

Mission ORSTOM aux Seychelles

B.P. 570

Victoria - Mahé

- République des Seychelles -

N

PECHE THONIERE DANS L'OCEAN INDIEN TROPICAL OUEST :

RESULTAT DES PROSPECTIONS ET PERSPECTIVES D'ETUDES

---

F. MARSAC

Mémoire d'élève-chercheur ORSTOM

Août 1983

Fonds Documentaire IRD



010022958

Fonds Documentaire IRD  
Cote : AX 22958 Ex : 1

1000  
1000  
1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

## SOMMAIRE

---

### INTRODUCTION

### 1ère PARTIE : RESULTAT DES PROSPECTIONS THONIERES MENEES AUX SEYCHELLES DE 1981 A 1983

#### I- MISE EN PLACE D'UN SYSTEME D'ACQUISITION DE DONNES THONIERES POUR TRAITEMENT SUR ORDINATEUR

- I.1 - Préambule
- I.2 - Le fichier radiométrie (MT)
- I.3 - Le fichier senseur
- I.4 - Fichiers annexes
- I.5 - Traitements effectués

#### II- LES PROSPECTIONS AERIENNES ASSOCIEES A LA RADIOMETRIE INFRA-ROUGE AUX SEYCHELLES

- II.1 - Bref rappel sur l'écologie du thon
- II.2 - Matériel et méthode
  - II.2.1 - Matériel
  - II.2.2 - Méthode
- II.3 - Précision des télémessures radiométriques
  - II.3.1 - Etalonnage au laboratoire
  - II.3.2 - Calibration en vol
- II.4 - Contextes météorologique et hydrologique des prospections
  - II.4.1 - Evolution météorologique
  - II.4.2 - Evolution thermique
  - II.4.3 - Courants
- II.5 - Première évaluation des potentialités en thon des zones prospectées
  - II.5.1 - Présentation
  - II.5.2 - Paramètres intervenant dans l'échantillonnage aéroporté
    - II.5.2.1 - Aptitude et expérience de l'observateur au repérage visuel des bancs
    - II.5.2.2 - Vitesse de l'avion
    - II.5.2.3 - Nébulosité
    - II.5.2.4 - Etat de la mer et vitesse du vent

- II.5.2.5 - Moment de la journée
- II.5.2.6 - Indicateurs associés à la présence de thon
- II.5.3 - Définition de la surface échantillonnée
  - II.5.3.1 - La courbe de visualisation
  - II.5.3.2 - Influence de la vitesse du vent
  - II.5.3.3 - Influence de la taille du banc
  - II.5.3.4 - Influence de l'aspect du banc
- II.5.4 - Calcul des coefficients de pondération : formulation du modèle de base
  - II.5.4.1 - Pondération liée à la nébulosité
  - II.5.4.2 - Pondération liée à l'activité des oiseaux
  - II.5.4.3 - Pondération liée à la présence d'épaves dérivantes
  - II.5.4.4 - Formulation du modèle de base
- II.5.5 - Stratification d'échantillonnage de la zone d'étude
  - II.5.5.1 - Répartition des thons selon la température
  - II.5.5.2 - Stratification selon les courants
- II.5.6 - Analyse des résultats obtenus par strate
  - II.5.6.1 - Calcul des densités en bancs
  - II.5.6.2 - Estimation de la biomasse en thon
- II.5.7 - Les pôles d'abondance
- II.5.8 - Effort optimal de prospection

### III- LA PROSPECTION DU SENNEUR " YVES DE KERGUELEN "

- III.1 - Suivi scientifique de l'expérience
- III.2 - Analyse des résultats obtenus par les senneurs

## 2ème PARTIE : ELEMENTS DE BASE D'UNE STRATEGIE PREVISIONNISTE DES ZONES DE PECHE THONIERE DE SURFACE DANS L'OCEAN INDIEN TROPICAL OUEST

### I- LES MOYENS UTILISABLES

- I.1 - Déjà en place
- I.2 - A mettre en oeuvre

II- INFLUENCE DES VARIATIONS DE TEMPERATURE EN SURFACE ET  
EN PROFONDEUR SUR LES CONCENTRATIONS DE THONS

II.1 - Analyse historique des températures de surface

II.2 - Variation de niveau des isothermes 15°C, 23°C  
et de la thermocline : incidence sur concentra-  
tion et vulnérabilité du thon

II.2.1 - Abondance en bancs de thons

II.2.2 - Captures

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE CITEE

ANNEXE

---

## INTRODUCTION

Les travaux auxquels j'ai participé aux Seychelles, en qualité d'élève-chercheur de l'ORSTOM, constituent une suite logique à la première formation dans le domaine halieutique que j'ai reçue au Centre ORSTOM de Nouméa pendant 22 mois, où j'ai successivement été Volontaire de l'Aide Technique (septembre 1979 à décembre 1980) et Allocataire de recherche (janvier à juin 1981).

L'objet essentiel du programme auquel j'étais attaché consistait en l'utilisation des techniques de télédétection (radiométrie infra-rouge aéroportée, surtout) pour une meilleure connaissance des mécanismes hydrologiques pouvant être à l'origine de concentrations de thons. J'ai ainsi eu l'occasion d'être formé techniquement à ce type de recherches que nous avons d'abord menées sur la ZEE de Nouvelle-Calédonie, puis au Vanuatu, à Wallis et Futuna et en Polynésie Française. Le travail scientifique n'a pas pu être très approfondi au cours de ces périodes surtout consacrées aux opérations "de terrain". Seuls des rapports ont été publiés sur les premiers résultats des prospections (cf Annexe).

Le programme relatif au thon développé aux Seychelles comprend un volet "Radiométrie" dont j'ai la charge. Son intérêt particulier, par rapport aux prospections du Pacifique effectuées de 1979 à 1981, est associé à la présence continue d'unités de pêche (thoniers) travaillant sur les mêmes zones aux mêmes périodes, qui fournissent ainsi une "vérité-terrain", d'où possibilité de vérifier et, au besoin, de recalibrer les hypothèses et estimations tentées depuis l'avion. Enfin, comme une étude sur l'environnement naturel, tant océanographique que biologique, ne peut pas être entièrement conduite par avion, j'ai pu, en alternance avec mes collègues, embarquer sur l'un des thoniers senneurs en pêche aux Seychelles.

Ière PARTIE : RESULTAT DES PROSPECTIONS THONIERES MENEES  
AUX SEYCHELLES DE 1981 A 1983 .

---

I- MISE EN PLACE D'UN SYSTEME D'ACQUISITION DE DONNEES THONIERES  
POUR TRAITEMENT SUR ORDINATEUR.

I.1 - Préambule

Une grande partie de ma contribution au programme de radiométrie du Pacifique a touché le domaine informatique: j'ai écrit un bon nombre des programmes utilisés dans la saisie, la correction et le traitement des données (cf rapports d'activité de VAT, janvier 1981, et d'Allocataire de recherche, juin 1981). Ces programmes, optimisés au fur et à mesure de leur utilisation, ont été directement adaptables aux Seychelles.

La venue d'un thonier senneur prospectant la région nous donnait l'occasion de récupérer des données plus complètes que celles fournies par la radiométrie et l'observation aériennes. Prévoyant la masse d'information qui allait nous arriver, j'ai conçu un fichier-type inspiré de celui utilisé au cours de l'année LISTAO en Atlantique. Ce fichier présente également des analogies avec le type de données récoltées par avion ce qui permet, moyennant de minimes modifications, l'utilisation des mêmes programmes pour traiter ces deux sources.

I.2 - Le fichier radiométrie (MT)

Chaque relevé comporte les éléments suivants:

a) paramètres de route et de positionnement

- date et heure GMT
- latitude et longitude
- cap suivi

b) paramètres du milieu

- état et couleur de la mer
- vitesse et direction du vent
- température de surface

c) paramètres biologiques

- codage de toute apparence et indice, liés de près ou de loin aux thonidés
- distance d'observation des bancs de thons par rapport à l'axe de route

Une file (=fichier-élément) se compose de 200 relevés (ou enregistrements) mis bout à bout, quel que soit le numéro de vol. Cette stratégie de stockage permet, avec le type de micro-ordinateur dont nous disposons (HP 85) de compacter les données sur la bande magnétique sans place perdue. On peut néanmoins, avec un programme ad-hoc, retrouver n'importe quel relevé d'un vol quelconque en un minimum de temps. En juin 1983, le fichier contenait environ 16 files (MT001 à MT016) représentant donc 44800 éléments d'information.

I.3 - Le fichier senneur

Les données des senseurs sont de deux types :

- données saisies par le scientifique embarqué, comprenant de multiples informations;
- données issues des carnets de pêche des navires sans observateur scientifique.

§1-Les données du premier groupe sont rassemblées en trois sous-fichiers: recherche (RC), calée (CL) et mensurations (MS).

. sous-fichier 'recherche': il comprend les données collectées lorsque le navire est en état de veille, c'est-à-dire qu'il cherche à repérer des indications pouvant présager de la présence proche de thon, ou des bancs qui émergeraient en surface. Chaque relevé est composé des éléments suivants:

a) paramètres de route et de positionnement

- date et heure
- latitude et longitude
- distance parcourue depuis le dernier relevé

b) paramètres d'écho-sondage

- profondeur moyenne et épaisseur des concentrations de gleure (nourriture des thons et des cétacés composée d'animaux pélagiques divers, de composition très hétérogène: cnidaires, petits crustacés pélagiques, larves et petits poissons planctonophages ...)

- abondance et profondeur moyenne des bancs de thons invisibles en surface, avec indication de l'espèce (ou des espèces) concernée(s)

c) paramètres biologiques de surface

- apparences et indices de présence de thon
- espèce et mode d'apparition des thons en surface (c.a.d. mobilité du banc, son aspect et l'évaluation du tonnage en présence)

d) paramètres du milieu

- état et couleur de la mer
- vitesse et direction du vent
- température de surface
- vitesse et direction du courant

Chaque file est constituée de 105 relevés (ou enregistrements) successifs. En juin 1983, nous disposons de 15 files (RC1 à RC15) dans ce sous-fichier, d'où près de 40000 éléments d'information.

. sous-fichier 'calée': il contient les observations relatives aux coups de filet (calée en terme professionnel), donc lorsque le bateau est stoppé. Il rassemble les éléments suivants:

a) paramètres de positionnement

- date et heure
- latitude et longitude
- numéro de la calée

b) paramètres sur la chronologie de l'opération de pêche

- heure de largage du skiff (filet mis à l'eau)
- heure de coulisse à la potence (fond du filet fermé)
- heure de début de salabardage (récupération du thon acheminé vers les cuves de congélation)
- heure du skiff à bord (fin du coup de filet)

c) paramètres résultat

- si coup nul, raison invoquée
- profondeur de la thermocline (si elle existe) déterminée par sondage XBT
- tonnage capturé

D'autres éléments sont prévus dans cette rubrique (profondeur atteinte par la senne et la durée de sa chute): ils nécessitent l'emploi d'un bathy-kimographe, appareil que nous n'avions pas.

Chaque file contient 16 calées. En juin 1983, les 12 files enregistrées constituaient un sous-fichier de 2700 éléments d'information.

... sous-fichier 'mensurations': il rassemble les données de longueur-fréquence par espèce des échantillonnages de thons effectués à bord d'un des senneurs par le scientifique.

Nous envisageons constituer un sous-fichier 'biométrie' qui comportera les diverses mensurations faites sur chaque thon à l'occasion de déchargements à Madagascar (données collectées à Nosy-Bé par l'ORSTOM de 1973 à 1975) et lors de calées, aux Seychelles (à partir d'avril 1983) afin de comparer les relations obtenues dans chaque région. Il s'agit là d'un des moyens utilisés pour délimiter des populations, étape à partir de laquelle peuvent être envisagées des hypothèses sur les migrations.

.. §2- Les données du deuxième groupe constituent le sous-fichier GYLT utilisé pour le dépouillement rapide des campagnes de chaque navire. Les éléments suivants sont présents dans un relevé:

- a) paramètres de positionnement
  - date et heure
  - latitude et longitude
- b) paramètres biologiques de surface
  - apparence et indices de présence de thon
  - espèce et mode d'apparition des thons
- c) résultat des calées
  - nombre de coups de filet tentés (avec répartition entre coups positifs et coups nuls)
  - pour chacune des deux espèces majeures (yellow-fin et skipjack), taille moyenne des individus capturés et tonnage embarqué
- d) paramètres du milieu
  - vitesse et direction du vent
  - température de surface
  - vitesse et direction du courant

Chaque file se compose de 22 relevés. En juin 1983, le sous-fichier contenait 20 files, soit 10100 éléments d'information.

#### I.4 - Fichiers annexes

Principalement au nombre de trois :

1) fichier 'satellite' (TP): il regroupe toutes les valeurs de températures mensuelles de la mer déterminées à partir des

cartes thermiques d'origine satellitaire diffusées par la NOAA (traitement GOSSTCOMP), sur une zone de l'océan Indien allant de la côte est-africaine à 75°E, et de 6°N à 14°S. La grille adoptée est calquée sur le format employé en Atlantique par STRETTA, c'est-à-dire: 5° de longitude sur 2° de longitude. Ce fichier débute à l'année 1978; il fut assez long à constituer car il a nécessité l'examen minutieux des 52 cartes hebdomadaires des années 1978 à 1982. Actuellement, le retard étant rattrapé, nous essayons de digitaliser les informations dès réception de la carte.

2) fichier 'XBT': chaque lancer de sonde thermique perdable (eXpendable Bathy Thermograph) se traduit par un profil vertical de la température qui s'inscrit sur un enregistreur papier. Par la suite, nous le digitalisons pour en conserver les valeurs remarquables. Ce fichier se divise en 2 sous-fichiers:

- sous-fichier 'XBT A': contient les températures de profondeurs fixes (0, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200, 250 m);
- sous-fichier 'XBT B': contient la profondeur correspondant à chaque température ronde, de 15° à 31°C.

Ce doublage de l'information a été rendu nécessaire par le fait qu'il apparait imprudent de tenter des extrapolations dans des zones où la température peut varier très rapidement en quelques mètres de profondeur (thermocline), ce qui est le cas aux Seychelles.

Outre les valeurs propres du profil thermique, figurent également les coordonnées spatiales et temporelles de chaque lancer.

3) fichier 'océan Indien' (IND): destiné à la confection de cartes géographiques de la partie ouest de l'océan Indien (Afrique de l'est à Sri Lanka, 12°N à 25°S), il fut constitué à partir de la digitalisation des tracés de côtes, de récifs et de hauts-fonds sous-marins (200 m) sur une table traçante connectée au micro-ordinateur. Il permet ainsi la restitution rapide de fonds de cartes au format et à l'échelle désirés en projection Mercator. Il se compose d'environ 4000 points, chacun étant défini par une latitude, une longitude et un numéro de code signifiant son appartenance à une côte, un récif ou un haut-fond. Une version très détaillée des îles granitiques

du plateau des Seychelles (Mahé, Praslin, Silhouette, Nord et La Digue) a aussi été faite pour restitution à grande échelle.

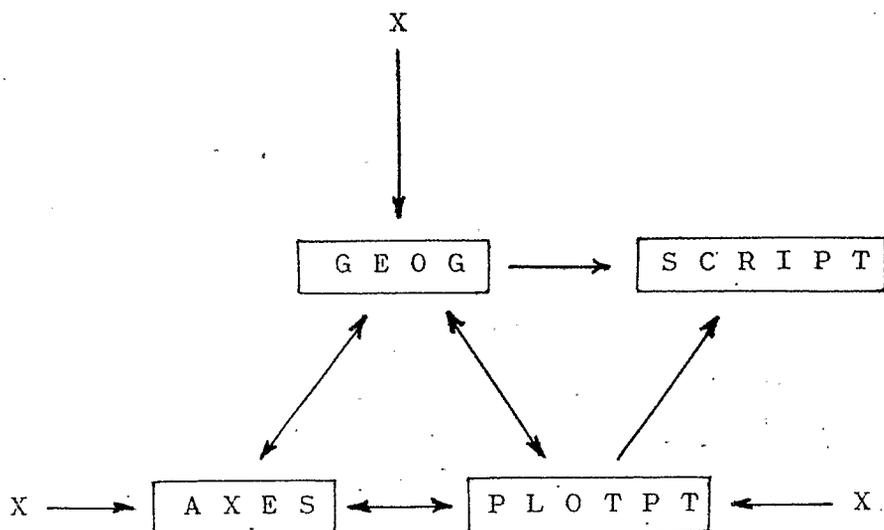
Enfin, il est prévu la création d'un fichier regroupant les données de pêche thonière palangrière sur l'ouest de l'océan Indien. Disposant de données diverses collectées dans plusieurs pays de la région, il s'avère indispensable de définir un format global rendant compatible la saisie de l'ensemble des informations sur le même fichier.

#### 1.5 - Traitements effectués

Les principaux travaux d'exploitation de nos fichiers sont les suivants:

- tracé de vols radiométriques ou de routes de bateau, avec température, paramètres météorologiques et observations biologiques ;
- étude des relations pouvant exister entre présence de thon et tout paramètre du milieu ;
- établissement de statistiques relatives aux observations biologiques de surface et aux calées ;
- estimation des surfaces marines balayées, calcul de densités en bancs, estimation de biomasse en thon accessible aux engins de surface, à partir de données avion ou bateau ;
- analyse d'histogrammes de fréquence de tailles ;
- établissement de cartes hydrologiques (température, courants) à partir de données satellitaires et bateau (XBT).

Les périphériques de sortie utilisés par ces programmes sont l'imprimante et la table traçante. Cette dernière est très souvent employée pour des projections planes de données diverses. Afin de faciliter ces travaux de sortie, j'ai créé un logiciel articulé sur 3 modules (sous-programmes) interconnectables, et dont la configuration suit :



X: tout programme de traitement ou d'appel.

GEOG: tracé des côtes, récifs et hauts-fonds à échelle désirée, permettant de constituer des fonds de carte en projection Mercator.

AXES: tracé d'un repère géographique latitude/longitude en projection Mercator.

PLOTPT: pointage de toute donnée issue de tout fichier en projection Mercator.

SCRIPT: écriture de textes selon divers formats, inclinaisons et espacement des caractères.

Cette configuration offre une grande souplesse d'exécution et surtout, une accessibilité à tout utilisateur car adaptable à tous les fichiers de données.

## II- LES PROSPECTIONS AERIENNES ASSOCIEES A LA RADIOMETRIE INFRA-ROUGE AUX SEYCHELLES.

Un programme de radiométrie aérienne a débuté aux Seychelles en novembre 1981. Il est destiné à fournir une première évaluation des potentialités thonières dans la partie seychelloise de l'océan Indien (fig.1). Les mesures de température faites en cours de vol permettent d'étudier les relations éventuelles liant les thons à certaines structures hydrologiques. Des extraits du rapport publié par MARSAC (1983) seront utilisés pour présenter ces travaux.

### II.1 - Bref rappel sur l'écologie du thon

Les thons ont un métabolisme élevé et possèdent la particularité, dans la classe des Poissons, d'avoir une température interne plus élevée que celle du milieu ambiant. Ce poisson, qui ne cesse de nager toute sa vie durant, est un gros consommateur d'énergie. Il va donc rechercher préférentiellement les secteurs, en surface ou en profondeur, où s'accumule

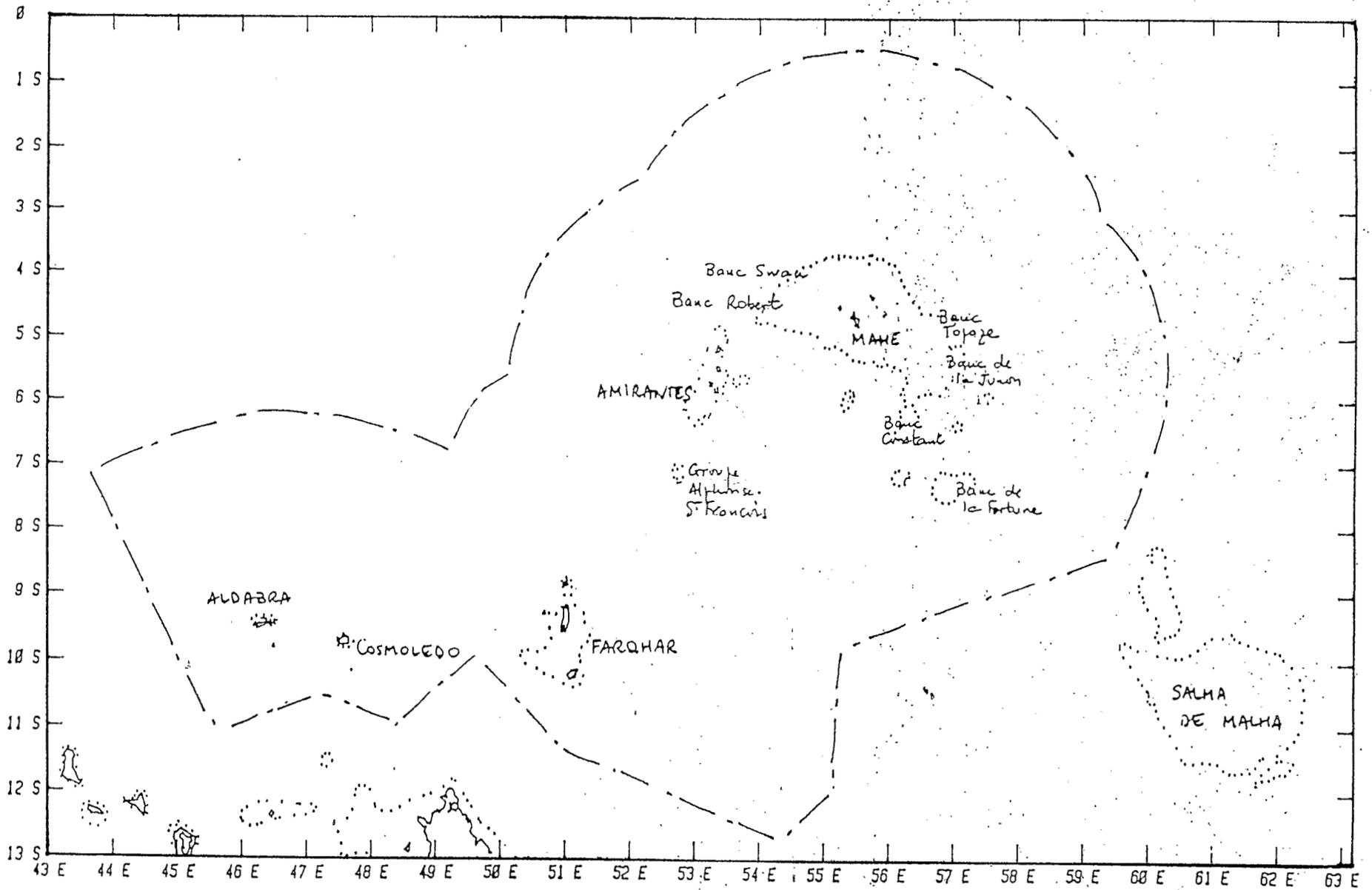


Fig.1 - La 'Zone Economique Exclusive' seychelloise

sa nourriture faite, entre autres, de petits poissons pélagiques. Nous connaissons les différentes structures hydrologiques qui constituent des initiateurs ou des aboutissants de chaîne trophique. Dans le premier cas, on peut citer les divergences, upwellings côtiers ou de bordure de haut-fond, les lieux où vents et courants s'affrontent, brisant ainsi la stratification des masses d'eau; dans le second, les convergences, les barrières de densité dues à des variations brutales de température et/ou de salinité, en surface ou en profondeur (thermocline, par exemple). Il est donc nécessaire de rassembler les connaissances les plus variées sur la zone d'étude, la température en particulier, afin de se donner les meilleures chances de prospector les aires les plus favorables.

