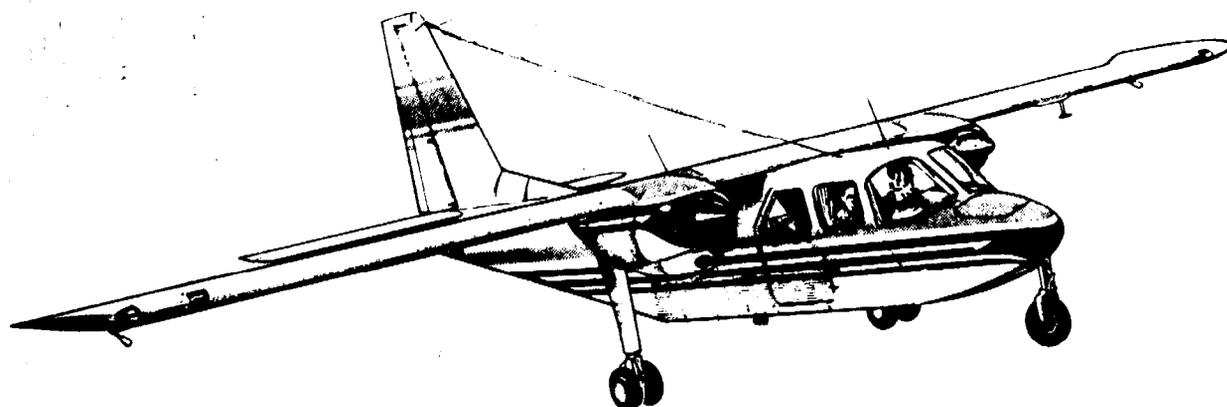


OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER
MISSION ORSTOM DE PORT-VILA



NOTE ET DOCUMENTS D'OCEANOGRAPHIE

N° 3

JUILLET 1982

RADIOMETRIE AERIEENNE ET PROSPECTION THONIERE:

AERIAL RADIOMETRY AND TUNA SURVEY

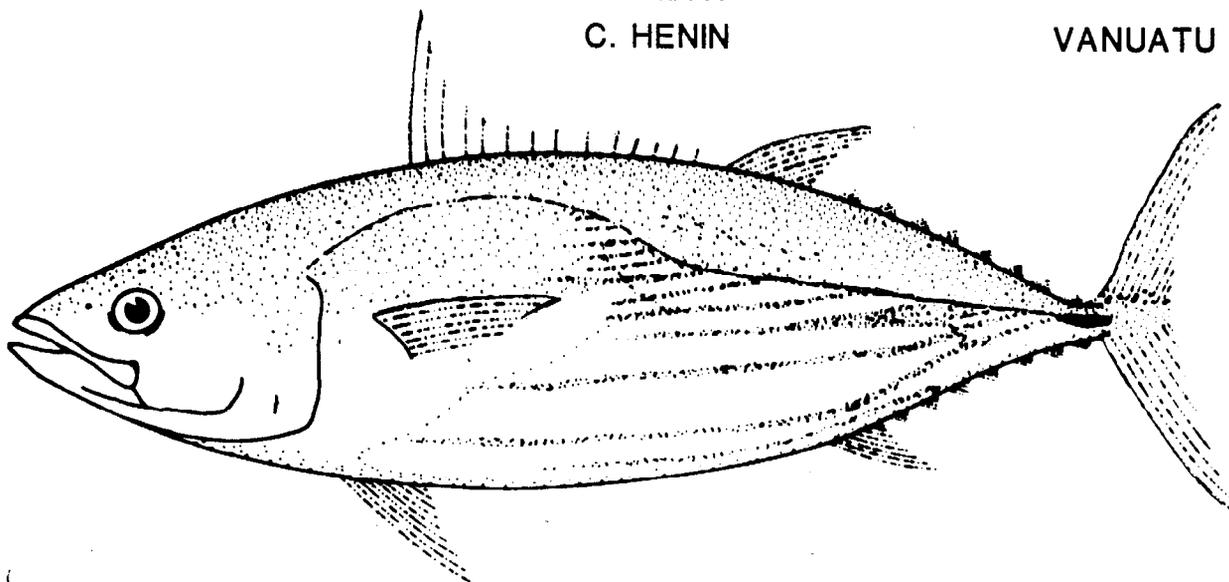
RAPPORT FINAL

FINAL REPORT

M. PETIT

C. HENIN

VANUATU



MISSION ORSTOM - B.P. 76 - PORT-VILA
VANUATU

ORSTOM

A 2993, ex. 1

E R R A T A

Notes et documents d'océanographie n°3 (Juillet 1982)

RADIOMETRIE AERIENNE ET PROSPECTION THONIERE
RAPPORT FINAL (VANUATU)

Aerial Radiometry and tuna survey - Final report (VANUATU)

M. PETIT

C. HENIN

Page	Ligne-Line	Lire- Read	au lieu de - Instead of
6		Couverture aérienne réalisée <i>Realized aerial coverage</i>	
11	29	<i>Feeding bird</i>	<i>Fishing bird</i>
13	1	National Oceanic and Atmosphere Ad- ministration	NOAA
13	16	Commission du Pacifique Sud <i>South Pacific Commission</i>	C.P.S. S.P.C.
17	4	Rendement en Kg/ligne	Rendement au kg/ligne
40	9	<i>usually</i>	<i>as a rule</i>
50	26	<i>Insert : "e = E.R./sightings number"</i>	
92	4	le 28 mars 1980	Le 18 mars 1980.
		<i>everywhere</i>	<i>metric tonnes</i>
			<i>tons</i>

O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire

N° : 2993, ex. 1

Cote : A

'1-AOU-1983

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

MISSION ORSTOM DE PORT-VILA

NOTES ET DOCUMENTS D'OCEANOGRAPHIE

n° 3

JULLET 82

RADIOMETRIE AERIENNE ET PROSPECTION THONIERE

AERIAL RADIOMETRY AND TUNA SURVEY

RAPPORT FINAL

FINAL REPORT

VANUATU

Michel PETIT (1)

Christian HENIN (1)

(Réf. : Article 6 de l'accord signé entre le Gouvernement de VANUATU et l'ORSTOM)

(Réf. : Article 6 of the agreement between VANUATU Government and ORSTOM)

--0--

(1) Centre ORSTOM de NOUMEA, B.P. A 5 NOUMEA-CEDEX (Nouvelle-Calédonie).

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURESTableau n°

1. - Données du Programme "bonite" de la CPS concernant la zone d'étude.
2. - Données des captures de thonidés à la traîne du Service de la Pêche.
3. - Prises cumulées mensuelles des canneurs japonais (1974-1979).
4. - Fréquences des vitesses de vents (1956-1965).
5. - Estimation des coefficients de P.
6. - Variation mensuelle des observations aériennes.

Figure n°

1. - Prises cumulées des canneurs japonais (1974-1979) (a) nb de jour-bateau b) tonnage c) rendement
2. - Vitesse mensuelle moyenne du vent le long du méridien 165 E.
3. - Fréquence des directions de vents (1956-1965).
4. - Caractéristiques en température et salinité des masses d'eau de la zone d'étude.
5. - Structures verticales en T et S des masses d'eau de la zone d'étude.
6. - Evolution mensuelle de la structure verticale à partir de XBT lancés par les navires marchands.
7. - Evolution de la salinité de surface de 1969 à 1981.
8. - Résultats des mesures de courants sur la radiale Nouvelle-Calédonie-Vanuatu (7).
9. - Circulation géographique dans la zone d'étude.
10. - Fréquences des fronts de type 3 ou plus en % des 164 semaines considérées de 1979 à 1982.
11. - Coupe thermique verticale établie à partir des données des navires marchands de la ligne Nouméa-Japon.

LIST OF TABLES AND FIGURESTable N.

1. - Data from the SPC Skipjack Programme's survey in the study area.
2. - Data of Fisheries Department tuna trolling trials.
3. - Summary of monthly catches by Japanese Pole-and-line vessels (1974-1979).
4. - Frequency of wind speeds (1956-1965).
5. - Estimation of P coefficients.
6. - Monthly variation in aerial sightings.

Figure N.

1. - Summary of catches by Japanese pole-and line fleets (1974-1979) (a) No boat days (b) catch in tons (c) c.p.u.e.
2. - Mean monthly wind speed along longitude 165°E.
3. - Frequency of wind directions (1956-1965).
4. - Temperature and salinity of the water masses in the study area.
5. - T and S vertical structures of water masses in the study area.
6. - Monthly changes in the vertical structure, from XBT released by merchant ships.
7. - Changes in surface salinity (from 1969 to 1981).
8. - Results of current measurements, on the New Caledonia-Vanuatu transect. (7).
9. - Geostrophic circulation in the study area.
10. - Frequency of type 3 fronts (or over 3) as a percentage of the 164 weeks considered, from 1979 to 1982.
11. - Vertical thermal section, established from the data provided by merchant ships on the Noumea - Japan route.

12. - Température de surface entre le 15.10.80 et le 2.12.80.
 13. - Conditions météorologiques entre le 15.10.80 et le 4.12.80.
 14. - Influence de la vitesse du vent sur les observations de thonidés.
 15. - Influence du moment de la journée sur les observations de thonidés.
 16. - Influence de la nébulosité sur les observations de thonidés.
 17. - Influence de la température de surface sur les observations de thonidés.
 18. - Répartition des eaux vertes ou des eaux présentant des trainées de phytoplancton.
 19. - Répartition spatiale des observations.
 20. - Répartition spatiale de l'effort de recherche.
12. - *Surface temperatures from 15.10.80 to 2.12.80.*
 13. - *Weather conditions from 15.10.80 to 4.12.80.*
 14. - *Effect of wind speed on tuna sightings.*
 15. - *Effect of time of day on tuna sightings*
 16. - *Effect of cloud cover on tuna sightings.*
 17. - *Effect of surface temperature on tuna sightings.*
 18. - *Distribution of green or phytoplankton-streaked waters.*
 19. - *Space distribution of sightings.*
 20. - *Space distribution of searching effort.*

RADIOMETRIE AERIENNE ET PROSPECTION
THONIERE

(V A N U A T U)

Rapport Final

TABLE DES MATIERES

	<u>Pages</u>
Avant-propos	7
<u>CHAPITRE I.</u>	
<u>CONTEXTE GENERAL DE L'OPERATION</u>	9
I.1 - Limites de la méthode utilisée -conditions d'exécution	9
I.2 - Connaissances sur la présence et la pêche des thonidés de surface dans la zone d'étude	13
I.3 - Place de la zone d'étude dans l'hydroclimat du Pacifique Sud-Ouest	21
<u>CHAPITRE II.</u>	
<u>TRAITEMENT DES DONNEES ET RESULTATS</u>	
II.1- Influences des facteurs de l'environnement sur l'abondance des observations	42
II.2- Répartition spatiotemporelle des observations	49
II.3- Caractéristiques des bancs rencontrés	57
<u>CHAPITRE III.</u>	
<u>CONCLUSION : PERSPECTIVES DE PECHE</u>	
III.1- Synthèse des connaissances sur l'écologie des thonidés dans la zone d'étude	59
III.2- Evaluation du potentiel de capture -choix du type de pêche - perspectives de recherche	61

AERIAL, RADIOMETRY AND TUNA SURVEY

(V A N U A T U)

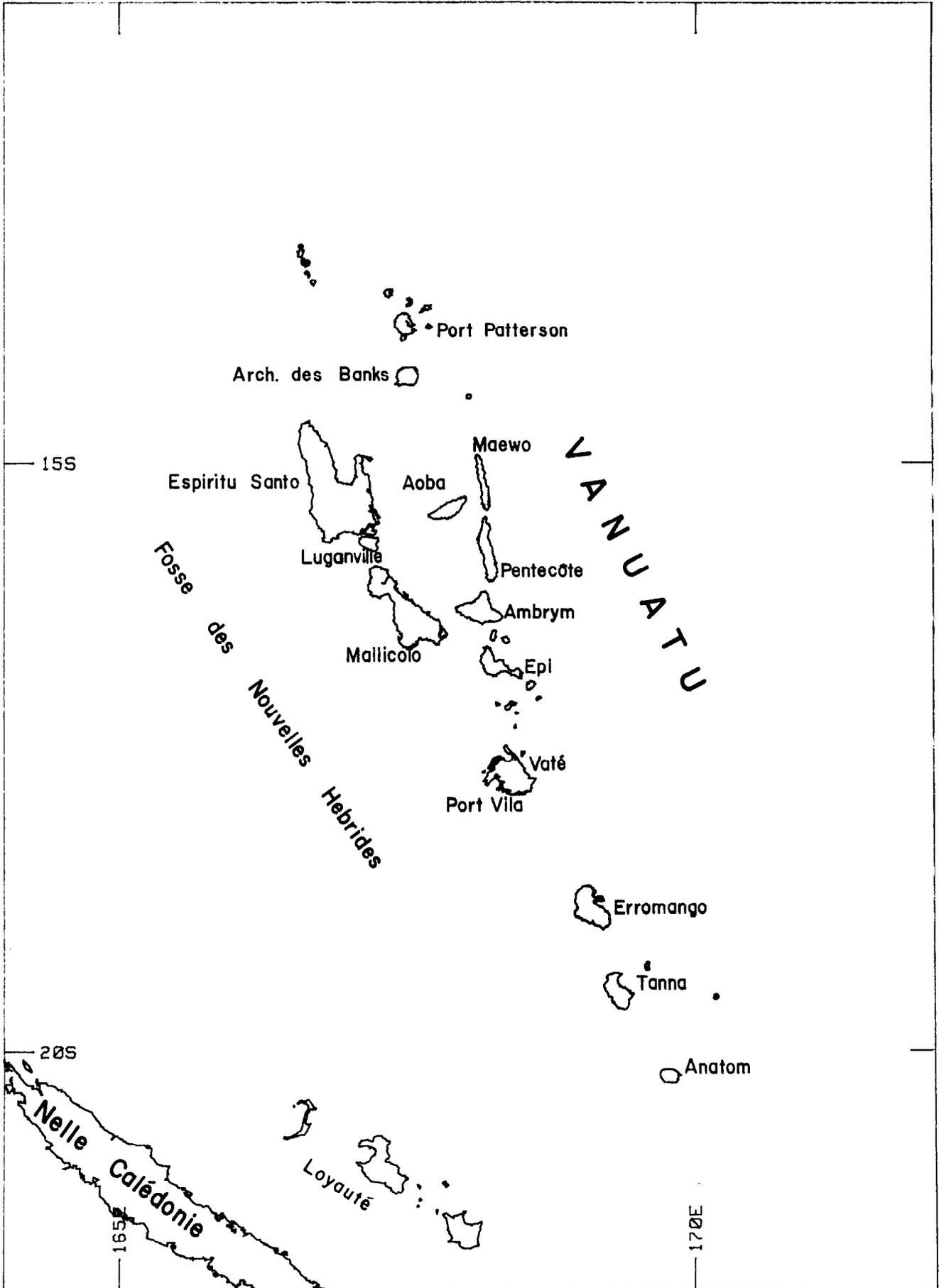
Final report

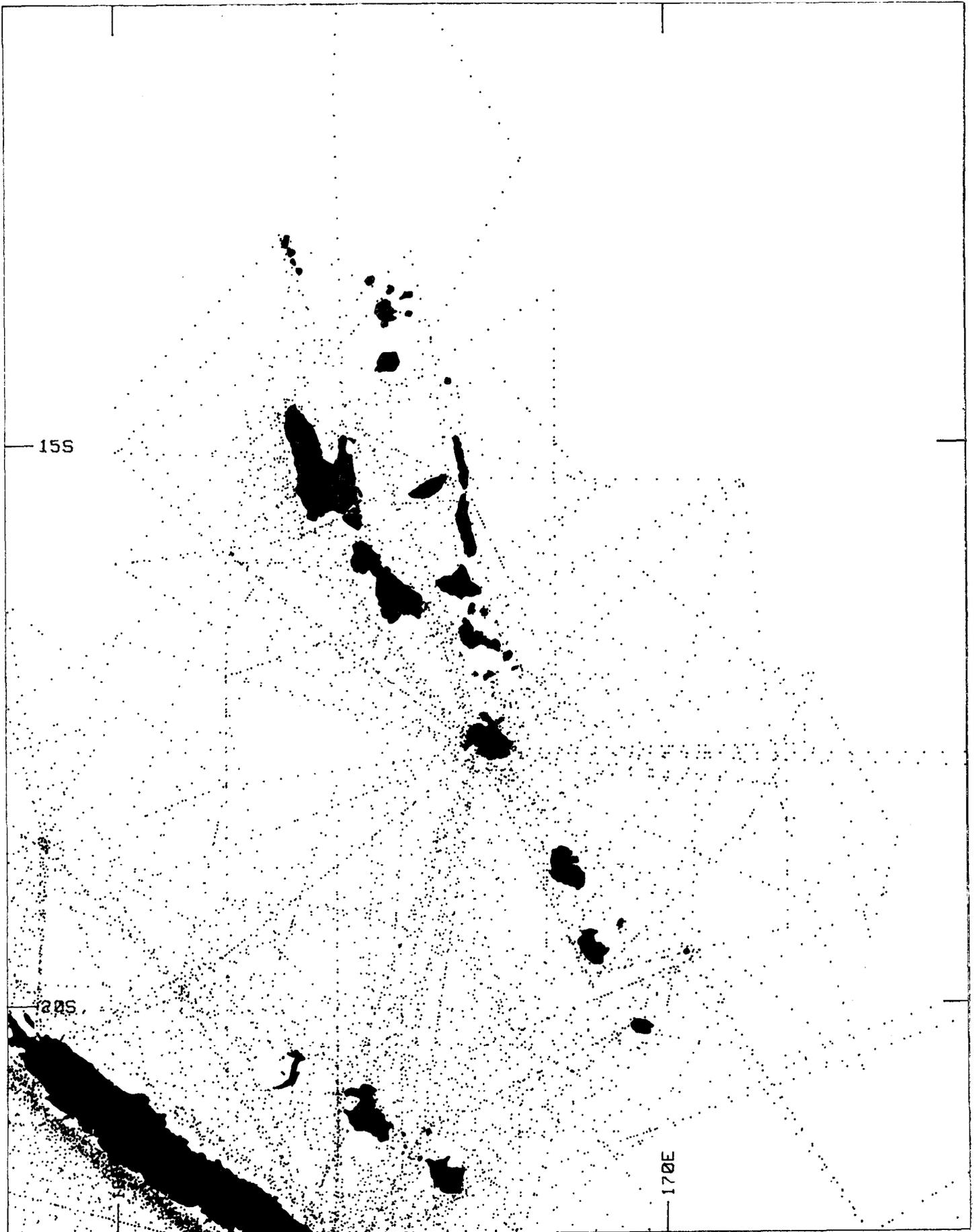
CONTENTS

	<u>Pages</u>
Foreword	7
<u>CHAPTER I.</u>	
<u>GENERAL CONTEXT OF THE SURVEY</u>	9
I.1. - Limits of the method used survey conditions	9
I.2. - Data on the presence of and fisheries for surface tuna in the study area	13
I.3. - Place of the study area in the hydroclimate of the S.W. Pacific.....	21
<u>CHAPTER II.</u>	
<u>DATA PROCESSING AND RESULTS</u>	
II.1. - Effect of environmental factors on the number of tuna sightings	42
II.2. - Distribution of sightings in space and time.....	49
II.3. - Characteristics of tuna schools sighted	57
<u>CHAPTER III.</u>	
<u>CONCLUSION : FISHING PROSPECTS</u>	
III.1. - Summary of knowledge of tuna ecology in the study area....	59
III.2. - Assessment of catch potential - choice of fishing method - further research required....	61

ANNEXES

- A. - Prises des canneurs japonais de 1974 à 1979
 - B. - Modèle mathématique employé pour le traitement des données
 - C. - Bilan des opérations sur le terrain
 - D. - Rappel : organigramme de la méthode employée en radiométrie aérienne et prospection thonière
- A. *Japanese pole-and-line catches in the study zone from 1974 to 1979.*
 - B. *Mathematical model used for data processing.*
 - C. *Summary of field operations.*
 - D. *Reference : Flow chart of aerial radiometry and tuna survey operations.*





15S

28S

170E

AVANT-PROPOS

Ce rapport final expose les résultats des opérations de radiométrie et d'observations aériennes pour la prospection des thonidés de surface. Ces opérations ont été menées dans le cadre de l'accord signé le 28 mars 1980 entre le Gouvernement du VANUATU et l'ORSTOM.

L'objectif de ces opérations est l'évaluation des potentialités de pêche des thonidés de surface dans la région du Pacifique centrée sur Vanuatu.

Le présent rapport résume les conclusions des précédents rapports préliminaires (1), (2), (3). De plus, il fait la synthèse des résultats acquis dans la zone d'étude (164°E - 173°E/11°S - 22°S) et les interprète dans leur contexte halieutique et hydroclimatique.

Enfin, des perspectives de pêche industrielle de surface sont envisagées.

FOREWORD

This final report gives the results of the radiometry and aerial spotting operations undertaken for the survey of surface tuna. These operations were conducted under the Agreement drawn up between the Vanuatu Government and ORSTOM and signed on 28 March 1980.

The objective of the survey was the assessment of the surface tuna fishing potential in the Pacific area around Vanuatu.

This report summarises the conclusions of preliminary reports 1, 2, and 3 previously submitted. In addition it reviews the results obtained in the study area (164°E-173°E/ 11°S - 22°S) and interpretes these in their fisheries and hydroclimatic context.

Lastly, it outlines prospects for a commercial surface tuna fishery.

CHAPITRE I.CONTEXTE GENERAL DE L'OPERATION

- I.1. - Limites de la méthode utilisée - conditions d'exécution.
- I.2. - Connaissances sur la présence et la pêche des thonidés de surface dans la zone d'étude.
- I.3. - Place de la zone d'étude dans l'hydroclimat du Pacifique Sud-Ouest.

CHAPTER I.GENERAL CONTEXT OF THE SURVEY

- I.1. Limits of the method used - survey conditions.*
- I.2. Data on the presence and fisheries for surface tuna in the study area.*
- I.3. Place of the study area in the hydroclimate of the South-West Pacific.*

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

Ce cadre défini, l'interprétation des résultats (Chapitre II), sera plus riche et plus juste.

Nous ne décrirons pas, dans le détail, la méthode employée. Ceci a déjà été fait dans les rapports préliminaires précédents (1), (2), (3). Pour mémoire, l'annexe D en donne l'organigramme. Tout au plus, nous allons en rappeler les limites.

I.1. - Limites de la méthode utilisée et conditions d'exécution.

