

OCÉANOGRAPHIE

Notes et documents n° 20

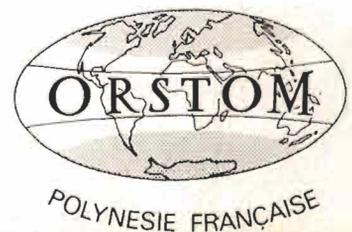
1983

Radiométrie aérienne et prospection
thonnière dans la zone économique
exclusive de Polynésie Française.

M. PETIT
M. KULBICKI

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ET TECHNIQUE OUTRE-MER



Notes et documents

N°20

OCÉANOGRAPHIE

ORSTOM
TAHITI
1983

P O L Y N E S I E F R A N C A I S E

O.R.S.T.O.M.

RADIOMÉTRIE AÉRIENNE ET PROSPECTION THONIERE
DANS LA ZONE ÉCONOMIQUE EXCLUSIVE
DE POLYNÉSIE FRANÇAISE

PAR

Michel PETIT *

Michel KULBICKI *

* Océanographes biologistes de l'O.R.S.T.O.M.
Centre ORSTOM de Nouméa, B.P. A5 - NOUMEA-CEDEX -
Nouvelle-Calédonie

PETIT (M.) et KULBICKI (M.) - 1983 - Radiométrie aérienne
et prospection thonière dans la zone économique
exclusive de Polynésie Française - *ORSTOM Tahiti*,
Notes et Doc. Océanogr., 20, 98 p.

AVANT - PROPOS

Le Territoire de Polynésie Française a signé avec l'ORSTOM deux conventions (Conventions 80.603 du 7-10-1980 et 81.538 du 30-10-1981) pour exécuter des études de radiométrie et d'observations aériennes. Le but de ces recherches était d'évaluer les potentialités des ressources thonières de la Zone Economique Exclusive de Polynésie Française en vue d'un développement de la pêche.

Les travaux ont eu lieu pendant l'année 1981. Environ 500 heures de vol ont été effectuées, groupées en quatre campagnes réparties tout au long de l'année. Les résultats de chaque campagne ont été présentés dans des rapports préliminaires après chacune d'elles. L'analyse de l'ensemble des données et la synthèse, des résultats a été achevée en septembre 1982. Le rapport final a été remis aux autorités du Territoire de Polynésie Française et au Secrétariat d'Etat au DOM-TOM en février 1983.

REMERCIEMENTS

Il nous est particulièrement agréable de remercier l'ensemble des personnes qui ont contribué à l'aboutissement de ce travail, tant au niveau de sa préparation que de sa réalisation.

Nous tenons à mentionner particulièrement :

- Monsieur le Haut-Commissaire*
 - L'Amiral Commandant des forces armées en Polynésie*
 - Monsieur le Secrétaire Général*
 - Messieurs les Chefs des Subdivisions Administratives*
 - Monsieur le Directeur de l'Aviation Civile*
 - Monsieur le Directeur de la Navigation Aérienne*
- pour leur assistance et l'intérêt qu'ils ont manifesté à cette étude.*

Nous n'oublierons pas ici ceux qui ont apporté leur concours aux opérations de terrain et notamment aux observations en vol.

S O M M A I R E

	<u>Pages</u>
RESUME	1
SUMMARY	2
PU'OHURAA	3
INTRODUCTION	5
1 - CONTEXTE GENERAL DE L'OPERATION	5
1.1. Rappels sur la méthode utilisée - Conditions d'exécution	6
1.2. Connaissances actuelles sur la présence et la pê- che des thonidés de surface dans la Z.E.E. de Polynésie Française	8
1.3. Eléments pour situer la Polynésie Française dans l'hydroclimat du Pacifique Central	22
2 - TRAITEMENTS DES DONNEES ET RESULTATS DE LA PROSPECTION AERIENNE	31
2.1. Influence des facteurs de l'environnement sur l'observation aérienne de thonidés	31
2.2. Répartition spatiotemporelle des observations aériennes des thonidés	43
2.3. Caractéristiques des bancs rencontrés	52
3 - SYNTHÈSE ET PERSPECTIVES	62
3.1. Connaissances et hypothèses sur l'écologie des thonidés dans la zone d'étude	63
3.2. Evaluation potentielle de capture - Choix du type de pêche	64
3.3. Conclusions - Perspectives et recommandations.	83
BIBLIOGRAPHIE	86
ANNEXE "A" - Modèle mathématique employé pour le traitement des données	89
ANNEXE "B" - Bilan des opérations sur le terrain	94
ANNEXE "C" - Organigramme de la méthode	96

RESUME

De février 1981 à décembre 1981 ont été réalisées 500 heures de radiométrie aérienne et de prospection thonière sur l'ensemble de la Polynésie Française. Les vols se sont répartis de façon à peu près égale entre les îles de la Société, les Tuamotu et les Marquises. Les résultats sont replacés et étudiés dans le contexte hydroclimatique et halieutique de la Polynésie Française.

Vu la rareté de forts gradients thermiques, la radiométrie n'a pas permis de focaliser la prospection thonière sur des zones présentant des anomalies thermiques. Le temps de vol a été divisé en unités d' "effort de recherche" qui prennent en compte les conditions régnant au moment du vol. Ceci permet de comparer des zones où les conditions d'observations ont été différentes.

Au cours de ces prospections, 169 concentrations de thonidés ont été détectées. Les observations se sont faites surtout dans des eaux à 27-28° C et par ciel couvert ou au contraire très dégagé. La densité des bancs diminue avec la distance à la côte dans le secteur des îles de la Société et des Tuamotu, mais pas dans celui des Marquises. Sur l'ensemble de la zone, les bancs étaient composés en grande majorité de bonites et la plupart des mattes observées avaient moins de 30 tonnes. Aux îles de la Société, les bancs étaient plus fréquemment en surface qu'aux Tuamotu ou aux Marquises. De même aux Sociétés les oiseaux indiquent plus souvent la présence de thon qu'aux Tuamotu ou aux Marquises. La prospection aérienne a montré l'importance des vols d'oiseaux dans le repérage du poisson et la nécessité de mieux connaître les relations entre oiseaux et thons.

On a proposé une méthode rapide mais aux résultats encore grossiers pour évaluer les quantités de thons détectables par avion. Relier ce tonnage à un tonnage pêchable demanderait des prospections simultanées avion-bateau à grande échelle.

S'appuyant sur les résultats des prospections aériennes un plan de développement succinct est présenté. Il prévoit des prospections de longue durée par canneurs et senneurs, la nécessité d'étudier la pêche sur radeau. Dans ce cadre on pourrait envisager des prospections aériennes, mais en ajoutant à la mesure de la température, celle de la salinité, de la couleur de l'eau avec l'appui et le développement de la télédétection aérospatiale en océanologie.

SUMMARY

Five hundred hours of aerial radiometry and tuna survey have been conducted in French Polynesia from February to December 1981. The Society Islands, the Tuamotu archipelago and the Marquesas Islands were equally prospected. The results of these campaigns are studied in conjunction with the hydroclimatic and fishing environment of French Polynesia.

Because of the scarcity of high thermal gradients, radiometry could not assist in tuna spotting in areas presenting thermal abnormalities. Flying time has been divided into "research effort units". These units take into account spotting conditions. This allows to compare areas under a variety of conditions.

During these surveys, schools of tuna were sighted on 169 occasions. The sightings were mainly done over waters at 27-28° C and with either very sunny or very cloudy sky. Tuna school density decreased with distance from land for both the Society and Tuamotu Islands, but no such trend could be detected for the Marquesas Islands. However, bird flocks density did decrease with distance from land in all three areas. Schools were usually skipjack. Most of the schools sighted were less than 30 tonnes. Schools were spotted at the surface more often in the Society Islands than in the Tuamotu or Marquesas Islands. Likewise, bird flocks were indicators of tuna more frequently in the Society Islands than in Tuamotu or Marquesas Islands. These tuna spotting surveys have demonstrated the importance of bird flocks in aerial sighting of tuna and the necessity to improve our knowledge on the relationships between bird and tuna.

The tonnage of tuna visible by plane has been roughly estimated for the best sampled areas. Simultaneous surveys employing fishing vessels and a spotting plane would be necessary to gauge the tonnage estimated by plane to the tonnage catchable by various fishing methods.

Based upon the results of our analysis, a brief development plan is presented. This plan proposes extended surveys by foreign tuna purse seiners and pole-and-line vessels and the use of floating aggregative devices. In this framework, aerial spotting and airborne radiometry could be complemented by airborne measurements of conditions such as salinity, water colour... This airborne prospection could be coupled to results of satellite data analysis.

PU'OHURAA

Mai te 'ava'e Fepuare 1981 e tae mai i te 'ava'e Titema 1982, e 500 hora hi'opo'araa na te reva e 'imiraa 'a'ahi tei ravehia i Polynesia Farani. Ua 'aifaito te mau hora hi'opo'araa-na-te-reva i ravehia i Tahiti mâ, i te Tuamotu e i Nuuhiva mâ. Ua tuuhia te mau tapa'o ato'a i roa'a mai no te tuatapapa, i roto i te hi'oraa no te pae o te meteo e i roto i te mau 'ihi no te pae rava'airaa, i matarohia i Polynesia Farani.

No te 'ore e roa'a mai te tahi mau tauraa rarahi i te faito 'anuvera 'i 'ore ai te faitoraa rahiraa i'a na ni'a mai i te manureva i nahonaho, no te mea ê, e meteo tauui noa to taua mau vahi i hi'opo'ahia ra. Ua vâhahia te mau hora rereraa manureva ei mau tau "tuatapaparaa" o te haapa'o maite i te huru o te meteo i te taima rereraa. E riro ïa te reira ei faafatataraa atu i te mau numera i roa'a mai i te mau vâhi meteo 'ê.

Na roto i teie mau hi'opo'araa, 169 'aereraa 'a'ahi e te 'auhopu tei itehia. Ua ravehia te mau hi'opo'araa i ni'a a'e i te moana mai te 27 e te 28 teteri anuvera, i te tahi taima mâ te ra'i tapo'ipo'i, te tahi taima ma te ra'i ateatea. Ua itehia i teie mau hi'opo'araa ê, e haere iti te 'aere o te i'a i Tahiti mâ e i te Tuamotu ia atea atu te fenua ; 'aita râ te reira huru i Nuuhiva mâ. I ni'a i te taato'araa o te mau vâhi i hi'opo'ahia, e

'auhopu te rahiraa o te i'a, e tae roa i te faito 30 tane te putuputuraa ho'ê. I Tahiti mâ, mea hau a'e te 'aere i'a i ni'a roa, 'are'a i te Tuamotu e i Nuuhiva mâ ra, mea hohonu atu ia. I Tahiti mâ ato'a te riroraa te manu 'ei faaite i te vâhi 'a'ahi, 'are'a i te Tuamotu e i Nuuhiva mâ ra, mea varavara ia. Ua faaite mai te mau hi'opo'araa na te reva ê, mea faufaa rahi te manu no te faaite mai i te vâhi i'a, e mea hau roa ia tuatapapa-hohonu-hia te mau tu'atiraa e vai ra i rotopû i te manu e te i'a., te 'a'ahi ihoâ râ.

Te vai nei te tahi rave'a 'oi'oi e tamatahia nei no te faito vave-raa mai na ni'a i te manureva i te rahiraa 'a'ahi, 'aita â râ te reira rave'a i papû roa. Mai te peu ê, e hinaarohia te ho'ê tu'atiraa i rotopû i te tane i'a i 'itehia mai na ni'a i te manureva e te tane 'ia e roa'a mai i te taima hîraa, e ti'a roa ia te tahi mau tuatapaparaa rarahi e rave-'amui-hia e te pahî e te manureva i te taima ho'ê.

E tapura 'ohipa iti tei faanahohia ia au i te mau tapa'o i horo'ahia mai e te mau hi'opo'araa na te reva. Ua ferurihia i roto i teie tapura te mau titorotororaa maoro e ravehia e te mau poti hî 'a'ira e te mau pahî hî 'upe'a tavere, i reira e itehia ai ê, mea maita'i anei te hîraa na ni'a i te pa'epa'e. No te reira mau tuatapaparaa ra, e ti'a roa ia ia 'amuihia, te mau hi'opo'araa tâ-manureva, te faitoraa i te anuvera o te moana, te faitoraa i te 'ava'ava o te miti, te hi'oraa i te huru ninamura o te miti, ma te turu ato'ahia mai teie mau titorotororaa e te mau hi'opo'araa teitei tâ-radio-teata a te mau pahî-reva i mao'ahia i te ra'i teitei o te haapa'o taa'e nei i te hi'opo'araa i te mau moana.

INTRODUCTION

Ce document expose les résultats des opérations de radiométrie et d'observations aériennes pour la prospection des thonidés de surface dont l'objectif est l'évaluation des potentialités de pêche de ces poissons dans la Zone Economique Exclusive de Polynésie Française.

Les travaux de prospection ont eu lieu pendant l'année 1981. Ils ont été effectués au cours de quatre campagnes réparties tout au long de l'année. Au total, environ 500 heures de vol ont été réalisées sur une grande partie du Territoire de Polynésie Française.

Le présent document reprend les conclusions des rapports de campagne préliminaires (MARSAC, 1981 ; BOUR, 1981 ; PETIT, 1981 ; PETIT et GOHIN, 1981). De plus, il fait la synthèse des résultats acquis dans la zone d'étude (cf. chapitre II) et les interprète dans leur contexte halieutique et hydroclimatique. Une attention particulière est délibérément portée à l'exposé des méthodes d'analyse afin de garantir l'interprétation des résultats. Enfin, des recommandations sont émises quant aux perspectives de pêche et de prospection.

1/ - CONTEXTE GENERAL DE L'OPERATION

Ce chapitre aborde, de façon critique, les limites de la méthode et de la technique employée et fait une synthèse rapide des connaissances halieutiques et hydroclimatiques de cette région du Pacifique Central.

Nous ne décrirons pas, dans le détail, la méthode employée. Ceci a déjà été fait dans les rapports préliminaires (MARSAC, 1981 ; BOUR, 1981 ; PETIT, 1981 ; PETIT et GOHIN, 1981).

1.1. - Rappels sur la méthode utilisée et ses limites - Conditions d'exécution

1.1.1. Méthode utilisée

a) Relation entre le thon et la température de surface

La présence de thons dans une zone est régie par un ensemble de facteurs biologiques et physiques. Ces derniers ont l'avantage d'être quantifiables, en particulier la température. De ce fait, de très nombreuses études ont entrepris de relier la présence de thons à des facteurs tels que la température, la salinité, l'oxygénation... Ces études ont établi d'une part, qu'il n'est pas possible de considérer un facteur physique isolément, mais qu'il faut tenir compte d'un ensemble de facteurs ; d'autre part, qu'une conjoncture physico-chimique favorable n'entraîne pas obligatoirement la présence de thons. Ces études ont aussi montré que suivant l'espèce, la taille, l'état physiologique..., les conditions physico-chimiques favorables diffèrent.

Quand on étudie l'influence des caractéristiques du milieu sur les thonidés, il est nécessaire de faire une distinction entre présence, concentration et capturabilité du poisson. En effet, le poisson peut être présent sans qu'il y ait un effet de concentration. De même une grande concentration de thons ne signifie pas toujours une bonne capturabilité.

Il a été fréquemment observé que les thons ont tendance à se regrouper aux environs de zones de rencontre de masses d'eau dont les caractéristiques (température, salinité...) diffèrent. Ces zones de rencontre présentent souvent des gradients thermiques élevés. La radiométrie, en permettant de localiser les anomalies thermiques de surface, focalise l'observation aérienne sur ces zones privilégiées. Cependant, il est possible d'observer de forts gradients thermiques sans qu'il y ait obligatoirement une concentration de thonidés. Inversement, il est possible de détecter du thon en abondance alors que le gradient thermique est faible. Dans ce dernier cas, l'étude d'autres facteurs tels que la salinité peut révéler l'origine de la concentration du poisson.

En Polynésie, les fronts thermiques sont peu nombreux et en conséquence le gradient thermique ne constitue pas un bon facteur indicatif. De ce fait, l'observation aérienne est plus utile que la radiométrie.

b) Conditions d'observation

• Il est évident que les conditions météorologiques jouent un rôle prépondérant dans l'observation aérienne et leur influence sur l'efficacité des vols sera discutée plus loin. Néanmoins, il est bon de marquer ici la nécessité d'une souplesse d'action maximum afin de profiter des meilleures conditions d'observation possibles. Celle-ci est difficile à obtenir si les vols sont programmés trop longtemps à l'avance comme nous avons dû souvent le faire.

c) Valeur des observations

Le thon peut être présent sans qu'il soit possible de le détecter par avion. Ceci est lié au comportement du poisson et aux conditions d'observation. Le comportement du thon va dépendre des caractéristiques du milieu, de la région, de l'époque... Les conditions d'observation sont fonction essentiellement de la météo.

Il en résulte que l'observation d'une matte n'aura pas toujours la même signification. L'observation d'indices, tels que les oiseaux en chasse, peut dans certains cas fortement suggérer la présence de thon, sans que ce dernier soit visible. Ne pas observer de thon n'est pas synonyme d'absence de thon.

Malgré ces limites, la prospection aérienne associée à la radiométrie garde toute son efficacité pour obtenir rapidement une idée des potentialités en thonidés et des techniques de pêche appropriées.

1.1.2. - Conditions d'exécution

Il faut noter avant tout la faiblesse relative du nombre d'heures de vol en regard de la surface de la Z.E.E..A titre de comparaison, nous avons pu disposer en Nouvelle-Calédonie, lors de la première année de prospection, du même quota (environ 500 heures de vol) pour une surface à prospecter 4 fois moindre. L'année complète n'a pu être couverte totalement : Les périodes de vol se sont réparties ainsi :

- du 16 février 1981 au 19 mars 1981,
- du 8 mai 1981 au 18 juin 1981,
- du 12 septembre 1981 au 24 septembre 1981,
- du 21 novembre 1981 au 22 décembre 1981.

Les régions prospectées (fig. 1) ne correspondent pas vraiment à celles des forts gradients thermiques (fig. 10). Les diverses contraintes rencontrées lors des premières missions dans les régions sud (survol réglementé, éloignement, avitaillement en essence, conditions météorologiques...) ont imposé ce choix : à moins de perdre une information primordiale sur la variation saisonnière, il était nécessaire de prospecter à nouveau les mêmes régions lors des dernières missions. Ainsi, seules les Iles de la Société, les Tuamotu du Nord et du Centre, les Iles Marquises ont été échantillonnées. Les quelques vols effectués aux Iles Australes, aux Tuamotu de l'Est et aux Gambier n'ont pas apporté de résultats significatifs (cf. chapitre 2).

Enfin, il est regrettable qu'aucune expérience de pêche industrielle (canne ou senne) n'ait été effectuée pendant les vols.

1.2. - Connaissances actuelles sur la présence et la pêche des thonidés de surface dans la Z.E.E. de Polynésie Française

Nos connaissances sur la répartition et l'abondance des thonidés en Polynésie est pour l'instant succincte. La zone considérée est très étendue et ne comprend comme pêcherie thonière de surface que les bonitiers qui ont un rayon d'action restreint autour des îles, principalement dans

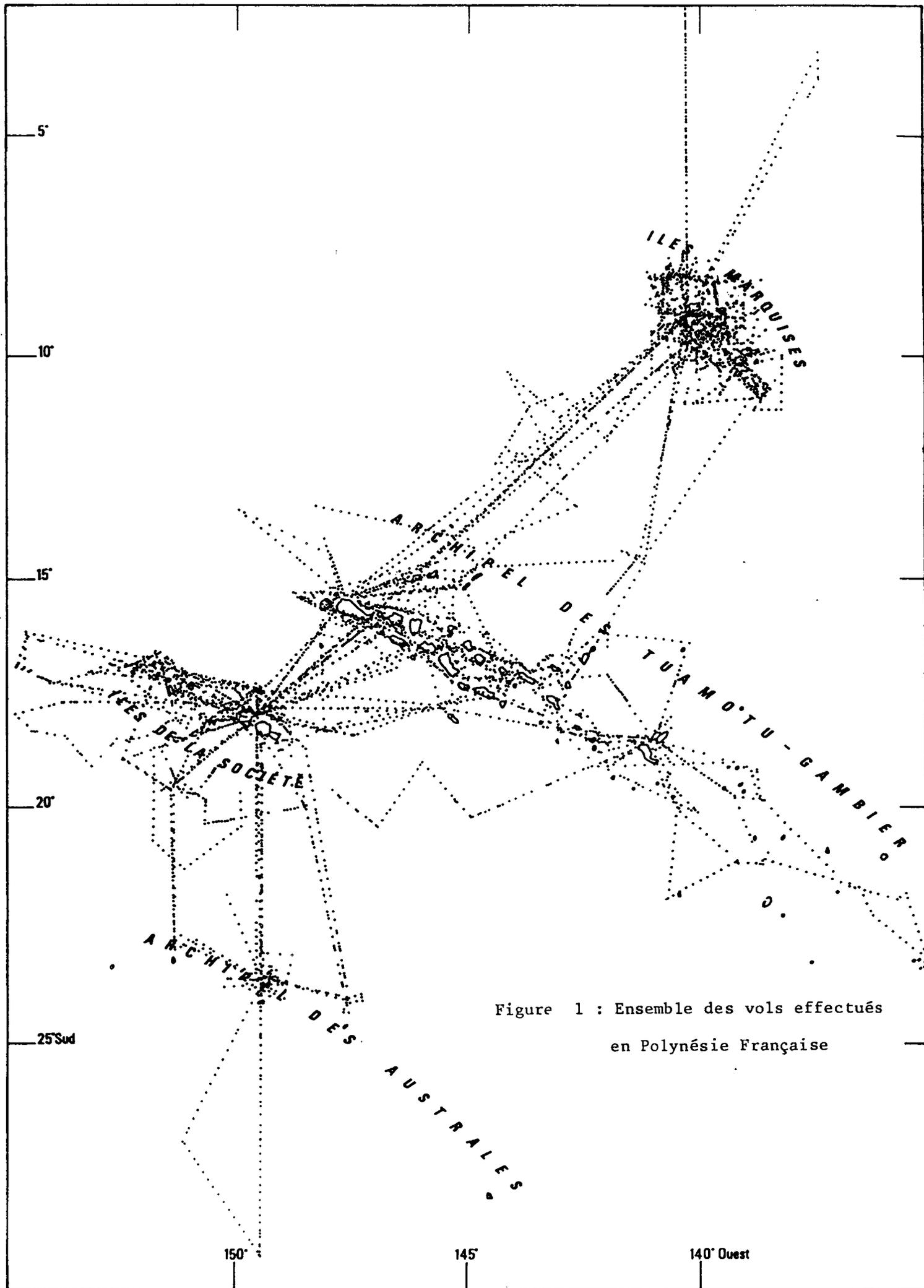


Figure 1 : Ensemble des vols effectués en Polynésie Française

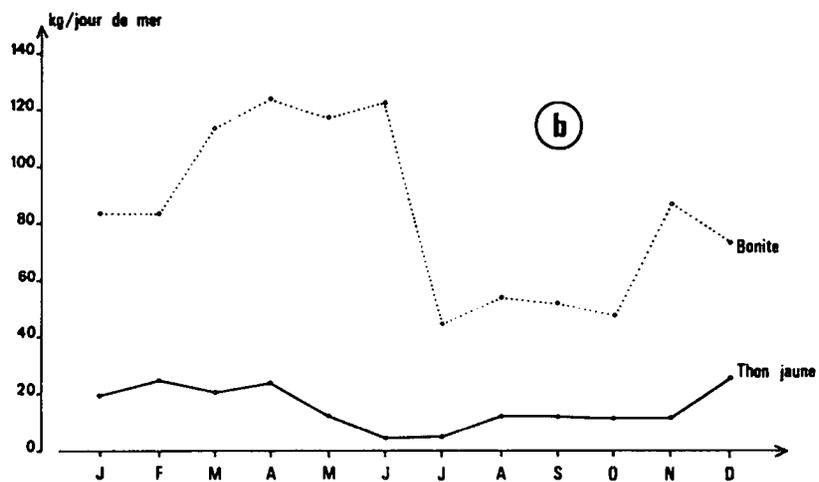
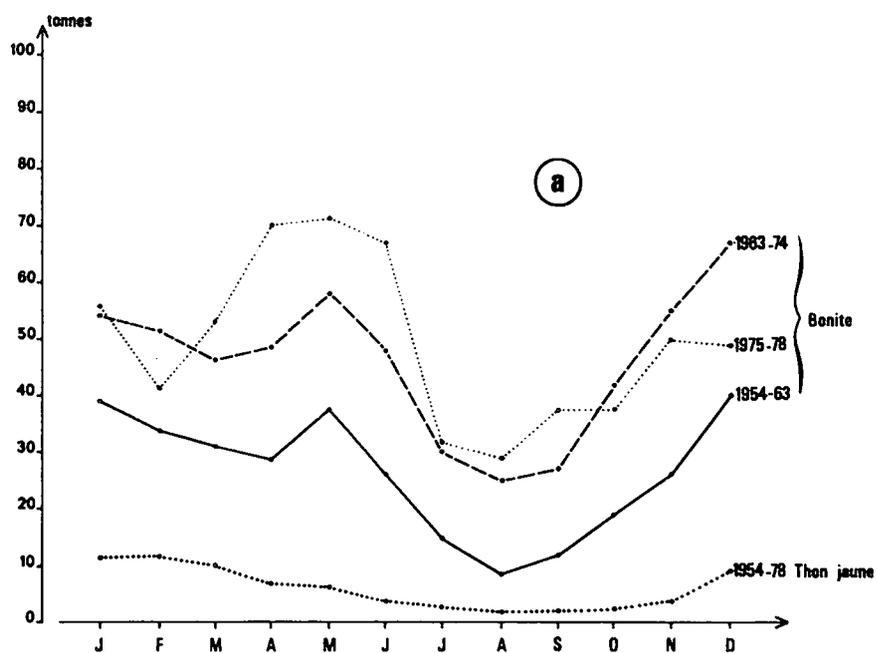


Figure 2 : a/ Ventes au marché de Papeete
 b/ Rendements des bonitiers de Papeete (moyenne 1975-1979)

l'archipel de la Société. Les pêches expérimentales et exploratoires, malgré une intensification récente, sont loin d'être suffisantes pour nous donner une idée précise sur l'abondance et la répartition des thons en surface dans la zone.

1.2.1. La pêche bonitière

La majeure partie de la pêche bonitière est basée à Papeete et fournit donc essentiellement des renseignements sur les thons présents à proximité de Tahiti.

A Papeete, les prises se composent de 70-80 % de bonites, 10-20 % de thons jaunes et quelques pourcents de divers (coryphènes, thazards, espadons). Il existe un problème d'échantillonnage qui a rendu difficile une estimation précise des rendements vrais (JOSSE, 1979 ; MARCILLE et al., 1979 ; BESSINETON, 1976). Cependant, les rendements calculés à partir des données de débarquement (fig. 2b) et les ventes au marché (fig. 2a), montrent des tendances identiques. Les meilleurs rendements pour la bonite ont lieu en moyenne de mars à juin ; de juillet à octobre, les rendements sont toujours faibles. On observe par ailleurs une grande variabilité interannuelle (BESSINETON, 1976 ; JOSSE, 1979 ; MARCILLE et al., 1979 ; CHABANNE et MARCILLE, 1980 ; CHABANNE, 1981). Ainsi de bonnes pêches sont parfois réalisées de novembre à février. Les périodes de bons rendements pour le thon jaune sont identiques (fig. 2), (MARCILLE et BOUR, 1981 ; CHABANNE et MARCILLE, 1980 ; MARCILLE et al., 1979 ; BRUN et KLAWE, 1968).

On possède peu de renseignements sur les autres pêcheries bonitières. A Tahiti, des bateaux sont stationnés à Vairao et Taravao et pêchent au sud-ouest de l'île alors que la flottille de Papeete pêche pour les bateaux de Vairao et Taravao ne sont pas bien connues mais vraisemblablement identiques à celles de la flottille de Papeete. Un certain nombre de bonitiers débarquent également à Uturoa (Société) (JAMES, 1980), mais seulement une partie des captures est vendue sur le marché et donc répertoriée et il n'est pas possible d'y faire un échantillonnage au débarquement. Cependant, il semble que là aussi, la période creuse s'étende

de juillet à octobre et la bonne saison de novembre à mai. Il existe quelques bonitiers dispersés aux Tuamotu mais aucune donnée n'est disponible à leur sujet.

De septembre 1978 à février 1979 une prospection a été organisée avec un bonitier à Apataki (Tuamotu) (SCEP, 1979). Les rendements obtenus (130 à 500 kg/jour) furent de trois à huit fois supérieurs à ceux de Papeete à la même période (MARCILLE et BOUR, 1981 ; SCEP, 1979). JOSSE, 1979 ainsi que MARCILLE et al., (1979) avaient trouvé que les rendements des bateaux de Papeete augmentaient avec la distance de Tahiti. Reste à savoir si ceci est dû à une différence d'abondance ou de comportement. En effet, soit la pression de pêche est suffisante pour engendrer une diminution d'abondance, soit le poisson à proximité de Papeete est plus fréquemment sollicité par les pêcheurs. Dans ce cas, il est possible que le thon s'habitue aux méthodes de pêche, fuit les bateaux, ceci d'autant plus si ce poisson est relativement sédentaire (ce que l'on ignore).

