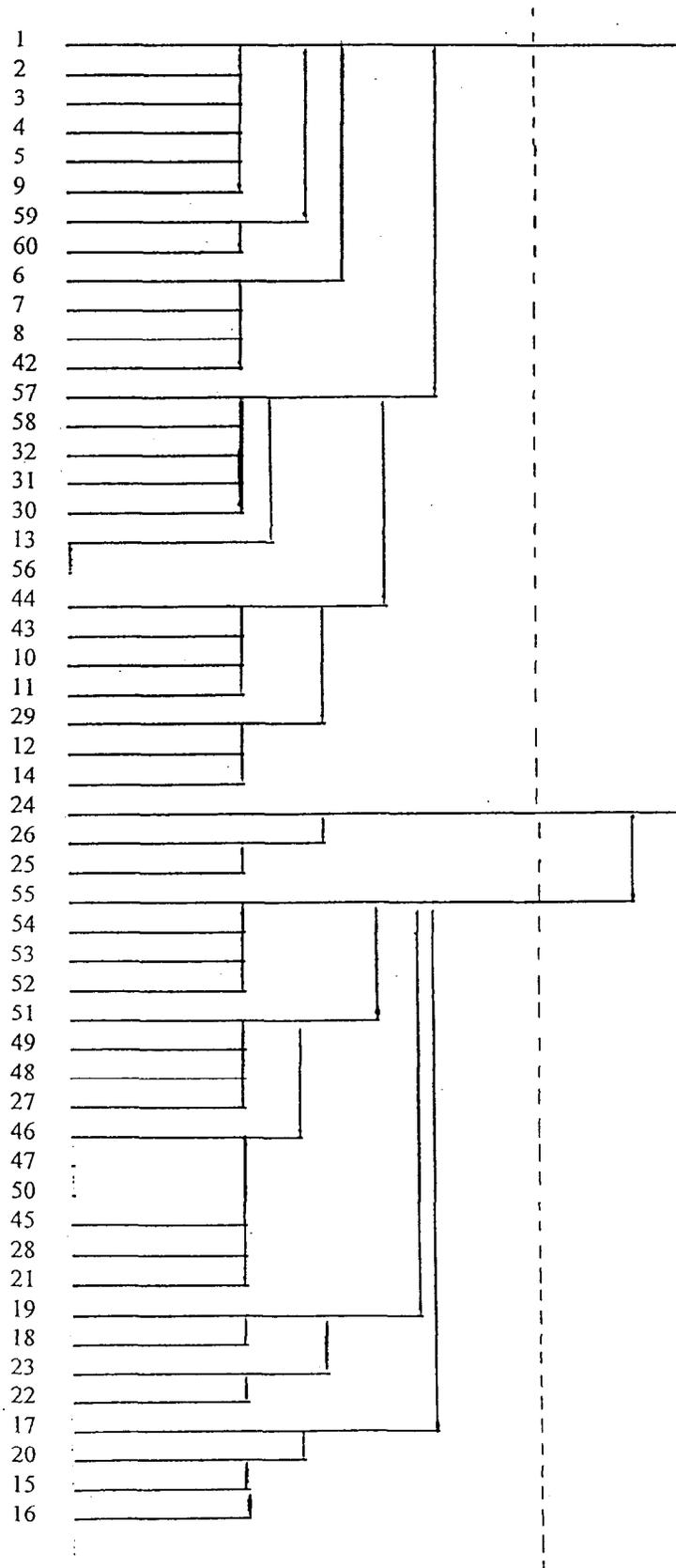
Annexes 3 : Rendements des palangriers polynésiens (94-95) dans la ZEE polynésienne