I.1.1. Limites de la méthode utilisée

a) *Relations thonidés - température*

Lorsque l'on étudie les lois qui régissent la concentration de thonidés de surface, on ne peut ignorer les interactions entre tous les facteurs du milieu (température, oxygène, salinité, etc...). Ces facteurs agissent de façon synergique, c'est-à-dire que l'influence d'un facteur : (la température par exemple), à un certain niveau sera amoindrie ou renforcée selon la conjoncture définie par le niveau des autres facteurs. L'abondance d'une espèce dans un lieu donné est donc déterminée par le degré d'optimisation d'un complexe de facteurs qui approchent les limites de tolérance pour l'espèce en question. Ainsi :

In this chapter the limits of the method and technique used are critically examined and the fisheries and hydroclimatic data for this part of the South-West Pacific briefly summarised.

Once the framework has been well defined, the interpretation of results (chapter II) can be more complete and more accurate.

We shall not describe in detail the method used. This was already done in preliminary reports (1), (2), (3). An outline is given in Annex D for convenient reference. Here we shall merely deal with the limits of the method.

I.1. - Limits of the method used and survey conditions

I.1.1. Limits

a) Tuna/temperature relationship

When studying the rules governing surface tuna aggregation, one must take into account the interactions between environmental factors (temperature, oxygen, salinity, etc...). These factors act in such a way as the effect of any one factor (temperature for instance), at a certain level, will be reduced or increased depending on the combined action, at that level, of the other factors. The abundance of a species in a given place is therefore determined by the degree of optimisation of a combination of factors close to tolerance limits for the species concerned. Thus :

. l'espèce peut avoir des fourchettes de tolérances plus ou moins larges selon les facteurs ;

. un facteur, dans des conditions sub-optimales peut modifier la tolérance de l'espèce à un autre.

La plupart des études ont montré que les thonidés tendent à se grouper près des régions où les interpénétrations ou les mélanges turbulents des masses d'eau de caractéristiques différentes (températures, salinité, ...) sont bien développés. Ces conditions sont réunies près des zones à fort gradient thermique (zones frontales ou thermocline).

La radiométrie aérienne, par la mesure de la température de surface de la mer et son interprétation met en pratique les résultats de ces études. Cependant, en accord avec le préambule ci-dessus, la relation thon-température de surface est complexe, le gradient thermique influant plus sur la concentration du poisson que sur sa présence.

Ainsi, deux cas extrêmes peuvent se présenter, où la mesure de température de surface par radiométrie n'apporte que peu de renseignements sur l'abondance de thonidés.

1/ il y a de forts gradients thermiques mais le poisson est absent ou peu abondant dans la zone d'étude.

2/ il n'y a pas de forts gradients, mais la présence des thons est importante et leur concentration est régie par d'autres facteurs

. the species may have a broader or narrower tolerance range for each separate factor;

. under suboptimal conditions, a factor may modify the species' tolerance to another factor.

Most studies show that tuna tend to aggregate near regions where turbulent mixing of water masses with different characteristics (temperature, salinity ...) occurs. The right conditions exist near zones with a sharp thermal gradient (frontal zones or thermocline).

Aerial radiometry, by measuring surface water temperature and interpreting the values, puts the results of these studies into application. However, as stated above, the tuna/surface water temperature relationship is a complex one, and the thermal gradient affects tuna aggregation more than it does tuna presence.

Thus two extreme cases may be found where surface temperature measurement by radiometry does not accurately reflect tuna abundance ;

1/ Sharp thermal gradients are present, but tuna is absent or scarce in the study area.

2/ There are no sharp thermal gradients, but tuna is present in large numbers, their aggregation being governed by other factors

(salinité, par exemple ...). L'observation aérienne garde, alors, toute sa valeur mais les vols ne sont pas optimisés puisque la mesure de la température de surface donne peu d'indices sur la richesse des eaux.

Cette méthode est donc particulièrement efficace dans les régions où fronts thermiques et thonidés sont présents une bonne partie de l'année. Ceci est réalisé dans la zone d'étude (cf. chap. I et II).

b) conditions d'observation

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

c) la "non-observation"

Le problème des mattes non visibles en subsurface est déterminant pour la méthodologie et la programmation des vols : il est vraisemblable que les mattes n'ont pas le même comportement suivant les différentes conditions météorologiques, saisonnières, géographiques ou autres. Aussi, selon les époques de l'année et les endroits, l'efficacité de l'observation aérienne sera variable : "des oiseaux chassant" seront observés sans qu'il soit possible de conclure à la présence d'une matte. La "non-observation" n'est généralement pas significative.

(salinity, for instance...). Aerial spotting remains useful in this case, but the flights are not optimised, since surface temperature measurement gives very little indication as to water productivity.

Our method is therefore particularly effective in regions where thermal gradients and tunas are present a major part of the year. This was the case in the study area (cf. chap. I and II).

b) sighting conditions

Weather conditions are obviously very important in aerial surveying. Their effect on flight efficiency will be discussed further on. Here we should merely like to point out the need for maximum flexibility of action, so as to have the benefit of the best possible conditions. This is difficult to achieve if flights are scheduled too far ahead, as we often had to do.

c) lack of sightings ('zero sightings')

The problem of non visible subsurface schools is determinant for methodology and flight scheduling : it is likely that tuna schools do not have the same behaviour under different meteorological, seasonal, geographical, and other conditions. The effectiveness of aerial survey will therefore vary with the time of the year and the locality : fishing bird flocks may be seen without any sign of a tuna school. 'Zero sightings' are usually not significant.

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

I.1.2.- Conditions d'exécution

Les périodes de vols intensives se sont réparties entre avril 1980 et novembre 1981. En fait, les prospections constituent un échantillon portant sur dix mois, de mars à décembre.

. Les mois d'été ont été beaucoup moins prospectés car, d'une part la probabilité de trouver des fronts est deux fois plus faible qu'en hiver, et d'autre part les potentialités de pêche à cette période sont partiellement connues au travers des prises des canneurs japonais comme nous le verrons, les rendements de ces derniers sont relativement bons. Le nombre limité d'heures de vol a guidé ce choix.

Aucune contrainte administrative ne s'est exercée sur notre opération si ce n'est l'impossibilité temporaire de se poser à SANTO, ce qui a entraîné une certaine limitation de nos prospections sur le Nord.

Tout au long de cette opération, le matériel a été amélioré. A partir de novembre 80, notamment, les paramètres mesurés et les observations ont été saisis sur mini-ordinateur en temps réel. Ceci a permis d'améliorer la fiabilité et la qualité des données et d'assurer un gain de temps appréciable pour leur traitement.

Despite these limitations, aerial surveying with radiometry is still a most useful way of quickly getting a rough estimate of the tuna potential present and determining appropriate fishing techniques.

I.1.2. - Survey conditions

The intensive flight periods were between April 1980 and November 1981. In fact, the aerial sample covers ten months, from March to December. Much less surveying was done during the summer months, because for one thing the likelihood of finding thermal fronts is only half as good as in winter, and in addition the fishing potential in the summer months is partly assessable from the catch records of the Japanese pole-and-liners. As we shall see, their catches are comparatively good. The limited number of flying hours available forced this choice.

There were no administrative restraints on our operations apart from the temporary impossibility of landing on Santo, which slightly restricted our survey in the North.

Throughout the survey our equipment improved. From November 1980 in particular, all measured and observed parameters and sightings were instantaneously fed into a mini-computer. This greatly improved data reliability and quality and saved much processing time.

La NOAA a continué à envoyer par la poste les cartes thermiques GOSSTCOMP établies par satellites avec un retard moyen supérieur à trois semaines (la précision thermique de ces cartes est de meilleure qualité depuis juillet 1981). Dans la mesure où la "durée de vie" des fronts peut être de plusieurs semaines, et où l'effet de concentration des thonidés qu'ils induisent a une certaine inertie, ces cartes nous ont été utiles pour définir la stratégie des vols.

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

I.2. - Connaissances sur la présence et la pêche des thonidés de surface dans la zone d'étude (13)

Il semble qu'aucune pêche à la senne ne se soit déroulée dans la Z.E.E. de Vanuatu. Les seules données sur les thonidés de surface que nous considérerons sont celles des campagnes effectuée dans le cadre du programme "bonite" de la C.P.S., les expériences de pêches à la traîne par le Service des Pêches et la pêche industrielle des canneurs japonais depuis 1974. (16)

I.2.1. - Programme "Bonite" de la C.P.S. (17)

Le tableau n° 1 donne la liste des thons marqués par la C.P.S. et recapturés, en rapport avec la Z.E.E. de Vanuatu. Il apparaît ainsi que les thonidés présents dans cette

NOAA continued to send satellite GOSSTCOMP thermal charts through the mail, with a mean time-lag of over three weeks (the thermal precision of these charts has improved since July 1981). As the 'life-span' of the fronts can be several weeks, and as the tuna aggregation effect induced by them has a certain stability, these charts were useful for mapping out flight strategy.

Finally, it is regrettable that no commercial fishing trial (pole-and-line or seining) was conducted during our flights.

1.2. - Data on the presence and fisheries for surface tuna in the study area (13)

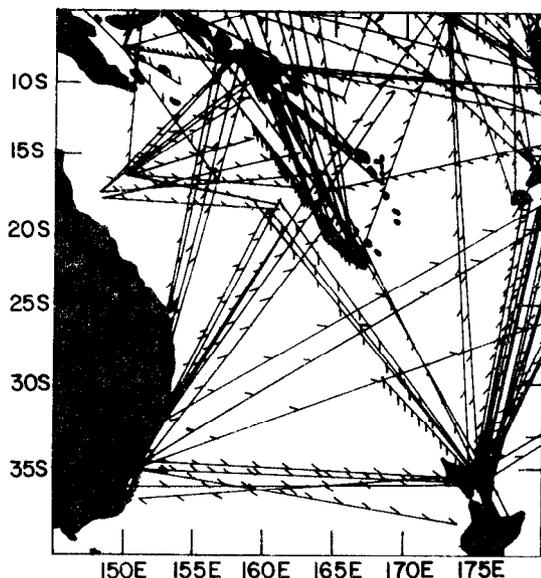
It appears that no tuna seining has been done in the EEZ of Vanuatu. The only surface tuna data that we can use are from the S.P.C. Skipjack Programme Cruises, the trolling trials conducted by the Vanuatu Fisheries Department, and the Japanese commercial pole-and-line fishing fleets (beginning in 1974). (16)

I.2.1. - S.P.C. Skipjack Programme (17)

Table 1 gives details of tuna tagged by the SPC Programme and recaptured in or near the Vanuatu E.E.Z. It can be seen that tuna present in the Zone may

Routes directes entre les lieux de marquage et les points de recapture.

Direct routes between tagging areas and the points of recapture.



Caractéristiques des bancs pêchés à Vanuatu
Characteristics of schools caught in Vanuatu.

Nombre d'heures de recherches : 56
Searching hours

Nombre de bancs/espèces : 17B + 4(B + T) + 12D
Number of schools/species

Importance des bancs (% des bancs)
Size of schools : 29P + 53M + 9G + 9I
(% of schools)

Comportement des bancs (% des bancs)
Schools'behaviour : 9S + 4R + 29J + 29B + 29I
(% of schools)

B : bonites
skipjack
T : thons jaunes
Yellowfin
D : divers
others
P : 0-10t, M : 11-30t,
G : 31-70t
I : indéterminé
indeterminate
S : subsurface
R : rides en surface
ripple
J : sauts de poisson
jumps
B : bouillonnement
boilers

Tableau n° 1 . Données du programme bonite de la CPS concernant la zone d'étude (16).

Data from the SPC Skipjack Programme's survey in the study area.

zone peuvent venir aussi bien du Nord que du Sud ou de l'Ouest.

Lors de la campagne de l'Hatsutori Maru (canneur affrété par la C.P.S.) décembre 77-janvier 78, "les zones paraissant les plus riches en bancs de surfaces ont été le plateau de Chauliac, au Sud de Mallicolo, ainsi que les zones comprises entre la côte Est de Mallicolo et la partie occidentale de l'île d'Ambrym d'une part et le Sud-Est de l'île de Lopevi et l'Est d'Epi de l'autre A quelques 30 milles à l'Ouest de Vate des prises intéressantes de très grosses bonites ont été effectuées (65-70 cm)... On a trouvé dans l'estomac des bonites un grand nombre de thonidés juvéniles : 139 pour 23 bonites..." (4).

I.2.2. - Les données de traîne du Service de la Pêche (cf. tab.n°2)

" Les données portent sur des pêches de démonstration effectuées dans différentes îles de septembre 80 à avril 82. L'effort de pêche a été défini comme le nombre d'heures de ligne. Chaque bateau était équipé de 3 à 5 lignes suivant les cas. Le tableau n°2 donne les résultats détaillés pour les bonites et les thons jaunes. Dans le récapitulatif, on a différencié les opérations de pêche consacrées uniquement à la traîne, des sorties mixtes au cours desquelles les lignes ont été mise à l'eau durant les transits vers les lieux de pêche de poissons de fond et retours.

come from the North, South or West.

During the December 1977 /January 1978 cruise of the 'Hatsutori Maru' (the pole-and liner chartered by the SPC),

"the areas where the highest apparent abundance of surface schooling tunas was encountered were the Chauliac shelf, South of Malekula, the area between the East coast of Malekula and the Western tip of Ambrym Island, and the South East of Lopevi, East of Epi ... approximately 30 miles West of the coast of Efate, good catches of very large skipjack were taken (65-70 cm)... large numbers of juvenile tunas were taken from skipjack stomachs : 139 juveniles from 23 skipjack...' (4)

I.2.2. - Data from Fisheries Department trolling trials (cf. table N°2)

"These data are from demonstration trolling trials conducted in a number of Vanuatu islands from September 1980 to April 1982. The fishing effort was expressed as the number of line hours. Each boat carried 3 to 5 lines. Detailed results for skipjack and yellowfin are shown in Table 2. In the summary table, a distinction was made between fishing trips where only trolling was done and 'combination trips' where trolling lines were put out while travelling to and from the deep bottom fishing grounds.

Du fait du nombre limité de sorties et de leur grande dispersion dans le temps et l'espace, il n'a pas été possible de mettre en évidence de fluctuations saisonnières. Nous ne disposons, par ailleurs, d'aucune information pour le mois de juin et juillet. Il semble toutefois que les bonites soient présentes toute l'année dans les eaux de Vanuatu.

Pour un total de 2670 heures de ligne, 5429 kg de poissons de surface ont été capturés, ce qui représente une c.p.u.e. égale à 2.0 kg par heure de ligne. La comparaison entre les sorties de traîne seules et les sorties mixtes est à l'avantage des premières (2.6 kg contre 1.6 kg par heure de ligne). Les bonites représentent 61 % des captures. Les thons jaunes 23 % et les divers 16 %.

Les mensurations effectuées sur seulement 750 bonites à partir de la seconde quinzaine de décembre 1981 font ressortir deux modes nets constants à 43 et 52 cm.

Ces observations sont, à poursuivre sur une longue période. D'un point de vue économique, il paraît évident que la traîne systématique durant les transits peut contribuer de façon non négligeable à la rentabilité des opérations. Toutefois un gros effort consenti au niveau de la mise au point de la technique (vitesse, qualité des leurres, montage, profondeur de traîne) permettrait d'améliorer considérablement les rendements." (5).

Because of the small number of trips made and the fact that they were widely scattered in time and space, we were not able to determine any seasonal variations. In addition we have no data for June and July. It does seem, however, that skipjack is present throughout the year in Vanuatu waters.

For a total of 2670 line hours, 5429 kg of surface fish were taken, which gives a c.p.u.e. of 2.0 kg/line hour. The comparison between special trolling trips and combination trips is to the advantage of the former (2.6 kg against 1.6 kg per line hour). Skipjack make up 61 % of the catch, yellowfin 23 % and others 16 %.

Measurements taken of only 750 skipjack from the second half of December 1981 showed two clear constant modes at 43 and 52 cm.

These trials should be continued over a long period. From an economic point of view, it is obvious that systematic trolling during travel to and from deep fishing grounds can significantly increase fishing profitability. However, with a substantial effort to improve trolling technique (speed, lures, lines, trolling depth) catch rates could be improved considerably". (5)

Tableau n° 2. - Données cumulées des captures de thonidés à la traîne par le Service de la Pêche (Sept. 80- avril 82) (5)

(B = Bonite, T = Thon jaune, NL = nombre d'heure de ligne
Q = prises en kg, R = rendement au kg/ligne)

Table No. 2. - Data of fisheries department tuna trolling trials.

(September 80 to April 82) (5)

(B = Skipjack, T = Yellowfin, NL = Line Hour,

Q = Catches in Kg., R = c.p.u.e.)

Mois Months	Lieu de pêche (année) Fishing ground (year)	NL	B		T		Total	
			Q	R	Q	R	Q	R
01	EFATE (82)	404	1142	2.8	115	0.3	1257	3.1
02	PENTECOST (81) EFATE (82)	413	436	1.1	216	0.5	653	1.6
03	AOBA (81) EFATE (82)	428	440	1.0	113	0.3	553	1.3
04	SANTO (81) EFATE (82)	206	128	0.6	60	0.3	188	0.9
05	MALLICOLO (81)	26	6	0.2	3	0.1	9	0.3
08	EFATE (81)	20	108	5.4	5	0.2	113	5.6
09	PAAMA (80) AOBA-EFATE (81)	126	222	1.8	107	0.8	329	2.6
10	PAAMA (80) AOBA-AMBRYM (81)	375	372	1.0	176	0.5	548	1.5
11	TONGOA-AMBRYM (81)	347	344	1.0	298	0.9	642	1.9
12	PENTECOST (80) EFATA-TONGOA (81)	325	132	0.4	143	0.4	275	0.8

Tableau n°3. - Prises cumulées mensuelles des canneurs japonais (1974-1979, 12°S-22°S ; 163°E-174°E)

J = nombre de jour-bateau

T = prises en tonnes

R = rendement en t/jour-bateau

\bar{R} = rendement (en t/jour-bateau) moyen des canneurs japonais de même taille calculé en tenant compte des données provenant de toutes les zones de pêches.

Table No. 3. - Summary of monthly catches by japanese pole-and-line vessels (1974-1979, 12°S-22°S ; 163°E-174°E)

J = No. of boat-days

T = catches in tons

R = c.p.u.e.

\bar{R} = mean c.p.u.e. pole-and-line of same class, taking into account data from all fishery grounds.

Mois Months	1974			1975			1976			1977			1978			1979			TOTAL		
	J	T	R	J	T	R	J	T	R	J	T	R	J	T	R	J	T	R	J	T	R
01				1	5	5.0				2	4	4.0	3	18	6.0	2	2	1.0	8	29	3.6
02				31	147	4.7				209	1321	6.3	5	40	8.0	9	35	3.9	254	1543	6.1
03	2	16	8.0	9	24	2.7				55	271	4.9				1	1	1.0	67	312	4.7
04				8	58	7.3													8	58	7.3
09				2	4	2.0				1	2	2.0							3	6	2.0
10				10	69	6.9													10	69	6.9
11				6	8	1.3	1	4	4.0							34	279	8.2	41	291	7.1
12							13	90	6.9							36	338	9.4	49	428	8.7
TOTAL	2	16	8.0	67	315	4.7	14	94	6.7	267	1598	6.0	8	58	7.3	82	655	8.0	440	2736	6.2
\bar{R}	7.2			5.2			5.0			5.4			6.0			5.3					

I.2.3. - Pêches des canneurs japonais
en été austral (16)

Depuis 1970, dans le Pacifique Ouest, la Zone d'action des canneurs japonais n'a cessé de s'étendre vers le Sud et dès 1974, des bateaux commencent à pêcher dans les eaux Vanuatuanes. En moyenne, ce sont des bateaux qui ont une capacité en cale de 250 tonnes et qui ne pêchent pas d'appât localement. La saison de pêche, généralement, s'étend de novembre à mars.

Les données que nous avons étudiées sont tirées de "Annual Report of Effort and Catch Statistics by Area, Japanese skipjack baitboat Fishery 1974-1979." (15). Elles sont détaillées par degré-carré, par mois et par année, dans l'annexe A sous forme de cartes comportant le nombre de jour-bateau (c'est-à-dire le nombre de bateaux dans un degré-carré multiplié par le nombre de jours pendant lesquels ils y sont restés), et la quantité pêchée. A la fin de cette annexe est placé un cumul mensuel et annuel de ces données.

Les trois cartes de la figure n°1 et le tableau n°3 appellent les commentaires suivants :

. près de 50 % de la zone d'étude ont fait l'objet de prospection nulle ou négligeable (moins de 3 jours-bateau sur 4 ans !). Il s'agit de la région située à la fois à l'Est de 167°E et au Sud de 14°S.

. sur six années de présence des canneurs japonais, trois seulement dépassaient le taux de 50 jours bateau (75, 77, 79) ;

I.2.3. - Japanese pole-and-line fishing effort
during the Southern summer (16)

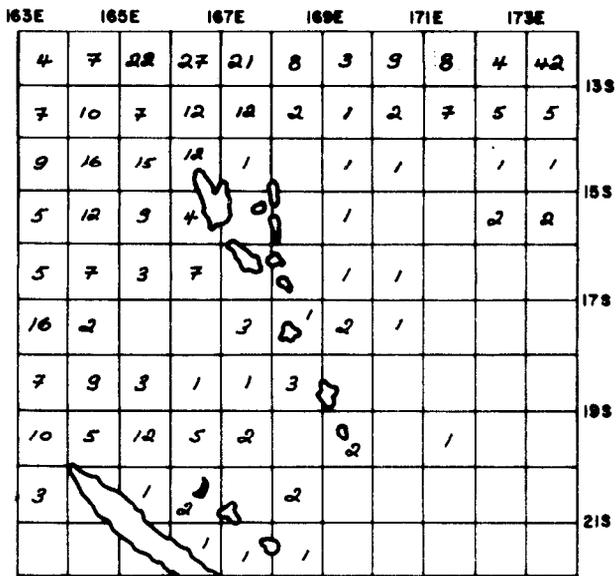
From 1970, the Japanese pole-and line fishery in the Western Pacific steadily extended its area of activity Southwards and from 1974 onward Japanese pole-and-liners have been fishing in Vanuatu waters. These vessels are normally around 250 tons carrying capacity and do not fish for bait locally. Their fishing activity generally takes place from November to March.

The data considered are taken from the "Annual Report of Effort and Catch Statistics, by Area, Japanese skipjack baitboat fishery 1974-1979" (15). They are shown by one degree square, by month and by year in Annex A on charts giving the number of boat days (i.e. the number of boats operating in a degree square multiplied by the number of days they remained there) and the catch in tons. A monthly and annual total are given at the end of the Annex.