## II.2 - Matériel et méthode

### II.2.1 - Matériel

L'appareillage de base est composé d'un radiomètre infrarouge BARNES PRT-5 muni d'une tête optique dirigée vers la surface de la mer à travers une ouverture pratiquée dans le plancher de l'avion. Un galvanomètre incorporé à l'unité centrale du radiomètre fournit un affichage de la température. Pour obtenir une meilleure précision, nous avons connecté un multimètre digital à la sortie du radiomètre, ainsi qu'un enregistreur papier. La tension affichée par le multimètre est transférée vers un micro-ordinateur qui affiche sur un écran les paramètres mesurés et les enregistre sur une bande magnétique. L'ensemble des appareils est contenu dans un rack compact qui occupe un volume minimal dans l'avion (fig.2).

### II.2.2 - Méthode

Le plan de vol est établi préalablement, après examen des données historiques variées (hydrologie générale, statistiques de pêche), des divers documents décrivant la situation thermique récente (relevés ship, cartes satellites), des enseignements tirés des vols précédents et, enfin, des conditions météorologiques du moment. La zone à prospector est donc définie, mais le trajet au sein de cette zone peut toutefois être modifié en cours de vol, en fonction des évolutions thermiques ou météorologiques qui se manifestent : la recherche des conditions optimales de prospection est un élément fondamental du succès et de la rentabilité des vols.

multimètre -  
digital

radiomètre -  
infra-rouge  
(9,5-11,5 $\mu$ m)



- micro-  
ordinateur  
HP-85

- enregis-  
treur gra-  
phique

- tête  
optique

Fig.2 - Equipement radiométrique

Les données sont saisies en cours de vol, en partie automatiquement (au moyen d'une interface), en partie manuellement sur un micro-ordinateur connecté à la chaîne d'acquisition. Après le vol, la bande magnétique de saisie est dépouillée par un ordinateur et le trajet suivi, avec les observations et les mesures faites, cartographié sur une table traçante. Cette rapidité d'exécution permet la programmation, en connaissance de cause, d'un vol dès le lendemain si cela s'avère nécessaire.

### II.3 - Précision des télémessures radiométriques

Le constructeur garantit, dans des conditions normales d'utilisation, une précision de  $\pm 0,2^\circ\text{C}$  pour le radiomètre travaillant dans le spectre IR 9,5-11,5  $\mu\text{m}$ . La mesure relative sera toujours excellente. En absolu, on pourra avoir un décalage avec la réalité pour des raisons diverses (altitude de vol, clarté variable de l'atmosphère ...). D'où la nécessité de pratiquer un étalonnage avant la mise en service de l'appareillage puis, par la suite, à des intervalles de temps réguliers (4 à 5 mois).

On opère en 2 phases : tout d'abord, un étalonnage au laboratoire, puis une calibration en vol .

#### II.3.1 - Etalonnage au laboratoire

Il teste en quelque sorte la précision du radiomètre. Au cours de cette manipulation, le système est alimenté par deux batteries montées en série, qui fournissent une tension continue de 24 V., analogue à celle de l'avion. On reproduit donc les conditions d'alimentation présentes en vol. La tête optique est placée sur une boîte noire étanche (pour éviter les incursions et réflexions de lumière) et isotherme (conservant la température stable le temps de la mesure); elle vise l'eau contenue dans cette enceinte au travers d'un trou. Le liquide est réchauffé par intervalles de  $0,3^\circ$  à  $0,5^\circ\text{C}$  et une mesure radiométrique ( $T_r$ ) est faite après chaque réchauffement simultanément à une mesure thermométrique ( $T_t$ ) in situ. On parvient donc à établir une droite d'étalonnage entre  $T_r$  et  $T_t$  qui tient compte de la seule variation du paramètre 'température', les autres éléments (luminosité, température ambiante, humidité) étant

considérés comme constants. Le coefficient de corrélation est généralement significatif au seuil de risque de 1% .

### II.3.2 - Calibration en vol

Connaissant la précision des instruments, on effectue un vol consistant en des passages successifs à différentes altitudes au-dessus d'un navire procédant à des mesures thermométriques. A raison de deux télémessures par niveau de vol, on arrive ainsi à déterminer l'absorption atmosphérique qui augmente avec l'altitude. Celle-ci semble varier de manière exponentielle avec l'altitude. Ce modèle ne se vérifie que pour des niveaux strictement supérieurs à 0 m.

La fig.3 montre que l'écart peut atteindre 0,9°C à 300 m d'altitude et 1,3°C à 1000 m, la valeur  $T_r$  étant bien sûr inférieure à  $T_t$ . Ces résultats correspondent à des conditions de ciel couvert. D'autres expériences ont été menées sous ciel clair mais le radiomètre manifestait alors des signes de défaillance ne rendant pas fiables les valeurs observées (de fait, le radiomètre est tombé en panne peu après). Cette étude méthodologique sera reprise lors des vols futurs.

Plusieurs calibrations ponctuelles au seul niveau de 150 m effectuées lors de passages au-dessus d'un senneur, au large, ont permis de définir la correction à apporter à la mesure  $T_r$  en fonction de l'altitude et de la nébulosité.

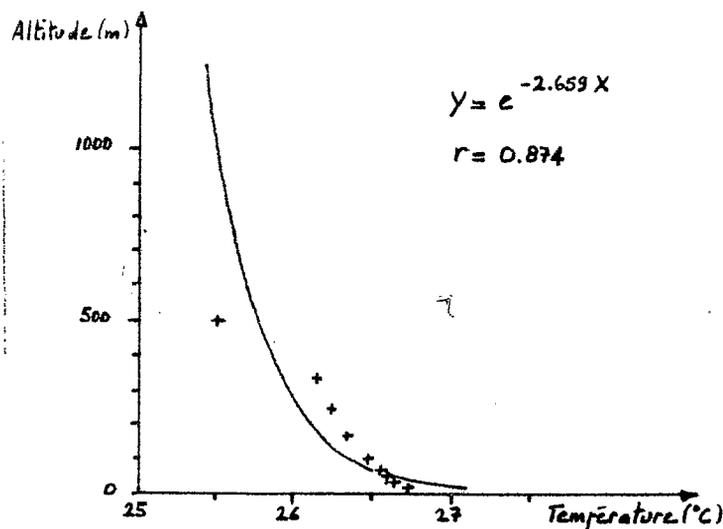


Fig.3 - Evolution de la température mesurée par le radiomètre en fonction de l'altitude.

## II.4 - Contextes météorologique et hydrologique des prospections

L'océan Indien a la particularité de subir l'influence de deux moussons, l'une d'été austral (mousson de NE au nord de l'équateur devenant de NW au sud), l'autre d'hiver austral (mousson de SE au sud de l'équateur devenant de SW au nord). Dans l'hémisphère sud, la première correspond à la saison humide (novembre à mars), la seconde à la saison sèche (juin à septembre). Ces deux moussons sont séparées par des périodes transitoires pendant lesquelles les vents deviennent variables en vitesse et direction, en même temps que s'opère un changement au niveau des courants marins.

Les prospections aériennes se sont déroulées sur deux périodes climatiques distinctes: mousson de NW (novembre 1981 à mars 1982 et décembre 1982) et fin de mousson de SE (octobre 1982).

### II.4.1 - Evolution météorologique

Durant une grande partie de la saison chaude 1981/1982, des dépressions se forment généralement de 0° à 10°S, à l'est de 70°E et traversent l'océan jusqu'à Madagascar et l'Afrique orientale en formant des chapelets. Ceux-ci sont le siège d'un thalweg dont le niveau de pression est de l'ordre de 1008 mb. Par endroit, on trouve de fortes concentrations nuageuses appartenant à la zone de convergence inter-tropicale. Des grains violents peuvent également survenir localement. L'anticyclone sud-est est faible et se trouve repoussé au sud de 30°S, où il n'atteint que 1020 mb.

Plusieurs cyclones balayent la partie ouest de l'océan. Formés à l'est de 70°E, leur trajectoire les conduit vers le sud-est où ils atteignent l'Ile Maurice, la Réunion et Madagascar. Notre zone d'étude, non affectée par les cyclones, subit cependant l'influence de vents localement forts (supérieurs à 15 nœuds) gênant la prospection. En règle générale, cette période offre cependant de bonnes conditions d'observations, avec des visibilité exceptionnelles à l'écart des dépressions.

En 1982, la mousson de sud-est reste forte tardivement et les projections d'octobre ne bénéficient pas de conditions météorologiques optimales. L'anticyclone est encore puissant par 20°S. Le vent indiqué sur les cartes n'a qu'une valeur moyenne. Il avoisine 20 nœuds au sud de 12°S et décroît vers le nord pour atteindre 10 nœuds au niveau des Seychelles.

#### II.4.2 - Evolution thermique

En été austral, la zone seychelloise est baignée par les eaux chaudes s'étendant sous l'équateur thermique. Une grande uniformité des températures est alors constatée.

En octobre domine une instabilité thermique liée à la transition qui commence à s'opérer à l'arrivée de l'intermousson. On trouve un grand nombre de nappes d'eau lenticulaires dont les températures peuvent varier de 25° à 30°C.

Les fronts thermiques occasionnels de saison chaude ne semblent pas liés au régime des vents. Ceux-ci sont d'ailleurs rendus instables en vitesse et direction par les passages de centres dépressionnaires. Par contre ils seraient attribuables à des extensions rapides, d'une semaine à l'autre, de lentilles d'eau chaude (> 29°C) qui viendraient heurter les eaux environnantes plus fraîches (27°C). Ces fronts superficiels ont une durée de vie très brève et n'intéressent probablement qu'une couche océanique très mince. Cette fugacité, d'une part, et, d'autre part, les fortes valeurs de température qui y sont associées, devraient les rendre incapables de déclencher une amorce de chaîne trophique.

En octobre, on ne constate pas non plus de fronts durables. De tels systèmes frontaux pourraient apparaître, d'après les cartes "satellites" en juillet et août, de 5°S à 5°N au nord des Seychelles (55°E) et avec une variabilité interannuelle plus importante, de 5° à 10°S entre 65°E et 75°E. Ces structures intéressent des températures variant de 25 à 27°C et constituent la limite entre un "pool" d'eau chaude (28° à 30°C), à faible déplacement nord-sud, centré à cette saison de 0 à 5°N et des eaux plus froides bordant la côte est-africaine, provenant en partie des upwellings côtiers. On ignore encore si du poisson pourrait s'associer à ces fronts, dont il serait intéressant de déterminer s'ils concernent également d'autres paramètres physiques que la température.

### II.4.3 - Courants (fig. 4 et 5)

En mousson de NW, la circulation générale est analogue, quoique légèrement décalée vers le sud, au système de courants équatoriaux classiques. Du nord au sud, on trouve donc le courant nord-équatorial (CNE), le contre-courant équatorial (CCE) et le courant sud-équatorial (CSE).

Avec le jeu des saisons, les domaines d'influence du CCE et du CSE se déplacent dans le sens nord-sud.

- Le CNE, dont le flux est dirigé vers l'ouest en mousson de NW, intéresse en grande partie l'hémisphère nord. Sa bordure sud s'étend jusque vers 2°-3°S en été austral. Ce courant est faible et caractérisé par des tourbillons de plusieurs centaines kilomètres de diamètre. Il disparaît pendant les inter-moussons et se trouve alors remplacé par un jet dirigé vers l'est sur l'équateur même. On retrouve un flux orienté ouest pendant la mousson de sud-est (REVERDIN et al, 1983 ; FIEUX et LEVY, 1983).

- Le CCE est bien établi entre 2°S et 7°-8°S pendant la mousson de NW, jusqu'au début de la mousson de SE (mai-juin). Il se réduit alors, jusqu'en novembre, à un ensemble de mouvements tourbillonnaires qui prennent naissance sur l'équateur entre le CSE et le courant de mousson de SW (PITON, 1976). Le contre-courant s'écoule à une vitesse de 1 à 2 noeuds.

- Le CSE se situe au sud du CCE. Sa limite nord, située vers le 8e parallèle sud en été, gagne jusqu'à 4°S sous l'effet de l'accentuation des alizés. S'écoulant vers l'ouest, il rencontre en premier lieu Madagascar et se divise en deux branches: l'une dirigée vers le sud, l'autre vers le nord qui double le cap d'Ambre en s'accélégrant fortement (3 à 5 noeuds). Elle heurte ensuite le continent est-africain et se divise alors en deux: la branche sud induit un mouvement anticyclonique dans le bassin nord du canal de Mozambique; la branche nord remonte la côte est-africaine et alimente le CCE au nord de Zanzibar par l'affrontement avec le CNE induit, à cette époque, au nord de l'équateur, par la mousson de NE.

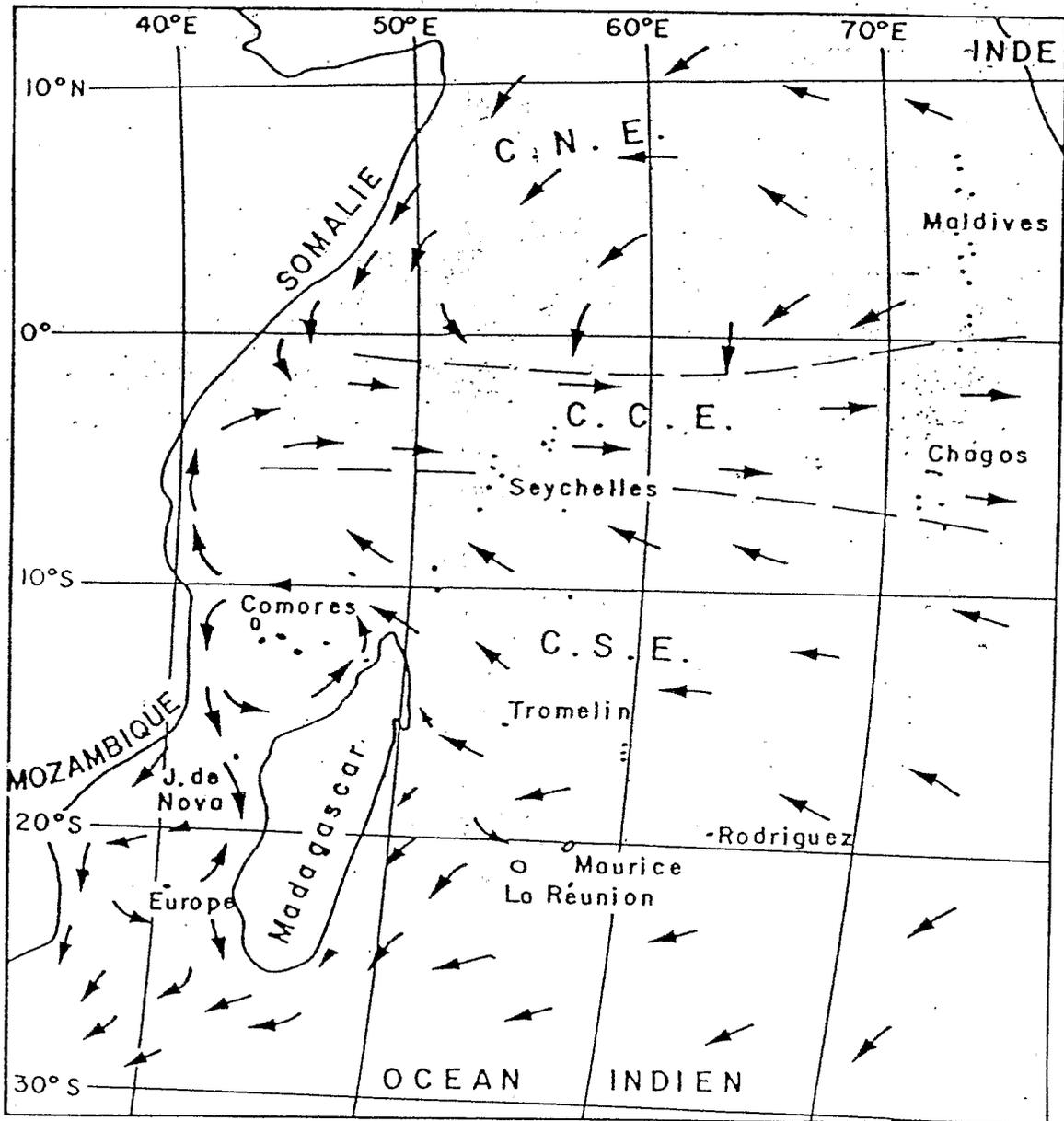


Fig.4 - Courants de surface dans l'ouest de l'océan Indien en été austral

C.N.E : courant nord-équatorial  
C.C.E : contre-courant équatorial  
C.S.E : courant sud-équatorial

(d'après PITON, in MARSAC et al, 1983)

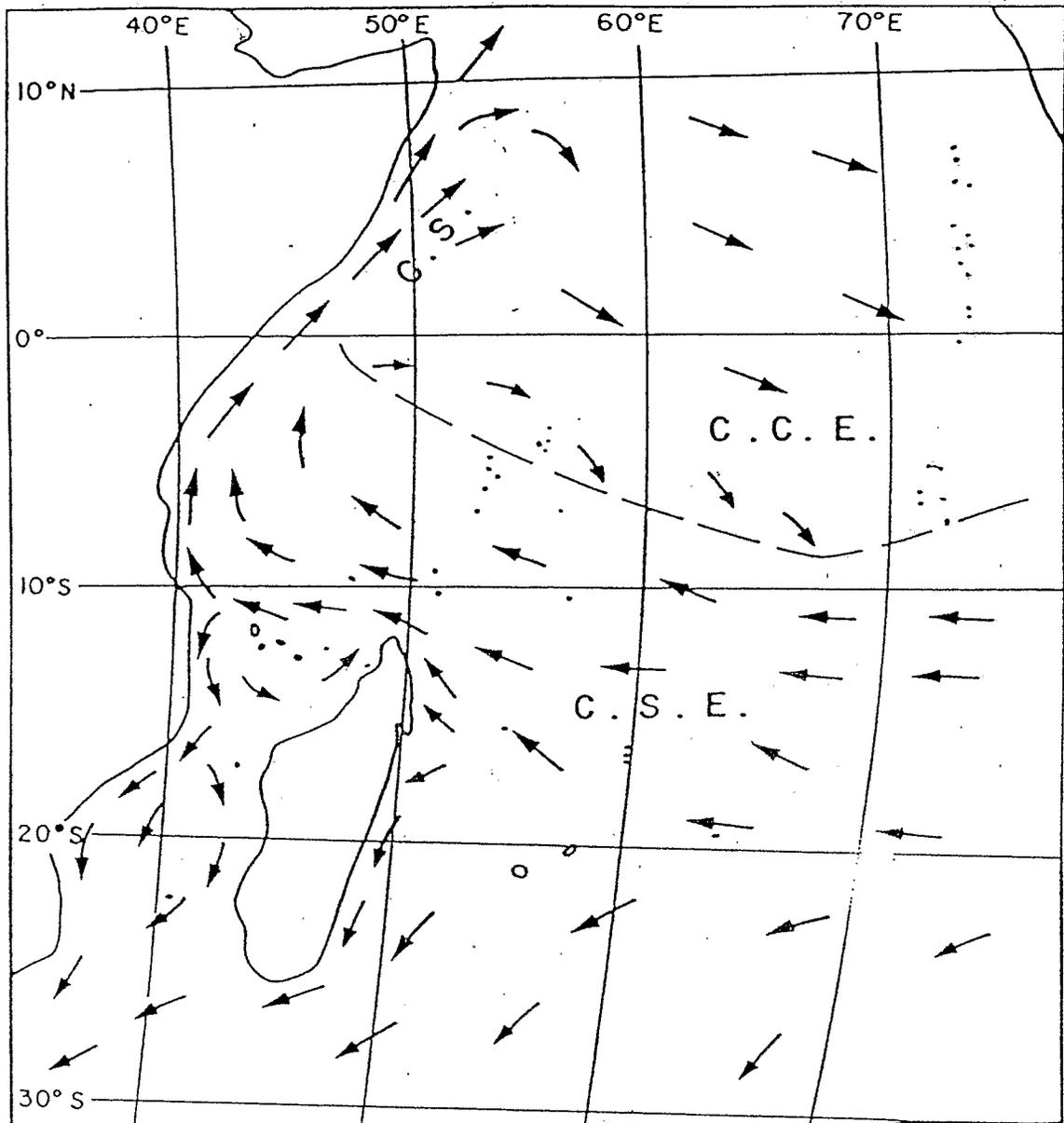


Fig.5 - Courants de surface dans l'ouest de l'océan Indien en hiver austral

- C.N.E. : courant nord-équatorial
- C.C.E. : contre-courant équatorial
- C.S.E. : courant sud-équatorial
- C.S. : courant des Somalies

(d'après PITON, in MARSAC et al, 1983)

Les autres courants de cette région de l'océan sont essentiellement côtiers :

- Le courant des Somalies a la particularité de s'inverser avec les moussons. En période de mousson de NE (virant au NW au passage de l'équateur), le flux s'oriente au sud-ouest. Dès le mois de mars, au niveau de 5°N, le long de la côte, le courant se renverse pour s'écouler vers le nord alors qu'il garde sa direction initiale au sud de cette latitude. En juin, sous l'effet de la mousson de SE, la partie sud du courant des Somalies s'inverse à son tour et décolle de la côte vers 4°-5°N (les vitesses peuvent atteindre 6 à 7 noeuds) en formant un genre d'upwelling qui migre vers le nord au cours de la saison (QUADFASEL, 1982 ; SWALLOW et FIEUX, 1982).

