

## LA PÊCHE DU THON OBÈSE (*Thunnus obesus*) ET LES CONDITIONS HIDROCLIMATIQUES DANS L'OCÉAN ATLANTIQUE INTERTROPICAL.

Paulo Travassos<sup>1</sup>

### SUMMARY

*After the introduction of deep longline in the Atlantic Ocean in 1980, the catch of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) increased considerably. This activity has developed very quickly and even towards the end of the 1980s the entire inter-tropical region was exploited. Notwithstanding, the major part of these catches are carried out in two sectors North and South of the Equator, where important concentrations of bigeye tuna are probably linked to the reproduction of this species. The objectives of this paper are (i) to set up a synthetic breakdown of the hydro-climatic conditions of the tropical Atlantic, and (ii) to study their effects on the distribution of the spawning areas, particularly on bigeye tuna fishing. From the results obtained, it is believed that the most important role in the time-area distribution of bigeye spawning activity is played by the surface temperature, delimited by values over 26°C. In the case of the spawning carried out North of the Equator, between 5°N and 10°N in the third quarter, it seems that the low level of fishing activity observed could be linked to the North Equatorial Countercurrent (CCNE) that could have caused a zigzagging that hinders the fishing operations. As concerns the fishing activity, the compression of optimal temperature layers (CTO) by the combined action of the thermic crests and from the base of the thermocline (isotherm of 15°C) seems to play a fundamental part in the catchability of bigeye tuna by deep longline. As for the dissolved oxygen, based on the concentration levels observed, this parameter does not affect the distribution of bigeye tuna in the major part of the inter-tropical Atlantic basin.*

### RESUME

*Depuis l'introduction de la palangre profonde dans l'océan Atlantique en 1980, la capture du thon obèse (*Thunnus obesus*) a augmenté énormément. Cette activité a connu un développement très rapide et déjà vers la fin des années 80, toute la région intertropicale avait été exploitée. Cependant, la plupart de ces captures sont réalisées dans deux secteurs au nord et au sud de l'équateur, où de concentrations importantes de thon obèse sont liées probablement à la reproduction de l'espèce. Les objectifs de cet article sont de (i) dresser un bilan synthétique des conditions hydroclimatiques de l'Atlantique tropicale et (ii) comprendre leurs influences sur la répartition des zones de ponte et notamment sur la pêche du thon obèse. D'après les résultats obtenus, nous pensons que le rôle le plus important dans la distribution spatio-temporelle de l'activité de reproduction du thon obèse est joué par la température de surface, délimitée par des valeurs supérieures à 26°C. Dans le cas de la ponte réalisée au nord de l'équateur, entre 5°N et 10°N au troisième trimestre, il semble que le faible niveau d'activité de pêche observé serait lié au Contre-Courant Nord Equatorial (CCNE) pouvant engendrer un cisaillement susceptible de gêner les opérations de pêche. En ce qui concerne l'activité de pêche, la compression de la couche de températures optimales (CTO) par l'action conjointe des crêtes thermiques et de la base de thermocline (isotherme de 15°C), semble jouer un rôle fondamental dans la capturabilité du thon obèse à la palangre profonde. Quant à l'oxygène dissous, en raison des concentrations élevées observées, ce paramètre ne conditionne pas la distribution du thon obèse dans la plupart du bassin atlantique intertropical.*

---

<sup>1</sup> Laboratório de Oceanografia Pesqueira – Departamento de Pesca/UFRPE, Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n – Dois Irmãos – Recife-PE – Brasil / Fone/Fax. : 00 55 81 441 7276 / E-Mail: paulo.travassos@uol.com.br

## RESUMEN

*Desde la introducción del palangre profundo en el Atlántico, en 1980, la captura de patudo (Thunnus obesus) ha aumentado mucho. Esta actividad tuvo un desarrollo muy rápido y ya a finales de los años 80 toda la región intertropical había sido explotada. Pero la mayor parte de estas capturas tuvieron lugar en dos sectores al norte y al sur del ecuador, donde hay importantes concentraciones de patudo probablemente relacionadas con la reproducción de la especie. Los objetivos de este documento son (i) hacer un balance en síntesis de las condiciones hidroclimáticas del Atlántico tropical y (ii) conocer su influencia sobre la distribución de las zonas de desove y, sobre todo, sobre la pesca del patudo. De acuerdo con los resultados obtenidos, parece que el papel más importante en la distribución espacio-temporal de la reproducción del patudo lo desempeña la temperatura en superficie, delimitada por valores superiores a 26°C. En el caso del desove al norte del ecuador, entre 5°N y 10°N durante el tercer trimestre, parece que la escasa actividad de pesca observada estaría en relación con la Contracorriente Norecuatorial (CCNE), que podría provocar un zigzag susceptible de dificultar la pesca. En cuanto a esta pesca, la compresión de la capa de temperaturas óptimas (CTO) por la acción conjunta de las crestas térmicas y de la base de la termoclina (isoterma de 15°C) parece desempeñar un papel fundamental en la posibilidad de capturar patudo con palangre profundo. El oxígeno disuelto no condiciona la distribución debido a sus elevadas concentraciones.*

## 1 - INTRODUCTION

Depuis que le thon obèse est devenu l'espèce cible des principales flottilles palangrières, l'activité de pêche a connu un nouvel essor dans l'océan Atlantique, notamment dans sa partie intertropicale où il est capturé à la palangre profonde. La plupart des captures sont réalisées dans deux principales zones de pêche de part et d'autre de l'équateur : la première entre 5°N et 15°N et la seconde entre 5°S et 10°S (Figure 1). Dans la bande équatoriale l'activité de pêche est moins intense ; de faibles niveaux d'effort sont déployés entre 5°N et 5°S. Ces concentrations de thon obèse au nord et au sud de l'équateur sont probablement à mettre en relation avec la reproduction de l'espèce (Fonteneau, 1997). Cependant, malgré les niveaux élevés de captures réalisés dans ces deux zones, nous ne savons pratiquement rien sur les conditions environnementales existantes ni sur les probables effets sur la délimitation des zones propices à la ponte et sur la pêche du thon obèse.

Dans ce contexte, nous nous proposons de dresser un bilan synthétique de ces conditions environnementales pour essayer de mieux comprendre leurs influences sur la répartition des zones de ponte et la pêche du thon obèse dans l'Atlantique tropical. Pour cela, nous avons concentré nos analyses sur les paramètres jugés les plus importants en relation avec l'écologie de l'espèce. Dans un premier temps une évaluation des conditions hydroclimatiques de surface (température, vents et courants) a été réalisée. La structure thermique verticale de la zone tropicale a ensuite été analysée afin de vérifier son importance sur la capturabilité du thon obèse et la définition des zones de pêche. Enfin, une analyse des concentrations en oxygène dissous a été également réalisée pour vérifier son degré d'importance comme facteur limitant pour la distribution de l'espèce dans l'ensemble du bassin tropical de l'océan Atlantique.

## 2 – DONNÉES UTILISÉES ET MÉTHODOLOGIES D'ANALYSE

### 2.1 - Les données environnementales

Nous avons utilisé dans cette étude des données de différentes origines :

- **Les données COADS** : nous avons sélectionné uniquement les données de température de surface de la mer (TSM). Nous les avons utilisées pour caractériser les cycles saisonniers des zones de ponte, quand le nombre d'observations par strates de 5°x5° n'a jamais été inférieures à 360 par

mois dans la série 1956-1995. La distribution spatiale des isothermes dans l'Atlantique tropical a été réalisée également à partir de ces données.

- **Les données Servain :** base de données de température de surface et des composantes zonale et méridienne de la pseudo-tension du vent à la surface de mer pour la période 1964-1997 (Picaut *et al.*, 1985 ; Servain *et al.*, 1987 ; Servain et Lukas 1990). Seules les informations concernant ce dernier paramètre ont été retenues. Elles sont disponibles par carré de 2° et par mois pour l'ensemble de l'Atlantique tropical entre 30°N et 20°S et 60°W et 16°E. A partir de ces données nous avons calculé la vitesse du vent et la turbulence à travers des formules suivantes :

$V = (W)^{1/2}$ , où V est la vitesse du vent et W le module de sa pseudo-tension estimé par

$|W| = (u^2 + v^2)^{1/2}$ , étant u et v leurs composantes zonale et méridionale.

$Turb = V^3$  où Turb est la turbulence et V la vitesse du vent.

- **World Ocean Atlas 1994 :** ce sont des données sous format graphique directement obtenues sur le site web de la NOAA/WRC (Server Ferret)<sup>2</sup>. Cette base est une synthèse de données de température, salinité, oxygène dissous et nutriments obtenues dans tous les océans et mers du globe et également disponibles en CD-ROM (Levitus *et al.*, 1994). Des moyennes mensuelles, saisonnières et annuelles de ces données sont disponibles de la surface au fond. Pour cette étude nous avons extrait des profils verticaux et des coupes zonales et méridionales de température et d'oxygène dissous de 0 à 500 m de profondeur.
- **Les données issues du modèle OPA-7 :** les paramètres utilisés sont la température et les composantes zonale et méridionale du courant sur les 13 niveaux de profondeur fournis par le modèle (5, 15, 25, 36, 51, 70, 90, 110, 130, 150, 172, 217 et 325 m). Concernant les profils thermiques, le choix d'utiliser les données du modèle à la place des données TOGA est fondé sur la faible densité des observations disponibles dans cette base dans les zones éloignées des grandes lignes de navigation. Une interpolation des données entre les niveaux fournis par le modèle a été réalisée pour obtenir des valeurs à chaque intervalle de 10 m. Pour une description plus synthétique de la structure thermique verticale nous avons calculé, à partir de ces données, différents paramètres :

- la profondeur de la thermocline (Zth) : définie par la profondeur correspondant à la température de surface moins 1°C ( $Z_{TSM-1}$ ) et normalement utilisée dans des études d'océanographie physique (Hastenrath et Merle, 1987). Cette température de surface est la température à 5 m de profondeur, premier niveau considéré par le modèle ;

- les profondeurs des isothermes comprises entre 15°C (Z15) et 10°C (Z10) : les valeurs de ces paramètres résultant des interpolations réalisées entre les différents niveaux bathymétriques mentionnés ci-dessus. La profondeur de l'isotherme de 15°C a été utilisée pour représenter approximativement la profondeur de la base de la thermocline ;

Le choix de ces deux derniers paramètres s'appuie sur le préférendum thermique du thon obèse, dont la couche de températures optimales (CTO) est délimitée par les températures de 15°C et 10°C (Hanamoto, 1987). Par contre, étant donné que la profondeur maximale fournie par le modèle OPA est de 325 m et que l'isotherme de 10°C (Z10) peut se trouver dans quelques secteurs au-dessous de cette limite, nous avons décidé d'utiliser l'isotherme de 11°C pour représenter la limite inférieure de la CTO. Cette procédure nous a permis d'avoir une quantité plus importante de données en évitant les valeurs manquantes non négligeables existantes dans la série Z10. Nous pensons également que cette méthode n'apporte pas de préjudice aux analyses car, selon les études sur la distribution verticale du

---

<sup>2</sup> [http://www.ferret.noaa.gov/fbin/climate\\_server](http://www.ferret.noaa.gov/fbin/climate_server).

thon obèse par rapport à la structure thermique, un très faible pourcentage des captures est réalisé au-dessous de 11°C (Saito, 1975 ; Hanamoto, 1987).

## 2.2 - Les données de pêche

Etant donné que le Japon et Taiwan sont les deux principaux pays pêchant à la palangre en ciblant le thon obèse, nous avons utilisé dans la plupart des analyses les données de leurs flottilles pour la période 1980-1995. Ciblant essentiellement les thons obèses adultes et couvrant une grande partie de leur aire de distribution dans l'Atlantique, sinon sa totalité, ces flottilles sont également responsables de la majorité des captures palangrières effectuées dans cet océan (Sakagawa, *et al.*, 1987 ; Pereira, 1995). Du total de thons obèses capturés à la palangre depuis 1980, ces deux pays ont effectué 78 % environ des captures (ICCAT, 1998).

## 2.3 - Méthodologies d'analyse

### 2.3.1 - La CPUE comme indice d'abondance?

Dans les recherches halieutiques les CPUEs sont classiquement utilisées comme des indices d'abondance locaux. Par contre, du fait de la non linéarité des relations CPUE/abondance et CPUE/effort de pêche, leur utilisation reste délicate (Maury, 1998). Selon Fonteneau (1997), cet indice est "le plus souvent très peu représentatif de l'abondance locale des ressources exploitées". Pour expliquer ce fait, il a évoqué quelques caractéristiques des pêcheries thonières, à savoir :

(1) le taux d'exploitation élevés : des efforts de pêche très élevés vont provoquer rapidement une surexploitation locale débouchant sur de faibles rendements là où l'abondance des ressources est élevée ;

(2) le faible niveau d'effort de pêche : de faibles niveaux d'effort employés dans une courte période débouchent souvent sur de forts rendements là où la biomasse de la ressource est faible.

Dans le cas spécifique de la pêche palangrière ciblant le thon obèse dans l'Atlantique intertropical, ces caractéristiques pourraient expliquer l'homogénéité des CPUEs observées dans pratiquement toute cette partie de l'océan (Figure 2). Il faut préciser également que d'autres facteurs comme les tolérances de l'espèce vis-à-vis les paramètres environnementaux (température et oxygène) et les constantes modifications apportées à la palangre (profondeur de capture), sont également des sources de variations des CPUEs des pêcheries palangrières et que ces variables doivent être prise en compte pour obtenir des indices d'abondance plus fiables (Brill, 1994 ; Hampton *et al.*, 1998).

Dans ce contexte, pour mener nos analyses, nous avons décidé de prendre en compte exceptionnellement les prises et non pas les CPUEs, car elles sont probablement beaucoup plus représentatives de l'abondance du thon obèse. Néanmoins, il faut aborder avec prudence cette procédure car si nous pouvons considérer que les prises élevées représentent à priori la présence d'une forte biomasse locale, en revanche, les faibles prises peuvent être liées à deux facteurs différents : soit à un effort de pêche faible ou peu efficace, soit à une faible abondance locale de la ressource. Ces aspects seront donc abordés au cours de notre étude.