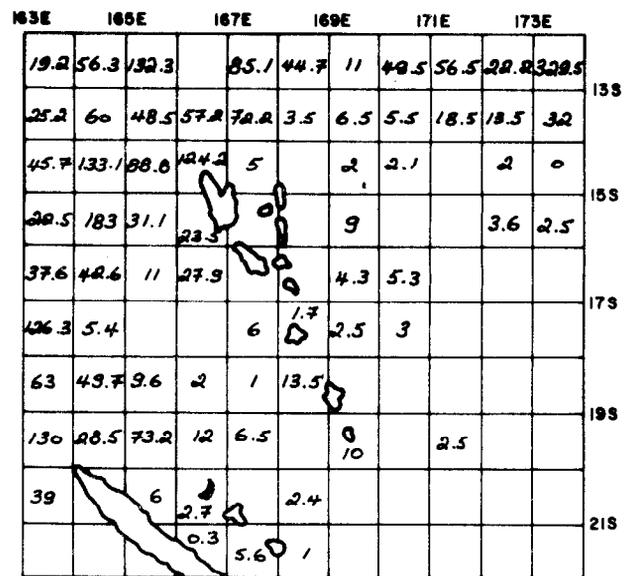
The three charts in fig.1 and table N_o3 call for the following comments :

. in almost 50 % of the study area the fishing effort was nil or insignificant (less than 3 boat days over 4 years !). This area is located East of 167°E and South of 14°S.

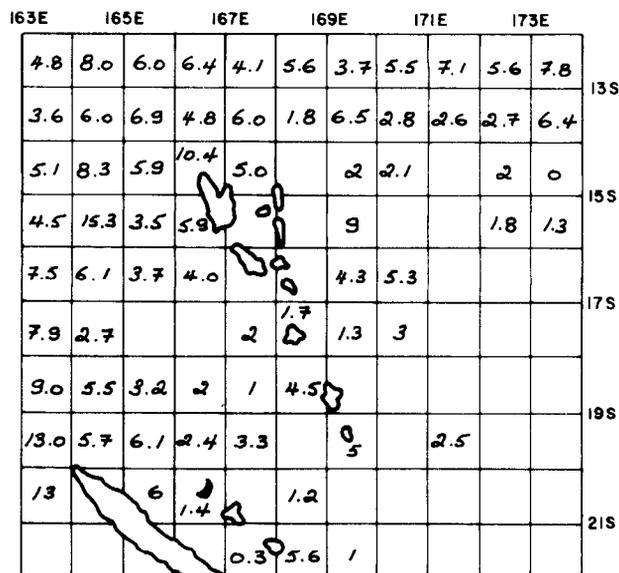
. out of the 6 years in which Japanese pole-and-liners operated in the Western Pacific, only 3 years (75, 77, 79) had over 50 boat-



(a) nb de jour-bateau
no. of boat-days



(b) tonnage
catch (in tons)



(c) rendement.
c.p.u.e.

Fig. 1. - Prises cumulées des canneurs japonais (1974-1979)
Summary of catches by Japanese pole and line fleets
(1974-1979).

sur 8 mois de présence, quatre mois seulement dépassent 10 jours-bateau (nov. déc. fév. mars). Autrement dit, ces données n'ont qu'une valeur indicative et il serait vain de chercher à les analyser pour obtenir des différences saisonnières ou régionales significatives. Les mois de novembre et décembre semblent être les meilleurs ainsi que les régions situées dans le Nord de la Grande-Terre et le Nord-Ouest de Santo.

. enfin, sauf en 1975, le rendement observé est plus élevé que le rendement moyen obtenu par les canneurs japonais dans l'ensemble du Pacifique.

I.3. - Place de la zone d'étude dans l'hydroclimat du Pacifique Sud-Ouest

I.3.1. - Bathymétrie

L'archipel de Vanuatu, composé d'îles hautes séparées par des chenaux profonds, s'étend sur plusieurs centaines de kilomètres. Les alentours des îles et les hauts-fonds perturbent la circulation des masses d'eau.

Au Sud-Ouest de Vanuatu, la Nouvelle-Calédonie, avec son récif barrière étendu, fait obstacle à la circulation générale, canalisée par la fosse des Hébrides où la profondeur dépasse 6.000 m.

I.3.2. - Vent (6)

Cette région est caractérisée par la prédominance de l'alizé Est assez stable

days in 8 months of presence, and only 4 months had more than 10 boat-days (November, December, February, March). In other words, the data from this fishery provides only a very rough indication and there is no point in trying to analyse them to obtain significant seasonal or regional differences. The months of November and December and the regions North of New Caledonia and North-West of Santo appear to be the best.

.lastly, except in 1975, the c.p.u.e. recorded in the Vanuatu area was higher than the average c.p.u.e. of the Japanese pole-and-liners for the whole of the Pacific.

I.3. - Place of the study area in the hydroclimate of the South-West Pacific

I.3.1. - Bathymetry

The Vanuatu Group, composed of high islands separated by deep channels, extends over several hundreds kilometers. Island masses and sea mounts disturb the circulation of the water masses.

To the South-West of Vanuatu, the island of New Caledonia, with its extensive barrier reef, lies in the way, of the general flow, channelled by the New Hebrides Trench, which is over 6000 m deep.

I.3.2. - Wind (6)

The area is characterised by the prevalence of Easterly Trade Winds, relatively

en direction (de NE à SE) mais d'intensité variable (figure n°2-3), Des calmes plats : peuvent durer plusieurs jours, succédant à des périodes de vent de 30 noeuds pendant plus d'une semaine. En février-mars, lorsque la zone intertropicale de convergence des vents se fixe sur l'archipel des Salomon (vers 10°S), la région soumise à l'alizé est souvent traversée par des dépressions ou des cyclones tropicaux.

En juillet-août, les vents d'Ouest liés aux dépressions de la Mer de Tasman, peuvent intéresser Vanuatu.

Si l'on restreint notre zone d'étude à l'archipel au sens strict, les données relevées dans différentes îles (fig.n°3, Tabl. n°4) révèle la forte proportion de vents nuls (surtout dans le Nord). En fait, le vent n'est très violent que pendant la saison chaude lors du passage des dépressions.

I.3.3. - Précipitations

Le régime des précipitations est très contrasté. Au Nord de Vanuatu, les précipitations sont maximales sur les îles Santa Cruz (plus de 4 m/an) alors qu'au SW de la Nouvelle-Calédonie, on observe un minimum inférieur à 1.5 m/an. Le budget précipitation-évaporation est positif au Nord-Est, négatif au S-W, l'équilibre se produisant entre l'Equateur et Vanuatu (7). La saison des pluies est en février-mars, la saison sèche en août-septembre.

stable in direction (NE to SE), but of variable force (cf. fig. 2-3). Completely windless weather can last for days, following on over a week of 30 knot winds !

In February-March, when the intertropical wind convergence zone is centred on the Salomon Islands (around 10°S), the trade winds zone is often crossed by tropical depressions or cyclones.

In July-August, the westerly winds associated with depressions in the Tasman Sea may affect Vanuatu.

If we restrict our study area to Vanuatu proper, the weather records from the various islands of the Group (Fig.3, table N.4) show a high proportion of windless days (especially in the North). In fact, very strong winds occur only in the hot season when depressions are near.

I.3.3. - Rainfall

Rainfall patterns show sharp contrasts. North of Vanuatu rainfall is highest on the Santa Cruz Islands (over 4m/year), while South-West of New Caledonia there is less than 1.5 m/year. The rainfall/evaporation ratio is positive in the North-East, negative in the South-West, balanced between the Equator and Vanuatu (7). The rainy season is in February-March, the dry season in August-September.

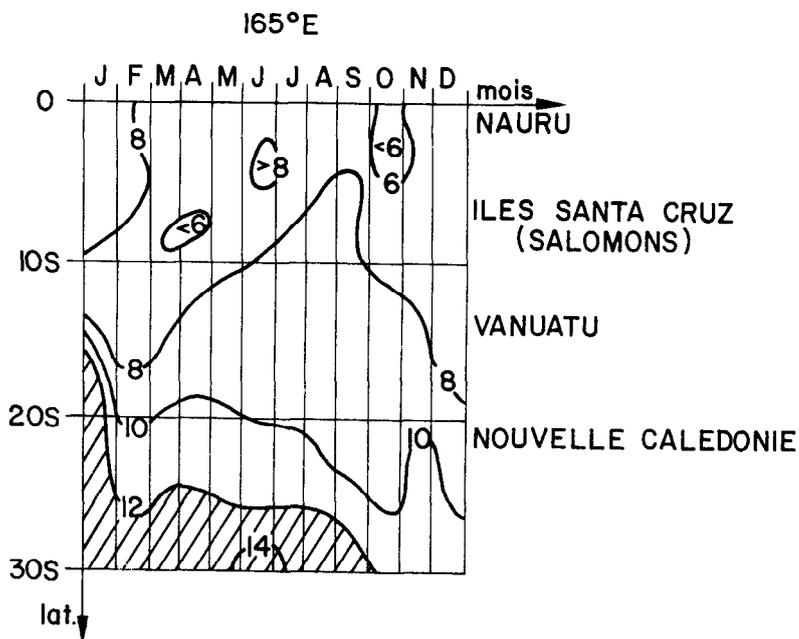


Fig. 2 : Vitesse mensuelle moyenne du vent (en noeuds) le long du méridien 165°E. En grisé, périodes de vent fort, peu propices au sennage (11).

Mean monthly wind speed (in knots) along longitude 165°E. Shaded, strong winds not very favourable for seining (11)

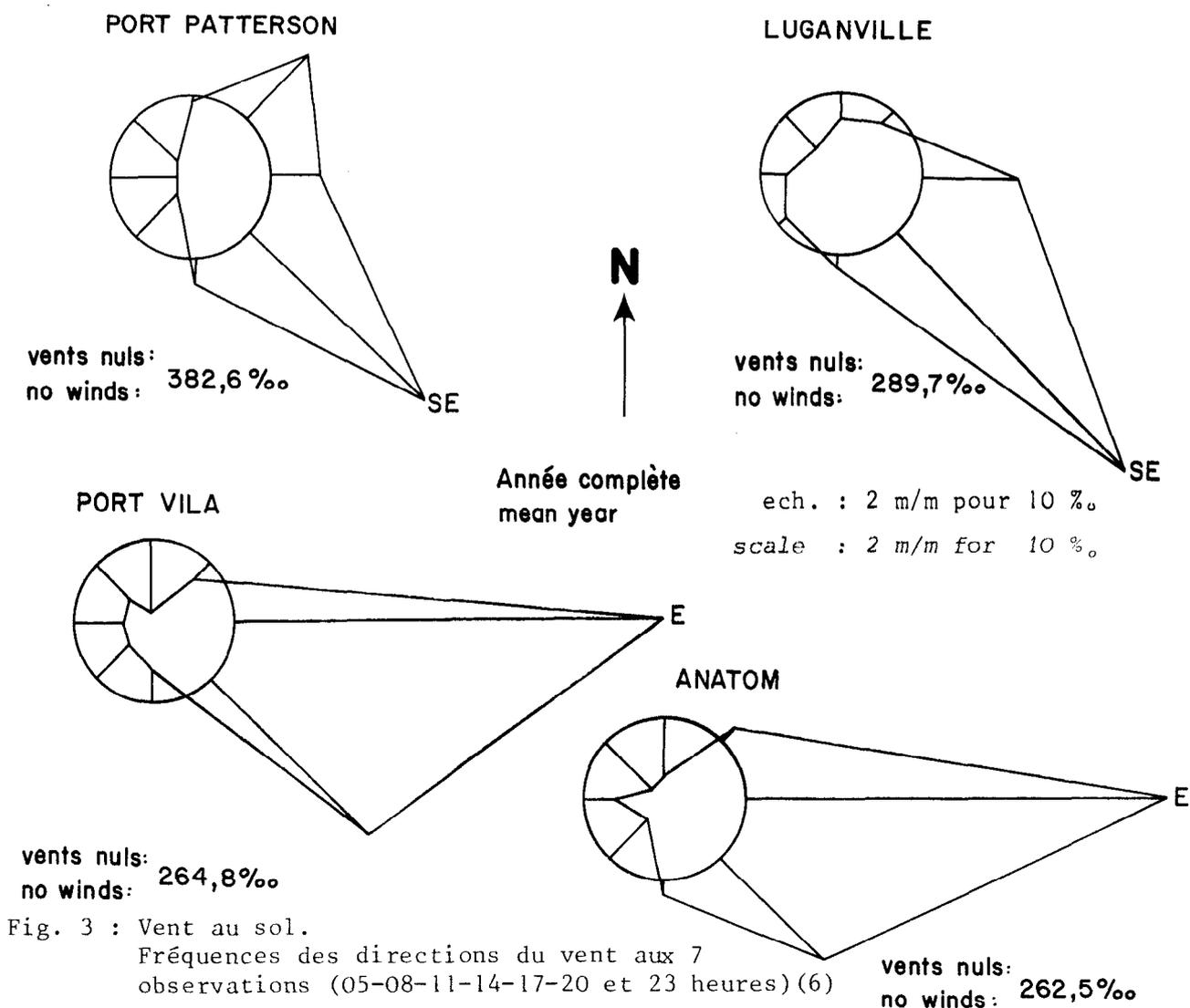


Fig. 3 : Vent au sol.

Fréquences des directions du vent aux 7 observations (05-08-11-14-17-20 et 23 heures) (6)

Wind at ground level

Frequency of wind directions for 7 daily recordings (5 a.m.; 8 a.m., 11 a.m., 2 p.m., 5 p.m. and 11 p.m.)

Période : années 1956 à 1965 incluses.

Period of years from 1956 to 1965 included (6)

Tableau n° 4. - Fréquences des vitesses de vents (exprimée en noeuds) Année moyenne (1956-1965) (6)

Table No. 4. - *Frequencies of wind speeds (shown in knots) Mean year (1956-1965) (6)*

Stations	0 à 1	2 à 3	4 à 7	8 à 11	12 à 16	17 à 21	22 à 27	28 à 33	34 à 40	> 40
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
PORT PATTERSON (I. Sola Vanua Lava)	382.6	187.2	214.7	131.4	60.4	18.9	3.7	0.6	0.4	0.1
LUGANVILLE (I. Espiritu Santo)	289.7	127.2	360.5	171.3	46.9	3.5	0.6	0.2	0.1	0.0
PORT-VILA (I. Efate)	264.8	197.5	244.0	177.8	102.9	9.9	2.3	0.4	0.3	0.1
ANATOM	262.5	165.0	166.6	147.2	179.9	67.2	8.3	2.2	0.7	0.4

En surface, les eaux seront donc les plus dessalées au Nord et en février-mars.

1.3.4. - Hydrologie

Les points caractéristiques en température et salinité entre la surface et 1200 m de profondeur observés dans la zone d'étude sont reportés sur le diagramme de la figure n°4. Les données sont issues de la banque des données hydrologiques du Centre ORSTOM de Nouméa. Ce diagramme d'ensemble montre que les eaux denses (Δ st compris entre 60 cl/t et 250 cl/t) ont des caractéristiques bien définies avec un minimum de salinité vers 85 cl/t provenant de l'eau antarctique intermédiaire, alors que les eaux plus légères (Δ st > 250 cl/t) peuvent avoir des caractéristiques T.S. variées provenant de masses d'eau d'origines diverses - l'eau centrale de la Mer de Tasman avec un maximum de salinité vers 270 cl/t, - l'eau subtropicale du Pacifique Central Sud originaire de la Polynésie, - l'eau de surface à caractère équatorial issue de la région de forte pluviosité du Pacifique Sud-Ouest.

1.3.5. - Structure thermique verticale

La structure thermique verticale est caractérisée par une thermocline permanente peu marquée (fig. n°5) indiquant un brassage vertical important des eaux. Cependant, une thermocline saisonnière apparaît en été aussi bien dans la partie Nord que dans la partie Sud de Vanuatu. L'épaisseur de la couche homogène étant alors de l'ordre de 30 à 50 m environ. La figure n°6, issue des observa-

The surface waters will therefore be less salty in the North, and in February-March.

1.3.4. - Hydrology

Temperature and salinity features between the surface and a depth of 1200 m in the study area shown on the diagram in fig. 4. These data are from the hydrological data bank of the ORSTOM Centre in Noumea. The overall diagram shows that the dense waters (Δ st between 60 cl/t and 250 cl/t) have well defined features, with a minimum salinity at around 85 cl/t from the intermediary antarctic water, while the lighter waters (Δ st over 250 cl/t) can have varied Temperature-Salinity features owing to water masses from a variety of origins - central water from the Tasman Sea, with a maximum salinity at around 270 cl/t - subtropical water from the Central South Pacific, originating in Polynesia - surface water of the equatorial type, from the high rainfall area in the South-Western Pacific.

1.3.5. - Vertical thermal structure

The vertical thermal structure is characterised by a poorly marked permanent thermocline (fig.5) indicating a considerable vertical mixing of the waters. However, a seasonal thermocline appears in summer, both in the northern and in the southern part of Vanuatu ; the depth of the homogeneous layer is then from about thirty to fifty meters. Figure 6, drawn from the data regu-