- Le courant côtier est-africain est issu du CSE dont il constitue la branche nord qui remonte jusqu'à Zanzibar.

- Le courant des Aiguilles longe la côte d'Afrique du Sud : c'est un 'western boundary' courant qui prolonge la circulation en méandres observée dans le sud du canal de Mozambique.

## II.5 - Première évaluation des potentialités en thon des zones prospectées

### II.5.1 - Présentation

Un vol comportant une opération de radiométrie est conçu de manière à pouvoir juger, le plus réellement possible, des potentialités en thon du secteur prospecté. Il peut arriver qu'un seul vol, particulièrement riche en observations, puisse suffire à donner une impression d'ensemble assez juste. Toutefois, ce n'est pas toujours le cas et d'autres prospections du même secteur sont nécessaires pour confirmer ou infirmer les prévisions initiales.

Au stade actuel des recherches thonières par avion dans la ZEE seychelloise, il nous est possible de tenter une estimation quantitative de l'abondance en bancs de thons, comparable sur l'ensemble des zones couvertes.

En s'inspirant de travaux sur les techniques d'échantillonnage aérien (SEBER, 1979; GOHIN et al, 1981), nous avons développé un modèle simplifié permettant d'évaluer une densité en banc de thons.

## II.5.2 - Paramètres intervenant dans l'échantillonnage aéroporté

Les résultats bruts de notre échantillonnage effectué par avion présentent une grande hétérogénéité due aux multiples combinaisons de facteurs météorologiques et hydrologiques intervenant lors des vols. Le traitement effectué tente de rectifier les données par un système de pondération, en réajustant l'ensemble à des conditions standard.

La démarche initiale consiste à définir les divers éléments ayant une influence sur l'aptitude à la détection des bancs de thons :

- l'aptitude visuelle de l'observateur au repérage des bancs,

- la vitesse de l'avion,

- la nébulosité,

- l'état de la mer et la vitesse du vent,

- le moment de la journée,

- les indicateurs (oiseaux, cétacés, objets dérivants)

associés à la présence du thon.

### II.5.2.1 - Aptitude et expérience de l'observateur au repérage visuel des bancs

D'un observateur à l'autre, le nombre de bancs aperçus est différent. Cela tient, bien sûr, à l'expérience même de la personne, mais également à son pouvoir de discrimination visuel, qui sera d'autant plus influent que les bancs seront dispersés et peu apparents en surface. D'autres points méritent d'être soulignés : la fatigue qui survient fatalement après plusieurs heures (dans le cas du repérage exclusivement visuel, il semble qu'après 7 heures de vol, l'efficacité de l'observateur soit très diminuée) et la lassitude après plusieurs heures de prospection nulle, alors que des observations régulièrement réparties au cours du vol contribuent au maintien de l'attention.

Ces différents aspects ne sont présentés qu'à titre d'information; ils constituent des paramètres subjectifs difficiles à quantifier dans l'état actuel de nos recherches.

### II.5.2.2 - Vitesse de l'avion

Nos prospections ont été faites sur deux avions à caractéristiques propres - Volpar et BN II Islander - dont les vitesses moyennes de croisière sont très différentes, 180 nœuds (330 km/h) pour le premier, 105 nœuds (195 km/h) pour le second. Pour établir réellement la différence des rendements, il aurait fallu voler sur les mêmes secteurs simultanément, ce qui n'a évidemment pas été fait. Aussi, aucune estimation chiffrée ne pourra être donnée et ce paramètre ne sera pas retenu dans le modèle. On peut cependant signaler que le Volpar disposait d'un radar qui s'est montré très efficace étant donné les bonnes conditions de mer qui ont prévalu. Cet équipement a sûrement compensé avantageusement l'aspect plutôt négatif de la rapidité de l'avion. Les prospections du BN II ont été exclusivement visuelles, mais menées à faible allure.

### II.5.2.3 - Nébulosité

Contrairement aux précédents, l'influence de ce paramètre, ainsi que celle de ceux présentés plus loin, a été chiffrée. Nous avons défini trois types de nébulosité : couvert, nuageux avec éclaircie et dégagé à très clair. Pour chaque type, on établit un coefficient de perception des bancs, noté P, égal au rapport du nombre de bancs vus sur le nombre de mesures effectuées dans cet état.

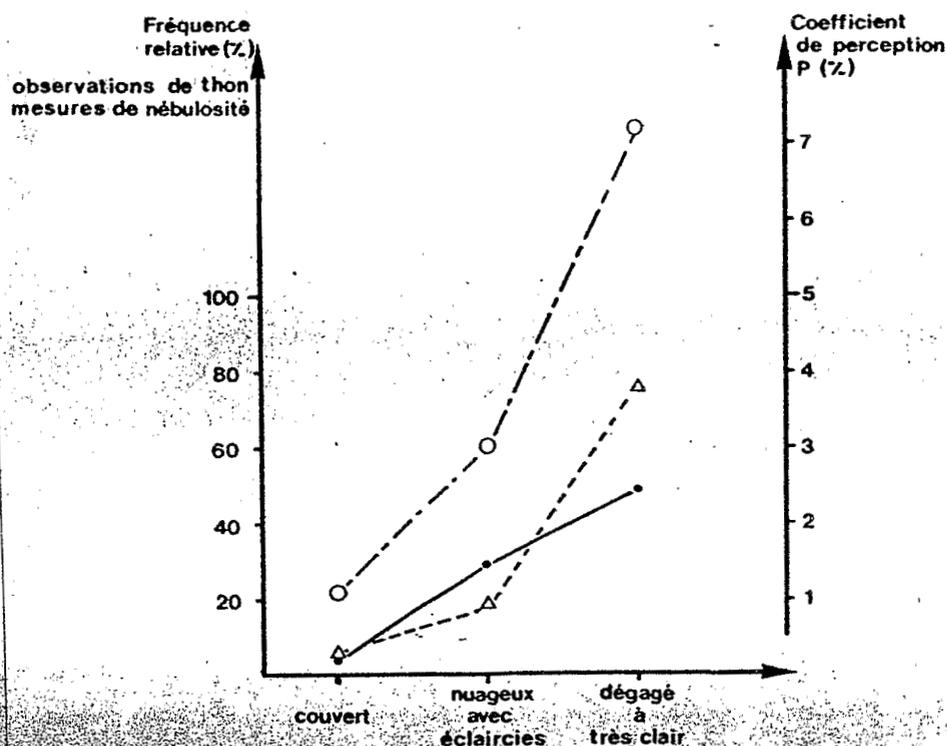


Fig.6 - Evolution des observations de thon ( $\Delta$ --- $\Delta$ ) et du coefficient de perception ( $\circ$ --- $\circ$ ) selon la nébulosité ( $\bullet$ --- $\bullet$ ).

Mesures de nébulosité  
= 2879  
Bancs de thons repérés  
= 132

$$P_i = \frac{N_{Ti}}{N_{Ni}} \cdot 100$$

$N_{Ti}$  : nombre de bancs vus dans l'état  $i$

$N_{Ni}$  : nombre de mesures faites dans l'état  $i$

D'un état à l'autre, ces coefficients  $P_i$  se révèlent significativement différents au seuil de 5%. Leur évolution traduit une nette amélioration des conditions d'observation lorsque le ciel se dégage (fig.6). Cette relation peut s'expliquer par le fait qu'un banc de thons actifs en surface, causant un bouillonnement blanc, est plus aisé à repérer sur une mer bleue (donc par ciel dégagé) que sur une mer grise, par ciel couvert. La mise en évidence de cette étroite liaison permettra d'établir une pondération qui sera exposée plus loin.

#### II.5.2.4 - Etat de la mer et vitesse du vent

Il semble évident, a priori, que le niveau d'agitation de la mer conditionne l'aptitude à la détection des bancs. Mais il est apparu également, d'après les observations faites sur le senneur en prospection dans la zone, qu'une grande partie du poisson quitte la surface dès que la mer s'agite sous l'effet du vent d'une quinzaine de nœuds.

Etat de la mer et vitesse du vent sont bien corrélés dans le milieu océanique. Cependant, une analyse en composantes principales, avec calcul de corrélation selon le coefficient de BRAVAIS-PEARSON, a montré que l'aptitude à percevoir les bancs est plus étroitement liée à la vitesse du vent ( $r = 0,58$ ) qu'à l'état de la mer ( $r = 0,39$ ). La vitesse du vent est estimée selon l'échelle de Beaufort. Il est aisé d'attribuer une vitesse moyenne pour chaque degré de force Beaufort (tabl. 1).

FV	V(nœuds)	$\bar{V}$ (nœuds)
0	0	0
1	1-3	2
2	4-6	5
3	7-10	8,5
4	11-16	13,5
5	17-20	18,5
6	21-30	25,5

Tabl. 1 - Relation Force Beaufort (FV) - vitesse du vent (V) et vitesse moyenne ( $\bar{V}$ )

Nous avons ensuite calculé un coefficient d'efficacité E pour chaque degré FV rapporté à une vitesse  $\bar{V}$ , égal au rapport du nombre de bancs vus sur le nombre de mesures effectuées.

$$E_i = \frac{N_{Ti}}{N_{Vi}} \cdot 100$$

$N_{Ti}$  : nombre de bancs vus dans l'état i  
 $N_{Vi}$  : nombre de mesures faites dans l'état i

L'évolution de ce coefficient (fig. 7) s'ajuste à un modèle exponentiel d'équation :

$$E = 7,234 \cdot e^{-0,152 \cdot V}$$

avec  $r = -0,86$  significatif au seuil de 10 %.

En considérant ce paramètre comme agissant principalement sur la distance maximale de visualisation des bancs, il sera possible d'évaluer la surface marine réellement prospectée le long du trajet aérien.

#### II.5.2.5 - Moment de la journée

Nos vols n'ont couvert qu'une partie de la journée s'étendant de 6h à 15h locales. Un créneau horaire situé entre 10h et 11h s'est révélé plus favorable à l'observation de thon, mais il doit être relié au fait que les secteurs les plus riches, relativement éloignés de Mahé, particulièrement ceux situés à l'est de la ZEE, ont été abondamment visités en milieu de vol. Pour nous conforter dans le rejet de cette relation apparemment biaisée, nous avons examiné les données du senneur qui ont effectivement montré une grande stabilité du taux d'observations au cours de la journée. Ce paramètre ne sera donc pas retenu comme influant dans notre zone d'étude.

#### II.5.2.6 - Indicateurs associés à la présence de thon

L'avion ne récolte, en un lieu, qu'une information instantanée sur la présence/absence de thon. Un bateau, sur la même zone, en raison de sa vitesse de prospection faible par rapport à l'avion, obtiendra une vision plus juste de la situation. Un banc de thons, non traqué, effectuée au cours de la journée, des mouvements verticaux entre la thermocline et la surface (SHARP, 1978). Alors que le bateau pourra observer plusieurs émergences, dont les points sont généralement signalés par des concentra-

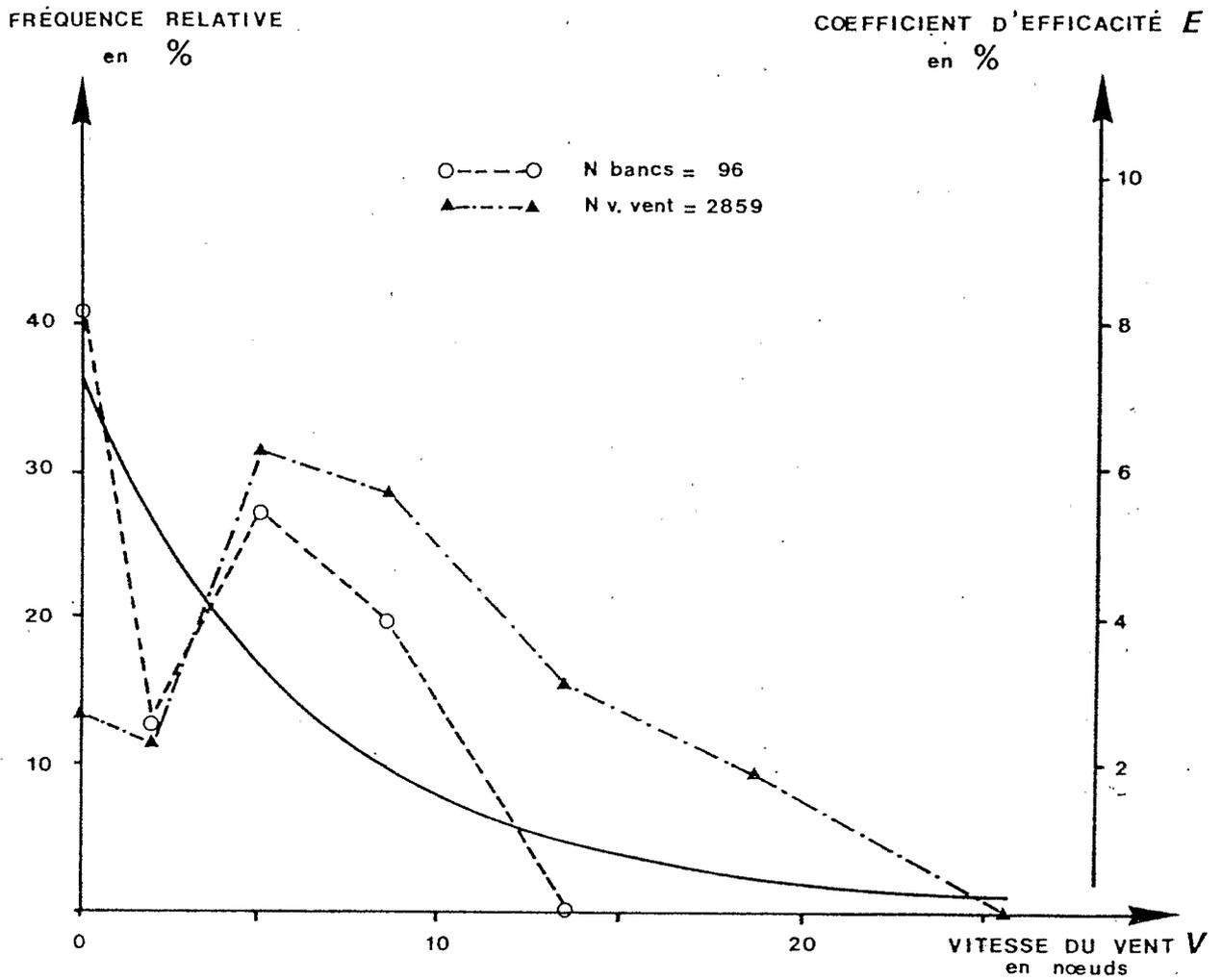


Fig.7 - Distribution des vitesses de vent (▲-----▲), des observations de thon (○-----○) et du coefficient d'efficacité (—————).

tions d'oiseaux, l'avion n'aura que des chances réduites de passer au moment précis où le banc apparaît en surface. Par contre, il pourra observer les oiseaux chassant sur ce secteur privilégié, qui peuvent rester groupés bien après que les thons aient disparus. L'élément "oiseaux chassant" sera intégré dans le modèle.

De même, il est apparu, par les observations du senneur, que les épaves dérivantes présentaient souvent des concentrations associées de thon en profondeur. Une pondération basée sur le nombre d'épaves aperçues d'avion permet de suggérer la présence de bancs de thons absents de la surface.

### II.5.3 - Définition de la surface échantillonnée

L'estimation de la surface marine réellement prise en compte lors des trajets linéaires dont est composé chaque vol est un élément fondamental permettant d'évaluer l'effort de prospection.

#### II.5.3.1 - La courbe de visualisation

Pour ce faire, nous avons déterminé la distance à laquelle était vu chaque banc de thon par rapport à l'axe de route. La distance unitaire a été fixée au mille marin (1852 m) : elle pourra peut être sembler importante mais les 180 premières heures ayant été réalisées à l'aide d'un radar qui affichait une échelle dans cette unité, nous l'avons conservée pour l'ensemble de la prospection. La courbe obtenue, dite de "visualisation" (fig. 8) montre que la distance optimale de détection se situe, non pas sur l'axe même de route, mais de part et d'autre : en effet, l'observateur examine préférentiellement les bordures de la trajectoire par les vitres latérales.

Les courbes de pourcentages cumulés des observations de thon permettent de définir, pour les deux types de prospections ("radar" et visuelle), une distance efficace de visualisation notée  $D_e$ , en deçà de laquelle sont contenues 90% des observations; les valeurs sont les suivantes :

- prospection avec radar :  $D_e = 3$  milles
- prospection exclusivement visuelle :  $D_e = 1$  mille



### II.5.3.2 - Influence de la vitesse du vent

Nous avons montré (II.5.2.4) que l'efficacité de l'observation décroissait de façon exponentielle avec le vent. L'efficacité maximale obtenue par vent nul, va correspondre à la distance maximale d'observation des bancs par rapport à l'axe de route, c'est-à-dire " $D_e$ ". De plus nous allons considérer que cette distance va évoluer proportionnellement au coefficient d'efficacité. Nous aurons donc, pour la distance unilatérale  $W$  balayée le long d'une radiale, l'équation suivante :

$$W = D_e \cdot e^{-0,152 \cdot V}$$

Ceci nous permet d'établir, pour une efficacité variant de 100 à 10%, les distances  $W$  correspondantes. Les données de vent étant saisies en degrés d'échelle de Beaufort, il faudra ensuite attribuer, pour chaque degré, une distance unilatérale moyenne  $\bar{W}$ .

Le taux de décroissance de  $W$  par rapport à la vitesse du vent  $V$  est donnée par :

$$\frac{dW}{dV} = -B \cdot W \quad \text{avec } B = 0,152$$

d'où 
$$\bar{W} = D_e \cdot e^{-\frac{1}{2} B (V_1 + V_2)}$$

avec  $V_1$  : vitesse minimale de la classe FV  
avec  $V_2$  : vitesse maximale de la classe FV.

Les résultats sont présentés dans le tableau 2.

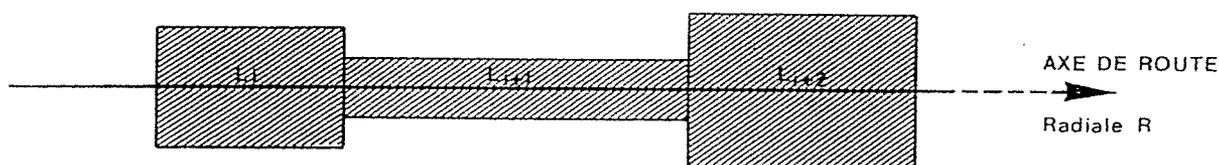
La surface prospectée entre deux relevés séparés par une distance  $L$  s'obtient en faisant le produit :

$$S = 2 \cdot \bar{W} \cdot L$$

$\bar{W}$  étant défini d'après la force de vent estimée lors du relevé, selon la correspondance présentée dans le tableau ci-après. La figure 9 résume cette stratégie.

EFFICACITE		DISTANCE W (milles)		FORCE DU VENT V (nœuds)	BEAUFORT FV	DIST. MOY. $\bar{W}$	
% (E)	E.	Radar	Visuel			Radar	Visuel
100	7,2	3,0	1,0	0	0	2,84	0,95
90	6,5	2,7	0,9	0,7			
80	5,8	2,4	0,8	1,5	1	2,23	0,74
70	5,0	2,1	0,7	2,4			
60	4,3	1,8	0,6	3,4	2	1,47	0,49
50	3,6	1,5	0,5	4,6			
40	2,9	1,2	0,4	6,0	3	0,75	0,25
30	2,2	0,9	0,3	7,8			
20	1,5	0,6	0,2	10,4	4	0,30	0,10
10	0,7	0,3	0,1	15,4			

Tabl.2 - Calcul de la distance unilatérale moyenne  $\bar{W}$  applicable à chaque degré de l'échelle Beaufort, pour les prospections "radar" et visuelles.



Relevé :            i                            i + 1                            i + 2  
 $FV_i = 1$                              $FV_{i+1} = 2$                              $FV_{i+2} = 0$   
 $\bar{W}_i = 2,23$                              $\bar{W}_{i+1} = 1,47$                              $\bar{W}_{i+2} = 2,85$

Fig.9 - Evaluation de la surface échantillonnée le long d'une radiale, entre les différents relevés.

La surface échantillonnée par carré statistique de 1<sup>er</sup> côté est la somme des surfaces calculées entre chaque relevé fait dans ce carré, le long des radiales des vols sélectionnés :

$$SC = \sum_i S_i$$

### II.5.3.3 - Influence de la taille du banc

Les bancs rencontrés (N = 132) se répartissent en quatre groupes de taille :

- inférieurs à 10 tonnes : 36%
- de 10 à 30 tonnes : 8%
- de 31 à 60 tonnes : 9%
- taille indéterminée : 47%

La forte proportion de "taille indéterminée" est à relier au grand nombre de bancs dispersés en surface et parfois concentrés en profondeur, qui empêche donc toute estimation réaliste depuis l'avion.

Les courbes de visualisation établies pour chaque groupe montrent que la quasi-totalité des bancs à tonnage indéterminé étaient aperçus dans les deux milles de l'axe de route, alors que les mattes inférieures à 10 tonnes étaient repérées jusqu'à 6 milles de l'avion (majorité de 1 à 2 milles). Les bancs de 10 à 30 tonnes, largement sous-représentés, ne fournissent pas une image fiable. Enfin, les bancs de 30 à 60 tonnes ont pu être détectés en grande proportion à 4 milles de l'avion.

### II.5.3.4 - Influence de l'aspect du banc

On distingue également quatre groupes concernant l'aspect des bancs, dont l'appellation est tirée du jargon des pêcheurs :

- balbaya (=breezer) : poissons concentrés légèrement sous la surface de la mer, causant par leurs mouvements une agitation superficielle caractéristique (23% des bancs).

- sardara (=splasher,finner) : poissons regroupés sautant de manière désordonnée en surface, provoquant ainsi des éclaboussures d'écume (21% des bancs).

- brisant (= boiler) : sardara très dense, généralement sur une concentration de petites proies (gleure), causant un intense bouillonnement d'écume (9% des bancs).

- poissons à la pièce (= scattered) : quelques individus éparpillés sautant en surface isolément (47% des bancs).

