

# Caractérisation hydrologique et acoustique de l'habitat pélagique en Polynésie française

Conséquences sur les distributions  
horizontale et verticale des thonidés

**Arnaud Bertrand**

Biologiste des pêches

**Christophe Misselis**

Biologiste des pêches

**Erwan Josse**

Biologiste des pêches

**Pascal Bach**

Biologiste des pêches

## Introduction

Les distributions verticale et horizontale des thonidés dépendent de leur environnement tant d'un point de vue physico-chimique que trophique. L'influence des facteurs hydrologiques sur la distribution des thons a fait l'objet de nombreuses études (Sharp, 1978; Sund *et al.*, 1981, Laurs, 1984; Hanamoto, 1987; Marsac, 1992; Brill, 1994; Dagorn, 1994; Bard *et al.*, 1998). La distribution de ces poissons à forte demande métabolique (Kitchell *et al.*, 1978; Olson et Boggs, 1986) est également liée à la disponibilité en nourriture (Sund *et al.*, 1981; Dagorn, 1994; Roger, 1994). Le micronecton constitue la principale proie des thons (Grandperrin, 1975; Sund *et al.*, 1981,

p. 490), pourtant sa distribution a été très peu étudiée, notamment dans le Pacifique Central. Les méthodes acoustiques qui permettent une approche bidimensionnelle et continue de l'habitat pélagique sont un bon outil pour étudier la distribution du micronecton (Marchal *et al.*, 1993; Roger et Marchal, 1994; Marchal et Lebourges, 1996; Fielder *et al.*, 1998).

La présente étude se propose de montrer comment une caractérisation biotique et abiotique de l'écosystème pélagique de la Zone économique exclusive (ZEE) de Polynésie française permet de mieux comprendre la distribution des trois espèces de thons cibles des pêcheries palangrières en Polynésie : le germon (*Thunnus alalunga*), le thon à nageoires jaunes (*T. albacares*) et le thon obèse (*T. obesus*).

La prise par unité d'effort (PUE) des pêcheries palangrières n'est pas nécessairement un bon indice d'abondance des thons. En effet, la capturabilité est étroitement dépendante de la correspondance entre la distribution verticale des hameçons et le préférendum hydrologique des thonidés (Hanamoto, 1987; Hampton *et al.*, 1998). Il est donc nécessaire de considérer la distribution des thons soit à partir de données de captures pour lesquelles les distributions verticales des hameçons sont disponibles, soit à partir d'une estimation directe de l'abondance indépendante des activités de pêche.

Dans ce but, des expérimentations ont été menées en Polynésie française dans le cadre du programme Ecotap (Étude du comportement des thonidés par l'acoustique et la pêche) regroupant l'IRD (l'Institut de recherche pour le développement, ex-Orstom), l'Ifremer (Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer) et un organisme territorial, le SRM (Service des ressources marines, ex-EVAAM). Au cours de ce programme, des pêches expérimentales à la palangre instrumentée ont été couplées à des mesures physico-chimiques et des prospections acoustiques. Dans un premier temps, une typologie de l'habitat pélagique est réalisée à l'aide de variables physico-chimiques et biologiques. Les répartitions horizontale et verticale des thons sont ensuite étudiées en fonction de ces variables afin de déterminer celles qui influencent le plus la distribution des thons.

# Matériel et méthodes

Le programme Ecotap a totalisé 300 jours de mer pour ses expérimentations réalisées à bord du N/O « Alis » de l'IRD entre octobre 1995 et août 1997 dans la partie nord-est de la ZEE de Polynésie française (fig. 1).

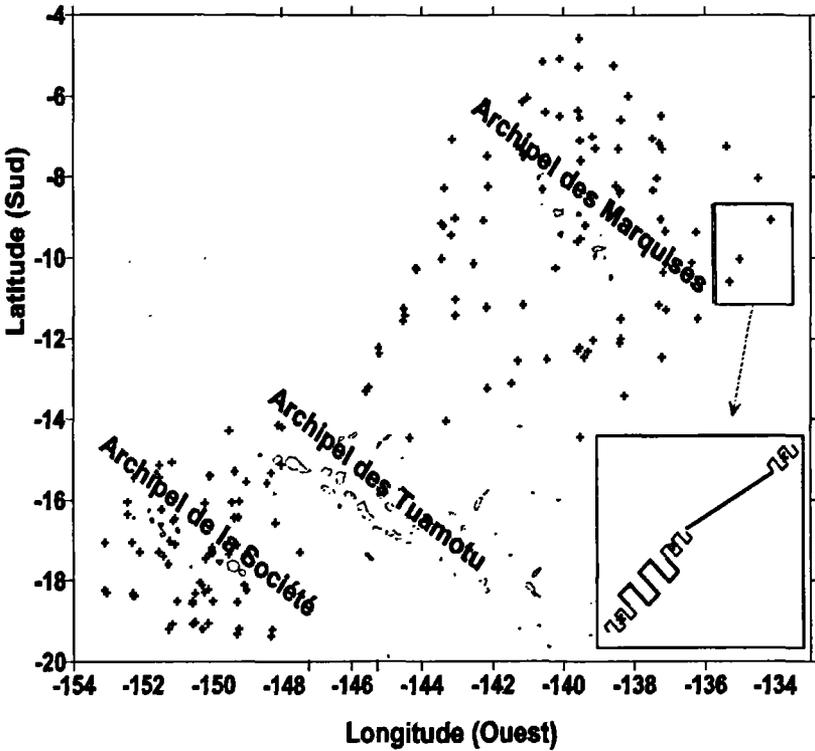


Figure 1  
Positions des stations palangre et hydrologique (croix) réalisées au cours des campagnes Ecotap.  
En encadré : prospections acoustiques diurnes en créneaux réalisées sur la zone de pêche de la palangre (traits fins) et prospections nocturnes inter-station en ligne droite ou en créneaux (traits gras).