### 2.3.2 - La méthode statistique

Différentes méthodes sont utilisées pour analyser les relations pêche-environnement. Les méthodes non-paramétriques sont en particulier utilisées car nous ne connaissons à priori rien de la forme des relations que nous recherchons. Parmi ces méthodes, nous avons choisi la procédure ACE (Alternating Conditional Expectation) développée par Breiman et Friedman (1985). La variable expliquée  $Y$  et les variables explicatives  $X_1, \dots, X_n$  sont remplacées par des fonctions  $T_1(Y)$  et  $T_2(X_1), \dots, T_{n+1}(X_n)$  (équation 1) estimées par une procédure de minimisation (équation 2). Ces équations sont:

$$S(Y(j)) = \sum T_i(X_i(j)) + w(j) \quad (1)$$

$$e^2 = E((T_1(Y) - \sum T_{i+1}(X_i))^2) / \text{var}(T_1(Y)) \quad (2)$$

La forme de la relation est alors observée en représentant sous forme graphique les valeurs transformées en fonction des valeurs originales. La variance de Y expliquée par le modèle est représentée par un coefficient  $R^2$ . L'usage de cette méthode a été introduite dans des recherches halieutiques par Mendelssohn et Cury (1987) et Mendelssohn et Mendo (1987) pour étudier les relations entre les petits pélagiques côtiers et les conditions environnementales dans les zones d'upwellings.

### 3 – RÉSULTATS ET DISCUSSION

#### 3.1 - Les conditions hydroclimatiques de surface

Pour évaluer les conditions hydroclimatiques de surface dans les deux secteurs au nord et au sud de l'équateur où les captures sont plus élevées, nous avons retenu deux zones : la zone nord-équatoriale (5°N-15°N / 20°W-40°W) et la zone sud-équatoriale (5°S-10°S / 5°W-25°W). Ces zones couvrent une partie des principales zones de ponte du thon obèse dans l'Atlantique tropical (Pallarés et Fonteneau, 1997) où l'activité de reproduction est plus intense respectivement au troisième et au premier trimestre de l'année. Cette évaluation prend en compte la température de surface, la vitesse du vent, la turbulence et le courant de surface (composante zonale) ; ces paramètres sont normalement considérés comme ayant des effets importants sur la ponte et la survie des larves (Bye, 1984 ; Bakun, 1996).

##### 3.1.1 - La zone nord-équatoriale

Etant donné l'importante variabilité hydroclimatique saisonnière observée à l'intérieur de cette zone en liaison avec le développement maximum de la Zone de Convergence Intertropicale, nous l'avons divisé en deux secteurs séparés par la latitude de 10°N. Dans le secteur au nord de ce parallèle, le cycle saisonnier des trois premiers paramètres étudiés (température de surface, vitesse du vent et turbulence) est plus marqué qu'au sud, notamment en ce qui concerne la température de surface (Figure 3). Cependant, au cours du troisième trimestre (saison de ponte) les conditions hydroclimatiques représentées par ces paramètres sont à peu près équivalentes dans les deux secteurs. Les valeurs de température de surface et de turbulence se situent respectivement aux alentours de 27°C et de 140 m<sup>3</sup>.s<sup>-3</sup> (vent à 5,2 m.s<sup>-1</sup> environ). En revanche, la composante zonale du courant présente des valeurs très différentes d'un secteur à l'autre. Si pendant les cinq premiers mois de l'année les deux secteurs sont occupés par le courant Nord Equatorial (CNE ; vitesse moyenne de 10 cm.s<sup>-1</sup>), des changements importants sont observés dans le secteur sud au troisième trimestre (Figure 3). A cette époque, le CNE est remplacé par le contre-courant Nord Equatorial (CCNE), qui peut alors atteindre des vitesses beaucoup plus importantes, de l'ordre de 30 à 40 cm.s<sup>-1</sup> (Richardson et Walsh, 1986).

##### 3.1.2 - La zone sud-équatoriale

La caractéristique principale des conditions hydroclimatiques moyennes dans cette zone est le cycle saisonnier bien marqué de la température de surface. Pour les trois autres paramètres analysés, les variations saisonnières sont relativement faibles, notamment celles du courant (Figure 3). Cependant, c'est au premier trimestre de l'année (saison de ponte) que le vent (et ainsi la turbulence) présente les valeurs les plus faibles. A cette époque, la température de surface augmente de 26°C à 28°C entre janvier et mars et la turbulence présente alors des valeurs aux alentours de 220 m<sup>3</sup>.s<sup>-3</sup> (vent d'environ 6 m.s<sup>-1</sup>). En ce qui concerne le flux de surface, cette zone se trouve insérée dans le secteur où le courant Sud Equatorial (CSE) est plus faible. Pendant l'été austral les vitesses au sud de 5°S varient entre 10 et 15 cm.s<sup>-1</sup> (Richardson et Walsh, 1986).

### 3.1.3 - Analyse comparative entre les deux zones

Comme nous pouvons le constater ci-dessus, si les conditions thermiques sont tout à fait équivalentes (températures supérieures à 26°C) dans les deux zones pendant les saisons de ponte, en revanche, celle au sud de l'équateur, est soumise à l'action de vents plus forts et ainsi à des turbulences beaucoup plus élevées. De plus, une forte variabilité interannuelle est également observée dans cette zone. La turbulence par exemple, peut varier de 100 m<sup>3</sup>.s<sup>-3</sup> à 200 m<sup>3</sup>.s<sup>-3</sup> en février/1985 à des valeurs entre 300 m<sup>3</sup>.s<sup>-3</sup> et 400 m<sup>3</sup>.s<sup>-3</sup> en février/1993, notamment dans le secteur ouest (Figure 4). La ponte au troisième trimestre dans la zone nord équatoriale se réalise en partie à l'intérieur de la Zone de Convergence Intertropicale (ZCIT) où les valeurs sont relativement plus faibles.

A partir des résultats obtenus dans les deux zones au nord et au sud de l'équateur, nous avons délimité des secteurs considérés comme potentiellement favorables pour la ponte du thon obèse pendant le premier et le troisième trimestre de l'année. Des valeurs de température de surface supérieures à 26°C et de vitesse du vent inférieures à 6 m.s<sup>-1</sup> ont été retenues. Si pour la température ces valeurs sont bien représentatives des conditions thermiques observées dans ces deux zones, en revanche pour la vitesse du vent, nous avons utilisé la valeur moyenne observée dans la zone sud-équatoriale en absence de données plus précises.

En analysant la figure 5-A, nous pouvons remarquer que les conditions théoriquement favorables correspondent bien aux zones de ponte de l'été austral indiquées par le schéma proposé par Cayré *et al.* (1988). Cependant, la plupart de la zone sud-équatoriale définie dans notre étude serait considérée comme non favorable à la ponte. Pourtant, Pallarés et Fonteneau (1997) considèrent que l'importante concentration de thons obèses observée dans cette partie de l'Atlantique tropical au cours du premier trimestre est liée à une activité de reproduction en raison des conditions thermiques adéquates pour la ponte<sup>3</sup>. Effectivement, les fortes concentrations de thon obèse observées dans cette zone entre 10°W et 25°W pourrait s'expliquer seulement par la température de surface. En ce qui concerne les conditions observées pendant le troisième trimestre, nous pouvons considérer que la zone nord-équatoriale serait bien délimitée par des températures supérieures à 26°C et des vitesses du vent inférieures à 6 m.s<sup>-1</sup> (Figure 5-B). Par contre, étant donné que ces deux paramètres présentent globalement une relation inverse (cf. Figure 3), il est difficile de déterminer lequel de ces paramètres est responsable pour la répartition spatio-temporelle de la reproduction du thon obèse.

### 3.1.4 - Le vent est-il important pour la reproduction du thon obèse ?

Si l'importance du vent (et ainsi de la turbulence) pour la reproduction de petits pélagiques a été déjà prouvé dans les zones d'upwellings d'Ekman, avec la mise en évidence d'une fenêtre optimale (Cury et Roy, 1989), en revanche beaucoup reste à découvrir sur l'influence de ce paramètre sur l'écologie de la reproduction des thonidés. Selon Fonteneau (1998), il serait logique de penser que cette hypothèse de la fenêtre optimale puisse être appliquée aux différentes espèces de thons, dont les zones favorables à la reproduction seraient conditionnées par ce paramètre. Dans le cas des écosystèmes côtiers soumis à des upwellings d'Ekman, le succès d'une ponte est assuré par la combinaison de trois facteurs : enrichissement, concentration et rétention. C'est le concept écologique de la triade fondamentale développé par Bakun (1995 ; 1996). Selon Marsac (1999), cette combinaison serait bien représentée par la turbulence : si la turbulence est faible (vents faibles), la concentration des larves est assurée mais l'enrichissement en plancton ne se produit pas, ce qui entraîne une mortalité élevée des larves par un manque de nourriture ; par contre, une forte turbulence (vent forts) est capable de promouvoir cet enrichissement mais dans ce cas les larves seront rapidement dispersées, provoquant également une forte mortalité. La fenêtre environnementale optimale serait ainsi représentée par une situation intermédiaire où les trois facteurs de la triade fondamentale présenterait

---

<sup>3</sup>Cette concentration de gros thons obèses a été découverte après l'introduction de palangre profonde et jusqu'à présent aucune étude sur l'état de maturation sexuelle de ces poissons n'a été réalisée.

un certain équilibre entre eux, pour créer des conditions favorables au développement des larves (Cury et Roy, 1989 ; Bakun, 1996).

Dans le cas des thonidés qui se reproduisent en milieu pélagique hauturier, la question qui se pose est de savoir si cette triade fondamentale serait également valide ? Dans cette optique, l'étude menée par Marsac (1999) sur l'albacore dans le golfe de Guinée n'a pas été concluante car deux conditions favorables au recrutement ont été observées : la première autour de  $90 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-3}$  (vents de l'ordre de  $4,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) et la deuxième au delà de  $130 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-3}$  (vents de l'ordre de  $5,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Concernant le thon obèse, nous pensons que l'acquisition de connaissances plus approfondies sur la reproduction de l'espèce sont nécessaires avant d'entreprendre ce type d'analyse, notamment en ce qui concerne la délimitation précise des principales zones de ponte.

Quant aux résultats obtenus par notre étude, ils montrent que l'intensité du vent ne pourrait pas expliquer à elle seule la concentration de thon obèse observée au premier trimestre au sud de l'équateur (du moins en prenant en compte une vitesse limite de  $6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Dans ce contexte, il est fort probable que la température de surface soit le facteur clé de la délimitation des aires potentiellement favorables à la ponte. Les secteurs délimités par des températures supérieures à  $26^\circ\text{C}$  couvrent parfaitement l'ensemble des aires de ponte basées sur les distributions des larves et des poissons sexuellement mûrs (Cayré *et al.*, 1988) et sur les concentrations saisonnières de gros thons obèses capturés par les flottilles palangrières dans des eaux chaudes de surface (Pallarés et Fonteneau, 1997).

### ***3.1.5 - Le contre-courant Nord Equatorial : une zone de ponte protégée par l'environnement ?***

En ce qui concerne l'activité de pêche, deux importants aspects ressortent de ces analyses réalisées ci-dessus :

- (1) l'exploitation la plus intense de la zone de ponte nord-équatoriale par les flottilles palangrières ne coïncide pas avec la saison de ponte principale ; et
- (2) la distribution géographique des prises de ces flottilles ne couvre qu'une partie des zones potentielles de ponte définies essentiellement par la température de surface.

Dans la zone nord-équatoriale, l'activité de pêche se déroule pratiquement au cours de l'hiver boréal, pourtant en dehors de la saison de ponte principale. Si dans le secteur au nord de  $10^\circ\text{N}$  (ZNE1) nous pouvons encore observer des niveaux d'effort relativement élevés pendant l'été, en revanche, dans le secteur au sud de ce parallèle (ZNE2) il n'y a pratiquement pas de pêche au cours de cette saison (cf. Figure 3).

Pour expliquer ce fait, une probable baisse de la qualité de la chair du thon obèse pourrait être évoquée, laquelle deviendrait incompatible avec les exigences du marché du sashimi (IATTC, 1998). Cette supposée perte de qualité serait associée à l'activité de reproduction qui provoquerait chez le thon obèse une diminution de la concentration en graisse suffisamment importante pour les qualités organoleptiques du sashimi. Par contre, comment pourrions-nous expliquer les prises très élevées réalisées dans la zone sud-équatoriale au cours du premier trimestre, c'est-à-dire durant la période de ponte ? Cette concentration de thon obèse n'est-elle pas liée à une activité de reproduction comme cela est admis actuellement par l'ICCAT ? Malgré l'absence d'informations concernant l'état de maturité des gonades des poissons capturés ou de la présence de larves dans ce secteur, cette forte densité saisonnière serait liée très certainement à une activité de reproduction en raison des conditions environnementales favorables, notamment en ce qui concerne la température de surface (Pallarés et Fonteneau, 1997 ; Fonteneau, 1997), comme nous l'avons montré ci-dessus.

Ainsi, nous pensons que les faibles niveaux d'activité de pêche pendant l'été boréal et dans le secteur sud (ZNE2) de cette zone sont liés au contre-courant Nord Equatorial (CCNE) (cf. Figure 3). Comme cela a été signalé plus haut, au début de cette saison le CNE est remplacé par le CCNE qui peut

engendrer un cisaillement pouvant gêner les opérations de pêche à la palangre profonde<sup>4</sup>. Les résultats obtenus au cours du “Global Atmospheric Research Program (GARP) - Atlantic Tropical Experiment (GATE)” (Düing *et al.*, 1980), montrent que le CCNE présente effectivement un fort gradient vertical de vitesse. Sur un profil à 23,5°W par exemple, nous pouvons observer des valeurs plus élevées que 30 cm.s<sup>-1</sup> dans la couche supérieure à 50 m de profondeur (~60 cm.s<sup>-1</sup> en surface). Au-dessous de cette limite, la vitesse chute rapidement jusqu'à présenter, dans quelques secteurs, une inversion de direction aux alentours de 100 m (Figure 6). L'utilisation des données issues du modèle OPA, nous a permis de vérifier l'existence de cette même configuration dans d'autres parties à l'intérieur du secteur au sud de 10°N (Figure 7). Si cette hypothèse se confirme, nous pouvons considérer que, du moins en ce qui concerne les thonidés, ce secteur occupé par le CCNE représente très probablement le premier cas de délimitation d'une zone de ponte protégée par l'environnement. Nous pouvons encore considérer que ce courant joue un rôle fondamental sur le succès de la ponte et la survie des larves au nord de l'équateur. En plus de présenter une richesse planctonique relativement importante, ce courant transporterait ces larves directement vers le golfe de Guinée où se trouve la seule nourricerie connue à l'heure actuelle pour l'espèce (Cayré *et al.*, 1986).