Les types "sardara" et "pièce" qui présentent certaines analogies ne sont plus repérables à plus de 2 milles de l'avion. Le balbaya peut être aperçu jusqu'à 4 milles : en effet, son apparence se distingue bien des eaux environnantes par une réflexion différente de la lumière inci-

dente. Le type "brisant" est également visible à 4 milles de l'avion par la tache blanche qu'il étale sur la mer.

Ces observations des effets de la taille et du type de banc sur son aptitude à être détecté n'ont pour l'instant qu'une valeur qualitative. Les vols futurs devraient permettre d'atteindre une représentativité dans chaque groupe considéré, afin d'incorporer ces éléments dans un traitement plus complet de l'échantillonnage.

#### II.5.4 - Calcul des coefficients de pondération Formulation du modèle de base

Trois pondérations sont appliquées sur le nombre de bancs réellement observés en cours de vol.

Elles concernent :

- la nébulosité,
- le nombre d'oiseaux chassant vus,
- le nombre d'épaves dérivantes vues.

##### II.5.4.1 - Pondération liée à la nébulosité

Elle est basée sur l'évolution du coefficient de perception (fig. 6 ). Nous considérons que le nombre de bancs vus dans les conditions optimales (ciel dégagé à très clair) ne nécessite pas cette première pondération, contrairement aux bancs vus dans les deux autres états ("nuageux avec éclaircies" et "couvert"). Le coefficient de pondération ( $k_1$ ) sera le rapport du coefficient de perception de l'état optimal à celui de l'état considéré (Tabl. 3).

ETAT DE NEBULOSITE	PERCEPTION P	COEF. DE PONDERATION $k_1$
1 couvert	1,1	6,5
2 nuageux avec éclaircies	3,0	2,4
3 dégagé à très clair	7,2	1,0

Tabl.3 - Détermination du coefficient  $k_1$  lié à la nébulosité.

Autrement dit, un banc vu dans des conditions de ciel couvert correspond à 6,5 bancs qui auraient été aperçus par ciel clair.

#### II.5.4.2 - Pondération liée à l'activité des oiseaux

A partir des données recueillies à bord du senneur, nous avons déterminé la proportion de groupes d'oiseaux chassant liés à des bancs de thons, par carré statistique. Cette proportion (coefficient  $k_2$ ) a ensuite été appliquée au nombre de groupes d'oiseaux chassant observés par avion, donnant un nombre potentiel de bancs de thons liés aux oiseaux.

#### II.5.4.3 - Pondération liée à la présence d'épaves dérivantes

Un traitement des données du senneur, identique à celui présenté dans le paragraphe précédent, a été effectué sur les épaves dérivantes. Par le coef.  $k_3$ , on obtient donc un nombre potentiel de bancs de thons liés aux épaves.

#### II.5.4.4 - Formulation du modèle de base

L'affectation de ces trois pondérations au nombre de bancs de thons effectivement observés dans un carré d'un degré côté, afin d'établir la densité potentielle en bancs de thons par 1000 km<sup>2</sup>, peut se formuler comme suit :

$$D_c = \left[ \left( \sum_i N_{1_i} \cdot k_1 \right) + \left( N_2 \cdot k_2 \right) + \left( N_3 \cdot k_3 \right) \right] \cdot \frac{1}{S_c} \cdot 1000 \cdot \frac{1}{(1,852)^2}$$

avec  $D_c$  : densité potentielle du carré considéré

$N_1$  : nombre de bancs de thons observés

$N_2$  : nombre de groupes d'oiseaux chassant vus

$N_3$  : nombre d'épaves dérivantes vues

$k_1$  : coefficient de pondération de la nébulosité

$k_2$  : coefficient de pondération des oiseaux chassant

$k_3$  : coefficient de pondération des épaves

$S_c$  : surface échantillonnée dans le carré considéré

Nous poserons :  $N_c = \left( \sum N_{1i} \cdot k_1 \right) + \left( N_2 \cdot k_2 \right) + \left( N_3 \cdot k_3 \right)$

Les densités potentielles de la strate (unité d'échantillonnage) regroupant  $i$  carrés sera donc :

$$D_s = \frac{\sum_i N_{c_i}}{\sum_i S_{c_i}} \cdot 1000 \cdot \frac{1}{(1,852)^2} \quad \text{pour } 1000 \text{ km}^2$$

La première densité calculée  $D_c$  permet de déceler à une échelle relativement fine les pôles de richesse au sein d'une strate, la seconde,  $D_s$ , établit les différences de productivité des strates étudiées; le rapport des deux constitue un indice de concentration des bancs de thons dans la strate.

#### II.5.5 - Stratification d'échantillonnage de la zone d'étude

Reste à définir le critère nous permettant de délimiter différentes strates. S'agissant d'une expérience basée sur la radiométrie infra-rouge, nous examinerons en premier lieu la température de surface.

##### II.5.5.1 - Répartition des thons selon la température

- Les contrastes thermiques ont été faibles au cours d'une même période de prospection, excepté du 9 février au 1er mars 1982 où une situation frontale a été décelée au nord-ouest des Amirantes. Le critère 'gradient thermique de surface' ne peut donc être pris en considération dans notre domaine d'étude.

- Sur l'ensemble des 2 périodes, la gamme de températures mesurées s'étend de 24,5° à 31°C. Cette fourchette relativement large est due à une extension en latitude de la prospection qui nous a permis de survoler des eaux à caractéristiques différentes.

La répartition des observations de thons en fonction de la température peut être étudiée objectivement en ramenant les observations à des conditions de prospections standard, autrement dit en calculant une densité en bancs par unité de surface (1 000 km<sup>2</sup>) dans chaque classe de température, le calcul de surface échantillonnée étant effectué selon la procédure décrite page 31 (Tabl. 4).

On peut constater que les bancs de thons n'étaient présents que dans les eaux de température supérieure à 27°C et qu'aucune limite supérieure de répartition ne semblait exister.

Pendant la saison chaude, la plus grande productivité de la classe [29°-30°C] est confirmée au seuil de 5% par le test de l'écart normal réduit ( $\mathcal{E} = 2,52$ ), les classes [27°-28°C] et [28°-29°C] n'étant pas significativement différentes ( $\mathcal{E} = 0,77$ ). La classe [30°-31°C] n'est pas suffisamment représentée.

Une telle analyse ne peut être appliquée aux résultats du mois d'octobre qui ne comportent qu'un nombre faible d'observations de bancs de thons.

Température (°C)	Novembre à mars			Octobre		
	N <sub>t</sub>	S	D	N <sub>t</sub>	S	D
24° - 25°	0	1	0,00	-	-	-
25° - 26°	0	73	0,00	-	-	-
26° - 27°	0	592	0,00	0	5	0,00
27° - 28°	26	19147	0,40	1	828	0,35
28° - 29°	42	25564	0,51	4	1417	0,82
29° - 30°	15	4347	1,00	1	484	0,60
30° - 31°	1	230	1,27	2	125	4,65
31° - 32°	-	-	-	1	3	114,73

Tabl. 4 - Nombre de bancs de thons (N<sub>t</sub>), surface prospectée (S) en milles carrés, densité (D) en bancs par 1000 km<sup>2</sup> par classe de température pour chaque période.

A l'échelle de la ZEE seychelloise, pendant la saison chaude, la température de surface peut-elle constituer un paramètre décisif dans

l'orientation de la prospection? Il semblerait que non, en raison de la grande surface occupée par la classe de température la plus productive, 29° à 30°C (fig.10 ). De novembre 1981 à mars 1982, cette surface présente d'amples variations (0% à 42% de la ZEE), la moyenne se situant à 16,3% de la superficie de la ZEE. Considérant un avion se déplaçant à une moyenne de 105 nœuds, dans des conditions de prospection optimales (vent nul), il faudrait voler en moyenne pendant 75 h avec l'aide d'un radar, ou pendant 226 h sans cet instrument, pour espérer couvrir l'intégralité de la zone favorable pendant la saison chaude. De même, l'information révélée par les températures inférieures à 27°C, - où aucune concentration de thon n'a été signalée et qui permettrait d'éliminer certains secteurs - est difficile à exploiter, la surface occupée par ces eaux n'excédant pas 12% de la surface de la ZEE.

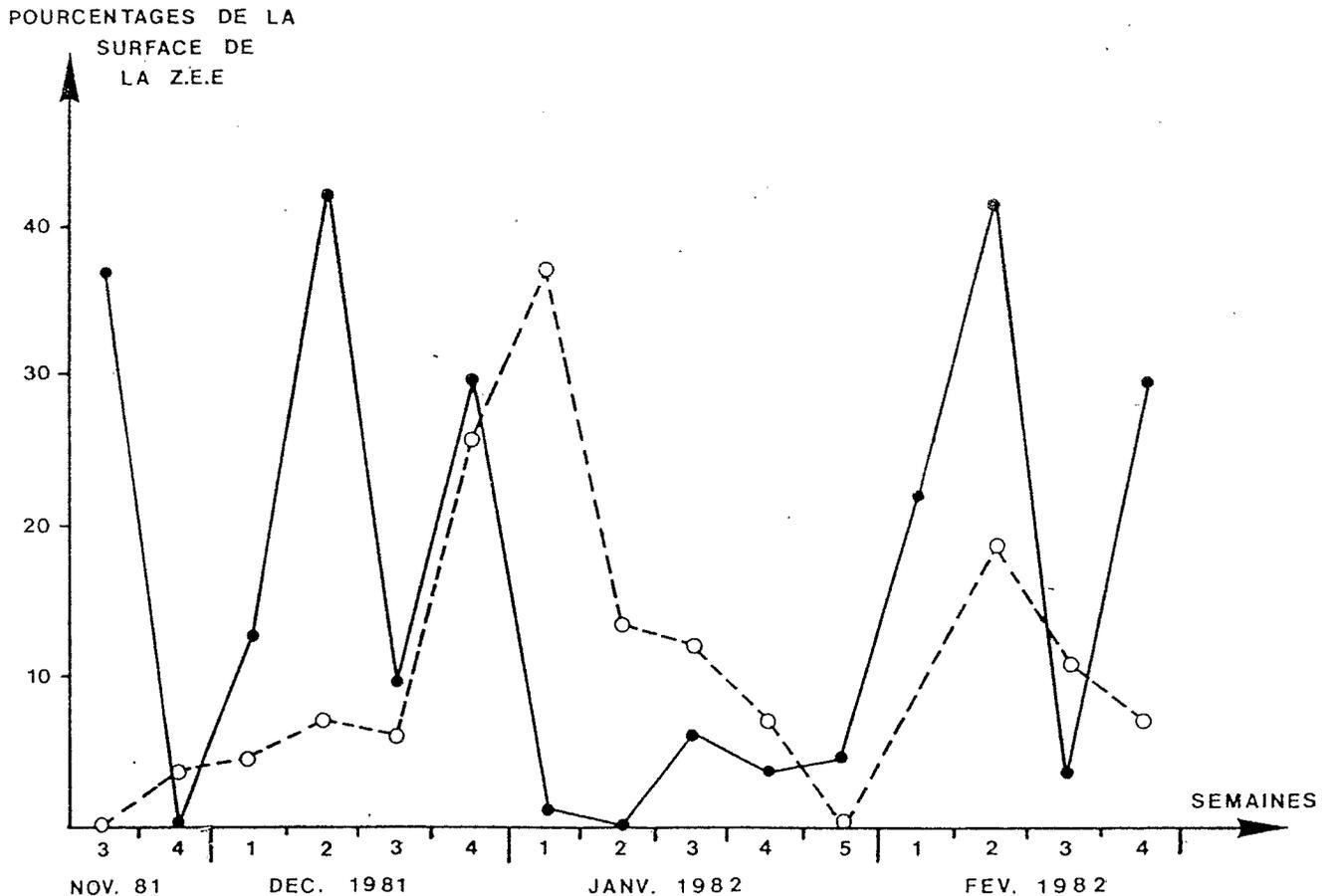


Fig. 10 - Evolution hebdomadaire de la surface occupée par les classes de température 26-27°C (O---O) et 29-30°C (●—●) pendant la saison chaude 1981/1982, exprimée en pourcentages de la surface totale de la ZEE seychelloise.

## II.5.5.2 - Stratification selon les courants

Baser une stratification sur la température de surface apparaît donc impossible. On pourrait, par contre, considérer les courants de surface qui présentent une configuration originale dans notre zone d'étude. On observe, en effet, un système de trois courants (cf. II.4.3), dont les limites, au niveau des Seychelles, ont été assez bien décrites pendant la prospection grâce aux mesures effectuées depuis le senneur (MARSAC et al, 1983).

Nous avons pu définir cinq strates pendant la première période (fig. 11a) :

- 3 strates dans le contre-courant équatorial (n°5, 1 et 3),
- 1 strate dans le courant nord-équatorial (n° 2),
- 1 strate dans la limite nord du courant sud-équatorial au niveau de la divergence (n° 4).

Etant donné la faible dispersion des mesures au cours de la deuxième période, une seule strate correspondant approximativement à la strate 1 a été définie (fig. 11b).

## II.5.6 - Analyse des résultats obtenus par strate

### II.5.6.1 - Calcul des densités en bancs

Les annexes 4 et 5 donnent, pour chaque période, l'estimation des surfaces prospectées et des densités potentielles vulnérables par 1000 km<sup>2</sup>, de chaque carré statistique.

Les strates du contre-courant présentent des densités supérieures à celles des strates des deux courants portant à l'ouest, au cours de la période 1.

Dans la deuxième période, la seule strate retenue comporte de fortes densités (tabl. 5).

Nous avons extrapolé à la surface totale de la strate un nombre de bancs à partir de la densité  $D_s$ , puis un test de comparaison (test de l'écart normal réduit  $\epsilon$ ) a été utilisé pour distinguer de manière significative les densités de chaque strate (tabl. 6).

Il en ressort que les strates 1 et 5 peuvent être considérées comme ayant des densités identiques en bancs, de même que les strates

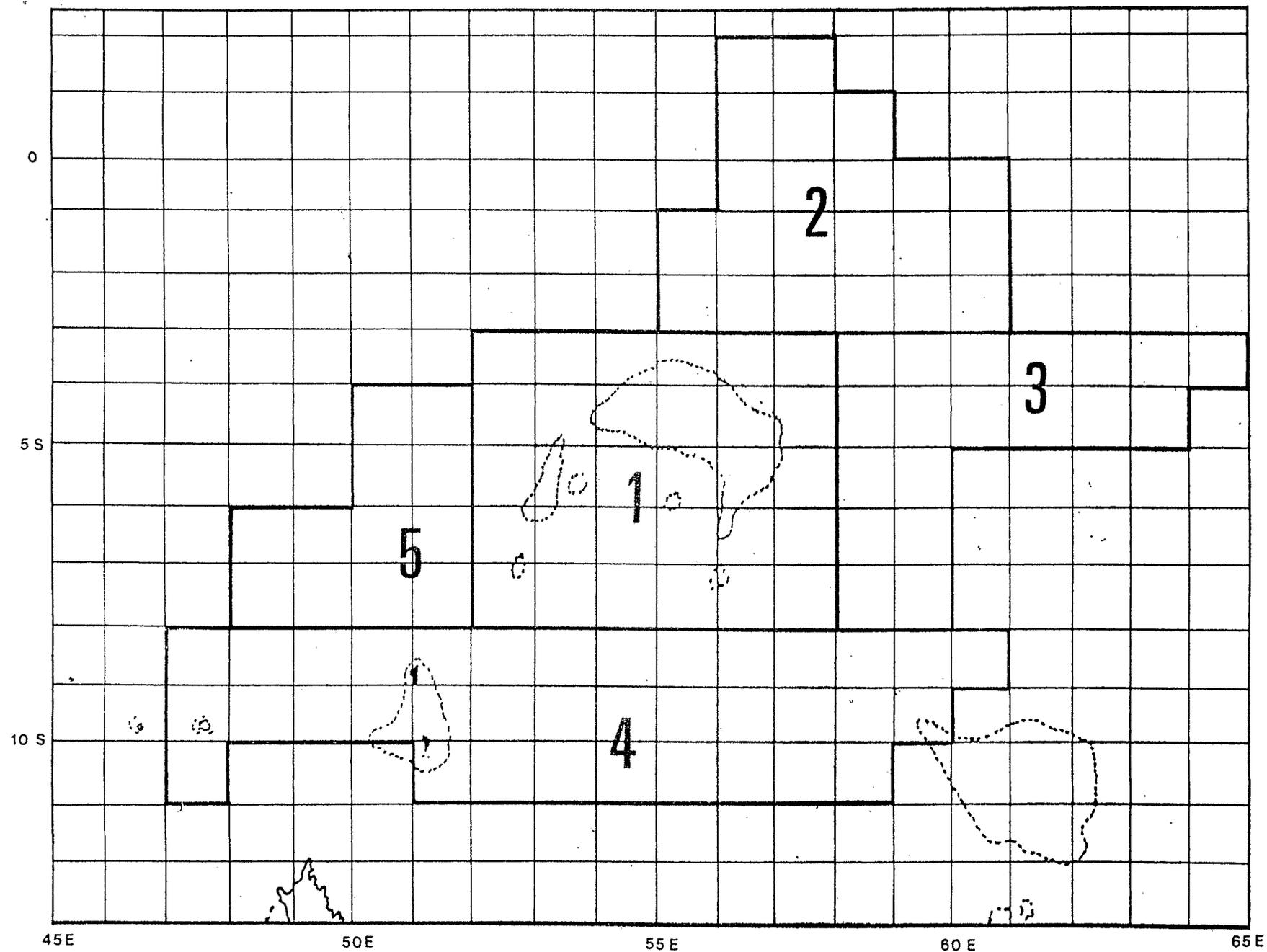


Fig.11a - Stratification de la zone prospectée de novembre 1981 à mars 1982 et de décembre 1982 à janvier 1983

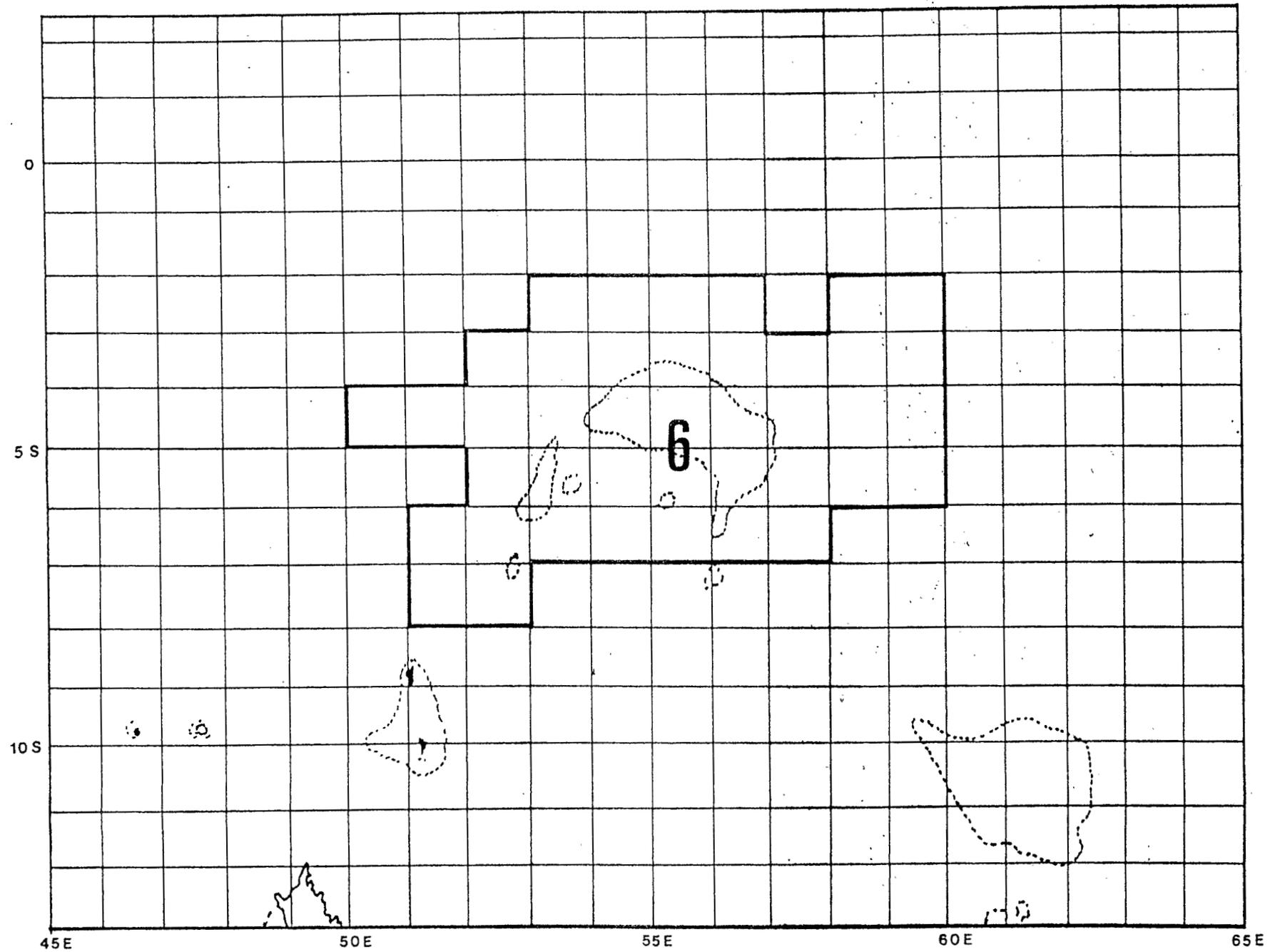


Fig.11b - Stratification de la zone prospectée en octobre 1982

PÉRIODE		Surface échantillonnée (en milles carrés)	Nombre corrigé de bancs	Densité potentielle par 1000 km <sup>2</sup> (D <sub>s</sub> )	Configuration hydrologique
1	STRATE 5	3814	13	0,96	C.C.E
	STRATE 1	27773	101	1,06	
	STRATE 3	12330	68	1,61	
	STRATE 2	2950	6	0,59	C.N.E
	STRATE 4	10072	22	0,63	C.S.E (divergence)
2	STRATE 6	2861	15	1,49	C.S.E

Tabl.5 - Surface échantillonnée, nombre corrigé de bancs et densité potentielle en bancs de thon par strate.