La répartition des tailles des bonites débarquées varie considérablement d'une année sur l'autre (MARCILLE et al., 1979 ; CHABANNE et MARCILLE, 1980). Cependant, on distingue trois groupes de poissons : des poissons de moins de 60 cm, de 60 à 70 cm et de plus de 70 cm. La première classe (moins de 60 cm), présente toute l'année, correspond, dans la plupart des cas, à plus de 50 % des captures surtout depuis 1976. De 1973 et 1979, les principales périodes de capture de ces poissons s'étendaient de mars à juin et d'août à novembre. La classe de 60-70 cm est le plus souvent abondante de mars à mai et suivant les années d'août à octobre ou d'octobre à décembre. Enfin, la classe de plus de 70 cm est essentiellement présente de février à mai, avec parfois un pic d'abondance en juillet-août (1975) ou novembre-décembre (1976).

Cette répartition des tailles au cours de l'année suggère le passage de poissons de différentes tailles dans le secteur. MATSUMOTO (1975) (données palangrières) a émis un certain nombre d'hypothèses sur les migrations de bonites dans cette région, mais pour l'instant seul de dépouillement des recaptures des campagnes de marquage CPS et IATTC (1978 et 1979) permettra d'étayer ou non ces hypothèses.

1.2.2. La pêche à la senne

Cette méthode a été très peu utilisée en Polynésie pour diverses raisons :

- la Polynésie se trouve en dehors de la route des senneurs américains pêchant aux Samoa, Fidji, Nouvelle-Guinée et Nouvelle-Zélande. De même la Polynésie est trop loin des pêcheries du Pacifique Est ;

- les bancs rencontrés dans cette zone sont réputés de petite taille et très mobiles ;

- les eaux sont très claires et la thermocline est peu marquée et profonde.

Tous les essais de pêche à la senne ont eu lieu aux Marquises. Les principaux résultats des prospections de senneurs sont résumés dans le Tableau 1. Le "Kerry M" au cours de ses deux premières campagnes en 1971 et 1972 vit beaucoup de poissons mais les captures ne reflètent pas cette abondance, surtout à cause de la mauvaise adaptation du filet au comportement des bancs rencontrés. En 1971, beaucoup de thons jaunes furent repérés mais les mattes étaient trop proches des hauts fonds pour permettre de senner. En 1971 et 1972, plus de 50 % des bancs de bonites dépassaient 50 tonnes de poissons d'un poids de 3 à 6 kg.

En 1974, le "Sea Treasure" (REREAS et BESSINETON, 1974) bien qu'opérant à la même période de l'année fut considérablement gêné par le mauvais temps et ne repéra que de petites concentrations de bonites (un seul banc de plus de 20 tonnes). Quant au "Zapata" (REREAS, 1977) et "Kerry M" leur prospection de 1977 fut écourtée à trois jours de pêche, à la suite du manque de poisson et surtout de la petite taille des mattes et de leur comportement, (bancs trop mobiles et plongeant rapidement).

En conclusion, on remarque que les essais à la senne ont été jusqu'à présent infructueux et que les quantités de poissons vues varient considérablement d'une année à l'autre. Seule la campagne de 1971 a révélé de grosses concentrations de thons jaunes. La raison de ces échecs est

Tableau n° 1 - Résultats des pêches des senneurs aux Marquises

Nom du bateau	Date	Nombre de jours de pêche	Bonites				Thons jaunes				Autres						
			Prises en Tonnes	Observations *				Prises en Tonnes	Observations *				Observations *				
				A	B	C	D		A	B	C	D	A	B	C	D	
Inconnus (6 bateaux)	1964-1972	?	200					50									
Kerry M **	Oct.-Nov. 1971	22	160	-	2	7	1	50	-	2	20	10	1	15	5	2	
Kerry M **	Oct.-Nov. 1972	14	85	10	15	35	10	2	-	2	-	1	-	2	2	-	
Sea Treasure	Nov. 1974	19	18	12	2	-	-	-	1	-	-	-	15	-	-	-	
Zapata ***	Mai 1977	3	36	2	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Kerry M	Mai 1977	3	45	4	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

A = moins de 10 tonnes
 B = 10 - 30 tonnes
 C = 30 - 100 tonnes
 D = plus de 100 tonnes

* = en nombre de mattes vues
 ** = beaucoup de mattes ont été vues mais non comptabilisées
 *** = le Zapata disposait d'un hélicoptère et il est possible que beaucoup de mattes aient été vues et non signalées

attribuée surtout à l'inadaptation du filet au comportement du poisson (poisson rapide, erratique, plongeant facilement, trop près des hauts fonds...) et aussi au manque de poisson pour les campagnes postérieures à 1972.

1.2.3. La pêche à la canne

La plupart des prospections effectuées en Polynésie ont eu lieu avec des canneurs (BAYLIFF et HUNT, 1981).

On peut distinguer deux périodes dans l'historique des prospections à la canne en Polynésie. D'une part de 1950 à 1959, les Américains prospectent essentiellement les Marquises et accessoirement les Tuamotu. Ces recherches avaient pour but de trouver des zones alternatives aux régions traditionnelles de pêche des canneurs américains (Amérique Centrale). En 1960, avec l'expansion de la pêche à la senne, les Américains abandonnent toute prospection. Ce n'est qu'en 1972 que reprennent les recherches, cette fois axée sur les possibilités de développer une pêche locale. Il faut aussi mentionner les récentes campagnes CPS et IATTC qui avaient pour but, non seulement d'évaluer les quantités pêchables, mais aussi de faire des marquages. Les campagnes depuis 1972, contrairement à celles des années 1950-1959, se sont réparties beaucoup plus uniformément sur l'ensemble de la Polynésie et, de ce fait, permettent une première comparaison des différentes régions.

Il est cependant difficile de comparer les résultats de toutes ces campagnes à cause de la diversité des moyens mis en oeuvre et des buts recherchés. Afin de tenir compte de cette hétérogénéité, nous nous sommes intéressés davantage au nombre de bancs rencontrés qu'aux prises effectuées.

1.2.3.1. Les Marquises

Les Marquises sont la zone de Polynésie la mieux prospectée par les canneurs (25 campagnes exploratoires de 1956 à 1980). Cependant, malgré le nombre de campagnes, la période de juin à août n'a jamais été couverte. Pour obtenir une mesure d'abondance permettant de grouper l'ensemble de ces campagnes, nous avons utilisé le nombre de bancs appâtés par jour de pêche

(Tableau 2), le nombre de bancs vus par heure de prospection (fig. 3) et le nombre de poissons par jour de pêche (fig. 4). Le Tableau 2, ainsi que les fig. 3 et 4 ont été réalisés à partir de données de BAYLIFF et HUNT (1981), WILSON et AUSTIN (1957), AUSTIN (1958), KEARNEY et al., (1979), GILLET et KEARNEY (1980). Ces paramètres indiquent tous trois un maximum entre décembre et février, suivi d'une chute de février à mai. Le Tableau 2 suggère une augmentation de l'abondance entre septembre et décembre.

La composition en espèces aux Marquises (Tableau 3) diffère de celles des Iles de la Société et des Tuamotu par la plus grande abondance de thon jaune et le petit nombre de bancs mélangés. Les bancs de bonites et mélangés ont dans plus de 50 % des cas moins de 10 tonnes (Tableau 4) alors que les thons jaunes forment des mattes généralement plus grandes (36 % des bancs ont plus de 30 tonnes) (Tableau 4). Ces résultats sont à rapprocher de ceux des senneurs (Tableau 1) qui indiquent beaucoup de petits bancs de bonites et peu de thons jaunes, mais ces derniers en mattes de taille conséquente.

Les bonites des Marquises sont dans l'ensemble de taille plus petite qu'aux Iles de la Société, la taille variant de 40 à 60 cm avec parfois, de janvier à mars, des poissons de 70 à 80 cm. Les poissons capturés de 1957 à 1959 comportaient un pourcentage beaucoup plus élevé de gros poissons (plus de 70 cm) que les captures récentes (BAYLIFF et HUNT, 1981).

L'analyse des pêches expérimentales aux Marquises apporte également un certain nombre de renseignements :

1 - En Polynésie le repérage du poisson est grandement facilité par l'abondance des oiseaux (BAYLIFF et HUNT, 1981). Aux Marquises cette détection des bancs est rendue encore plus aisée du fait du grand nombre d'oiseaux (AUSTIN, 1962).

2 - D'après AUSTIN (1962) on observe aux Marquises une diminution marquée de la densité des bancs avec la distance à la côte (fig. 5).

Tableau n° 2 - Nombre de bancs appâtés lors des expériences de pêche à la canne

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Marquises	Total {													
	Bancs	289	148	112	42	29	7	-	-	12	34	50	79	804
	Jours	57	42	56	40	16	4	-	-	9	15	20	12	271
	Ratio	3,84	3,52	2,04	1,05	1,81	1,75			1,33	2,27	2,50	6,58	2,97
Société	Total {													
	Bancs	14	2	3	13	-	-	-	-	-	-	-	44	76
	Jours	6	2	3	8	-	-	-	-	-	-	-	14	33
	Ratio	2,33	1	1	1,6	-	-	-	-	-	-	-	3,14	2,30
Tuamotu	Total {													
	Bancs	36	45	10	4	-	-	-	-	-	-	14	33	142
	Jours	15	17	6	2	-	-	-	-	-	-	7	8	55
	Ratio	2,40	2,64	1,67	2,0	-	-	-	-	-	-	2,0	4,12	2,58

Tableau n° 3 - Répartition en nombre et en pourcentage des bancs observés

(NB : Les pourcentages sont calculés uniquement pour les bancs de nature connue : bonites + thons jaunes + mélangés = 100 %)

Zones	Bonites		Thons Jaunes		Mélanges Bonites+Thons Jaunes		Indéterminés Nbre
	Nbre	%	Nbre	%	Nbre	%	
Marquises	251	64	95	24	49	12	92
Société	34	57	6	10	20	33	85
Tuamotu	57	68	7	8	20	24	92

Tableau n° 4 - Taille des bancs rencontrés aux Marquises

(NB : Les % sont calculés pour la somme des bancs par espèce ou rubrique).

Taille du Banc	Bonites		Thons Jaunes		Mélangés Bonites+Thons Jaunes		Indéterminés	
	Nbre	%	Nbre	%	Nbre	%	Nbre	%
< 10 Tonnes	106	50	38	45	21	58	9	75
10-30 Tonnes	73	34	16	19	13	36	3	25
> 30 Tonnes	34	16	30	36	2	6	-	-
Total	213	100	84	100	36	100	12	100

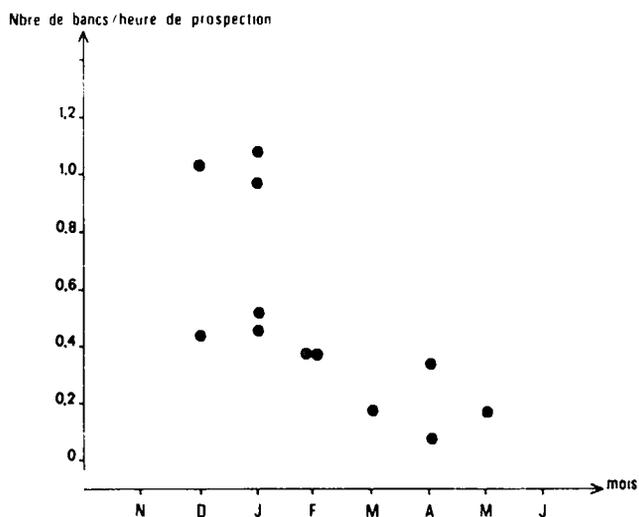


Figure 3 :

Nombre de bancs vu par
heure de pêche
aux Marquises

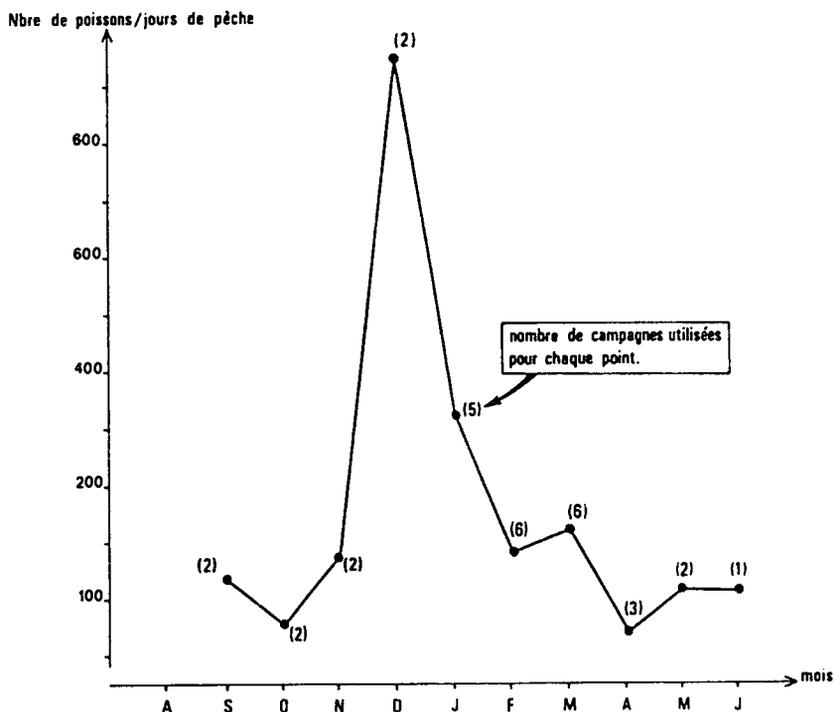


Figure 4 :

Quantité de poissons
pris par jour de
pêche aux
Marquises

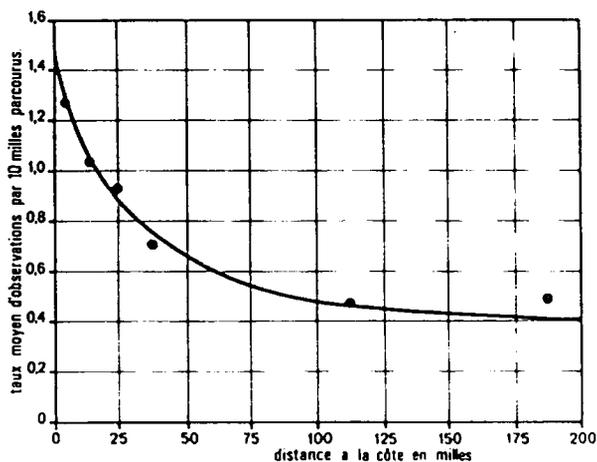


Figure 5 :

Densité des observations
de thons en fonction de
la distance à la côte aux
Marquises

3 - Les rendements aux Marquises sont en général meilleurs après 5 heures (BAYLIFF et HUNT, 1981), mais les bancs sont souvent rapides et changent fréquemment de direction, particulièrement par temps calme.

4 - La réponse à l'appâtage (nombre de bancs pêchés/nombre de bancs appâtés) est extrêmement variable (de 30 à 70 %, moyenne 56 %).

5 - L'analyse des contenus stomacaux collectés au cours des deux campagnes CPS indique la présence de beaucoup de juvéniles aux Marquises (10 % des estomacs en contenaient) ainsi qu'aux Tuamotu (6,1 % des estomacs), alors qu'aux Iles de la Société seulement 0,5 % des estomacs contenaient des juvéniles (ARGUE et al., sous presse). ARGUE et al. ont émis l'hypothèse que les Marquises et à un moindre niveau, les Tuamotu, seraient un centre de reproduction des bonites du Pacifique Est. Selon ces auteurs, c'est au niveau des îles Cook et de la Société que se situerait la coupure entre stocks du Pacifique Est et Ouest.

1.2.3.2. Les Iles de la Société

Aux Iles de la Société, les campagnes exploratoires des canneurs ont débuté avec les prospections du "Moetu II" en 1972. A l'exception de 9 jours de pêche en juillet-août 1972, l'ensemble des prospections a été réalisé au cours de la période la plus favorable (d'après les résultats de la pêche bonitière), soit de décembre à avril.

Durant cette période, le nombre de bancs appâtés par jour de pêche fût de 2.30/jour à la Société contre 3.25/jour aux Marquises pour la même période. Ceci est vraisemblablement dû à une différence de comportement, car le nombre de bancs repérés par heure de prospection est à peu près identique dans les deux régions (0.475 aux îles de la Société et 0.465 aux Marquises à la même période). On remarque également que la réponse à l'appâtage est moins bonne aux Iles de la Société (24 bancs pêchés/60 bancs appâtés = 40 %) qu'aux Marquises (176 bancs pêchés/319 appâtés = 55 %).

Contrairement aux Marquises, il ne nous a pas été possible de connaître la taille des mattes rencontrées. Au plus sait-on (Tableau 3) que les bancs de bonites sont en même proportion qu'aux Marquises (près de 60 %). Ces chiffres sont semblables à ceux des débarquements des bonitiers qui opèrent dans la même région (70 % de bonites, 30 % de thons jaunes).

La taille des poissons capturés pendant cette période concorde avec les tailles observées aux débarquements des bonitiers, c'est-à-dire une majorité de bonites inférieures à 60 cm, avec quelques poissons regroupés entre 60 et 70 cm et d'autres entre 70 et 80 cm.

1.2.3.3. Les Tuamotu

Treize campagnes de prospection par des canneurs aux Tuamotu se répartissent en deux périodes : de 1957 à 1959 et de 1972 à 1980 ; toutes eurent lieu durant l'été austral (de novembre à mars). Le nombre de bancs appâtés par jour de pêche (2.58 bancs/jour) est inférieur (Tableau 2) aux résultats obtenus aux Marquises (3.18 bancs/jour) durant la même période. Cependant, le nombre de bancs vus par heure de prospection est légèrement supérieur aux Tuamotu (0.50 bancs/heure) qu'aux Marquises (0.46 bancs/heure). De même, la réponse à l'appâtage a été meilleure aux Tuamotu (61 bancs pêchés sur 98 appâtés, soit 62 %) qu'aux Marquises (55 %).

Tout comme aux Iles de la Société, on ne connaît pas la taille des bancs rencontrés. La répartition par espèce est très semblable à celle trouvée aux îles de la Société (Tableau 3) : en particulier, il y a peu de thons jaunes (8 %) mais fréquemment un mélange (24 %).

A l'exception de bonites de plus de 65 cm capturées près de Rangiroa par la CPS et de bonites de 80 à 90 cm prises entre les Tuamotu et les Marquises, les échantillons récoltés indiquent que l'essentiel des captures est constitué de poissons de moins de 60 cm (BAYLIFF et HUNT, 1981).

1.2.3.4. Récapitulatif

En dehors des points que nous venons de présenter, l'étude des résultats de pêche à la canne sur l'ensemble de la Polynésie fait ressortir les remarques suivantes :

- les bancs sont souvent petits et très mobiles, surtout quand il s'agit de gros poissons ;
- les meilleurs résultats ont lieu l'après-midi, mais les poissons ne répondent à l'appât que de façon assez brève ;
- la plupart des oiseaux sont associés à des bancs (94 % des vols d'oiseaux associés à du thon) (AUSTIN, 1962), mais par temps calme les bancs de surface deviennent détectables sans oiseaux ;
- dans les latitudes les plus sud, les bancs sont souvent en profondeur et il devient nécessaire de pêcher à la traîne sous les rassemblements d'oiseaux pour s'assurer de la présence du thon (BAYLIFF et HUNT, 1981).

Il faut noter également la très grande variabilité inter-annuelle des observations. Ceci est particulièrement net aux Marquises au cours des campagnes exploratoires des années 1950 et 1960. Il est très difficile de se donner une idée précise des quantités de thons disponibles pour la pêche uniquement à partir des données de ces campagnes. Mis à part le problème limitant de l'appât (qualité et quantité disponible), celles-ci ont eu lieu avec des bateaux de nature souvent très différente, et certaines périodes de l'année, notamment de juillet à septembre, ont été mal échantillonnées. L'étude de BAYLIFF et HUNT (1981) aborde ces problèmes en détail. Cependant, il en ressort que les quantités de thons disponibles pour la pêche aux Marquises sont plutôt meilleures que la moyenne du Pacifique Ouest, alors que les Tuamotu et les îles de la Société ont des ressources situées dans la moyenne.

Les rapports préliminaires de la CPS (KEARNEY et al., 1979 ; GILLET et KEARNEY, 1980) estiment que les prises d'un canneur industriel de type comparable à celui utilisé par la CPS, auraient été de 3 à 5.7 tonnes/jour aux îles de la Société. Il faut cependant remarquer que les pêches CPS ont

lieu à la période du maximum d'abondance des thons. D'autre part il n'est pas certain que les ressources en appât naturel, considérées comme insuffisantes (BOELY et al., 1980 ; JAMES, 1981 ; BAYLIFF et HUNT, 1981 ; CHABANNE, 1981), permettent sur une longue période ce rythme de capture par une flottille importante.

1.3. - Eléments pour situer la Polynésie Française dans l'hydroclimat du Pacifique Central

Si l'on ramène à une maille espace-temps significative pour la pêche, on s'aperçoit que le nombre de données hydroclimatiques dans la zone d'étude est faible. C'est la raison pour laquelle peu d'essais de synthèse ont été faits. Nous retiendrons l'un d'entre-eux, proposé par ROUGERIE et al., (1981), avant d'aborder les problèmes des fronts thermiques.

1.3.1. Eléments de synthèse (ROUGERIE et al., 1981)

"Nous nous limitons ici à schématiser les deux situations hydroclimatiques correspondant à l'été et à l'hiver austral de l'année 1980 sans perdre de vue le caractère forcément fluctuant de certaines limites hydrologiques ou isobariques.

"En été austral, (fig. 6), la troposphère polynésienne est cisailée, selon l'axe SAMOA, COOK, AUSTRALES, GAMBIER, par la zone de convergence des alizés de l'hémisphère austral, ou front des alizés, qui délimite la zone d'affrontement entre les alizés de sud-est (air néo-polaire sec et frais) et les alizés du nord-est (air néo-tropical humide) ayant contourné l'anticyclone centré sur l'île de Pâques. Ce couloir de calmes plats et de précipitations intenses constitue une zone de moindre résistance pour un flux coulant vers l'est.

"Dans le Pacifique Occidental une structure analogue appelée zone de convergence intertropicale des vents marque la confluence entre les alizés de l'hémisphère nord et ceux de l'hémisphère sud ; cette convergence intertropicale migre en été austral dans le Pacifique Sud-Occidental, à l'ouest du méridien 160° W, et se stabilise normalement à la latitude moyenne de 10° S.

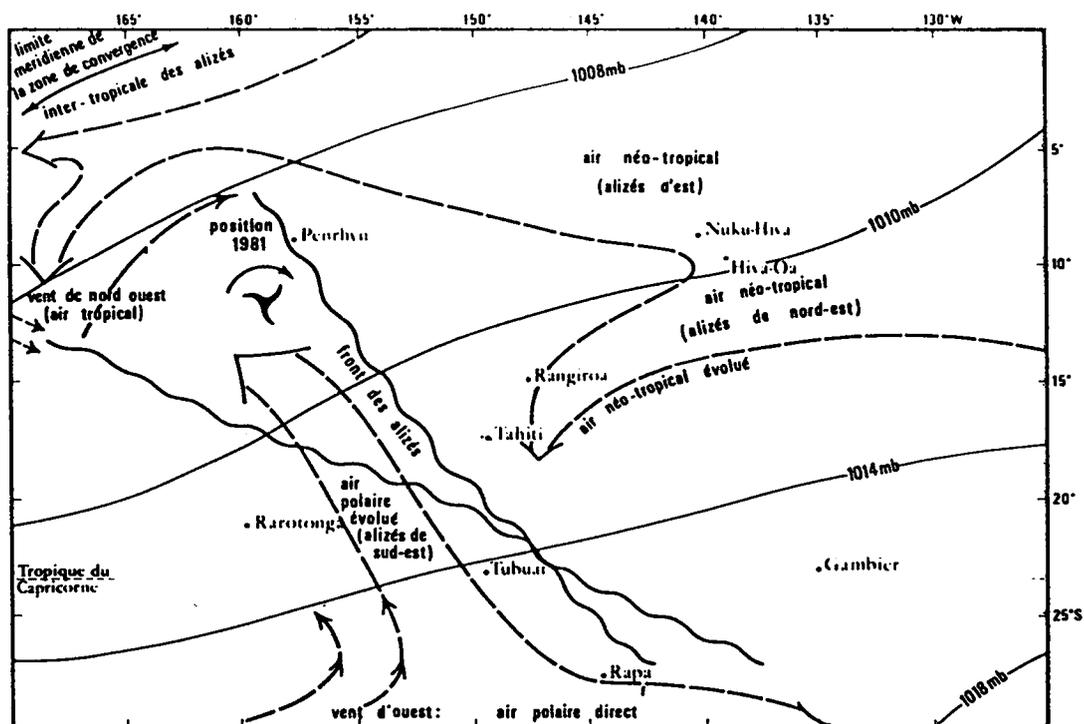


Figure 6 : Situation isobarique moyenne et circulation à 1000 mb en été austral (d'après CAUCHARD et INCHAUSPE, 1977) (ROUGERIE et al., 1981).

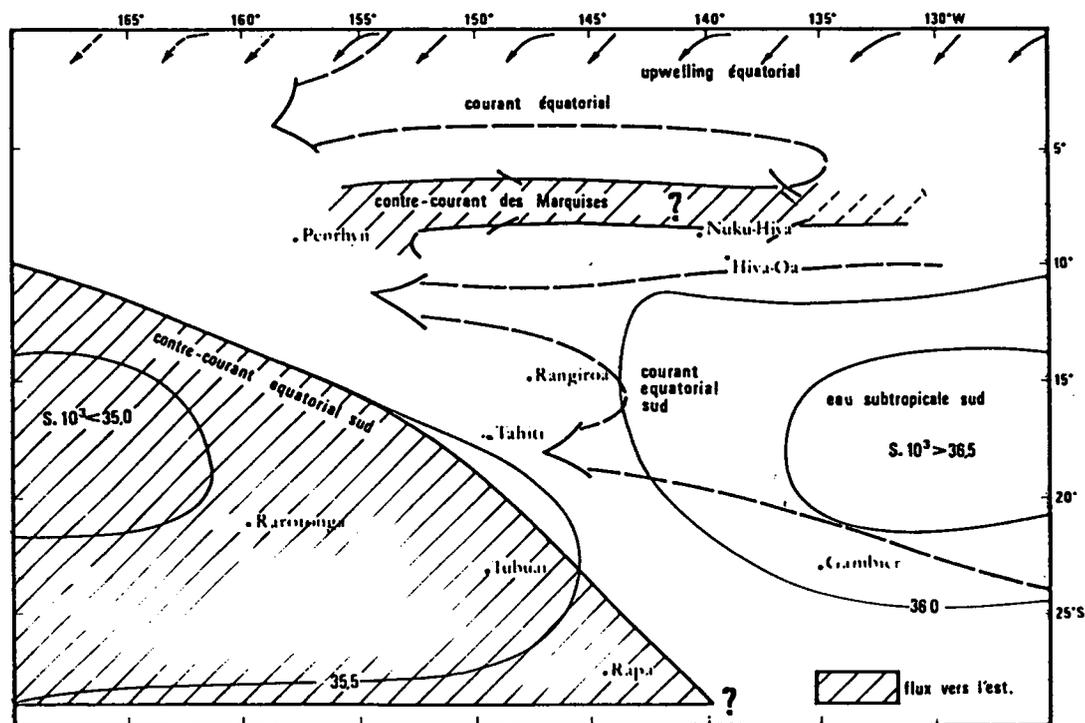


Figure 7 : Situation hydrologique moyenne et circulation océanique de surface en été Austral (ROUGERIE et al., 1981).

"Il y a donc en été austral une bande quasi-continue de convergences des vents entre le Pacifique Sud-Ouest et le Pacifique Central. Cette zone de confluence constitue l'axe zonal privilégié d'écoulement du contre-courant équatorial sud qui transporte vers l'est des eaux dessalées issues du courant côtier de Nouvelle-Guinée et de la mer des Salomon. Ce contre-courant se renforce donc en été et atteint alors la Polynésie entre les Iles de la Société et les Cook, où la dessalure des eaux de surface est entretenue par les fortes pluies associées au front des alizés (fig. 7).

"Un deuxième contre-courant, initialement mis en évidence au niveau de l'archipel des Marquises (DONGUY et ROTSCI, 1970) est également présent à 155° W (premières données du programme NORPAX) (TAFT et KOVALA, 1979). Sa largeur ne dépasse pas quelques degrés de latitude et sa salinité n'est pas, au cours du 1er semestre, très différente de celles des eaux adjacentes.