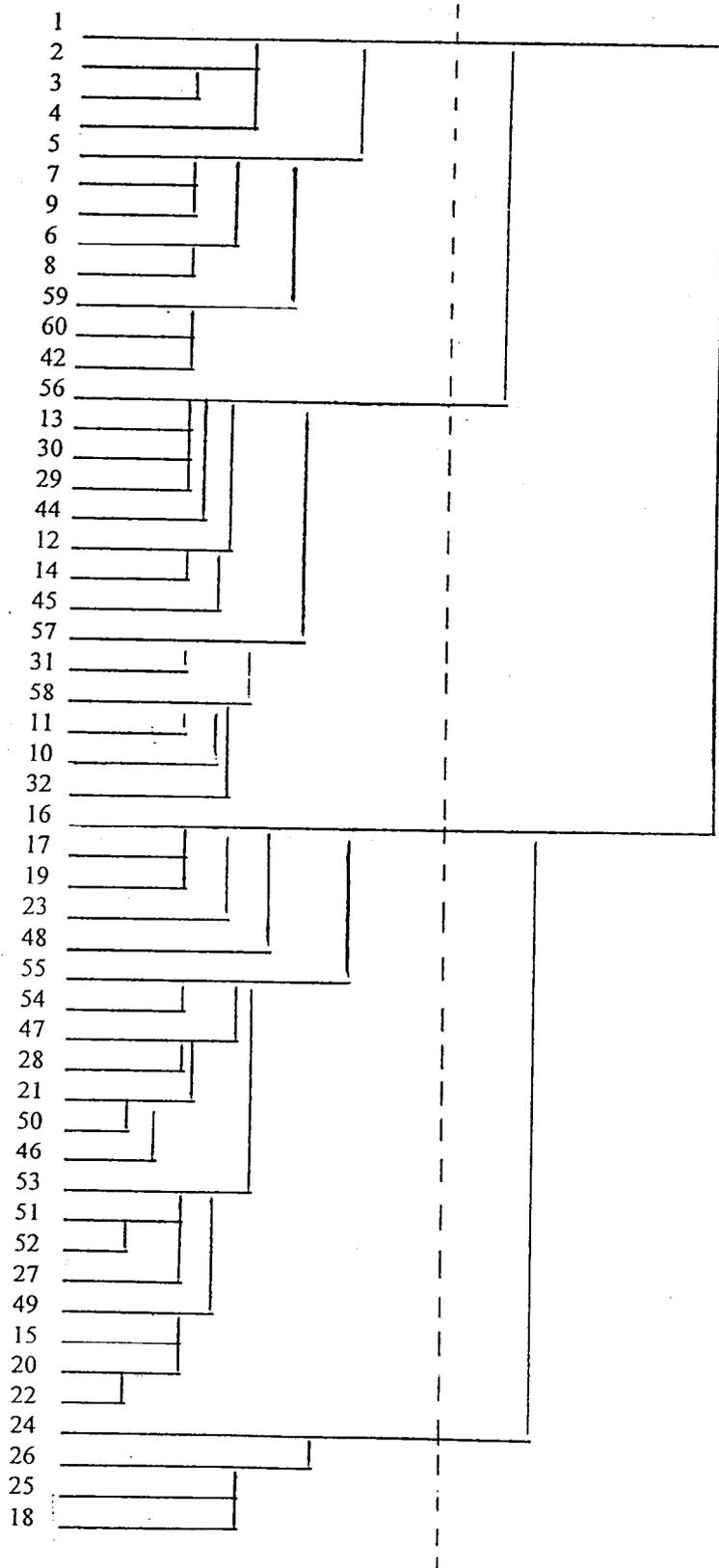
Annexe 1 : Résultats de l'ACP à partir de la température.



Annexe 1 : Résultats de l'ACP à partir de l'oxygène.



Annexe 1 : Résultats de l'ACP à partir de la densité.



Annexe 1 : Résultats de l'ACP à partir de la combinaison des 3 variables.

TITRE DU DOSSIER : ZONE GERMON/TJAUNE

CLASSES	FREQUENCES ABSOLUES		FREQUENCES RELATIVES CUMULEES	
	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2
1	79	5	0.6695	0.0980 *
2	29	13	0.9153	0.3529
3	9	29	0.9915	0.9216
4	1	4	1.0000	1.0000
TOTAL	N1 = 118	N2 = 51		

* D MAX = 0.5715 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 5% 0.2279 (TEST BILATERAL)
 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 1% 0.2815 (TEST BILATERAL)

TITRE DU DOSSIER : ZONE GERMON/PATUDO

CLASSES	FREQUENCES ABSOLUES		FREQUENCES RELATIVES CUMULEES	
	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2
1	79	11	0.6695	0.1325 *
2	29	45	0.9153	0.6747
3	9	26	0.9915	0.9880
4	1	1	1.0000	1.0000
TOTAL	N1 = 118	N2 = 83		

* D MAX = 0.5370 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 5% 0.1948 (TEST BILATERAL)
 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 1% 0.2407 (TEST BILATERAL)

TITRE DU DOSSIER : PATUDO2/TJAUNE

CLASSES	FREQUENCES ABSOLUES		FREQUENCES RELATIVES CUMULEES	
	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2
1	11	5	0.1864	0.0980
2	21	13	0.5424	0.3529 *
3	26	29	0.9831	0.9216
4	1	4	1.0000	1.0000
TOTAL	N1 = 59	N2 = 51		

* D MAX = 0.5715 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 5% 0.2279 (TEST BILATERAL)
 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 1% 0.2815 (TEST BILATERAL)

Annexe 2 : Résultats des tests de Kolmogorov.