(C.C.E: Contre-courant équatorial; C.S.E: courant sud équatorial; C.N.E: courant nord équatorial)

Période 1					Période 2
	STRATE 2	STRATE 3	STRATE 4	STRATE 5	STRATE 6
STRATE 1	6,29 S1 > S2	5,85 S3 > S1	6,64 S1 > S4	1,01 S1 ≈ S5	5,50 S6 > S1
	STRATE 2	11,05 S3 > S2	0,69 S2 ≈ S4	4,22 S5 > S2	11,00 S6 > S2
		STRATE 3	12,26 S3 > S4	4,41 S3 > S5	1,22 S3 S6
			STRATE 4	4,04 S5 > S4	12,60 S6 > S4
				STRATE 5	4,86 S6 > S5

Tabl.6 - Valeur de l'écart normal réduit (E) et indication de la strate ayant la plus forte densité après comparaison deux à deux.

(S<sub>1</sub> > S<sub>2</sub> signifie que la strate 1 a plus de bancs que la strate 2).  
La strate 6 correspond à la strate 1 pour la période 2.

2 (c. nord-équatorial) et 4 (c. sud-équatorial - divergence). Les strates 3 et 6 fournissent des indices de potentialité les plus élevés.

Ces résultats généraux méritent toutefois d'être discutés :

- la strate 3 présente une répartition en bancs très hétérogène : 94% du nombre total de cette strate sont concentrés de 3° à 5°S, à l'est de 60°E. La densité potentielle calculée uniformise toute une zone qui pourrait se diviser en sous-strates.

- La densité calculée pour la strate 6 n'est pas révélatrice de l'ensemble de la strate en raison d'une concentration des carrés productifs au niveau des accores et sur les hauts-fonds, alors que les secteurs lointains sont vides d'observations. On pourrait, une nouvelle fois, scinder cette strate en sous-strates dont le critère de définition serait la distance par rapport aux accores. Le plateau de Mahé et ses limites présenteraient ainsi une très forte densité (3,9 bancs/1000 km<sup>2</sup>), alors qu'elle serait nulle aux Amirantes et dans les secteurs du large.

Ces rectifications montrent bien la valeur toute relative, mais néanmoins significative, des résultats.

#### II.5.6.2 - Estimation de la biomasse en thon

Dans chaque strate, compte tenu de la répartition en taille des bancs, nous avons calculé le tonnage moyen  $\bar{t}_C$  des concentrations. Puis, dans chaque carré de la strate où des observations ont eu lieu, une biomasse moyenne  $\bar{B}_C$  a été évaluée par le calcul suivant :

$$\bar{B}_C = 3,6 \cdot \bar{t} \cdot D_C$$

$D_C$  étant ici exprimé en nombre de bancs/1000 milles carrés.

La biomasse de la strate est calculée de la même manière en prenant comme densité celle de la strate ( $D_S$ ) et en extrapolant au nombre de carrés de la strate ( $N_C$ ).

$$\bar{B}_S = 3,6 \cdot \bar{t} \cdot D_S \cdot N_C$$

Dans le cas de la strate 6 pour laquelle les bancs observés sont regroupés sur le plateau de Mahé, la densité  $D_S$  employée sera une moyenne rapportée à la surface de ce plateau.

On peut poser les hypothèses de base suivantes :

- la répartition des tonnages de banc au sein d'une classe de taille (cf II.5.3.3) sera considérée comme normale : les tonnages

retenus seront donc les valeurs médianes des classes (sauf pour la classe > 60 t qui prendra la valeur 60 tonnes)

- la distribution des tonnages des bancs indéterminés suit celle des bancs évalués : cela permet l'extrapolation du tonnage moyen à l'intégralité des bancs pris en compte dans le calcul de densité.

Les évaluations de tonnages moyens restent du même ordre lorsque l'on compare les résultats des deux prospections, avion et bateau (Tabl.7).

Seule l'évaluation depuis l'avion sera considérée dans le calcul. On peut cependant constater la grande variation de la moyenne pour les strates 4, 5 et 6 (supérieure à 60%), due principalement à un nombre relativement restreint d'observations, associé à une grande diversité de taille de celles-ci.

			$\bar{t}$ (avion)		$\bar{t}$ (bateau)	
PÉRIODES	1	STRATE 1	12,60 $\pm$	5,15	18,80 $\pm$	7,51
		STRATE 2	5,00 $\pm$	0,00	-	
		STRATE 3	16,20 $\pm$	7,19	13,70 $\pm$	3,82
		STRATE 4	20,00 $\pm$	12,65	13,13 $\pm$	5,50
		STRATE 5	23,33 $\pm$	22,87	20,00 $\pm$	0,00
	2	STRATE 6	7,50 $\pm$	4,90	-	

Tabl.7 - Tonnages moyens des bancs ( $\bar{t}$ ) et intervalles de confiance au risque 5% appliqués à chaque strate, sur la base des données "avion" et "bateau".

Le détail des biomasses de chaque carré est présenté dans les figures 12 a et 12 b et sera étudié plus loin. Nous bornerons ici à donner les biomasses des strates (Tabl.8).

De novembre à mars, la biomasse moyenne estimée sur l'ensemble des secteurs survolés serait de l'ordre de 21 000  $\pm$  2700 tonnes, la fraction correspondant aux aires couvertes dans la ZEE seychelloise se chiffrant à 18 000  $\pm$  1600 tonnes.

Ces résultats confirment le gradient croissant ouest-est de productivité dans le contre-courant équatorial. Par contre, la strate 4

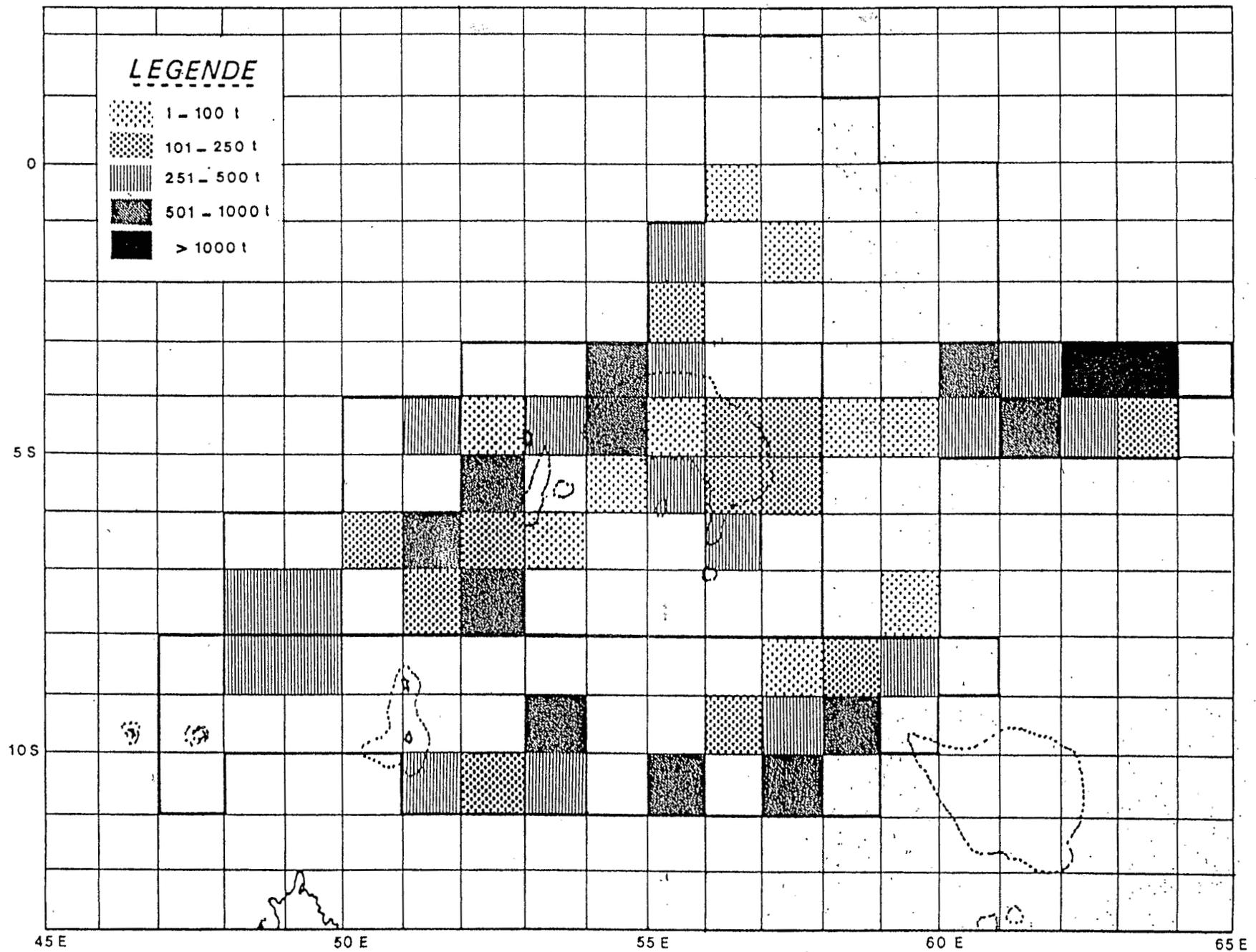


Fig.12a - Potentiel moyen exploitable en thon (tonnes) de décembre 1981 à mars 1982 et de décembre 1982 à janvier 1983.

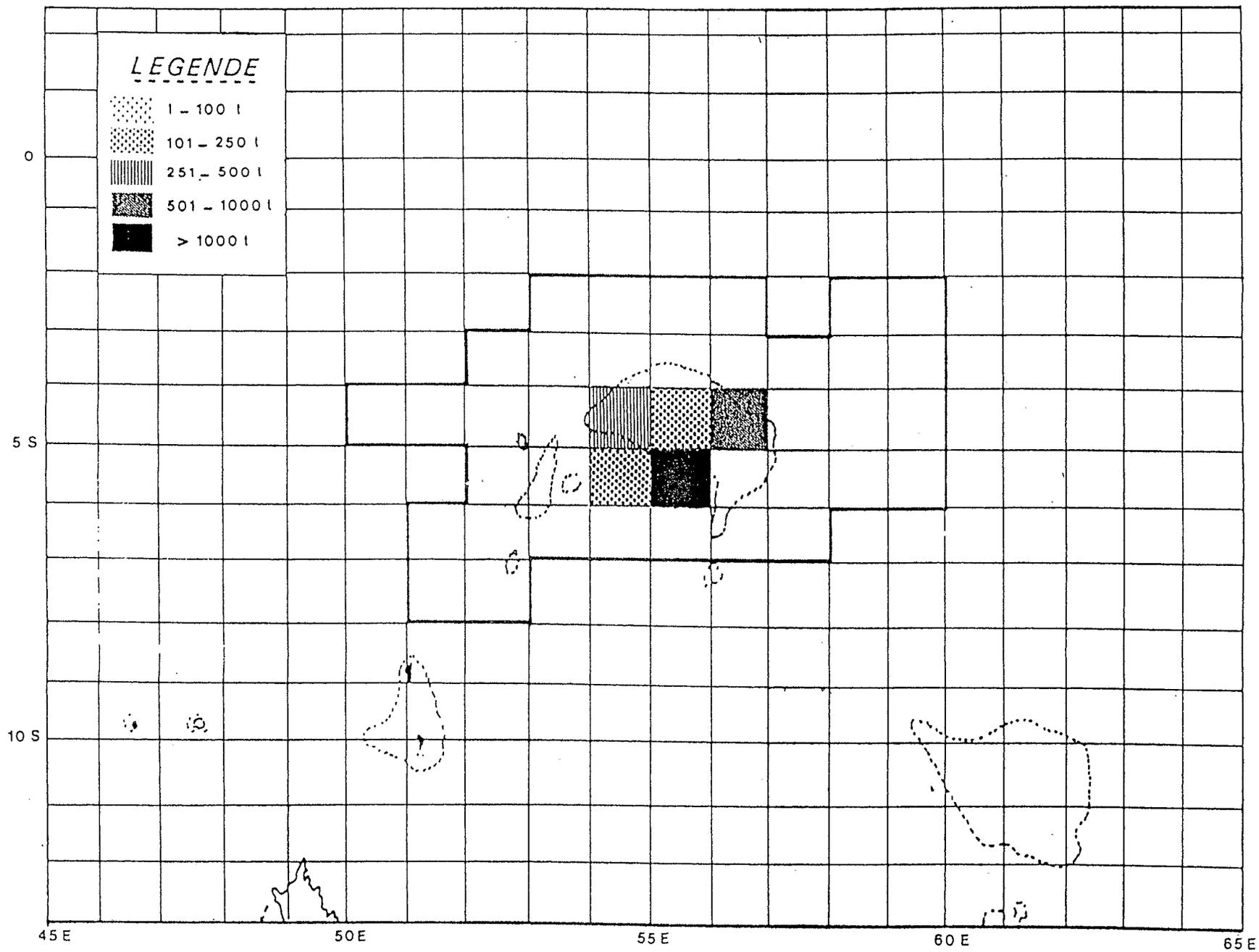


Fig.12b - Potentiel moyen exploitable en thon (tonnes) en octobre 1982

PÉRIODES		$\bar{B}$ (en tonnes)	
1	STRATE 1	4935	+ 483
	STRATE 2	805	+ 330
	STRATE 3	6100	+ 1095
	STRATE 4	5635	+ 455
	STRATE 5	3300	+ 335
2	STRATE 6	5385	+ 610

Tabl. 8 - Biomasse moyenne ( $\bar{B}$ ) et intervalles de confiance au risque de 5% dans chaque strate.

qui présente une faible densité en bancs (analogue à celle de la strate 2) dispose d'un fort potentiel exploitable par le fait que les bancs y sont généralement de grande taille.

Les chiffres présentés ci-dessus ne gardent cependant qu'une valeur provisoire. Ils seront revus et complétés par des données futures après qu'une étude plus poussée de la méthodologie ait défini la procédure de calcul définitive.

#### II.5.7 - Les pôles d'abondance

Les différences affectant les densités et les biomasses entre carrés au sein d'une même strate peuvent être examinées en terme de relation vis-à-vis du milieu. Elles sont attribuables en général :

1 - à des enrichissements localisés à la proximité d'accrores de hauts-fonds

2 - à une zone de convergence des courants,

3 - à une limitation en profondeur du volume écologique optimal, par une thermocline marquée et peu profonde, en des lieux de passage de poissons,

4 - à des associations avec des épaves dérivantes.

On va s'intéresser aux carrés dont l'indice de concentration  $D_C/D_S$  (cf. II.5.4.4) est supérieur à 1, c'est-à-dire correspondant à des biomasses supérieures à :

- 160 tonnes pour la strate 1
- 40 tonnes pour la strate 2
- 130 tonnes pour la strate 3
- 160 tonnes pour la strate 4
- 280 tonnes pour la strate 5
- 140 tonnes pour la strate 6

- dans la strate 1, ils sont situés sur le pourtour du plateau de Mahé, dont les accores ouest, sud et sud-est constituaient les aires de pêche productives des canneurs espagnols, ainsi que sur les parties ouest et sud des hauts-fonds des Amirantes.

De la période 1 à la période 2, on constate une permanence de carrés à forte biomasse à l'ouest et au sud du banc des Seychelles. Par contre, le secteur des Amirantes est vide en octobre, alors que les petits fonds du plateau de Mahé voient augmenter leur potentiel en thon.

- Dans la strate 2, les carrés concernés se cantonnent au niveau de la convergence (nord Seychelles). L'effet diluant du grand volume écologique (thermocline profonde) est compensé par l'accumulation de proies par les courants.

- Dans la strate 3, la zone productive ( $3^\circ$  à  $5^\circ$ S) se limite à la partie du contre-courant où la thermocline, au moment de la prospection, était la moins profonde (30 m en moyenne). Les carrés les plus riches ( $3^\circ$  à  $4^\circ$ S) se situent dans la partie à gradient de thermocline très marqué ( $> 4^\circ$ C par 10 m de profondeur); ceux à biomasse moindre ( $4^\circ$  à  $5^\circ$ S), sur une thermocline à gradient plus faible, variant de  $1,5^\circ$  à  $4^\circ$ C par 10 m.

- La zone  $8^\circ$  -  $10^\circ$ S de la strate 4 correspond à un axe de dérive des débris flottants auxquels s'associent des concentrations de thonidés.

Ces étroites relations entre la distribution du poisson et les conditions générales de l'environnement marin montrent à quel point il est nécessaire de disposer de données variées dépassant largement le simple cadre de la température de surface. La méthode radiométrique offre des possibilités limitées de recherche sur l'écologie du thon si elle ne dispose pas de mesures in situ faites à partir de navires (de pêche et/ou océanographique) en temps réel.

### II.5.8 - Effort optimal de prospection

Rechercher un effort optimal de prospection n'est pas chose simple. La modélisation qu'elle implique nécessite un grand nombre de données, d'autant plus que l'intérêt de cette opération est de travailler au niveau de chaque strate. Les plus fournies en observations (strates 1 et 3) contiennent respectivement, en nombre corrigé, 101 et 68 bancs de thon. Nous avons porté graphiquement (Fig. 13 et 14) le nombre moyen bancs rencontrés par classe de surface de 200 milles carrés. L'ajustement de ces données à un modèle mathématique s'avère délicat, notamment en raison de la forte concentration des points dans les faibles valeurs de surface (54% et 57% des observations entre 0 et 1200 milles carrés) et de la mince représentation de certaines classes.

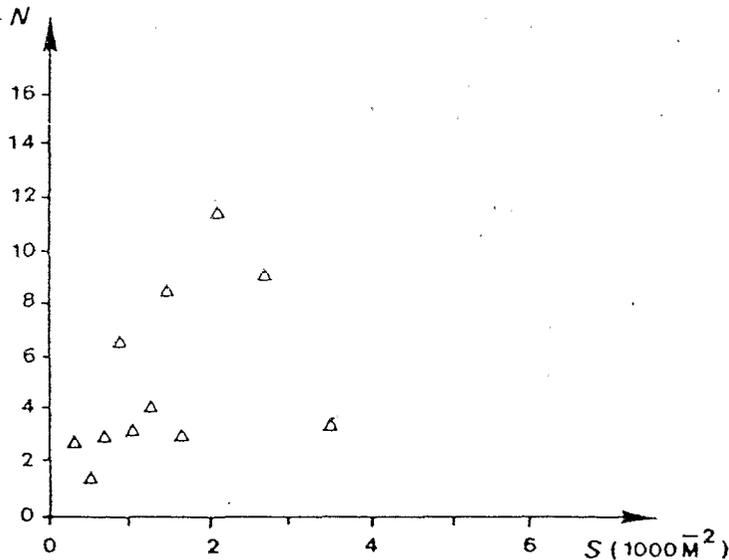


Fig.13 - Nombre moyen de bancs de thons (N) par classes de surface prospectée de 200 milles carrés (S) dans la strate 1 .

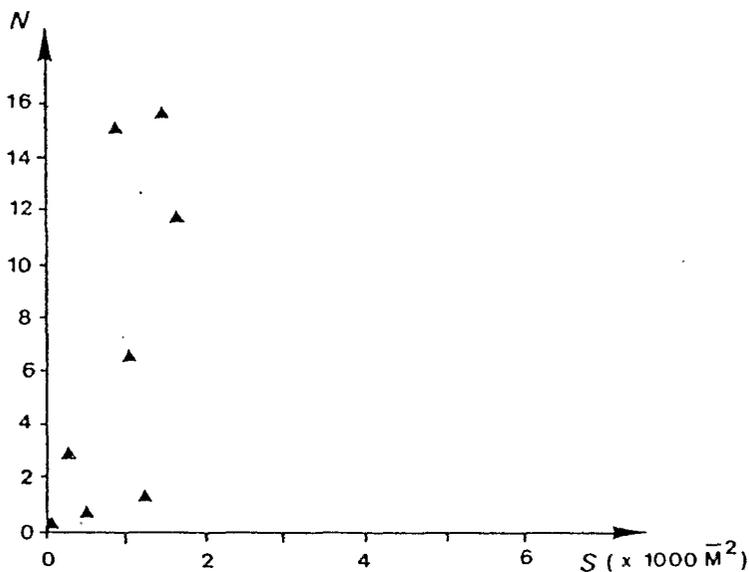


Fig.14 - Nombre moyen de bancs de thons (N) par classes de surface prospectée de 200 milles carrés (S) dans la strate 3 .

Le modèle idéal, en théorie, serait une fonction à tendance asymptotique du style sigmoïde ou exponentielle (Fig. 15 ). Il serait basé sur le principe qu'au delà d'un certain seuil de surface, le nombre moyen de bancs n'augmenterait plus. On pourrait considérer, par exemple, que la surface optimale de prospection par carré correspondrait au point où 80% du nombre maximal de bancs ( $N_{max}$ ) serait aperçu.

La détermination du  $N_{max}$  et du taux d'accroissement de la fonction exigerait que l'accroissement du nombre de bancs par rapport à la surface  $\frac{dN}{dS}$  aille diminuant jusqu'à atteindre une valeur nulle au point  $N_{max}$ . Or avec nos données, on constate de grandes fluctuations de l'accroissement rendant difficile l'application de cette méthode. Nous pensons qu'il faudra un plus grand nombre de données pour tenter cette expérience.

Autre ajustement possible : la courbe logarithmique. Il a été effectué, en présentant un coefficient de corrélation de 0,82, significatif au seuil de risque de 1%. On considère alors qu'il n'y a plus de nombre maximal de bancs, car les observations continuent à augmenter avec la surface, avec toutefois un taux d'accroissement très faible. Mais il est difficile d'établir un critère objectif permettant de définir la surface optimale.

Cette orientation des recherches, en soi prometteuse, devra être reprise ultérieurement lorsque de nouvelles données seront acquises.

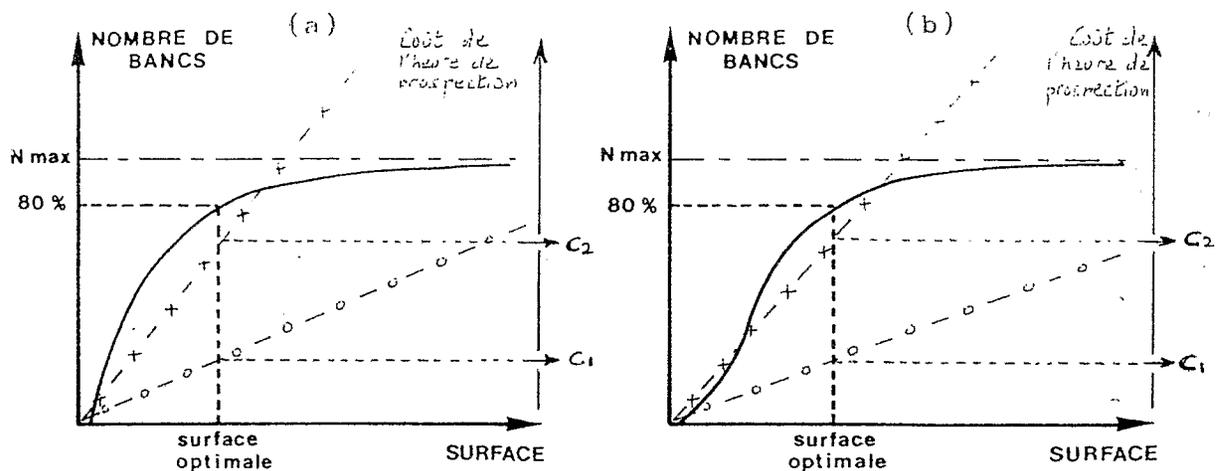


Fig.15 - Détermination de la surface optimale de prospection par des fonctions à tendance asymptotique, exponentielle (a) et sigmoïde (b), et évolution du coût à l'heure de vol des prospections visuelle (-x-x-x-) et radar (-o-o-o-o-).