"Ni l'origine de ce contre-courant, ni ses relations avec le contre-courant équatorial sud ou avec le contre-courant équatorial de CROMWELL ne sont pour l'instant précisément connues. Toutefois DONGUY et HENIN (1981) proposent dans leur schéma de la circulation de surface du Pacifique Sud-Ouest, une liaison dynamique directe entre ce contre-courant et une veine nord de retour du courant équatorial sud.

"Ce régime d'alizés quasi-permanent entretient une dérive générale des eaux de surface vers l'Ouest, le courant équatorial sud ; à cause de sa forte densité relative, l'eau subtropicale sud est progressivement recouverte dans sa dérive vers l'ouest par des eaux plus légères de type équatorial : à la longitude de Tahiti, le coeur du noyau salé se trouve vers 100 mètres de profondeur et atteint le double sur le méridien 170° E. Dans la bande équatoriale, également soumise aux alizés d'est, la dérive générale des eaux porte aussi à l'ouest et la force de l'upwelling équatorial est directement proportionnelle à la vitesse du flux de ce courant équatorial. Lorsque à l'ouest de 160° W, la zone de convergence intertropicale des vents stationne à l'équateur, pendant les intersaisons ou au cours d'années exceptionnelles (1958, 1973), le courant équatorial et l'upwelling faiblissent et disparaissent de façon synchrone (DONGUY et HENIN, 1976).

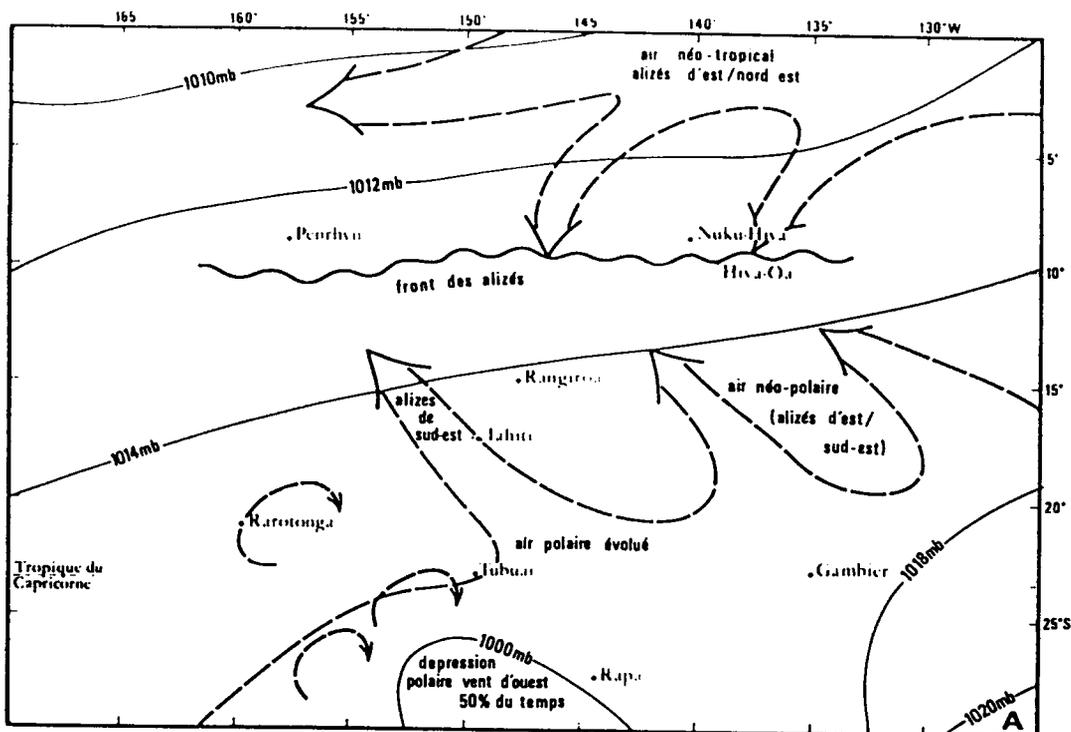


Figure 8 : Situation isobarique moyenne et circulation à 1000 mb en hiver Austral (d'après ROUGERIE et al., 1981).

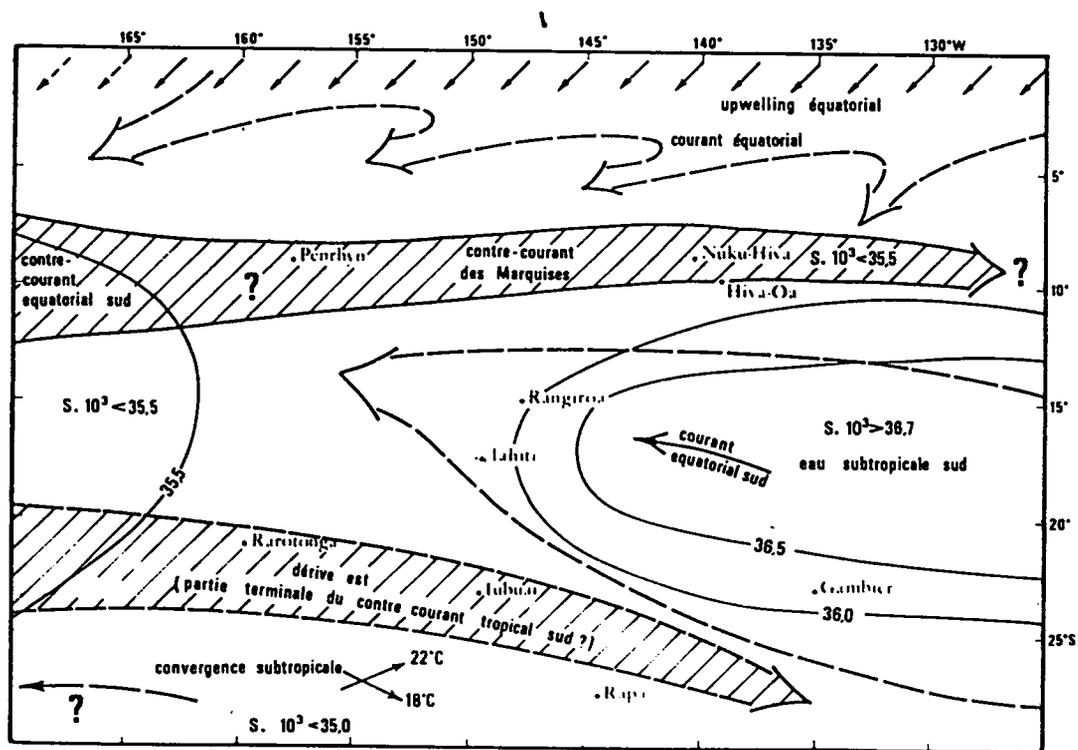


Figure 9 : Situation hydrologique moyenne et circulation océanique de surface en hiver Austral (d'après ROUGERIE et al., 1981).

"En hiver austral, le système d'alizés de sud-est se renforce en Polynésie dont l'extrême sud est sporadiquement balayé par des perturbations d'origine polaire. Il s'ensuit que le front des alizés est moins nettement délimité et oscille entre sa position estivale et la latitude 10° S (fig. 8) ; ce fut le cas en juin et juillet où les précipitations aux Marquises furent intenses, ces pluies hivernales constituant une des particularités du climat marquisien, ainsi que l'ont souligné CAUCHARD et INCHAUSPE (1977). Au plan hydrologique (fig. 9), l'écoulement du contre-courant marquisien se trouve favorisé et sa salinité faiblit fortement, ainsi qu'on a pu le vérifier en septembre, où la couche de salinité inférieure à 35,5 ‰ dépassait 50 mètres d'épaisseur. Dans leur synthèse hydroclimatique de 1981, DONGUY et HENIN (1976) estiment que, lorsque la zone intertropicale de convergence du Pacifique Ouest est sur l'équateur, il y a continuité de flux vers l'est, le long de 10° S entre les Salomon et les Marquises ; le contre-courant marquisien serait dans ce cas le prolongement du contre-courant équatorial sud, ce qui expliquerait la spectaculaire dessalure de ses eaux.

"Il y aurait donc corrélativement disparition de la branche polynésienne du flux vers l'est entre les Cook et Tahiti et augmentation rapide de la salinité : celle-ci augmente effectivement en moyenne de 0,5 ‰ au cours du second semestre. De plus, pendant l'hiver, la cellule salée de l'eau subtropicale sud se déplace vers l'ouest et arrive au nord de Tahiti.

"Au niveau de l'archipel des Australes, la dérive des eaux porte à l'est, ainsi que l'ont montré trois missions successives du "MARARA" en 1979, 1980 et 1981. Selon le modèle précité, cette dérive, favorisée par les coups de vents d'ouest de la période hivernale, serait alors la partie terminale du contre-courant tropical sud débouchant de la mer du corail entre la Nouvelle-Calédonie et le Vanuatu.

"Au sud du tropique, l'évènement hydrologique majeur est la migration vers le nord de la convergence subtropicale des eaux qui, en fin d'hiver se situe entre 25° et 30° S ; le resserrement des isothermes 22° à 18° C est alors maximal et quasi-permanent pendant le 4ème trimestre de l'année ; c'est donc la seule période de l'année où cette structure mérite réellement son nom et persiste suffisamment longtemps pour constituer une barrière thermique de blocage de la faune et, partant, une zone d'accumulation de prédateurs pélagiques".

1.3.2. Evolution des fronts thermiques (fig. 10)

Chaque semaine, la NOAA fournit, sous forme de cartes, des thermographies de surface résultant de données recueillies par satellites et soumises au traitement GOSSTCOMP.

L'examen de ces cartes, depuis 1977, permet de distinguer quelques zones préférentielles quant à la présence de fronts thermiques océaniques.

- De mars-avril à août : zone s'étalant grossièrement de 155° W à 135° W et limitée au nord par TUBUAI. L'orientation est légèrement NW-SE. Les fronts observés correspondent généralement à la présence d'un gradient thermique de 3° C ou plus dans un secteur de 5° de longitude par 2.5° de latitude (nous dirons alors "fronts de type 3 et plus").

Au cours de la même période, des gradients plus fugitifs et correspondant à des fronts de type 2 sont localisés autour des Iles de la Société sur deux semaines consécutives au plus. Ces gradients ne sont pas observés chaque année (ex. : en 1978).

- D'octobre à janvier : les fronts sont disposés "en chapelet", et orientés NW-ZE. La zone concernée se présente sous forme d'un arc s'étalant d'environ 160° W à 135° W, et passant entre les Australes et les Iles de la Société. Cet arc se divise au sud des îles de Gloucester : la partie nord longe les Tuamotu alors que la partie sud peut atteindre le 30ème parallèle. La durée de vie de ces fronts de type 3 et plus est de l'ordre de quelques semaines.

En 1978, ce schéma global est observé, mais le phénomène est nettement décalé vers l'ouest, la division entre les arcs nord et sud s'opérant légèrement à l'est de Tubuai.

La comparaison des figures 1 et 10 montre que la plupart de nos vols ont été effectués au Nord des zones à haute probabilité de présence de fronts, pour les raisons évoquées précédemment (1.1.).

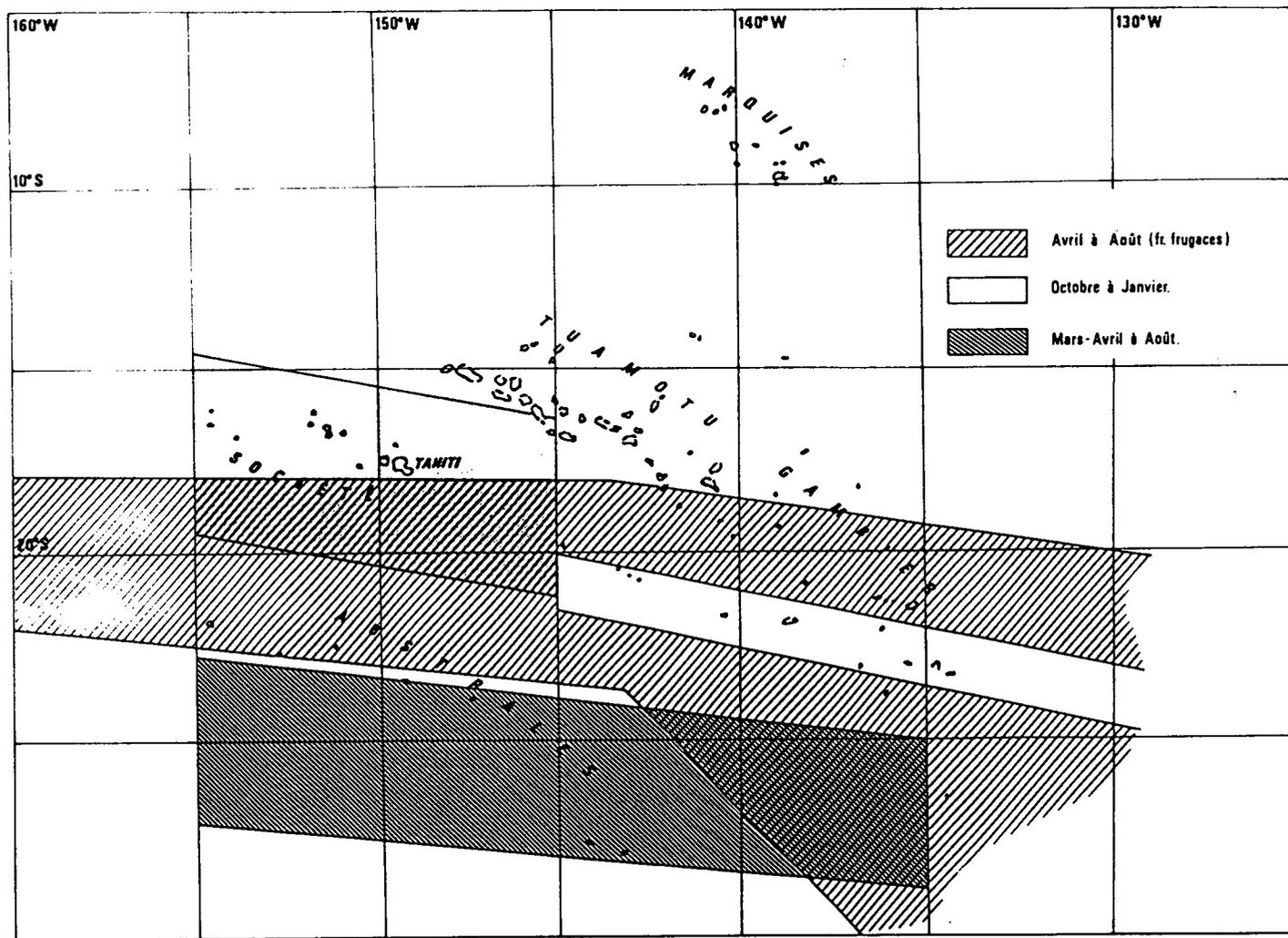


Figure 10 : Répartition saisonnière des régions présentant des gradients thermiques remarquables en Polynésie Française d'après les cartes NOAA GOSSTCOMP de 1977 à 1981

1.3.3. Productivité des eaux polynésiennes

(F. ROUGERIE, communication personnelle)

"La grande transparence des eaux du Pacifique Central Tropical Sud constitue le signe non équivoque d'une faible charge sestonique, et donc d'une faible densité en organismes zooplanctoniques et phytoplanctoniques. Les évaluations de la production primaire pélagique, par la mesure de la charge en phytopygments chlorophylliens donnent les chiffres généralement voisins de 0,1 mg/m³ en chlorophylle-a, ce qui situe cette zone océanique parmi les moins productives de l'océan tropical mondial. Lorsque l'on prend en compte les paramètres physico-chimiques qui contrôlent la production primaire en Polynésie, on constate que les teneurs en sels nutritifs dissous sont effectivement très basses à l'intérieur de la couche éclairée (ou couche euphotique) où seuls peuvent avoir lieu les processus de production autotrophe du phytoplancton. Cette relative carence en sels nutritifs azotés, phosphatés et silicatés constitue généralement le facteur limitant la production de la zone marine tropicale, mais ce phénomène est plutôt aggravé dans le Pacifique Central Sud du fait de la plus grande épaisseur de la couche superficielle ; l'océan est en état de stratification thermique maximale ce qui empêche tout mélange turbulent entre les couches superficielles épuisées en nutriments et les couches subsuperficielles et intermédiaires beaucoup plus riches en éléments nutritifs, à partir de 200 à 300 mètres de profondeur.

*"Ce faible niveau de production primaire globale ne sera donc notablement augmenté que dans les zones où pourront se produire des remontées d'eau vers les couches superficielles, remontées appelées *doming* ou même *upwelling* lorsque le phénomène atteint la surface.*

"Dans le Pacifique Central Sud, ces zones privilégiées sont peu nombreuses et restreintes à 2 structures zonales :

*- la bande équatoriale, où coule vers l'ouest, sous l'action des alizés d'est, le courant équatorial : les eaux de celui-ci divergent à l'équateur par effet de CORIOLIS, ce qui déclenche une remontée d'eau dans le plan vertical ; cet *upwelling* équatorial est facilement mis en évidence*

par le refroidissement thermique qui lui est associé et qui peut dépasser 2°C en surface. La productivité y est significativement plus forte que dans les eaux adjacentes et les teneurs en chlorophylle-a peuvent dépasser 2 mg/m^3 en surface. Bien que située en dehors de la limite nord de la Z.E.E. polynésienne, la divergence équatoriale a certainement un effet positif sur la productivité des eaux au nord de l'archipel des Marquises.

- le doming associé à la limite sud du contre-courant des Marquises (Voir II, 1.6) : l'augmentation de la production primaire est notable entre 50 et 150 mètres de profondeur, les teneurs en chlorophylle pouvant alors atteindre $0,8\text{ mg/m}^3$.

"En dehors de cette zone Equateur - Marquises, des phénomènes plus ponctuels peuvent améliorer le rendement photosynthétique. Ce sont :

- les effets d'îles ou d'archipels : les obstacles que constituent les îles pourraient être générateurs de tourbillons au sein des flux océaniques ; les effets bénéfiques potentiels sur les paramètres physico-chimiques sont cependant difficiles à mettre en évidence, même avec une expérimentation appropriée (BOURRET et al., 1979).

Les observations faites autour des îles Australes n'ont d'ailleurs jamais révélé de phénomènes d'advection verticale, et la zone marine située entre 20° et 35° sud-est, au plan des teneurs en nutriments, est l'une des plus oligotrophes qui soient. Les teneurs superficielles en chlorophylle-a y sont toujours inférieures à $0,1\text{ mg/m}^3$, et seule une couche située entre 130 et 180 m possède des teneurs un peu plus élevées, de $0,2$ à $0,4\text{ mg/m}^3$.

- les effets de lagon, déclenchés par le délestage des eaux ayant subi un transit lagonaire ; ces eaux sont généralement enrichies en organismes phyto et zooplanctoniques, en larves et en petits poissons ; ces divers organismes ont un effet très attractif sur les thonidés, ce qui fait que les zones de passe des lagons sont des lieux d'agrégation et de pêche privilégiés, ce que savent bien tous les pêcheurs polynésiens.

"Au plan de la production secondaire, il est plus difficile de quantifier les différents niveaux d'abondance, mais les travaux actuels confirment la pauvreté globale de la zone polynésienne. Sur un axe Australie-Amérique Centrale, les densités de copépodes de la couche de surface sont en moyenne supérieures à 100 dans le sud de la Mer du Corail, comprises entre 50 et 80 entre la Nouvelle-Calédonie et les Tonga, inférieures à 20 en Polynésie, puis atteignent 300 à l'équateur et dépassent 1000 à l'est des Galapagos, (DESSIER, 1981), la zone marine polynésienne se situe donc au bas de l'échelle de productivité océanique tropicale et ne paraît donc pas devoir supporter les mêmes populations de prédateurs pélagiques tertiaires que les eaux bordurières du Pacifique".

2 - TRAITEMENTS DES DONNEES ET RESULTATS DE LA PROSPECTION AERIENNE

Les données brutes recueillies par l'avion ont été fournies dans les rapports préliminaires n° 1 (MARSAC, 1981), n° 2 (BOUR, 1981), n° 3 (PETIT, 1981) et n° 4 (PETIT et GOHIN, 1981), avec les cartes GOSSTCOMP et les cartes météorologiques correspondantes. Ces données sont disponibles sur support informatique au Centre ORSTOM de Nouméa.

2.1. - Influence des facteurs de l'environnement sur l'observation aérienne de thonidés

Pour le développement qui suit, il est nécessaire de garder à l'esprit les définitions suivantes :

- un "enregistrement" sera une suite de paramètres comprenant : la date, la position, l'heure, la température de surface, la nébulosité, les observations biologiques s'il y a lieu, l'état de la mer et la couleur de l'eau, la direction et la vitesse du vent. Il y a, en moyenne, un enregistrement toutes les 5 minutes de vol, c'est-à-dire tous les 12 milles parcourus. Un enregistrement correspond donc à une unité de temps passé sur une zone.

- une "observation" sera un enregistrement présentant des observations de thonidés.

L'analyse de l'abondance relative des observations de thonidés porte sur les paramètres suivants : vent, état de la mer, moment de la journée, nébulosité, température de surface, courant de surface, couleur de l'eau, distance à la terre. L'influence des deux premiers paramètres nous a conduits à définir la notion d'enregistrement pondéré.

2.1.1. Vent et état de la mer

La corrélation entre vitesse du vent et état de la mer est si forte que seul sera étudié le premier paramètre. La figure 11 montre que les périodes de vent inférieurs à force 3 (11 noeuds) (62 % du temps de vol) ont prévalu sur les périodes de vent de force 4 (soit 11 à 16 noeuds : 30 %) et sur les périodes de vents forts, supérieurs à 16 noeuds (8 %). Les observations de thonidés faites par vents faibles sont plus fréquentes (53 %) que celles réalisées par vents supérieurs à 16 noeuds (14 %), bien que 33 % des observations aient été faites par force 4.

Dès que l'on s'éloigne des îles, le rôle du vent est directement lié à son action sur la mer qui se couvre de crêtes blanches à partir de 10-12 noeuds. Ceci rend difficile l'observation, d'autant plus qu'alors, le banc a tendance à "couler" plus rapidement. Le pourcentage d'observations par vent de 11 à 16 noeuds, élevé si on le compare aux résultats obtenus dans d'autres zones, est probablement dû aux nombreuses îles qui masquent l'effet du vent.

2.1.2. Moment de la journée

Les histogrammes de la figure 12 montrent qu'après 13 h, le nombre de mattes observées, en regard de l'effort de recherche, devient plus important. Ce phénomène est particulièrement net pour la région des Marquises. Ce résultat est à rapprocher de l'augmentation de rendement après 15 h, observée par les canneurs.

Les conditions météorologiques varient en fonction du moment de la journée. De ce fait, on ne peut pas accorder la même importance à une observation suivant qu'elle est faite dans de bonnes ou mauvaises conditions météorologiques, tôt ou tard dans la journée.

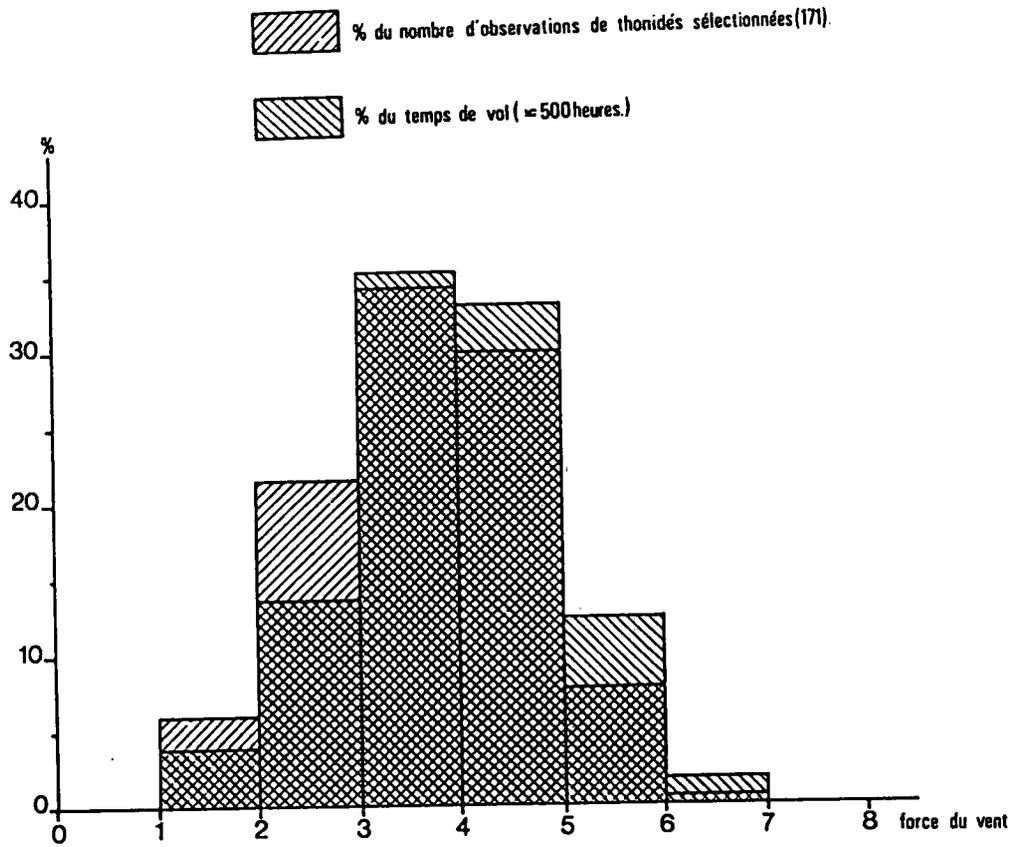


Figure 11 : Influence de la force du vent sur les observations de thonidés

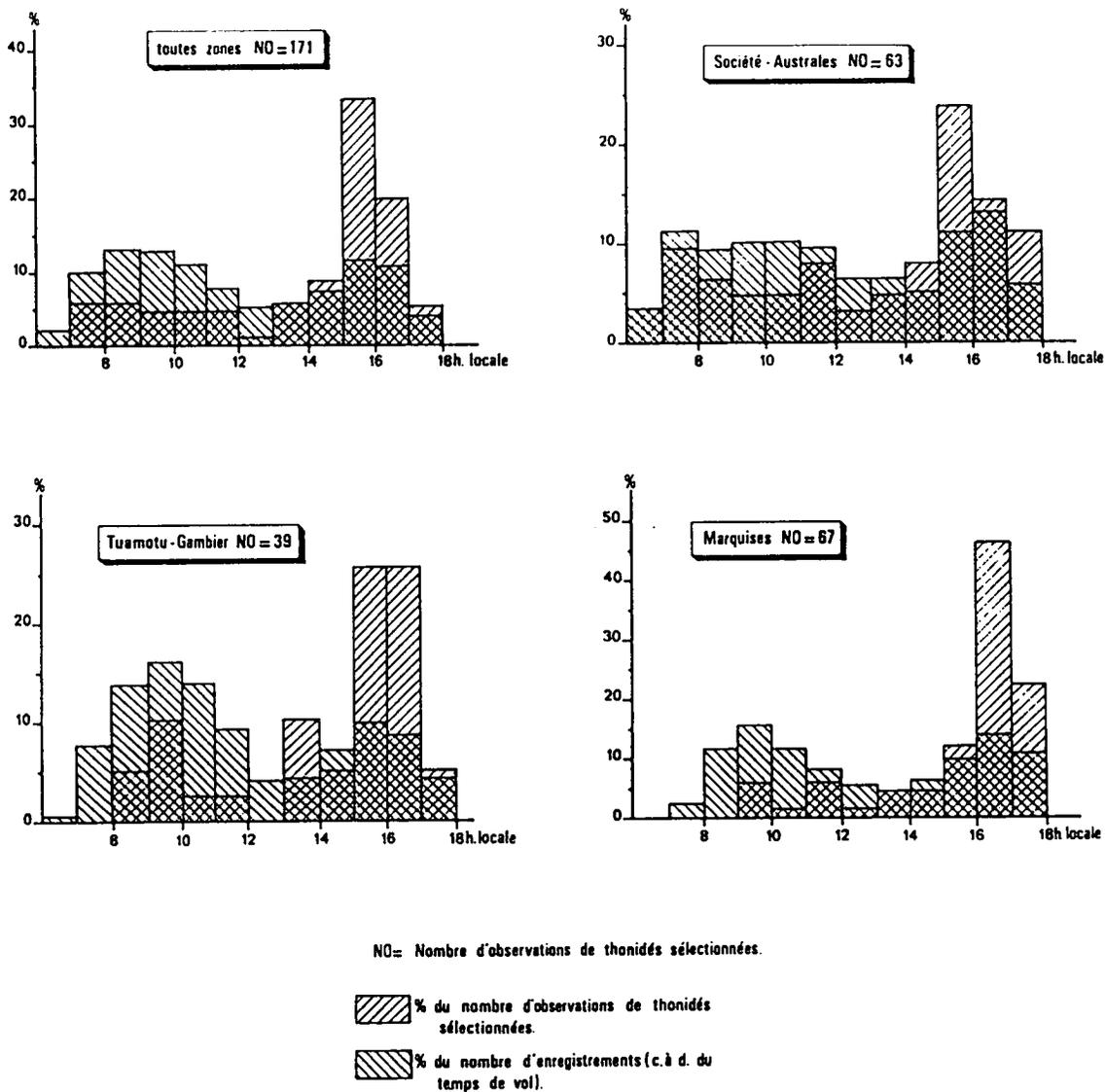


Figure 12 : Influence du moment de la journée sur les observations de thonidés

2.1.3. Notion d'enregistrement pondéré

Pour évaluer l'influence des facteurs de l'environnement sur l'abondance des observations de thonidés, il est apparu obligatoire de masquer l'influence des conditions météorologiques et du moment de la journée par un jeu de coefficient. Ces coefficients seront appliqués de façon à pondérer chaque enregistrement en fonction des différents paramètres.