En ce qui concerne l'occupation partielle des zones potentielles de ponte par l'activité de la pêche palangrière, deux facteurs pourraient expliquer ce fait: (1) l'influence d'autres paramètres hydroclimatiques conditionnant les zones favorables à la reproduction et qui n'ont pas été pris en compte dans nos analyses ; et (2) l'efficacité de l'engin de pêche employé qui peut varier d'une zone à l'autre vis-à-vis de l'hétérogénéité de l'environnement. Etant donné que nous pensons avoir analysé les principaux paramètres pouvant exercer des influences probables sur l'activité de reproduction du thon obèse (Fonteneau, 1998), nous allons analyser les influences exercées par d'autres facteurs environnementaux sur sa capturabilité, notamment en ce qui concerne la structure thermique profonde.

### 3.2 - La structure thermique profonde et la pêche du thon obèse dans l'Atlantique intertropical

L'analyse comparative de la structure thermique verticale entre 0 et 500 m de profondeur et la répartition géographique des prises du thon obèse dans l'Atlantique intertropical fait ressortir des informations intéressantes sur cette relation. Nous pouvons observer que les prises les plus importantes de thon obèse sont réalisées précisément dans les secteurs où se trouvent les crêtes thermiques, situées entre 5°N-15°N et 5°S-10°S (Figure 8). Bien représentées par les isothermes de 10°C et 11°C, ces crêtes correspondent à la remontée de la “stratosphère océanique”. Elles jouent apparemment un rôle très important sur la distribution verticale du thon obèse et par conséquent sur l'efficacité de la palangre profonde ainsi que sur la définition des zones de pêche.

Pour vérifier en détail ces relations, nous avons retenu le secteur au sud de l'équateur (0°-15°S / 0°-30°W), où se concentre l'activité de pêche des flottilles asiatiques au cours de l'été austral. Nous avons choisi la période 1985-1995 qui représente mieux l'utilisation effective de la palangre profonde dans cette région (Uozumi, 1996).

Les analyses réalisées à l'aide de la procédure ACE (Alternating Conditional Expectation) mettent en évidence l'existence de relations non-linéaires entre les prises et les facteurs de l'environnement. Les pourcentages de variance expliquée par les différents modèles testés sont les suivants :

- |   |              |
|---|--------------|
| (1) $T_1(\text{prise de thon obèse}) = T_2(Z_{th})$               | $R^2 = 0,03$ |
| (2) $T_1(\text{prise de thon obèse}) = T_2(Z_{15})$               | $R^2 = 0,26$ |
| (3) $T_1(\text{prise de thon obèse}) = T_2(Z_{11})$               | $R^2 = 0,41$ |
| (4) $T_1(\text{prise de thon obèse}) = T_2(Z_{15}) + T_3(Z_{11})$ | $R^2 = 0,47$ |

<sup>4</sup>Probablement l'effet de ce cisaillement sur la palangre traditionnelle n'empêcherait pas l'engin de capturer l'albacore dans ce secteur en raison de sa distribution dans des couches moins profondes (la moitié supérieure de la thermocline, où normalement les albacores se concentrent, se trouve environ entre 60 m et 100 m de profondeur pendant le troisième trimestre (WOA, 1994)).

où  $Z_{th}$  est la profondeur de la thermocline et  $Z_{15}$  et  $Z_{11}$  respectivement les profondeurs des isothermes de 15°C et 11°C.

La variabilité des prises expliquée par la profondeur de la thermocline est pratiquement nulle (modèle 1; Figure 9-A). Le modèle (2) montre que les valeurs transformées de la profondeur de l'isotherme de 15°C présentent une forme de cloche, avec des conditions favorables à la capturabilité de l'espèce autour de 140 m (Figure 9-B). En revanche, la  $Z_{15}$  n'explique que 26 % de la variabilité des prises. Concernant la profondeur de l'isotherme de 11°C ( $Z_{11}$ ), le modèle indique des conditions favorables autour de 220 m de profondeur. A partir de ce niveau, son approfondissement entraîne une chute rapide des prises jusqu'à 260 m; au-delà de cette profondeur une stabilisation est observée (Figure 9-C). Ce paramètre, responsable de 41 % de la variabilité des prises, met en évidence l'effet positive de la crête thermique sur la capturabilité du thon obèse. L'intégration de ces deux dernières variables dans un même modèle n'augmente pas d'une façon significative le pourcentage de la variabilité expliquée (47 % ; Figure 9-D).

Ces résultats suggèrent que la distribution verticale des isothermes de 15°C ( $Z_{15}$ ) et 11°C ( $Z_{11}$ ) jouent un rôle important sur la capturabilité du thon obèse. Les conditions les plus favorables seraient probablement associées à la fois à l'épaisseur et à la profondeur de la CTO. Une plus faible épaisseur de la CTO induirait une augmentation de la densité de l'espèce par volume d'habitat ; le résultat est un effet positif sur la capturabilité du thon obèse par la palangre profonde quand cette couche se trouve à sa portée.

Trois situations (théoriques) seraient alors observées en ce qui concerne la région étudiée :

- situation 1 (entre 10°S et 15°S) : la couche de températures optimales (CTO) est peu épaisse ; elle se trouve principalement au-dessous des profondeurs atteintes par la palangre profonde, notamment dans la partie ouest où l'isotherme de 15°C est située autour de 200 m (à l'est de la zone étudiée elle est à environ 170 m). Les prises sont alors très faibles. Dans le cas de cette situation, l'autre facteur qui peut jouer un rôle important dans les faibles prises est la température de surface de la mer. Dans ce secteur elle est inférieure à 26°C et elle est donc théoriquement peu favorable à la ponte et ainsi à la présence de cette espèce (cf. § 3.1.3).
- situation 2 (entre 5°S et 10°S) : la CTO est moins épaisse et se trouve totalement à la portée des hameçons de la palangre profonde (entre 100 et 250 m). Les prises de thon obèse sont très élevées. Ces fortes prises pourraient être liées à la "compression" de la couche de températures optimales par l'approfondissement de l'isotherme de 15°C et la remontée de l'isotherme de 11°C. De plus, au dessus de la CTO, la couche d'eau comprise entre les isothermes de 15°C et 18°C (couche où la palangre profonde est opérationnelle) participe également aux fortes prises de thon obèse car Hanamoto (1987) avait noté 20 % des prises de cette espèce étaient effectuées entre ces deux isothermes.
- situation 3 (entre l'équateur et 5°S) : la CTO est beaucoup plus épaisse en raison de la plongée vers l'équateur des isothermes composant la thermocline (températures inférieures à 13°C), alors que les isothermes de 15°C et 14°C ne présentent pas cet approfondissement. La partie inférieure de la CTO se trouve en dehors de la portée de la palangre profonde. Les hameçons les plus profonds arrivent à peine à atteindre la couche à 12°C où de fortes concentrations de thon obèse ont été observées par Hanamoto (1987) et Grudin (1989). Les prises sont alors faibles.

Dans ce contexte, la structure thermique verticale observée entre 5°S et 10°S expliquerait la concentration de l'effort de pêche des flottilles palangrières dans cette zone. Cependant, cette structure thermique présente des modifications zonales importantes avec les mêmes caractéristiques décrites ci-dessus pour les trois situations observées entre l'équateur et 15°S (variations méridiennes). Ainsi, dans cette bande située entre 5°S et 10°S, nous pouvons observer des conditions thermiques à peu près identiques de la situation 1 (entre la côte brésilienne et 25°W), de la situation 2 (entre 25°W et 5°W) et

de la situation 3 (à l'est de 5°W). De la même façon, ces situations pourraient expliquer les niveaux des prises réalisées dans ces différents secteurs ; les prises les plus importants sont réalisées dans le secteur central (situation 2). Les figures 10 et 11 montrent d'une façon générale la structuration de cette hypothèse.

De nombreuses études ont déjà démontré l'influence de la température sur la distribution verticale du thon obèse mais la plupart des recherches font uniquement référence à une gamme de température où l'espèce a été capturée en plus grande quantité. Aucune mention sur le rôle joué par l'épaisseur de la couche de température optimale n'a été faite. Dans le Pacifique, comme nous avons mentionné plus haut, Saito (1975) a considéré que les températures optimales se situent entre 11°C et 15°C alors que pour Hanamoto (1987) elles sont représentées par les isothermes de 10°C à 15°C, où 50 % des thons obèses ont été capturés (ce pourcentage est de 70 % entre 10°C et 18°C). En ce qui concerne l'océan Atlantique, selon Suzuki et Kume (1982), le thon obèse est plus fréquemment capturé dans la partie inférieure de la thermocline et au-dessous. De leur côté, Gaikov et Fedoseev (1986) ont observée des fortes concentrations de l'espèce entre 11,1°C et 14,2°C dans la partie équatoriale du golfe de Guinée (entre 150 à 210 m), ainsi qu'entre 13,9°C et 15,7°C au large de l'Angola par 16°S (entre de 65 à 100 m). Selon Grudinin (1989), juste au-dessus de la thermocline, à environ 14°C-15°C, la fréquence d'occurrence du thon obèse est de 12,5 % ; elle est de 78 % entre 9°C et 13°C, mais à des températures inférieures à 10°C, elle tombe à 0,49 %, température que cet auteur considère comme critique pour l'espèce. D'après Grudinin (1989) et Hanamoto (1987), un pic d'abondance est observé aux alentours de 12°C. Pour la plupart de ces auteurs, la distribution en profondeur du thon obèse est étroitement liée à la recherche en nourriture. Dans les couches plus profondes, il pourrait trouver une concentration élevée de biomasse mésopélagique en évitant la compétition avec d'autres espèces de thonidés incapables d'atteindre ces couches, comme cela a été évoqué par Josse *et al.* (1998). S'appuyant sur ces travaux, Bertrand *et al.* (1999a) ont démontré, à partir de la caractérisation hydrologique et acoustique de l'habitat pélagique en Polynésie Française, que les rendements du thon obèse sont liées au volume d'habitat si la capacité trophique du milieu est suffisante.

Dans ce contexte, étant donné que la palangre profonde opère normalement entre 100 et 250 m, les principales zones de pêche sont formées quand la couche de températures optimales (CTO) se trouve insérée (totalement ou en grande partie) entre ces profondeurs (Saito, 1975 ; Suzuki *et al.*, 1977 ; Hanamoto, 1987). Nous pensons, d'après nos résultats, que l'épaisseur de cette couche joue également un rôle sur la capturabilité de l'espèce et ainsi sur la définition des zones de pêche.

### **3.2.1 - Il y a-t-il encore des nouvelles zones à exploiter en profondeur ?**

La découverte de nouvelles zones de pêche thonière a souvent été possible grâce à l'utilisation des engins classiques dans des strates spatio-temporelles non encore explorées ou à l'emploi de nouveaux engins de pêche (Bard *et al.*, 1998). Les fortes concentrations de thon obèse au sud de l'équateur (5°S-10°S) mises à jour à partir de l'utilisation de la palangre profonde sont probablement l'exemple le plus représentatif dans l'océan Atlantique tropical.

Aux deux possibilités évoquées par Bard *et al.* (1998) et en y ajoutant les résultats des analyses évoquées ci-dessus, peut-on encore rechercher des nouvelles zones de pêche ?

Selon Hanamoto (1987), la distribution des prises obtenues par la pêcherie palangrière ne fournit pas une bonne représentation de sa réelle distribution. Etant donné que la couche de températures optimales peut se trouver au-dessous des profondeurs atteintes par les hameçons de la palangre profonde, nous pensons qu'il doit très probablement encore exister des secteurs caractérisés par d'importantes concentrations de thon obèse jusqu'à présent non exploités par la pêche palangrière.

Des résultats obtenus par des marquages soniques et par des pêches expérimentales ont déjà prouvé la présence et la possibilité de capturer le thon obèse dans des couches beaucoup plus profondes que celles normalement atteintes actuellement par la pêche commerciale (250-300 m). L'utilisation d'une palangre monofilament dans la zone économique exclusive (ZEE) de la Polynésie

Française (Programme ECOTAP)<sup>5</sup>, a permis la capture de gros thons obèses jusqu'à 550 m de profondeur (Bach, comm. pers.). Ce programme, en associant la pêche expérimentale instrumentée (enregistreurs de profondeurs et horloges d'hameçons) à l'acquisition de données environnementales, aux techniques d'écho-intégration et de marquage acoustique, a permis d'évaluer l'occupation de l'espace par les principales espèces de thonidés, dont la plupart des résultats démontrant cette présence en profondeur (Josse *et al.*, 1995, 1998 ; Bertrand *et al.*, 1999a ; Bertrand *et al.*, 1999b ; Bach *et al.*, 1998 ; Bard *et al.*, 1999 ; Dagorn *et al.*, sous presse).

A partir des analyses effectuées au cours de cette étude et nous appuyant à la fois sur ces récents travaux, nous pouvons identifier deux nouvelles zones dans l'Atlantique. Ces zones sont situées entre 10°N et 20°N à l'ouest de 40°W et au large du cap San Roque au nord-est du Brésil, entre la côte et 30°W. Le schéma de la reproduction du thon obèse proposé par Cayré *et al.* (1986) évoque effectivement de la présence du thon obèse dans ces zones.

Dans la zone au nord de l'équateur, la couche de température optimale se trouve bien au-dessous de 250 m de profondeur, et ainsi hors de la portée de la palangre profonde (cf. Figure 8). Les niveaux d'oxygène dissous observés dans ce secteur entre 250 m et 500 m de profondeur sont normalement supérieurs à 2,8 ml.l<sup>-1</sup>, bien au-dessus de la valeur de 0,65 ml.l<sup>-1</sup>, considérée comme limitante pour l'espèce (Sharp, 1978), comme nous le verrons en détail plus tard.

Par ailleurs, au large du Brésil, une chute régulière des prises est observée entre le méridien de 20°W et la côte dans le secteur délimité par les parallèles 5°S et 10°S. De 1992 à 1995, 8 campagnes<sup>6</sup> de pêches expérimentales ont été réalisées dans ce secteur entre 30°W et la côte, avec seulement six thons obèses capturés. Apparemment, les faibles rendements de thon obèse obtenus avec l'emploi d'une palangre profonde (12 hameçons/élément) sont liés à l'approfondissement de la couche de températures optimales (les teneurs en oxygène dissous dans ce secteur sont généralement supérieures à 2,5 ml.l<sup>-1</sup> au-dessus de 500 m). Une représentation schématique associant les profondeurs atteintes par les hameçons, les profondeurs de capture de ces poissons et les profils thermiques obtenus pendant les campagnes de pêche, est présentée à la figure 12. Ce schéma nous permet clairement d'observer que les hameçons les plus profonds de la palangre (~220 m) sont à peine arrivés à atteindre la partie supérieure de la couche de températures optimales (isotherme de 15°C à environ 200 m). Même si les valeurs des profondeurs des hameçons ont été obtenues à partir de calculs théoriques, ce que est facilement critiquable, elles n'invalident pas l'hypothèse décrite ci-dessus, mais au contraire, la renforce. Des résultats obtenus à l'aide d'instruments de mesures directes, comme les enregistreurs de profondeur du type "Time Depth Recorder" par exemple, ont prouvé que ces calculs fournissent des valeurs souvent plus profondes que celles obtenues par ces instruments (Boggs, 1992 ; Hampton *et al.*, 1998). En nous appuyant sur les informations obtenues avec l'utilisation d'un enregistreur de profondeur, nous avons pu estimer que les valeurs obtenues par les calculs ont été certainement de 15 à 20 % moins profondes. Malheureusement l'appareil a été perdu lors du troisième jour de campagne pendant l'opération de virage de la palangre, ce que nous a empêché de corriger les calculs réalisés.