## *Acquisition des données acoustiques*

Les données acoustiques ont été acquises à l'aide d'un écho-sondeur Simrad EK500 connecté à un transducteur 38 kHz à faisceau scindé. La durée d'impulsion est de 1 ms et l'angle du faisceau de 6,9°. La colonne d'eau est échantillonnée de la surface à 500 m. Le système est étalonné à l'aide d'une boule standard en cuivre de 60 mm de diamètre selon la méthode préconisée par le constructeur (Simrad, 1993). Un seuil à -70 dB est appliqué *a posteriori* sur les données acoustiques utilisées sous la forme de réponse acoustique par unité de surface ( $s_a$ ).

## *Acquisition des données hydrologiques*

Les données hydrologiques ont été acquises à l'aide d'une sonde Seacat SBE 19 (Seabird Electronics, Inc.) entre la surface et plus de 500 m de profondeur à une cadence d'acquisition d'une donnée toutes les 0,5 secondes. Trois variables hydrologiques sont utilisées dans la présente étude : la température, la salinité et l'oxygène dissous.

## *Pêches à la palangre instrumentée*

Au total, plus de 80 000 hameçons ont été mouillés au cours des 163 opérations de pêche réalisées à l'aide d'une palangre instrumentée. L'instrumentation de cette palangre comprend des horloges montées sur les avançons qui se déclenchent lors de la capture et des capteurs de pression qui permettent de déterminer la profondeur correspondant à l'heure de la capture (Boggs, 1992).

## *Détection acoustique de thons*

Déterminer une abondance en thons indépendamment des activités de pêche permet de s'affranchir des biais liés à la capturabilité de la ressource. Les méthodes acoustiques sont utilisées en routine dans l'estimation de nombreux stocks de poissons pélagiques mais n'ont jamais été appliquées aux thons. Une des raisons était l'absence de

références sur la réponse individuelle (TS : target strength) des thons, préalable indispensable à toute reconnaissance d'échos individuels. Les travaux de Bertrand *et al.* (1999 a, b) et de Josse et Bertrand (sous presse) permettent de disposer d'une première gamme de TS pour des thons à nageoires jaunes et des thons obèses. Ces résultats ont été pris en référence par Bertrand et Josse (sous presse) afin de sélectionner des échos individuels pouvant être assimilés à des thonidés au cours de prospections acoustiques diurnes.

### *Protocole d'échantillonnage*

Le plan d'échantillonnage est imposé par les contraintes spatio-temporelles de la zone d'étude. La vitesse du navire lors de l'acquisition des données acoustiques est fixée à 7 nœuds afin de limiter l'influence du bruit du navire sur la qualité des données acoustiques tout en permettant une couverture spatiale suffisante. Compte tenu de l'étendue de la zone étudiée, des distances pouvant être parcourues quotidiennement par le N/O « Alis » et de la nécessité de réaliser des escales techniques, les stations sont réparties en continu le long de routes tracées afin de couvrir la plus grande surface possible (fig. 1). À chaque station, une palangre expérimentale est posée et des mesures à la sonde hydrologique réalisées. Les prospections acoustiques diurnes sont systématiquement réalisées en créneaux sur la palangre. De nuit, les trajets des prospections acoustiques entre deux palangres sont soit en ligne droite soit en créneaux afin de prospecter une plus grande surface possible tout en permettant de mesurer le niveau d'anisotropie du milieu (fig. 1).

### *Traitement des données hydrologiques*

Une analyse en composante principale (ACP) suivie d'une classification hiérarchique directe (CHD) sont réalisées sur les profils hydrologiques des variables température, salinité et oxygène dissous afin de caractériser la zone d'étude d'un point de vue hydrologique. À chaque station hydrologique, une valeur tous les 10 m, de la surface à 500 m de profondeur est prise en compte pour chaque variable. Les analyses sont réalisées à l'aide du logiciel SPAD 3.5.

## *Définition d'une variable indicatrice « du volume d'habitat » au regard de l'hydrologie*

Une variable représentative du volume d'habitat a été définie en fonction de valeurs seuils pour la température et l'oxygène dissous qui sont les paramètres physico-chimiques qui influencent le plus la distribution des thons (Hanamoto, 1987; Cayré et Marsac, 1993; Brill, 1994). Pour chaque variable, la valeur seuil retenue est celle au-delà de laquelle moins de 2,5 % des captures à la palangre instrumentée ont eu lieu. Il faut noter que les poissons capturés au cours du virage de la palangre sont retirés de cette analyse en raison de biais possible quant à l'estimation de la profondeur de capture. Pour chaque station et chaque espèce, une « profondeur limite d'habitat » correspondant à la profondeur la moins élevée associée soit au seuil d'oxygène soit au seuil de température est donc définie. Ainsi que l'ont montré les marquages ultrasoniques (Bach *et al.*, 1998; Josse *et al.*, 1998; Dagorn *et al.*, sous presse), le thon obèse et le thon à nageoires jaunes peuvent fréquenter les eaux superficielles chaudes. Ainsi, pour ces espèces, la hauteur d'habitat est équivalente à la « profondeur limite d'habitat ». Le germon adulte est lui très rarement capturé dans la couche homogène, et sa distribution semble être limitée par des températures élevées (Grandperrin, 1975). Une valeur seuil supérieure est donc également calculée. Pour cette espèce, la « hauteur d'habitat » est égale à la différence entre les profondeurs associées aux deux seuils.