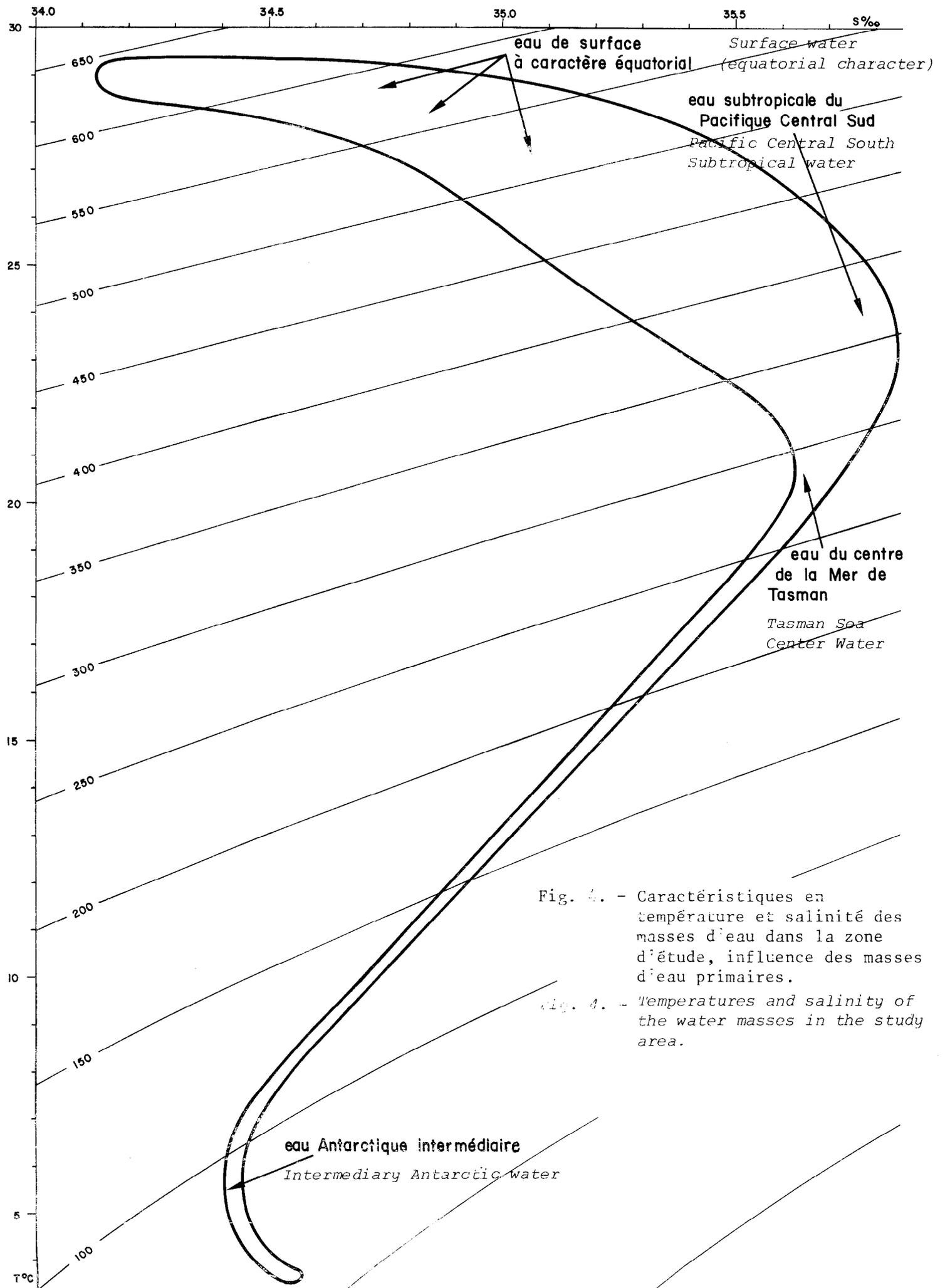
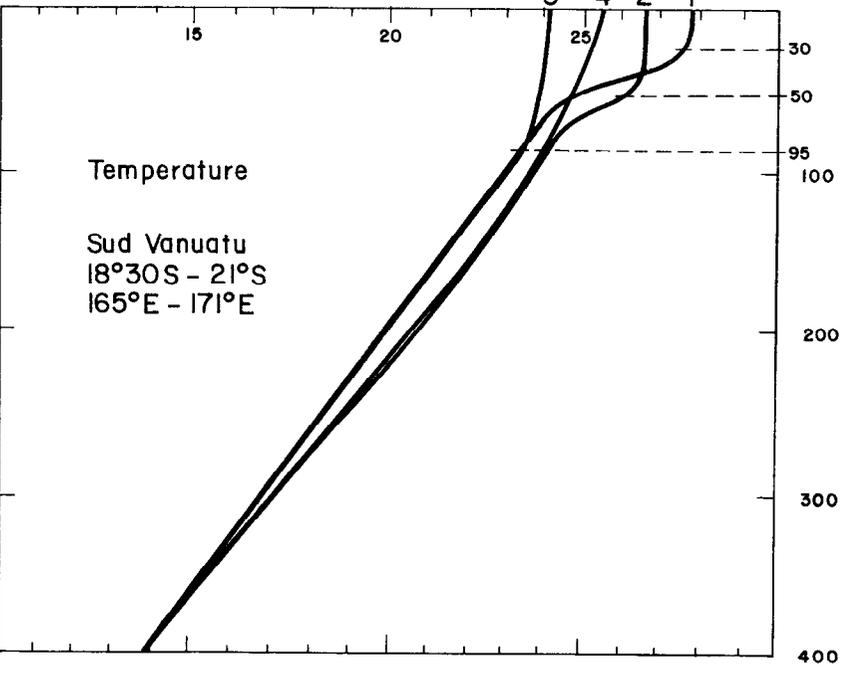
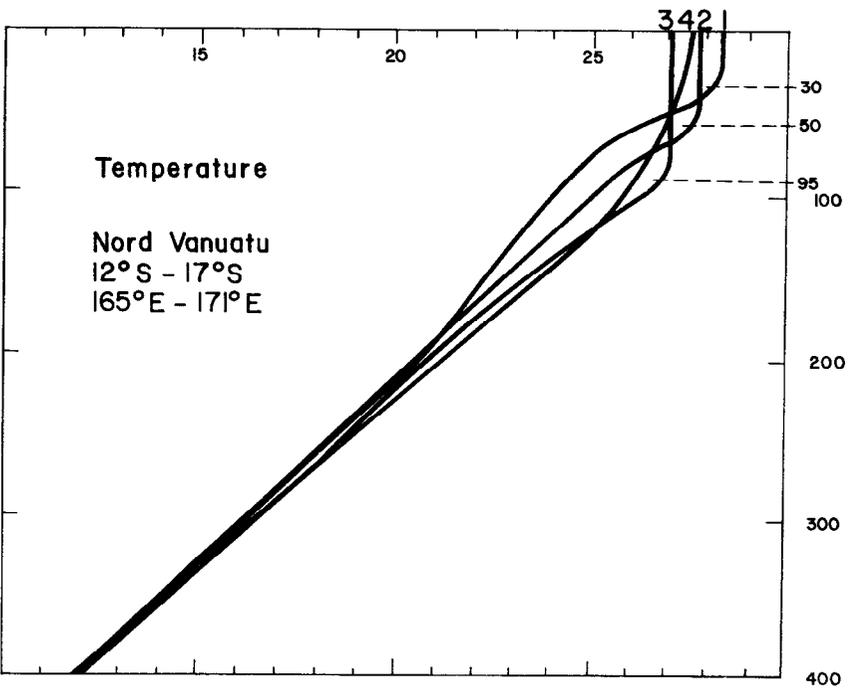
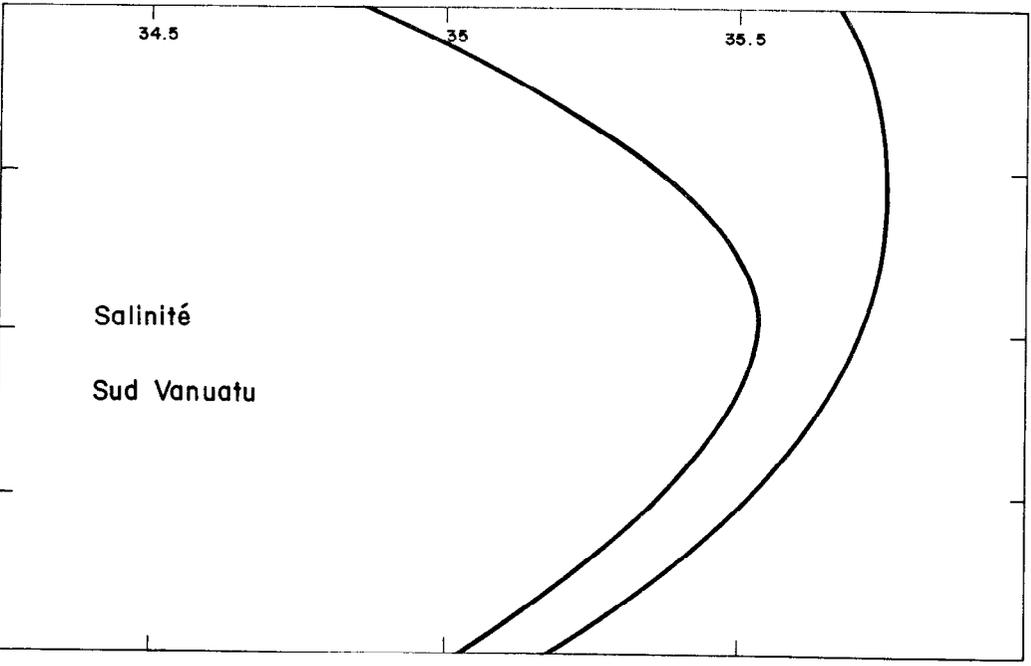
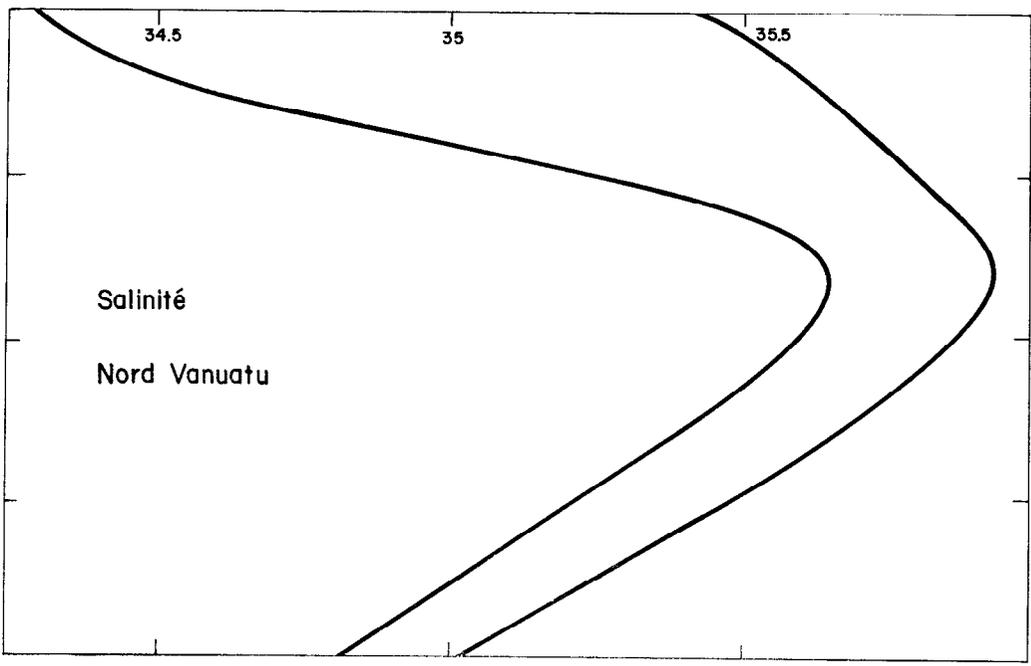


Fig. 4. - Caractéristiques en température et salinité des masses d'eau dans la zone d'étude, influence des masses d'eau primaires.

fig. 4. - Temperatures and salinity of the water masses in the study area.



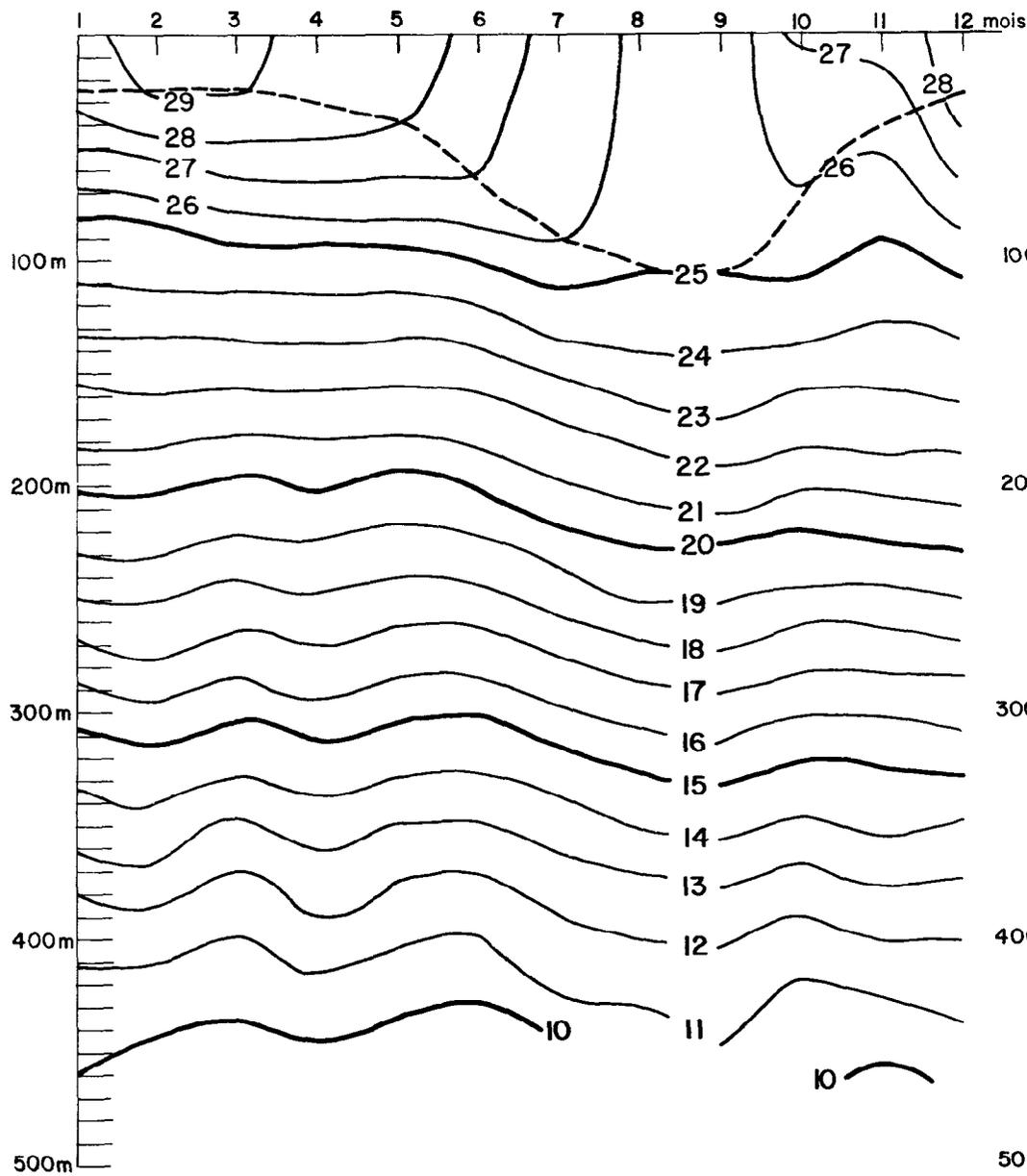
a. Profils thermiques trimestriels

b. Enveloppe des salinités

Fig. 5 - Structures verticales en T et S des masses d'eau de la zone d'étude
T and S vertical structures of the water masses in the study area.

1. = 1er trimestre (J.F.M)
2. = 2e trimestre (A.M.J)
3. = 3e trimestre (J.A.S)
4. = 4e trimestre (O.N.D).

a. Nord Vanuatu (14°S - 16°S / 160°E - 170°E)



b. Sud Vanuatu (20°S - 22°S / 160°E - 170°E)

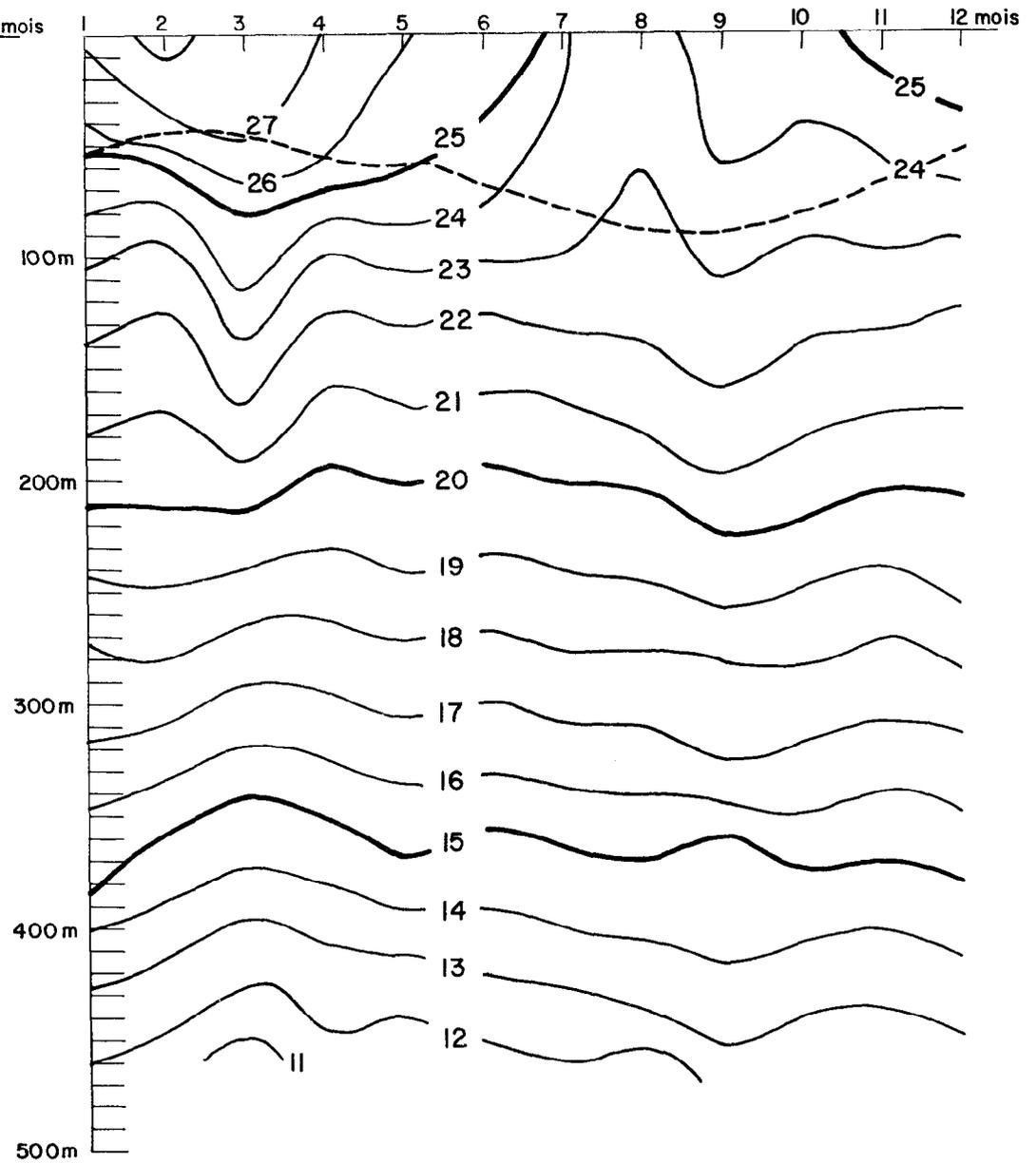


Fig. 6 - Evolution mensuelle de la structure thermique verticale à partir de XBT lancés par les navires marchands
 Monthly changes in the vertical thermal structure, from XBT sent out by merchant ships.

tions régulières à l'aide de XBT du réseau des navires marchands du Centre ORSTOM de Nouméa, montre l'évolution annuelle de la température entre la surface et 460 m dans la partie Nord et dans la partie Sud de Vanuatu.

La variation saisonnière de la température n'est plus décelable au-delà de 150 m de profondeur.

I.3.6. - Salinité

Le maximum de salinité se situe vers 150-200 m. Sa valeur est plus élevée au Nord (35.6 ‰ à 35.9 ‰) qu'au sud (35.4 ‰ à 35.7 ‰). Une variation saisonnière de la salinité superficielle se dégage des observations des campagnes océanographiques et des navires marchands avec un minimum en début d'année lié à la saison des pluies et un maximum en août-septembre. Cependant, les variations à long terme sont plus importantes que les variations saisonnières comme on peut le voir sur le diagramme de la figure n°7 (1969-1981). Les maximas de 1973 sont liés à l'anomalie hydroclimatique "El Nino" bien connue le long des côtes d'Amérique du Sud et dont les effets se font sentir dans le Pacifique Ouest. En ces périodes, la zone de convergence des alizés qui dans le Pacifique Ouest oscille habituellement entre 10°N (mai à décembre) et 10°S (janvier à avril) se maintient sur l'Equateur ; d'autre part, au Sud de 15-16°S, l'alizé est bien développé.

I.3.7. - Circulation (fig. n° 8-9)

La méthode dynamique utilisant les

larly supplied to ORSTOM-Noumea by merchant ships operating in the area, shows temperature changes over the year from the surface down to a depth of 460 m, in the Northern and southern parts of Vanuatu.

Seasonal temperature variation is no longer observable beyond a depth of 150 m.

I.3.6. - Salinity

Maximum salinity occurs around 150-200 m. It is higher in the North (35.6 ‰ to 35.9 ‰) than in the South (35.4 ‰ to 35.7 ‰). Seasonal variation in surface salinity is evident in the data gathered by ORSTOM's research vessels and provided by merchant ships, with a minimum at the beginning of the year, which is linked to the rainy season, and a maximum in August-September. However, long-term variations are wider than seasonal variations, as can be seen on the diagram in fig. 7 (1969-1981). The 1973 maxima are linked to the well-known hydroclimatic anomaly "El Nino" occurring along the coast of South America and whose effects can be felt in the Western Pacific. At such times, the Trade Winds Convergence Zone which, in the Western Pacific, usually varies from 10°N (May to December) to 10°S (January to April) remains on the Equator ; South of 15-16°S, the trade wind is well marked.

I.3.7. - Water circulation (fig.8-9)

A dynamic method based on the hydro-

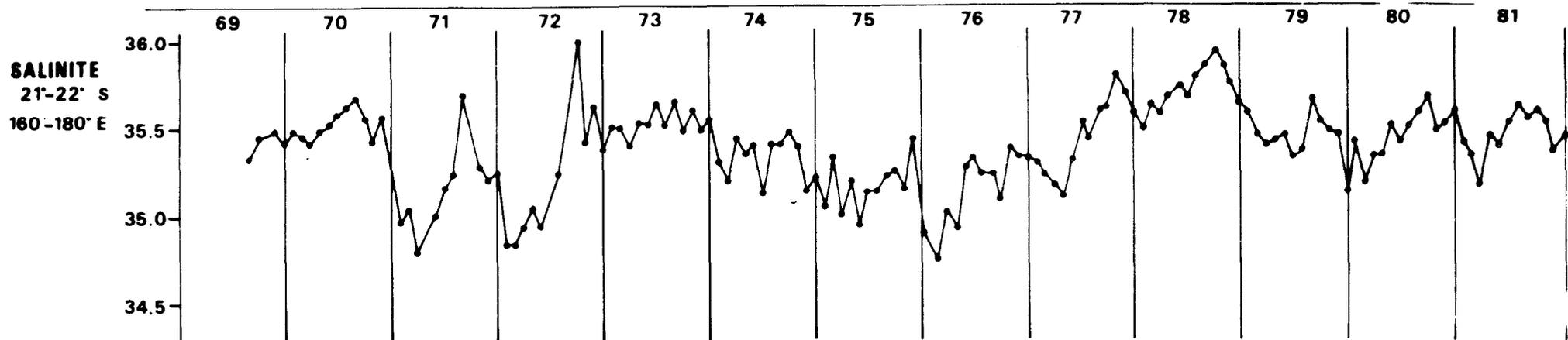


Fig. 7 : Evolution de la salinité de surface de 1969 - 1981 (12).

Surface salinity evolution from 1969 to 1981 (12).

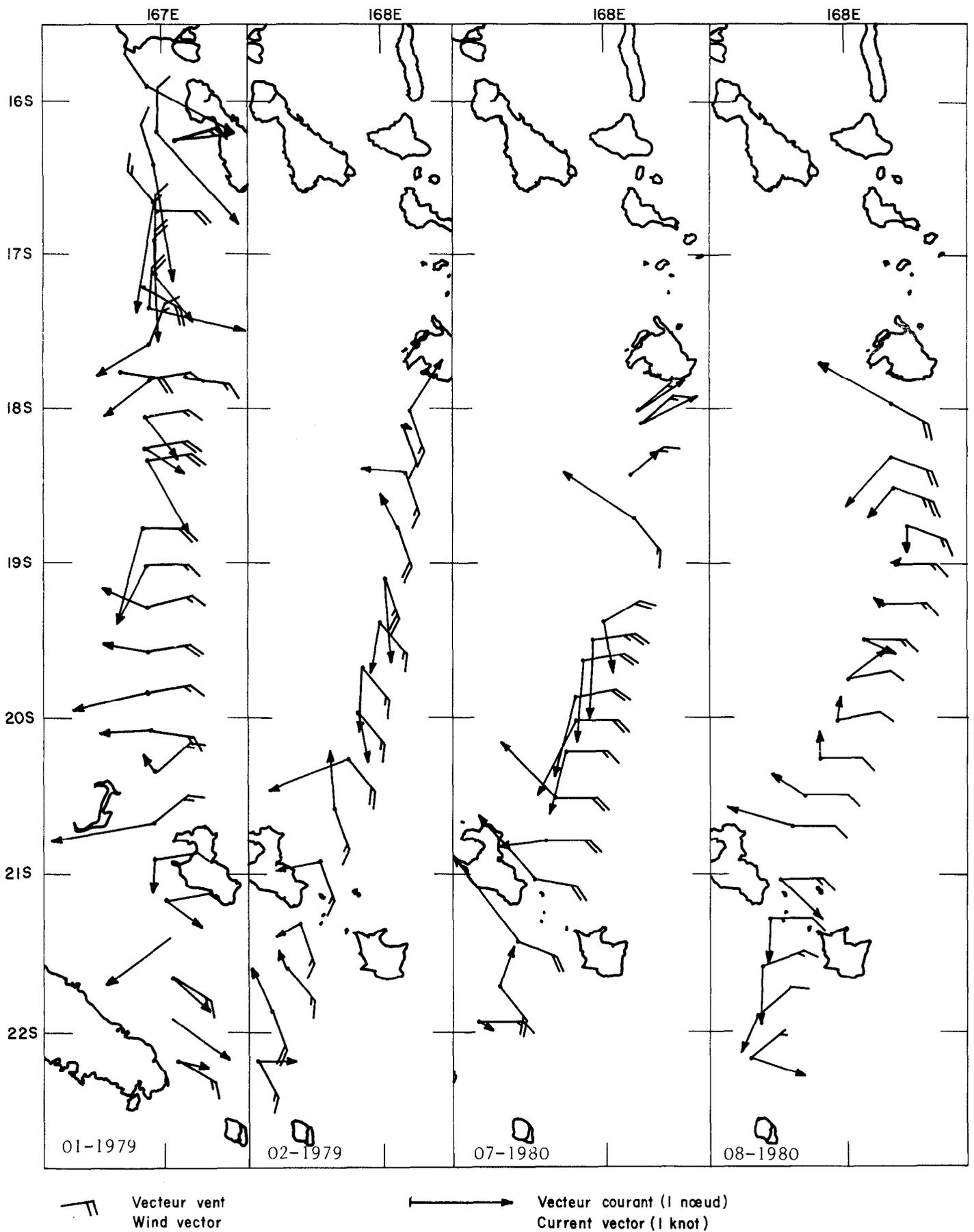


Fig. 8. - Résultats des mesures de courants sur la radiale Nouvelle-Calédonie-Vanuatu (7)
 Results of current measurement, on the New Caledonia-Vanuatu transect (7).

structures hydrologiques observées au cours des campagnes océanographiques menées par le Centre ORSTOM de Nouméa a conduit au schéma de circulation géostrophique suivant :

. au nord du Vanuatu le courant équatorial Sud (CES) dirigé vers l'Ouest est présent toute l'année.