Soit P la probabilité de voir une matte :

$$P(i,j) = a(i) \times b(j) \times C$$

Avec a(i) correspondant à l'effet du facteur i

b(j) " " " " " j

C = constante.

a(i) correspond à la météorologie avec 3 niveaux

a(1) : mer belle, vent inférieur à 11 noeuds

a(2) : mer belle à peu agitée, vent de 11 à 16 noeuds

a(3) : mer agitée à forte, vent de plus de 16 noeuds.

b(j) correspond au moment de la journée avec 3 niveaux

b(1) : matin avant 9 heures locales

b(2) : de 9 heures à 15 heures

b(3) : à partir de 15 heures.

La méthode exposée dans l'annexe A et déjà utilisée pour traiter les données de la région Nouvelle-Calédonie-Vanuatu (plus de 1300 heures de vol) (PETIT et GOHIN, 1982 ; PETIT et HENIN, 1982), a été appliquée à l'ensemble des vols effectués en Polynésie Française. Elle a permis l'estimation des coefficients de P (tableau 5).

Nous retrouvons ici, quantifiés, les résultats énoncés précédemment (2.1.1. et 2.1.2.). Les vols du soir sont en général beaucoup plus efficaces (à conditions égales) que ceux du milieu ou du début de la journée. Ainsi, lorsque les conditions optimales sont réunies (vol le soir, par mer calme) la probabilité de voir une matte en surface, par rapport à un

Tableau n° 5 - Estimation des coefficients de P

NB : Par hypothèse dans un premier temps, les facteurs i et j sont indépendants du lieu géographique.

Effet du facteur	Niveau	Estimation des coefficients de P.
a(i)	i = 1 : mer belle	1,26
	i = 2 : mer peu agitée	0,81
	i = 3 : mer agitée	0,63
b(j)	j = 1 : avant 9 heures	0,40
	j = 2 : de 9 à 15 heures	0,69
	j = 3 : après 15 heures	2,09

Tableau n° 6 - Pourcentage des observations de thonidés (1) et pourcentage enregistrements pondérés (2) selon la nébulosité et les zones prospectées (rapport R = (1)/(2)).

		Toutes Zones	Marquises	Tuamotu	Société
Temps couvert à pluvieux	(1)	48,4	44,4	53,4	47,8
	(2) R	43,3 <u>1,1</u>	33,4 <u>1,3</u>	38,2 <u>1,4</u>	30,7 <u>0,9</u>
Temps peu nuageux	(1)	20,0	17,8	29,5	16,5
	(2) R	32,8 <u>0,6</u>	30,0 <u>0,6</u>	44,3 <u>0,7</u>	25,8 <u>0,6</u>
Temps très clair	(1)	31,6	37,8	17,1	35,7
	(2) R	23,9 <u>1,3</u>	36,6 <u>1,0</u>	17,5 <u>1,0</u>	23,5 <u>1,5</u>

Tableau n° 7 - Comparaison des deux pourcentages observés pc et pt par la méthode de l'écart réduit

pc = Z d'observations dans les enregistrements pondérés d'une classe de la température

pt = Z d'observations dans les enregistrements pondérés du reste des données.

Zones Classes de température	Toutes Zones	Marquises	Tuamotu	Société
26,0 à 26,4	ε = 1,36	*	*	0,16
26,5 à 26,9	1,15	2,13	1,31	1,39
27,0 à 27,4	1,62	1,55	0,70	<u>3,54</u>
27,5 à 27,9	<u>3,70</u>	<u>5,58</u>	0,65	2,12
28,0 à 28,4	0,02	1,79	0,62	0,89
28,5 à 28,9	0,30	*	*	*

* échantillon insuffisant pour l'application de ce test.

Rappel : si $|\epsilon| \geq 2,58$ la différence entre pc et pt est significative avec un risque de $\leq 1\%$.

vol effectué, par exemple, par mer peu agitée à midi, est multiplié par :

$$\frac{2,09 \times 1,26}{0,69 \times 0,81} \quad \text{soit } 4,7 \text{ selon le modèle.}$$

Pour connaître l'influence de la nébulosité et de la température de surface, nous multiplions chaque enregistrement par a(i) et b(j) en fonction des conditions (météo et heure) où il a été effectué, pondérant ainsi leurs effets (enregistrement pondéré).

2.1.4. Nébulosité (fig. 13)

Un rapport R est calculé comme étant le quotient du pourcentage des observations de thonidés par le pourcentage des enregistrements pondérés. De par sa définition, R indique une influence faible du facteur s'il est proche de 1 ; si R est supérieur à 1, cela signifie que le niveau de nébulosité correspondant favorise l'observation des thonidés, et inversement si R est inférieur à 1.

Le tableau 6 indique que le temps couvert à pluvieux (43,3 % des enregistrements pondérés) a prévalu sur le temps peu nuageux (32,8 %) et le temps très clair (23,9 %). Les observations de mattes ont été relativement plus importantes ($R > 1$) par temps couvert et temps très clair. Cependant, dans le secteur "Société" les observations prédominent lorsque le ciel est sans nuage.

D'une façon générale, ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que les situations nuageuses ont tendance à faire "sortir le poisson". D'autre part, en Polynésie, nous avons remarqué qu'il était très difficile de repérer les mattes à plus d'un mille de l'avion. Cette difficulté est certainement accrue par temps peu nuageux où les reflets sont plus nombreux.

2.1.5. Température de surface (fig. 14)

Les enregistrements ont été pondérés selon la méthode exposée précédemment. La figure 14 montre que les observations prédominent entre 27° C et 28° C. La comparaison entre le pourcentage 'pc' des observations dans les

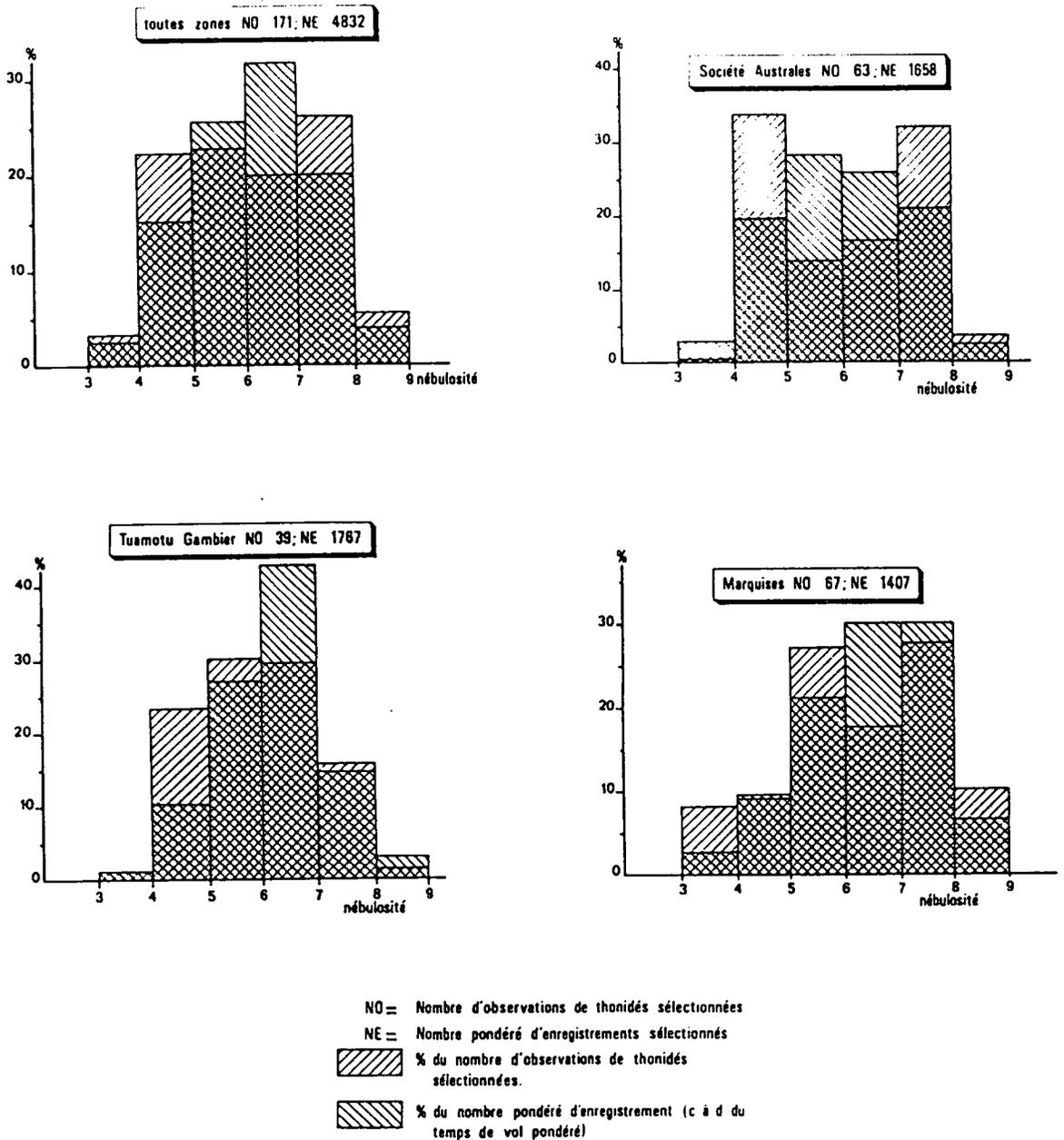


Figure 13 : Influence de la nébulosité sur les observations de thonidés

enregistrements d'une classe de température et le pourcentage "pt" correspondant au reste des classes peut se faire en utilisant la variable aléatoire "ε". La distribution de cette variable peut être assimilée à une loi normale centrée réduite si nc est supérieur à 30 (FISHER et YATES, 1957).

$$\varepsilon = \frac{pc - pt}{\frac{pq}{nc} + \frac{pq}{nt}}$$

avec nc et nt le nombre des enregistrements

p = proportion d'observations évaluée sur l'ensemble des enregistrements

$$q = (1 - p)$$

Le tableau 7 récapitule les résultats obtenus par classe de température et par secteur. Il fait ressortir l'intérêt d'avoir des cartes thermiques pour les secteurs des Marquises et de la Société, si les pêches futures corroboraient ces résultats.

Enfin, au cours de nos prospections, aucun gradient thermique de surface important n'a été trouvé si ce n'est en septembre 1981 vers 18°30'S et 151°30'W. Cependant, même dans cette région, compte tenu de la proximité de hauts fonds, il est difficile de savoir qui, de la présence de ces hauts fonds ou du front thermique, est prépondérant sur la concentration du poisson.

2.1.6. Courants océaniques superficiels

Les mesures directes de courants océaniques en Polynésie sont peu nombreuses et les caractéristiques de l'advection superficielle ne sont que grossièrement connues, malgré les missions récentes du N.O. CORIOLIS, du B.C.B. MARARA et le programme U.S. NORPAX (entre HAWAII et TAHITI en 1978 et 1979).

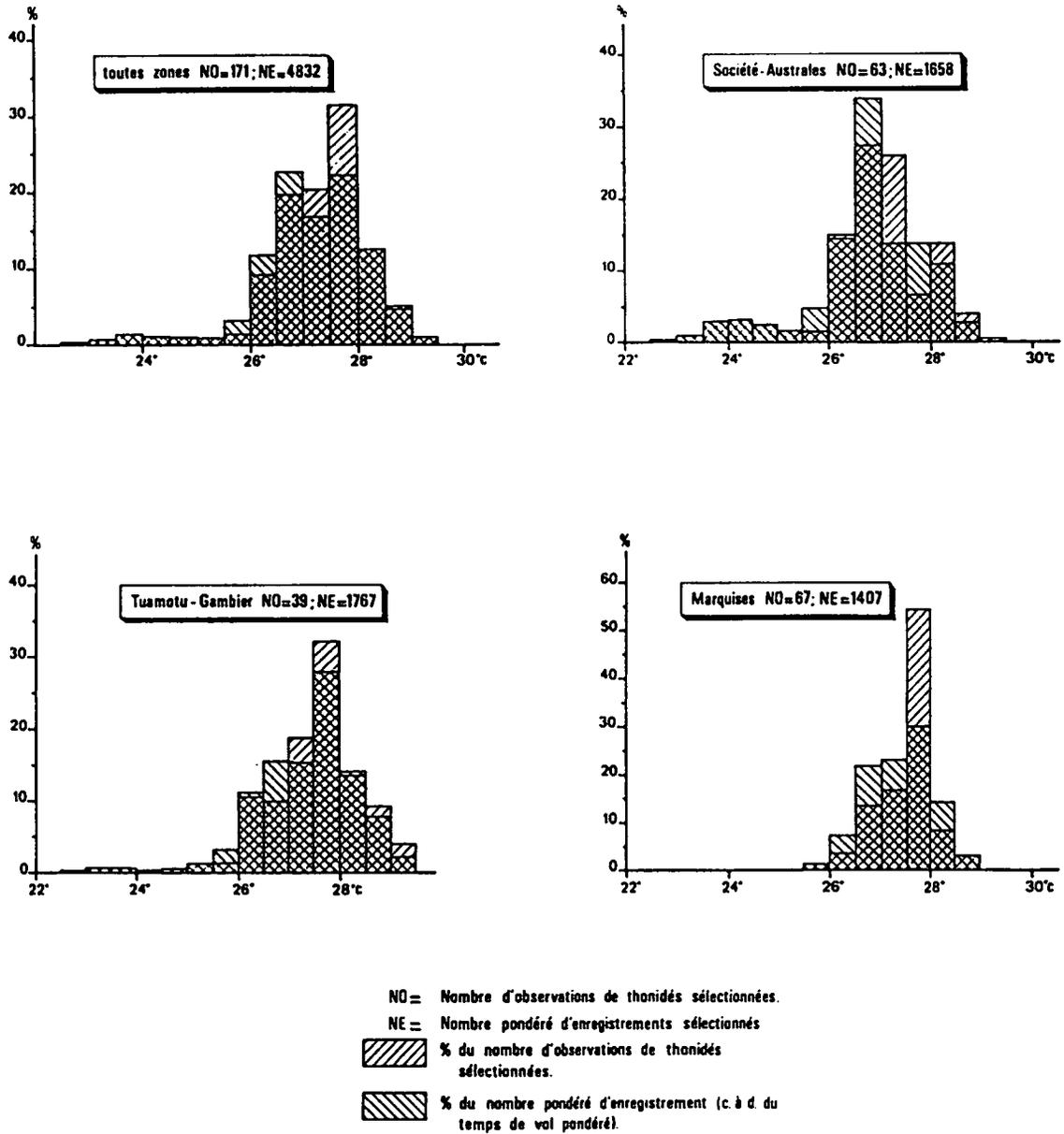


Figure 14 : Influence de la température de surface sur les observations de thonidés

Du fait d'un régime bien établi d'alizés d'est, la dérive de la couche océanique de surface est dans la zone tropico-équatoriale globalement dirigée vers l'ouest, avec une vitesse moyenne de l'ordre de 25 à 50 cm/s. Cette advection ne se fait pas de façon uniforme, mais procède plutôt par grands tourbillons ainsi que le montrent les résultats du Programme GARPPEMG à partir des trajectoires de bouées libres émettant sur le système ARGOS (Météorologie Nationale, 1979). Dans ce schéma global de dérive vers l'ouest, la mise en évidence de flux dirigés vers l'est, en sens opposé à celui des alizés, constitue donc une étape importante dans la connaissance de la zone marine polynésienne. Ce fut le cas en particulier lors de la description du contre-courant des Marquises (DONGUY et ROSTCHI, 1970) et du doming existant à sa limite sud (vers 10° Sud) et qui constitue une zone de forte production primaire. Bien que les éléments de la balance géostrophique de ce contre-courant dont la largeur moyenne est de 200 à 300 km ne soient pas encore quantifiés, il semble que son flux soit maximal (50 à 80 cm/s) en hiver austral, époque où le front des alizés s'installe à la latitude des Marquises. Le doming superficiel se renforce alors, mais la limite de l'extension vers l'est de ce contre-courant n'est pas connue ; la limite ouest et donc la zone de différenciation se trouvent vers l'atoll de Penrhyn (9° S - 158° W).

Les thonidés repérés à mi-distance entre Rangiroa et Nuku-Hiva étaient peut être associés à ce contre-courant et au doming qui lui est lié (PETIT et GOHIN, 1981). Dans ce cas, une bande proposée à la pêche, au moins pendant une période de l'année, s'étendrait autour de la latitude 10° S, à partir 158° W vers l'est où la limite n'est pas connue.

2.1.7. Distance des côtes

Compte tenu de l'effet agrégatif des îles, hauts fonds et atolls, sur les thonidés, on comprend l'importance de ce paramètre. Il n'est cité ici que pour mémoire et sera étudié, pour la clarté de l'exposé, dans le paragraphe 2.3.4.

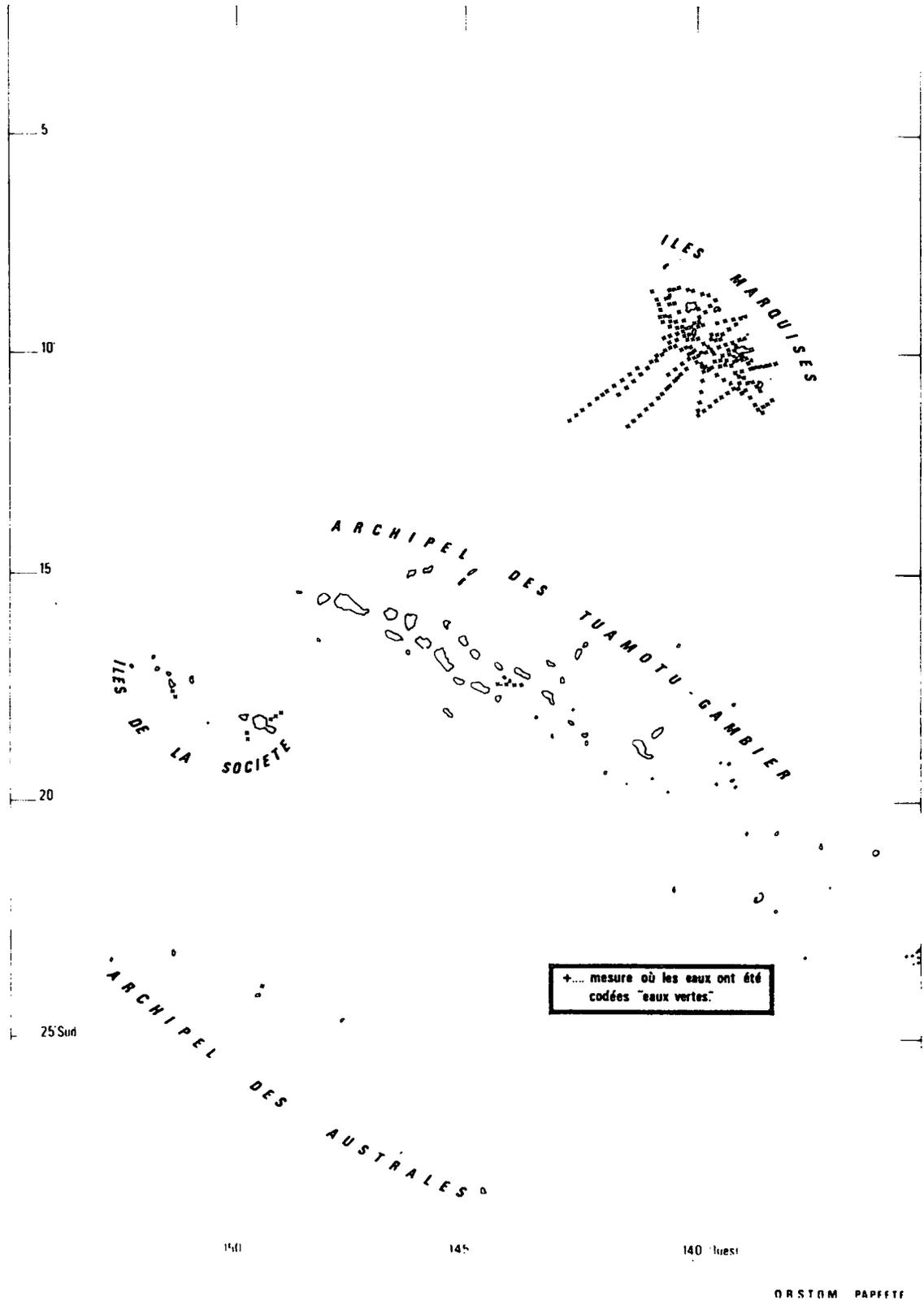


Figure 15 : Répartition des "eaux vertes"

2.1.8. Couleur de l'eau

Sous l'appellation "eaux vertes", nous avons codé dans nos données deux types d'information :

- lorsque l'eau est verte ;

- les lignes de phytoplancton (jaunes, vertes ou marron). Ces lignes peuvent avoir plusieurs dizaines de milles de long sur quelques dizaines de mètres de large ; elles sont visibles lorsque la mer est calme et semblent être parallèles aux lignes de courant. Nous avons trop peu d'informations de ce type (fig. 15) pour faire une analyse approfondie mais il semble que les secteurs correspondants présentent une richesse biologique plus grande.

2.2. - Répartition spatiotemporelle des observations aériennes des thonidés

Selon les conditions météorologiques et selon le moment de la journée, l'efficacité d'un vol, c'est-à-dire la probabilité de voir du poisson, sera plus ou moins forte, toutes choses étant égales par ailleurs (cf. 2.1.). Ceci nous amène à définir la notion d'effort de recherche.

2.2.1. Définition de l'effort de recherche et de l'indice d'efficacité

Le principal intérêt du modèle précédemment utilisé est de pouvoir éliminer dans le traitement des données l'influence de deux facteurs : état de la mer (a(i)) et moment de la journée (b(j)). Aussi, choisirons-nous comme unité d'effort de recherche, l'enregistrement pondéré et non l'heure de vol.

Exemple ; - un vol de 5 heures effectué dans des conditions moyennes aura pour coefficients de pondération : 1 pour l'état de la mer et 1 pour le moment de la journée. Pour ce vol le nombre d'unités d'effort de recherche sera de :