Il découle de la figure 15 que le prix de revient du mille carré balayé est trois fois plus faible en prospection radar (C<sub>1</sub>) qu'en prospection uniquement visuelle (C<sub>2</sub>). La superposition des courbes de coût (droites) aux fonctions asymptotiques permettrait d'incorporer les paramètres financiers (prix de l'heure de vol, budget disponible) dans la détermination de la surface optimale.

### III- LA PROSPECTION DU SENNEUR " YVES DE KERQUELEN "

#### III.1 - Suivi scientifique de l'expérience

Dès la première escale du senneur à Victoria (décembre 1981), nous avons commencé une rotation d'embarquements pour assurer un suivi des prospections; ceci a été l'occasion de récolter des données fiables dans les domaines physiques et biologiques. Ces embarquements duraient le temps d'une marée, soit 6 semaines. La première phase s'est déroulée jusqu'en juillet 1982, date de retour du thonier en Atlantique; la seconde a débuté en décembre 1982 avec la venue d'une flottille de 4 senneurs, et prit fin, en ce qui concerne nos embarquements, en juillet 1983.

Le travail du scientifique à bord est varié :

- pendant les opérations de recherche du poisson:

- . noter tout ce qui peut être aperçu en surface (oiseaux, épaves dérivantes, bancs de poisson) puis coder ces informations sur les bordereaux de saisie informatique ;

- . procéder à des mesures de température de la mer: en surface, au moyen d'un thermographe; en profondeur à l'aide des sondes XBT ;

- . noter les mesures de dérive générale du navire fournies par le navigateur satellite du bord ;

- . estimer les paramètres météorologiques et océanographiques .

- pendant et après les coups de filet :

- . noter la chronologie des opérations ;

- . dissection rapide des thons rejetés (contenus stomacaux, état des gonades, parasitisme ...) avec éventuellement prise d'échantillon ;

- . mesurer les longueurs individuelles de thons prélevés de manière aléatoire sur le tapis roulant menant aux cuves de congélation .

Au laboratoire, les données collectées en mer sont saisies sur bande magnétique au moyen du micro-ordinateur, et sont immédiatement soumises aux premiers traitements présentés en I.5 . L'expérience est donc suivie en cours de réalisation et les résultats de chaque marée sont rapidement comparés aux précédents pour mettre en évidence les fluctuations saisonnières.

### III.2 - Analyse des résultats obtenus par les senneurs

Sur les cartes de répartition des zones de concentration de bancs de thons (fig. 16) , on retrouve les grandes aires productives à l'est des Seychelles, au nord d'Agalega et au sud des Amirantes, de décembre à mars (mousson de NW), telles qu'elles avaient été suggérées par les prospections aériennes.

Chaque concentration est définie par deux paramètres :

- la distance moyenne séparant chaque banc dans la concentration ;
- les quantités moyennes (en tonnes) observées par tranche de distance prospectée de 10 milles .

Le regroupement de toutes les concentrations en trois grandes zones (pour la mousson de NW), celles présentées plus haut, permet de donner à chacune d'elles une valeur moyenne des deux paramètres d'abondance cités (tabl.9). Une quatrième zone, les Chagos, est examinée en période d'inter-mousson (tabl.10).

Les distances séparant les bancs sont restées du même ordre dans les trois zones. Les rendements d'observation ont par contre varié. Dans la zone 1, ils étaient les plus faibles mais, compte tenu de la grande surface de la zone, la production totale y était plus importante. En inter-mousson, dans cette région, les rendements augmentaient corrélativement à une plus grande dispersion des bancs, ceci s'expliquant par la taille plus grande des mattes rencontrées.

Aux Amirantes, on notait, pour la même période, une évolution similaire.

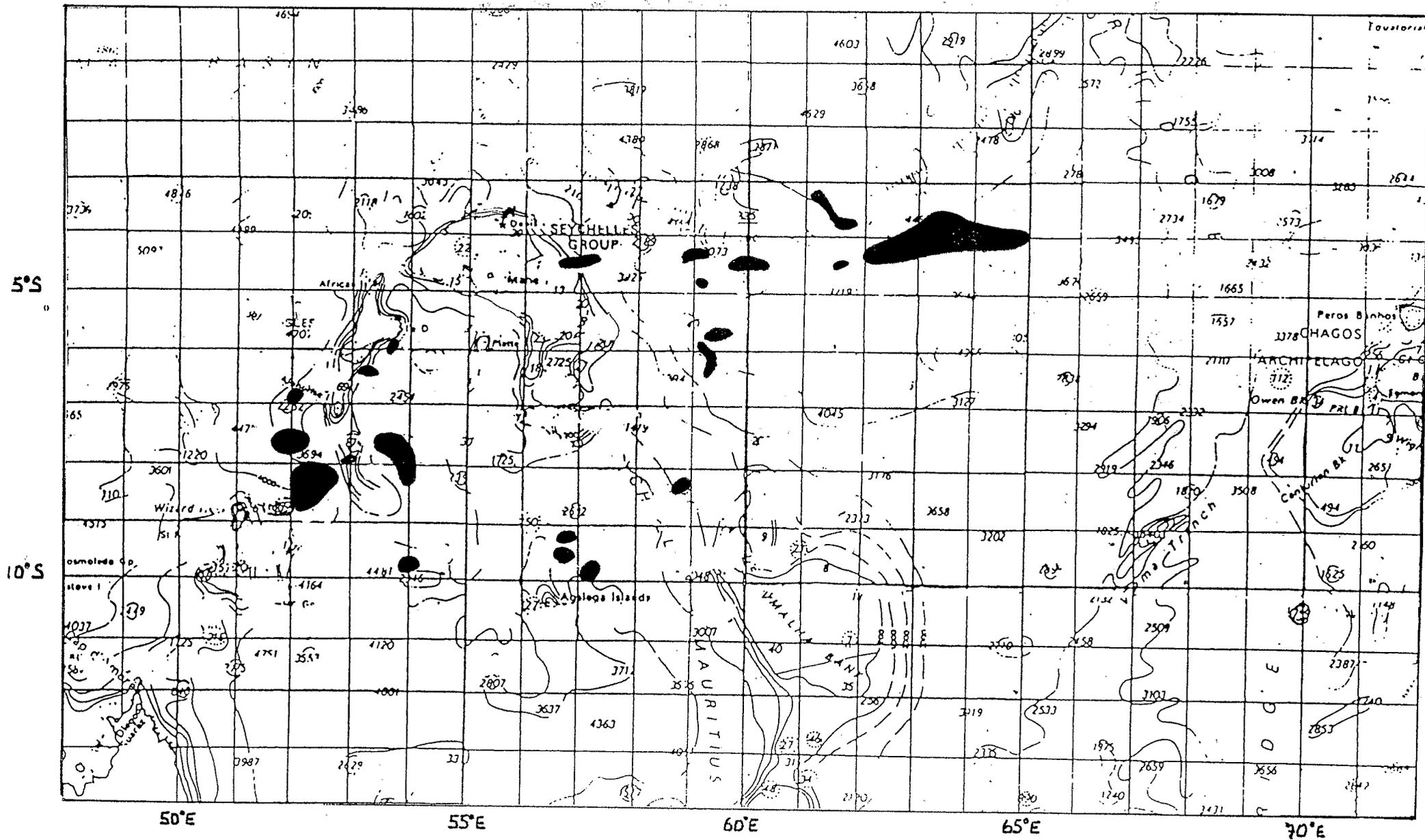


Fig.16 - Zones de concentration en thons décelées par les senneurs de décembre à mars.

ZONES	d. (en milles)	R (en t/10 milles)
1 - est des SEYCHELLES	17,7	8,3
2 - sud des AMIRANTES	17,0	17,5
3 - AGALEGA	13,8	11,0

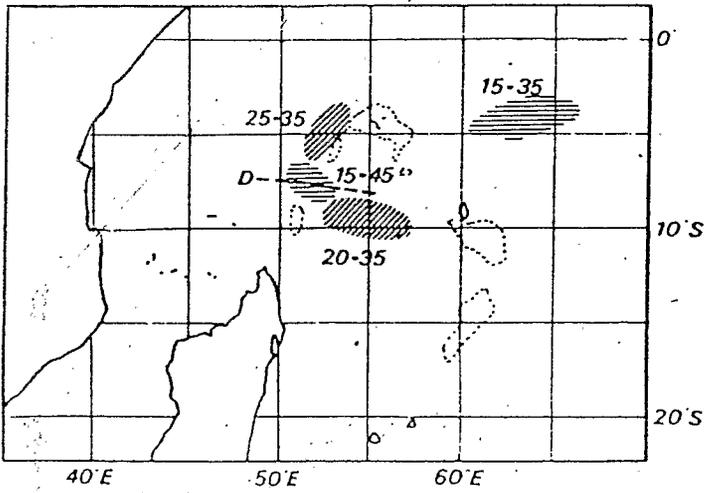
Tabl.9 - Distance moyenne séparant chaque banc (d) et rendements pondéraux d'observation de bancs (R) dans chacune des trois zones, de décembre à mars.

ZONES	d (en milles)	R (en t/10 milles)
1 - est des SEYCHELLES	19,5	12,6
2 - sud des AMIRANTES	30,8	17,7
4 - CHAGOS	21,5	7,4

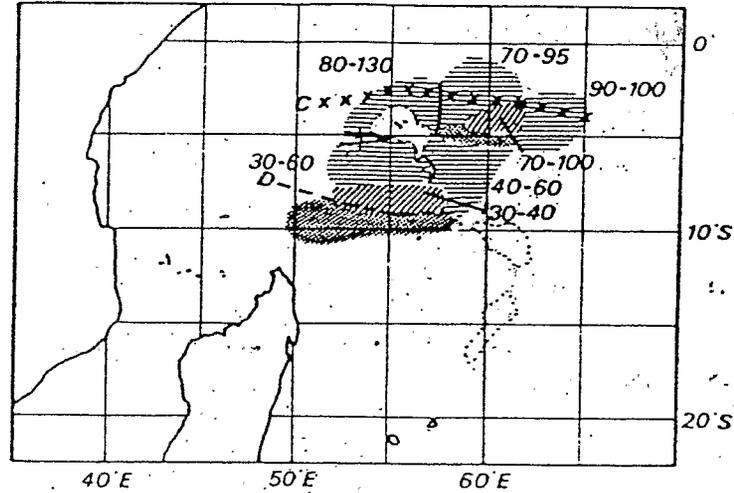
Tabl.10 - Distance moyenne séparant chaque banc (d) et rendements pondéraux d'observation de bancs (R) dans la zone 1 (avril 1983), la zone 2 (avril 1982) et la zone 4 (juin 1982 et mai-juin 1983).

Ces fluctuations inter-zones et saisonnières peuvent être rapportées aux conditions du milieu (fig.17).

- en décembre-janvier, sur la zone 1, la thermocline était marquée et peu profonde: un grand nombre de mattes non associées ont pu être observées. Ce secteur a subi, dans les deux mois qui ont suivi, un enfoncement de cette thermocline dû à la formation d'une zone de convergence entre le contre-courant équatorial et le courant nord-équatorial; les épaves dérivantes s'y sont concentrées.



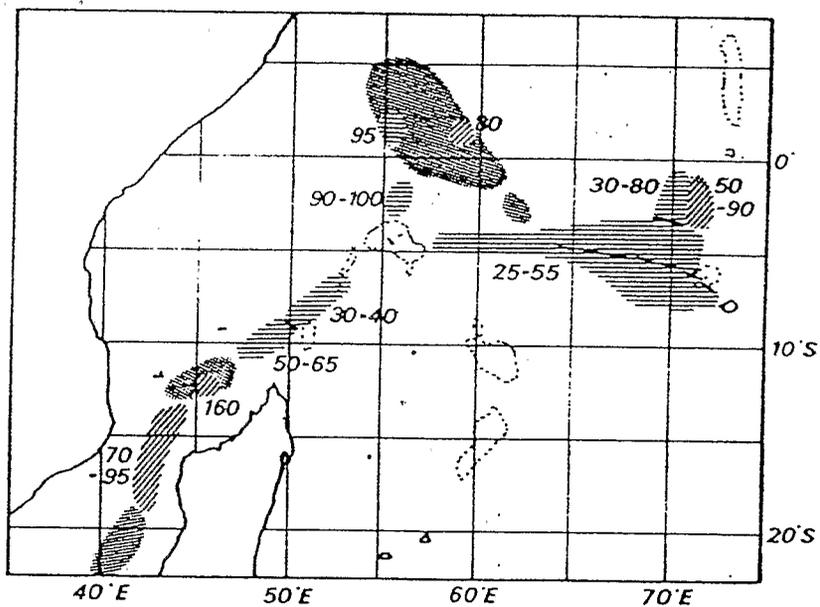
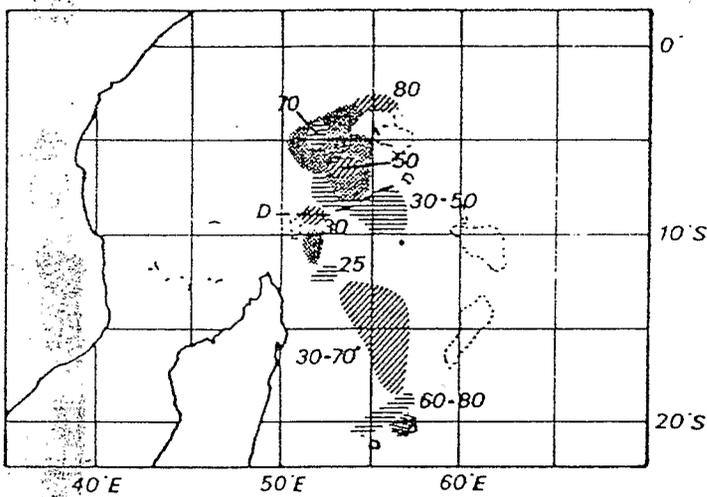
décembre 1981-janvier 1982



février-mars 1982

avril-mi mai 1982

mi mai-juin 1982



-  thermocline marquée
-  thermocline peu marquée
-  pas de thermocline

90-100 intervalle de profondeur de la thermocline (en mètres)

Fig.17 - Répartition des profondeurs de la thermocline dans l'ouest de l'océan Indien, de décembre 1981 à juin 1982.

- les zones 2 et 4 se situaient de part et d'autre de la divergence en saison chaude.

Cette analyse est encore succincte (ces deux années ont surtout été consacrées à du travail de terrain). Elle sera complétée sur la base des travaux de l'ICCAT sur la détermination de l'effort de pêche des senneurs (PELLA et TSAROPOULOS, 1975; GREENBLATT, 1976; LAUREC et LE GUEN, 1977 ...). La senne est un engin de pêche complexe qui demande une réflexion approfondie pour parvenir à définir au mieux la surface balayée et corriger le dénombrement des bancs vus (surtout lorsque plusieurs bateaux travaillent ensemble en raison de la redondance possible des observations). On ne peut appliquer intégralement le modèle appliqué en radiométrie car les procédures de recherche du poisson sont légèrement différentes : l'avion recoupe assez peu, du fait de sa grande vitesse, le même point lorsqu'il prospecte, alors que le navire peut sillonner un secteur restreint toute une journée durant. La probabilité de comptabiliser plusieurs fois une même masse devient alors relativement forte pour le senneur. L'objectif du futur traitement de ces données est double :

- définir une densité en bancs de thons (bancs/unité de surface) au sein des concentrations ;
- au moyen des CPUE (captures par unité d'effort), comparer les abondances en thons des différentes concentrations .

Les stages que je dois effectuer au cours du dernier trimestre 1983 en France et à l'étranger, sur les problèmes posés par l'échantillonnage et les analyses courantes en dynamique des populations devraient m'apporter un complément de connaissances indispensable pour progresser dans ce type de recherches.

---

IIIème PARTIE : ELEMENTS DE BASE D'UNE STRATEGIE PREVISIONNISTE  
DES ZONES DE PECHE THONIERE DE SURFACE DANS L'OCEAN INDIEN  
TROPICAL OUEST .

---

Faire de la prévision fiable dans le domaine des pêches est un objectif qui reste encore à atteindre. Les paramètres à prendre en compte sont très nombreux; de plus, la moindre variation d'un seul facteur du milieu suffit à détruire l'équilibre en cours mais en crée un autre. Les premiers modèles estimant les conséquences des changements de l'environnement sur la production marine ont un caractère dynamique, c'est-à-dire qu'ils prévoient plusieurs scénarios selon les diverses situations hydrologiques possibles dans la région. Cette approche est certainement la plus clairvoyante. Enfin, il n'existe pas de modèle global dans ce domaine ; chaque région océanique doit être étudiée en particulier.

Alors qu'une telle modélisation est à l'essai dans l'Atlantique équatorial est, nous commençons seulement à examiner, dans l'océan Indien, les moyens pouvant être mis en oeuvre. Nous tentons aussi de trouver des relations entre présence/vulnérabilité des thons et certaines anomalies de température de surface ou encore le niveau d'immersion de la thermocline et de certains isothermes. Aucun résultat définitif n'est encore acquis ; seul sera présenté l'état d'avancement de ces travaux.

I- LES MOYENS UTILISABLES

I.1 - Déjà en place

Nous utilisons des données à caractère instantané (à l'inverse des atlas) qui ne concernent, jusqu'alors, que la température de surface. Dans les secteurs où elle présente de fortes variations (Atlantique équatorial est, par exemple), l'information qu'elle révèle est suffisante. Cela n'est pas le cas dans l'océan Indien occidental où le champ thermique est, la plupart du temps, peu contrasté.

Trois types de cartes de température sont employées :

- à l'échelle de l'océan : cartes de la N.O.A.A., élaborées à partir de mesures satellitaires par le traitement GOSSTCOMP ;
- à l'échelle du bassin ouest de l'océan : cartes établies à partir des 'message-ship' transitant par le Global Telecommunication System (GTS). Les données sont récupérées par les services météorologiques ; le centre de La Réunion compile des données décadaires et confectionne ensuite une carte par ordinateur ;
- à l'échelle locale : cartes issues des vols radiométriques menés à partir des Seychelles (fig.18).

## I.2 - A mettre en oeuvre

Les études de faisabilité que nous conduisons sur l'utilisation potentielle des satellites en océanographie dans l'océan Indien permettent de juger à moindre frais de la qualité des résultats à attendre. Elles sont faites en collaboration avec l'Antenne ORSTOM de Centre de Météorologie Spatiale (C.M.S.) de Lannion.

-expérience METEOSAT : à l'occasion du stage suivi à Lannion au début de ma première année d'élève-chercheur (21/09 au 23/10 /1981), j'avais tenté une première analyse sur le canal de Mozambique : les premiers résultats étaient exposés dans mon rapport de stage :

" Les problèmes liés à la détection satellitaire, (...), sont amplifiés dans cette partie du globe par le fait que la vision de METEOSAT, évoluant vers la tangence, est soumise à une forte distorsion géographique. La résolution spatiale au sol est fortement amoindrie, le pixel passant de 25 km<sup>2</sup> dans le Golfe de Guinée à environ 50 km<sup>2</sup> au niveau de Madagascar. Les traitements réalisés (...) montrent une grande différence entre les radiances du canal de Mozambique, et celles des zones maritimes s'étendant à l'est de Madagascar; l'écart peut atteindre 6,6 comptes radiométriques (soit environ 3°C) pour des eaux de températures à peu près identiques. Ces radiances largement sous-estimées résultent d'une très forte absorption de la part de l'atmosphère - celle-ci est traversée de biais et non plus perpendiculairement - l'ensemble étant de plus intégré sur une grande surface.