. au Sud de 15°S un flux dirigé vers l'Est-Sud-Est, relativement faible, le contre-courant tropical (CCTS) est opposé au courant de dérive dû à l'alizé.

Les récentes études (9) menées à partir du N.O. VAUBAN entre le Vanuatu et la Nouvelle-Calédonie ont montré que le courant de surface observé résultant du courant géostrophique et du courant de dérive était modulé par les conditions de vent. Par alizé fort (force 4 ou 5) le courant de surface peut être nul ou faible dirigé vers le Nord-Ouest. Par alizé faible, le courant de surface est dirigé contre le vent vers l'Est-Sud-Est. Par vent d'Ouest, le courant de surface peut être fort dirigé vers le Sud-Est. Le régime des vents étant variable dans la région, les déplacements rapides des fronts thermiques de surface peuvent s'expliquer par la variabilité du courant de surface.

I.3.8. - Température de surface et fronts

Les cartes hebdomadaires de températures de surface reçues de la NOAA sont des moyennes sur 7 jours, résultant du traitement GOSSTCOMP des données du rayonnement infrarouge de la surface de la mer recueillies par satellites. L'analyse rapide que nous avons faite porte sur 164 semaines (de janvier 79 à juin 1982) et montre que l'Est de

logical features recorded during the oceanographic cruises conducted by the Noumea ORSTOM Centre brought into evidence the following geostrophic circulation pattern :

. in the Northern part of Vanuatu, the South Equatorial Current (SEC) flowing westward is present all the year round.

. South of 15°S, a comparatively weak current flowing east-south-east, the South Tropical Counter Current (STCC), counters the trade winds drift current.

Recent studies (9) conducted from the 'R.V. VAUBAN', between Vanuatu and New Caledonia showed the observed surface current, resulting from the geostrophic current and the drift current, to be modified by wind conditions. When the trade winds are strong (Force 4 or 5) the surface current may be nil or very weak and flows North-West. When the trade wind is light, the surface current flows against the wind, East-South-East. When the wind blows from the West, the surface current can be strong and flowing in a South-Easterly direction. As wind patterns are variable in the region, the rapid movements of surface thermal fronts may be ascribable to the variability of the surface current.

I.3.8. - Surface temperature and fronts

The weekly sea surface temperature charts received from NOAA are 7 days means resulting from GOSSTCOMP processing of sea-surface infrared radiation data collected by satellite. Our analysis of these charts covers 164 weeks (from January 1979 to June 1982) and shows that the Eastern part of the Coral Sea is the site of surface thermal fronts that run

la Mer du Corail est le siège de fronts thermiques superficiels qui traversent les archipels Vanuatuan et Fidjien. Ces fronts peuvent se déplacer rapidement selon les conditions hydroclimatiques, ce qui laisse supposer une advection rapide des eaux de surface.

Compte-tenu de la petite échelle des cartes GOSSTCOMP, la zone d'étude sera étendue de 10°S à 25°S d'une part, et de 160°E à 180° d'autre part. Notre analyse est faite par région de cinq degré-carré. Nous considérons qu'il y a front lorsque trois isothermes ou plus traversent une surface de 5° de longitude x 2.5 de latitude. Nous parlerons alors de "fronts de type 3 ou supérieur à 3". Les résultats sont les suivants dans la zone considérée.

. sur 164 semaines étudiées de 79 à 82, 118 soit 72 % présentent au moins une situation frontale de type égale ou supérieure à 3. Les fronts de type 4 représentent le tiers de ces situations.

. plus de 80 % des fronts affectent l'isotherme 25°C et 41 % sont centrés sur l'isotherme 25°C.

. la fréquence la plus élevée (28%) de situations frontales est rencontrée dans le carré centré sur Vanuatu.

. lorsqu'une situation frontale est présente dans la zone d'étude, le nombre moyen de carré (5° x 5°) affecté par celle-ci est de 1.87.

. en moyenne la fréquence des semaines

across the Vanuatu and Fiji Island Groups. These fronts can move rapidly as a result of hydroclimatic changes, which suggests rapid advection of surface waters.

In view of the small scale of the GOSSTCOMP charts, the area considered was extended : 10°S - 25°S/160°E - 180° . Our analysis is made by 5° squares. We consider a front to be present when three isotherms (we shall then call it a 'type 3 front') or more cross an area of 5° longitude x 2.5° latitude. The results were as follows :

. of the 164 weeks considered, between 1979 and 1982, 118 (i.e. 72 %) had at least one front of type 3 or over.

In one third of the above cases the front present was of type 4.

. more than 80 % of the fronts affected the 25°C isotherm, and 41 % were centered on it.

. the highest frequency of fronts (28 %) occurred in the square centred on Vanuatu.

. when a front was present in the study area, the average number of 5° x 5° squares affected by it was 1.87.

. the average incidence of weeks with

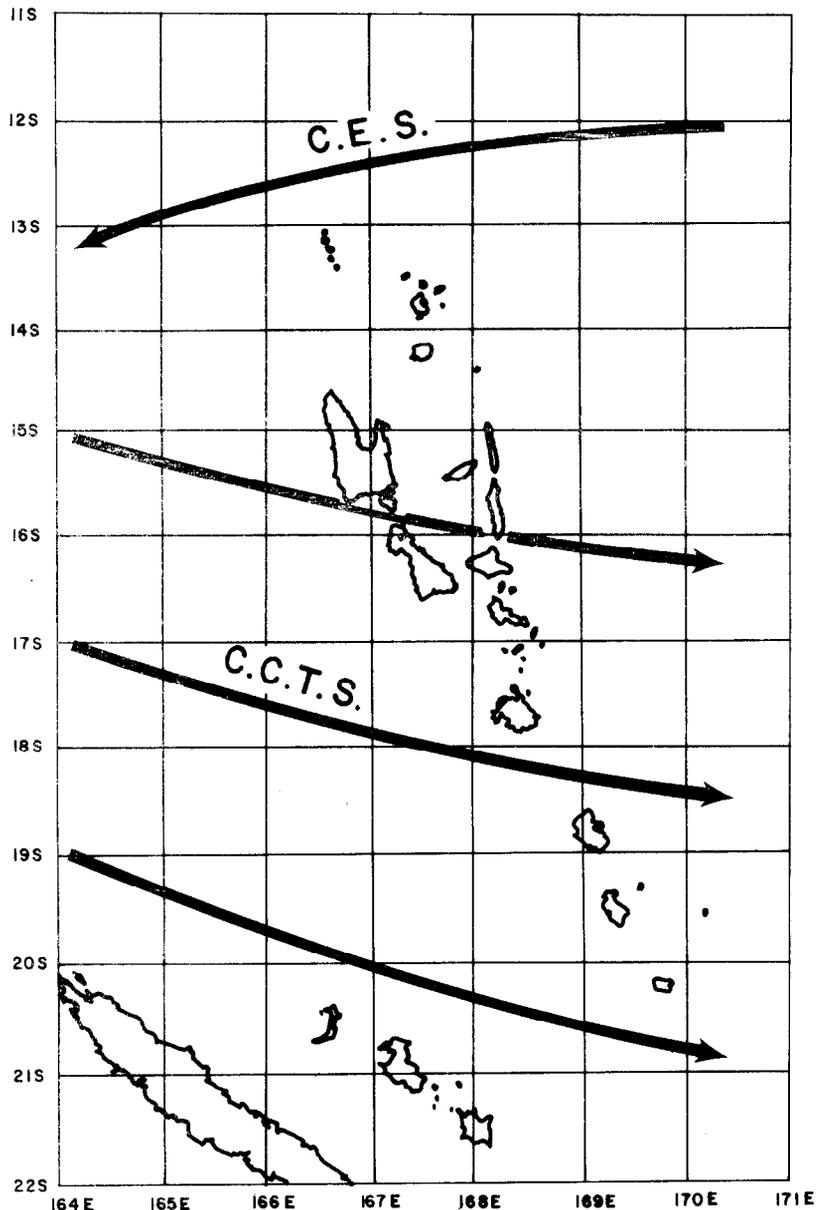


Fig. 9. - Circulation géostrophique dans la zone d'étude
Geostrophic circulation in the study area.

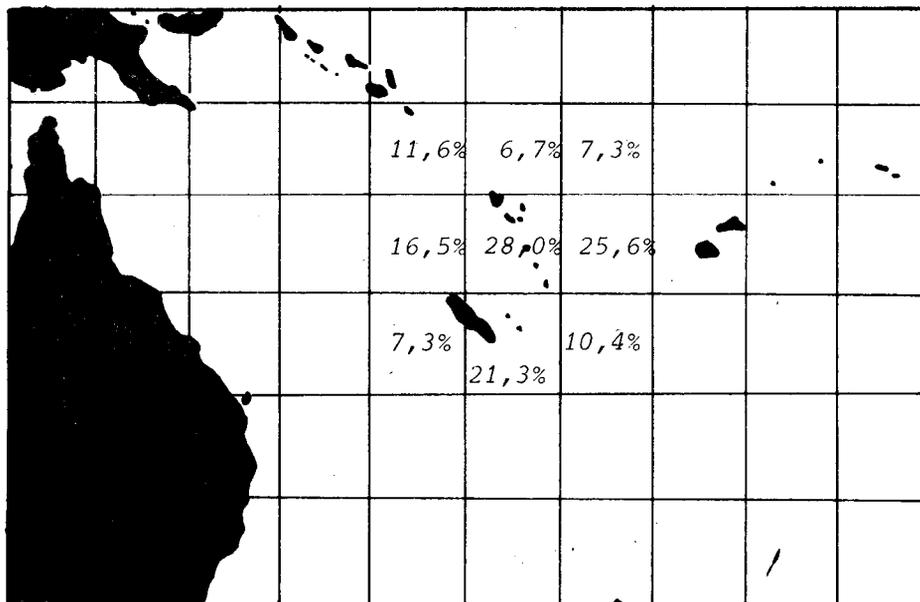


Fig. 10. - Fréquences des semaines présentant un front de type 3 ou plus en % des 164 semaines considérées de 1979 à 1982.
Frequency of weeks showing a type 3 front (or over 3) as a percentage of the 164 weeks considered, from 1979 to 1982.

à situation frontale est de :

- . 2 semaines/mois en janvier, février, mars
- . 3 semaines/mois en avril, mai
- . 3.5 semaines/mois en juin
- . 4 semaines/mois en juillet, août, septembre
- . 4.6 semaines/mois en octobre
- . 4.3 semaines/mois en novembre
- . 4 semaines/mois en décembre.

Deux types de situations se sont souvent répétées :

- la première correspond à un front zonal très marqué, stable et situé souvent dans le Nord de la région. Nous la trouvons par exemple, entre août et octobre 1980 vers 15.S°. Les relevés thermiques (XBT et température de surface) des navires marchands de la ligne Nouméa-Japon ont permis de vérifier son existence et la coupe verticale correspondante (fig. n°11) montre l'épaisseur importante des masses d'eau en présence (120m). Ce type de situation est probablement dû au système courant/contre-courant Equatorial Sud. Sa durée de vie est comprise entre deux et trois semaines mais en 1980 sa stabilité a atteint 10 semaines (août à octobre). Pour les 164 semaines analysées, 48 situations frontales ont été répertoriées et 36 % correspondaient à ce type.

- la seconde (31 % des fronts répertoriés) concerne généralement le chenal des Hébrides. Sa durée de vie est également comprise entre deux et trois semaines. Elle est caractérisée par la forme en langue des isothermes. Les campagnes océanographiques (Hydrothon 03 - Circal ...) (8), (9) ont pu établir qu'il s'agissait généralement d'un

fronts was :

- . 2 weeks/month in January, February, March
- . 3 weeks/month in April, May
- . 3.5 weeks/month in June
- . 4 weeks/month in July, August, september
- . 4.6 weeks/month in October
- . 4.3 weeks/month in November
- . 4 weeks/month in December.

Two types of frontal situation occurred repeatedly :

- the first is a very marked zonal front, which is stable and often located in the North of the area. It can, for example, be found between August and October 1980 near 15°S. The temperature records (both XBT and surface temperature) of the merchant ships on the Nouméa/Japan run demonstrated its existence and the corresponding vertical section (Fig.11) shows the considerable depth of the water masses present (120 m). This type of situation is probably a product of the South Equatorial Current/Countercurrent system. Its normal duration is two to three weeks, but in 1980 it lasted for a whole 10 weeks (August to October). In the 164 weeks we analysed, 48 fronts were noted and 36 % of them were of this type.

- the second most common type of front (31 % of the total noted) usually affects the New Hebrides channel. Its life-span is also two to three weeks. It is characterised by tongue-shaped isotherms. The ORSTOM oceanographic cruises (Hydrothon 03, Circal...) (8), (9) established that it was generally a thermohaline front with a thermocline situated

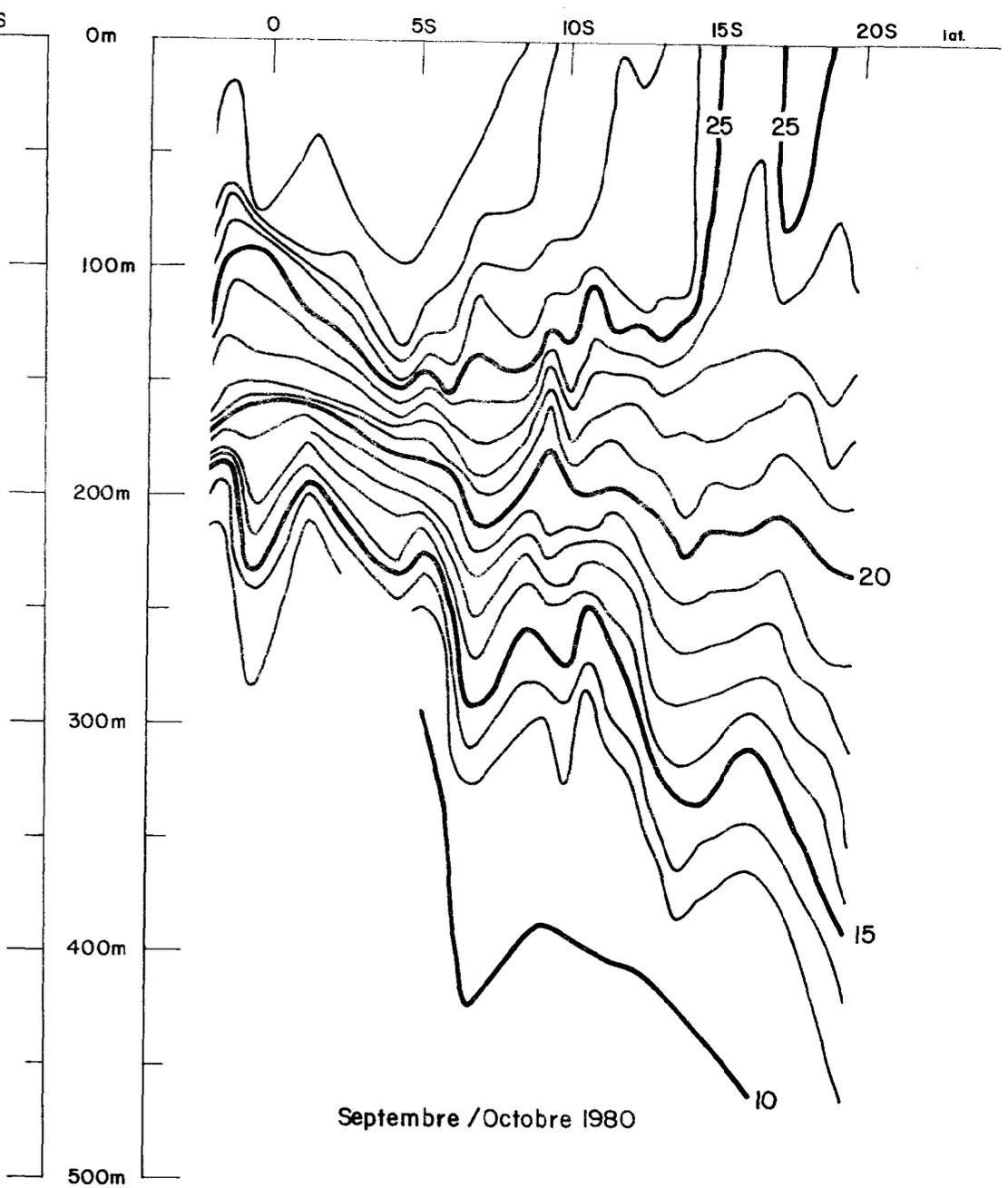
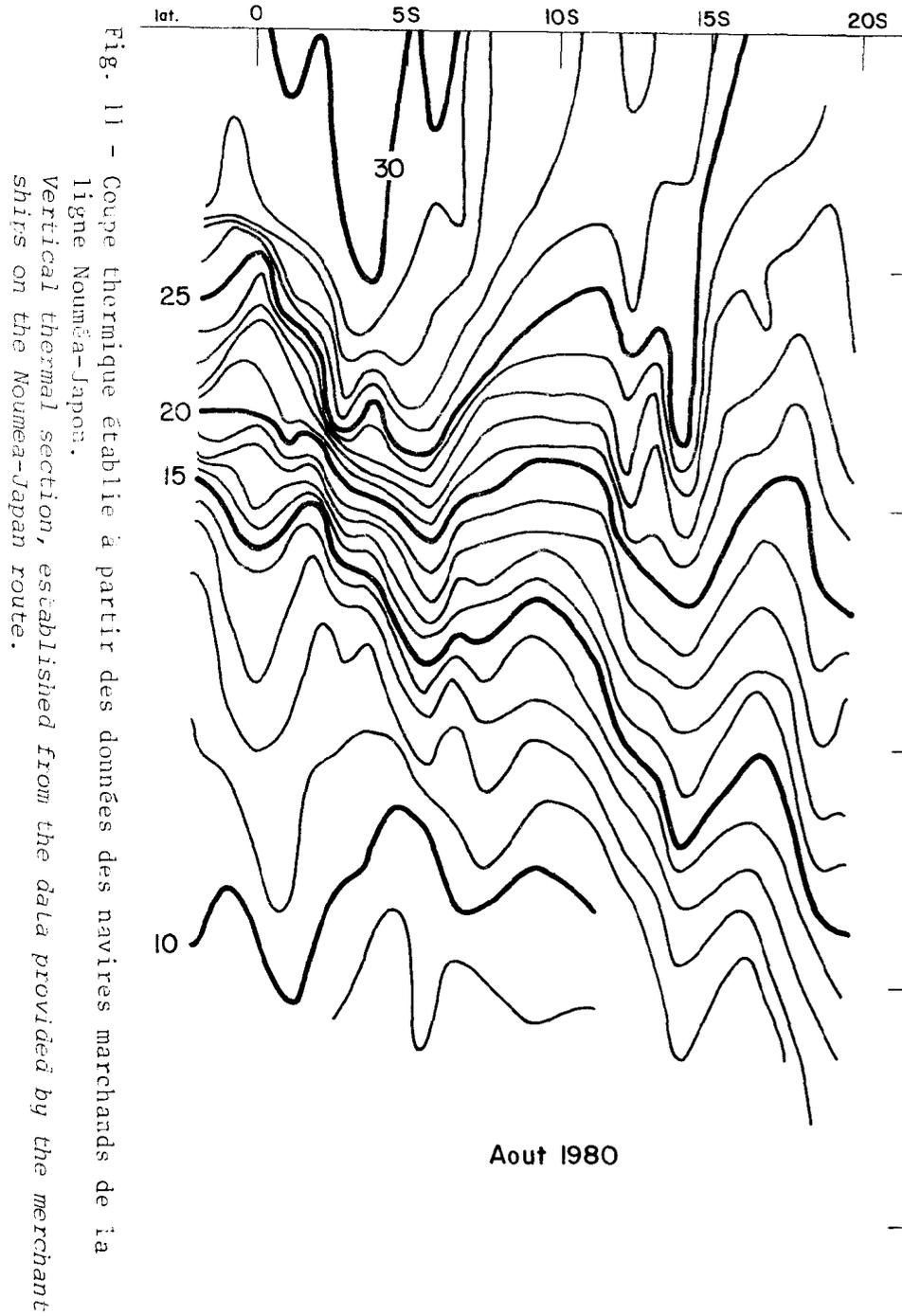


Fig. 11 - Coupe thermique établie à partir des données des navires marchands de la ligne Nouméa-Japon.
 Vertical thermal section, established from the data provided by the merchant ships on the Nouméa-Japan route.

front thermohalin et que la thermocline se situait alors entre 60 et 80 m. Comme nous l'avons déjà vu, l'action du vent et du courant est déterminante pour la frontogénèse dans ce secteur. Compte-tenu de son importance pour la pêche des thonidés, nous donnons ici un exemple de relation étroite entre régime d'alizé, courant Sud-Est et formation d'un front de ce type (fig. n°12 et 13) :

La période qui s'étend d'octobre 1980 à décembre 1980 constitue une intersaison marquée par un réchauffement progressif que l'on suit aisément par les isothermes 24, 25 et 26°C. L'effet du Contre-Courant Tropical Sud portant au Sud-Est est bien mis en évidence à l'Est de la Grande Terre.

Jusqu'au 4.11.80 (fig.n°1 à 3), le réchauffement s'opère régulièrement. L'isotherme 23°C est repoussé jusqu'au 27e parallèle, à la longitude de la Calédonie. Le vent de Sud-Est reste faible (autour de 5 noeuds).

Dès le 5.11.80, un fort anticyclone centré au Nord de la Nouvelle-Zélande dirige vers la Nouvelle-Calédonie des alizés de 15 à 20 noeuds. Ce flux intense persiste jusqu'au 21.11, puis commence à décroître dans les semaines qui suivent. A l'Est de la Nouvelle-Calédonie, l'avancée des eaux chaudes se heurte alors à un mouvement vers le Nord d'eaux plus fraîches (marquée par les isothermes 22 et 23°C). On assiste à une "compression" des isothermes de 23 à 26°C, qui se relâche lorsque le vent faiblit (du 19 au 25.11). Le front finit par disparaître dans la semaine du 26.11 au 2.12.80.