$$ER = 5 \times 12 \times 1 \times 1 = 60 \text{ unités}$$

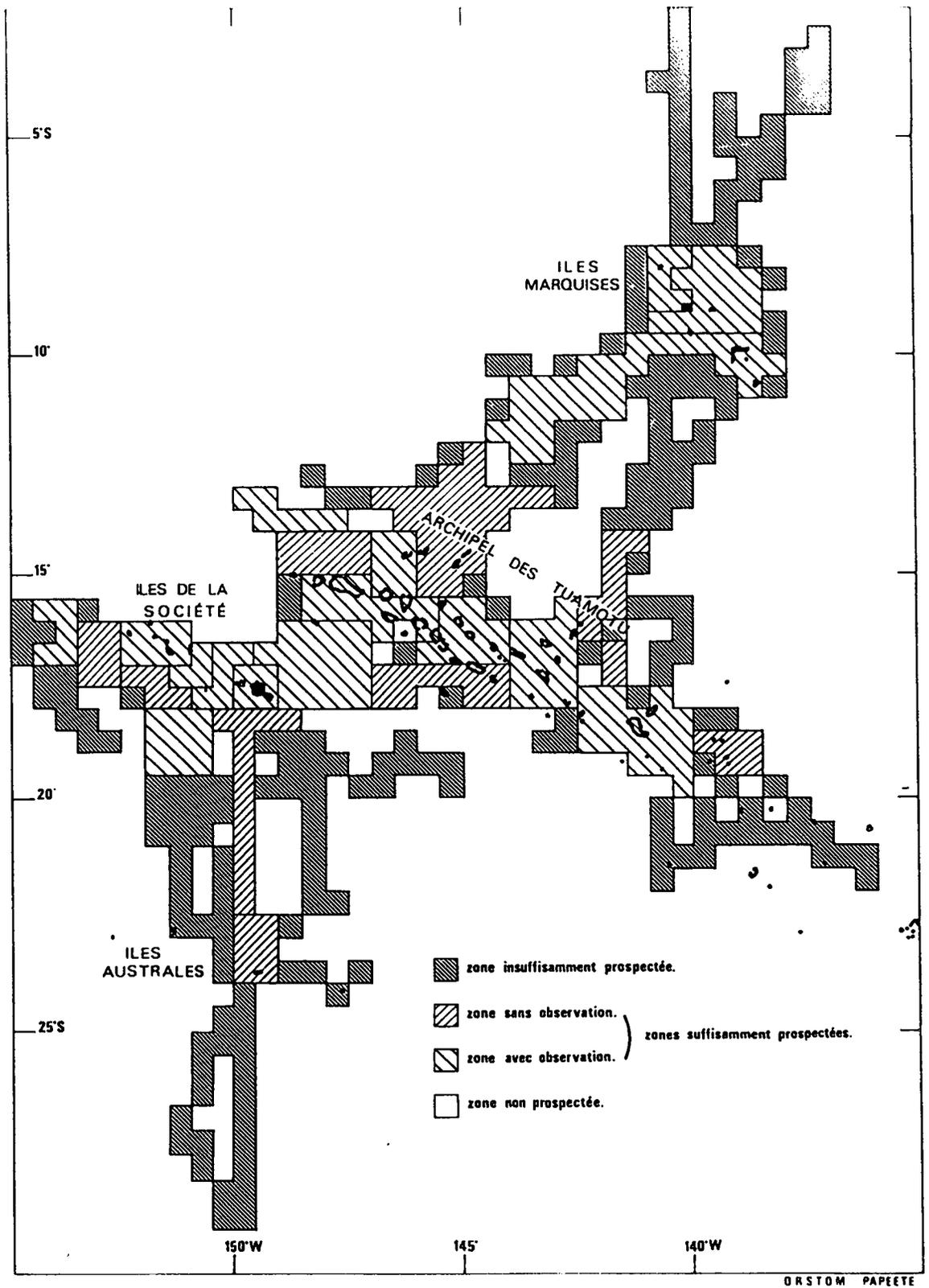


Figure 16 : Délimitation des zones suffisamment prospectées

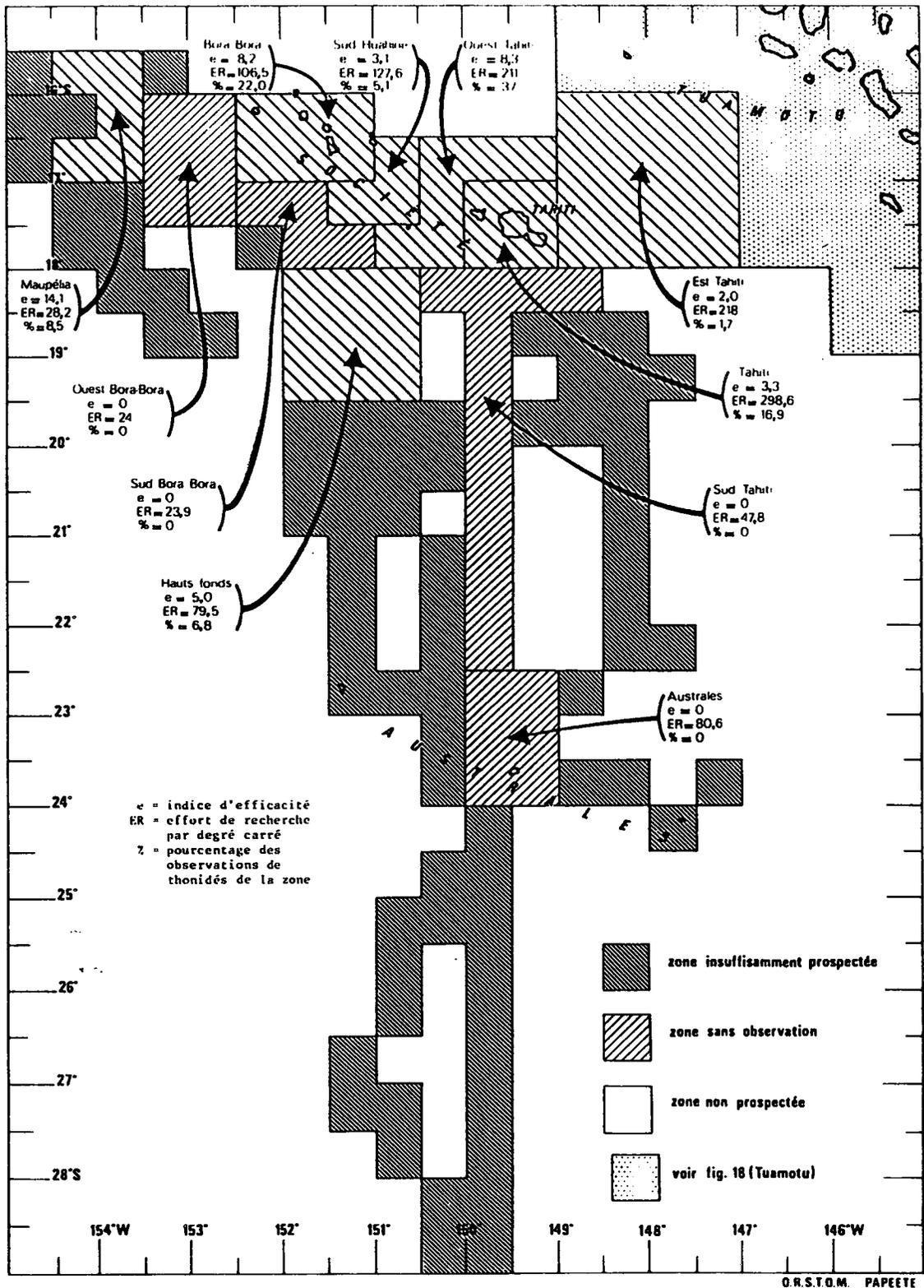


Figure 17 : Zones prospectées dans les Iles de la Société et Australes

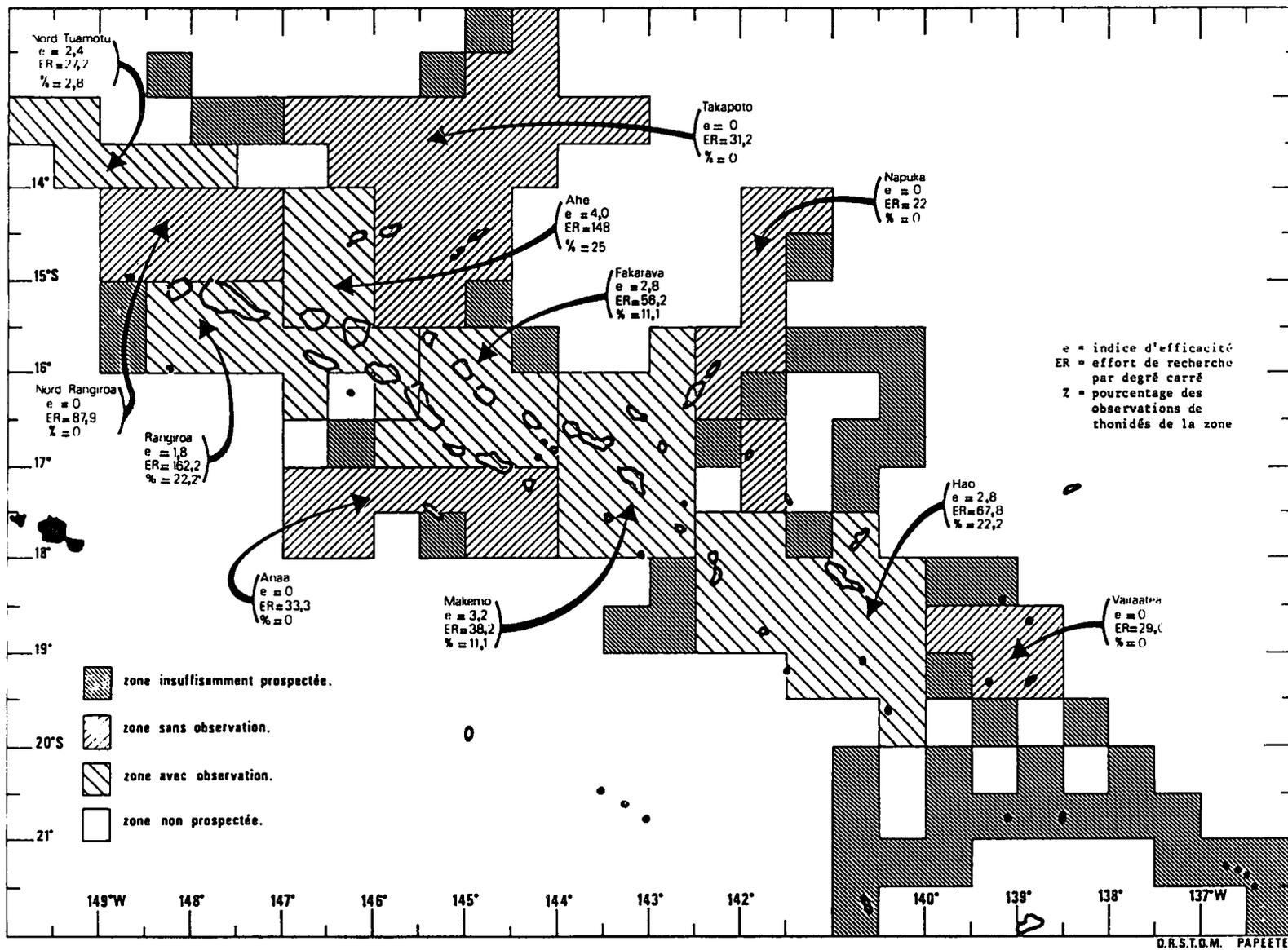


Figure 18 : Zones prospectées aux Tuamotu :

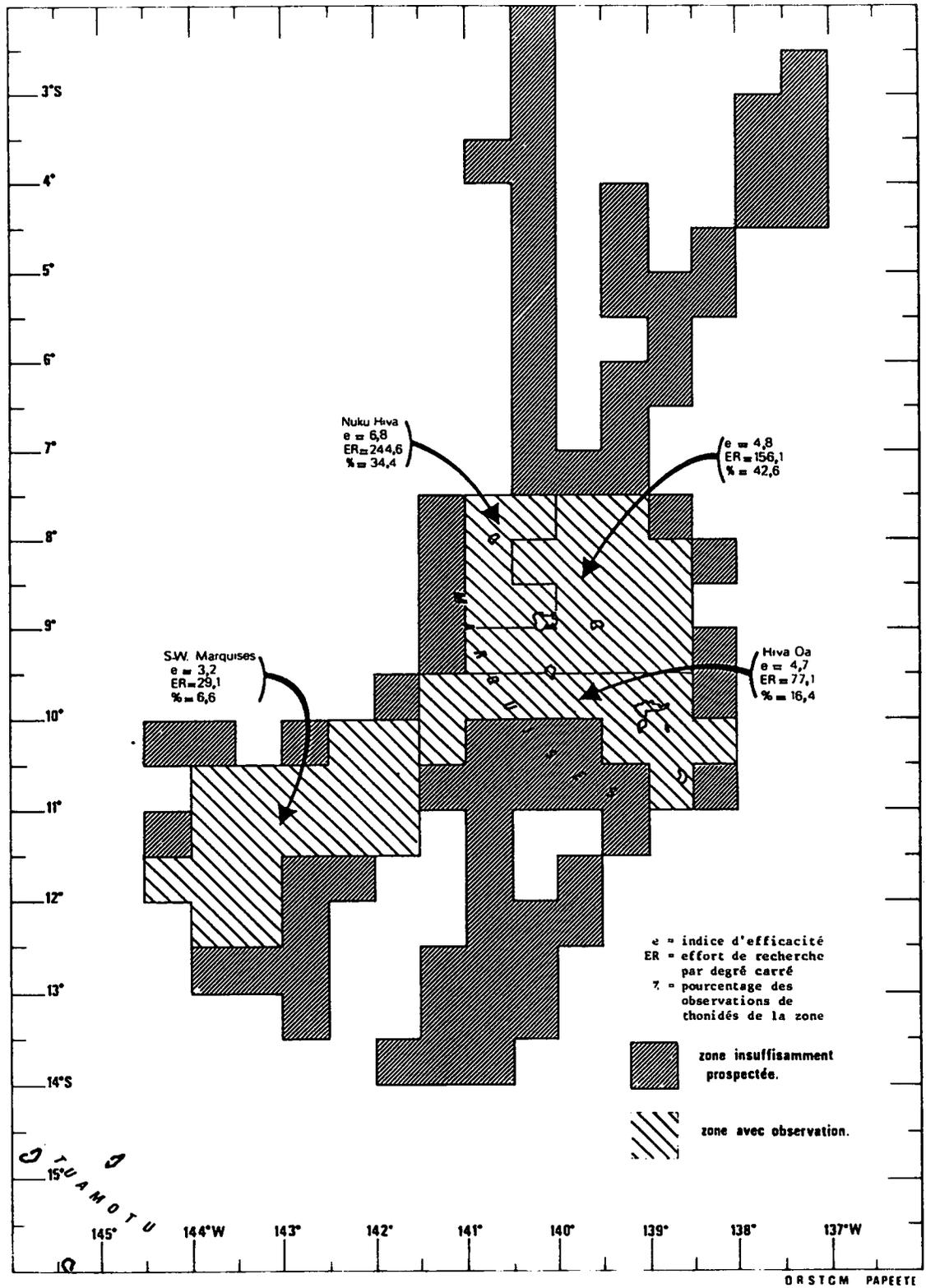


Figure 19 : Zones prospectées aux Marquises :

(rappel : il y a, en moyenne, un enregistrement toutes les 5 minutes)

- un vol de 3 heures effectué le soir par temps calme aura pour coefficients de pondération : 1,26 pour l'état de la mer et 2,09 pour le moment de la journée. Pour ce vol, le nombre d'unités d'effort de recherche sera de :
 $ER = 3 \times 12 \times 1,26 \times 2,09 = 95$ unités.

On appellera "efficacité" ou "densité" d'un vol l'indice :
 $e = \text{nombre d'observation} / 100 \text{ unités ER.}$

L'indice d'efficacité rapporté à un secteur, par exemple 1 degré carré, sera fonction de l'abondance relative du poisson. Cet indice sera d'autant plus intéressant qu'il sera important.

2.2.2. Répartition spatiale des observations

Compte tenu des régions prospectées, trois zones d'étude ont été retenues : SOCIETE - AUSTRALES ; TUAMOTU ; MARQUISES.

Nous avons découpé chaque zone d'étude en éléments (carré de 0,5 degré de côté), calculé les ER, puis regroupé les éléments d'efficacité comparable. La prospection a été considérée insuffisante pour les éléments présentant un $ER < 20$ (fig. 16).

Pour chaque ensemble d'éléments comparables, nous avons noté l'efficacité, l'effort de recherche ER rapporté à une surface de un degré-carré, ainsi que le pourcentage de thonidés observés dans la zone.

Les cartes (fig. 17, 18, 19) qui résultent de ces traitements montrent que les régions insuffisamment prospectées correspondent aux accores des zones d'études et au transit entre les zones.

Le classement des secteurs par indice d'efficacité décroissant d'après le Tableau 8 est le suivant :

Tableau n° 8 - Variation géographique d'abondance des observations de thonidés (voir texte)

<u>SOCIETE</u>					<u>TUAMOTU</u>					<u>MARQUISES</u>				
Clas.	Secteur	e	ER/ (degré) ²	% Obs.	Clas.	Secteur	e	ER/ (degré) ²	% Obs.	Clas.	Secteur	e	ER/ (degré) ²	% Obs.
1	Mopelia	14,1	28	8,5	1	Ahe	4,0	148	25,0	1	Nuku-Hiva	6,8	245	34,4
2	Ouest Tahiti	8,2	211	37,2	2	Makemo	3,2	38	11,1	2	Ua Huka	4,8	156	42,6
3	Bora-Bora	8,2	107	22,0	3	Fakarava	2,8	56	11,1	3	Hiva-Oa	4,7	77	16,4
4	Hauts Fonds	5,0	80	6,8	4	Hao	2,8	68	22,2	4	SW Marquises	3,2	291	6,6
5	Tahiti Moorea	3,3	299	16,9	5	Nord Tuamotu	2,4	27	2,8					
6	Sud Huahine	3,1	128	5,1	6	Rangiroa	1,8	162	22,2					
7	Est Tahiti	2,0	218	1,7	7	Vairaatea	0	29	0					
8	Sud Bora-Bora	0	24	0	8	Napuka	0	22	0					
9	Ouest Bora-Bora	0	24	0	9	Anaa	0	33	0					
					10	Nord Rangiroa	0	88	0					
					11	Takapoto	0	31	0					

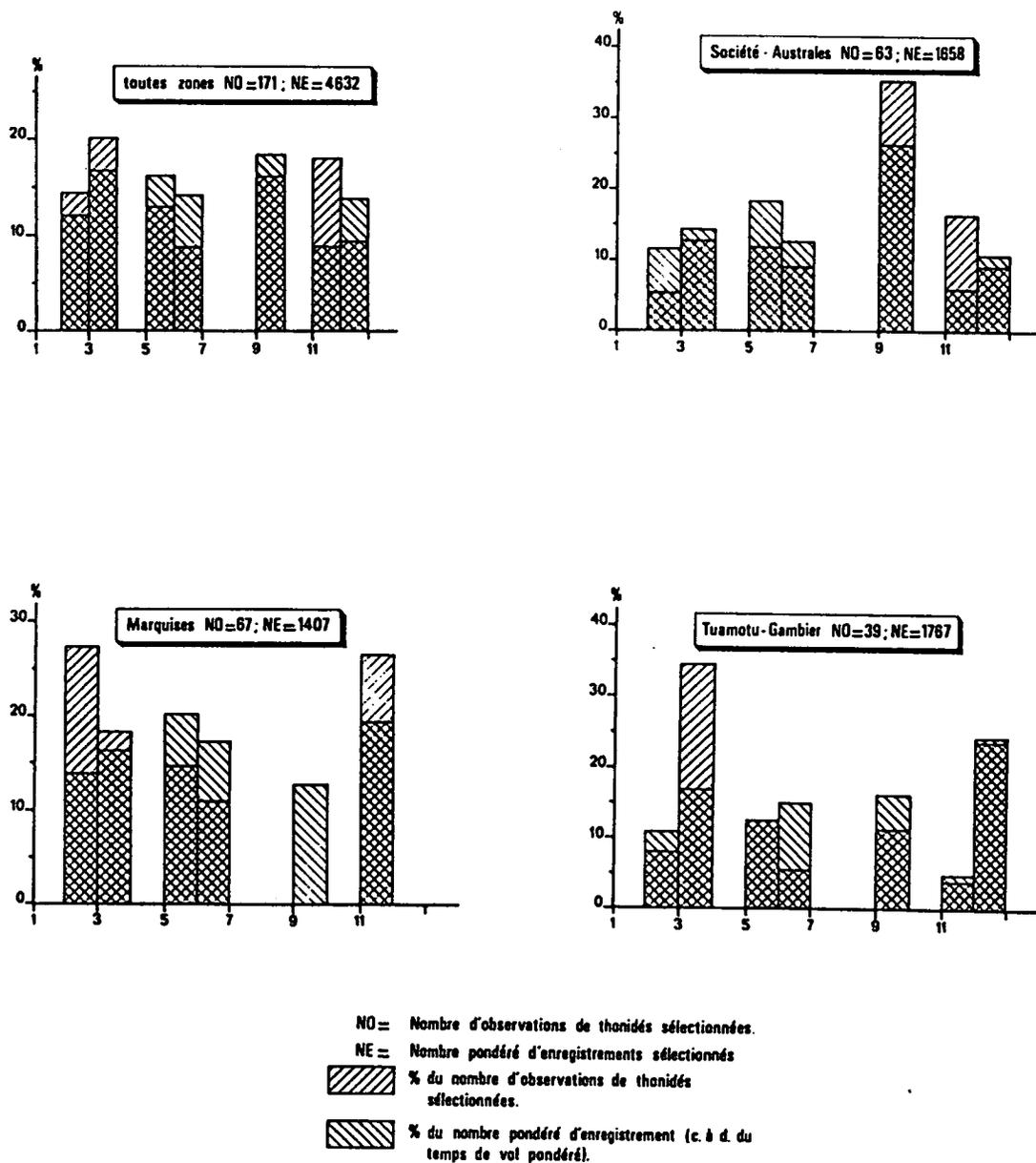


Figure 20 : Répartition mensuelle des observations de thonidés

- Dans la zone SOCIETE, les meilleurs secteurs sont éloignés de Tahiti (Maupelia, Bora, région des Hauts-Fonds). Le secteur Ouest-Tahiti est meilleur que celui de Tahiti proprement dit. Ceci semble confirmé par les pêches bonitières. Le secteur Est-Tahiti, malgré un effort de recherche considérable, n'a donné lieu qu'à très peu d'observations de thonidés. Cependant, le mauvais temps y a souvent sévi et dans ce cas là, la "non-observation" n'est pas significative.

- La zone TUAMOTU est homogène, les efficacités étant comparables, excepté dans le secteur de Rangiroa relativement plus pauvre. On peut supposer que cette homogénéité provient des effets d'île.

- Dans la zone des MARQUISES, le secteur de NUKU HIVA est particulièrement riche. Notons qu'en prenant comme critère l'indice d'efficacité, l'abondance dans les secteurs Sud-Ouest Marquises, Makemo et Tahiti-Moorea sont tout à fait comparables.

La relation entre observations de thonidés et effort de recherche a été estimée par la méthode des moindres carrés. On obtient $ER = 28.8 + 14.1 \times (\text{nombre d'observations})$. Le coefficient de corrélation r est de 0.84. Le nombre d'unités d'effort de recherche pour voir une matre est de 43 ± 9 soit entre 2h40 et 5h20 de vol (intervalle de confiance pour un risque d'erreur de première espèce de 5 %).

2.2.3. Variations saisonnières

Les missions se sont déroulées en février, mars, mai, juin, septembre, novembre et décembre. Excepté aux Marquises en septembre, les thonidés sont présents dans les trois zones pour tous les mois échantillonnés. Pour savoir si les tendances saisonnières que semblent montrer la figure 20 sont significatives nous allons employer le même test qu'en 2.1.5.

Il est difficile d'établir des variations saisonnières alors que nous n'avons pas prospecté sur l'ensemble de l'année. Une prospection couvrant plusieurs années serait d'ailleurs nécessaire. Les tendances qui se dégagent des résultats sont les suivantes :

Pour l'année 1981 (Tableau 9, fig. 20)

- Aux Marquises, les mois de février et novembre sont significativement plus riches et septembre est le mois le plus pauvre.

- Aux Tuamotu, les observations de thonidés sont plus abondantes en mars, et juin correspond à la période creuse.

- Aux îles de la Société, novembre est l'un des meilleurs mois et février laisse apparaître une diminution relative du rendement, ce qui est en accord avec les résultats de la pêche bonitière. Par contre, septembre semble être un bon mois. En septembre, la plupart des observations ont été faites près du triangle Motu One, Manuae et Maupihaa d'une part et d'autre part au sud de la ligne Maiao-Haut-Fond de la Confiance.

- Sur l'ensemble de la zone, ne subsistent que le minimum en juin, le maximum en novembre et une baisse d'abondance en décembre.

2.3. Caractéristiques des bancs rencontrés

Nous analyserons ici la composition en espèces des bancs, leur taille et leur comportement.

2.3.1. Les espèces

La ventilation par espèce est donnée par le Tableau 10. Dans les trois zones considérées la bonite est l'espèce la plus souvent observée. Elle représente 60 à 75 % des observations de nature déterminée. Si on compare les résultats de la prospection aérienne à ceux des canneurs opérant dans les mêmes zones (Tableau 3), on constate des données similaires pour les Tuamotu (68 % des bonites), ainsi que pour les Marquises (59 et 65 %) ; mais aux îles de la Société, les résultats de l'avion donnent un pourcentage de bonites beaucoup plus élevé que celui des canneurs (75 contre 57 %). Le thon jaune représente pratiquement la totalité du reste des observations déterminées, soit environ 25 %, ce qui est nettement plus que n'indiquent les résultats des canneurs (Tableau 3). Ceci est particulièrement net aux Tuamotu (prospection aérienne : 30 % de thon jaune, canneurs : 8 %). Par contre, les canneurs observent plus souvent (12 à 33 %) des bancs

Tableau n° 9 - Comparaison des deux pourcentages observés

- pc = % d'observation dans les enregistrements pondérés d'un mois
 - pt = % d'observation dans les enregistrements pondérés de l'ensemble des mois
- par la méthode de l'écart réduit ϵ

Mois	Toutes Zones	Marquises	Tuamotu	Société
Février 1981	$\epsilon = 1,23$	$\epsilon = 4,20$	$\epsilon = 0,76$	$\epsilon = 1,96$
Mars 1981	1,55	0,66	3,89	0,45
Mai 1981	1,45	1,35	0,01	1,68
Juin 1981	2,55	1,66	2,19	1,07
Septembre 1981	0,95	3,99	1,09	2,04
Novembre 1981	5,46	2,03	0,35	4,40
Décembre 1981	2,13	*	0,10	0,51

Rappel : Si $|\epsilon| \geq 1,96$ la différence entre pc et pt est significative avec un risque $\leq 5\%$.

* absence de données.

Tableau n° 10 - Composition des bancs par espèces. (Le premier chiffre est le nombre d'observations. Le second est le pourcentage par rapport au total et le troisième chiffre le pourcentage sans tenir compte des indéterminations).

Zones	Bonites			Thons jaunes			Mêlangés			Indéterminés			Total		
Marquises	23	36	59	14	22	36	2	3	5	25	39	-	64	100	100
Société	44	70	75	9	14	15	6	10	10	4	6	-	63	100	100
Tuamotu	25	60	68	11	26	30	1	2	3	5	12	-	42	100	100
Total	92	54	68	34	20	25	9	6	7	34	20	-	169	100	100

Tableau n° 11 - Comportement des espèces rencontrées.

(La première colonne indique le nombre de bancs en surface, la deuxième colonne le nombre de bancs ne venant pas en surface).

Zones	Bonites		Thons jaunes		Mêlangés		Indéterminés		Total	
Marquises	14	9	8	6	2	-	-	25	24	40
Société	26	14	7	2	5	-	-	4	38	20
Tuamotu	11	9	6	3	1	-	-	5	18	17
Total	51	32	21	11	8	-	-	34	80	77

Tableau n° 12 - Comportement des vols d'oiseaux

	Marquises	Tuamotu + Gambier	Société + Australes	Total
Nombre de vols d'oiseaux	250	123	129	502
Nombre de vols d'oiseaux/100 unités d'effort de recherche	17,8	7,0	7,8	10,4
% d'oiseaux associés à du thon	25,6	26,0	34,8	30,9
% obs. de thonidés avec des oiseaux	100	91	100	91,1
% observations d'oiseaux en chasse avec du thon	37,4	38,6	68,6	45,6
0 - 10 oiseaux - Nbre de vols % du total	51 20,4	33 26,8	45 34,9	129 25,7
10 - 50 oiseaux - Nbre de vols % du total	64 25,6	25 20,3	27 20,9	116 23,1
50 - 100 oiseaux - Nbre de vols % du total	54 21,6	28 22,8	23 17,8	105 20,9
100 oiseaux - Nbre de vols % du total	81 32,4	37 30,1	34 26,4	152 30,3

Tableau n° 13 - Taille des mattes en fonction de la taille des vols d'oiseaux. (Les chiffres sont le nombre de mattes observées).

Taille des bancs	Taille des vols d'oiseaux			
	0-10	10-50	50-100	100
60 Tonnes	1	0	0	1
30-60 Tonnes	1	1	1	6
10-30 Tonnes	3	4	5	13
1-10 Tonnes	1	7	12	4

Tableau n° 14 - Comparaison entre les grosses bonites et les autres thonidés en fonction de la taille des vols d'oiseaux.

A = autres

B = grosses bonites

Taille des bancs		Taille des vols d'oiseaux			
		0-10	10-50	50-100	100
60 T.	A	0	0	0	0
	B	1	0	0	1
30-60 T.	A	1	1	1	2
	B	0	0	0	4
10-30 T.	A	3	3	3	5
	B	0	1	2	8
0-10 T.	A	0	2	7	1
	B	1	5	5	3

mélangés que ne le fait l'observation aérienne (3 à 10). Il est vraisemblable que le comportement du poisson explique en partie ces résultats. Ainsi on constate (Tableau 11) qu'aucun banc mélangé n'a été aperçu sous la surface. En effet, d'avion on ne perçoit les bancs mélangés que lorsque le poisson s'alimente ; en dehors de ces périodes peut être existe-t-il une stratification des espèces dans ce type de banc. Les canneurs appâtent le poisson et se trouvent donc dans la situation où le banc s'alimente et où la stratification des espèces se modifie probablement.

2.3.2. Apparences

Les apparences (oiseaux, cétacés, épaves...) constituent un aspect important du repérage des bancs. Le plus souvent, l'apparence est repérée avant le poisson, d'où l'avantage par exemple d'avoir des vols d'oiseaux importants, plus facilement repérables (30 % des vols ont plus de 100 oiseaux, et sous ces vols sont réalisés 44 % des observations).

La densité des vols d'oiseaux (nombre de vols d'oiseaux/100 unités d'effort de recherche) aux Marquises est plus de deux fois supérieure au reste de la Polynésie Française (Tableau 12), ce qui va dans le sens des prospections faites par les canneurs. De plus, aux Marquises les vols d'oiseaux sont un peu plus importants que la moyenne de la zone (Tableau 12) ce qui devrait aboutir à la détection de davantage de mattes. Cependant, le comportement du poisson intervient de façon sensible : ainsi aux Iles de la Société 68 % des bancs ont été vus en surface (Tableau 11) et pour 69 % des vols d'oiseaux chassant (Tableau 12), on a observé du poisson, tandis qu'aux Marquises, on observe 38 % des bancs en surface et 37 % d'association entre oiseaux chassant et thonidés. Aux Tuamotu, existe une situation intermédiaire. En avion, il n'est pas possible de rester longtemps sur un indice pour s'assurer qu'il y a du thon à proximité. Donc, si le poisson est en profondeur et ne remonte qu'à de longs intervalles (cas des Marquises), on obtient une sous-estimation de l'abondance. En bateau, il est plus aisé de suivre les oiseaux et d'attendre l'apparition du poisson. C'est ainsi que, lors de leurs campagnes de 1956 à 1959, les Américains avaient observé aux Marquises 94 % d'association entre les oiseaux et le thon (AUSTIN, 1960). Il est donc vraisemblable que dans la plupart des cas, des oiseaux chassant indiquent la présence de thon.

Tableau n° 15 - Répartition par taille estimée (en tonnes) des bancs observés par avion
(les chiffres indiqués sont le nombre d'observations).

L I E U X	Bonites					Thons Jaunes					Mêlangés					Indéterminés					Total				
	1	2	3	4	i	1	2	3	4	i	1	2	3	4	i	1	2	3	4	i	1	2	3	4	i
Marquises	8	5	3	-	7	2	2	-	1	9	1	-	-	1	-	-	-	-	-	25	11	7	3	2	41
Société	7	12	3	-	18	4	-	3	-	2	-	1	3	-	-	-	-	-	-	4	12	13	9	-	24
Tuamotu	6	2	-	1	11	3	2	-	1	3	-	-	1	-	-	-	-	-	-	5	9	4	1	2	19
Total																									
- Nombre	21	19	6	1	36	9	4	3	2	14	1	1	4	1	-	-	-	-	-	34	32	24	13	4	84
% (sans compter I)	45	40	13	2	-	50	22	17	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44	33	18	5	-

1 : 0-10 tonnes

2 : 10-30 tonnes

3 : 30-60 tonnes

4 : > 60 tonnes

i : indéterminé

Le Tableau 13 indique une tendance à avoir de grandes concentrations de thons sous les vols importants d'oiseaux. Cependant, une analyse de variance n'a pas permis de déterminer s'il existe une action prépondérante de la taille des vols d'oiseaux ou de la taille des mattes. Bien qu'un test du χ^2 multinomial ne différencie les grosses bonites des autres thonidés qu'avec un risque de lère espèce de 15 % (Tableau 14), la taille des bancs de grosses bonites est sans doute moins corrélée à la taille des vols d'oiseaux que ne l'est la taille des bancs de petites bonites ou de thons jaunes. Ceci est peut être à relier au comportement des grosses bonites qui, d'après les observations des canneurs, sont très erratiques et rapides.

Il est à noter que les cétacés observés n'étaient pas en général en association avec les thons, contrairement à ce qui s'observe dans le Pacifique Est.