Les deux zones indiquées ci-dessus présentent une structure océanographique semblable à celle observée dans la partie sud de la ZEE de la Polynésie Française où les thons obèses ont été capturés dans la couche située entre 200 et 400 m (Bard *et al.*, 1999) : la base de la thermocline est profonde (au-dessous de 200 m) et les taux d'oxygène dissous sont supérieurs à 2,5 ml.l<sup>-1</sup>. Dans ce contexte, ces zones réuniraient toutes les caractéristiques nécessaires pour être considérées comme de nouvelles zones de pêche au thon obèse. Nous pensons que l'emploi d'une palangre profonde arrivant à atteindre ces niveaux de profondeur pourrait très probablement obtenir des rendements importants dans ces deux secteurs.

---

<sup>5</sup> Etude du Comportement des Thonidés par l'Acoustique et la pêche à la Palangre en Polynésie Française (Josse, et al., 1995).

<sup>6</sup> Pendant chaque campagne nous avons employé deux types de palangre : la palangre traditionnelle, avec 6 hameçons/élément et la palangre profonde avec 12 hameçons/élément. Chacune a été mouillée de 4 à 5 fois par campagne.

### 3.2.2 - Les faibles prises dans la bande équatoriale sont-elles uniquement liées à la structure thermique profonde ?

Dans les secteurs mentionnés ci-dessus nous pouvons considérer que les faibles prises observées sont très probablement liées à l'approfondissement de la couche de températures optimales (ce que rend la palangre profonde peu efficace pour capturer cette espèce). En revanche, nous pensons que les bas niveaux des captures observées dans la partie centrale de l'Atlantique (entre 5°N et 5°S) ne peuvent pas être totalement expliqués par cette seule relation. Ici, les hameçons de la palangre atteignent une grande partie de la couche de températures optimales (entre 15°C et 12°C) mais les prises sont également faibles. Cette situation rend plus complexe la seule relation entre prise de thon obèse et profondeur et/ou épaisseur de la CTO que nous avons évoqué plus haut. Si cette situation est difficile à interpréter car plusieurs facteurs peuvent être responsables (soit qu'on les considère isolement, soit en synergie avec d'autres), nous pouvons émettre deux hypothèses pour évoquer ces faibles niveaux de prises (et d'effort de pêche) dans cette région :

(1) l'hypothèse la plus simple est de considérer que ces faibles prises sont la conséquence d'une faible abondance de l'espèce dans le secteur ;

(2) l'autre, plus complexe, prend en compte quelques facteurs d'ordre environnemental et même économique.

Concernant cette dernière hypothèse, le facteur d'ordre environnemental est le système équatorial de courants, notamment le sous-courant Equatorial. Les forts gradients verticaux de vitesse observés entre ce courant et le courant Sud Equatorial (CSE) mettent en évidence la présence d'un fort cisaillement au-dessous de 50-60 m de profondeur (Voituriez, *et al.*, 1983a ; Colin, 1989), qui peut s'étendre de part et d'autre de l'équateur dès 1,5°S jusqu'à 3,5°N (Figure 13). Ce cisaillement peut effectivement gêner les opérations de pêche, comme le confirme les témoignages des patrons des senneurs français opérant dans l'Atlantique centre-est, qui évitent cette région (Stretta, comm. pers.). En ce que concerne la pêche palangrière, nous pouvons théoriquement considérer, comme nous l'avons fait ci-dessus par rapport au CCNE, que ce phénomène peut également provoquer des modifications importantes sur la structure de la palangre avec des conséquences négatives sur son efficacité. Les deux autres courants de subsurface, le sous-courant Nord Equatorial et le sous-courant Sud Equatorial, situés respectivement aux alentours de 4°N (noyau à 200 m) et 4°S (noyau à 150 m), peuvent également provoquer ce type d'interférence sur la palangre profonde en raison du fort flux vers l'est qu'ils représentent ( $\sim 40 \text{ cm.s}^{-1}$ ).

Nous n'avons pas les données nécessaires pour évaluer d'une façon plus approfondie cette hypothèse. Pour vérifier l'action de ces courants sur le fonctionnement de la palangre, une étude associant un engin doté d'instruments de mesures de profondeur des hameçons à de mesures de la vitesse du courant pourrait nous fournir des informations à ce sujet. Une analyse des niveaux d'effort et de prise par des strates plus fines ( $1^\circ \times 1^\circ$ ) pourrait également apporter des nouvelles informations.

Le facteur d'ordre économique concerne les espèces accessoires capturées. Une comparaison entre la participation relative de ces espèces dans les prises réalisées pendant le premier trimestre dans différents secteurs de l'Atlantique tropical nous montre que dans la bande équatoriale (5°N-5°S) les pourcentages de participation de l'albacore et de l'espadon sont plus élevées que celles observées au sud de cette région (Tableau 4.1). Cette caractéristique pourrait aboutir à une stratégie de pêche basée sur la concentration de l'effort là où une maximisation des prises en thon obèse serait assurée, ce que pourrait expliquer, du moins en partie, la faible activité de pêche dans la bande équatoriale.

Etant donné la présence de larves de thon obèse dans pratiquement toute cette bande équatoriale, laquelle atteste également la présence des gros thons obèses reproducteurs (Cayré *et al.*, 1988), nous pencherons plutôt vers l'hypothèse qui associe un facteur de l'environnement (les courants de subsurface) et un facteur économique (participation relative du thon obèse dans les prises totales) pour

expliquer, conjointement avec la structure de la couche de températures optimales, les faibles taux d'occupation de cette zone par les flottilles palangrières.

### 3.3 - Les taux d'oxygène dissous et la distribution du thon obèse dans l'Atlantique tropical

Plusieurs travaux ont démontré l'importance de l'oxygène dissous comme facteur limitant pour la distribution des thonidés et en conséquence pour la pêche (Sharp, 1978 ; Sund *et al.*, 1981 ; Hanamoto, 1975, 1987 ; Cayré, 1987 ; Brill, 1994 ; Hampton *et al.*, 1998). En ce qui concerne le thon obèse, Sharp (1978) a réalisé des estimations d'une limite létale inférieure à partir des travaux de Magnuson et Weiniger (1978) sur l'énergie nécessaire pour maintenir une vitesse minimale de sustentation. Ces limites, comme nous les avons mentionné au chapitre précédent, sont de 0,52 ml.l<sup>-1</sup> et 0,62 ml.l<sup>-1</sup> respectivement pour des poissons mesurant 50 cm et 75 cm.

Selon Brill (1994), ces estimations ne sont pas réalistes car même à de faibles vitesses les thons ont des besoins extrêmement élevés en oxygène dissous. Vraisemblablement, les taux métaboliques standards élevés des thonidés sont en grande partie liées au travail d'osmorégulation intense résultant d'une grande surface branchiale et d'une très fine lamelle branchiale. Cette adaptation permet aux thons d'effectuer des taux d'échanges CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> exceptionnellement élevés (Hughes, 1984 ; Bushnell et Brill, 1992), mais à un coût énergétique également accentué pour maintenir l'équilibre osmotique (Brill, 1994).

Malheureusement le thon obèse est très peu étudié vis-à-vis de ses tolérances aux faibles niveaux d'oxygène dissous, même si cette espèce est considérée comme la plus intéressante du point de vue de la résistance à ce type de condition environnementale (Boggs, 1993). La plupart des études physiologiques récentes sur ce sujet ont été réalisées sur le listao (*Katsuwonus pelamis*) et l'albacore (*Thunnus albacares*) (Brill, 1994). Cette constatation est aussi valide pour les études par télémétrie acoustique, car même pour ces deux espèces très peu d'entre eux ont inclus l'oxygène dissous dans leurs analyses (Cayré 1991 ; Cayré et Marsac, 1993). Dans ce contexte, les connaissances actuelles sur la tolérance du thon obèse aux faibles niveaux d'oxygène dissous sont encore insuffisantes pour établir avec certitude une limite inférieure pour l'espèce. Des informations obtenues soit à partir de pêcheries expérimentales, soit par des rares études physiologiques, nous aiderons à esquisser un panorama général sur le rôle de l'oxygène dissous dans la répartition du thon obèse dans l'Atlantique tropical.

Hanamoto (1975, 1987) a vérifié que les prises de thons obèses ne sont pas affectées par l'oxygène dissous quand les concentrations sont supérieures à 1 ml.l<sup>-1</sup>. De leur côté, Bertrand *et al.*, (1999a) ont vérifié qu'en Polynésie Française très peu de thons obèses (2,5 %) sont capturés dans des eaux où la concentration en oxygène dissous est inférieure à 0,6 ml.l<sup>-1</sup>. Cette valeur est largement au-dessous de celle observée par Boggs (1992) aux alentours de l'archipel hawaïen, où les thons obèses ont été rarement capturés dans des eaux peu oxygénées avec des concentrations plus basses que 1,4 ml.l<sup>-1</sup>. Des études réalisées par Bushnell *et al.*, (1990) ont démontré que le thon obèse présente une réduction significative de son rythme cardiaque quand il est confronté à des faibles concentrations d'oxygène dissous (<2,1 ml.l<sup>-1</sup>), ce que limiterait probablement ses activités dans des telles conditions. Enfin, récemment, Hampton *et al.* (1998) ont calculé des indices de préférence pour l'espèce par rapport aux concentrations d'oxygène dissous. Ils ont ainsi démontré que sa distribution relative diminue rapidement au-dessous de 3,0 ml.l<sup>-1</sup>, suggérant l'absence du thon obèse dans des eaux où les concentrations sont inférieures à 1,5 ml.l<sup>-1</sup>.

Dans l'Atlantique tropical, la distribution spatiale des concentrations en oxygène dissous à différents niveaux de profondeur montre que les valeurs les plus faibles se trouvent du côté est du bassin, où la thermocline est plus proche de la surface et où ce concentre également une partie de l'effort de pêche des principales flottilles palangrières (Sakagawa *et al.*, 1987). En analysant la figure 14, nous pouvons remarquer qu'à une profondeur de 100 m, des valeurs inférieures à 1,5 ml.l<sup>-1</sup> ne se concentrent que dans une petite région au large de l'Angola et de la Namibie (en liaison avec l'upwelling côtier). Ce n'est qu'à partir d'une profondeur de 250-300 m que des zones où la quantité d'oxygène dissous inférieure à 1,5 ml.l<sup>-1</sup> apparaissent au large de la côte de l'Afrique de l'ouest

(Mauritanie-Sénégal) et bien sur au large de l'Angola-Namibie. Par ailleurs, si l'on prend la quantité d'oxygène dissous égale à  $1,0 \text{ ml.l}^{-1}$ , on peut remarquer sur cette même figure, que seulement à partir de 250 m au large de l'Angola apparaît une zone avec cette quantité d'oxygène.

En prenant comme seuil de tolérance la valeur de  $1,0 \text{ ml.l}^{-1}$ , nous pouvons considérer, d'après ces résultats, que les concentrations en oxygène dissous ne constituent pas un facteur limitant pour la distribution du thon obèse dans l'Atlantique tropical. La masse d'eau caractérisée par cette valeur qu'on observe au large des côtes angolaises, devient plus importante seulement au niveau de 350 m de profondeur. Elle est ainsi bien au-dessous de la CTO qui joue probablement le rôle principal sur la distribution verticale du thon obèse (Figure 14). En revanche, si le seuil de tolérance est de  $1,5 \text{ ml.l}^{-1}$ , probablement les concentrations en oxygène dissous agiraient comme un facteur limitant l'habitat du thon obèse dans cette zone. La masse d'eau de concentrations en oxygène dissous inférieures à ce seuil se trouve bien insérée dans la CTO, arrivant à atteindre la profondeur de 150 m aux alentours de  $12^{\circ}\text{S}$  ( $\sim$  l'isotherme de  $13^{\circ}\text{C}$ ). Malheureusement aucune recherche n'a prospecté les couches plus profondes où se trouve localisée cette masse d'eau. L'étude réalisée par Torin (1969) au large de l'Angola entre  $10^{\circ}\text{S}$  et  $13^{\circ}\text{S}$ , porte sur la couche entre la surface et 150 m. La quasi totalité (92,5 %) des prises en thon obèse a été réalisée à des températures entre  $14,2^{\circ}\text{C}$  et  $15,8^{\circ}\text{C}$ , mais aucune information sur les concentrations d'oxygène dissous a été obtenue. Ces températures, qui correspondent à la partie supérieure de la CTO, se trouvent probablement, d'après nos données, au-dessus de la masse d'eau à  $1,5 \text{ ml.l}^{-1}$  d'oxygène dissous (Figure 14).

Dans ce contexte, des nouvelles recherches avec l'obtention simultanée des données de pêche et de l'environnement sont nécessaires pour évaluer si l'oxygène dissous représente un facteur limitant l'habitat du thon obèse dans ce secteur. En tout cas, en ce qui concerne la zone d'étude, nous pouvons conclure qu'en raison des concentrations élevées en oxygène dissous observées, que ce paramètre ne conditionne pas la distribution du thon obèse. Cependant, la définition d'un habitat favorable doit prendre en compte l'hypothèse proposée par Brill (1994) sur la relation entre la teneur en oxygène dissous et le temps nécessaire de récupération après un effort soutenu. Des résultats récents obtenus par Dagorn *et al.* (sous presse) semblent confirmer cette hypothèse. Ils suggèrent que le thon obèse réalise des incursions sporadiques dans des eaux des couches de surface chaudes et plus oxygénées pour se réchauffer et également pour s'oxygéner et éliminer les déchets du métabolisme (métabolisme du lactose). Selon ces auteurs, ce comportement est analogue à celui observé chez les mammifères marins qui sont obligés de remonter en surface pour respirer (Brill, 1994). Nous pouvons ainsi considérer que le thon obèse réalise ce que nous appellerons une "fausse apnée" en revenant périodiquement pour "respirer" dans les eaux bien oxygénées des couches de surface après des plongées prolongées en profondeur où la teneur en oxygène dissous est plus faible.