## *Traitement des données acoustiques*

Compte tenu des réglages utilisés au cours des campagnes Ecotap et des performances du sondeur, la réponse acoustique par unité de surface ( $s_a$ ) est représentative de la biomasse en poissons micronectoniques supposée proportionnelle à la biomasse totale en micronecton (Bertrand *et al.*, 1999 c). Une typologie de la distribution du micronecton a été réalisée à l'aide d'analyses multivariées en utilisant les variables suivantes :

- variables spatio-temporelles : numéro de la campagne, saison, latitude et longitude ;
- profils acoustiques i.e. réponse acoustique par unité de surface ( $s_a$ ) calculée par tranche de 10 m entre 10 et 490 m ;

- variabilité verticale et horizontale de la distribution du micronecton calculée à l'aide de méthodes géostatistiques ;
- structure morphologique des échogrammes par un codage des structures insonifiées basé sur la méthode proposée par Petitgas et Levenez (1996).

## Résultats

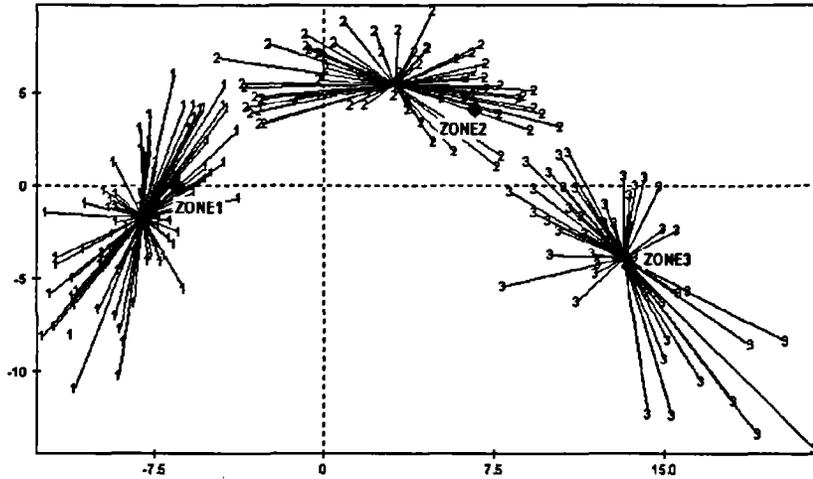
### *Typologie de l'habitat physico-chimique*

Les résultats de l'ACP et de la classification réalisée sur les variables hydrologiques (fig. 2) permettent d'identifier trois zones dans la partie nord-est de la ZEE polynésienne (fig. 3). La première, localisée au Sud de 14°S, présente une couche homogène d'une cinquantaine de mètres puis une diminution régulière de la température jusqu'à 500 m. La concentration en oxygène dissous reste élevée sur toute la tranche d'eau (fig. 3). La seconde zone, entre 9°S et 14°S, présente une couche homogène d'une soixantaine de mètres. Au-delà, on note la présence d'une thermocline peu marquée entre 170 et 320 m de profondeur avec un gradient de 6,5 °C par 100 m de profondeur. L'oxycline localisée entre 200 et 350 m se caractérise par une diminution du taux d'oxygène dissous de 3.3 ml.l<sup>-1</sup> à 1.5 ml.l<sup>-1</sup> (fig. 3). La troisième zone, entre 4°S et 9°S présente une thermocline assez marquée entre 100 et 250 m de profondeur ainsi qu'une oxycline avec des valeurs extrêmes moyennes en oxygène dissous de 3.7 ml.l<sup>-1</sup> et de 0.8 ml.l<sup>-1</sup> (des minima inférieurs à 0.1 ml.l<sup>-1</sup> sont rencontrés dans certaines stations) (fig. 3).

### *Typologie de l'habitat biologique*

L'étude de la distribution du micronecton observée par acoustique permet de définir trois zones (Bertrand *et al.*, 1999 c) (fig. 3). La première, localisée au sud de 13°S est caractérisée par une biomasse et un nombre d'agrégats de micronecton très faibles. La seconde zone, est globalement localisée entre 8 et 13°S. Cette zone, présente les

Facteur 2 - 16,97 %



Facteur 1 - 54,89 %

Figure 2

Projection sur les axes factoriels 1-2 des trois classes de la classification hiérarchique directe réalisée sur les variables hydrologiques. Les barycentres des trois classes correspondant aux trois zones déterminées lors de la caractérisation de la distribution du micronecton sont également représentés (zones 1 à 3).

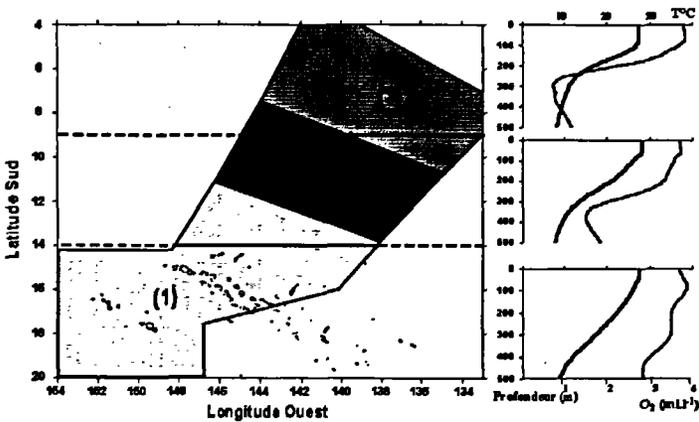


Figure 3

Zones définies lors du découpage de la région d'étude à l'aide des paramètres physico-chimiques (découpage suivant les parallèles) et à partir de la distribution du micronecton (découpage en surfaces). Les profils moyens de température (trait gras) et d'oxygène dissous (trait fin) correspondant à chaque zone hydrologique sont également représentés.

biomasses les plus élevées avec une forte occurrence d'agrégats de micronecton. La troisième zone, est située au nord de l'archipel des Marquises. Cette zone a de nombreux caractères communs avec la zone 1, alors qu'elles sont hydrologiquement très différentes. La biomasse micronectonique y est moyenne par rapport à l'ensemble de la région d'étude et les agrégats sont peu nombreux.