2.3.3. Taille des mattes

Le Tableau 15 indique la taille estimée des bancs des différentes espèces. On possède trop peu d'estimations pour comparer les différentes zones au niveau de l'espèce.

Les mattes sont inférieures à 30 tonnes dans 77 % des cas. Ce sont les bancs de mélangés qui ont les plus grands tonnages moyens, mais l'échantillon est très faible. Les thons jaunes forment plus souvent des bancs de plus de 30 tonnes (28 % des cas) que les bonites (15 % des cas). Ces résultats sont comparables à ceux des Tableaux 1 et 4. Le Tableau 16 indique qu'il y a davantage de petites bonites que de grosses, mais par contre, c'est la situation inverse pour les thons jaunes. Il n'y a pas de différence majeure entre petits et gros poissons quant à la taille des bancs. Par contre, les petites bonites sont plus fréquemment en surface que les grosses bonites ou les thons jaunes.

Tableau n° 16 - Répartition des mattes de thons en fonction de leur taille et de leur comportement.

1 = 0 - 10 t
 2 = 10 - 30 t
 3 = 30 - 60 t
 4 = > - 60 t
 i = indéterminé

S = Surface
 P = Profondeur

(Les chiffres indiqués sont le nombre d'observations).

	Bonites						Thons Jaunes							
	1	2	3	4	i	S	P	1	2	3	4	i	S	P
Petits Poissons	13	13	5	0	21	28	24	4	1	2	1	2	7	3
Gros Poissons	8	6	1	1	15	23	8	5	3	1	3	10	14	8

Tableau n° 17 - Effort de recherche et nombre d'observations de thonidés en fonction de la distance à la côte.

U = Nombre d'unités d'effort de recherche
 B = Bonites
 TJ = Thon jaune
 T = B + TJ + Mélangés (total des observations de thonidés)

Distance à la côte	Marquises	Société	Tuamotu	Total
0-19 milles	U	523	499	1 883
	B	13	17	43
	TJ	5	8	20
	T	26	31	81
10-19 milles	U	291	279	961
	B	6	13	29
	TJ	5	1	10
	T	17	15	46
20-29 milles	U	152	169	537
	B	2	5	8
	TJ	1	-	1
	T	7	6	15
30-39 milles	U	46	96	280
	B	-	4	4
	TJ	1	1	2
	T	4	5	9
≥ 40 milles	U	93	210	547
	B	2	5	8
	TJ	2	-	2
	T	6	5	12

2.3.4. Distance à la côte

En Polynésie, les fronts thermiques sont en général peu marqués, de même que les gradients halins. Pour tenter d'expliquer les concentrations de thonidés, on est donc amené à considérer les "effets d'îles". Une mesure grossière de l'influence des îles est la distance à la côte. Le Tableau 17 regroupe par classe de distance à la côte, d'une part l'effort de recherche, d'autre part le nombre d'observations de thonidés pour chaque classe.

La fig. 21 indique une nette différence entre les zones. Aux Tuamotu et aux Iles de la Société le nombre d'observations pour 100 unités d'effort de recherche (densité) diminue avec la distance à la côte, alors que l'on note la tendance inverse aux Marquises. Aux Marquises et aux Iles de la Société on remarque un pic de densité entre 30 et 40 milles des côtes. Pour les Iles de la Société, ce pic est à rapprocher de l'augmentation, avec la distance à Tahiti, de la prise par unité d'effort observée par les bonitiers (JOSSE, 1979 ; MARCILLE et al., 1979). Il est à noter, pour les Marquises, que les Américains au cours de leurs prospections entre 1956 et 1959 (fig. 3) avaient observé une diminution des observations avec la distance à la côte. D'autre part, les observations faites à plus de 30 milles des côtes aux Marquises ont été effectuées en grande partie (10 observations sur 14) au cours de la première campagne.

De ce fait, l'augmentation de la densité avec la distance à la côte aux Marquises demande confirmation.

D'après la fig. 22 les bonites et thons jaunes ont une densité qui se répartit grossièrement de la même façon en fonction de la distance à la côte.

Comme nous l'avons indiqué précédemment il existe une forte corrélation entre oiseaux chassant et thonidés. En particulier, pour des raisons de comportement du thon, il n'est pas toujours possible de détecter le poisson (trop profond) alors que le comportement des oiseaux en suggère la présence. La fig. 23 montre de façon claire un "effet d'île" jusqu'à 40 mil-

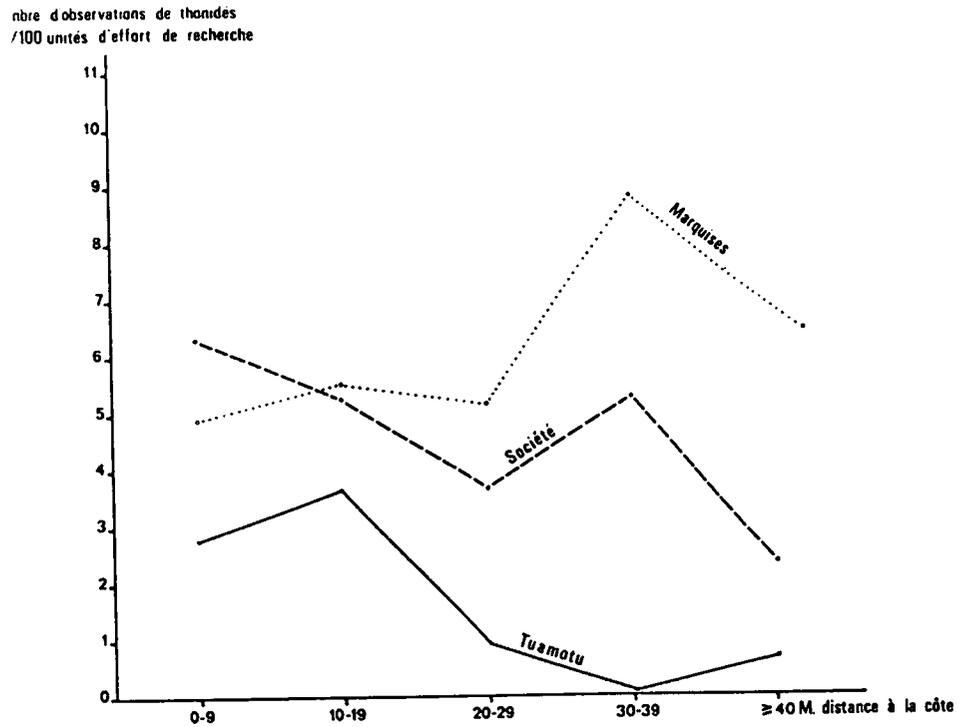


Figure 21 : Nombre d'observations de thonidés pour 100 unités d'effort de recherche en fonction de la distance à la côte

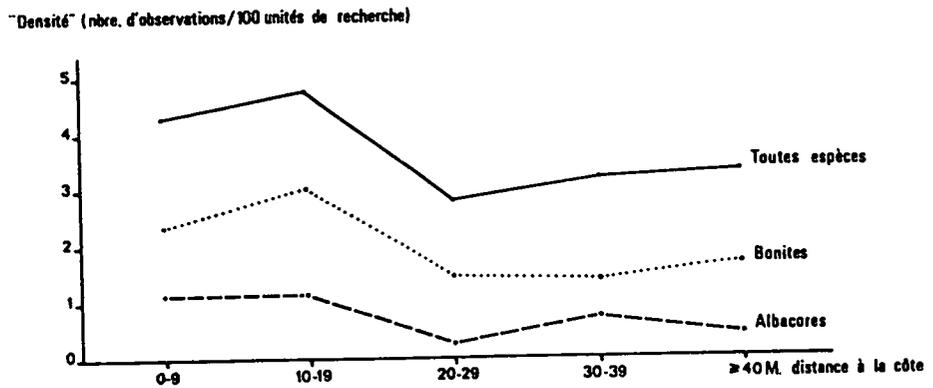


Figure 22 : "Densité" des différentes espèces en fonction de la distance à la côte

nombre d'observations d'oiseaux chassant 100
unités d'effort de recherche

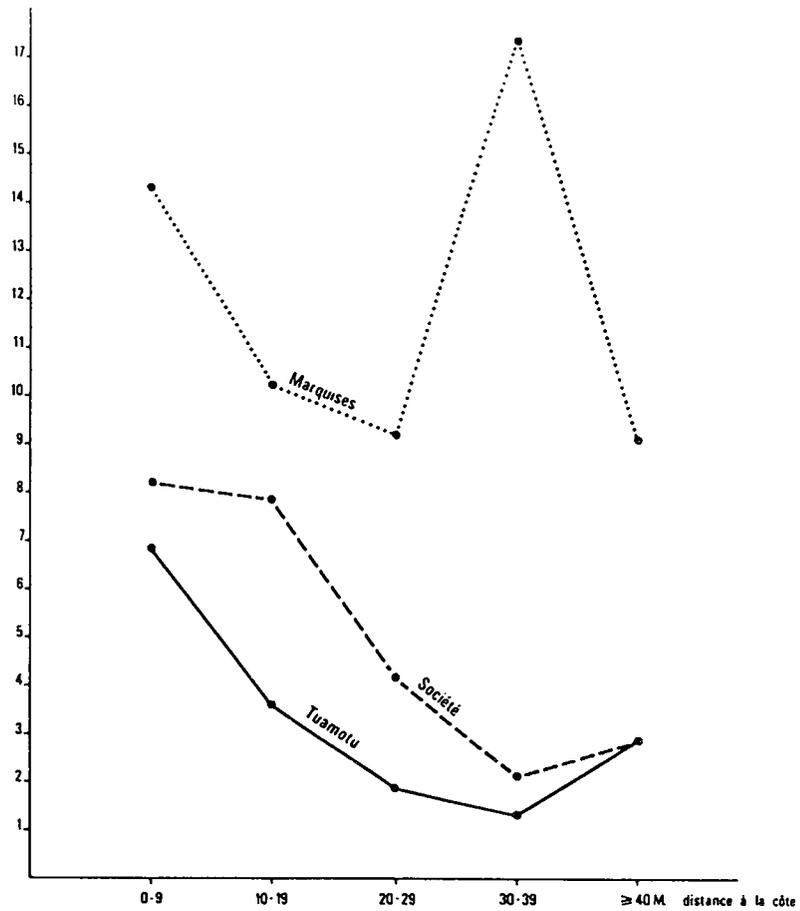


Figure 23 : "Densité" des vols d'oiseaux chassant en fonction de la distance à la côte

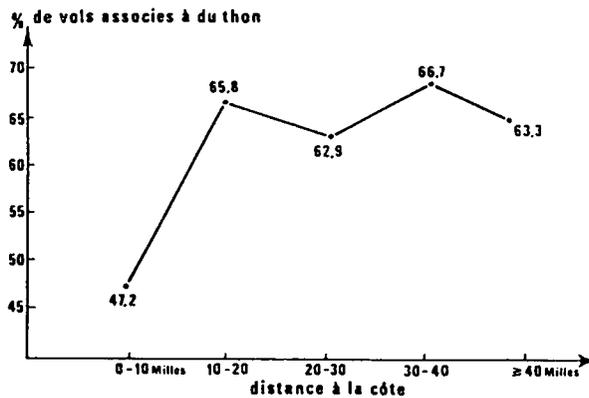


Figure 24 : Association entre oiseaux "chassants" et thons

les des côtes, à l'exception des Marquises pour lesquelles existe un point singulier dans la classe 30-39 milles. On a observé aux Marquises de grande densité d'oiseaux, même très au large des côtes (15 vols vus à plus de 150 milles des côtes, soit une "densité" de 10,8). D'autre part, la fig. 23 montre que les Marquises sont beaucoup plus riches en oiseaux que le reste de la Polynésie. Ce n'est sans doute pas dû à une différence d'habitat à terre, mais plus vraisemblablement à une plus grande disponibilité de la nourriture. Comme les oiseaux de mer se nourrissent surtout de petits pélagiques, il serait étonnant que les thonidés ne profitent pas de la même ressource.

La figure 24 indique que la relation entre le nombre de vols d'oiseaux vus et nombre d'observations de thonidés est remarquablement constante au-delà de la zone 0-10 milles. Donc, tout près des côtes les oiseaux semblent moins souvent associés à du thon qu'au large (plus de 10 milles).

3 - SYNTHESE ET PERSPECTIVES

L'étude d'espèces commercialement exploitables, telles que la bonite ou le thon jaune, se résume, classiquement, à décrire leurs caractéristiques biologiques, écologiques et halieutiques.

Les premières (biologiques) sont assez bien connues pour la bonite et le thon jaune et diffèrent peu d'une zone à l'autre.

Les secondes (écologiques) correspondent au comportement du poisson vis-à-vis des facteurs du milieu et peuvent être très variables suivant le lieu : elles conditionnent la probabilité de présence du poisson. Elles constituent le domaine d'étude de l'opération de radiométrie aérienne et prospection thonière.

Les caractéristiques halieutiques traduisent l'accessibilité à la ressource ou encore la vulnérabilité du poisson vis-à-vis d'un engin de pêche. Elles sont encore moins constantes d'un lieu à l'autre ; elles ne s'étudient que sur le terrain avec des bateaux de pêche. Les experts en prospection aérienne peuvent cependant évaluer le type de pêche le plus adapté au comportement du poisson.

3.1. - Connaissances et hypothèses sur l'écologie des thonidés dans la zone d'étude

Nous avons établi, dans les chapitres précédents, la présence constante des thonidés dans la zone d'étude. A cette présence, deux explications peuvent être envisagées.

- Effets d'îles

Les échanges terre-mer et les remontées d'eau froide sur les accores peuvent être assez efficaces et permanents pour entretenir une chaîne alimentaire capable de "fixer" une population de thonidés. Cela ne veut pas dire que celle-ci soit complètement isolée. En effet, lors des passages des vagues de migration, des échanges ont probablement lieu.

- Flux migratoires

Les marquages de la CPS ont montré que les bonites présentes dans les eaux de Polynésie Française ne formaient pas une population distincte de celles du Pacifique Sud. Il semble que les poissons de surface soient assujettis à des migrations différentes selon leur âge ou leur état physiologique. Ainsi, les variations d'abondance saisonnières résulteraient en partie de l'importance relative de flux migratoires dont le déterminisme et l'aspect quantitatif ne nous est pas encore connu. Cependant, il faut insister sur les conséquences pratiques à tirer de telles connaissances : un stock lié aux "effets d'îles" peut être plus limité et ceci peut avoir sur la gestion un impact différent de celui qu'aurait un stock lié aux phénomènes océaniques.

Enfin, notons que nous possédons des connaissances limitées sur d'éventuels lieux de ponte et de reproduction en Polynésie Française.

3.2. - Evaluation potentielle de capture - Choix du type de pêche

3.2.1. Méthode

Un des buts des prospections thonières est de parvenir à une estimation des quantités de thon dans une zone donnée. Les principes permettant de réaliser une telle estimation sont simples, cependant leur application est sujette à de nombreuses difficultés. Il en résulte que les estimations que nous pouvons avancer sont très grossières et ne constituent au mieux qu'une première approche.

La première tâche consiste à diviser la région en strates homogènes. On peut définir une strate à l'aide de plusieurs critères tels que : gradient thermique, gradient halin, distance à la côte, profondeur moyenne... Plus le nombre de critères choisis est grand et plus l'homogénéité dans une même strate sera grande. L'estimation des quantités de thons en sera d'autant meilleure, à condition cependant de disposer de suffisamment d'effort de recherche pour chaque type de strate. Un nombre de critères trop faible peut aboutir à des strates trop hétérogènes et l'on risque d'étendre à l'ensemble d'une strate des résultats valables pour une aire limitée. Il en résulterait des estimations erronées des quantités présentes. Pour certains critères, la délimitation de frontières physiques de la strate est aisée (ex. la distance à la côte), mais pour d'autres tels le gradient thermique, cela suppose une bonne connaissance de la région. Pour quelques uns de ces critères (gradient thermique, température, couleur de l'eau...), les données recueillies par satellite se révéleront très utiles, voire indispensables.

La deuxième tâche consiste à déterminer la surface balayée par la prospection aérienne. Pour cela, il faut en premier lieu estimer à quelle distance de l'axe de l'avion on peut détecter une matte. A chaque matte détectée on associe une distance à l'axe de vol. En regroupant les observations par classes de distance, on obtient une distribution comme l'indique la fig. 25. A partir de ce type de figure, on détermine une distance efficace, d_e , fixée comme la distance en deçà de laquelle 50 % des mattes sont vues. Il est possible d'obtenir une estimation plus fine de d_e , en

particulier en calculant une fonction $P(d)$ qui décrit la courbe de fréquence et en cherchant d_e tel que de $P(d) = 0.50$. Une telle méthode (GOHIN et al., 1981) n'apporte que peu de précision supplémentaire, si on a des classes de distance nombreuses et de grands échantillons, mais par contre elle devient indispensable si le nombre de classes de distance est faible.

Connaissant la vitesse de l'avion il nous est alors possible de calculer la surface balayée par l'avion : $2 d_e v t$

où d_e : distance efficace
 v : vitesse de l'avion
 t : temps

Nous désignerons pas s , la surface balayée pendant une unité de recherche.

Afin de tenir compte des conditions qui règnent dans la zone, il est intéressant de prendre pour unité de temps l'unité d'effort de recherche. En effet, cette unité dépend des conditions météorologiques moyennes et de l'heure du vol, facteurs qui influent sur la surface "efficacement" balayée par l'avion.

Reste à estimer la densité en thonidés du secteur considéré. C'est ici qu'interviennent un grand nombre de facteurs subjectifs. La première approche consiste à considérer que l'on a vu "m" mattes au cours de "x" unités d'effort de recherche et l'on obtient une densité en mattes/unité de surface : $D = m/sx$. Pour obtenir une densité en tonnes, D' , il reste à tenir compte du tonnage moyen t_m , des mattes observées dans le secteur. On obtient $D' = Dt_m$. Cette estimation de densité concerne la densité "observable" par avion. En utilisant une telle estimation, on aboutira vraisemblablement à une forte sous-estimation de l'abondance des thonidés. On peut calculer une deuxième densité, ou densité "suggérée", en tenant compte du comportement du poisson et des apparences (ou indices). Cette densité est une première approximation de ce qui serait observable en bateau. Pour qu'une telle estimation ait de la valeur, il faudrait affiner nos connaissances sur les relations entre indices et thons. Ceci serait envisageable par des campagnes simultanées avion-bateau.

Tableau n° 18 - Les différentes estimations envisagées pour le tonnage moyen des bancs en tonnes

	MARQUISES	SOCIETE	TUAMOTU
Moyenne arithmétique simple	34,3 t	16,5 t	18,3 t
Moyenne arithmétique après transformation logarithmique avec l'intervalle de confiance (t1, t2)	21,1 t (t1=12,8 t, t2=34,8 t)	11,9 t (t1=8,2 t, t2=17,3 t)	9,2 t (t1=4,9 t, t2=17,3 t)
Moyenne arithmétique après transformation cubique avec intervalle de confiance	24,9 t (13,8 t, 40,7 t)	12,0 t (5,5 t, 16,6 t)	11,4 t (5,5 t, 20,3 t)

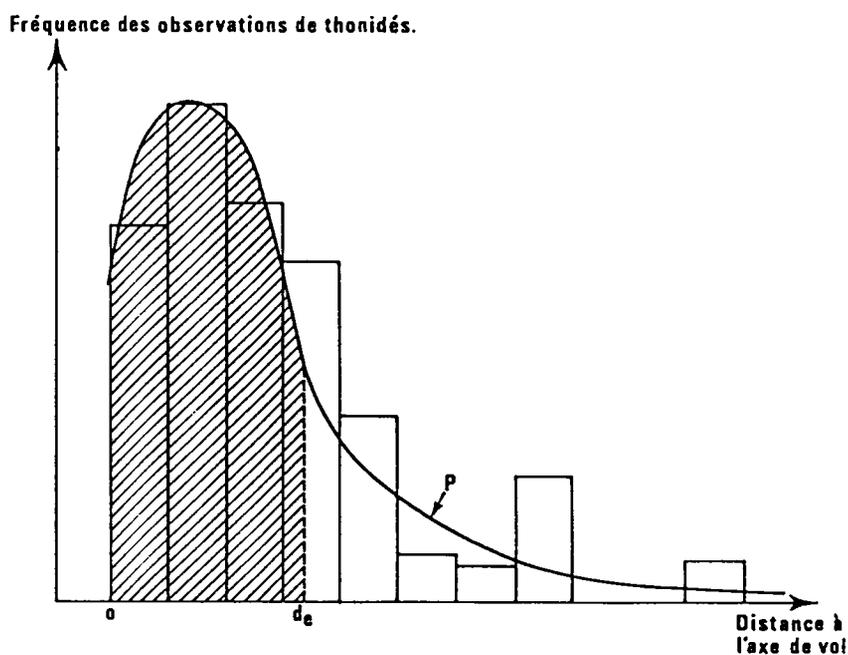


Figure 25 : Distribution d'observation de thonidés en classes de distance en vue de déterminer la distance efficace

Une fois la densité "observable" déterminée, on obtient un tonnage pour l'ensemble de la strate : $T = SD'$, où S est la surface de la strate et D' la densité. L'estimation du tonnage pour la zone est la somme des tonnages par strate. Ce tonnage estimé correspond à ce qui est détectable par avion. On peut de même calculer un tonnage de ce qui pourrait être observé par bateau à l'aide de la densité suggérée. Reste à relier ces tonnages à ce qui est effectivement pêchable.

Quand on parle de quantités pêchables, il est nécessaire d'apporter un certain nombre de précisions. Il y a, d'une part, ce que l'on peut théoriquement prélever sur le stock. Ceci suppose la connaissance de la taille, de la nature (migratoire, sédentaire ou mélange des deux) et de la structure du stock. D'autre part, il y a ce qui est accessible à la pêche ; ceci dépend des méthodes de pêche, du comportement du poissons vis-à-vis de ces méthodes, de facteurs limitants tels que les conditions météorologiques, l'abondance et le comportement de l'appât... S'il est très difficile d'évaluer le stock et sa nature, on peut, par contre, envisager, grâce à des campagnes avion-bateau, d'estimer les quantités accessibles en fonction des quantités observées.

3.2.2. Application

1°) - Calcul de d_e : la distance efficace a été estimée pour ensemble de la Polynésie à 290 m d'après la méthode donnée par GOHIN et al., (1981). Les données n'étaient pas suffisantes pour calculer d_e séparément pour les trois zones envisagées : Marquises, Tuamotu et Iles de la Société. Nous n'avons pas calculé d'intervalle de confiance pour d_e , cependant il est vraisemblable qu'en Polynésie d_e a une valeur comprise entre 200 et 500 m.

2°) - Calcul du tonnage moyen : la distribution du tonnage des bancs est assez fortement dissymétrique. On peut envisager plusieurs mesures du tonnage moyen :

a) moyenne arithmétique des tonnages observés. La valeur obtenue sera vraisemblablement une surestimation, à cause des gros bancs qui auront davantage d'influence sur la moyenne que les petits ;

b) moyenne arithmétique après transformation des données de façon à obtenir une distribution symétrique. Plusieurs transformations sont possibles dont l'utilisation des logarithmes et de la racine cubique. La première transformation est justifiée quand la moyenne est du même ordre que l'écart type, ce qui est ici le cas (moyenne = 21,2 ; écart type = 27,2). La seconde transformation tient au fait que le tonnage d'un banc peut être associé au cube du rayon du banc (le poids est en général proportionnel au cube de la longueur). Par conséquent, si le rayon est normalement distribué, la racine cubique du tonnage le sera aussi.

Les différentes estimations sont présentées dans le Tableau 18. La moyenne arithmétique donne une estimation plus élevée que les deux autres méthodes. Ces deux dernières aboutissent à des résultats très proches. On a calculé un intervalle de confiance (avec un risque de première espèce de 5 %) pour ces méthodes (Tableau 18). La transformation logarithmique donne les intervalles moins étendus et ce sont les valeurs extrêmes de ces intervalles (t_1 et t_2) que nous utiliserons par la suite.

3°) - Estimation des densités : Pour estimer la densité en thonidés nous avons utilisé une densité "observable", D_1 , et une densité "suggérée", D_2 . Ces densités ont été définies précédemment (3.2.1.). La densité D_2 a été estimée en utilisant les données de la fig. 24 : on prend 47 % d'association entre oiseaux et thons pour la strate 0-9 milles (distance à la côte) et 65 % d'association au-delà. Ainsi, si on a vu 10 vols d'oiseaux dans la strate 10-19 milles on considèrera qu'il y avait 6,5 mattes présentes. Au cas où le nombre de mattes réellement observées est supérieur au nombre calculé par D_2 , on conservera le nombre de mattes observées pour les estimations de tonnage. D'autre part, la surface balayée (s) par l'avion durant une unité d'effort de recherche, a été considérée comme constante et égale à 3 135 millescarré (d_e a été choisi à 290 m).

4°) - Estimation de la surface des strates : Sur la plupart des strates que nous avons utilisées on peut considérer que l'erreur de mesure sur la surface est négligeable. Cependant, les strates "externes" n'ont pas de limites physiques définies à priori, c'est le cas en particulier de la strate 7 aux Marquises et de la strate 5 aux Tuamotu. Il se pose donc le problème d'estimer la surface de ces strates. A notre connaissance, il n'existe pas de méthode établie pour définir ces surfaces; nous avons envisagé trois solutions.

a) A chaque unité d'effort de recherche est attribué une surface élémentaire ; la surface totale est obtenue en multipliant la surface élémentaire par l'effort de recherche pour la strate. La surface élémentaire est estimée par le ratio (surface totale/effort pour la surface) des strates les plus proches.

Cette méthode ne tient pas compte du recoupement des vols et aurait donc tendance à surestimer la surface de la strate. Ceci est sans doute compensé par des surfaces élémentaires trop petites. En effet, ces dernières sont définies à l'aide de strates plus proches de la côte, or la surface élémentaire augmente avec la distance à la côte (surface/effort de recherche dans les Tableaux 19, 20, 21). D'autre part, au large il est vraisemblable que les strates sont plus homogènes que près des côtes, ce qui autoriserait des surfaces élémentaires plus grandes.

b) De part et d'autre de l'axe de vol, on considère une bande de largeur $d/2$. Cette largeur d est déterminée à partir de la surface élémentaire (cf. première méthode) comme suit : $d = \text{surface élémentaire}/\text{distance parcourue par l'avion durant une unité d'effort de recherche}$. Quand les bandes ainsi définies se recoupent, on ne compte qu'une seule fois la surface de recouvrement des bandes. On élimine ainsi l'erreur due à la surimposition des vols. On obtiendra donc une valeur inférieure à la première méthode.

c) Un problème inhérent aux deux premières méthodes est que la surface définie n'est pas continue. Si les vols sont répartis de façon suffisamment uniforme, il devient possible de considérer la surface définie par le polygone ayant pour sommets les points extrêmes des vols. Cette méthode est certes grossière mais elle a l'avantage de définir une strate dont la surface n'est pas morcelée.

5°) - Zone des Marquises :

a) Stratification choisie : la fig. 26 indique le découpage suivi pour les six premières strates. Pour les eaux à moins de 40 milles des côtes, on a défini quatre strates de 10 milles chacune (strate 1 à 4). Au-delà de 40 milles, la prospection a montré que la zone n'est pas homogène. En particulier, la zone du contre-courant des Marquises présente des résultats très distincts et pour cela ce secteur est étudié comme une strate (strate 6). La fig. 19 indique qu'au-delà du secteur délimité par $7^{\circ} - 11^{\circ}$ S et $138^{\circ} - 142^{\circ}$ W, l'effort de recherche, bien que non négligeable, est assez disparate. Pour cette raison on a classé la zone comprise entre 40 milles des côtes et le cadre $7^{\circ} - 11^{\circ}$ S et $138^{\circ} - 142^{\circ}$ W comme la strate 5. Le reste a été classé dans une septième strate. La surface de cette strate a dû être estimée selon les méthodes indiquées au 3.2.2.4., vu qu'aucune limite physique n'a pu être définie :

1ère méthode : La surface élémentaire (moyenne des strates 5 et 6) est de 250 milles carré. Ceci donne une surface totale de 46 000 milles carré (250 x 185).

2ème méthode : La surface calculée est de 33 000 milles carré (en utilisant $d = 25$ milles).

3ème méthode : On a pris les quadrilatères définis par $2^{\circ} - 7^{\circ}$ S x $137^{\circ} - 140.30^{\circ}$ W et $11^{\circ} - 13^{\circ}$ S x $139^{\circ} - 141.30^{\circ}$ W. La surface obtenue est de 90 000 milles carré.

La surface retenue est la moyenne des trois méthodes soit 56 000 milles carré.