#### 4 - CONCLUSIONS

D'après nos résultats, nous pensons que le rôle le plus important dans la distribution spatio-temporelle de l'activité de reproduction du thon obèse est joué par la température de surface. Apparemment, les zones favorables à la ponte seraient délimitées par des températures supérieures à  $26^{\circ}\text{C}$ . Dans le cas de la ponte réalisée au nord de l'équateur, il semble que le faible niveau d'activité de pêche à la palangre observé entre  $5^{\circ}\text{N}$  et  $10^{\circ}\text{N}$  au troisième trimestre serait lié au contre-courant Nord Equatorial pouvant engendrer un cisaillement susceptible de gêner les opérations de pêche dans ce secteur, ce qui représenterait probablement le premier cas d'une zone de ponte protégée par l'environnement.

En ce qui concerne l'activité de pêche, la compression de la couche de températures optimales (CTO) par l'action conjointe des crêtes thermiques et de la base de thermocline, semble jouer un rôle fondamental dans la capturabilité du thon obèse à la palangre profonde. Cette compression de la CTO entraînerait une augmentation de la densité de poissons par volume d'habitat favorisant ainsi la capture de l'espèce. Les principales zones de pêche seraient formées quand cette situation se trouve à la portée de la palangre profonde, comme c'est le cas du secteur situé au sud de l'équateur entre  $5^{\circ}\text{S}$  et

10°S et entre 5°W et 20°W. Dans la bande équatoriale (entre 5°N et 5°S), l'association entre les courants de subsurface, la participation relative du thon obèse dans les prises, et la structure de la couche de températures optimales, pourraient expliquer les relativement faibles taux d'occupation de cette zone par les flottilles palangrières.

Quant à l'oxygène dissous, nous pensons qu'en raison des concentrations élevées observées, ce paramètre ne conditionne pas la distribution du thon obèse dans la zone d'étude, ainsi que dans la plupart du bassin atlantique intertropical.

## 5 – REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BACH, P., R. Abbes, C. Misselis, F.X. Bard, 1998. La palangre dérivante monofilament : du mou dans la ligne. *La Pêche Maritime*, 1402(2) : 311-315.
- BAKUN, A., 1995. The California Current, Benguela Current and Southwestern Atlantic shelf ecosystems : a comparative approach to identifying factors regulating biomass yields. *In* Sherman, K., L.M. Alexander, B. Bold (eds.). Large marine ecosystem : stress, mitigation and sustainability. Am. Assoc. For the Advancement of Science : 199-224.
- BAKUN, A., 1996. Patterns in the ocean : ocean processes and marine population dynamics. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz (BCS México), 323 p.
- BARD, F.X., P. Bach, E. Josse, 1998. Habitat, écophysiologie des thons : quoi de neuf depuis 15 ans ? *In* : Beckett, J. (ed.) - *Proceeding of the ICCAT Tuna Symposium, Part 1*, Punta Delgada, p. 319-341.
- BARD, F.X., S. Yen, A.A. Stein, 1999. Habitat of deep swimming tuna (*Thunnus obesus*, *T. albacares*, *T. alalunga*) in Central South Pacific. *ICCAT SCRS/98/104*, 11 p.
- BERTRAND, A., C. Misselis, E., Josse, P. Bach, 1999a. Caractérisation hydrologique et acoustique de l'habitat pélagique en Polynésie Française : conséquences sur la distribution horizontale et verticale des thonidés. *In* : 4<sup>ème</sup> Forum Halieumétrique, Rennes, p. 1-10.
- BERTRAND, A., E. Josse, J. Massé, 1999b. *In situ* acoustic target-strength measurement of bigeye (*Thunnus obesus*) and yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) by coupling split-beam echosounder observations and sonic tracking. *ICES Journal of Marine Science*, 56 : 51-60.
- BOGGS, C.H., 1992. Depth, capture time, and hooked longevity of longline-caught pelagic fish with chips. *Fishery Bulletin*, 90(4) : 642-658.
- BREIMAN, L. et J.H. Friedman, 1985. Estimating optimal transformations for multiple regression and correlation. *J. Am. Stat. Assoc.*, 80 : 580-619.
- BRILL, R.W., 1994. A review of temperature and oxygen tolerance studies of tunas pertinent to fisheries oceanography, movement models and stock assessments. *Fisheries Oceanography*, 3(3) : 204-216.
- BUSHNELL, P.G., R.W. Brill, R.E. Bourke, 1990. Cardiorespiratory responses of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*), yellowfin tuna (*Thunnus albacares*), and bigeye tuna (*Thunnus obesus*) to acute reductions of ambient oxygen. *Can. J. Zool.*, 68 : 1857-1865.
- 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.*, 162(B) : 131-143.

- BYE, V.J., 1984. The rôle of environmental factors in timing of reproductive cycles. *In* Potts, G.W. et R.J. Wootton (eds). *Fish reproduction : strategies and tactics*. Academic Press, London, pp. 187-205.
- CAYRE, P., A. Fonteneau, F.X. Bard, 1986. L'essentiel de ce qu'il faut savoir sur le patudo de l'Atlantique : biologie et exploitation. *Rec. Doc. Scient.*, Centre de Recherche Océanographique de Dakar-Tiaroye (CRODT), 951 : 7-34.
- CAYRE, P., 1987. L'oxygène dissous et la répartition des thons (albacore, listao et patudo) dans l'océan Atlantique. *La Pêche Maritime*, 1303 : 92-95.
- CAYRE, P., J.B. Amon Kotias, J.M. Stretta, T. Diouf, 1988. Biologie des thons. *In* : Fonteneau, A. et J. Marcille (eds.), *Ressources, pêche et biologie des thonidés tropicaux de l'Atlantique centre-est*. FAO Document Technique sur les pêches, 292 : 157-268.
- CAYRE, P., 1991. Behaviour of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) around fish aggregating devices (FADS) in the Comoros Islands as determined by ultrasonic tagging. *Aquat. Living Resour.*, 4(1) : 1-12.
- CAYRE, P. et F. Marsac, 1993. Modelling the yellowfin tuna vertical distribution using sonic tagging results and local environment parameters *Aquat. Liv. Resour.*, 6(1) : 1-14.
- COLIN, C., 1989. Sur la variabilité dans le Golf de Guinée : nouvelles considérations sur les mécanismes d'upwelling. Thèse de Doctorat, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 60 p.
- CURY, P. et C. Roy, 1989. Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 46 : 670-680.
- DAGORN, L., P. Bach, E. Josse, (sous presse). Movement patterns of large bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the open ocean determined using ultrasonic telemetry. *Marine Biology*, 31 p.
- DÜING, W., F. Ostapoff, J. Merle, 1980. Physical oceanography of the Tropical Atlantic during GATE. Global Atmospheric Research Program (GARP) Atlantic Tropical Experiment, Univ. Miami, Miami, 117 p.
- FONTENEAU, A., 1997. Atlas des pêcheries thonières tropicales : captures mondiales et environnement. ORSTOM Editions, Paris, 192 p.
- FONTENEAU, A., 1998. Introduction aux problèmes des relations thons-environnement dans l'Atlantique. *In* : Beckett, J. (ed.) - *Proceeding of the ICCAT Tuna Symposium, Part I*, Punta Delgada, p. 275-317.
- GAIKOV, V.Z. et P. Fedoseev, 1986. The influence of temperature and biotic factors on vertical distribution of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the Atlantic Ocean. *ICCAT Collec. Vol. Sci. Pap.*, 25 : 113-118.
- GRUDININ, V.B., 1989. On the ecology of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and bigeye tuna (*Thunnus obesus*). *Journal of Ichthyology*, 29(6) : 22-29.
- HAMPTON, J., K. Bigelow, M. Labelle, 1998. Effect of longline fishing depth, water temperature and dissolved oxygen on bigeye tuna (*Thunnus obesus*) abundance indices. *In* Standing Committee on Tuna and Bolfish (11<sup>th</sup>), Hawaii, June, 18 p.

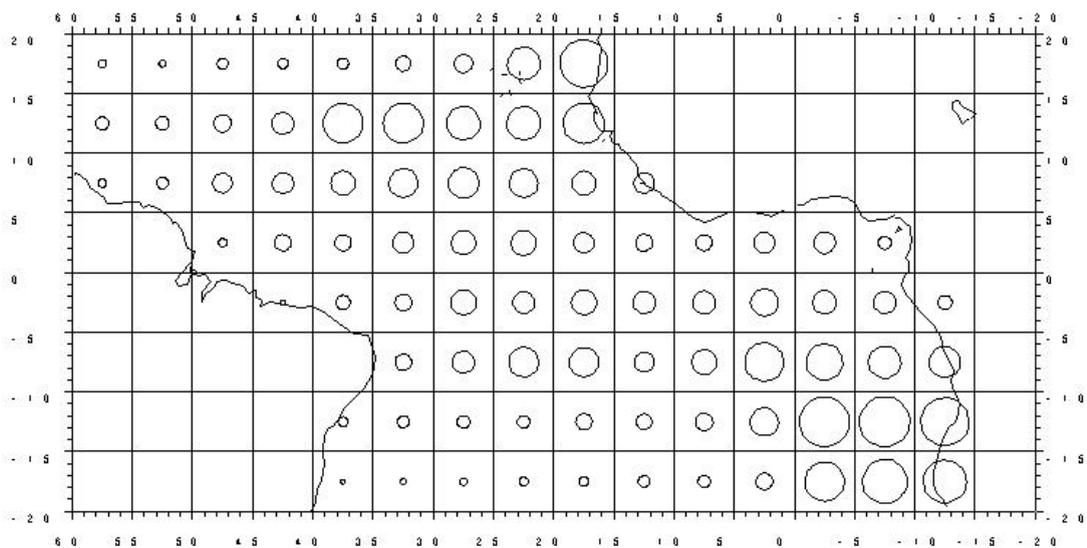
- HANAMOTO, E., 1975. Fishery oceanography of bigeye tuna. Thermocline and dissolved oxygen content in relation to tuna longline fishing grounds in the eastern tropical Pacific. *La Mer (Bull. Soc. Franco Jap. Océanogr.)*, 13(2) : 58-71.
- HANAMOTO, E., 1987. Effect of oceanographic environment on bigeye tuna distribution. *Bull. Japan. Soc. Fish. Oceanogr.*, 51(3) : 203-216.
- HUGHES, G.M., 1984. General anatomy of gills. In Hoar, W.S. et D.J. Randall (eds.), *Fish Physiology*, 10, Part A, Academic Press, Orlando, pp. 1-63.
- ICCAT, 1998. Thon obèse : rapport détaillé. *ICCAT Col. Vol. Sci. Pap.*, 48(2) : 121-135.
- JOSSE, E., R. Abbes, A. Asine, P. Bach, A. Lebourges, B. Wendling, 1995. Campagne ECOTAPP. Etude du comportement des thonidés par l'acoustique et la pêche à la palangre en Polynésie Française. Rapport définitif (N/O Alis, 22 juin - 18 août/1993).157 p.
- JOSSE, E., P. Bach, L. Dagorn, 1998. Simultaneous observations of tuna movements and their prey by tracking and acoustic surveys. *Hydrobiologia*, 371/372 : 61-69.
- LEVITUS, S., T. Boyer, R. Burgett, M. Conkright, 1994. The World Ocean Atlas 1994. National Oceanographic Data Center (NODC), US Department of Commerce, National Oceanic Atmospheric Administration. (NOAA). In [http://www.ferret.noaa.gov/fbin/climate\\_server](http://www.ferret.noaa.gov/fbin/climate_server).
- MAGNUSUN, J.J., et D. Weininger, 1978. Estimation of minimum sustained speed and associated body drag of scombrids. In Sharp G.D. et A.E. Dizon (eds.), *The physiological ecology of tunas*, Chapter 5, Part II, Academic Press, New York, pp. 293-311.
- MARSAC, F., 1999. Changements hydroclimatiques observés dans l'Atlantique depuis les années 50 et impacts sur quelques stocks de thons et leur exploitation. *ICCAT, Rec. Doc. Scient.* 49(4) : (SCRS/98/113), 25 p.
- MAURY, O., 1998. Modélisation spatiale en halieutique : approche par simulateur sous SIG. Application à la modélisation hiérarchique de la population des thons albacore (*Thunnus albacares*) de l'Atlantique tropical. Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, Rennes, 350 p.
- MENDELSSOHN, R. et P. Cury, 1987. Fluctuations of a fortnightly abundance index of Ivoirina coastal pelagic species and associated environmental conditions. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 44 : 408-421.
- MENDELSSOHN, R. et J. Mendo, 1987. Exploratory analyses of anchoveta recruitment off Peru and related environmental series, p. 294-360. In : Pauly, D. et I. Tsukayama (eds.), *The Peruvian anchoveta and its upwelling ecosystem : three decades of change*. ICLARM Studies and Reviews 15 : 351 p.
- PALLARES P. et A. Fonteneau, 1997. Patudo atlántico : consideraciones sobre la evaluación analítica del stock. *ICCAT Col. Doc. Cient.*, 46(4) : 175-188.
- PEREIRA, J.A.G., 1995. A pesca do atum nos Açores e o atum patudo (*Thunnus obesus*, Lowe 1839) do Atlântico. Thèse de Doctorat, Uni. Des Açores, Horta, 330 p.
- PICAUT J., J. Servain, P. Lecomte, M. Séva, S. Lukas, G. Rougier, 1985. Climatc atlas of the Tropical Atlantic wind stress and temperature 1964-1979. Univ. Bret. Occident., Brest, 467 p.