Ce type de front est donc très lié au régime du vent : il naît sous l'effet d'alizés suffisamment forts (autour de 20 noeuds)

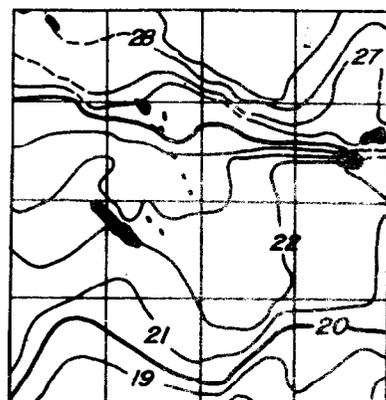
between 60 and 80 m. As pointed out earlier, wind and current are determinant for the formation of fronts in this area. In view of its importance for tuna fishing, we shall give here an example of the close correlation between trade wind, South-East flowing current and formation of this type of front (fig. 12 and 13) :

The period from October to December 1980 is an interseason featuring a gradual warming up of the water which is easy to follow by the 24, 25 and 26°C isotherms. The effect of the South Tropical Counter-Current flowing South East is clearly visible East of New Caledonia.

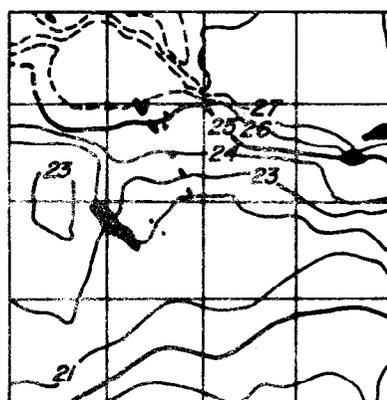
Up to 4.11.1980 (fig.11 to 13), the warming up process is regular. The 23°C isotherm is pushed back to latitude 27°S, at the longitude of New Caledonia. The South easterly wind remains light (around 5 knots).

From 5.11.80, a strong high pressure area centred North of New Zealand directs trade winds of 15 to 20 knots towards New Caledonia. This intense flow persists to 21.11, then declines over the following weeks. East of New Caledonia, the progress of the warmer waters comes up against a northward movement of cooler waters (indicated by the 22°C and 23°C isotherms. A 'compression' of the 23°C to 26°C isotherms can be seen to occur at this stage, which loosens up again when the wind grows weaker (from 19 to 25.11). The front eventually disappears altogether in the week from 26.11 to 2.12.80.

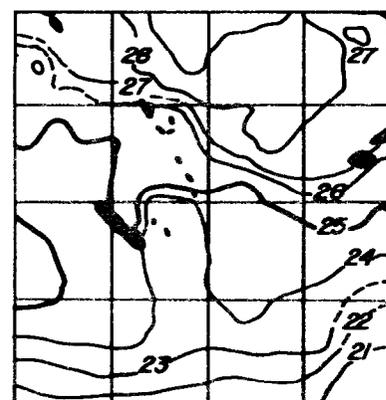
This type of front is thus very closely related to the wind pattern. It comes into being as a result of strong trade winds



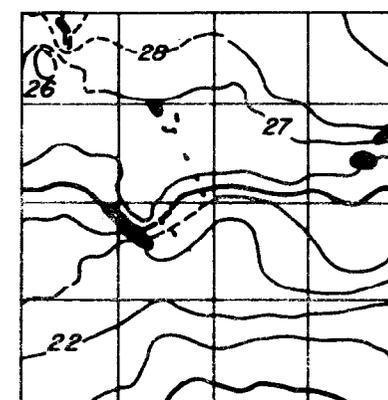
*Semaine
du 15.10.80
au 21.10.80*



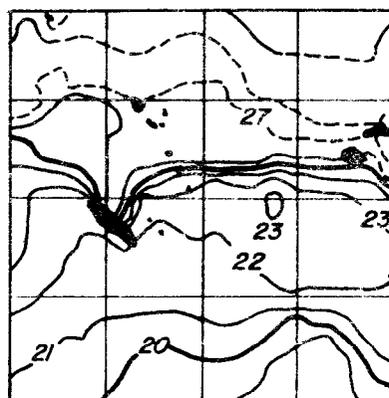
*Semaine
du 22.10.80
au 28.10.80*



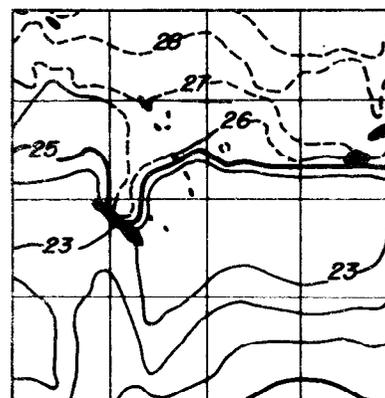
*Semaine
du 29.10.80
au 04.11.80*



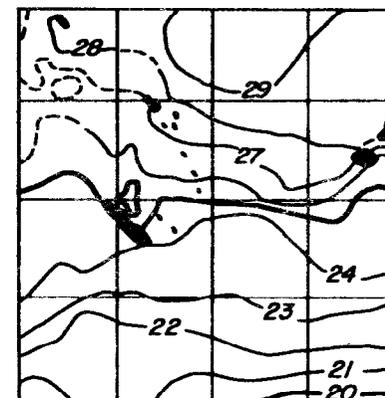
*Semaine
du 05.11.80
au 12.11.80*



*Semaine
du 13.11.80
au 18.11.80*



*Semaine
du 19.11.80
au 25.11.80*



*Semaine
du 26.11.80
au 02.12.80*

Fig. 12. - Température de surface entre 15.10.80 et le 2.12.80 (cartes NOAA-GOSSTCOMP)
Surface temperature from 15.10.80 to 2.12.80 (charts NOAA-GOSSTCOMP)

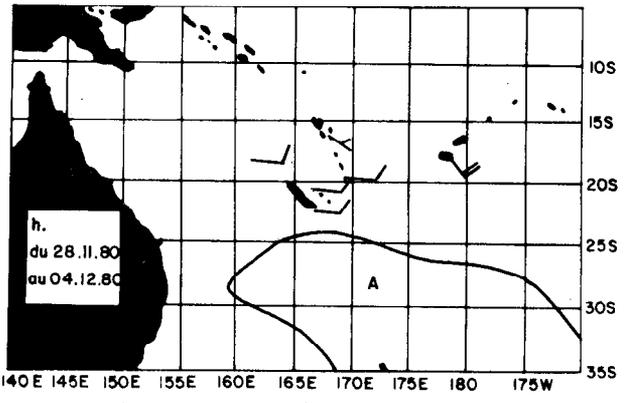
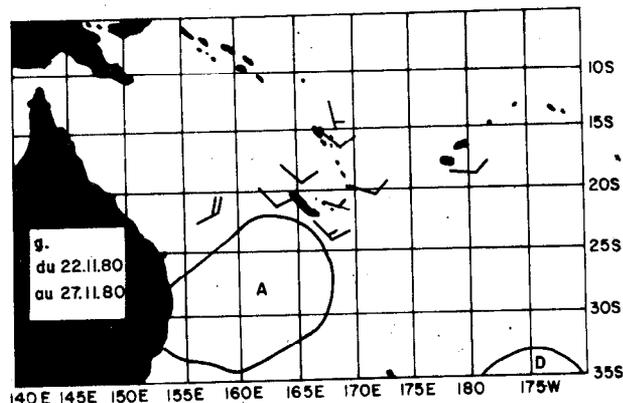
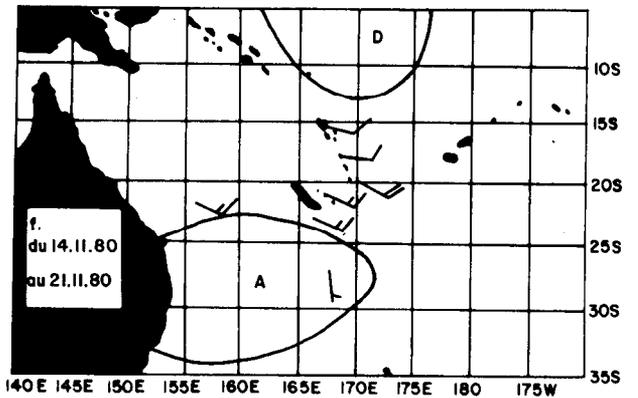
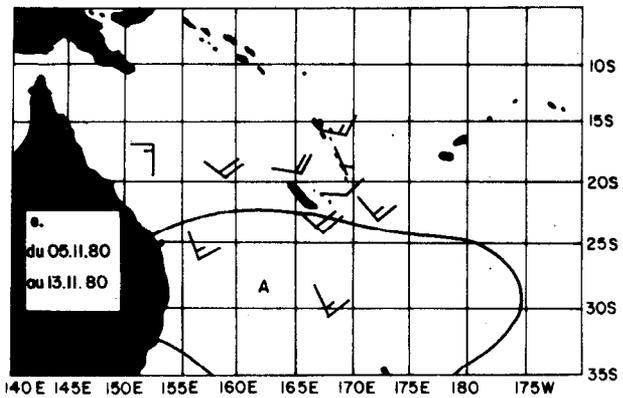
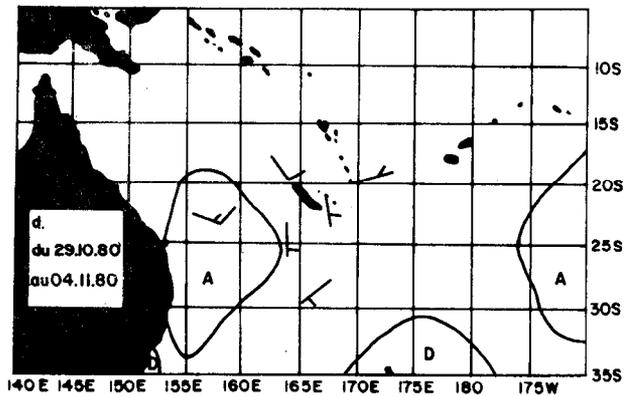
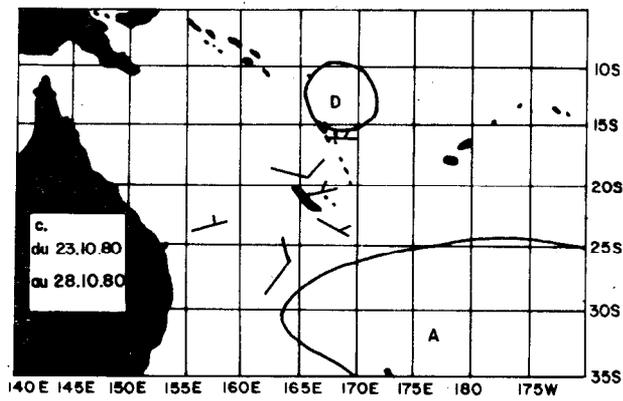
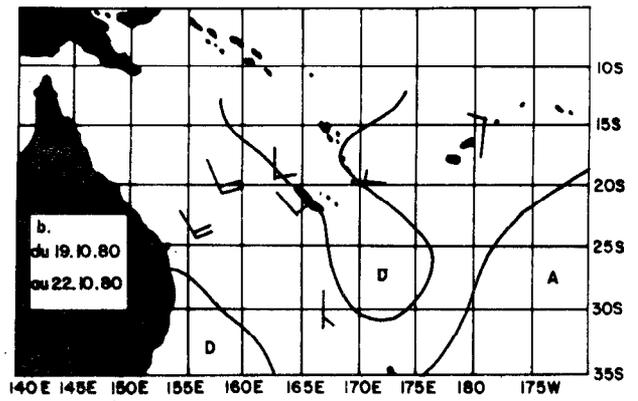
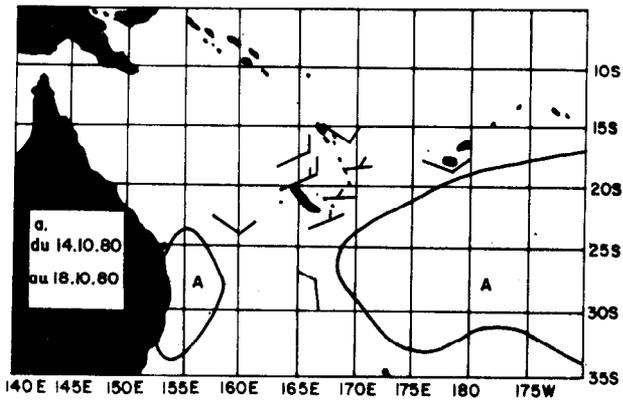


Fig. 13 - Conditions météorologiques entre le 15.10.80 et le 4.12.80
Weather conditions from 15.10.80 to 4.12.80

et se disloque lorsque ceux-ci faiblissent.

Compte-tenu de la régularité du scénario de frontogénèse dans ce secteur, la prévision de la formation des structures frontales est envisageable.

CONCLUSION

Ainsi, l'exposé de ce chapitre laisse penser que, en règle générale, fronts thermiques et thonidés de surface sont présents toute l'année dans la région considérée. Ces conditions étant réalisées, on peut admettre que l'échantillon constitué par les résultats de l'opération proprement dite est représentatif malgré le faible nombre d'observations (une centaine) et d'heures de vol (250 heures environ) et d'une utilisation non optimale de ces dernières (mauvaises conditions météorologiques - vols groupés).

(around 20 knots) and 'disintegrates' when the winds weaken.

In view of the constancy of the front formation mechanism in this area, it may be possible to forecast fronts.

CONCLUSION

The facts set out in this chapter suggest that thermal fronts and surface schooling tuna are, as a rule, present throughout the year in the area considered. Under the circumstances, the sample made up of the results of our survey may be regarded as representative, in spite of the small number of sightings (about one hundred) and of flying hours (about 250) even though the latter could not be efficiently utilised (poor weather conditions, grouped flights).

CHAPITRE IITRAITEMENT DES DONNEES ET RESULTATS

- II.1. - Influences des facteurs de l'environnement sur l'abondance des observations.
- II.2. - Répartition spatiotemporelle des observations
- II.3. - Caractéristiques des bancs rencontrés.

CHAPTER II.DATA PROCESSING AND RESULTS

- II.1. - *Effect of environmental factors on the number of tuna sightings.*
- II.2. - *Distribution of sightings in space and time.*
- II.3. - *Characteristics of tuna schools sighted.*

RAPPEL

Les données brutes recueillies par l'avion (température de surface, paramètres météorologiques, observations, etc...) ont été fournies dans les rapports préliminaires n° 1 (sept.80), n° 2 (mai 81) et n° 3 (janvier 82) ainsi que les cartes GOSSTCOMP et les cartes météorologiques correspondantes. Ces données sont disponibles sur support informatique au Centre ORSTOM de Nouméa.

II.1. - Influence des facteurs de l'environnement sur l'abondance des observations de thonidés

Pour cette étude, nous avons pris en compte toutes les données de la zone d'étude, (que le vol ait été financé ou non par la convention ORSTOM-Vanuatu)

L'analyse de l'abondance relative des observations de thonidés porte sur les paramètres suivants : vent et état de la mer, moment de la journée, nébulosité, température de surface.

L'influence des deux premiers paramètres nous a conduits à définir la notion d'enregistrement pondéré.

II.1.1. - Vent et état de la mer

La corrélation entre vitesse du vent et état de la mer est si forte que seul sera étudié le premier facteur. La figure n°14 montre que les périodes de vent inférieures à 11 noeuds (62 % du temps de vol) ont prévalu sur les périodes de vent à force 4 (soit 11 à 16 noeuds - 29 %) et sur les périodes de vents forts supérieurs à 16 noeuds (9 %). Comme on pouvait s'y attendre, les observa-

REMINDER

The raw aircraft-collected data (surface temperature, meteorological parameters, sightings, etc...) were given in the preliminary reports N_o1 (Sept. 80), N_o2 (May 81), and N_o3 (January 82), as well as the relevant GOSSTCOMP charts and weather maps. These data are obtainable in computerised form from the ORSTOM Centre in Noumea.

II.1. - Effect of environmental factors on the number of tuna sightings.

In this part of the study we took into account all data available for the study area, whether they were obtained by the survey carried out under the ORSTOM Vanuatu Agreement or not.

Abundance of tuna sightings was studied in relation to the following parameters : wind and sea conditions, time of day, cloud cover, surface water temperature.

The effect of the first two parameters led us to define the concept of 'weighted' recordings.

II.1.1. - Wind and sea conditions

The correlation between wind speed and the state of the sea is so close that only the former factor will be studied. Fig.14 shows that periods with winds of less than 11 knots prevailed (62 % of flight time) over periods with Force 4 winds (i.e. 11 to 16 knots - 29 %) and over periods with strong winds over 16 knots (9 %). As was to be

tions de thonidés faites par des vents inférieurs à 11 noeuds l'emportent largement (83.5 %) sur les observations réalisées par vents forts (16.5 %). Dès que l'on s'éloigne des îles, le rôle du vent est directement lié à son action sur la mer qui se couvre de crêtes blanches à partir de 10-12 noeuds. Ceci rend difficile l'observation d'autant plus qu'alors, le banc a tendance à "couler" plus rapidement.

II.1.2. - Moment de la journée

L'histogramme de la figure n°15 laisse apparaître un taux relatif d'observation intéressant avant 11 heures du matin, et surtout après 14 h. (heure locale). A ce niveau de notre analyse, il semble évident que l'on ne puisse étudier l'influence de ces facteurs séparément car ils ne sont pas indépendants : les conditions météorologiques varient selon le moment de la journée. D'où la notion d'"enregistrements pondérés" que nous allons développer.

II.1.3. - Notion d'enregistrement ou de temps de vol pondéré

Pour le développement mathématique qui suit, il est nécessaire d'avoir ces définitions :

Un "enregistrement" sera une suite de paramètres comprenant la position, l'heure, la température de surface, la nébulosité, les observations biologiques s'il y a lieu l'état de la couleur de la mer, la direction et la vitesse du vent. Il y a, en moyenne, un enregistrement toutes les 5 minutes de vol, c'est-à-dire tous les 10 milles parcourus. Un enregistrement correspond donc à une unité de temps passée sur la zone.

expected, tuna sightings were far more common with winds under 11 knots (83.5 %) than during strong winds (16.5 %). As soon as one moves away from the island shores the wind acts directly on the sea which becomes covered with whitecaps at wind speeds of 10 or 12 knots. This adversely affects spotting, particularly as under such conditions tuna schools tend to 'sound' more rapidly.

II.1.2. - Time of day

The histogram on fig.15 shows a good relative sighting frequency before 11 a.m., and an even better one after 2 p.m. (local time). Obviously it was impossible in our study to consider the effect of the various factors separately, for they are not independent : weather conditions change with the time of day. For this reason, we introduced the notion of 'weighted' recording.

II.1.3. - Weighted recording or weighted flying time

For the mathematical development that is to follow, these concepts need to be defined :

- a 'recording' is a sequence of parameters including position, time, surface temperature, cloud cover, tuna sightings or other signs of life, if any, state and colour of the sea, wind speed and direction. On the average, there is one recording every 5 flying minutes, which is to say every 10 miles covered. A recording therefore represents a unit of time spent on the study area.

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

Pour évaluer l'influence réelle des facteurs de l'environnement sur l'abondance des observations de thonidés, il est apparu obligatoire de marquer l'influence des conditions météorologiques et du moment de la journée par un jeu de coefficients qu'il reste à calculer. Ces coefficients seront appliqués à chaque enregistrement.

Soit P la probabilité de voir une matre :

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

avec a(i) : effet du facteur I

b(j) : effet du facteur J

C = constante.

I correspond à la météorologie

i = 1 : mer belle, vent inférieur à 11 noeuds

i = 2 : mer belle à peu agitée, vent de 11 à 16 noeuds

i = 3 : mer agitée à forte, vent de plus 16 noeuds.

J correspond au moment de la journée

j = 1 : matin avant 9 heures locales

j = 2 : de 9 heures à 15 heures

j = 3 : à partir de 15 heures.

Une méthode exposée dans l'annexe B a été appliquée à l'ensemble des vols effectués dans la région Nouvelle-Calédonie-Vanua-tu (plus de 1300 heures de vol) et a permis l'estimation des coefficients de P(i,j)(10).

- a 'sighting' is a recording containing a tuna sighting.

To evaluate accurately the effect of environmental conditions on the abundance of tuna sightings, it appeared necessary materialize the effect of weather conditions and the time of day through application of a series of factors calculated as shown hereafter. These factors will be applied to each recording.

Let P be the probability of seeing a school:

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

Where a(i) is the effect of factor I

b(j) is the effect of factor J

C is a constant.

I = weather conditions (sea and wind)

i = 1 : calm seas

i = 2 : light to moderate seas, wind 11 to 16 knots

i = 3 : rough to very rough seas, winds over 16 knots.

J = time of day

j = 1 : morning before 9 a.m. local time

j = 2 : from 9 a.m. to 3 p.m.

j = 3 : after 3 p.m.

A method described in Annex B was applied to all flights conducted in the New Caledonia-Vanua-tu area (over 1300 flying hours) and led to the estimation of probability factors of P(i,j)(10).

Tableau n° 5. - Estimation des coefficients de P (voir texte) (10)

Table No. 5. - Estimation of P factors (cf. text) (10)

N.B. : On admettra dans les hypothèses de cette méthode que les facteurs I et J sont indépendants du lieu géographique.

In the hypothesis of this method, factors I and J are assumed to be independent of geographical location.

Effets du facteur <i>Effect of the factor</i>	Niveau <i>Level</i>	Estimation des coefficients de P. <i>Estimation of P factors</i>
a (i)	i = 1 : mer belle i = 1 : <i>calm seas</i>	1.45
	i = 2 : mer peu agitée i = 2 : <i>moderate seas</i>	0.56
	i = 3 : mer agitée i = 3 : <i>rough seas</i>	0.28
b (j)	j = 1 : avant 9 heures j = 1 : <i>before 9 a.m.</i>	0.98
	j = 2 : de 9 heures à 15 heures j = 2 : <i>from 9 a.m. to 3 p.m.</i>	0.81
	j = 3 : après 15 heures j = 3 : <i>after 3 p.m.</i>	2.02

Nous retrouvons ici, quantifiés, les résultats énoncés précédemment (II.1.1. et II.1.2.). Les vols du soir sont en général beaucoup plus efficaces (à conditions égales) que ceux du milieu ou du début de la journée. Cet aspect était plus ou moins masqué par le fait que le soir le vent est en général plus fort. Ainsi, lorsque les conditions optimales sont réunies (vol le soir par mer calme, ce qui est rare) la probabilité de voir une mat-
te en surface, par rapport à un vol effectué par mer peu agitée à midi, est multiplié par :

The results previously outlined (II.1.1. and II.1.2.) are seen again here, in quantified form. Evening flights were generally much more efficient

(other conditions being equal) than those undertaken in the morning or in the middle of the day. This fact was somewhat masked by the generally stronger winds blowing in the evening. Where optimal conditions are present (flight in the evening and in calm weather, which is rare), the probability of sighting a school, in comparison with the probability of spotting one during a midday flight with moderate seas, is multiplied by :

$\frac{1.45 \times 2.02}{0.56 \times 0.81}$ soit 6.5 selon le modèle.