Tableau n° 19 - Estimation des tonnages par avion, pour les Marquises

$$(6) = \frac{\sqrt{(3)}}{(s \times (2))} \times (1) \quad s = 3,135 \text{ milles carré} \quad D_1 = \text{Densité observée} \quad t_1 = 4.9 \text{ t}$$

$$(7) = \frac{\sqrt{(5)}}{(s \times (2))} \times (1) \quad D_2 = \text{Densité suggérée} \quad t_2 = 17.3 \text{ t}$$

STRATE	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)			
	Surface en milles	Effort de recherche	Nombre d'observations de thons	Nombre de vols d'oiseaux	Nombre de mattes suggérées	Nb. de mattes calculées avec		Tonnages* estimés avec			
						D1	D2	t ₁ -D ₁	t ₂ -D ₁	t ₁ -D ₂	t ₂ -D ₂
n°1 : 0-9 milles	5 950	523	26	75	35	94	127	1,2	3,3	1,6	4,4
n°2 : 10-19 milles	8 200	291	17	30	19	153	170	2,0	5,3	2,2	5,9
n°3 : 20-29 milles	9 300	152	7	14	9	137	175	1,8	4,8	2,2	6,1
n°4 : 30-39 milles	8 300	46	4	8	5	230	288	2,9	8,0	3,7	10,0
n°5 : > 40 milles et 7-10°S/138-142°W	25 800	93	6	6	6	531	531	6,8	18,5	6,8	18,5
n°6 : contre-courant des Marquises	21 600	91	3	15	10	227	757	2,9	7,9	9,7	26,3
n°7 : Reste	56 000	185	1	15	10	96	965	1,2	3,4	12,2	33,5
TOTAL	139 150	1 381	64	163	94	1 468	3 013	18,9	51,2	38,4	104,7

* tonnages estimés en milliers de tonnes.

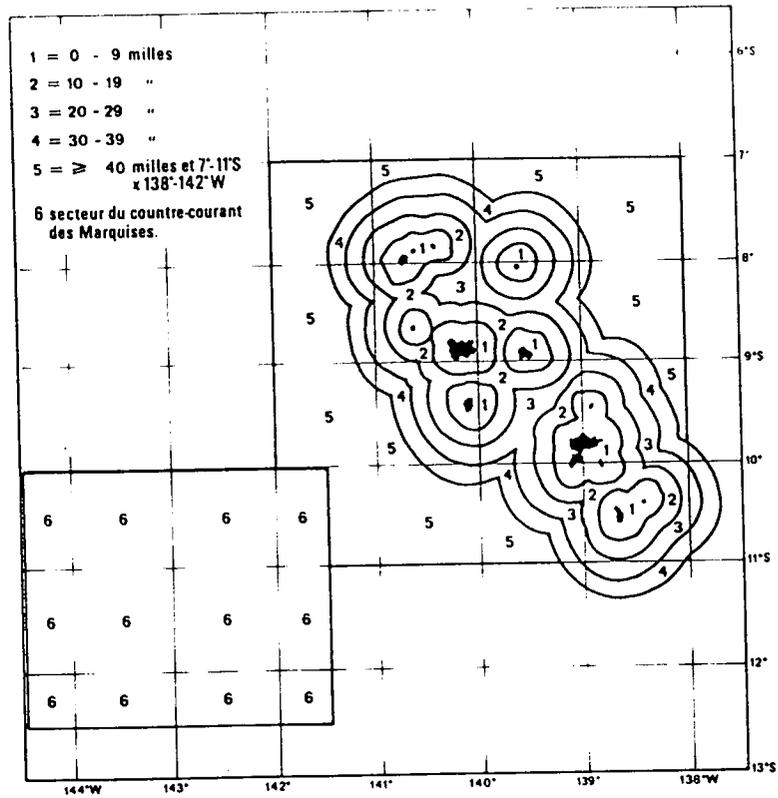


Figure 26 : Stratification adoptée pour l'estimation des tonnages aux Marquises

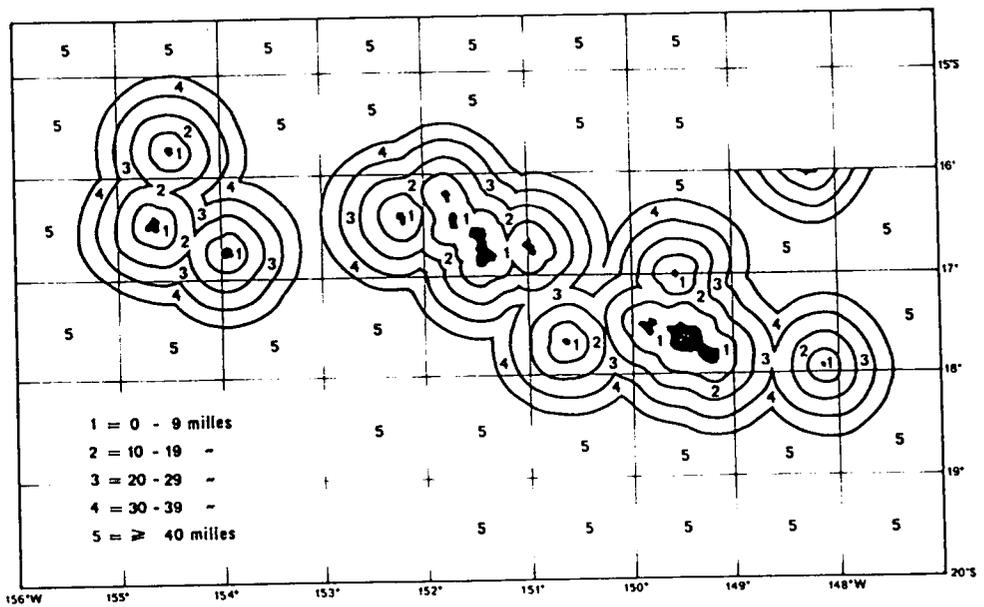


Figure 27 : Stratification adoptée pour l'estimation des tonnages aux îles de la Société

b) Estimation des tonnages (Tableau 19). Le total des estimations pour les cinq premières strates est à peu près identique si on utilise D_1 (14700 à 39900 tonnes) ou D_2 (16500 à 44900 tonnes). Par contre, pour les strates 6 et 7, les estimations varient considérablement suivant que l'on choisit D_1 ou D_2 . Ceci est dû au ratio très faible entre les observations de thonidés et d'oiseaux dans ces strates. D'autre part, la grande surface de la strate 7 démultiplie l'effet de ce faible ratio, l'estimation y variant de 1300 à 36000 t. Une meilleure connaissance de la relation entre oiseaux et thons est donc indispensable si on veut affiner l'intervalle des estimations pour ces secteurs.

6°) - Zone des Iles de la Société

a) Stratification choisie. Jusqu'à 40 milles des côtes, la zone a été découpée en strates de 10 milles de large (strates 1 à 4) (fig. 27). Au-delà de 40 milles, nous avons regroupé en une cinquième strate les carrés de 1° de côté dont tout ou partie est à moins de 100 milles des côtes, en nous limitant à 14.30° - 20° S et 147° - 156° W. Au sud de 20° S, l'effort de recherche n'a pas été négligeable (312 unités d'effort de recherche), mais aucune observation de thonidés n'y a été faite et les seuls oiseaux observés étaient des oiseaux "courants" (donc en général peu associés à du thon). Ces oiseaux ont tous été observés au cours de deux vols (17-02-81 et 16-03-81) et à proximité des terres. De ce fait, nous ne ferons pas d'estimations de tonnage pour la région au sud de 20° S, non qu'il n'y ait pas éventuellement du poisson, mais parce que les données recueillies ne permettent aucune estimation sensée. Au plus, peut-on dire que la prospection aérienne n'a rien décelé et que vraisemblablement des canneurs ou des senneurs auraient eu également des difficultés à y détecter des concentrations importantes de thons de surface.

b) Estimations des tonnages. Aux îles de la Société, l'association entre oiseaux et thons est particulièrement importante. En conséquence, l'utilisation de D_2 , telle que nous l'avons définie au 3.2.2.3., n'a pas de raison d'être et seule la densité "observable", D_1 , a été utilisée. Les résultats des estimations sont donnés par le Tableau 20. On considère que les tonnages "observables" et "suggérés" sont identiques.

Tableau n° 20 - Estimation des tonnages par avion aux files de la Société

(5) : $\frac{\sqrt{(3)} / (\sqrt{(2)} \times s)}{\sqrt{(1)}} \times (1)$ s : 3,135 milles carré $t_1 : 4,9 \text{ t}$
 D_1 : Densité observée $t_2 = 17,3 \text{ t}$

STRATE	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
	Surface en milles	Effort de recherche	Nb. d'observations de thons	Nombre de vols d'oiseaux	Nombre de mattes calculées avec D_1	Tonnages estimés* avec	
						$t_1 - D_1$	$t_2 - D_1$
n° 1 : 0-9 milles	7 300	499	31	41	144	1,2	2,5
n° 2 : 10-19 milles	11 200	279	15	22	192	1,6	3,3
n° 3 : 20-29 milles	14 100	169	6	7	160	1,3	2,8
n° 4 : 30-39 milles	14 900	96	5	2	247	2,0	4,3
n° 5 : > 40 milles	46 000	210	5	6	349	2,9	6,0
TOTAL	93 500	1 253	62	78	1 092	9,0	18,9

* tonnages estimés en milliers de tonnes.

7°) - Zone des Tuamotu :

a) Stratification choisie La zone a été divisée en cinq strates. Les quatre premières strates correspondent à des classes de distance à la côte de 10 milles de large (fig. 28). La cinquième strate reprend l'ensemble des surfaces prospectées à plus de 40 milles des côtes. Pour cette strate se pose le même problème que pour la strate 7 des Marquises : définir sa surface. Les méthodes définies au 3.2.2.4. donnent les résultats suivants :

1ère méthode La surface élémentaire est de 180 milles carré (moyenne des strates 3 et 4) ce qui donne une surface totale de 31.000 milles carré.

2ème méthode La largeur des bandes est de 18 milles ce qui engendre une surface de 26.000 milles carré.

3ème méthode Du fait de la grande dispersion des vols au-delà de 40 milles des côtes, cette méthode n'est pas appropriée.

La moyenne des deux premières méthodes, soit 28.000 milles carré, est la surface retenue pour les estimations de tonnage.

b) Estimation de tonnage Les strates 1 et 2 comportent la plupart des observations de thonidés de la zone et de ce fait la variabilité de l'estimation y est moindre que dans les strates 3, 4, 5 (Tableau 21). Pour ces dernières, le nombre d'observations qui y ont été effectuées est trop faible, à notre avis, pour que les estimations de tonnage obtenues soient fiables.

On remarque un effet d'île très important : ainsi de 66 à 82 % du poisson observable est à moins de 20 milles des côtes. Ce point sera abordé plus en détail dans la discussion qui suit.

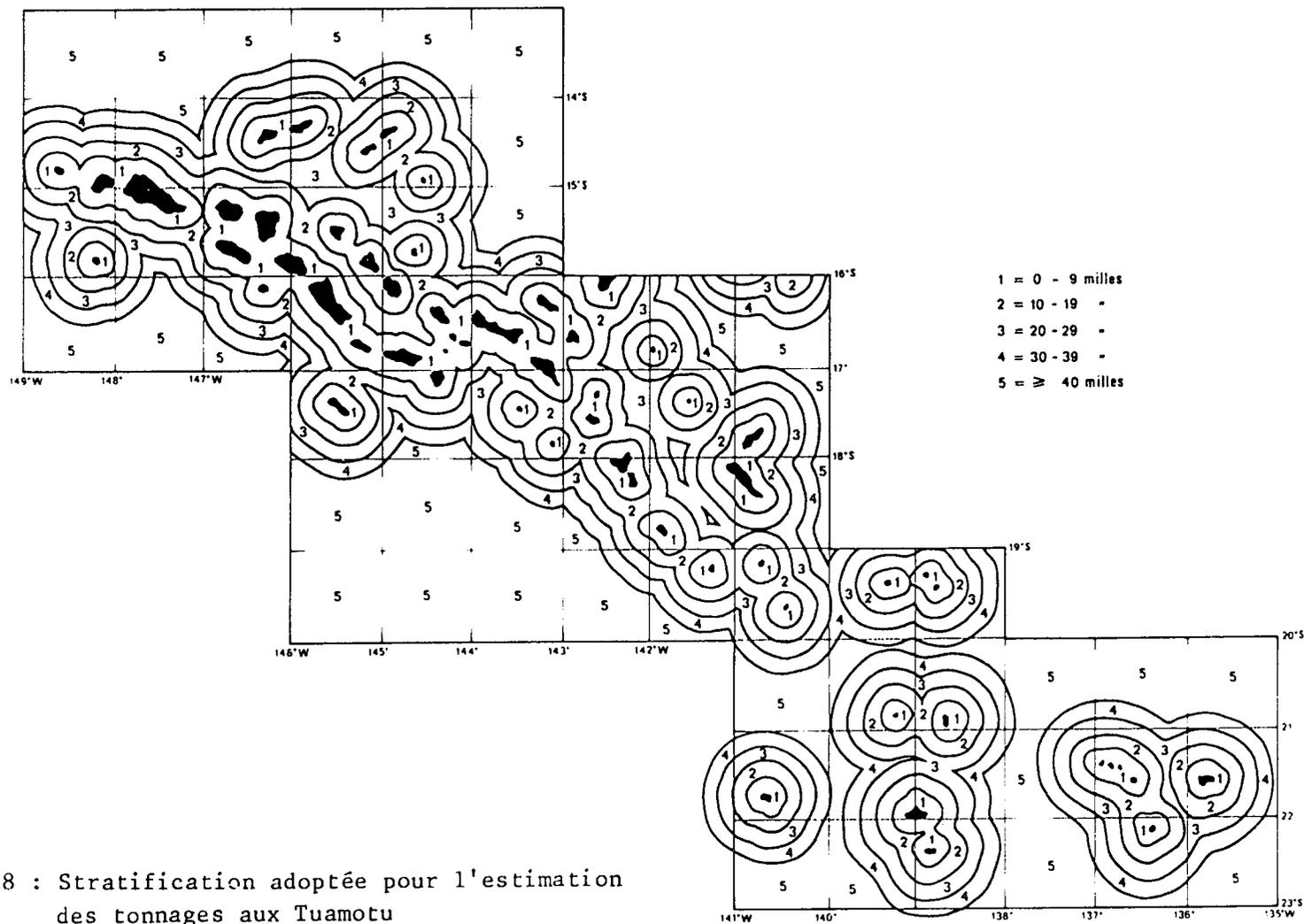


Figure 28 : Stratification adoptée pour l'estimation des tonnages aux Tuamotu

Tableau n° 21 - Estimations des tonnages par avion aux Tuamotu

$$(6) = \frac{\sqrt{(3)}}{(s \times (2))} \times (1)$$

$$(7) = \frac{\sqrt{(5)}}{(s \times (2))} \times (1)$$

s = 3,135 milles carré

D₁ = densité observée

D₂ = densité suggérée

t₁ = 4,9 t

t₂ = 17,3 t

STRATE	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) (7)		(8)			
	Surface en milles ²	Effort de recherche	Nombre d'observations de thons	Nombre de vols d'oiseaux	Nombre de mattes suggérées	Nb. de mattes calculées avec		Tonnages estimés* en prenant			
						D ₁	D ₂	t ₁ -D ₁	t ₂ -D ₁	t ₁ -D ₂	t ₂ -D ₂
n°1 : 0-9 milles	29 400	861	24	59	28	261	305	1,3	4,5	1,5	5,3
n°2 : 10-19 milles	39 200	391	14	14	14	448	448	2,2	7,8	2,2	7,8
n°3 : 20-29 milles	34 000	216	2	4	3	100	150	0,5	1,7	0,8	2,6
n°4 : 30-39 milles	29 800	138	0	2	1	0	69	0	0	0,3	1,2
n°5 : ≥ 40 milles	28 000	174	1	5	3	33	159	0,3	0,9	0,8	2,8
TOTAL	160 400	1 780	41	84	49	862	1 131	4,3	14,9	5,6	19,7

* tonnages estimés en milliers de tonnes.

8°) - Discussion sur les estimations de tonnage :

a) Validité des résultats : Pour pouvoir valablement discuter des estimations de tonnage, il serait nécessaire de pouvoir calculer la variance de ces estimations afin d'établir des intervalles de confiance. La méthode utilisée pour estimer le tonnage par prospection aérienne présente de grandes analogies avec la méthode d'évaluation des biomasses par écho-intégration. De ce fait, le calcul de la variance de l'estimation de tonnage pourrait se faire suivant la méthode présentée par LALOE (1981) pour l'écho-intégration, moyennant des modifications mineures. Cependant, à l'heure actuelle un tel calcul de variance n'est pas possible pour la Polynésie car d'une part, nous ne disposons pas de la variance sur d_e et d'autre part, le recouplement des radiales, tout au moins près des côtes, est trop important.

Faute de pouvoir calculer la variance des estimations de tonnage, on peut calculer les valeurs extrêmes des estimations de tonnage en fonction des incertitudes de mesure. Trois paramètres présentent des incertitudes : d_e , le tonnage moyen et la surface de la strate.

La distance efficace, d_e , est vraisemblablement comprise entre 200 et 500 m. Si on utilise ces valeurs extrêmes de d_e pour estimer les tonnages, il faudra multiplier par un facteur de 1,45 ou 0,58 (pour 200 m et 500 m respectivement) les résultats présentés jusqu'à présent (Tableaux 19, 20, 21).

Les tonnages moyens utilisés ont été obtenus après transformation logarithmique des données, calcul d'un intervalle de confiance sur l'échelle logarithmique, puis retransformation des bornes de cet intervalle par la fonction exponentielle. Cette retransformation entraîne un biais et les tonnages sont sous-estimés (GROSSLEIN, 1971).

Dans cette étude, la surface de la strate ne présente une incertitude importante que dans le cas où il n'existe pas de limite physique facilement définissable. C'est le cas, en particulier, de la strate 7 des Marquises et de la strate 5 des Tuamotu. Pour ces deux strates, le problème est de savoir si les zones où elles ont été découpées sont homogènes ou

non, ou en d'autres termes : l'échantillon est-il suffisant pour les surfaces envisagées. A l'heure actuelle, faute d'information, la question reste en suspens.

Reste le problème de la taille de l'échantillon dans chaque strate. Afin de minimiser la variance de l'estimation, pour l'ensemble des strates, il faut prendre des échantillons d'autant plus grands dans une strate, que la strate est dense (COCHRAN, 1977). Pour diverses raisons (cf. 1.1), l'échantillonnage réalisé n'est pas réparti idéalement. Cependant, les strates côtières les plus riches, sont celles qui ont été le mieux échantillonnées. Au sein même d'une strate, la précision de l'estimation du tonnage est d'autant plus mauvaise que la densité est faible. C'est le cas dans cette étude, des strates montrant moins de trois observations de thonidés. Toute observation supplémentaire aurait entraîné une augmentation du tonnage d'au moins 50 %, alors que dans des strates plus riches en observations de thonidés l'impact d'une observation supplémentaire sur l'estimation de tonnage aurait été faible.

Comme nous l'avons déjà précisé les tonnages estimés par D_1 et D_2 ne représentent pas les mêmes quantités. D'une part, avec D_1 , on obtient la quantité de thon "observable" par avion sur la zone, d'autre part, avec D_2 , on obtient la quantité "suggérée" qui, en fait, est une approximation de ce que pourrait détecter un bateau de pêche. Le calcul des tonnages "suggérés" nécessite l'emploi d'un coefficient d'association entre oiseaux "chassants" et thonidés.

On peut cependant donner des bornes théoriques au tonnage suggéré : la borne inférieure sera le tonnage observable, la borne supérieure sera le tonnage calculé avec un coefficient d'association entre oiseaux-thon de 100 % pour toutes les strates.

b) Comparaison des résultats : Les Tableaux 19, 20, 21 indiquent que les Marquises sont la zone la plus riche, suivie par les îles de la Société et enfin des Tuamotu. Cependant, le poisson n'est pas réparti de la même façon dans les trois archipels et les surfaces considérées ne sont pas identiques. Ainsi, on remarque aux Tuamotu un effet d'île beaucoup plus

accentué qu'aux Iles de la Société ou aux Marquises. En effet, de 66 à 82 % du poisson est concentré dans les strates 1 et 2 aux Tuamotu, contre 31 % aux îles de la Société et 10 à 16 % aux Marquises. La surface de ces strates représente 43 % de la superficie totale de la zone considérée aux Tuamotu, 20 % aux îles de la Société et 10 % aux Marquises. Ces chiffres semblent indiquer que l'effet attractif des îles est proportionnel à la surface qu'elles occupent dans la zone. Il est possible que le type d'île intervienne dans l'intensité de l'effet d'île, les îles basses (Tuamotu) ayant alors un plus grand effet que les îles hautes (Marquises). La stratégie de pêche dans les trois archipels, mais particulièrement aux Tuamotu, devra sans doute prendre en compte cet effet d'île.

Les secteurs du large sont moins denses que les secteurs côtiers, mais de fortes concentrations peuvent s'observer au large de façon saisonnière, comme ce fut le cas par exemple dans la strate du "contre-courant" des Marquises. Cependant, pour réaliser une stratification saisonnière il aurait fallu disposer d'un échantillonnage plus important et mieux réparti dans le temps. Enfin, pour la clarté de l'exposé, nous avons résumé l'essentiel des Tableaux 19, 20, 21 dans le Tableau 22.

Faute de vérité terrain, il est impossible à l'heure actuelle, de déterminer la proportion de poisson "observable" ou "suggéré" qui est effectivement vulnérable à la pêche. Cependant, il est possible de faire quelques comparaisons avec en particulier les campagnes de pêche à la canne de la CPS. Pour ces campagnes, qui, il est nécessaire de le rappeler, se sont déroulées à la saison présumée la meilleure en Polynésie, la densité des bancs vus par heure de pêche est donnée par le Tableau 23. En comptant dix heures de pêche et recherche par jour, on obtient un nombre de bancs vus/jour de pêche (Tableau 23).

Le tonnage "suggéré" que nous avons calculé est une estimation de ce qui est repérable par bateau dans une zone. On peut en particulier obtenir la surface moyenne (s_m) qu'il est nécessaire de prospecter pour repérer une matie par bateau (Tableau 24). Une estimation très grossière de la surface prospectée par un bateau du type utilisé par les campagnes CPS, peut s'opérer comme suit : $s_p = (\text{distance parcourue}) \times (2 \times \text{distance efficace})$. En utilisant 60 à 80 milles parcourus par jour de pêche et une dis-

tance efficace de 3 milles on obtient : $s_p = 360$ à 480 milles carré. Une estimation du nombre de mattes repérables par jour et par bateau est alors s_p/s_m . Cette estimation a été calculée pour diverses zones de Polynésie (Tableau 24).

Aux Marquises on obtient ainsi de 7,8 à 10,4 bancs/jour et aux îles de la Société de 4,2 à 5,6 bancs/jour, ce qui est comparable aux résultats CPS (10 bancs/jour aux Marquises et 6,6 bancs/jour aux îles de la Société). Par contre, aux Tuamotu les résultats de la prospection aérienne sont plus faibles (2,5 à 3,4 bancs/jour) que ceux de la CPS (7,7 bancs/jour).

Si on se restreint à la bande côtière 0-20 milles aux Iles de la Société et aux Tuamotu on obtient de meilleurs rendements. Ceci s'explique par l'effet d'île. Ainsi, aux Iles de la Société les résultats deviennent proches de ceux des Marquises (6,5 à 8,7 bancs/jour). Cependant aux Tuamotu les rendements (3,7 à 4,9 bancs/jour) restent inférieurs à ceux obtenus par la CPS.

Les résultats de la CPS suggèrent des prises de 5,1 t/jour aux Marquises, 4,0 t/jour aux Tuamotu et 1,6 t/jour aux îles de la Société pour la période décembre-février (KEARNEY et al., 1979 ; GILLET et KEARNEY, 1980). En se basant sur ces chiffres, très fragmentaires, on obtient 510 kg/banc vu aux Marquises, 520 kg/banc vu aux Tuamotu et 230 kg/banc vu aux îles de la Société (la moyenne de la CPS pour l'ensemble du Pacifique tropical est de 590 kg/banc vu). A l'aide de ces chiffres, on peut calculer le tonnage capturable par jour pour un canneur dans les diverses zones de Polynésie (Tableau 24). Ces chiffres sont peut-être très loin de ce qui pourrait être capturé en Polynésie, car ils reposent sur très peu de données. D'autre part, nous ignorons combien de bateaux pourraient pêcher de telles quantités. De plus, l'emploi de radeaux agrégatifs pourrait singulièrement changer ces figures. Il faut aussi rappeler que les ressources en appât naturel sont désormais reconnues comme faibles et aléatoires en Polynésie (JAMES, 1981 ; BAYLIFF et HUNT, 1981).

Tableau n° 22 - Résumé des estimations des tonnages selon les zones.

	Surface considérée (en milles carré)	Tonnage observable (en millier de tonnes)	Tonnage suggéré (en tonnes)
Marquises	139 150	18,9 - 51,2	38,4 - 104,7
Tuamotu	160 400	4,3 - 14,9	5,6 - 19,7
Société	93 500	9,0 - 18,9	9,0 - 18,9
TOTAL	393 050	32,2 - 85,0	53,0 - 143,3

Tableau n° 23 - Nombre de bancs observés par heure de pêche au cours des campagnes C.P.S. (BAYLIFF et HUNT, 1981)

Zone	Nombre d'heures de pêche	Nombre de bancs vus	Nombre de bancs/heure de pêche	Nombre de bancs/jour
Marquises	222	221	1,00	10
Tuamotu	284	220	0,77	7,7
Société	196	130	0,66	6,6

Tableau n° 24 - Estimation du nombre de mattes observables par un canneur d'après les résultats de la prospection aérienne

sp = Surface prospectée par un canneur (en milles carré par jour)

Zones	Surface en milles carré (1)	Nombre de mattes "suggérées" (2)	Surface moyenne par matte : s _m (1) / (2)	Nombre de mattes observables par jour		Tonnage capturable par bateau et par jour t/j
				sp = 360	sp = 480	
Marquises Strates 1 à 7	139 150	3 013	46	7,8	10,4	4,0 - 5,3
Tuamotu Strates 1 à 5	160 400	1 131	142	2,5	3,4	1,3 - 1,8
Tuamotu 0 - 20 milles	68 600	709	97	3,7	4,9	1,9 - 2,5
Société Strates 1 à 5	93 500	1 092	86	4,2	5,6	1,0 - 1,3
Société 0 - 20 milles	18 500	336	55	6,5	8,7	1,5 - 2,0

Pour la pêche à la senne, il est difficile de réaliser des comparaisons. Les seuls essais réalisés en Polynésie n'ont pas été concluants (cf. chapitre 1.2.2.). La prospection aérienne indique que seules les Marquises offrent des possibilités, cependant, comme pour la pêche à la canne, l'utilisation de radeaux aggrégatifs pourrait modifier ces vues.

3.3. - Conclusion - Perspectives et Recommandations

La prospection aérienne s'est révélée un outil rapide et efficace pour détecter la présence de thonidés dans une région où les surfaces à prospecter sont particulièrement vastes.

La présente étude a ainsi permis de constater que c'est dans la zone des Marquises que l'on observe le plus de thon de surface, suivie, dans l'ordre, par les zones des îles de la Société et des Tuamotu. Cependant, le thon n'est pas réparti de la même façon dans les trois archipels. Ainsi, aux Tuamotu, le poisson se tient essentiellement près des côtes, alors qu'aux Marquises on trouve une répartition plus uniforme. On a également observé que les mattes vues aux Marquises sont de plus grande taille que celles vues aux Tuamotu ou aux îles de la Société.

Les résultats de la prospection aérienne rejoignent ceux des campagnes de pêche expérimentale sur bien des points. Ainsi, la composition en espèces des bancs est à peu près identique pour les deux méthodes. La prospection aérienne a également trouvé des résultats comparables à ceux des prospections par pêche expérimentale en ce qui concerne la taille des bancs observés. Mais, sans doute, le plus remarquable est la similarité dans l'estimation des densités de thon pour les Marquises et les îles de la Société selon les deux méthodes.

Cependant, la prospection aérienne présente des limites. D'une part, les estimations de densité ou de tonnage calculés représentent ce que l'on peut observer depuis un avion ou dans une certaine limite ce qui serait observable en bateau. Faute de vérité terrain, ces chiffres sont difficiles à relier à des quantités de thon capturable. Ces quantités dépendent primordialement des techniques de pêche utilisées. D'autre part,

la prospection aérienne ne peut détecter que le poisson en surface ou proche de la surface. Donc, si le poisson reste en profondeur ou si les conditions météorologiques sont défavorables, la prospection aérienne est un outil inefficace.