- RICHARDSON, P.L. et D. Walsh, 1986. Mapping climatological seasonal variations of surface currents in the tropical Atlantic using ship drifts. *Journal of Geophysical Research*, 91(C9) : 10537-10550.
- SAITO, S., 1975. On the depth of capture of bigeye tuna by further improved vertical long-line in the Tropical Pacific. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 41(8) : 831-841.
- SAKAGAWA, G.T., A.L. Coan, N.W. Bartoo, 1987. Patterns in longline fishery data and catches of bigeye tuna, *Thunnus obesus*. *Marine Fisheries Review*, 49(4) : 57-66.
- SERVAIN, J., M. Séva, S. Lukas, G. Rougier, 1987. Climatic atlas of the Tropical Atlantic wind stress and sea surface temperature 1980-1984. *Ocean-Air Interactions*, 1 : 109-182.
- SERVAIN, J. et S. Lukas, 1990. Climatic atlas of the Tropical Atlantic wind stress and sea surface temperature 1985-1989. Océans Tropicaux Atmosphère Globale. IFREMER, ORSTOM, JIMAR, 133 p.
- SHARP, G.D., 1978. Behavioral and physiological properties of tunas and their effects on vulnerability to fishing gear. In : Sharp, G.D. et A.E. Dizon (eds.), *The physiological ecology of tunas*. Academic Press, New York, pp. 397-449.
- SUND, P.N., M. Blackburn, F. Williams, 1981. Tunas and their environment in the Pacific ocean : a review. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 19 : 443-512.
- SUZUKI, Z., Y. Warashina, M. Kishida, 1977. The comparison of catches by regular and deep tuna longline gears in the western and central Equatorial Pacific. *Bull. Far Seas Fish. Res. Lab.*, 15 : 51-73.
- SUZUKI, Z. et S. Kume, 1982. Fishing efficiency of deep longline for bigeye tuna in the Atlantic as inferred from de operation in the Pacific and Indian Oceans. *ICCAT Rec. Doc. Sci*, 17(2) : 471-486.
- TORIN, Y.A., 1969. Vertical distribution of Bigeye tuna, *Thunnus obesus* (Lowe), and thermal condition in their habitat in Southeast Atlantic. *Trudy AtlantNiro*, 25 : 115-119.
- UOZUMI, Y., 1996. A historical review of japanese lonline fishery and albacore catch in the Atlantic Ocean., *ICCAT Col. Vol. Sci. Papers*, Report of the Final Meeting of the ICCAT Albacore Research Program, 43 : 163-170.
- VOITURIEZ, B., 1983a. Les variations saisonnières des courants équatoriaux à 4°W et upwelling équatorial du Golfe de Guinée : I - le Sous-Courant Equatorial. *Océanographie Tropicale*, 18(2) : 163-184.
- WORLD OCEAN ATLAS, 1994. Annual, seasonal and monthly climatologies. In Live Access to Climate Data, National Oceanographic Data Center (NODC), [http://www.ferret.noaa.gov/fbin/climate\\_server](http://www.ferret.noaa.gov/fbin/climate_server).

**Tableau 1** - Participation relative des principales espèces capturées à la palangre pendant le premier trimestre dans différents secteurs de l'Atlantique tropical.

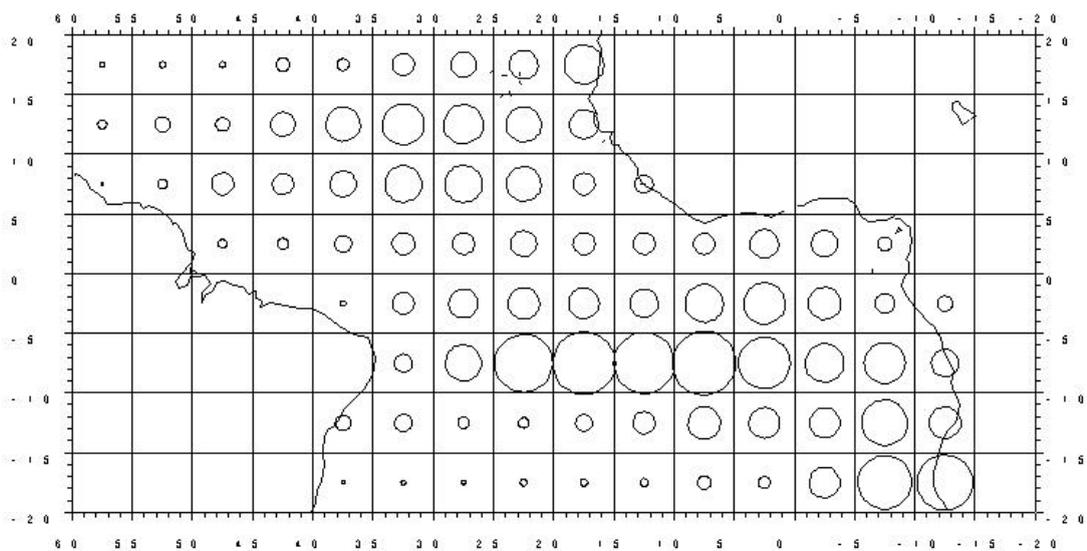
Secteurs	BET	YFT	ALB	SWO	OTH	TOTAL
30°W-0°/0°-5°N	59,1	28,2	0,8	8,6	3,3	100,0
30°W-0°/0°-5°S	68,1	14,6	0,4	13,5	3,4	100,0
30°W-0°/5°S-10°S	80,2	6,0	0,9	9,9	3,0	100,0

BET = thon obèse ; YFT = albacore ; ALB = germon ; SWO = espadon ; OTH = autres espèces (listao, thon rouge et diverses espèces de marlins).



A

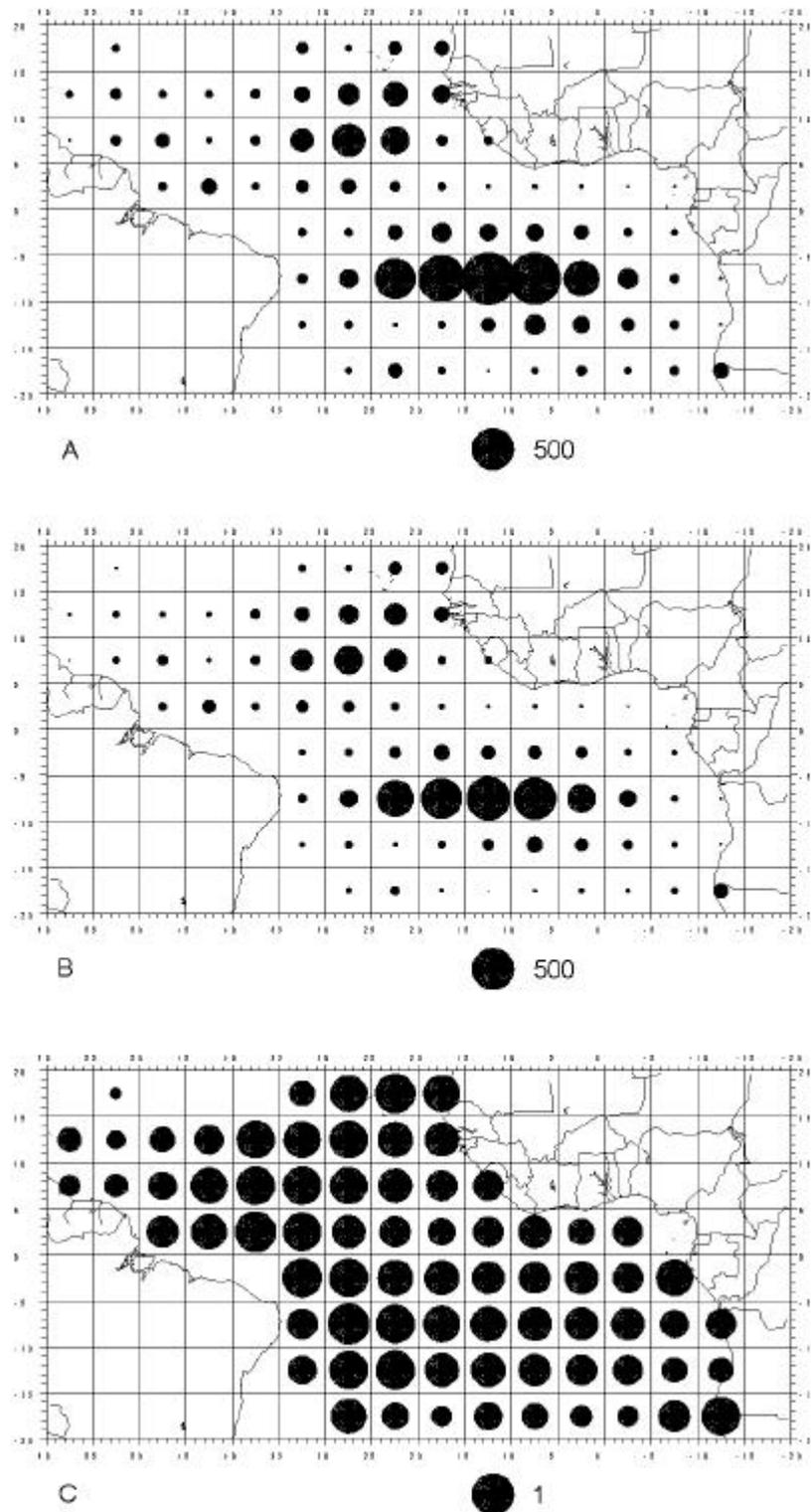
100 TM 



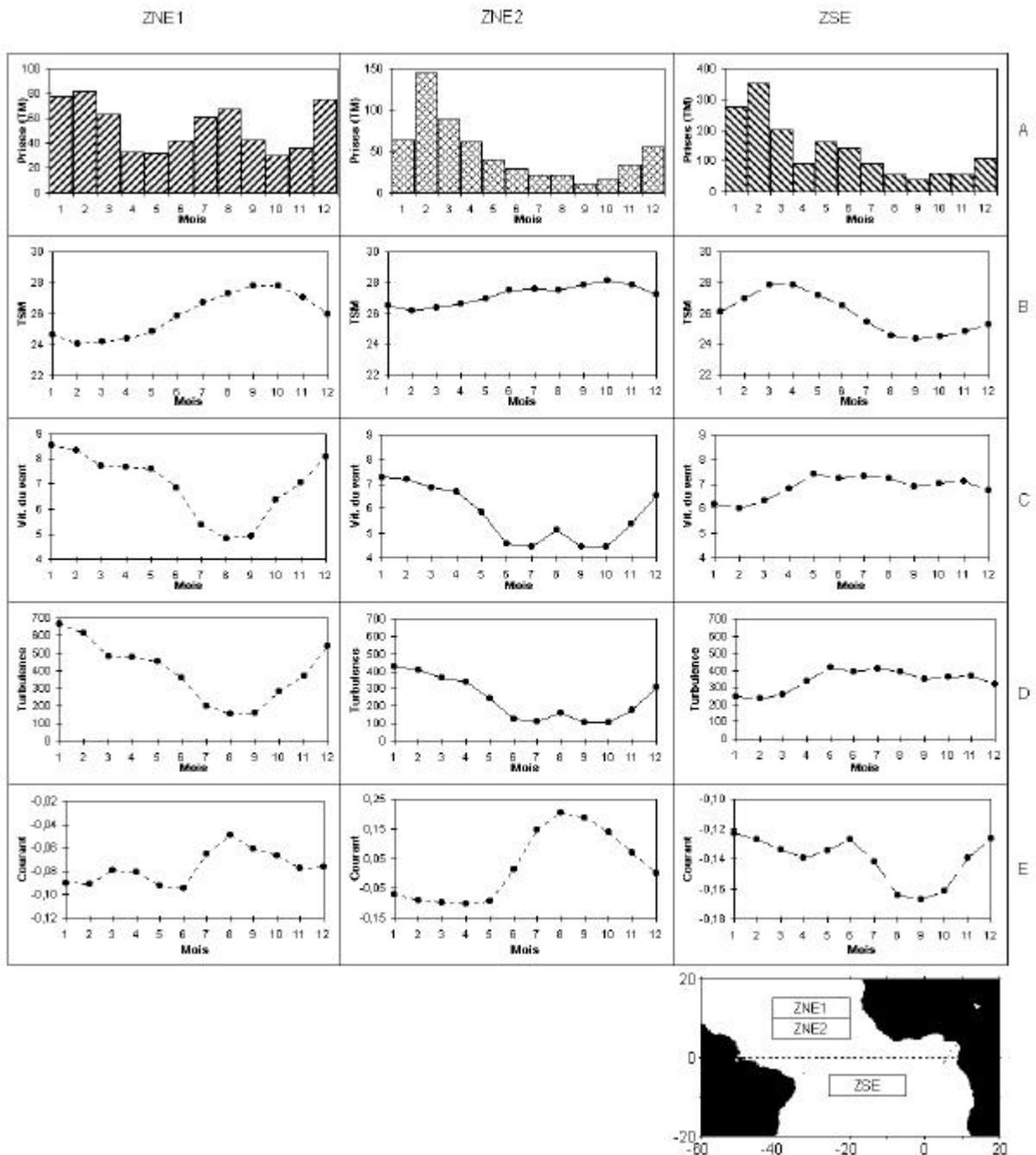
B

100 TM 

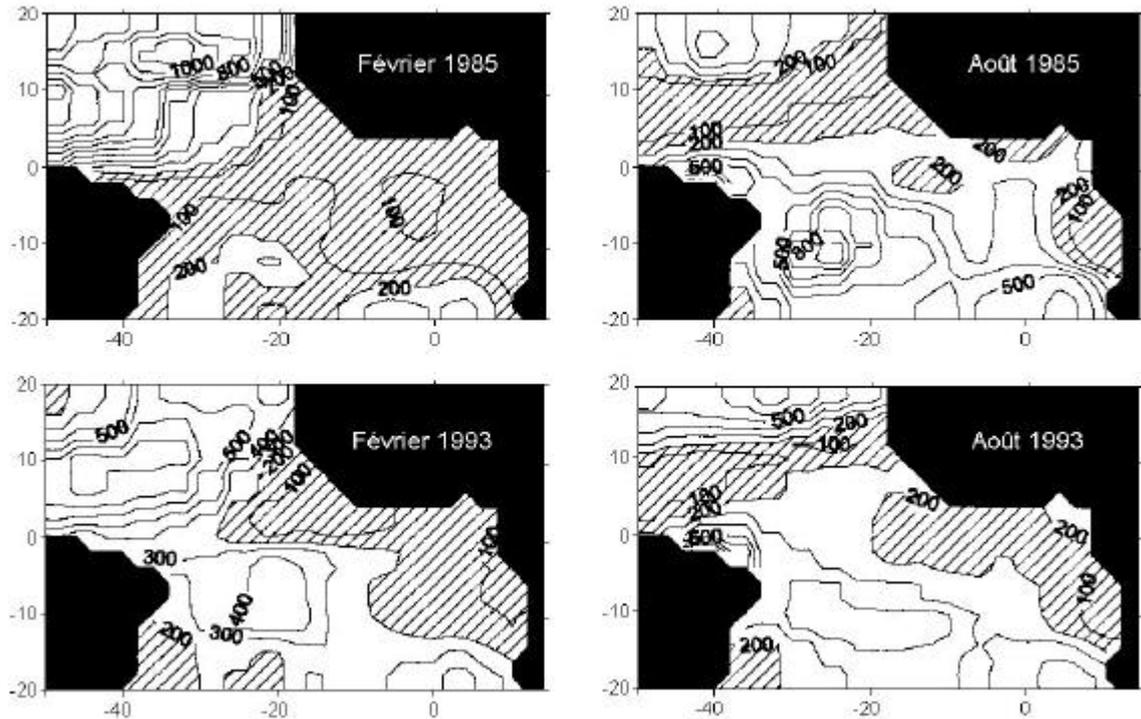
**Fig. 1.** Prises moyennes de thon obèse (tonne métrique) des pêcheries à la palangre dans l'Atlantique intertropicale de 1956 à 1979 (palangre traditionnelle) et de 1980 à 1997 (palangre profonde).