### *Extension verticale de l'habitat*

Les valeurs seuils de la température et de l'oxygène ont été calculées pour chaque espèce (les thons capturés à la palangre sont adultes pour la plupart) (tableau 1). La comparaison de ces résultats avec les valeurs proposées dans la littérature a été faite par Bertrand (1999). À partir de ces données, l'étendue verticale de l'habitat hydrologique est mesurée pour chaque station et représentée en fonction de la latitude entre 20 °S et 5 °S (fig. 4). L'évolution des profondeurs moyennes des captures suit bien la diminution du volume d'habitat du Sud vers le Nord de la zone d'étude (fig. 4).

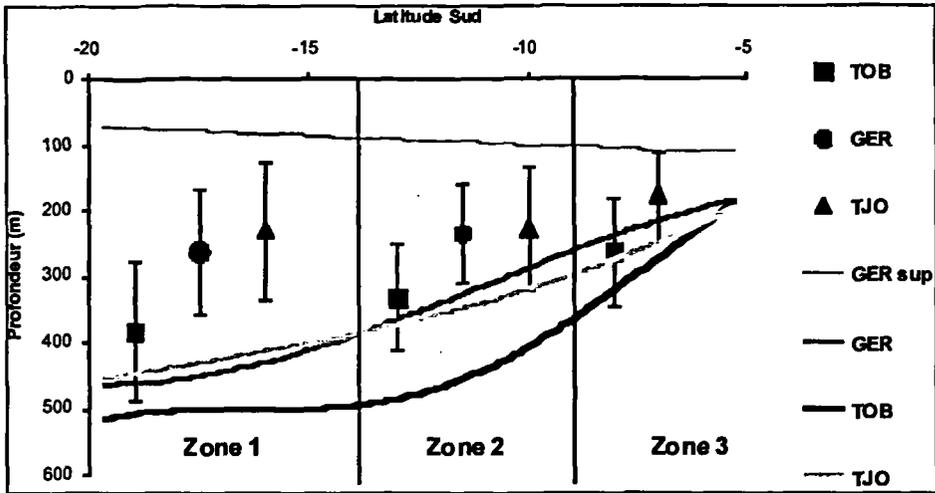
### *Distribution des rendements par zone*

La relation entre la distribution par zone des rendements en thons et des densités des thons sélectionnés par acoustique est linéaire (tableau 2). Un tel résultat traduit le fait que les PUE globales des thons obtenues durant le programme Ecotap sont un bon indice

Limite	T°C	O <sub>2</sub> (ml.l <sup>-1</sup> )
TOB	8	0,6
TJO	10,5	1,0
GER	10 / 26,5	1,5

Tableau 1

Température et concentration en oxygène dissous au-delà desquelles moins de 2,5 % des individus par espèce ont été capturés. Dans le cas du germon, la température limite supérieure est également indiquée.



I Figure 4

Représentation latitudinale de profondeurs limites théoriques d'habitat définies à partir des variables hydrologiques pour le germon (GER), le thon obèse (TOB) et le thon à nageoires jaunes (TJO).

Les limites des 3 zones hydrologiques sont également représentées ainsi que les profondeurs moyennes (avec erreur standard) des captures par espèce et par zone.

d'abondance de la ressource (Bertrand et Josse, sous presse). Ainsi, l'abondance maximale est observée en zone 2 puis diminue de la zone 1 à la zone 3 où le volume d'habitat hydrologique potentiel est minimal (tableau 2). Cette tendance générale diffère si l'on considère les rendements spécifiques. Le germon est pêché avec des rendements très proches dans les zones 1 et 2 alors qu'il est quasi absent dans la zone 3. Le thon obèse est significativement plus pêché dans la zone 2 (test de Kruskal-Wallis,  $p < 0.01$ ) et les rendements dans les zones 1 et 3 sont non significativement différents ( $p > 0.05$ ). Le thon à nageoires jaunes par contre, est pêché avec des rendements équivalents dans les zones 2 et 3 et beaucoup plus faiblement dans la zone 1.

En pondérant les rendements par le volume d'habitat potentiel, on transforme un indice d'abondance (PUE) en un indice de densité (en nombre de poissons capturés pour 100 hameçons et par

Zone	T. obèse	Germon	T. jaune	Tous thons	Densité acoustique
Total	0,39	0,73	0,28	1,40	1,33
Zone 1	0,26 / 0,30	0,90 / 1,00	0,09 / 0,09	1,25 / 1,38	1,33
Zone 2	0,60 / 0,58	1,05 / 0,88	0,40 / 0,48	2,05 / 1,94	1,87
Zone 3	0,36 / 0,38	0,02 / 0,03	0,45 / 0,43	0,84 / 0,84	0,69

I Tableau 2

Répartition des PUE de thons  
(nombre pour 100 hameçons)  
capturés à la palangre instrumentée  
en fonction de la zone hydrologique (premier chiffre)  
ou trophique (second chiffre)  
et des densités (nb.km<sup>-2</sup>) de cibles  
pouvant être assimilées  
à des thonidés mesurées par acoustique  
(Bertrand et Josse, sous presse).

Zone	T. obèse	Germon	T. jaune
Zone1	0,05	0,25	0,02
Zone2	0,13	0,47	0,12
Zone3	0,13	0,02	0,18

I Tableau 3

Répartition des PUE de thons capturés  
à la palangre instrumentée  
par zone hydrologique  
en fonction du volume d'habitat  
(en nombre pour 100 hameçons  
pour 100 m. d'habitat).