TITRE DU DOSSIER : GRAD TEMP GERMON/PATUDO

CLASSES	FREQUENCES ABSOLUES		FREQUENCES RELATIVES CUMULEES	
	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2
1	14	13	0.1186	0.1566
2	18	16	0.2712	0.3494
3	65	20	0.8220	0.5904 *
4	13	26	0.9322	0.9036
5	4	5	0.9661	0.9639
6	4	3	1.0000	1.0000
7	0	0	1.0000	1.0000
8	0	0	1.0000	1.0000
TOTAL	N1 = 118	N2 = 83		

* D MAX = 0.2317 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 5% 0.1948 (TEST BILATERAL)
 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 1% 0.2407 (TEST BILATERAL)

TITRE DU DOSSIER : GRAD TEMP GERMON/TJAUNE

CLASSES	FREQUENCES ABSOLUES		FREQUENCES RELATIVES CUMULEES	
	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2
1	14	9	0.1186	0.1800
2	18	5	0.2712	0.2800
3	65	12	0.8220	0.5200 *
4	13	10	0.9322	0.7200
5	4	3	0.9661	0.7800
6	4	8	1.0000	0.9400
7	0	2	1.0000	0.9800
8	0	1	1.0000	1.0000
TOTAL	N1 = 118	N2 = 50		

* D MAX = 0.3020 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 5% 0.2295 (TEST BILATERAL)
 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 1% 0.2835 (TEST BILATERAL)

TITRE DU DOSSIER : GRAD TEMP PATUDO/TJAUNE

CLASSES	FREQUENCES ABSOLUES		FREQUENCES RELATIVES CUMULEES	
	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2
1	13	9	0.1566	0.1800
2	16	5	0.3494	0.2800
3	20	12	0.5904	0.5200
4	26	10	0.9036	0.7200
5	5	3	0.9639	0.7800 *
6	3	8	1.0000	0.9400
7	0	2	1.0000	0.9800
8	0	1	1.0000	1.0000
TOTAL	N1 = 83	N2 = 50		

* D MAX = 0.1839 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 5% 0.2435 (TEST BILATERAL)
 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 1% 0.3008 (TEST BILATERAL)

Annexe 2 : Résultats des tests de Kolmogorov.

DAA halieutique 1996 -ENSA Rennes-

TITRE DU DOSSIER : GRAD OXY GERMON/PATUDO

CLASSES	FREQUENCES ABSOLUES		FREQUENCES RELATIVES CUMULEES	
	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2
1	10	3	0.0840	0.0357
2	1	3	0.0924	0.0714
3	16	7	0.2269	0.1548
4	65	26	0.7731	0.4643
5	13	9	0.8824	0.5714 *
6	5	12	0.9244	0.7143
7	8	12	0.9916	0.8571
8	1	8	1.0000	0.9524
9	0	3	1.0000	0.9881
10	0	1	1.0000	1.0000
TOTAL	N1 = 119	N2 = 84		

* D MAX = 0.3109 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 5% 0.1938 (TEST BILATERAL)
 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 1% 0.2394 (TEST BILATERAL)

TITRE DU DOSSIER : GRAD OXY GERMON/TJAUNE

CLASSES	FREQUENCES ABSOLUES		FREQUENCES RELATIVES CUMULEES	
	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2
1	10	4	0.0840	0.0800
2	1	0	0.0924	0.0800
3	16	5	0.2269	0.1800
4	65	6	0.7731	0.3000 *
5	13	14	0.8824	0.5800
6	5	3	0.9244	0.6400
7	8	6	0.9916	0.7600
8	1	7	1.0000	0.9000
9	0	4	1.0000	0.9800
10	0	1	1.0000	1.0000
TOTAL	N1 = 119	N2 = 50		

* D MAX = 0.4731 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 5% 0.2292 (TEST BILATERAL)

TITRE DU DOSSIER : GRAD OXY PATUDO/TJAUNE

CLASSES	FREQUENCES ABSOLUES		FREQUENCES RELATIVES CUMULEES	
	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2
1	3	4	0.0357	0.0800
2	3	0	0.0714	0.0800
3	7	5	0.1548	0.1800
4	26	6	0.4643	0.3000 *
5	9	14	0.5714	0.5200
6	12	3	0.7143	0.5400
7	12	6	0.8571	0.7600
8	8	7	0.9524	0.9000
9	3	4	0.9881	0.9800
10	1	1	1.0000	1.0000
TOTAL	N1 = 84	N2 = 50		

* D MAX = 0.1643 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 5% 0.2429 (TEST BILATERAL)
 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 1% 0.3001 (TEST BILATERAL)

Annexe 2 : Résultats des tests de Kolmogorov.