On peut considérer que la partie canal de Mozambique est assez représentative de la situation hydrologique réelle. Les images de synthèse montrent des accumulations d'eau chaude le long des côtes du Mozambique, du SW et du NW de Madagascar. Des traitements plus suivis dans le

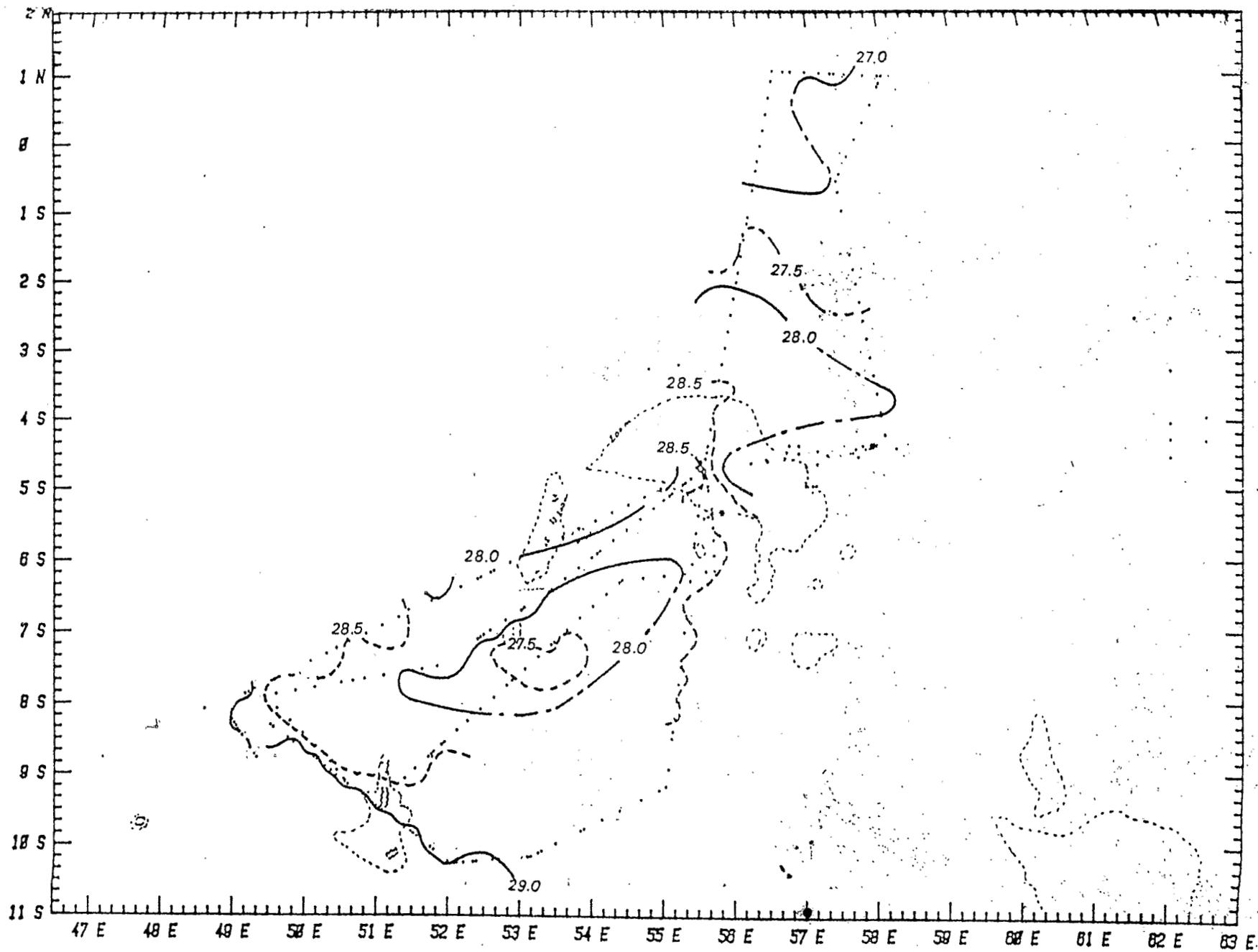


Fig.18 - Carte de température de surface de la mer élaborée à partir de survols radiométriques (13 au 19 janvier 1982).

temps sur ce secteur pourraient mettre en évidence les structures déjà connues, mouvements anticycloniques dans les parties nord (...) du canal de Mozambique, ou divergence dans sa partie centrale...

Par contre, en ce qui concerne la zone purement seychelloise, aucun traitement ne semble possible à partir de METEOSAT."

Plus récemment, de décembre 1982 à avril 1983, un nouvel essai a été entrepris. Il s'est avéré négatif même sur le canal de Mozambique en raison de la forte couverture nuageuse qui domine à cette période de l'année. Il semblerait donc que le canal ne puisse être étudié correctement que de juin à octobre, pendant la saison sèche. Cependant, la zone favorable étant petite à l'échelle de l'océan, une autre solution devait être envisagée pour espérer couvrir l'ensemble du bassin occidental.

-expérience NOAA 6/7 : ce sont des satellites défilants qui parcourent toute la surface du globe et visionnent un même point deux fois par 24 h (1 image de jour, 1 image de nuit). Deux types de stations (basse résolution: APT ; haute résolution: HRPT) sont utilisables pour capter les informations qu'ils diffusent. Une station du premier type est installée à la Réunion et nous comptons l'utiliser si l'épreuve de faisabilité en cours s'avère concluante. Les données captées sous forme analogique (pour restitution d'une photo) seraient ensuite numérisées au moyen d'un convertisseur ce qui permettrait le traitement sur ordinateur. Le gros avantage sur les cartes que nous recevons de la N.O.A.A. avec un délai de trois semaines serait d'une part, la confection de documents en temps réel et, d'autre part, la possibilité de se focaliser sur des secteurs bien précis.

Avant de mettre en place ce système, nous avons envisagé de traiter des bandes d'archives déjà numérisées. J'ai consulté la photothèque satellitaire du centre météorologique de la Réunion afin de prendre les références d'orbites choisies selon deux critères : clarté de l'image et correspondance avec les périodes de pêche des senneurs. Ces images, commandées à la N.O.A.A., sont en cours de dépouillement au C.M.S. de Lannion; les résultats seront examinés dès la fin de 1983. Les navires en mer fourniront la vérité-terrain pour la température ce qui permettra de tester la précision de la télémessure.

-suivi du milieu marin régional par navire océanographique : il a déjà été fait mention de la nécessité d'avoir des données hydrologiques variées pour espérer expliquer plus clairement les causes des concentrations de thons dans certaines zones et préciser les techniques de pêche appropriées à leur exploitation. Un suivi régulier du milieu par des campagnes océanographiques comblerait les lacunes actuelles qui limitent la progression de nos recherches.

## II- INFLUENCE DES VARIATIONS DE TEMPERATURE EN SURFACE ET EN PROFONDEUR SUR LES CONCENTRATIONS DE THONS

### II.1 - Analyse historique des températures de surface

A partir du fichier satellite 'TP' (cf I.4), une étude de l'évolution thermique de différents secteurs du bassin ouest de l'océan Indien a été entreprise.

Cumulant les données allant de 1978 à 1981, elle s'est déroulée en plusieurs phases :

- a) regroupement de zones à évolutions mensuelles similaires pour chaque année ;
- b) élaboration d'un schéma de synthèse pour l'ensemble des 4 années ;
- c) figuration des profils thermiques types pour chaque zone .

Une quatrième phase est en cours: elle consiste à établir une carte d'anomalies thermiques en surface, c'est-à-dire les écarts des températures d'une année par rapport à la moyenne pluri-annuelle. Par la suite, nous verrons si une quelconque relation existe entre les lieux de pêche, leur production, et ces anomalies. Il s'agit d'un travail de longue haleine qui devra s'échelonner sur plusieurs années si l'on veut limiter au maximum l'influence de variations exceptionnelles affectant les températures ou les CPUE.

Revenons aux trois phases et à leur modalités d'exécution :

- a) sur l'ordinateur, au moyen d'un programme particulier, j'ai construit le profil des variations de température au cours des 12 mois de chaque année et superposé les profils analogues. L'écart habituellement observé entre les valeurs extrêmes d'un même profil est d'environ 1°C. Cette superposition a ainsi permis de différencier de 13 à 15 zones selon les années ;

b) ces zones étant réparties de façon quasiment identiques sur les 4 années, un schéma de synthèse a pu être dégagé (fig.19). L'ensemble de la région a été découpé en 7 secteurs ;

c) enfin, un profil type a été élaboré pour chaque secteur (fig.20). Il n'a été construit que sur la base des années 1979 à 1981, l'année 1978 ayant montré des valeurs inférieures à la moyenne des 3 suivantes. Quelques problèmes techniques d'un satellite et un procédé de traitement qui nécessitait une mise au point seraient à l'origine de cet écart.

La figure 20 montre que l'amplitude thermique annuelle décroît des secteurs côtiers (1 et 4) vers les secteurs du large (2,3 et 6). Les températures les plus hautes sont du même ordre dans tous les secteurs: 28,5° à 29°C. En revanche, les basses valeurs se rencontrent plus particulièrement près du continent africain (< 23°C le long des côtes tanzaniennes). Les eaux situées au centre du bassin ouest de l'océan (secteurs 2,3 et 6) restent chaudes toute l'année. Les eaux plus méridionales (secteurs 4,5 et 7) atteignent leur maximum thermique de janvier à mai et leur minimum en août.

Le secteur 1 présente un cas particulier : situé dans l'hémisphère nord, les températures les plus chaudes devraient être observées de juillet à septembre; or cette période correspond à un minimum thermique que l'on peut attribuer au développement de l'upwelling de Somalie, de 5° à 10°N. Ce secteur subit donc, dans la même année, deux refroidissements: celui de la saison fraîche (décembre à février) et celui placé sous l'influence de l'upwelling somalien (juillet - août).

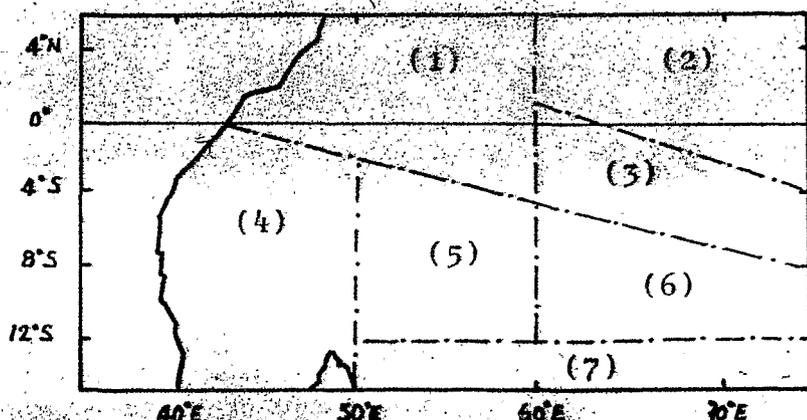


Fig.19 - Découpage en 7 secteurs de la région océanique étudiée .

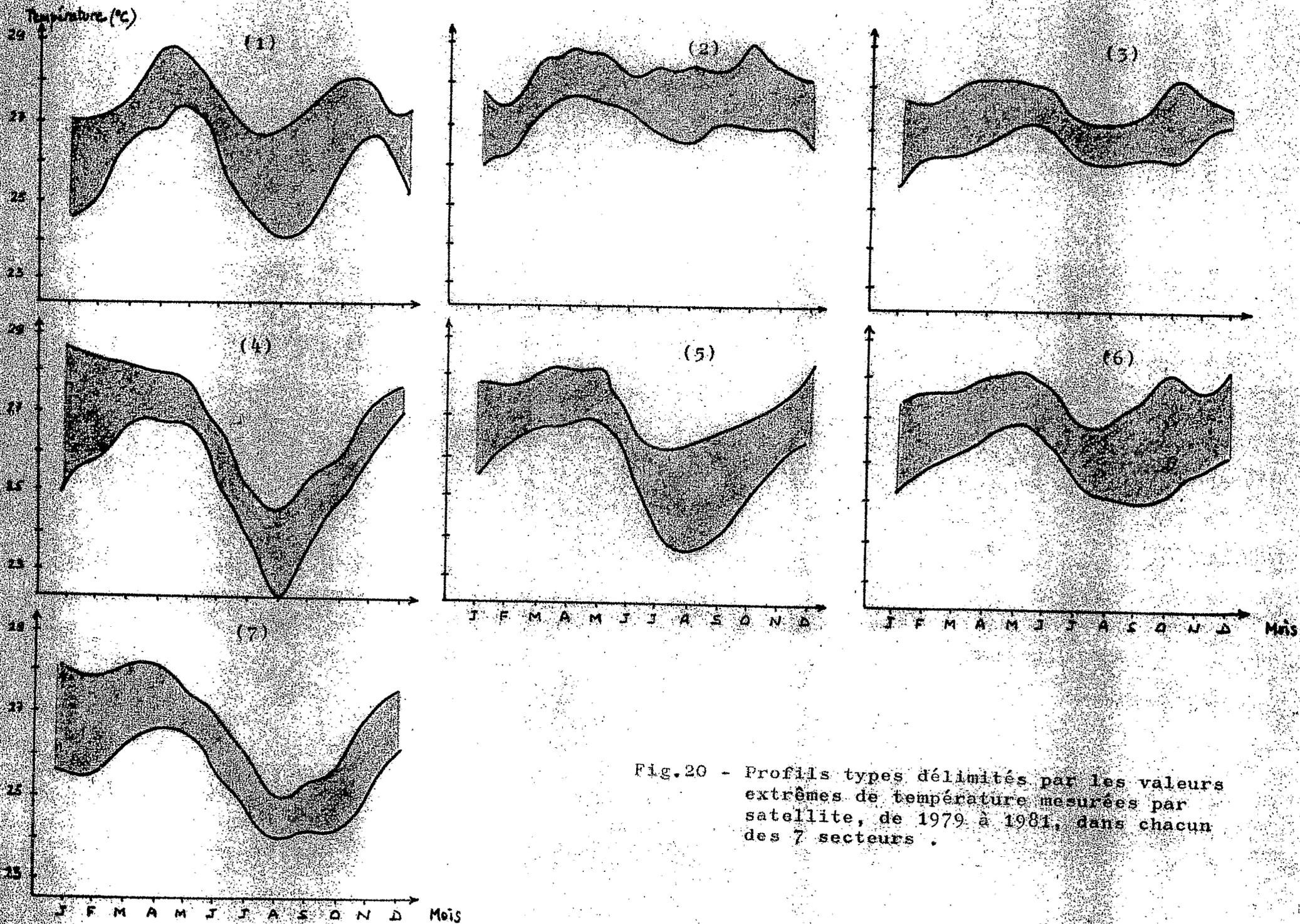


Fig.20 - Profils types délimités par les valeurs extrêmes de température mesurées par satellite, de 1979 à 1981, dans chacun des 7 secteurs .

II.2 - Variation de niveau des isothermes 15°, 23°C et de la thermocline : incidence sur concentration et vulnérabilité du thon

Selon SHARP (1979), deux paramètres du milieu marin, le volume d'oxygène dissous et la température, suffisent pour délimiter l'habitat propice à chaque espèce de thons. La dépendance des individus envers ces deux éléments va évoluer au cours de leur vie en liaison avec leur morphologie et leur état physiologique.

Le premier problème qui se pose aux thons est leur tenue dans la colonne d'eau. Le comportement est donc très différent entre espèces munies d'une vessie natatoire (genre *Thunnus*) qui réduit la densité du corps, et celles qui en sont dépourvues (skipjack, par exemple). Ces dernières devront nager de plus en plus vite au fur et à mesure de leur croissance pour se maintenir à un niveau d'immersion constant, demandant pour cela un apport en oxygène de plus en plus élevé. Les yellowfin, dont la vessie gazeuse s'accroît avec l'âge, pourront réduire leur vitesse et, partant, diminuer leur demande en oxygène. Enfin, les bigeye, qui disposent toute leur vie d'une vessie natatoire, auront les plus faibles exigences vis-à-vis de cet élément.

En second lieu, la température agit par le fait que, les juvéniles n'ayant pas de dispositif de thermorégulation parfaitement fonctionnel, ils devront se limiter à une plus stricte gamme thermique. Les plus vieux individus auront par contre une plus ample latitude d'évolution. Pour le skipjack et le yellowfin, il ne semble pas exister de limite supérieure de température. Cependant, les limites inférieures estimées (tabl.11) ne doivent être examinées qu'en terme d'habitat optimal et non exclusif.

ESPECE	Preferendum thermique	Limite inférieure tolérée en O <sub>2</sub> pour poissons de petite taille (50 à 75 cm)
K. pelamis	20° à 30°C	2,5 ou 3,0 ml/l
T. albacares	23° à 32°C	1,5 à 2,5 ml/l
T. obesus	11° à 23°C	0,5 à 1,0 ml/l

Tabl.11 - Preferendum thermique et concentration minimale en oxygène propres à chaque espèce (tiré de SHARP, 1979) .

J'ai essayé de reproduire, sur la seule base de la température, une partie des travaux que SHARP a mené dans le Pacifique oriental. L'abondance des bancs et les captures faites seront examinées en fonction de l'immersion de la thermocline et des isothermes 15° et 23°C, ces derniers constituant les limites d'habitat optimal respectivement du bigeye et du yellowfin. L'espace prospecté est divisé en 2 secteurs (fig.21) :

- secteur 1 : ouest et sud des Seychelles
- secteur 2 : est des Seychelles jusqu'aux Chagos

#### II.2.1-Abondance en bancs de thons

Une densité en bancs par 1000 milles carrés a été calculée pour chaque carré statistique visité. A chaque densité correspond un triplet de valeurs, les immersions des isothermes 15°C, 23°C et de la thermocline.

Pour l'ensemble des 2 secteurs, une relation significative au seuil de risque de 5% est constatée entre abondance de thons en surface et les immersions du 23°C et de la thermocline (fig.22 a, b et c). L'abondance est d'autant plus forte que les immersions sont faibles (coefficient de corrélation négatif). L'isotherme 15°C ne semblerait pas avoir une quelconque influence.

La figure 23 a et b retrace les évolutions mensuelles des quatre paramètres dans chaque secteur, selon des bandes latitudinales de 1 degré. Des corrélations significatives au seuil de risque de 5% sont constatées à certaines latitudes (3° à 4°S, 5° à 6°S, 8° à 9°S, 9° à 10°S).

#### II.2.2-Captures

Dans le secteur 1, on obtient une corrélation significative au seuil de risque de 5% entre tonnage capturé par coup de filet tenté sur des bancs non associés à des épaves, et immersions du 15°C, 23°C et de la thermocline (tabl.12). Comme pour l'abondance en bancs, les rendements par coup augmentent avec la remontée des isothermes vers la surface. Dans le secteur 2, la relation pour les bancs de ce type n'existe plus. Sur les deux secteurs, les variations de profondeur des isothermes ne semblent

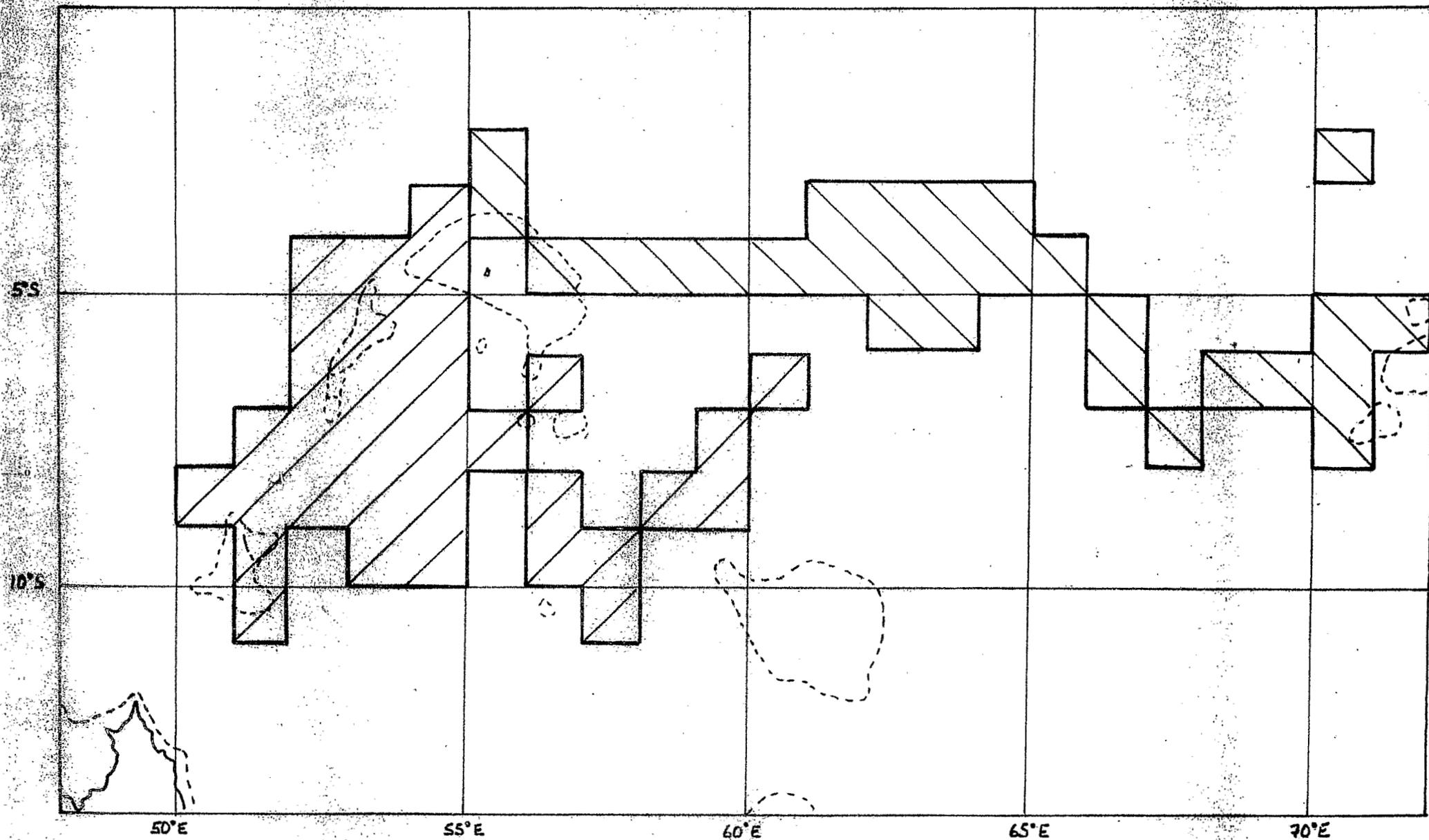
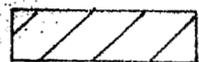
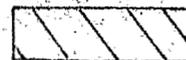


Fig.21 - Division de l'espace prospecté de décembre 1981 à juin 1982 par le thonier sennear "Yves de Kerguelen" .