100 mètres d'habitat disponible), la répartition est alors différente (tableau 3). Les densités les plus faibles sont observées en zone 1 pour les trois espèces. Le thon obèse est capturé avec des rendements identiques dans les zones 2 et 3. Le thon à nageoires jaunes est lui plus capturé en zone 3 alors que le germon présente des rendements maximaux vis-à-vis du volume d'habitat en zone 2.

## I Discussion

### *Caractéristiques physico-chimiques et trophiques de l'habitat pélagique*

Les typologies basées sur les structures physico-chimiques et biologiques ont toutes deux conduit à la discrimination de trois zones (fig. 3). L'abondance micronectonique est maximale entre les latitudes 8-9 °S et 13-14 °S (zone 2). Au nord et au sud de cette zone les biomasses sont plus faibles mais similaires entre elles alors que les conditions physico-chimiques sont très différentes : sud de la zone d'enrichissement équatorial pour la région Nord (zone 3) et eaux oligotrophes du Pacifique Sud, au sud (zone 1).

La zone 2 est localisée dans une zone de faible convergence qui concentre les produits de dégradation des niveaux trophiques inférieurs sans présenter de concentrations limitantes inférieures en oxygène (Bertrand *et al.*, 1999 c) (fig. 3). Au nord (zone 3), les eaux sont enrichies par l'upwelling équatorial mais une intense reminéralisation de la matière organique limite la disponibilité en oxygène des couches profondes. Le taux de 1.5 ml.l<sup>-1</sup> d'oxygène dissous semble être limitant pour une grande partie du micronecton dans la zone d'étude. Au sud, les eaux sont sous l'influence du grand gyre du Pacifique Sud et présentent donc un caractère oligotrophe peu favorable au développement du micronecton en dépit de concentrations élevées en oxygène sur toute la colonne d'eau.

Dans l'écosystème du Pacifique équatorial central, la production primaire est maximale entre 2 °N et 2 °S (Murray *et al.*, 1995; Barber *et al.*, 1996; Chavez *et al.*, 1996; Vinogradov *et al.*, 1997). Il faut néanmoins noter que Signorini *et al.* (1999) ont récemment montré la présence d'un pic de production primaire au niveau des Marquises. Le maximum de production zooplanctonique est lui décalé de quelques degrés au sud et au nord de l'Équateur. Vinogradov (1981) et White *et al.* (1995) ont ainsi observé un maximum de biomasse zooplanctonique entre 2 et 5 °S à 140 °W. Quant au micronecton, Vinogradov (1981) et Lehodey *et al.* (1998) prédisent un maximum d'abondance associé à celui du zooplancton et donc localisé plus au nord que ce qui a été observé au cours des

campagnes Ecotap. Les travaux de Bertrand *et al.* (1999 c) qui abordent directement la distribution *in situ* du micronecton dans le Pacifique central montrent que l'abondance en micronecton n'est pas nécessairement directement liée avec la production secondaire. Il apparaît donc que la distribution du micronecton doit également être considérée en fonction d'autres paramètres tels que la concentration en oxygène dissous.

### *Distribution des thons*

Les données utilisées pour étudier la distribution des thons ont deux origines : les captures à la palangre instrumentée (Misselis *et al.*, 1999) et les résultats d'écho-comptage (Bertrand et Josse, sous presse). Bertrand (1999) et Bertrand et Josse (sous presse) ont montré que les PUE calculées au cours du programme Ecotap sont supposées refléter l'abondance de la ressource de façon plus fiable que celles issues des palangriers professionnels. En effet, l'ensemble de l'habitat vertical des thons a été échantillonné par les palangres instrumentées ce qui n'est pas toujours vrai dans le cas des palangres professionnelles. Ainsi, les distributions horizontale et verticale des thons issues de l'analyse de ces PUE traduisent leurs liens avec les contraintes hydrologiques et trophiques.

### **D**istribution du germon

Le germon est l'espèce la moins tolérante vis-à-vis des faibles concentrations en oxygène et des températures élevées (tableau 1). En zone 3, des eaux chaudes sont présentes en surface alors qu'une oxycline marquée est localisée vers 250 m (fig. 3); le volume d'habitat (fig. 4) et les rendements (tableau 2) en germon y sont donc très faibles. Les PUE sont comparables en zones 1 et 2. La zone 1 présente un habitat vertical très étendu et des proies dispersées. En zone 2, la hauteur de l'habitat est moindre mais les proies plus nombreuses, le germon y est donc plus concentré (tableau 3). Les facteurs hydrologiques semblent donc être déterminants dans la distribution du germon, la qualité trophique du milieu permet de compenser en partie un habitat plus réduit ce qui expliquerait les densités élevées observées dans ce secteur géographique.

### Distribution du thon obèse

Le thon obèse est l'espèce la plus tolérante vis-à-vis des contraintes hydrologiques (Grandperrin, 1975 ; Sund, 1981 pour une synthèse). Sa distribution semble directement liée à la disponibilité en nourriture. En zone 1 où les abondances micronectoniques sont faibles, le thon obèse se distribue très en profondeur (fig. 4) pour se nourrir sur les couches diffusantes migrantes (Josse *et al.*, 1998 ; Dagorn *et al.*, sous presse). En zone 3, les rendements sont légèrement supérieurs en dépit d'un volume d'habitat plus faible (tableau 2). Les PUE sont significativement plus élevées en zone 2 où la disponibilité en nourriture est la plus forte. Si l'on considère les PUE rapportées au volume d'habitat (tableau 4), elles sont identiques en zone 2 et 3. Ce résultat pourrait signifier que si la nourriture est suffisamment abondante ou concentrée, la densité en thon obèse (abondance ramenée au volume d'habitat) est constante. Cette tendance n'est pas observée en zone 1 car « la hauteur d'habitat » est équivalente à la profondeur maximale d'échantillonnage prise en compte pour le calcul des PUE. Or la distribution verticale des prises et les résultats de marquages soniques dans ce secteur géographique montrent que les thons obèses sont principalement distribués au-delà de 300 m pendant la journée (Misselis *et al.*, 1999, Bach *et al.*, 1998 ; Josse *et al.*, 1998, Dagorn *et al.*, sous presse).