TITRE DU DOSSIER : PROF GERMON/PATUDO

CLASSES	FREQUENCES ABSOLUES		FREQUENCES RELATIVES CUMULEES	
	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2
1	10	3	0.0847	0.0361
2	5	5	0.1271	0.0964
3	13	4	0.2373	0.1446
4	17	5	0.3814	0.2048
5	22	11	0.5678	0.3373
6	23	15	0.7627	0.5181
7	20	21	0.9322	0.7711
8	5	10	0.9746	0.8916
9	3	9	1.0000	1.0000
TOTAL	N1 = 118	N2 = 83		

* D MAX = 0.2446 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 5% 0.1948 (TEST BILATERAL)
 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 1% 0.2407 (TEST BILATERAL)

TITRE DU DOSSIER : PROF GERMON/TJAUNE

CLASSES	FREQUENCES ABSOLUES		FREQUENCES RELATIVES CUMULEES	
	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2
1	10	4	0.0847	0.0800
2	5	5	0.1271	0.1800
3	13	12	0.2373	0.4200
4	17	10	0.3814	0.6200
5	22	8	0.5678	0.7800
6	23	6	0.7627	0.9000
7	20	2	0.9322	0.9400
8	5	2	0.9746	0.9800
9	3	1	1.0000	1.0000
TOTAL	N1 = 118	N2 = 50		

* D MAX = 0.2386 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 5% 0.2295 (TEST BILATERAL)
 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 1% 0.2835 (TEST BILATERAL)

TITRE DU DOSSIER : PROF. PATUDO/TJAUNE

CLASSES	FREQUENCES ABSOLUES		FREQUENCES RELATIVES CUMULEES	
	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2
1	3	4	0.0361	0.0800
2	5	5	0.0964	0.1800
3	4	12	0.1446	0.4200
4	5	10	0.2048	0.6200
5	11	8	0.3373	0.7800
6	15	6	0.5181	0.9000
7	21	2	0.7711	0.9400
8	10	2	0.8916	0.9800
9	9	1	1.0000	1.0000
TOTAL	N1 = 83	N2 = 50		

* D MAX = 0.4427 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 5% 0.2435 (TEST BILATERAL)
 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 1% 0.3008 (TEST BILATERAL)

Annexe 2 : Résultats des tests de Kolmogorov.

TITRE DU DOSSIER : OXY GERMON/PATUDO

CLASSES	FREQUENCES ABSOLUES		FREQUENCES RELATIVES CUMULEES	
	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2
1	0	3	0.0000	0.0361
2	2	4	0.0164	0.0843
3	4	21	0.0492	0.3373
4	12	21	0.1475	0.5904 *
5	14	7	0.2623	0.6747
6	76	17	0.8852	0.8795
7	14	10	1.0000	1.0000
TOTAL	N1 = 122	N2 = 83		

* D MAX =0.4428 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 5% 0.1935 (TEST BILATERAL)
 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 1% 0.2396 (TEST BILATERAL)

TITRE DU DOSSIER : OXY GERMON/TJAUNE

CLASSES	FREQUENCES ABSOLUES		FREQUENCES RELATIVES CUMULEES	
	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2
1	0	0	0.0000	0.0000
2	2	0	0.0164	0.0000
3	4	3	0.0492	0.0600
4	12	14	0.1475	0.3400
5	14	9	0.2623	0.5200 *
6	76	13	0.8852	0.7800
7	14	11	1.0000	1.0000
TOTAL	N1 = 122	N2 = 50		