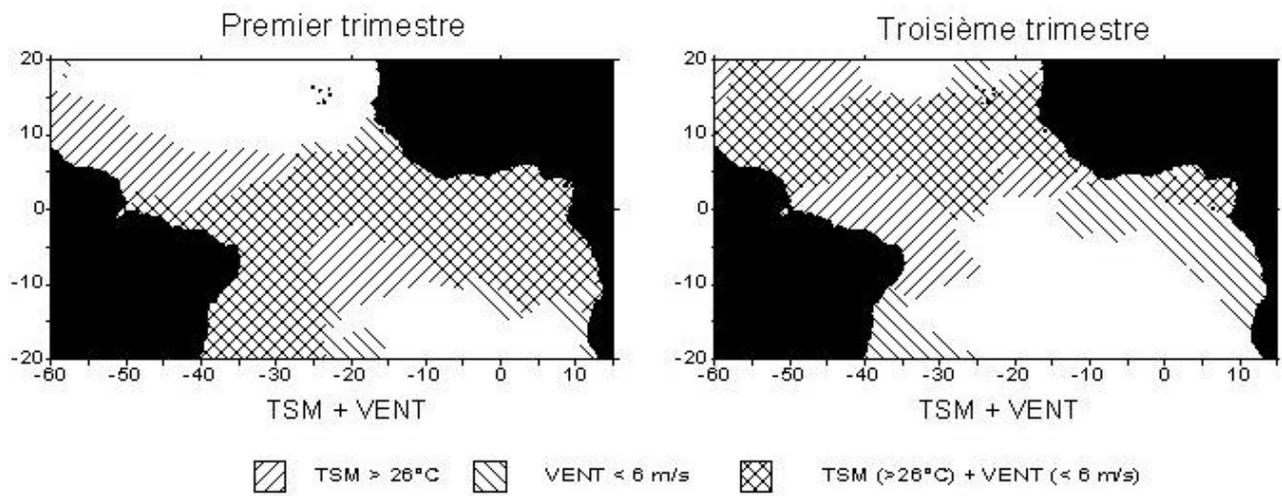
**Fig. 2.** Distribution géographique de l'effort de pêche (x 1 000 ; A), des prises (tonne métrique ; B) et de la capture par unité d'effort (CPUE en TM/1 000 hameçons ; C) du thon obèse au premier trimestre de l'année (moyennes 1980-1995 - Flottille palangrière japonaise).



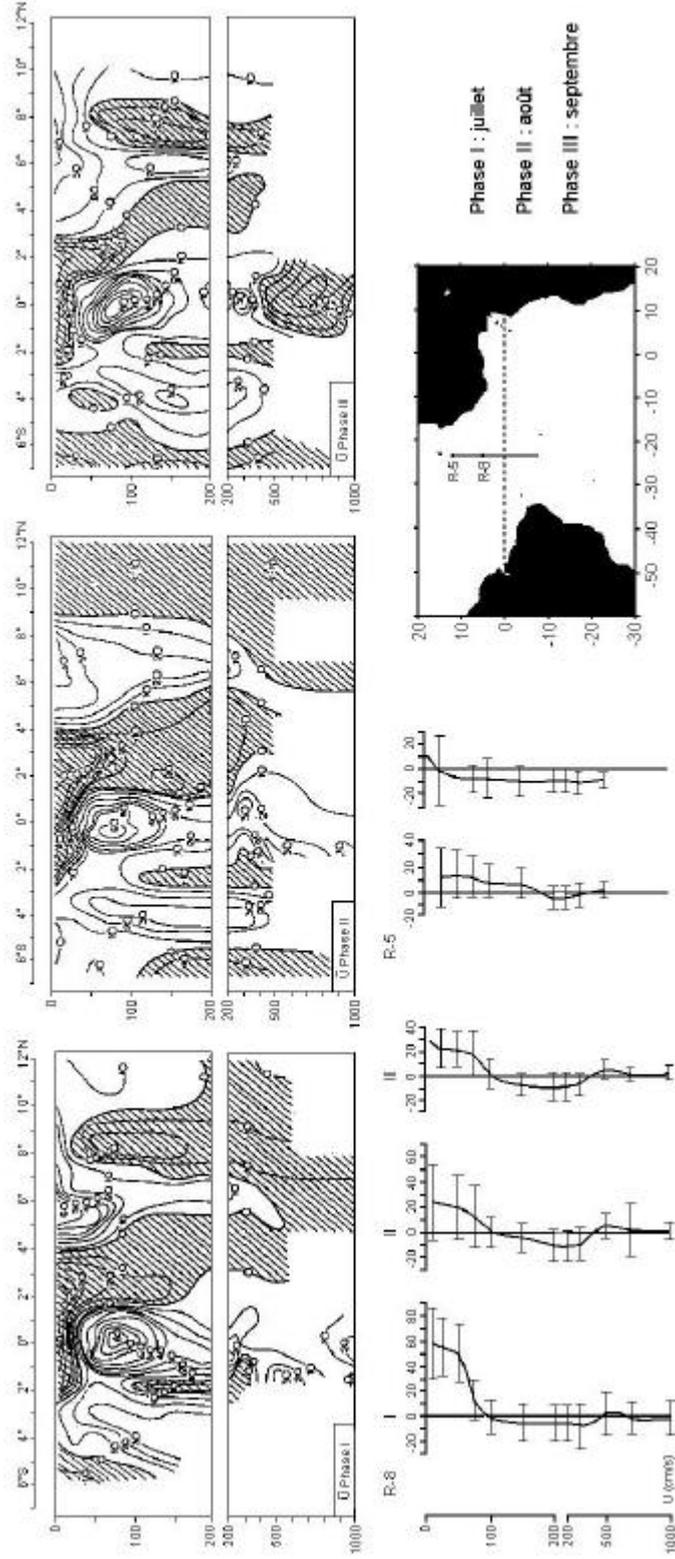
**Fig. 3.** Variabilités saisonnières des prises de thon obèse (tonne métrique) des pêcheries palangrières (A ; Japon, Corée et Taiwan), de la température de surface de la mer (B ; °C), de la vitesse du vent (C ; m.s-1), de la turbulence (D ; m3.s-3) et de la composante zonale du courant (E ; cm.s-1) entre 1980 et 1995 dans les zones de ponte au nord et au sud de l'équateur (ZNE1 : zone de ponte nord-équatoriale secteur 10°N-15°N ; ZNE2 : zone de ponte nord-équatoriale secteur 5°N-10°N ; ZSE : zone de ponte sud-équatoriale (valeurs moyennes)).



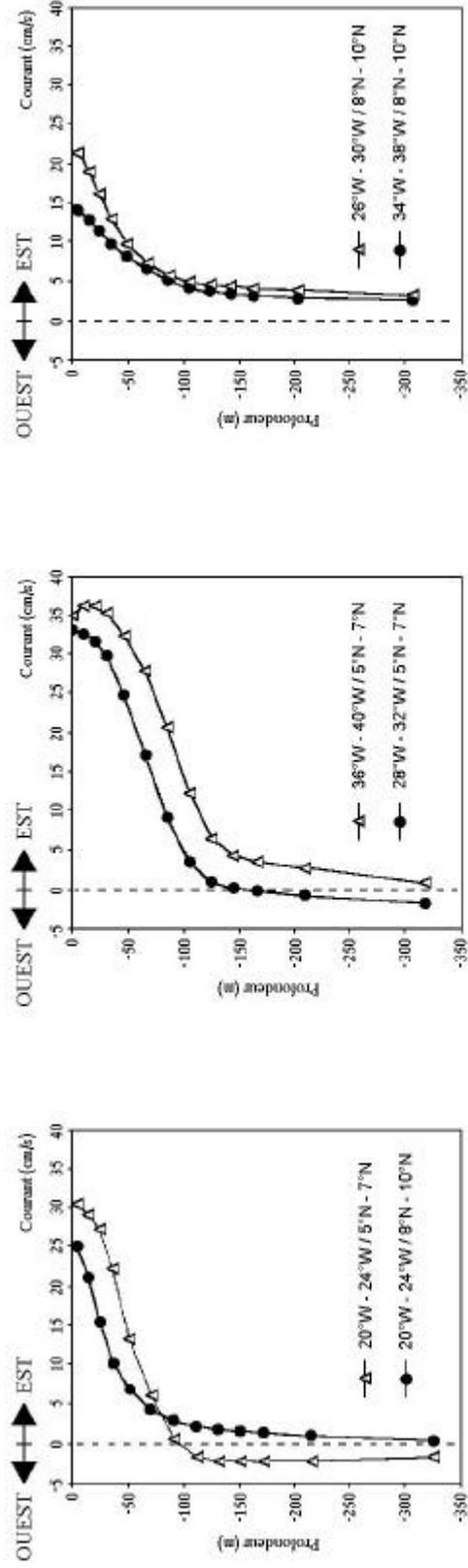
**Fig. 4.** Répartition spatiale de la turbulence ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-3}$ ) en février et en août dans l'Atlantique intertropical en 1985 et 1993. Les zones hachurées correspondent aux valeurs inférieures à  $200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-3}$  (vitesse du vent autour de  $6,0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ).



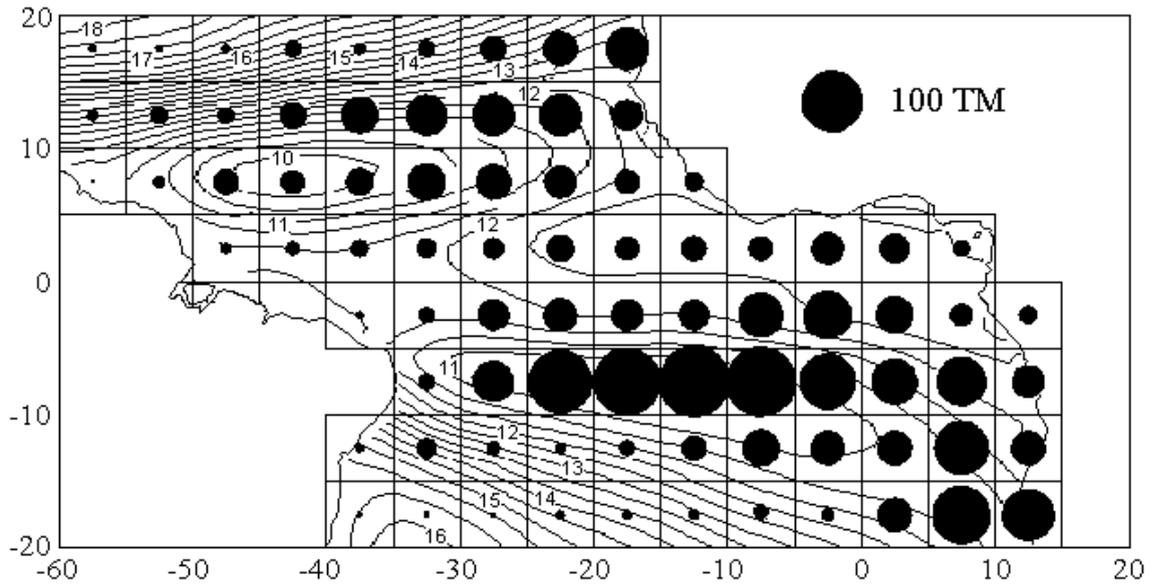
**Fig. 5.** Délimitation des zones potentiellement favorables à la ponte du thon obèse pendant le premier et le troisième trimestre de l'année selon la température de surface et la vitesse du vent.



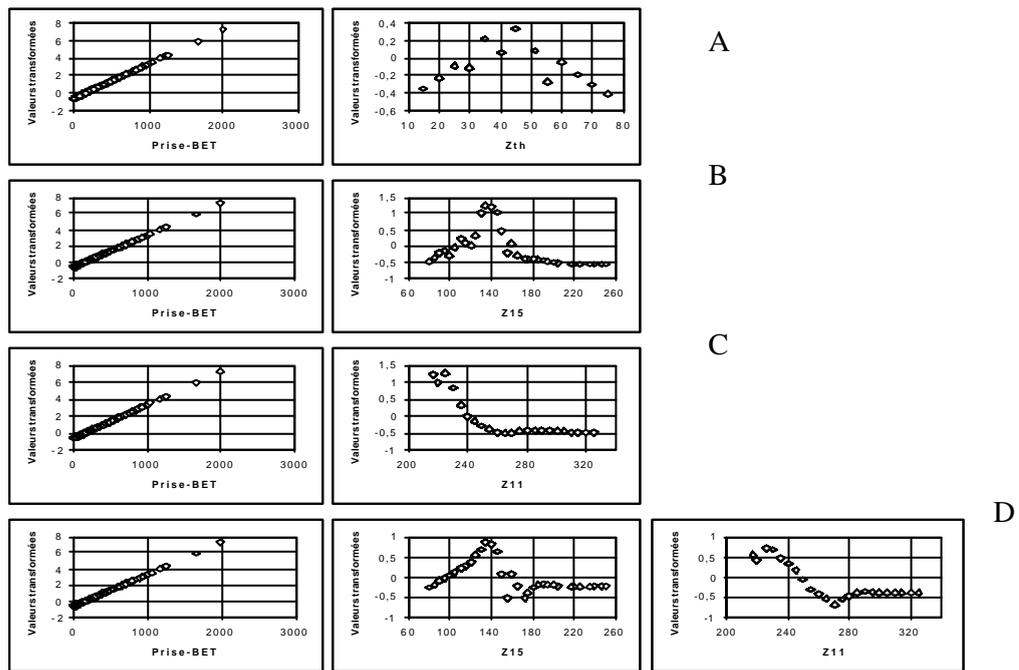
**Fig. 6.** Composante zonale (coupe verticale à 23°30'W et entre 8°S et 12°N ; en haut) et profils verticaux de la vitesse du courant (cm.s<sup>-1</sup>) à 5°N/23°30'W (R-8) et à 12°N/23°30'W (R-5) (en bas). Les zones hachurées et les valeurs négatives représentent le flux vers l'ouest (d'après Düing *et al.*, 1980).



**Fig. 7.** Profils verticaux moyens de la composante zonale du courant au mois d'août pendant la période 1980-1997 dans le secteur situé entre 5°N-10°N / 20°W-40°W (source: données OPA).