### Distribution du thon à nageoires jaunes

Le thon à nageoires jaunes semble être l'espèce la moins dépendante de l'évolution de l'environnement hydrologique. Cette espèce est moins tolérante que le thon obèse vis-à-vis de faibles valeurs de la température et de l'oxygène dissous et sa distribution verticale apparaît relativement superficielle quelle que soit la zone (fig. 4). Son affinité pour les eaux superficielles chaudes le conduit à être peu sensible à l'apparition d'une oxycline profonde. Les marquages soniques réalisés dans le Pacifique (Holland, 1990 ; Brill 1994 ; Block *et al.*, 1997 ; Bach *et al.*, 1998 ; Josse *et al.*, 1998) montrent que le thon à nageoires jaunes évolue principalement entre la surface et le sommet de la thermocline même s'il est capable de faire de brèves incursions dans des eaux froides et désoxygénées. De ce fait, c'est la disponibilité en nourriture qui semble être le facteur

déterminant de son abondance. Dans la zone 1 où il a été peu pêché, le micronecton est peu abondant et dispersé dans un grand volume d'habitat. Le thon à nageoires jaunes est capturé avec des rendements équivalents en zone 2 et 3 (tableau 2). La zone 2 présente les abondances maximales en micronecton. En zone 3, du fait de l'oxycline, les migrations nyctémérales du micronecton sont limitées verticalement (Bertrand *et al.*, 1999 c). De ce fait, les proies sont proportionnellement plus accessibles aux thons à nageoires jaunes au Nord de l'archipel des Marquises. Par conséquent, les densités en thons à nageoires jaunes en référence au volume d'habitat sont plus élevées en zone 3 (tableau 3).

### Distribution de l'ensemble des thons

Les distributions verticale et horizontale des thons dans la zone d'étude sont dépendantes des caractéristiques hydrologiques et trophiques. Les PUE (non ramenées au volume d'habitat) et les densités mesurées par acoustique sont plus fortes en zone 2 où les conditions physico-chimiques sont peu limitantes et la qualité trophique élevée. La zone 3, au nord des Marquises est celle où les thons apparaissent les moins abondants probablement en raison de la très faible occurrence du germon. Or, cette zone concentre la majeure partie de l'effort de pêche des flottilles étrangères (Chabanne *et al.*, 1993; Fonteneau, 1997) qui ciblent principalement le thon obèse. Pour cette espèce cible, cette zone d'exploitation présente deux avantages : (1) la présence d'eaux désoxygénées en profondeur limite l'extension verticale de l'habitat qui est de ce fait totalement exploité par les palangriers dont la profondeur maximale des palangres dépasse rarement 300 m (Hanamoto, 1987; Hampton *et al.*, 1998); (2) la faible abondance du germon limite les prises d'une espèce non ciblée. La zone 1 localisée au Sud de 13-14 °S présente les eaux les plus oligotrophes. Pourtant les abondances en thons sont assez importantes. Le germon est l'espèce la plus pêchée suivie par le thon obèse. L'analyse des captures professionnelles (Chabanne *et al.*, 1993; Fonteneau, 1997) montre des rendements en thon obèse très faibles en zone 1 contrairement aux rendements présentés dans ce travail. À l'instar d'Hanamoto (1987), ce résultat montre que la distribution de la ressource palangrière à travers l'étude des captures professionnelles ne peut être le reflet de

sa distribution naturelle, que dans des régions où la profondeur atteinte par la palangre est au moins équivalente au « plancher » de l'habitat. Une biomasse potentielle en thon obèse serait localisée au Sud de la zone classique d'exploitation mais accessible uniquement à des palangres dont la profondeur est supérieure à celle classiquement atteinte par les palangres dites profondes. Ainsi que l'avait énoncé Grandperrin (1975), les pêcheries ne font « qu'écrêmer » le dessus de la population en zone 1. La zone 2 est la zone qui présente à la fois des conditions hydrologiques favorables et une abondance en proies maximale. C'est dans cette zone que les rendements et la biomasse micronectonique sont les plus élevés (tableau 2).

Ces résultats vérifient, à l'échelle de la zone d'étude, l'hypothèse proposée initialement par Sund *et al.* (1981) selon laquelle au sein de leur zone de confort écophysologique les thons sont plus abondants dans les secteurs de concentration de nourriture.

## Conclusions

La présente étude montre que les thons adultes ont une stratégie d'occupation de l'espace différente selon les espèces. La distribution du germon est limitée par les conditions hydrologiques mais si le volume d'habitat est suffisant, la capacité trophique du milieu devient un facteur déterminant de son abondance. Le thon obèse est le plus tolérant vis-à-vis des conditions hydrologiques. Pour cette espèce, si la capacité trophique du milieu est suffisante, la densité par volume d'habitat apparaît constante donc les rendements sont liés au volume d'habitat. Enfin, la distribution du thon à nageoires jaunes semble être directement liée à la quantité et la disponibilité de nourriture.