Pour améliorer cet outil et l'interprétation des résultats obtenus, divers aménagements sont à prévoir :

- nécessité de réaliser des vols en conjonction avec des bateaux de pêche. Ceci permettrait de relier les quantités observables par avion, aux quantités effectivement pêchées,

- étude détaillée des relations entre indices et thons. Ce point est à souligner, car, d'avion, le repérage des indices (oiseaux, épaves, cétacés...) est souvent plus aisé que celui du thon. Dans les régions où le thon se tient en profondeur, ou encore, où les conditions d'observation sont mauvaises, la connaissance d'une relation entre indices et thons permettrait de valider des opérations de prospection aérienne qui resteraient sans valeur autrement,

- embarquement à bord de l'avion de détecteurs autres que le radiomètre. Des capteurs permettant la mesure de la couleur de l'eau et de la salinité seraient sans doute d'une grande utilité pour déterminer les relations entre thon et environnement. Il s'agit là de concevoir une véritable océanographie aéroportée parfaitement adaptée à la gestion des grandes ZEE et aux récents développements de la télédétection aérospatiale.

Dans la mesure où ces recommandations seraient suivies la prospection aérienne pourrait, dans certains cas, permettre des estimations précises des quantités capturables. Cependant, il serait illusoire de penser que l'on puisse se baser uniquement sur cette technique pour aménager une pêcherie.

Ainsi, par exemple, les Marquises se sont confirmées comme la zone la plus riche de Polynésie Française. Plusieurs problèmes majeurs se posent pourtant avant l'ouverture d'une pêcherie industrielle dans cette zone. En particulier, quel type de pêche choisir. La prospection aérienne a indiqué que les poissons observés ont des caractéristiques permettant

l'emploi de la pêche à la canne et à la senne. Cependant, hormis les problèmes logistiques et économiques, reste à savoir si dans le cas d'une pêche à la canne il y aura des sources d'appât suffisantes en quantité et qualité.

Autre exemple, aux Tuamotu, la prospection aérienne a mis en évidence un net effet agrégatif des îles. Par ailleurs, cette zone semble, d'après la prospection aérienne, moins riche que les autres zones prospectées. Cependant, en se restreignant à une bande côtière il peut être possible d'y établir une pêcherie à la canne. Seule une étude grandeur nature sur une année ou deux pourra vraiment répondre à cette question.

Reste également le problème de l'utilisation des radeaux agrégatifs. Cette technique est en pleine expansion dans l'ensemble du Pacifique. Elle est encore en bien des points à un stade artisanal, mais elle peut modifier notablement la physionomie d'une pêcherie. Il est certain que la prospection aérienne ne peut en aucun cas laisser prévoir ce qu'une telle technique peut apporter.

En conclusion, la prospection aérienne est à inclure dans une étude d'ensemble. Utilisée conjointement avec l'analyse d'images satellites et des pêches expérimentales, la prospection aérienne peut être un outil très efficace pour des régions, comme la Polynésie Française, soumises à deux réalités antagonistes : immensité géographique et nécessité d'obtenir rapidement des connaissances sur les potentialités de pêche.

BIBLIOGRAPHIE

- ANONYME, 1979 - Synthèse sur l'élevage d'appâts vivants (MOLLY)
CNEXO Tahiti. COP/1/PE-79.003.
- ARGUE (A.W.), CONAND (F.) et WHYMAN (D.), 1983 - Observations on Juveniles Tunas from Stomachs of skipjack and other tunas caught by pole and line gear in the Pacific Ocean - *CPS Technical Report - N° 9.*
- AUSTIN (T.), 1958 - Seasonal variations in the oceanographic and the marine biological features in the waters of French Polynesia.
Hawaiian Acad. Sci. Proc. 33 : 20-21.
- AUSTIN (T.), 1960 - Report on tuna surveys in the Marquesas Islands.
U.S. Bur. Comm. Fish. : 10 p.
- AUSTIN (T.), 1962 - Report on tuna surveys in the Marquesas Islands.
U.S. Bur. Comm. Fish. : 10 p.
- BAYLIFF (W.) et HUNT (G.), 1981 - Exploratory fishing for tunas and tuna tagging in the Marquesas, Tuamotu, Society, Pitcairn and Gambier Islands. *IATTC special report n° 3. : 125 p.*
- BESSINETON (C.), 1976 - La pêche des bonitiers à Tahiti. *CNEXO - TAHITI COP-1-PE-76.002 : 15 p. + annexes.*
- BOELY (T.), CONAND (F.) et MUYARD (J.), 1980 - l'appât vivant dans le Pacifique tropical Centre et Ouest. *Rapp. Scient. et Tech. Centre ORSTOM, Nouméa. N° 7 : 37 p.*
- BOUR (W.), 1981 - Radiométrie aérienne et prospection thonière (Polynésie Française). *Rapport préliminaire n° 2. ORSTOM-NOUMEA.*
- BOURRET (P.), BINET (D.), HOFFSCHIR (C.), RIVATON (J.) et VELAYOUDON (H.), 1979 - Evaluation de "l'effet d'île" d'un atoll : plancton et micronecton au large de MURUROA. (Tuamotu) - *Centre ORSTOM-NOUMEA : 124 p.*
- BRUN et KLAWE (W.L.), 1968 - Landings of skipjack and yellowfin tuna at Papeete market. *Commercial Fisheries review. Vol. n° 30, n° 4 : 62-64.*
- CAUCHARD (G.) et INCHAUSPE (J.), 1977 - Le temps dans l'Archipel des Marquises. Aperçu climatologique. *Met. Nat. Monogr. n° 10 : 1: 31.*
- CHABANNE (J.) et MARCILLE (J.), 1980 - "La pêche bonitière en Polynésie Française". *ORSTOM-TAHITI, Notes et Doc. Océanogr., 3 : 56 p.*
- CHABANNE (J.), 1981 - La pêche thonière en Polynésie Française. Etat actuel et perspectives. *Pêche Maritime déc. 1981 : 745-751.*

- COCHRAN (W.G.), 1977 - Sampling techniques - édité chez Wiley & Sons (New-York ; Chichester ; Brisbane ; Toronto) : 428 p.
- DESSIER (A.), 1981 - Use of merchant ships for collecting zooplankton. *TOAN Newsletter* - number 7 - July 1981.
- DONGUY (J.R.) et ROTSCI (H.), 1970 - Sur un courant Est dans le Pacifique Central Sud. *C.R. Acad. Sci. Paris*, Série D, 271 : 869-871.
- DONGUY (J.R.) et HENIN (C.), 1976 - Hydroclimatic Anomalies in the South Pacific. *Oceanol. Acta* 1, 1 : 25-70.
- DONGUY (J.R.) et HENIN (C.), 1981 - Two types of hydroclimatic conditions in the South-Western Pacific. *Oceanol. Acta*, 4, 1 : 57-62.
- FISHER et YATES, 1957 - Statistical tables for biological, agricultural and medical research. Oliver and Boyd, Edinburg.
- FRAIZIER (A.) et SIU (P.), 1980 - Etudes menées dans l'atoll de Rangiroa en relation avec l'élevage d'un poisson : le *Chanos chanos*. *Rapport C.E.A. R* - 5047.
- GILLETT (R.) et KEARNEY (R.), 1980 - Deuxième rapport intérimaire sur les activités au titre du programme d'étude et d'évaluation des stocks de bonites dans les eaux de la Polynésie Française (13-12-79 au 17-02-80). *Rapport régional préliminaire de la C.P.S.*, n° 21 : 22 pp.
- GOHIN (F.), LE GUEN (J.C.), PETIT (M.) et PLANET (R.), 1981 - Méthodes d'échantillonnages par avion pour l'évaluation quantitative des peuplements animaux, application à l'évaluation des stocks de thons. *G.S.G. - CNEXO Brest*.
- GROSSLEIN (M.D.), 1971 - Some observations on accuracy of abundance indices derived from research vessel surveys. *International Commission for the Northwest Atlantic Fisheries Redbook*. 1971 - Part III : 249-266.
- JAMES (P.), 1980 - Note sur la pêche thonière à Uturoa (Raiatea). Août 1980. *ORSTOM-TAHITI, Notes et Doc. Océanogr.*, 9 : 17 p.
- JAMES (P.), 1982 - L'appât vivant dans les Tuamotu du Nord-Ouest (Polynésie Française). *ORSTOM-TAHITI, Notes et Doc. Océanogr.*, 14 : 54 p.
- JOSSE (E.), 1979 - Etude de la bonite "*Katsuwonus pelamis*" à Tahiti. Thèse 3ème cycle. Université de Bretagne occidentale. N° ordre 112 : 113 p.
- KEARNEY (R.), HALLIER (J.P.) et GILLETT (R.), 1979 - Rapport intérimaire sur les activités au titre du programme d'étude et d'évaluation des stocks de bonites dans les eaux de Polynésie Française (6-12-78 au 3-02-79). *Rapport régional préliminaire de la C.P.S.* n° 4 : 21 p.
- LALOE (F.), 1981 - Contribution à l'étude de la variance de l'estimation de biomasse de poissons par écho-intégration - Contribution n° 110 - *Symposium on fishery acoustics* : 12 p.

- MARCILLE (J.), ASINE (A.), MAREC (L.), MARITERANGI (P.), 1979 - La pêche bonitière à Tahiti. Document ORSTOM, Centre de Papeete. Avril 1979 : 38 p.
- MARCILLE (J.) et BOUR (W.), 1981 - "La pêche des thons dans l'Océan Pacifique Tropical". *Travaux et documents de l'ORSTOM*. N° 134 : 259 p.
- MARSAC (F.), 1981 - Radiométrie aérienne et prospection thonière (Polynésie Française). Rapport préliminaire n° 1. ORSTOM-NOUMEA.
- MATSUMOTO (W.M.), 1975 - Distribution, relative abundance, and movement of Skipjack Tuna, *Katsuwonus pelamis*, in the Pacific Ocean, based on Japanese Tuna longline catches, 1964-1967. *NOAA Tech. Sep. NMFS*, SSR6-695.
- Météorologie Nationale - 1979 - Projet Marisonde, Bouées pour P.E.M.G. - Second dossier, période du 1er mars au 31 août 1979 : 109 p.
- PETIT (M.), 1981 - Radiométrie aérienne et prospection thonière (Polynésie Française). Rapport préliminaire n° 3. ORSTOM-NOUMEA.
- PETIT (M.) et GOHIN (F.), 1981 - Radiométrie aérienne et prospection thonière (Polynésie Française). Rapport préliminaire n° 4. ORSTOM-NOUMEA.
- PETIT (M.) et GOHIN (F.), 1982 - Radiométrie aérienne et prospection thonière (Nouvelle-Calédonie). Rapport convention ORSTOM-NOUMEA.
- PETIT (M.) et HENIN (C.), 1982 - Radiométrie aérienne et prospection thonière (Vanuatu). Rapport final. ORSTOM (Port-Vila).
- REREAS (R.) et BESSINETON (C.), 1974 - Rapport de mission à bord du Sea Treasure, senneur américain du 29/10 au 23/11/1974. *Service de la Pêche de Papeete*, Rapp. int.
- REREAS (R.), 1977 - Rapport de mission de pêche effectuée à bord du senneur "U.S.A. Zapata Discover" du 1 au 7 juin 1977. *Service de la Pêche de Papeete*, Rapp. int.
- ROUGERIE (F.), MAREC (L.) et GOURIOU (Y.), 1981 - Caractéristiques hydroclimatiques de la zone marine polynésienne en 1980. *ORSTOM-TAHITI, Notes et Doc. Océanogr.*, 13 : 72 p.
- S.C.E.P., 1979 - Compte d'exploitation du navire Hititai II de septembre 78 à février 79 : 26 p.
- TAFT (B.) et KOVALA (P.), 1979 - Tuamotu, salinity sections along 150° W from NORPAX shuttle Experiment (1977-1978). *Seattle-University of Washington*. M79. 17.
- WILSON (R.), AUSTIN (T.), 1957 - US Fish and Wildlife Service task force in the Marquesas. *Pan. Am. Fisherman* 11 (12) : 6-7, 14.

A N N E X E "A"

MODELE MATHEMATIQUE EMPLOYE POUR LE TRAITEMENT DES DONNEES

Le modèle qui va être développé attribue à chacun des facteurs (gradient thermique, secteur géographique, moment de la journée, état de la mer, saison) un effet multiplicatif sur la probabilité de voir une mat- te au cours d'un vol. On ne cherchera pas à comparer les facteurs entre eux ce qui n'aurait pas de sens en général, mais plutôt les effets des dif- férents niveaux à l'intérieur d'un même facteur. Aussi va-t-on comparer, par exemple, l'effet du soir à celui du matin et non à celui du secteur géographique.

Cette méthode, par son nombre d'hypothèses et d'approximations, ne prétend pas donner une valeur statistique optimale aux coefficients cal- culés, mais permet cependant d'obtenir des valeurs intéressantes, pour les- quelles il serait vain de chercher un intervalle de confiance, ce qui est à priori impensable vu le nombre de facteurs et le faible nombre des obser- vations (moins de 200).

°
° °

C A L C U L

1. La probabilité $P(i,j,k,l,m)$ a été définie au chapitre II.

$$P(i,j,k,l,m) = a(i) \times b(j) \times c(k) \times d(l) \times e(m) \times C$$

2. Calcul des valeurs proportionnelles aux coefficients

$a(i), b(j), c(k), d(l), e(m)$:

Le modèle donne à chacun des facteurs un rôle multiplicatif. On ne cherchera pas à estimer directement les coefficients de chacun des facteurs, mais plutôt leur rapport à la moyenne. Par exemple pour $a(i)$ on prendra :

$$R(i) = \frac{a(i)}{\bar{a}} \quad \text{où } \bar{a} \text{ est la valeur moyenne des } a(i)$$

$$\bar{a} = \frac{\sum_i a(i) \times E(n_i)}{N} \quad \text{où } N \text{ est l'ensemble des enregistrements}$$

et (n_i) le nombre de ceux présentant le caractère i .

3. Calcul de $R(i)$

On a considéré les vols effectués dans les conditions (i,j,k,l,m) et calculé :

$$\hat{R}(i) = \frac{P(i,j,k,l,m)}{n(o,j,k,l,m)} \quad (\hat{R} = \text{estimateur de } R)$$
$$n(o,j,k,l,m) = \sum_i n^\circ(i',j,k,l,m)$$

où $n^\circ(i',j,k,l,m)$ est le nombre d'observations dans les conditions i',j,k,l,m . et $n(i,j,k,l,m)$ est le nombre d'enregistrements dans les conditions i,j,k,l,m .

$$\bar{p}(i, j, k, l, m) = \frac{n^\circ(i, j, k, l, m)}{n(i, j, k, l, m)}$$

et par extension :

$$\frac{n^\circ(o, j, k, l, m)}{n(i, j, k, l, m)} = \bar{p}(o, j, k, l, m).$$

$$E(\hat{R}(i) - R(i)) \sim \frac{E[\bar{p}(i, j, k, l, m) - \bar{p}(o, j, k, l, m)] \times R(i)}{P(o, j, k, l, m)}$$

$$= \frac{P(i, j, k, l, m) - \frac{a(i)}{a} \times E(\bar{p}(o, j, k, l, m))}{p(o, j, k, l, m)}$$

$$\text{Var}(i) = \text{Var} \left[\frac{\bar{p}(i, j, k, l, m)}{\frac{n^\circ(o, j, k, l, m)}{n(o, j, k, l, m)}} \right]$$

$$\sim i \frac{P(i, j, k, l, m)}{n(i, j, k, l, m) \times \frac{n^\circ(o, j, k, l, m)}{n(o, j, k, l, m)}}$$

La répartition des $n^\circ(i, j, k, l, m)$ étant supposée binomiale et $p(i, j, k, l, m)$ petit.

On peut admettre que $p(i, j, k, l, m) \approx p(o, j, k, l, m)$ c'est-à-dire que à j, k, l, m fixé l'effet i est négligeable on a :

$$\text{Var} \hat{R}(i) = \frac{1}{n(i, j, k, l, m) \times \frac{n^\circ(o, j, k, l, m)}{n(o, j, k, l, m)}}$$

$\hat{R}(i)$ est défini pour chaque quadruplet (j, k, l, m)
 (j, k, l, m)

Si on considère un $\hat{R}(i)$ moyen en effectuant une moyenne $\hat{R}(i)$ pondérée par une approximation de l'inverse de leur écart type on prendra :

$$\hat{R}(i)_{(j,k,l,m)} = \frac{\varepsilon \hat{R}(i)_{(j,k,l,m)} \times \sqrt{\frac{n^{\circ}(o,j,k,l,m) \times n(i,j,k,l,m)}{n(o,j,k,l,m)}}}{\varepsilon_{(j,k,l,m)} \sqrt{\frac{n^{\circ}(o,j,k,l,m) \times n(i,j,k,l,m)}{n(o,j,k,l,m)}}}$$

A N N E X E "B"

BILAN DES OPERATIONS SUR LE TERRAIN

I/ - RAPPEL

Le financement de l'opération est assuré par des crédits FIDES dans le cadre de la Convention passée entre le Secrétaire d'Etat aux DOM-TOM et l'ORSTOM.

II - LOGISTIQUE AVION ET MATERIEL SCIENTIFIQUE

L'avion utilisé était un Aerocommander de la Compagnie Air-Lagon. Cet appareil, équipé d'un matériel de navigation OMEGA, s'est révélé très adapté à ce type de vol à basse altitude. La location de l'avion a fait l'objet d'un contrat entre la Compagnie Air-Lagon et le Centre ORSTOM de Papeete.

Le matériel scientifique se compose d'un radiomètre infra-rouge (9.5 - 11.5 μm), alimenté par un onduleur, d'un enregistreur sur papier, d'une sortie digitale et d'un microordinateur HP 85.

Aucun problème notable pour l'avion ou pour le matériel scientifique.

III - PERSONNEL : (NOMBRE D'HEURES DE VOL REALISEES ENTRE LE 16 FEVRIER ET LE 22 DECEMBRE 1981 : 506 HEURES 10 MINUTES

Air-Lagon	: Alain BAILLOT.....	152 h 40
	Aristide BARBARAS.....	224 h 45
	Eric SOUCAZE.....	128 h 45
<u>ORSTOM</u>	: Alassane BA.....	34 h 25
	Graham BELL.....	288 h 45
	Willy BOUR.....	76 h 20
	Francis GOHIN.....	58 h 10
	Pierre JAMES.....	66 h 00
	Jacques MARCILLE.....	164 h 40
	Francis MARSAC.....	154 h 00
	Michel PETIT.....	157 h 00
	Francis ROUGERIE.....	13 h 10

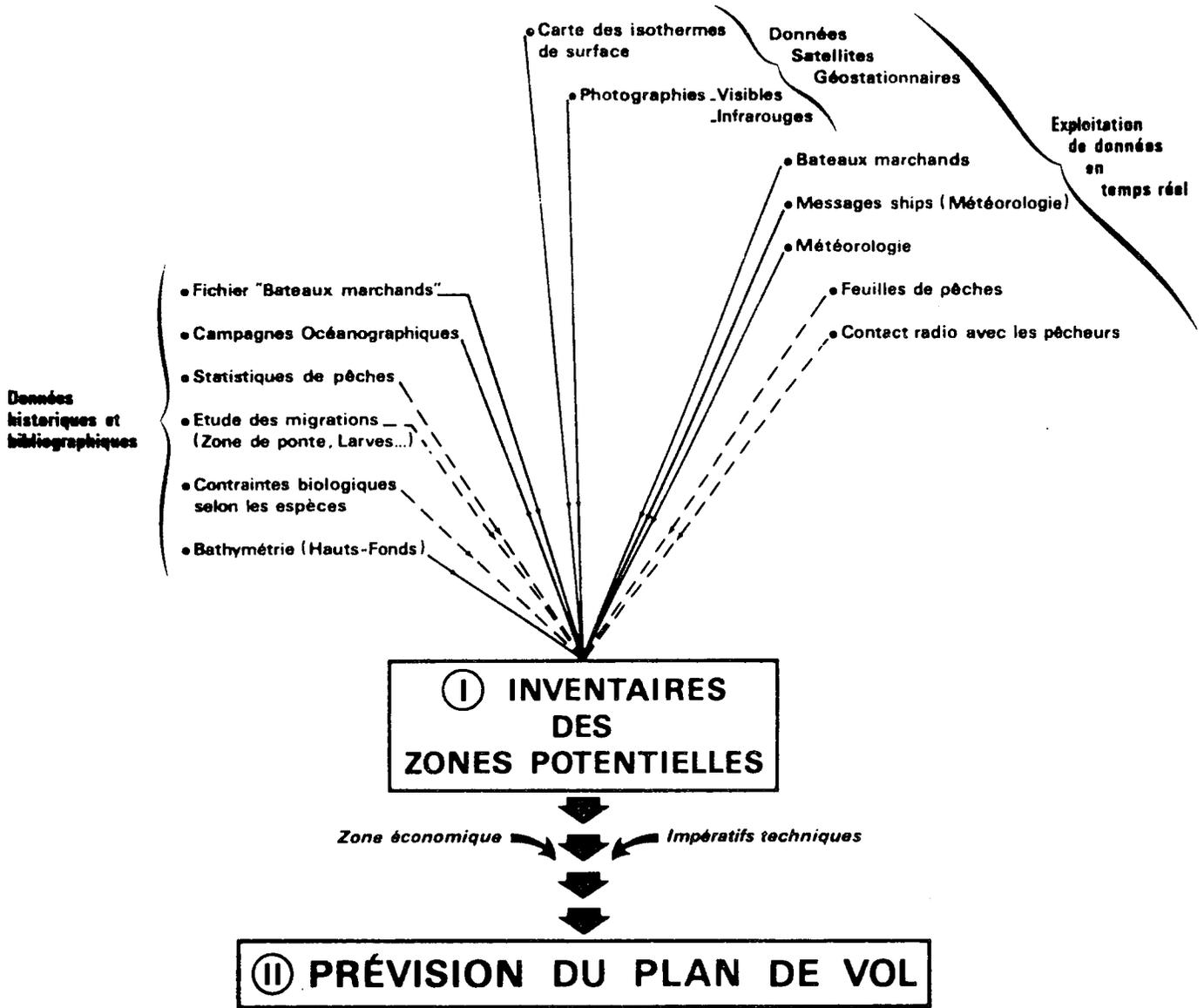
et Ahsoy ASINE, Jacques CHABANNE, Yves GOURIOU, Louis MAREC.

Service de la Pêche : Philippe SIOU, François LEPROUX, Yves BROSSE.

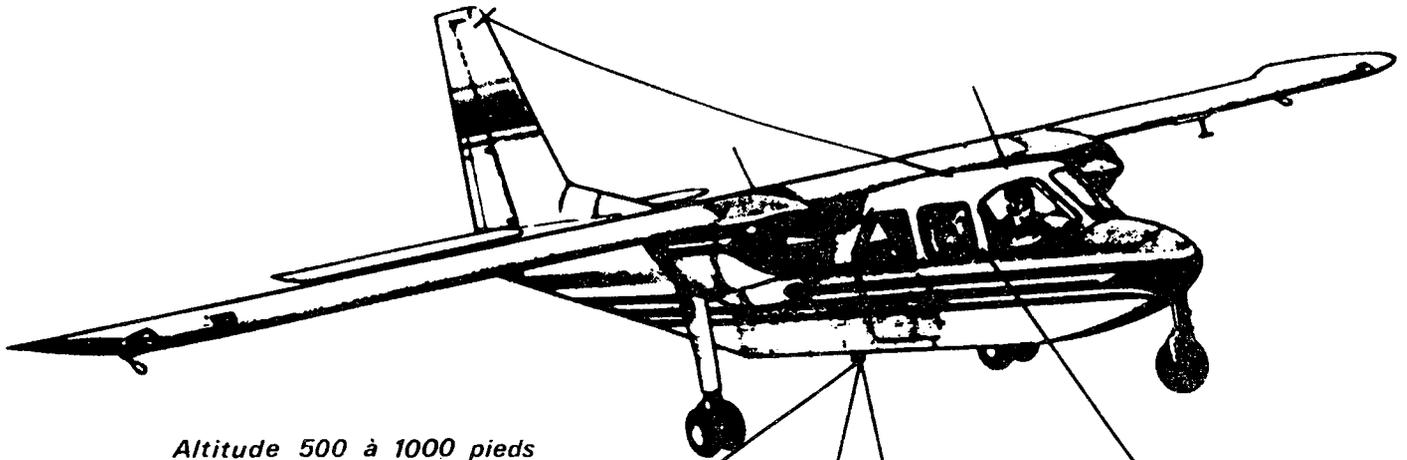
A N N E X E "C"

Rappel : Organigramme de la méthode employée
en radiométrie aérienne et prospec-
tion thonière.

--- Données d'ordre biologique
— Données d'ordre physique
(températures, courants etc...)



III VOL



Altitude 500 à 1000 pieds

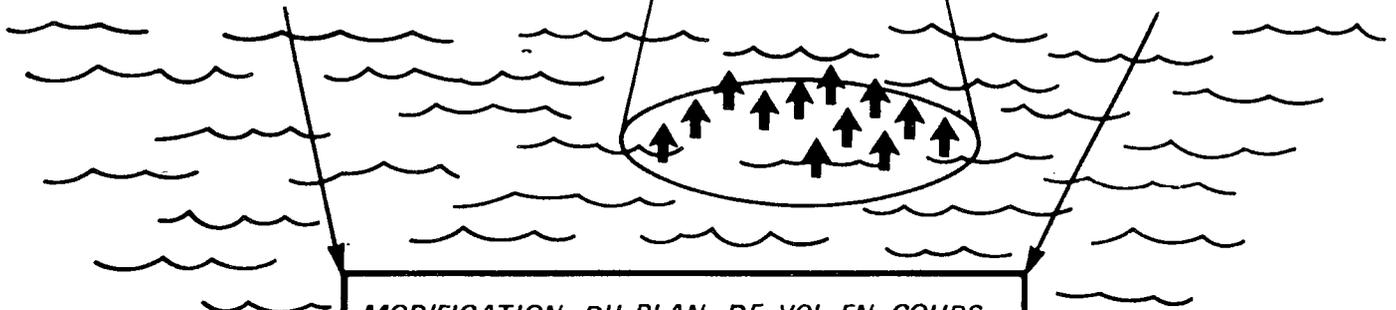
III₂ Relevés Thermiques

- FRONTS THERMIQUES
- POCHEs D'EAU

Rayonnement I.R.

III₃ Détection à vue

- POISSONS
- OISEAUX
- CETACES
- EPAVES
- COULEUR DE L'EAU
- BRUME
- BATEAUX DE PECHE



MODIFICATION DU PLAN DE VOL EN COURS

PUBLICATIONS DANS LA SERIE

"Notes et Documents d'Océanographie"
du Centre ORSTOM de Tahiti

Numéro

- 11 - FOURMANOIR (P.) et CHABANNE (J.) - 1980 - Pêche à la palangre profonde en Polynésie Française. *ORSTOM Tahiti, Notes et Doc. Océanogr.*, 11 : 19 p.
- 12 - ROUGERIE (F.), MAREC (L.) et GOURIOU (Y.) - 1980 - Caractéristiques hydroclimatiques de la zone marine de Polynésie Française pendant l'année 1979. *ORSTOM Tahiti, Notes et Doc. Océanogr.*, 12 : 64 p.
- 13 - ROUGERIE (F.), MAREC (L.) et GOURIOU (Y.) - 1981 - Caractéristiques hydroclimatiques de la zone marine polynésienne pendant l'année 1980. *ORSTOM Tahiti, Notes et Doc. Océanogr.*, 13 : 72 p.
- 14 - JAMES (P.) - 1982 - L'appât vivant dans les Tuamotu du Nord-Ouest (Polynésie Française). *ORSTOM Tahiti, Notes et Doc. Océanogr.* 14 : 54 p.
- 15 - CHABANNE (J.), MAREC (L.) et ASINE (A.) - 1981 - La pêche bonitière en Polynésie Française en 1980 - *ORSTOM Tahiti, Notes et Doc. Océanogr.*, 15 : 30 p.
- 16 - INTES (A.) - 1982 - La nacre en Polynésie Française. (*Pinctada margaritifera* Linné, Mollusca, Bivalvia). Evolution des stocks naturels et de leur exploitation. *ORSTOM Tahiti, Notes et Doc. Océanogr.*, 16 : 46 p.
- 17 - CHABANNE (J.) et GALLET (F.) - 1982 - La pêche bonitière en Polynésie Française en 1981. *ORSTOM Tahiti, Notes et Doc. Océanogr.*, 17 : 30 p.
- 18 - ROUGERIE (F.), MAREC (L.) et PICARD (E-P.) - 1982 - Caractéristiques hydroclimatiques de la zone marine polynésienne pendant l'année 1981. *ORSTOM Tahiti, Notes et Doc. Océanogr.*, 18 : 75 p.
- 19 - CHABANNE (J.) et UGOLINI (B.) - 1983 - La pêche bonitière en Polynésie Française en 1982. *ORSTOM Tahiti, Notes et Doc. Océanogr.*, 19 : 30 p.
- 20 - PETIT (M.) et KULBICKI (M.) - 1983 - Radiométrie aérienne et prospection thonière dans la zone économique exclusive de Polynésie Française. *ORSTOM Tahiti, Notes et Doc. Océanogr.*, 20 : 97 p.

Centre ORSTOM de Tahiti
BP: 529 - Papeete.

Copyright 1983.