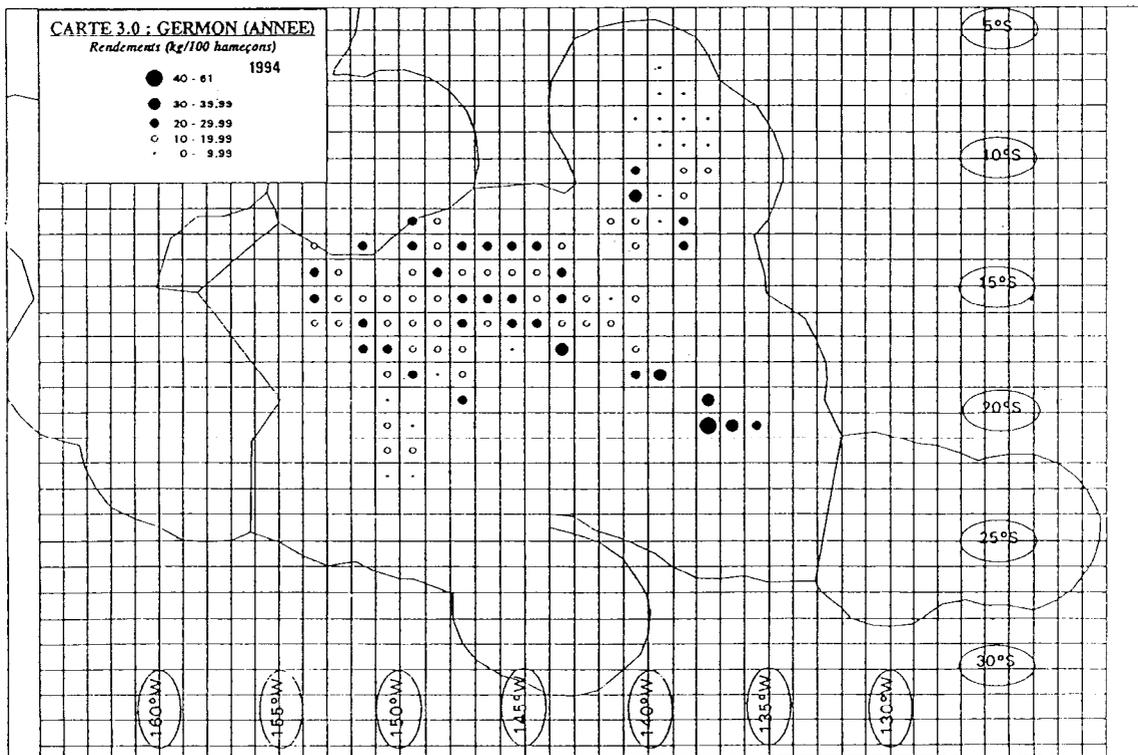
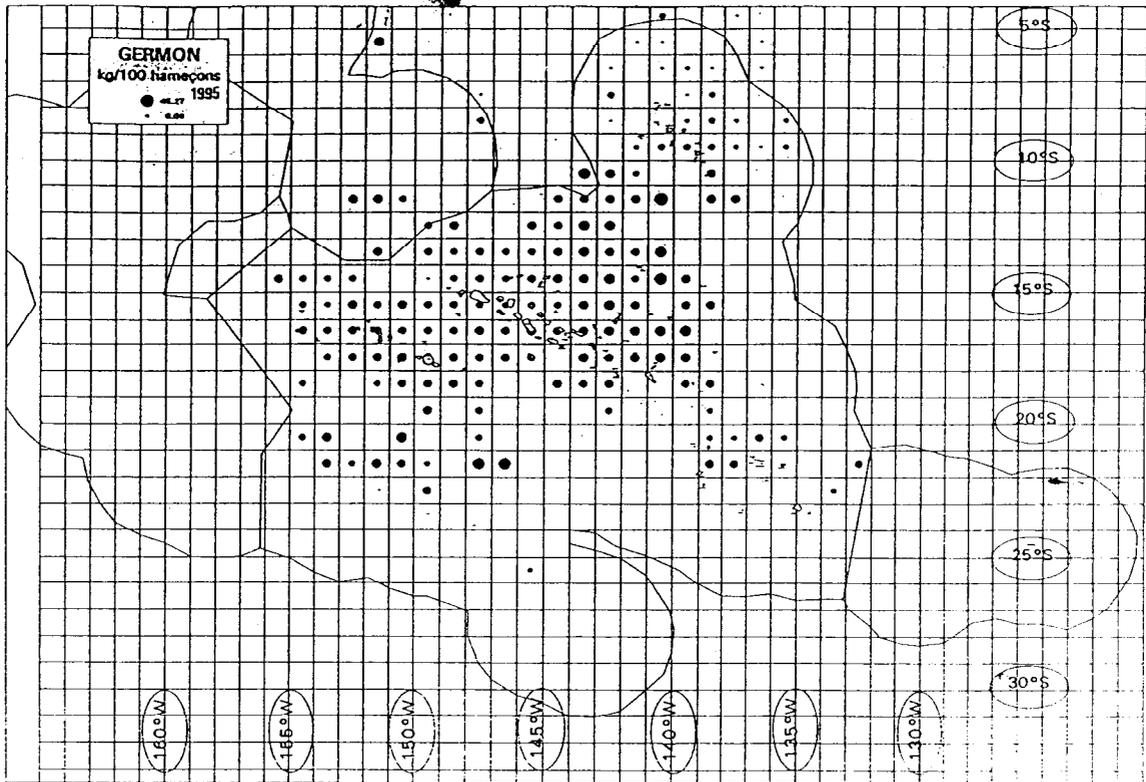
* D MAX =0.2577 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 5% 0.2284 (TEST BILATERAL)
 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 1% 0.2821 (TEST BILATERAL)

TITRE DU DOSSIER : OXY PATUDO/TJAUNE

CLASSES	FREQUENCES ABSOLUES		FREQUENCES RELATIVES CUMULEES	
	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2
1	3	0	0.0361	0.0000
2	4	0	0.0843	0.0000
3	21	3	0.3373	0.0600 *
4	21	14	0.5904	0.3400
5	7	9	0.6747	0.5200
6	17	13	0.8795	0.7800
7	10	11	1.0000	1.0000
TOTAL	N1 = 83	N2 = 50		

* D MAX =0.2773 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 5% 0.2435 (TEST BILATERAL)
 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 1% 0.3008 (TEST BILATERAL)

Annexe 2 : Résultats des tests de Kolmogorov.