secteur 1



secteur 2

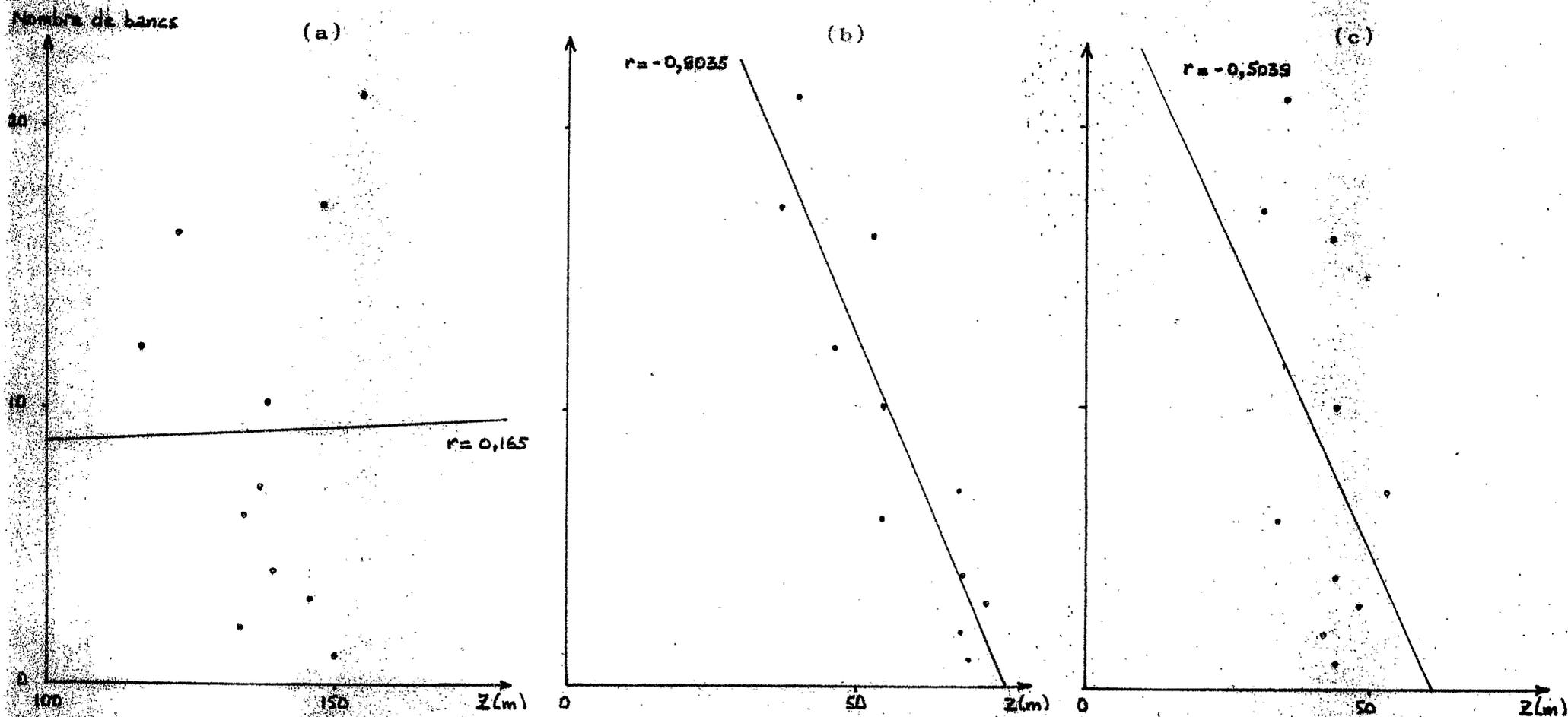
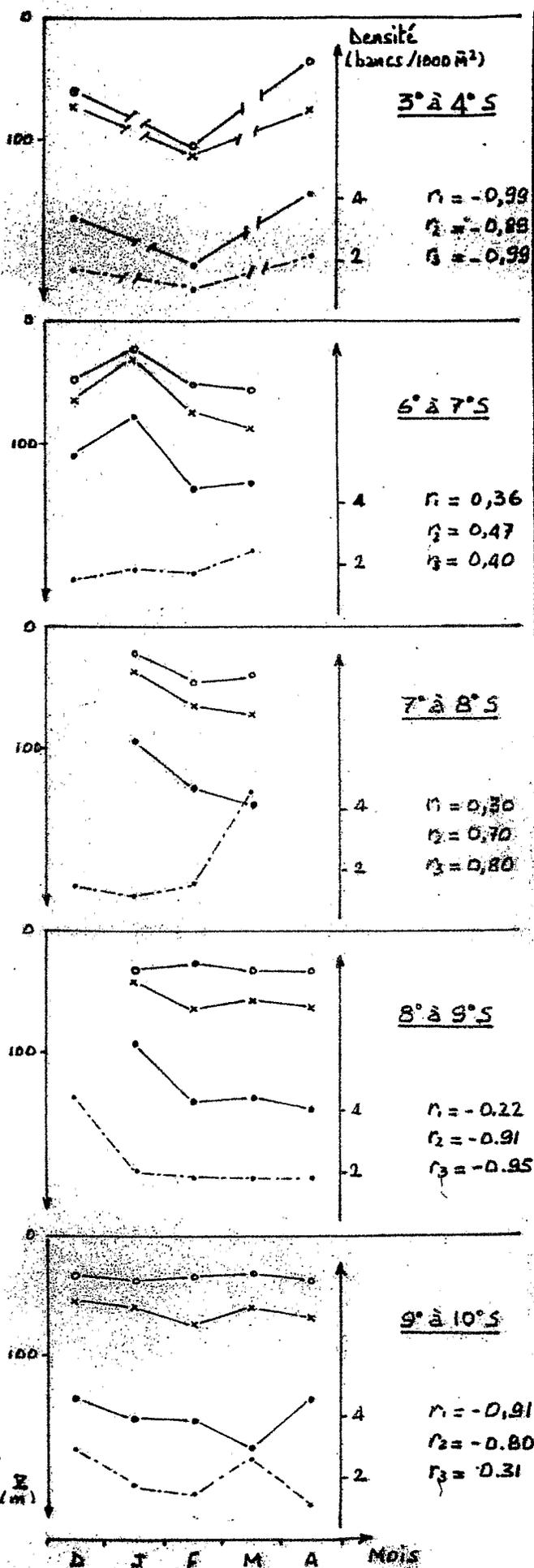
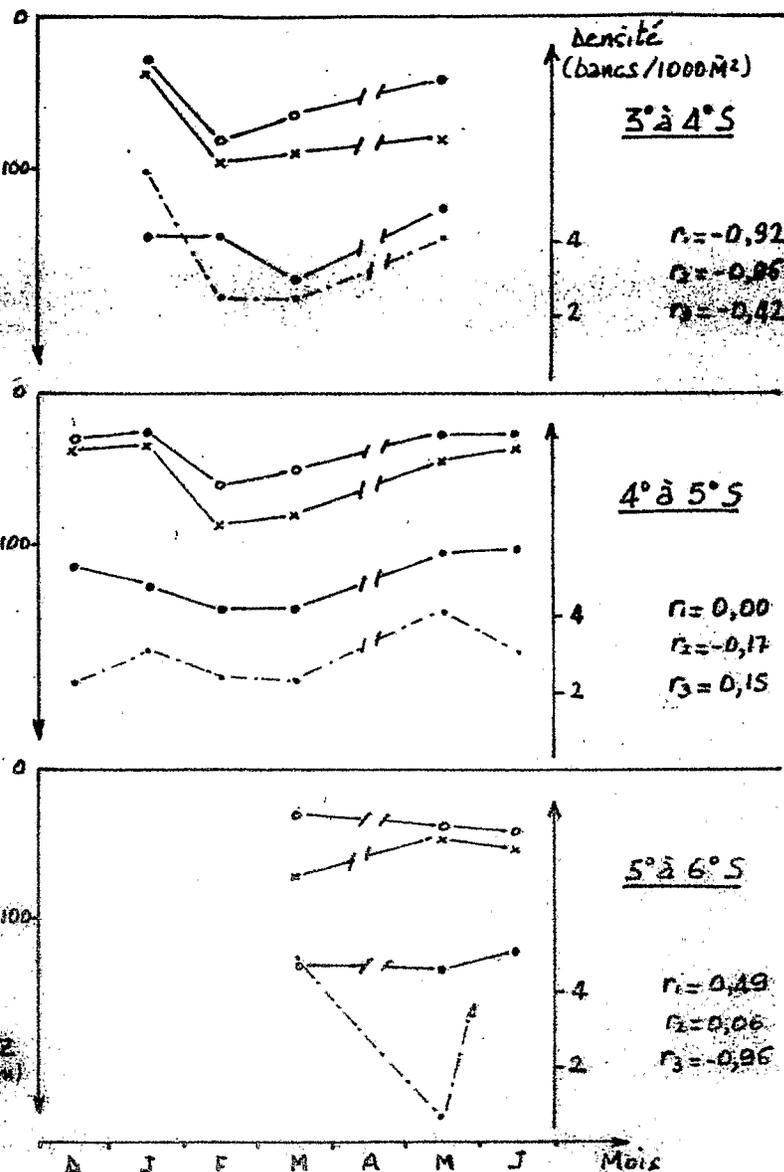


Fig. 22 - Abondance des bancs de thons aperçus en surface en fonction de la profondeur des isothermes 15°C (a), 23°C (b) et de la thermocline (c).



(a)



(b)

Fig. 23 - Evolutions mensuelles des profondeurs de thermocline (o—o—o), des isothermes 23°C (x—x—x) et 15°C (•—•—•), et de la densité en bancs de thons par 1000 milles carrés (·—·—·) dans les secteurs 1 (a) et 2 (b).

$r_1$ ,  $r_2$  et  $r_3$  sont les coefficients de corrélation entre l'évolution de la densité et, respectivement, celles de la thermocline, de l'isotherme 23°C et de l'isotherme 15°C.

pas exercer d'influence sur les captures faites autour d'objets flottants. Cela pourrait se comprendre dans la mesure où l'effet agrégatif qu'ils occasionnent devient le paramètre prédominant qui masque l'action de facteurs moindres.

		15°C	23°C	thermocline
secteur 1	bancs non associés (N=11)	<u>-0,64</u>	<u>-0,70</u>	<u>-0,61</u>
	bancs avec épaves (N=10)	0,21	0,44	0,47
secteur 2	bancs non associés (N=7)	0,02	-0,42	-0,39
	bancs avec épaves (N=4)	-0,35	0,74	0,21

Tabl.12 - Coefficients de corrélation calculés entre rendements par coup de filet et les différentes immersions des isothermes 15°C, 23°C et de la thermocline .

(les corrélations significatives au seuil de 5% sont soulignées)

Ces résultats, bien que recoupant en partie ceux de SHARP, devront cependant être revus à la lumière de données nouvelles. Seules les observations faites de décembre 1981 à juin 1982 ont ici été prises en compte. De plus, il faudrait pouvoir examiner le couple température-oxygène. La température seule ne suffit pas à expliquer certains phénomènes: nous avons plusieurs fois constaté la fuite d'individus en profondeur vers des eaux à température bien inférieure aux minimas présentés au tableau 11. Il semble donc que le poisson traqué (lors de coups de filet) est capable, pendant une durée limitée, de survivre dans un milieu à priori inadéquat.

L'aboutissement de ces recherches devrait fournir des relations spécifiques à notre région, l'ouest de l'océan Indien tropical sud, que l'on pourrait incorporer à un modèle de "prévision" sur les potentialités thonières de certaines zones.

## C O N C L U S I O N

Les travaux en cours de réalisation aux Seychelles qui apportent une contribution aux études déjà faites sur l'environnement océanique tentent surtout d'établir un lien entre celui-ci et la création de zones favorables aux regroupements de thonidés. Les deux modes d'investigation employés, l'avion et les navires de pêche, fournissent déjà des résultats significatifs.

Les principaux acquis de la première année de prospection thonière associée à la radiométrie aérienne peuvent être résumés dans les points suivants :

- grande uniformité du champ thermique superficiel pendant la saison chaude; les contrastes éventuels durables ne peuvent être observés que pendant la mousson de sud-est, de juillet à octobre;

- répartition préférentielle du thon dans la gamme de température 29°-30°C au cours de la saison chaude; les résultats manquent pour préciser si une telle relation existe à la fin de la mousson de sud-est;

- présence régulière de concentrations de thon autour et sur la plateau de Mahé principalement, plus sporadiquement aux Amirantes (en saison chaude uniquement) exploitables au moyen de canneurs - le facteur limitant à ce type de pêche est essentiellement la disponibilité en appât vivant -;

- mise en évidence de secteurs privilégiés favorables aux regroupements de thons de surface, au sein du contre-courant équatorial, notamment de 3° à 5°S, à l'est de 60°E; la biomasse exploitable moyenne en thon estimée dans ce secteur dépasserait 6000 tonnes pendant la saison-chaude, de novembre à mars; la zone de divergence située au sud de la zone seychelloise présente une densité en bancs de thons vulnérables aux techniques de surface (canne, senne), analogue à celle du courant nord-équatorial, au nord de 3°S; elle dispose cependant d'un fort potentiel exploitable, proche de celui évalué dans le contre-courant, en raison d'une taille moyenne de bancs (20 tonnes) relativement élevée pour la zone;

- ouverture d'une réflexion sur l'exploitation des données acquises en vue de l'estimation d'un effort de prospection aérienne optimal à fournir dans les secteurs les plus intéressants pour la prospection thonière, afin d'évaluer, sans vols excédentaires, donc avec une rentabilité financière maximale, un indice d'abondance correct.

Une seconde année est toutefois nécessaire pour cloturer ce programme qui aura ainsi permis de prospecter la quasi totalité de la zone économique exclusive seychelloise.

Pendant la saison chaude, la méthode radiométrique seule, uniquement basée sur la température de surface, ne peut parvenir à cerner efficacement les zones à priori favorables au thon. Elle ne peut que fournir une information grossière qu'il est nécessaire d'affiner au moyen de mesures in situ faites par des navires. Les données collectées à bord des senneurs ont en effet montré que, si aucun contraste marqué de température n'est présent en surface, il n'en est pas de même en profondeur où, au niveau de la thermocline, on a pu mesurer des gradients verticaux dépassant 4°C par 10 m, pouvant influencer la répartition du thon. Une bonne connaissance des limites de courants occasionnant, dans cette partie de l'océan, divergence et convergence, constitue également un atout supplémentaire pour circonscrire les zones potentielles.

Ces différents paramètres jusqu'alors mesurés n'autorisent cependant qu'un premier niveau de recherche. Pour pousser plus avant les travaux, il faudra procéder à des mesures supplémentaires notamment les teneurs en oxygène dissous et sels nutritifs, les concentrations en chlorophylle et zooplancton à diverses profondeurs. Ces opérations ne peuvent être menées qu'à partir d'un navire océanographique. Dans le cadre d'un programme de recherche sur le thon de l'océan Indien, il pourrait avoir les Seychelles comme base et opérer sur les zones de pêche des senneurs. Nous disposerions ainsi simultanément de données précises sur le milieu marin et des CPUE réalisées par les navires ainsi que des informations relatives à l'abondance des apparences de surface. Des études biologiques classiques pourraient être entreprises à partir des prélèvements de tous ordres faits sur des échantillons de captures.

De tels programmes ont eu lieu dans l'Atlantique. Une telle action pourrait se justifier dans l'océan Indien à l'heure où s'y accentue un premier développement de la pêche thonière.

---

BIBLIOGRAPHIE CITEE

---

- FIEUX (M.) et LEVY (C.), 1983 - Seasonal observations in the Western Indian Ocean. In Hydrodynamics of the Equatorial Ocean by J.C.J. NIHOUL (Editor) ; pp : 17-29
- GOHIN (F.), LE GUEN (J.C.), PETIT (M.), PIANET (R.), 1981 - Méthodes d'échantillonnage par avion pour l'évaluation quantitative des peuplements animaux. Application à l'évaluation des stocks de thons. Séminaire "Echantillonnage", CNEXO (COB), Brest, 20-30 octobre 1981.
- GREENBLATT (P.R.), 1976 - Factors affecting tuna purse seine fishing effort. SCRS/76/75, Recueil de documents scientifiques C.I.C.T.A ; pp : 18-30
- LAUREC (A.) et LE GUEN (J.C.), 1977 - CPUE des senneurs et abondance; impact des structures fines. SCRS/77/97, Recueil de documents scientifiques C.I.C.T.A.; pp : 30-54
- MARSAC (F.), 1983 - Radiométrie aérienne et prospection thonière aux Seychelles - Document provisoire. Rapport scientifique n°2 , Mission ORSTOM aux Seychelles. 82 p + annexes.
- MARSAC (F.), PITON (B.), POTIER (M.), STEQUERT (B.), 1985 - Campagne expérimentale de pêche à la senne du thonier "Yves de Kerguelen". Rapport scientifique n°3, Mission ORSTOM aux Seychelles.
- PELLA (J.J.) et TSAROPOULOS (C.T.), 1975 - Measures of tuna abundance from purse-seine operations in the Eastern Pacific Ocean adjusted from fleet wide evolution of the increasing fishing power, 1960-1971. Bull. I.A.T.T.C. Vol 16, n°4 ; pp : 283-399
- PITON (B.), 1976 - Particularités météorologiques et océanographiques des parages du banc des Seychelles (océan Indien). Cah. ORSTOM, ser. Océanogr. Vol XIV n°4 ; pp : 289-299

- QUADFASEL (D.R.), 1982 - Low frequency variability of the 20°C isotherm topography in the Western Equatorial Indian Ocean. Journ. Geophys. Res., vol 87, n° C3 ; pp : 1990-1996
- REVERDIN (G.), FIEUX (M.), GONELLA (J.), LUYTEN (J.), 1983 - Free drifting buoy measurements in the Indian Ocean equatorial jet. In Hydrodynamics of the Equatorial Ocean, by J.C.J. NIHOUL (Editor) ; pp : 99-119 .
- SEBER (G.A.F.), 1979 - Transects of random length. In Sampling Biological Populations, CORMACK (N.M) PATIL (G.P.), and ROBSON (D.S.) (Editors). Copyright 1979 by international Cooperative Publishing House, Fairland, Maryland. pp : 183-192 .
- SHARP (G.D.), 1978 - Behavioral and physiological properties of tunas and their effects on vulnerability to fishing gear. In SHARP (G.D) and DIZON (A.E) (Editors), "The physiological Ecology of tunas" pp : 397-449. Academic Press, NY.
- SHARP (G.D.), 1979 - Areas of potentially successful exploitation of tunas in the Indian Ocean with emphasis on surface methods. IOP, IOFC/DEV/79/47 , 55 p., FAO Rome .
- SWALLOW (J.C.) et FIEUX (M.), 1982 - Historical evidence for two gyres in the Somali Current. Journ. Mar. Res., vol 40 ; pp : 747-755
-

## A N N E X E

---

activités 1981 - 1983

### 1 - Informations générales

- affecté au centre ORSTOM de Nouméa en qualité de V.A.T. le 18 septembre 1979 ;
- contrat d'allocataire de recherche de janvier à juin 1981 ;
- recruté comme élève-chercheur le 1er octobre 1981 ;
- affecté à la Mission ORSTOM des Seychelles le 8 novembre 1981 .

### 2 - Stages

#### a) effectués:

- SSC Bondy et Antenne ORSTOM du CMS de Lannion - 29 juin au 17 juillet 1981 : initiation à la télédétection. Théorie et applications pratiques .
- Antenne ORSTOM du CMS de Lannion - 21 septembre au 23 octobre 1981 : exploitation des données METEOSAT dans le cadre de l'année LISTAO en Atlantique équatorial est .

#### b) à faire:

- ISTPM Nantes - 12 au 23 septembre 1983 : séminaire "Echantillonnage" .
- University of British Columbia, Vancouver et Nanaimo, Canada - octobre à décembre 1983: dynamique des populations; échantillonnage, statistiques .

### 3 - Missions

#### a) en mer:

- 3 embarquements sur un thonier senneur en qualité d'observateur scientifique : 2 avril au 15 mai 1982, 21 juin au 2 juillet 1982, 21 mars au 29 avril 1983 (3,5 mois en mer au total) ;

b) à terre:

- Service Météorologique et ISTPM de la Réunion - 5 au 10 mai 1982 : prise de contact et bibliographie thonière à l'occasion d'une escale du senneur.

- CSIR, National Research Institute for Oceanology, Capetown et Stellenbosh, Afrique du Sud - 3 au 10 juillet 1982 : récolte de données hydrologiques et informations générales sur les pêches, à la suite de mon débarquement du thonier regagnant l'Atlantique .

- Service Météorologique de la Réunion - 13 au 20 février 1983 : consultation de l'imagerie satellitaire pour commande de bandes de données, dans le cadre de l'épreuve de faisabilité sur l'exploitation de satellites défilants pour thermographies .

- Services des Pêches et Centres de Recherche Océanographique de l'île Maurice et Madagascar (Tananarive, Nosy-Bé) - 5 au 19 juin 1983 : récolte de données océanographiques sur l'océan Indien pour l'étude régionale intéressant le domaine thonier, financée par le Fonds Européen de Développement (FED) de la C.E.E.

#### 4 - Missions radiométrie

250 heures de vol aux Seychelles, portant à 1000 heures mon potentiel de vol dans le domaine des prospections thonières par avion.

#### 5 - Publications et travaux

MARSAC, F., 1981 - Radiométrie aérienne et prospection thonière. Rapport de synthèse provisoire. Territoire de Wallis et Futuna. Rapport ORSTOM ; Centre de Nouméa

MARSAC, F., 1981 - Radiométrie aérienne et prospection thonière. Rapport préliminaire n°2. Vanuatu (octobre 1980 - Avril 1981). Rapport ORSTOM ; Mission de Port-Vila.

MARSAC, F., 1981 - Radiométrie aérienne et prospection thonière. Rapport préliminaire n°1. Polynésie Française (février - mars 1981). Rapport ORSTOM ; Centre de Nouméa.

PETIT, M. et MARSAC, F., 1981 - Pêche et télédétection: présentation des opérations de radiométrie aérienne et prospection thonière dans le Pacifique tropical sud. La Pêche Maritime, n° 1245, pp : 735-739

- BOUR, W., KULBICKI, M., MARSAC, F., 1982 - Résultats des pêches palangrières de la flottille formosane basée à Pallikolo, Santo (Vanuatu). Rapport scientifique et technique ; ORSTOM Nouméa .
- MARSAC, F. et STEQUERT, B., 1982 - L'ORSTOM et le développement de la pêche thonière de surface dans l'océan Indien tropical ouest. La Pêche Maritime, n° 1257
- MARSAC, F., 1983 - Radiométrie aérienne et prospection thonière aux Seychelles - Document provisoire. Rapport scientifique n° 2, Mission ORSTOM aux Seychelles. 82 p + annexes.
- MARSAC, F., PITON, B., POTIER, M., STEQUERT, B., 1983 - Campagne expérimentale de pêche à la senne du thonier "Yves de Kerguelen". Rapport scientifique n°3, Mission ORSTOM aux Seychelles.
- MARSAC, F. et STEQUERT, B., 1983 - Premiers résultats de la prospection du thonier senneur "Yves de Kerguelen" dans l'océan Indien. La Pêche Maritime (sous presse).
- STEQUERT, B. et MARSAC, F., 1983 - Expérience de pêche thonière à la senne dans l'océan Indien. Editions ORSTOM (sous presse).
- Contribution au travail de synthèse du projet régional de développement de la pêche thonière dans l'océan Indien (Seychelles, Maurice, Madagascar, Comores) de la C.E.E.; rédaction des chapitres :
- "Aperçu de l'environnement météorologique et océanographique dans l'ouest de l'océan Indien tropical" (17 p.)
  - "Etat des connaissances sur les ressources en thon de l'océan Indien tropical ouest" (61 p.)
- Réalisation, avec STEQUERT B., du film sonore "La pêche thonière à la senne dans l'océan Indien tropical", actuellement en cours de montage.
-