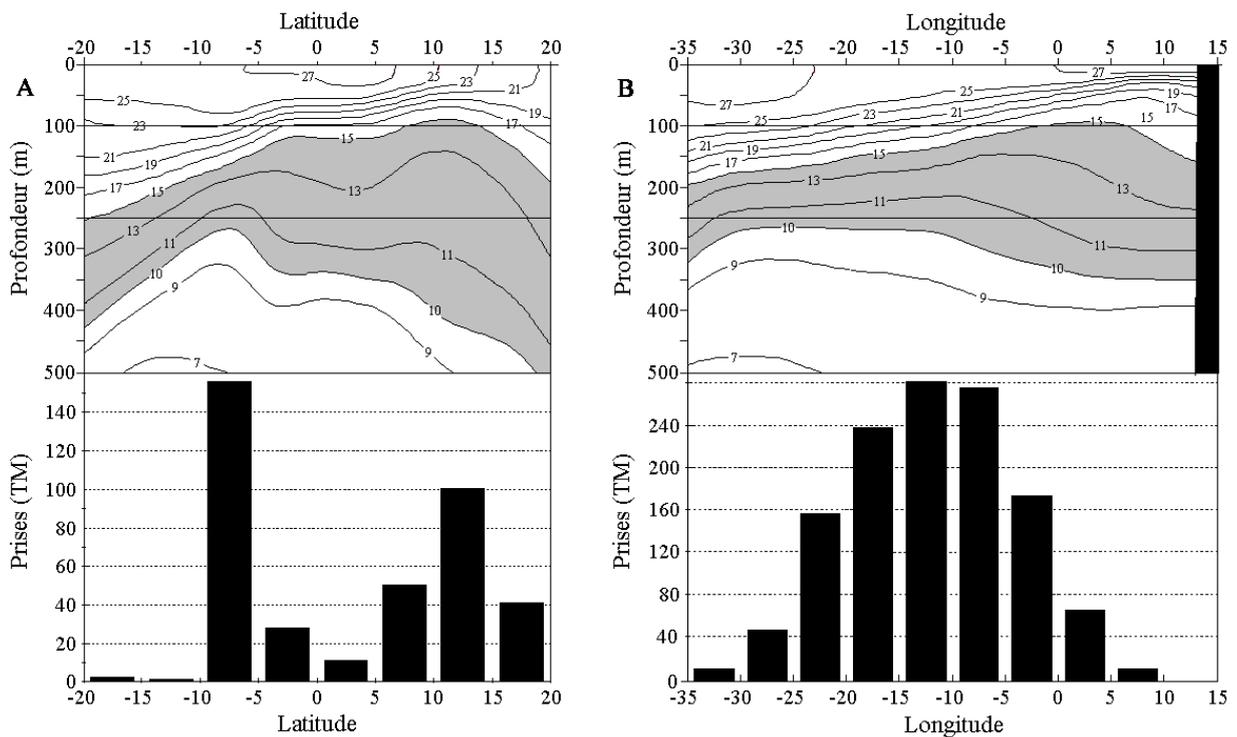


**Fig. 8.** Distribution spatiale des prises de thon obèse (moyennes annuelles en tonne métrique de la pêche palangrière pendant la période 1980-1995) et de la température à 250 m de profondeur (moyennes annuelles ; source : WOA).

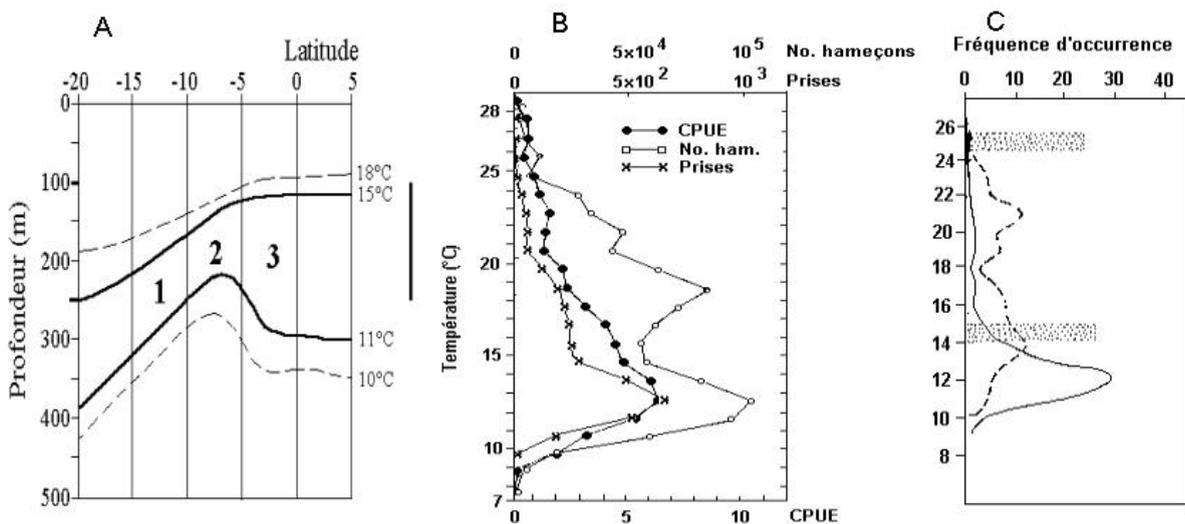


**Fig. 9.** Transformations empiriques optimales obtenues par l'algorithme ACE sur les prises de patudo et les facteurs environnementaux pendant le premier trimestre de la période 1985-1995.

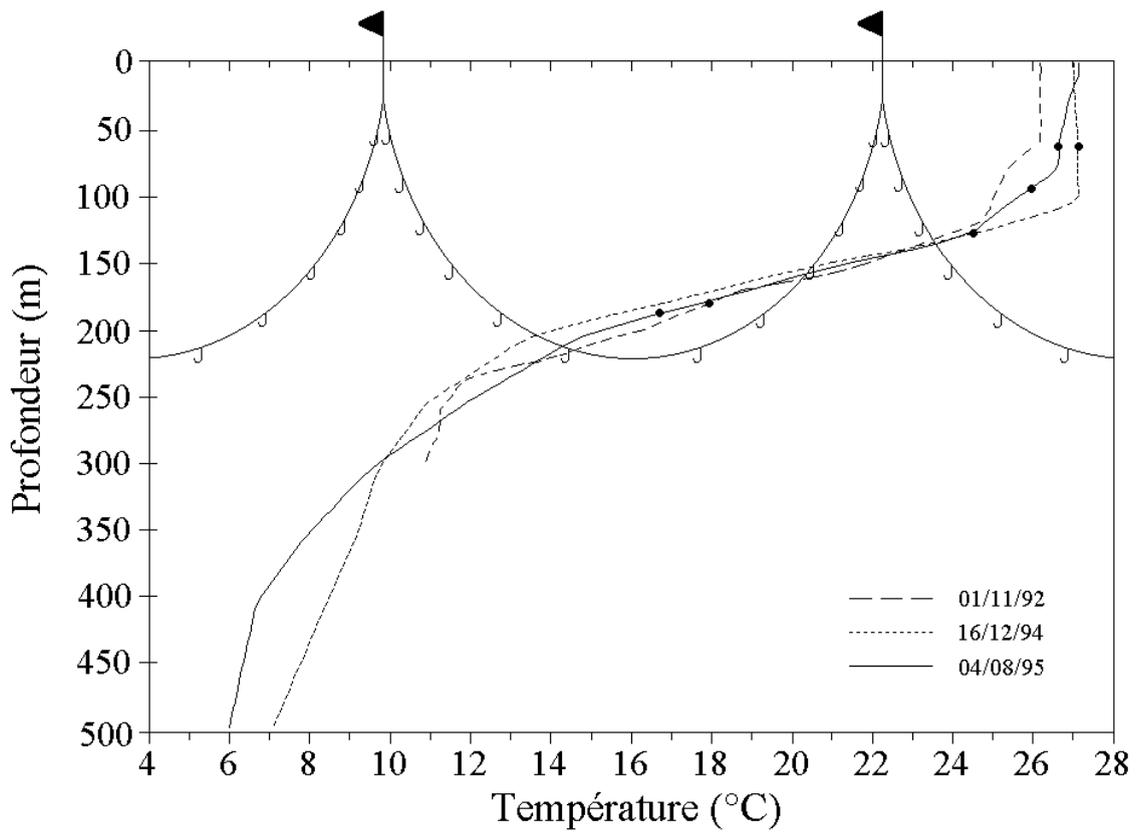
(A) variable expliquée : prise de patudo (BET) ; variable explicative : profondeur de la thermocline (Zth) ;  $R^2=0,03$ . (B) variable expliquée : prise de patudo (BET) ; variable explicative : profondeur de l'isotherme de 15°C (Z15) ;  $R^2=0,26$ . (C) variable expliquée : prise de patudo (BET) ; variable explicative : profondeur de l'isotherme de 11°C (Z11) ;  $R^2=0,41$ . (D) variable expliquée : prise de patudo (BET) ; variables explicatives : profondeurs des isothermes de 15°C (Z15) et 11°C (Z11) ;  $R^2=0,47$ .



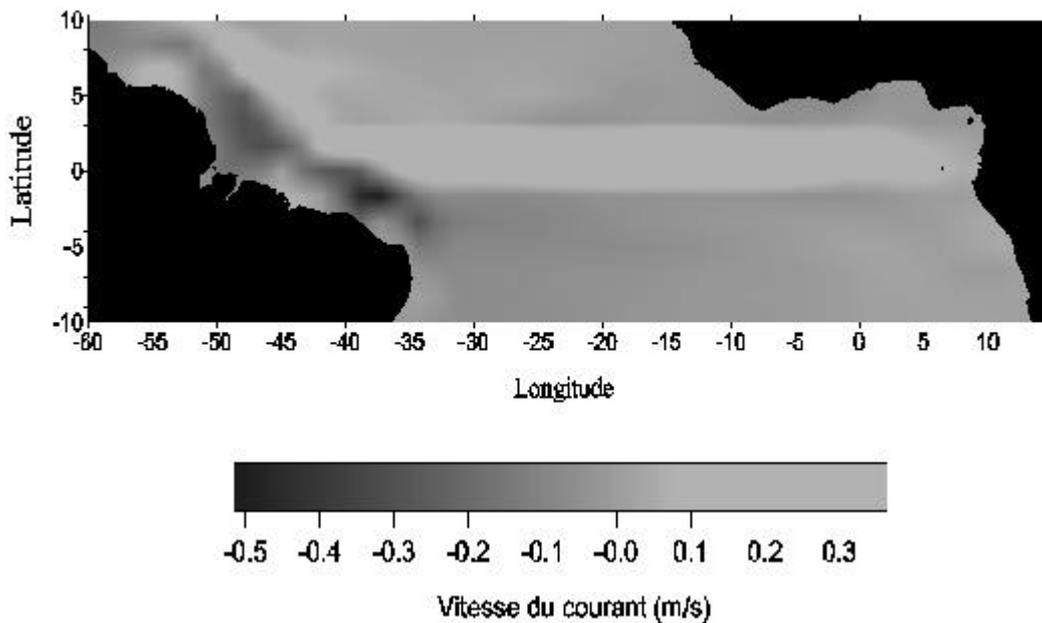
**Fig. 10.** Coupes thermiques de 0 à 500 m et prises de thon obèse (tonne métrique) entre 20°N et 20°S à 22,5°W (A) et entre les côtes africaine et brésilienne à 7,5°S (B). Les traits en noire délimitent les profondeurs de pêche de la palangre profonde (valeurs moyennes de température (WOA) et de prises (flottilles japonaise et taiwanaise, 1985-1995) au premier trimestre).



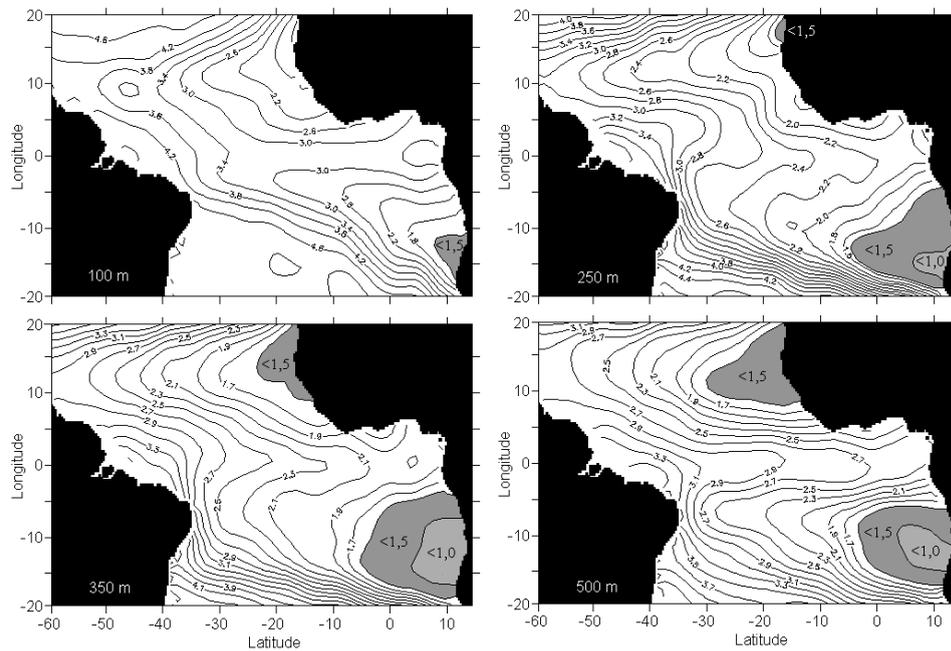
**Fig. 11.** Schéma représentatif des trois situations type concernant la couche de températures optimales pour le thon obèse (A ; la barre verticale représente la couche où opère la palangre profonde) et distribution verticale de l'espèce selon la température de l'eau (B - dans l'océan Pacifique d'après Hanamoto (1987) ; et C - dans l'Atlantique d'après Grudinin (1989) ; les barres horizontales représentent le sommet et la base de thermocline).



**Fig. 12.** Représentation schématique de la palangre profonde indiquant les profondeurs de capture de six thons obèses par rapport à la thermo cline.



**Fig. 13.** Composante zonale du courant (cm.s-1) à 70 m de profondeur. La bande bleue claire au niveau de l'équateur représente le flux vers l'est du sous-courant Equatorial.



**Fig. 14.** Distribution spatiale des concentrations en oxygène dissous (ml.l<sup>-1</sup>) à 100, 250, 350 et 500 m de profondeur avec l'indication des zones de valeurs minimales (1,5 ml.l<sup>-1</sup> et 1,0 ml.l<sup>-1</sup>) (moyennes annuelles ; source WOA).