Annexe 3 : CPUE de germon des palangriers polynésiens dans la ZEE (1994-1995).
(d'après Stein, 1995).

TITRE DU DOSSIER : OXY GERMON/PATUDO

CLASSES	FREQUENCES ABSOLUES		FREQUENCES RELATIVES CUMULEES	
	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2
1	0	3	0.0000	0.0361
2	2	4	0.0164	0.0843
3	4	21	0.0492	0.3373
4	12	21	0.1475	0.5904 *
5	14	7	0.2623	0.6747
6	76	17	0.8852	0.8795
7	14	10	1.0000	1.0000
TOTAL	N1 = 122	N2 = 83		

* D MAX =0.4428 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 5% 0.1935 (TEST BILATERAL)
 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 1% 0.2396 (TEST BILATERAL)

TITRE DU DOSSIER : OXY GERMON/TJAUNE

CLASSES	FREQUENCES ABSOLUES		FREQUENCES RELATIVES CUMULEES	
	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2
1	0	0	0.0000	0.0000
2	2	0	0.0164	0.0000
3	4	3	0.0492	0.0600
4	12	14	0.1475	0.3400
5	14	9	0.2623	0.5200 *
6	76	13	0.8852	0.7800
7	14	11	1.0000	1.0000
TOTAL	N1 = 122	N2 = 50		

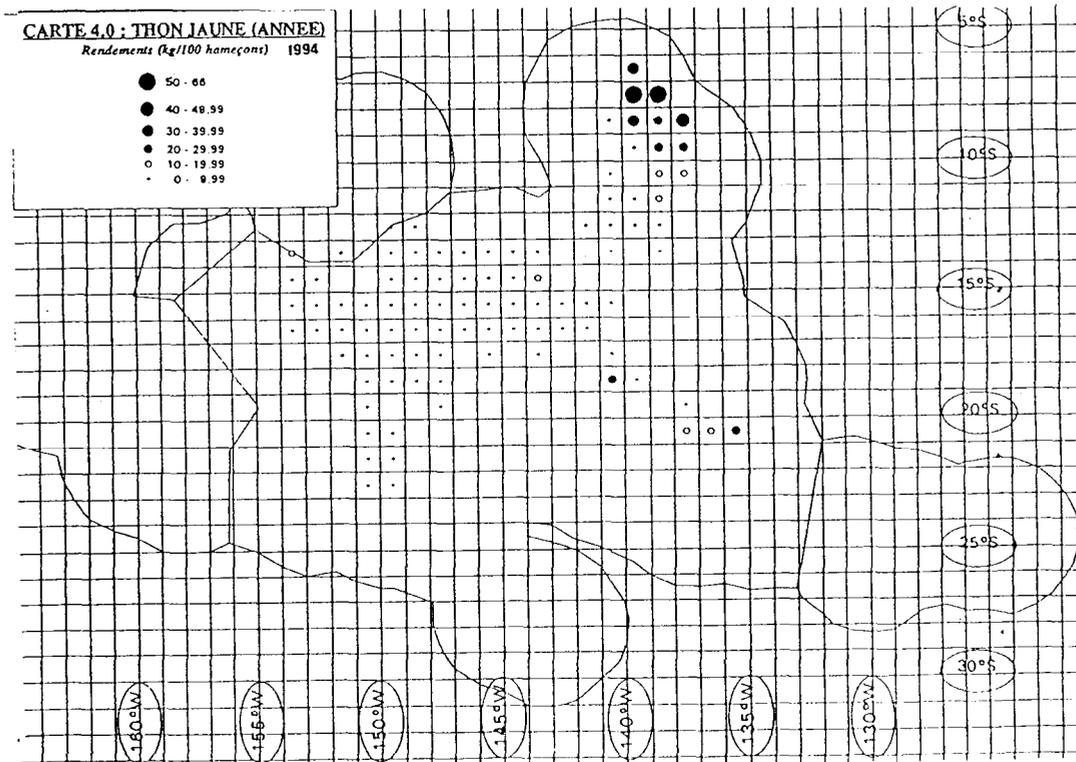
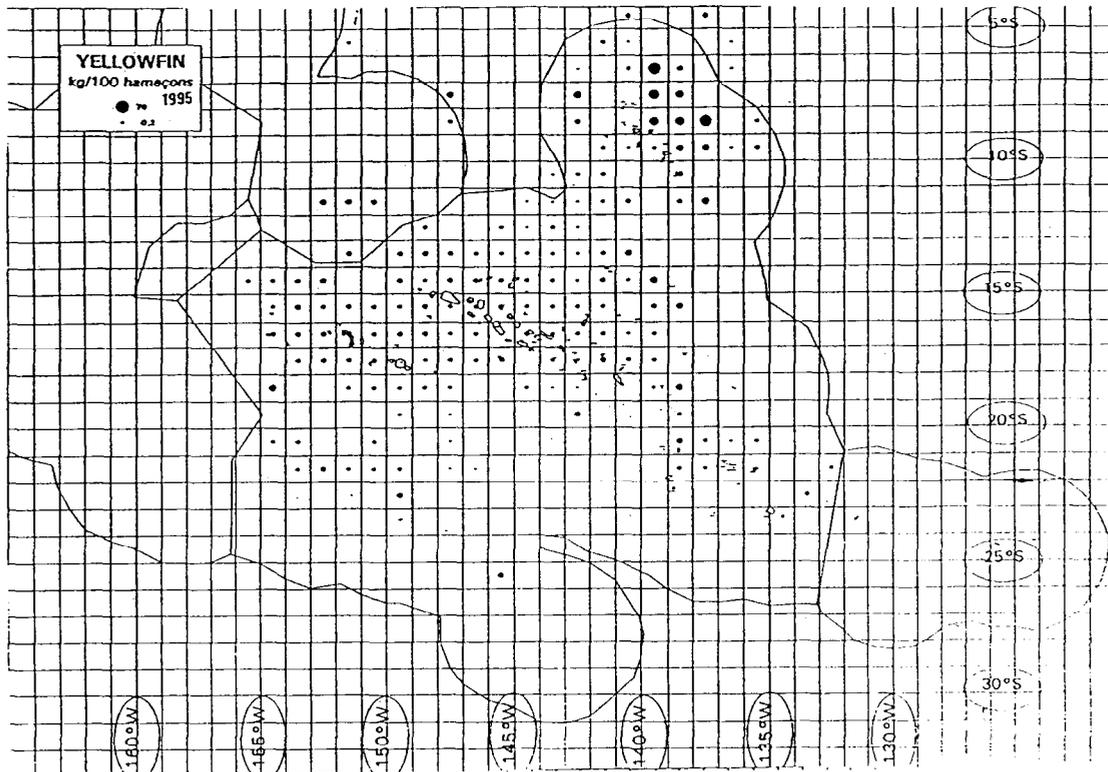
* D MAX =0.2577 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 5% 0.2284 (TEST BILATERAL)
 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 1% 0.2821 (TEST BILATERAL)