$\frac{1.45 \times 2.02}{0.56 \times 0.81}$ i.e. 6.5 according to the model

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

To determine the effect of cloud cover and surface temperature, we multiply each recording by a (i) and b (j) according to the weather conditions and time of day, thus 'weighting' the latter two factors' effects.

II.1.4. - Nébulosité (fig.n°16)

II.1.4. - Cloud cover (Fig.16)

Le temps très clair (45.5 % des enregistrements pondérés a prévalu sur le temps peu nuageux (25.5 %) et le temps couvert ou pluvieux (29 %). Le taux d'observations pondérées de thonidés est plus important par temps très clair (56.5 %) que par temps "moyen" (18.5 %) et par temps couvert (25 %). Le rapport des pourcentages observations/enregistrements donne :

Very clear weather (45 % of the weighted recordings) was more frequent than slightly cloudy (25.5 %) and very cloudy or rainy (29 %) weather. The percentage of weighted sightings was higher in very clear weather (56.5 %) than in moderately cloudy (18.5 %) and very cloudy (25 %) weather. The ratio of sightings/recordings percentage was :

- temps très clair : 1.24
- temps peu nuageux : 0.73
- temps couvert : 0.86

- very clear weather : 1.24
- slightly cloudy weather : 0.73
- cloudy weather : 0.86

Le temps couvert ou pluvieux semble être plus favorable que le temps peu nuageux. Ceci est peut-être attribuable au fait que les situations orageuses ont tendance à faire "sortir le poisson".

Very cloudy or rainy weather appears to be more favourable than slightly cloudy weather. This may be due to the fact that when there is a storm brewing, the fish tends to 'emerge'.

En phase de prospection, le temps clair sera donc recherché.

Tuna surveys should preferably be made during clear weather.

II.1.5. - Température de surface (fig.n°17)

II.1.5. - Surface temperature (Fig.17)

Bien entendu, ici aussi tous les enregistrements ont été pondérés selon la méthode

Here too all the recordings were weighted as outlined above. It can be seen that 74 %

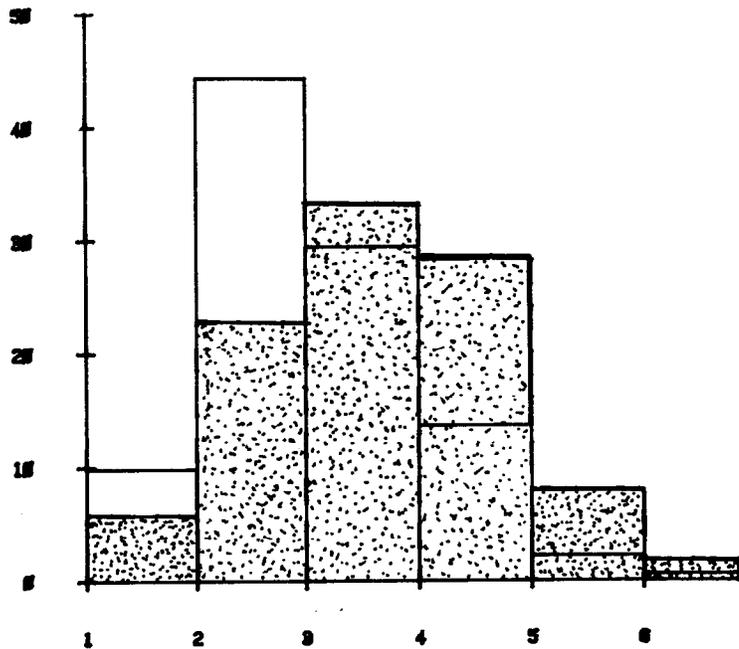


Fig. 14. Force du vent
Wind strength

Influence des facteurs de l'environnement sur les observations de thonidés
Environment parameters and tuna spotting

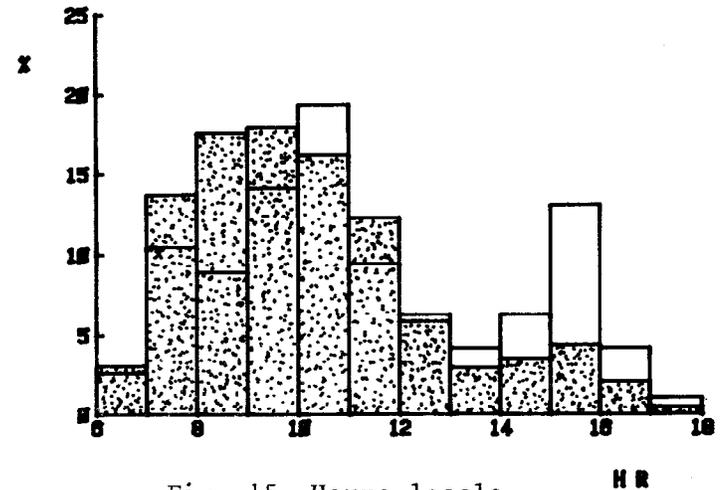


Fig. 15. Heure locale
Local time

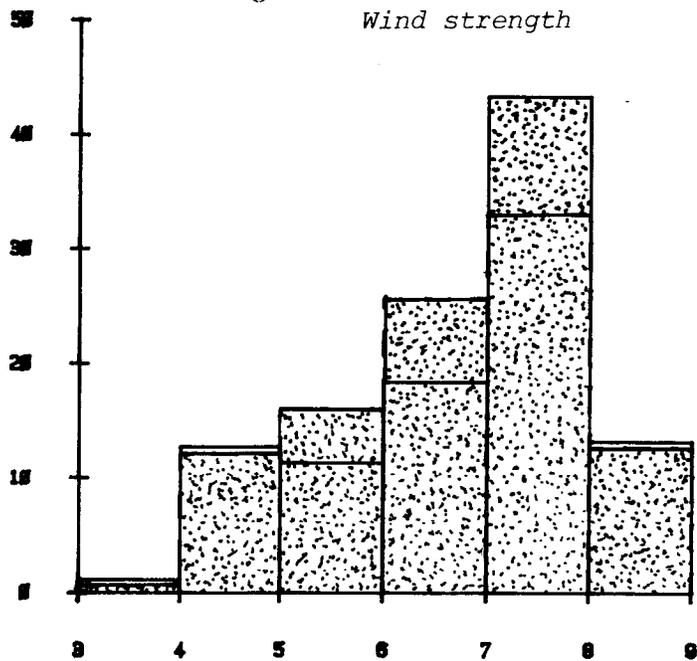


Fig. 16. Nébulosité
Cloud cover

LEGENDE - KEY

 % du nombre de thonidés sélectionnés
% number of tuna spotted.

 % du temps de vol
% of flight time

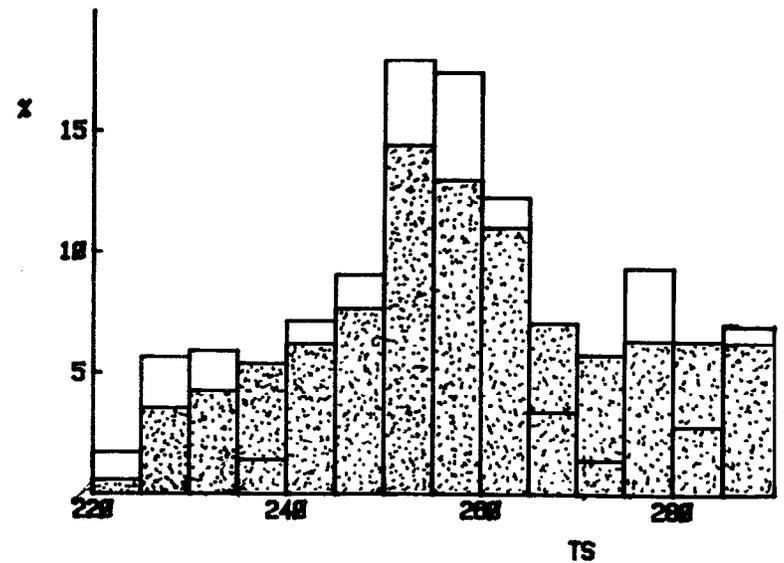


Fig. 17. Température de la mer
Sea surface temperature

exposée ci-avant. On remarque que 74 % des observations de thonidés ont eu lieu entre 24° et 26.5°C pour 51 % du temps de vol. Si l'on restreint la plage de température à 25.0°C - 26.5°C, on obtient encore 48 % pour le taux d'observations pondérées (contre 36 % pour les enregistrements. Ces remarques sont à rapprocher de l'étude des fronts (I.3.8) : plus de 80 % des fronts affectent l'isotherme 25°C et 41 % sont centrés sur ce dernier. Ceci soutient fortement l'hypothèse selon laquelle, lorsque le poisson est présent, les thonidés se concentrent près des fronts et particulièrement du côté chaud. Prouver cette hypothèse directement ou en évaluant les gradients thermiques à partir de nos données est, en fait, très difficile, voire impossible, pour les raisons suivantes :

- les gradients forts peuvent être sous-estimés puisque calculés sur une radiale et les vols sont souvent effectués le long du front (côté chaud), les radiales étant parallèles aux isothermes ;

- il est difficile d'éliminer par une méthode informatique les gradients forts parasites dûs aux redondances ou à l'approche des côtes, îles et récifs ;

- les vols ne sont pas aléatoires puisque nous avons, bien entendu, recherché et volé beaucoup plus dans les zones à gradients élevés (cf. méthodologie de la radiométrie aérienne associée à la prospection thonière exposée dans les précédents rapports) ;

- les gradients élevés n'ont pas la même "valeur" pour la pêche selon la valeur centrée de la température : un front entre 23°C et 25°C est plus intéressant dans cette région qu'entre 21 et 23°C...

of tuna sightings took place between 24° and 26.5°C for 51 % of the flying time. If the temperature range is reduced to 25°-26.5°C, we still get 48 % of weighted sightings and 36 % of the recordings. These findings must be compared with the fronts study (I.3.8.) which showed that over 80 % of the fronts affect the 25°C isotherm and 41 % are centred on it. This supports the hypothesis that where tuna is present it concentrates near the fronts, particularly on the warm side. In actual fact this hypothesis is very difficult, even impossible, to prove directly or by evaluating the thermal gradients from our data, for the following reasons :

- *sharp gradients can be underestimated since they are calculated on a transect while the flights are often made along the front (on the warm side), the transects being parallel to the isotherms ;*

- *it is difficult to eliminate during processing the spurious sharp gradients resulting from redundancies or the proximity of coasts, islands and reefs ;*

- *the flights were not random flights since we naturally flew as much as possible in sharp-gradient areas (cf. methodology of aerial radiometry for tuna survey, as outlined in the previous reports) ;*

- *sharp gradients are of variable usefulness for fishing, according to the temperature range : a front between 23°C and 25°C is more useful in this area than a front 21°C and 23°C...*

II.1.6. - Courants de surface

Nous avons aucune mesure de courant de surface pour la période couvrant les prospections. Cependant, compte-tenu des causes de la frontogénèse (cf. I.3) il est hautement probable que les courants de surface jouent un rôle dans la concentration des thonidés (cf. chap.I).

II.1.7. - Couleur de l'eau

Lorsque l'eau est verte ou lorsqu'il y a en surface de longues lignes de concentration de phytoplancton, ceci a été codé. Les lignes peuvent avoir plusieurs dizaines de milles de long sur quelques dizaines de mètres de large, elles sont visibles lorsque la mer est calme et semblent être parallèles aux lignes de courant.

Ces eaux "vertes" sont le plus souvent près des îles et dans le Sud du chenal des Hébrides. Nous avons trop peu d'observations pour faire une analyse sérieuse, mais il semble que les secteurs correspondants présentent une richesse biologique plus grande.

II.2. - Répartition spatiotemporelle des observations des thonidés

Selon les conditions météorologiques et selon le moment de la journée, l'efficacité d'un vol, c'est-à-dire la probabilité de voir du poisson, sera plus ou moins forte, toutes choses étant égales par ailleurs (cf. II.1). Ceci nous amène à définir la notion d'effort de recherche.

II.1.6. - Surface currents

We have no surface current measurement for the survey period. However, in view of the causes of front formation (cf.I.3) it is highly likely that surface currents do play a part in tuna aggregation (cf. Chapter I).

II.1.7. - Water colour

When the water was green or streaked with phytoplankton, these phenomena were recorded. Phytoplankton streaks can be several dozen miles long and some tens of meters wide. They are seen when the sea is calm and appear to be parallel to the current lines. They were most common near islands and in the southern part of the New Hebrides Channel. We do not have enough data for a valid analysis, but the areas where these features were observed would seem to be more productive.

II.2. - Space-time distribution of tuna sightings

According to the weather conditions, and according to the time of the day, the probability of seeing fish during a flight will be greater or lesser, all other conditions being equal (cf. II.1). This leads us to define the concept of search effort.

II.2.1. - Définition de l'effort de recherche et de l'indice d'efficacité

Le principal intérêt du modèle précédemment utilisé est de pouvoir éliminer dans le traitement l'influence de deux facteurs état de la mer (a(i)) et moment de la journée (b(j)). Aussi, préférons-nous à l'heure de vol l'enregistrement pondéré (défini dans II.1) comme unité d'effort de recherche.

Exemple : un enregistrement effectué le soir par un vent de 8 noeuds sera multiplié par :

2.02 (soir)
et 1.45 (mer calme).

L'effort de recherche (E.R.) d'un vol de 5 heures effectué dans des conditions moyennes sera théoriquement de :

- 5 heures x 12 enregistrements/heure x 1 (coefficient de pondération)
- (rappel ; il y a, en moyenne, un enregistrement toutes les 5 minutes)

soit E.R. = 60 unités

alors que un vol de 3 heures effectué le soir par mer calme correspondra à un effort de recherche de :

- 3 heures x 12 enregistrements x (2.02 x 1.45) (coefficient de pondération)

soit E.R. = 105.4 unités.

Nous pouvons prendre comme indice d'efficacité d'un vol le rapport :

$$e = \text{E.R.} / \text{nombre d'observations}$$

l'efficacité rapportée à un secteur, par exemple 1 degré-carré, sera fonction de l'abondance relative du poisson. Il sera d'autant plus intéressant qu'il sera faible.

II.2.1. - Search effort and efficiency index

The main value of the model previously used is to eliminate during processing the effect of the two factors : a (i) sea condition and b (j) time of day. Thus, instead of using the flying hour, we have preferred to take the weighted recording defined in II.1 as the unit of search effort.

Example : a recording made in the evening with an 8 knot wind will be multiplied by :

2.02 (evening)
and by 1.45 (calm sea).

The search effort (E.R.) of a 5 hour flight made in medium conditions will in theory be :

- 5 hours x 12 recording/hour x 1 (P factor)

(reminder : there is, on the average, one recording every 5 minutes)

E.R. = 60 units

while a 3 hour flight made in the evening with calm seas will represent a search effort of :

- 3 hours x 12 recordings x 2.02 x 1.45 (P factor)

or E.R. = 105.4 units

The efficiency index for a particular area, a one degree square for example, will thus vary with the relative abundance of fish. The lower the value of e, the better.

II.2.2. - Répartitions spatiales des observations (fig.n°19)

Nous avons découpé la zone d'étude en degré-carré, calculé les E.R. puis regroupé les carrés d'efficacité comparable. Ont été éliminés les carrés présentant un E.R. \leq 20 car alors le secteur est considéré comme insuffisamment prospecté.

Pour chaque secteur, nous avons noté la moyenne de l'efficacité de l'effort de recherche des carrés regroupés ainsi que le pourcentage des observations de thonidés. La carte (fig.n° 19) qui en résulte montre que :

. les régions insuffisamment prospectées correspondent aux accores de la Z.E.E. et au Nord et à l'Ouest de Santo (cf. les conditions météorologiques limites pour la sécurité (orages ...) et les problèmes logistiques (aéroport fermé) dans cette région. Dans ce cas, les mattes observées n'ont qu'une valeur indicative.

. Le classement des secteurs par l'indice d'efficacité - assimilable à un indice d'abondance - est le suivant en commençant par le secteur le plus favorable aux concentrations de thonidés :

Clas.	Secteur	\bar{e}	$\overline{\text{E.R.}}$	% d'observ.	Remarques
1	W Santo	18	91	15.5	Même par fort alizé ce secteur reste favorable aux observations car il est relativement déventé
2	EST-TANNA ANATOM	43	92	9.1	Correspond souvent à la région Nord des fronts zonaux ou en forme de langue. L'effort de recherche relativement faible par rapport à la densité de vol dans cette région est dû probablement à un alizé souvent fort.
3	Nord Calédonie	46	124	17.3	Correspond très fréquemment à la région Nord-Ouest de zones frontales en forme de langue (I.3).
4	Côte Ouest Calédonie	52	419	26.4	Ce secteur a été particulièrement étudié dans le cadre de la convention ORSTOM/Nouvelle Calédonie
5	VILA	64	176	17.3	Correspond très fréquemment à la région Nord-Est des zones frontales en forme de langue (I.3).
6	MALLICOLO- PENDECOTE-AMBRYM	103	123	2.7	Pourcentage d'observation faible.
7	Est Loyauté	113	272	10	Région souvent située sur le front proprement dit
8	Chenal des Loyauté	159	251	4.5	
Hors clas.	Est	22	22	1.8	Effort de recherche insuffisant

II.2.2 - Space distribution of sightings (Fig.19)

We divided the study area into degree squares, calculated the search effort values (E.R.) then grouped the squares with comparable efficiency indices. Squares with an E.R. value equal to or less than 20 were excluded because such areas were regarded as inadequately surveyed.

For every area we noted the mean efficiency of the search effort in the grouped squares, as well as the percentage of tuna sightings. The resultant map (Fig.19) shows :

. the inadequately surveyed areas to be the edges of the EEZ and the waters North and West of Santo (because of bad weather - storms- making flying hazardous, and logistic problems-airport closed). In these areas, the percentage of sightings merely constitutes a rough indication.

. classification of the areas by efficiency index - which in fact is also an abundance index - to be as follows, starting with the area where tuna concentrations were in theory most likely to occur :

Classifi- cation	Area	\bar{e}	\overline{ER}	% sightings	Comments
1	W SANTO	18	91	15.5	Even with strong trade winds This area is favourable for sightings as it is relatively sheltered.
2	E. TANNA ANATOM	43	92	9.1	Often coincides with the northern part of zonal or tongue-shaped fronts. The relatively low search effort, compared with the number of flying hours in the region, probably due to the often very strong easterly winds.
3	North of New Caledonia	46	124	17.3	Very often corresponds to the north-west part of tongue-shaped fronts (I.3)
4	W. Coast New Caledonia	52	419	26.4	This area was surveyed with special care under the ORSTOM New Caledonia Agreement.
5	VILA	64	176	17.3	Very often corresponds to the north-east part of the tongue-shaped fronts (I.3)
6	MALEKULA-PENTE- COST AMBRYM	103	123	2.7	Low sightings percentage
7	East Loyalty	113	272	10	Often situated right on the front
8	Loyalty Channel	159	251	4.5	
Unclassified	East	22	22	1.8	Search effort inadequate.

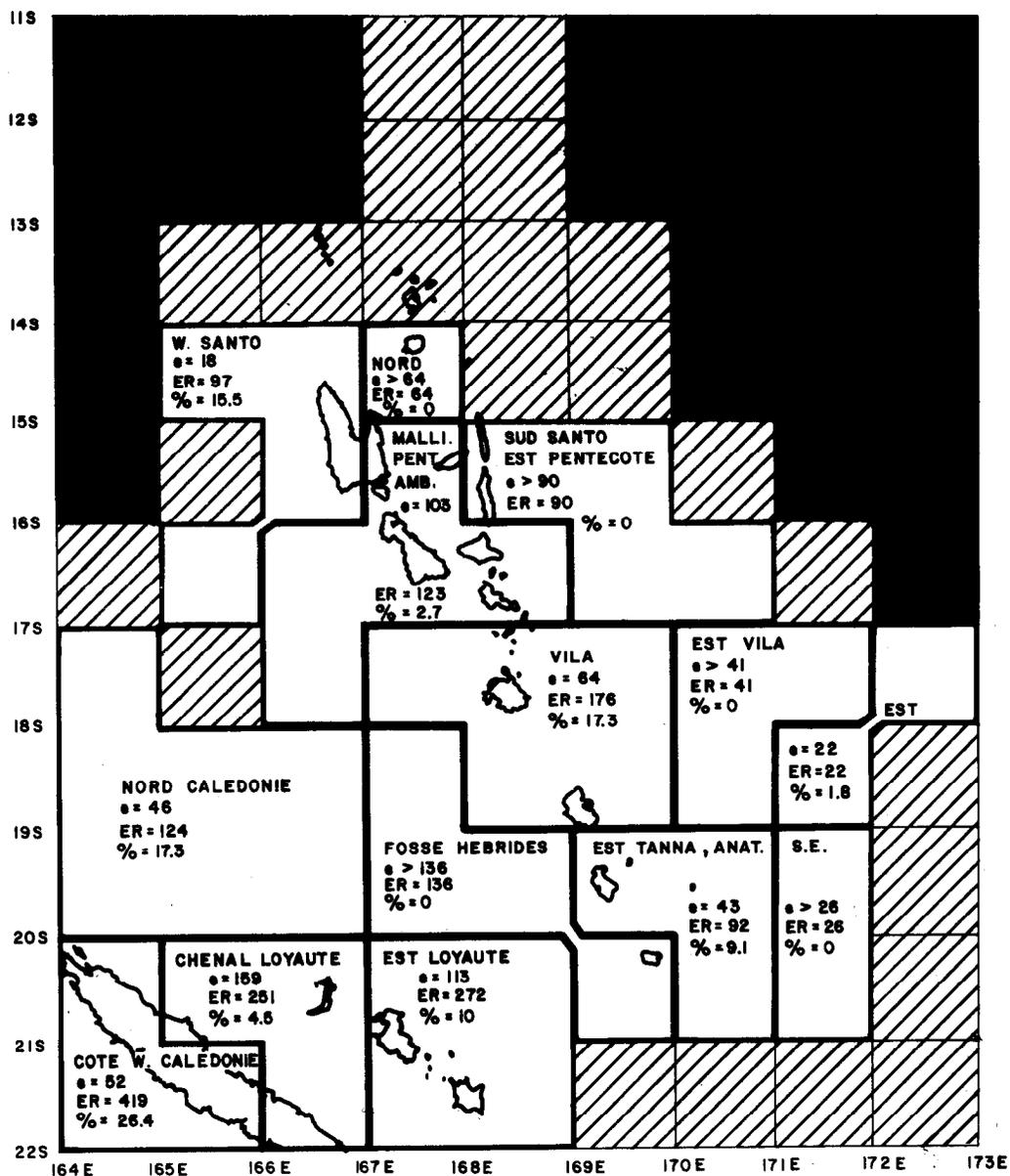


Fig. 19 - Répartition des observations
Spatial distribution of sightings.

e = efficacité moyenne

ER = effort de recherche moyen

% = % du nombre d'observations. (Nombre total d'observations : 110)

▨ : Secteur insuffisamment prospecté

■ : Secteur non prospecté.