La « hauteur d'habitat écophysologique » et la capacité trophique du milieu apparaissent comme des descripteurs satisfaisants de l'abondance relative des espèces étudiées. L'information sur la capacité trophique est rarement disponible et l'acoustique se révèle comme un outil de choix pour y accéder. Les résultats présentés proposent de nouvelles représentations et interprétations des distri-

butions verticales et horizontales du thon obèse, du thon à nageoire jaune et du germon dans le Nord-Est de la ZEE polynésienne. Ils nous amènent donc à considérer avec prudence les distributions spécifiques déjà établies à partir des statistiques des pêches palan-grières au voisinage de notre zone d'étude et dans les autres océans.

### Remerciements

Ce programme de recherche a été financé par le gouvernement de Polynésie française. Les auteurs remercient les officiers et l'équipage du NO « Alis » pour leur assistance à bord. Tous nos collègues du SRM, de l'Ifremer et de l'IRD qui ont travaillé dans le cadre du programme Ecotap sont également sincèrement remerciés.

## Bibliographie

BACH P., DAGORN L., JOSSE E.,  
BARD F.-X., ABBES R.,  
BERTRAND A., MISSELIS C., 1998 —  
Experimental research and fish  
aggregating devices (FADs)  
in French Polynesia. SPC FAD  
Information Bulletin, 3 : 3-19.

BARD F.-X., BACH P.,  
JOSSE E., 1998 —  
« Habitat, écophysiologie des thons :  
Quoi de neuf depuis 15 ans ? »  
ICCAT Symposium de Sao Miguel,  
Juin 1996, Beckett, J.S. eds,  
L (1) : 319-341.

BARBER R.T., SANDERSON M.P.,  
LINDLEY S.T., CHAI FEI, NEWTON J.,  
TREES C.C., FOLEY D., 1996 —  
Primary productivity  
and its regulation in the equatorial  
Pacific during and following  
the 1991-1992 El Niño.  
*Deep Sea Res.* II, 43 : 933-969.

BERTRAND A., 1999 —  
*Le système (thon - environnement)  
en Polynésie française :  
caractérisation de l'habitat  
pélagique, étude de la distribution  
et de la capturabilité des thons,  
par méthodes acoustiques  
et halieutiques.*  
Thèse de Doctorat  
de l'Ensar, 315 p.

BERTRAND A., JOSSE E.,  
MASSÉ J., 1999 a —  
« Preliminary results of acoustic  
target strength measurements  
of bigeye (*Thunnus obesus*)  
and yellowfin tuna  
(*Thunnus albacares*) ».  
*in* : Proceedings of the 5th Indo-  
Pacifique Fish Conference,  
Nouméa, 1997.  
Séret B. and Sire J.-Y. eds. Paris,  
Soc. Fr. Ichtyol. : 443-450.

- BERTRAND A., JOSSE E.,  
MASSÉ J., 1999 b —  
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.
- BERTRAND A., LE BORGNE R.,  
JOSSE E., 1999 c —  
Acoustic characterisation of  
micronekton distribution in French  
Polynesia. *Marine Ecology Progress  
Series*, 191 : 127-140.
- BERTRAND A., JOSSE E., sous presse —  
Acoustic estimation of longline  
tuna abundance.  
*ICES Journal of Marine Science*.
- BLOCK B.A., KEEN J.E., CASTILLO B.,  
DEWAR H., FREUND E.V.,  
MARCINEK D.J., BRILL R.W.,  
FARWELL C., 1997 —  
Environmental preferences  
of yellowfin tuna  
(*Thunnus albacares*) at the northern  
extent of its range. *Marine Biology*,  
130 : 119-132.
- 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 : 204-216.
- BOGGS, 1992 —  
Depth, capture time,  
and hooked longevity of longline-  
caught pelagic fish :  
timing bites of fish with chips.  
*Fishery Bulletin*, 90 (4) : 642-658.
- CAYRÉ P., MARSAC F., 1993 —  
Modelling the yellowfin tuna  
(*Thunnus albacares*)  
vertical distribution using sonic  
tagging results and local  
environmental parameters.  
*Aquatic Living Resources.*, 6 : 1-14.
- CHABANNE J., ABBES R.,  
JOSSE E., 1993 —  
*La pêche palangrière asiatique  
dans la Z.E.E. de Polynésie  
française : analyse des données  
disponibles pour la période 1984-  
1992.* Centre Orstom de Tahiti,  
Archives d'Océanographie,  
93-04, 28 p.
- CHAVEZ F.P., BUCK K.R.,  
SERVICE S.K., NEWTON J.,  
BARBER R.T., 1996 —  
Phytoplankton variability  
in the central and eastern  
tropical Pacific.  
*Deep Sea Res. II*, 43 : 835-870.
- DAGORN L., 1994 —  
*Le comportement des thons  
tropicaux modélisé selon  
les principes de la vie artificielle.*  
Thèse de doctorat de l'École  
nationale supérieure agronomique  
de Rennes, 250 p.
- DAGORN L., BACH P., JOSSE E.  
Sous presse —  
Behaviour pattern of large  
bigeye tuna (*Thunnus obesus*)  
in the open ocean determined  
using ultrasonic telemetry.  
*Marine Biology*.
- FIEDLER C.P., BARLOW J.,  
GERRODETTE T., 1998 —  
Dolphin prey abundance  
determined from acoustic  
backscatter data in  
eastern Pacific surveys.  
*Fish. Bull.*, 96 : 237-247.
- FONTENEAU A., 1997 —  
*Atlas des pêcheries thonnières  
tropicales. Captures mondiales et  
environnement.* Paris, Orstom  
éditions, 192 p.
- GRANDPERRIN R., 1975 —  
*Structures trophiques aboutissant  
aux thons de longue ligne  
dans le Pacifique sud-ouest tropical.*  
Thèse de doctorat de l'université  
d'Aix-Marseille II, 296 p.