TITRE DU DOSSIER : OXY PATUDO/TJAUNE

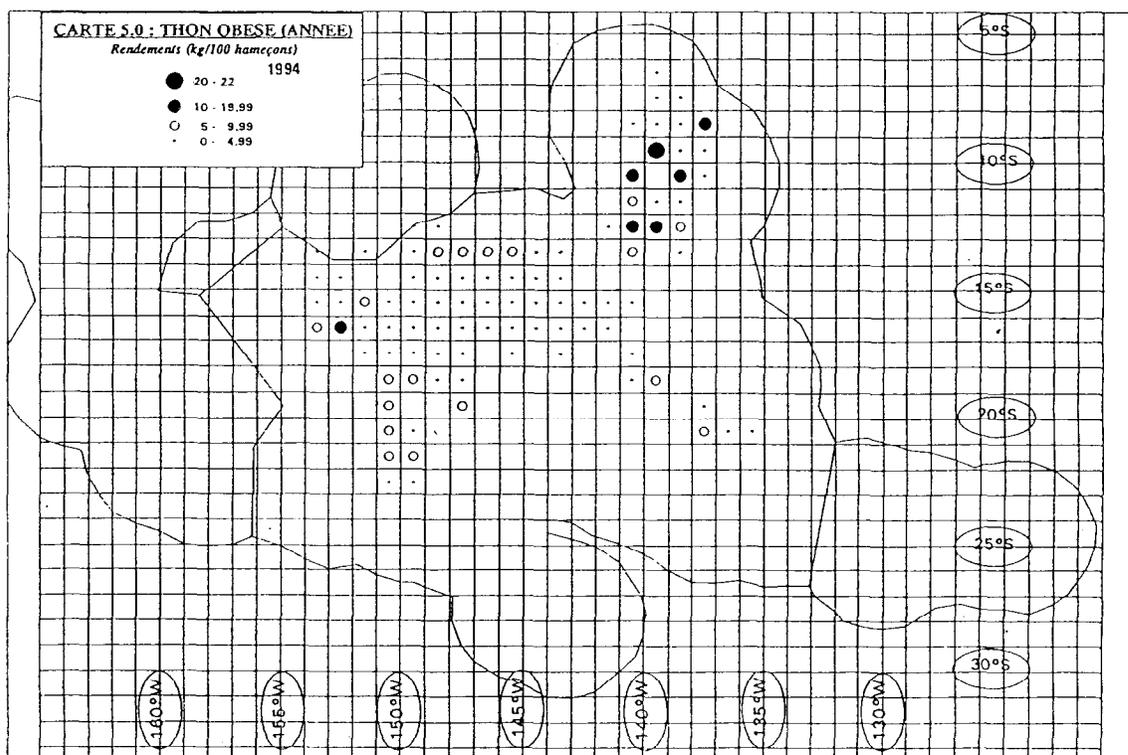
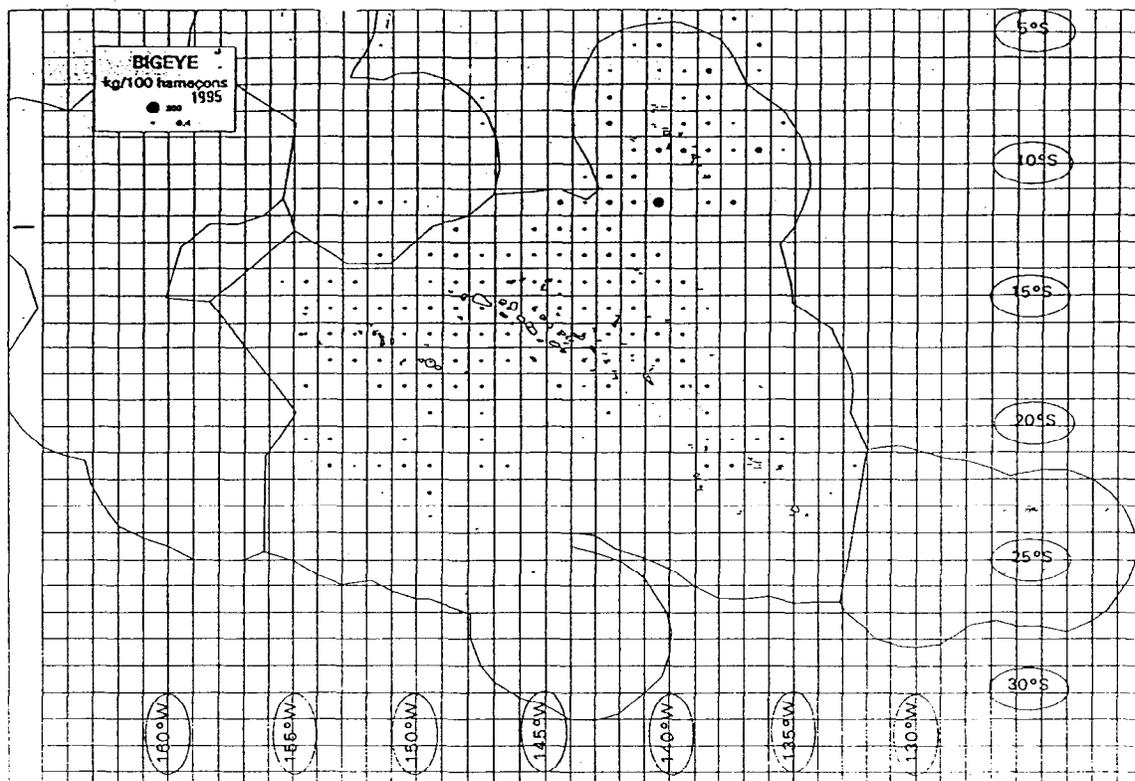
CLASSES	FREQUENCES ABSOLUES		FREQUENCES RELATIVES CUMULEES	
	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2	ECHANTILLON 1	ECHANTILLON 2
1	3	0	0.0361	0.0000
2	4	0	0.0843	0.0000
3	21	3	0.3373	0.0600 *
4	21	14	0.5904	0.3400
5	7	9	0.6747	0.5200
6	17	13	0.8795	0.7800
7	10	11	1.0000	1.0000
TOTAL	N1 = 83	N2 = 50		

* D MAX =0.3773 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 5% 0.2435 (TEST BILATERAL)
 VALEUR CRITIQUE AU SEUIL 1% 0.3066 (TEST BILATERAL)

Annexe 2 : Résultats des tests de Kolmogorov.



Annexe 3 : CPUE de thon à nageoire jaune des palangriers polynésiens dans la ZEE (1994-1995) (d'après Stein, 1995).



Annexe 3 : CPUE de thon obèse des palangriers polynésiens dans la ZEE (1994-1995).
(d'après Stein, 1995).