- HAMPTON J., BIGELOW K., LABELLE M., 1998 — Effect of longline fishing depth, water temperature and dissolved oxygen on bigeye tuna (*Thunnus obesus*) abundance indices. WP17, 11th Standing Committee on Tuna and Billfish SPC, Hawaii, June 1998, 18 p.
- HANAMOTO E., 1987 — Effect of oceanographic environment on Bigeye tuna distribution. *Bulletin of the Japanese Society of Fishery Oceanography*, 51 : 203-216.
- HOLLAND K.N., BRILL R.W., CHANG R.K.C., 1990 — Horizontal and vertical movements of yellowfin and bigeye tuna associated with Fish Aggregating devices. *Fishery Bulletin*, 88 : 493-507.
- JOSSE E., BACH P., DAGORN L., 1998 — Simultaneous observations of tuna movements and their prey by sonic tracking and acoustic surveys. *Hydrobiologia*, 371/372 : 61-69.
- JOSSE E., BERTRAND A., sous presse — *In situ* acoustic target strength measurements of tuna associated with a Fish Aggregating Device. *ICES Journal of Marine Science*.
- KITCHELL J.F., NEILL W.H., DIZON A.E., MAGNUSON J.J., 1978 — « Bioenergetic spectra of skipjack and yellowfin tunas. The physical ecology of tunas ». In : Sharp G.D., Dizon A.E. (ed). *The physiological ecology of tunas*. New York, Academic Press : 357-368.
- LAURS R.M., FIEDLER P.C., MONTGOMERY D.R., 1984 — Albacore tuna catch distributions relative to environmental features observed from satellites. *Deep Sea Res.*, 31 : 1085-1099.
- LEHODEY P., ANDRE J-M., BERTIGNAC M., HAMPTON J., STOENS A., MENKES C., MEMERY L., GRIMA N., 1998 — Predicting skipjack tuna forage distributions in the equatorial Pacific using a coupled dynamical bio-geochemical model. *Fisheries Oceanogr.*, 7 : 317-325.
- MARCHAL E., GERLOTTO F., STEQUERT B., 1993 — On the relationship between scattering layer, thermal structure and tuna abundance in the Eastern Atlantic Equatorial current system. *Oceanologica Acta*, 16 : 261-272.
- MARCHAL E., LEBOURGES A., 1996 — Acoustic evidence for unusual diel behaviour of a mesopelagic fish (*Vinciguerria nimbaria*) exploited by tuna. *ICES J. Mar. Sci.*, 53 : 443-447.
- MARSAC F., 1992 — *Étude des relations entre l'hydroclimat et la pêche thonière hauturière tropicale dans l'Océan Indien Occidental*. Thèse de Doctorat de l'université de Bretagne occidentale, 353 p.
- MISSELIS C., BACH P., BERTRAND A., 1999 — « Les relations entre les espèces de la pêche palangrière et leur environnement ». In : Abbes R. et F.X. Bard (eds). *Rap. final de Convention, Territoire de Polynésie française, EVAAM, Ifremer, Orstom, n° 950170*.
- MURRAY J. W., JOHNSON E., GARSIDE, C.A.U.S. 1995 — JGOFS process study in the Equatorial Pacific (EqPac) : Introduction. *Deep-Sea Res. II*, 42 (2-3) : 275-293.
- OLSON R.J., BOGGS C.H., 1986 — Apex predation by yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) : independent estimates from gastric evacuation and stomach contents, bioenergetics, and cesium concentrations. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 43 : 1759-1775.

- PETITGAS P., LEVENEZ J.-J., 1996 — Spatial organisation of pelagic fish : echogram structure, spatio-temporal condition, and biomass in Senegalese waters. *ICES J. Mar. Sci.*, 53 : 147-153.
- 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.
- ROGER C., MARCHAL E., 1994 — Mise en évidence de conditions favorisant l'abondance des Albacores (*Thunnus albacares*) et des Listaos (*Katsuwonus pelamis*) dans l'Atlantique Équatorial Est. *IATTC Rec. Doc. Sci.*, 32 : 237-248.
- SHARP G.D., 1978 — « Behavioral and physiological properties of tunas and their effects on vulnerability to fishing gear ». *In* : The Physiological Ecology of Tunas, Sharp G.D. and Dizon A.E. eds. : 397-449.
- SIGNORINI S.R., McCLAIN C.R., DANDONNEAU Y., 1999 — Mixing and phytoplankton bloom in the wake of the Marquesas Islands. *Geophysical Res. Letters*, 26(20) : 3121-3124.
- SIMRAD, 1993 — Simrad EK500 Scientific echo sounder operator manual. Simrad Subsea A/S Horten, Norway, 204 p.
- SIMRAD, 1994 — Simrad EP500 echo processing system. Simrad Subsea A/S Horten, Norway, 76 p.
- SUND P.N., BLACKBURN M., WILLIAMS F., 1981 — Tunas and their environment in the Pacific Ocean : a review. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.*, 19 : 443-512.
- VINOGRADOV M.E., 1981 — « Ecosystems of equatorial upwellings ». *In* : *Analysis of marine ecosystems*, Longhurst A.R. (ed.), Academic Press, London : 69-93.
- VINOGRADOV M.E., SHUSHKINA E.A., VEDERNIKOV V.I., NELZI, N.P., GAGARIN V.I., 1997 — Primary production and plankton stocks in the Pacific Ocean and their seasonal variation according to remote sensing and field observations. *Deep-Sea Research II*, 44 : 1979-2001.
- WHITE J.R., ZHANG X., WELLING L.A., ROMAN M.R., DAM H.G., 1995 — Latitudinal gradients in zooplankton biomass in the tropical Pacific at 140°W during the JGOFS EqPac study : Effects of El Niño. *Deep-Sea Research II*, 42 : 715-733.