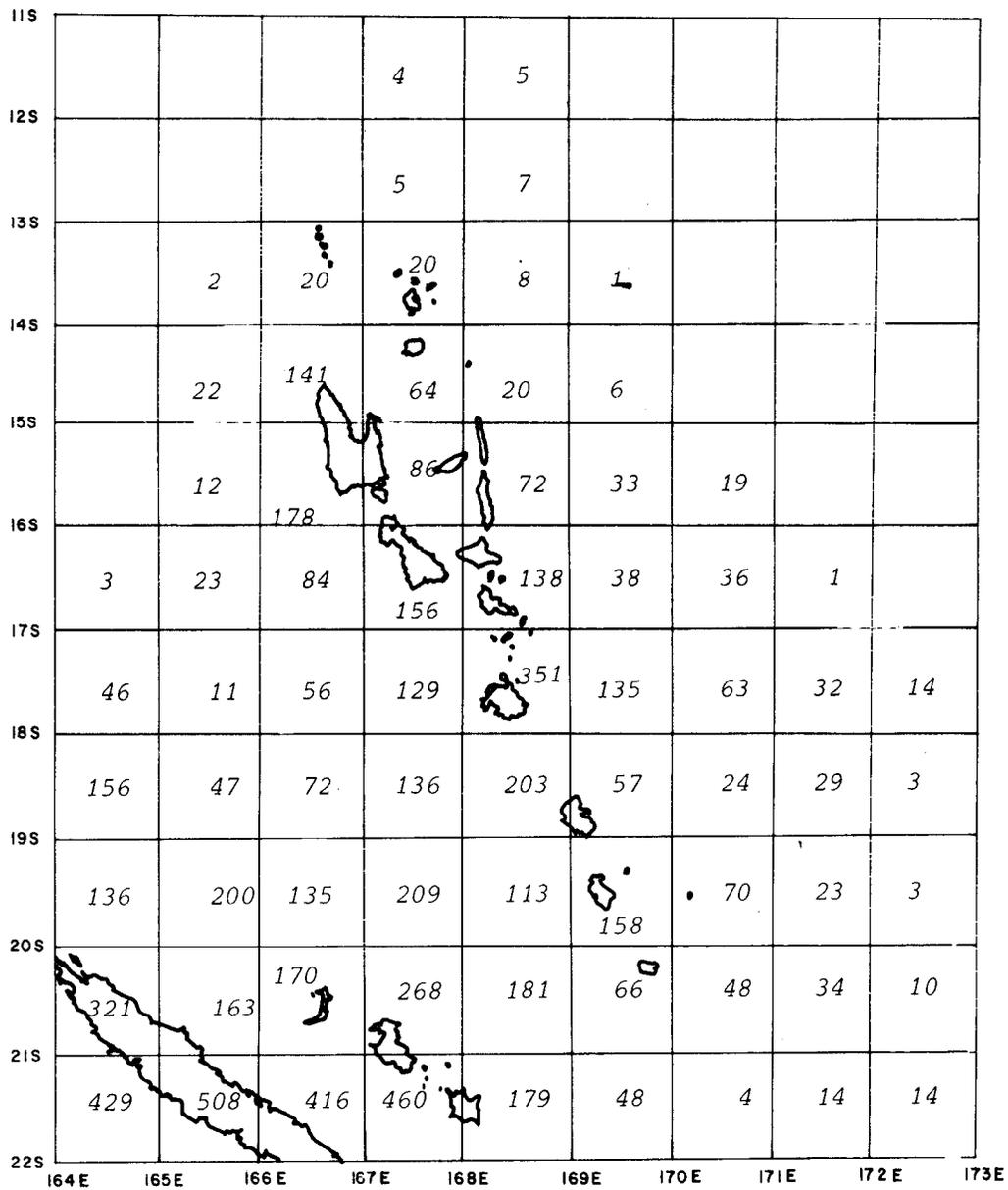


Fig. 20. - Répartition spatiale de l'effort de recherche
Space distribution of search effort.

. D'autre part, les secteurs Sud Santo et Est Pentecôte , malgré un effort de recherche moyen de 90 unités/degré-carré n'ont donné lieu à aucune observation bien qu'ils se situent dans la région des fronts zonaux. Cependant, nos vols n'ont jamais coïncidé avec la présence de ces derniers.

. Le fait qu'aucune observation n'ait été faite dans la région de la fosse des Hébrides invite à penser que le gradient bathymétrique influe sur l'abondance.

. Enfin, il faut garder à l'esprit que la "non-observation", compte-tenu du faible nombre de mattes repérées (110) n'est pas significative et qu'il s'agit ici d'établir un indice d'abondance qu'il faut donc utiliser avec prudence.

II.2.3. - Variations saisonnières (Tableau n°6)

Cette opération a confirmé que les thonidés sont présents toute l'année dans la zone d'étude. Les canneurs japonais ont démontré depuis 1974 que les rendements dans la dite zone sont supérieurs à la moyenne (cf.I.2), en exploitation commerciale de novembre à mars. La dispersion des observations aériennes rend difficile l'étude des variations saisonnières. L'élément nouveau de cette étude est la mise en évidence d'une période hivernale (centrée sur août) de concentration des mattes plus particulièrement de thons jaunes.

. In South Santo and East Pentecost, despite a mean search effort of 90 units/degree square and the fact that they are in the area where zonal fronts occur, not a single sighting was made. However, our flights never coincided with the presence of zonal fronts.

. The fact that there were no sightings in the New Hebrides trench area suggests that the bathymetric gradient affects abundance.

. Lastly, it must be borne in mind that, in view of the small total number of schools seen (110), lack of sightings is not significant. Our purpose here is to establish an abundance index, which must be used with caution.

II.2.3. - Seasonal variations (Table N_o6)

Our survey confirmed that tuna were present all the year round in the study area. Records of the Japanese commercial pole-and-liners since 1974 show above average catches per unit of effort (cf.I.2) in this area from November to March. The scattering of our aerial sightings makes it difficult to establish seasonal variations. One new fact brought to light by our study was the existence of an August-centred winter period of school concentrations, particularly of yellowfin.

Tableau n° 6. - Variation mensuelle des observations aériennes de thonidés

Table N. 6. - Monthly variation of aerial tuna sightings

Mois Months	E.R.	% d'observations % of sightings	e
03	198	5.63	42
04	900	7.33	148
05	75	6.32	14
06	414	6.87	73
07	552	19.17	35
08	634	25.79	29
09	426	9.35	55
10	567	3.11	218
11	609	11.32	64
12	142	5.11	33

Les mois les plus dépourvus en observations ont été avril et octobre (E.R./Obs. 148 en avril, 218 en octobre contre 29 en août !).

Ces mois correspondent au changement de saison et à une certaine instabilité hydrologique. Peut-être cela provoque-t-il la dispersion des poissons ou des variations dans les flux migratoires. Par ailleurs, les vols effectués alors ont pâti de trop mauvaises conditions météorologiques.

The poorest months were April and October (E.R./sight. 148 in April, 218 in October, against 29 in August !)

These months are change-of-season periods marked by a certain hydrological instability which may cause dispersal of the fish or variations in the migration patterns. In addition, our flights in these two months were hampered by very bad weather conditions.

II.3. - Caractéristiques des bancs observés

Dans la zone d'étude, nous avons observé 110 bancs de thonidés qui se répartissent ainsi ;

- composition par espèce :

26 % de thons jaunes - 40 % de bonites -
13 % de mattes comportant thons jaunes et bonites - 5 % non déterminés.

- composition par comportement :

44 % des mattes "bouillonnaient" ("brisant"), 56 % étaient en subsurface (rides sur l'eau, ou quelques sauts de poissons), 7 % des observations se présentaient sous la forme de plusieurs mattes en surface.

Ces chiffres sont à rapprocher des résultats obtenus par le programme "bonite" de la C.P.S. : "brisant" : 29 %, subsurface 42 % indéterminé 29 %. (17).

- association avec les oiseaux :

95 % des mattes observées étaient associées à des groupes d'oiseaux chassant. Ces vols représentent seulement 30 % des observations d'oiseaux (nous en avons enregistré 348).

- association avec les épaves (troncs d'arbres objets flottants...) :

8 bancs de thonidés ont été repérés en association avec des épaves.

II.3. - Characteristics of schools sighted

Breakdown of the 110 tuna schools sighted in the study area is as follows :

- *breakdown by species :*

*26 % yellowfin - 40 % skipjack -
13 % yellowfin + skipjack - 5 % indeterminate.*

- *breakdown by behaviour :*

*44 % of the schools were 'boilers',
56 % were subsurface 'rippers' (ripples on the water, or some 'jumpers'). 7 % of the sightings involved several surface schools together.*

These figures should be compared with the results of the S.P.C. Skipjack Programme : 29 % boilers, 42 % subsurface, 29 % indeterminate (17).

- *association with birds :*

95 % of the schools sighted were associated with flocks of birds fishing. These fishing flocks represent only 30 % of our total bird sightings (we recorded 348).

- *association with flotsam (tree trunks, floating objects ...)*

Eight of the tuna schools sighted were associated with flotsam.

CHAPITRE III.CONCLUSION : PERSPECTIVES DE PECHE

III.1. - Synthèse des connaissances.

III.2. - Evaluation du potentiel de capture
- choix du type de pêche - perspective de recherche.

CHAPTER IIICONCLUSION : FISHING PROSPECTS

III.1. - Summary of knowledge

*III.2. - Assessment of catch potential -
choice of fishing method -
further research required.*

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

Les premières sont assez bien connues pour la bonite et le thon jaune, et ne diffèrent que très peu d'une zone à l'autre.

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

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

III.1. - Synthèse des connaissances et hypothèse sur l'écologie des thonidés dans la zone d'étude

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

When studying tuna species of commercial value, such as skipjack and yellowfin, the usual approach is to describe their biological, ecological and fisheries characteristics.

The first are fairly well known for skipjack and yellowfin, and they do not differ much from one zone to the next.

The second group of characteristics concerns tuna behaviour in response to environmental factors and can vary considerably from place to place. These characteristics affect the probability of tuna presence. They form the specific field of study for our aerial radiometry and survey operations.

The fisheries characteristics concern the accessibility of the resource or the vulnerability of the fish to certain fishing gear. These vary even more widely from one area to the other and can only be studied with fishing vessels. Aerial survey experts can assess the fishing technique best suited to the type of behaviour of the fish.

III.1 - Summary of knowledge and assumption on the ecology of tuna in the study area.

In the foregoing chapters we established that tuna were present in the study area throughout the year. Two hypotheses may be put forward to account for this constant presence :

- les effets d'îles

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

- Flux migratoires (tabl. n°1)

Les marquages de la C.P.S. (17) ont montré que les bonites présentes dans les eaux de Vanuatu ne formaient pas une population distincte du stock du Pacifique-Ouest. Il semble que les poissons de surface soient assujettis à des migrations différentes selon leur âge ou leur état physiologique. Ainsi, les variations d'abondance saisonnières résulteraient de l'importance relative de deux flux migratoires : l'un, à déterminisme trophique, dirigé vers le Sud de l'Équateur à la Nouvelle-Zélande d'octobre à mars, l'autre lié à la reproduction, du Sud vers le Nord d'avril à septembre.

L'aspect quantitatif de l'influence des migrations sur l'abondance en un lieu donné, ne nous est pas vraiment connu.

Par contre, il faut insister sur les conséquences pratiques. En effet, supposons par exemple, que le stock de thonidés présents dans les eaux de Vanuatu soit, pour la plus grande partie de l'année, lié aux îles ; il serait limité et nécessiterait une gestion autre que celle d'un stock lié exclusivement

- Islands effects

The land-sea exchanges and the cold water upwellings on the reef edges can be effective and permanent enough to sustain a food chain capable of 'holding' a tuna population. This does not mean that the group remains completely isolated. When migrating schools come through the area, some exchange probably occurs.

- Migration patterns (Table N_o1)

The S.P.C. tagging programme showed (17) that the skipjack present in the Vanuatu waters did not form a distinct population in the Western Pacific stock. Surface tunas appear to have different migration patterns according to their age or physiological condition. Thus seasonal abundance variations may result from the relative size of two migratory streams : one with a trophic determinism moving southwards from the Equator to New Zealand, from October to March, the other associated with reproduction, moving from South to North from April to September.

We are largely ignorant of the quantitative effects of migrations on abundance in a given place.

On the other hand, the practical consequences of the hypotheses must be underlined. Let us, for instance, assume that the tuna stock found in the Vanuatu waters is, for the greater part of the year, present there because of the island effect. In this case it would be limited, and would have to be managed

aux migrations. L'existence du phénomène, d'effets d'îles à Vanuatu est certaine : (îles hautes, hauts-fonds ...). Par ailleurs, les faits semblent montrer que Vanuatu soit une zone d'engraissement (présence d'appâts ...) et de reproduction (poissons de très petites tailles, région chaude et dessalée favorisant la ponte, par exemple Big Bay (19)). Rappelons, pour mémoire, l'importance des structures hydrologiques dans notre zone d'étude sur les concentrations de poisson (cf. chap. I et II).

Ainsi, les deux explications envisagées sont très probablement complémentaires.

III.2. - Evaluation du potentiel de capture-choix du type de pêche

III.2.1. - Evaluation des captures potentielles (13)(16)(18).

Si l'on se limite à notre zone d'étude, des captures en thonidés de surface de l'ordre de plusieurs dizaines de milliers de tonnes peuvent être envisagées. Cette estimation doit être manipulée avec prudence et ne repose que sur une certaine expérience des problèmes thoniers appréhendés par l'observation aérienne et non sur les bases mathématiques qu'à l'heure actuelle, nous essayons de préserver.

Selon les résultats du programme "bonite", les ressources en bonites, dans la région CPS, pourraient être évalués à environ 3.1 millions de tonnes et l'effort de pêche (pêche actuelle : 200.000 tonnes) pourrait être multiplié par quinze sans risque de surpêche.

quite differently from a stock resulting exclusively from migrations. The existence of the island effect phenomenon in Vanuatu is quite certain (high islands, sea mounts ...). Other data suggest that Vanuatu acts as a 'fattening ground' (presence of baitfish...) and spawning place (very small fish sizes, warm water with low salinity suitable for spawning (as in Big Bay)(19). The impact of hydrological features in our study area on tuna concentrations (cf. Chapters I and II) must be born in mind.

The two explanations considered are thus very probably complementary.

III.2. - Assessment of catch potential - choice of fishing method

III.2.1. - Assessment of potential (13) (16)(18).

If we confine ourselves to our study area, potential surface tuna catches may be estimated at around several tens of thousands of tons. This estimate must however be regarded with caution, for it is merely the result of a certain amount of experience with tuna-related matters, acquired by aerial surveys, and is not based on any thorough mathematical analysis, such as we are at present attempting to develop.

According to the Skipjack Programme results, skipjack resources in the S.P.C. area can be estimated at around 3.1 million tons and the fishing effort (present catch : 200,000 tons) could be multiplied by fifteen without any risk of overfishing.

Il est très difficile de donner une évaluation des ressources rapportées à une zone économique car cette limite n'a pas de sens en océanographie ou en halieutique. Ceci est particulièrement vrai pour les ZEE de Vanuatu et de Nouvelle-Calédonie qui font partie du même complexe hydroclimatique.

III.2.2. Choix du type de pêche

Les conditions météorologiques (fig.2) et le comportement des mattes en surface permettent d'envisager une pêche à la senne. Il faut cependant tenir compte de l'existence d'une saison des cyclones et dépressions tropicales en été austral. Il faut garder présent à l'esprit qu'à l'heure actuelle, un tel type de pêcherie ne peut se cantonner dans les limites d'une ZEE et que la position de l'archipel entre deux secteurs déjà en exploitation (P.N.G., Nouvelle-Zélande) constitue un atout certain pour Vanuatu.

Si les mattes observées n'étaient pas toutes sennables, par contre toutes auraient intéressé un canneur. Dans ce cas, le problème se ramène donc à la capture de l'appât. Les études en cours au Service de la Pêche devraient permettre de lever le doute sur l'abondance de l'appât dans l'archipel (14). En fait, les conditions météorologiques moyennes permettraient de commencer une exploitation avec des navires de petites

It is very difficult to assess a resource in terms of a given economic zone, for such a zone is a meaningless concept as far as oceanography and fisheries science are concerned. This is particularly true of the EEZ of Vanuatu and of New Caledonia which belong to the same hydroclimatic system.

III.2.2. - Choice of fishing method

Meteorological conditions (Fig.2) and the behaviour of surface schools make seine fishing feasible. The occurrence of cyclones and tropical depressions during the southern summer must however be taken into account. It must be realised that, at the present time, seining cannot be confined within one EEZ and that the position of Vanuatu between two areas where seiners are already operating (P.N.G. and New Zealand) is a considerable asset.

Of the schools seen, not all were suitable for seining. On the other hand all could have been fished with pole-and-line, in which case the only problem is the availability of baitfish. The studies now being conducted by the Fisheries Department should dispel doubts as to baitfish abundance in Vanuatu (14). The average weather conditions prevailing would allow commercial operations to start with small ships (100 gross tons), but it would

tailles (100 tjb) mais l'on pourrait aussi utiliser des navires de plus fort tonnage (250 tjb) qui pourraient travailler sur l'ensemble de la zone. Dans ce dernier cas, il est nécessaire que l'appât puisse être fourni régulièrement et en quantité suffisante. Une analyse sérieuse de rentabilité sera, dans tous les cas, indispensable.

Quelles que soient les solutions adoptées, parallèlement une étude économique d'implantation d'une conserverie s'avèrera être un élément décisif pour le développement de cette industrie.

III.2.3. - Plan de développement

Il serait inutile de continuer les opérations de radiométrie et prospections aériennes si des essais de pêche en vraie grandeur ne sont pas effectués. La suite logique à donner à ce programme serait :

- d'obtenir des accords avec les compagnies exploitant les senneurs en P.N.G. et en Nouvelle-Zélande afin que ces bateaux assurent un effort de pêche pendant des périodes conséquentes (plusieurs mois) ;
- qu'une compagnie de pêche à la canne mette en place au moins deux bateaux dans la zone d'étude pendant un à deux ans.;

Un support aérien depuis Vila et Santo associé à la radiométrie serait alors souhaitable et optimisé.

Pour être en accord avec les estimations précédentes, les rendements moyens à obtenir sur une année seraient de 3 à 400

also be possible to use larger vessels (250 gross tons) operating over the whole zone. In the latter case, adequate quantities of live bait would need to be supplied regularly. A comprehensive feasibility study will, in any event, have to be undertaken.

Whatever the method adopted, an economic study for the establishment of a tuna cannery will need to be carried out concurrently, and will prove decisive for the development of a tuna industry.

III.2.3. - Further research required

It would be useless to pursue radiometry and aerial survey operations if no full-size fishing trials are conducted. The logical follow-up to our survey would be :

- to draw up agreements with companies operating seiners in Papua New Guinea and in New Zealand, under which these ships would exert a fishing effort in the area over relatively long periods (several months) ;
- to get a pole-and-line fishing company to operate at least two ships in the study area for one to two years.

Survey flights from Vila or Santo, together with radiometry, would have maximum usefulness and significance in association with such fishing vessels.

On the basis of the estimates previously given, the mean catch rates to be aimed at over a year would be 3 to 400 tonnes/month

tonnes/mois pour un senneur et 80 à 100 tonnes/mois pour un canneur.

Un économiste des pêches devrait alors suivre et analyser les résultats de ces campagnes expérimentales afin de déterminer les seuils de rentabilités et le quota minimum des prises en fonction du marché international.

Ces expériences de pêches nécessitent probablement un apport financier conséquent. Mais il faut penser à les comparer aux résultats qu'ils peuvent amener. (Par exemple, le coût de notre opération correspond seulement à la valeur de 100 tonnes de bonites ou encore au coût de location d'un canneur pendant un mois ou d'un bateau océanographique pendant deux mois).

Enfin, des recherches devraient être entreprises afin de connaître les zones de ponte, la production des effets d'îles, la structure des populations de thonidés vivant près des îles, leur déplacement (marques ultrasoniques...), les mouvements des thons par rapport aux fronts thermo-halins, leur état physiologique, selon les lieux et les saisons etc...

for a seiner, and 80 to 100 tonnes/month for a pole-and liner.

A fisheries economist should compile and analyse the results of these fishing trials, so as to determine profitability thresholds and minimum catch quotas for the international market.

These fishing trials will probably involve a considerable financial outlay, but this must be weighed against the benefits it may eventually give rise to. For example, the ORSTOM survey only cost the equivalent of 100 tonnes of skipjack, or of chartering a pole-and-liner for one month, or a research vessel for two months.

Lastly, research should be undertaken to determine spawning zones, the productivity of the island effect, the structure of the tuna populations near the islands, their movements (ultrasonic tagging), tuna school movements in relation to the thermohaline fronts, their physiological condition according to place and season, etc...

BIBLIOGRAPHIE

1. - PETIT (M.) et MARSAC (F.) - 1980. Radiométrie aérienne et prospection thonière. Vanuatu. Rapport préliminaire n° 1.
2. - MARSAC (F.) - 1981. Radiométrie aérienne et prospection thonière. Vanuatu. Rapport préliminaire n°2.
3. - PETIT (M.) et GOHIN (F.) - 1982. Radiométrie aérienne et prospection thonière. Vanuatu. Rapport préliminaire n°3.
4. - CONAND (F.) - 1982. Premiers résultats sur l'étude des larves de thonidés (communication personnelle).
5. - GRANDPERRIN (R.) - 1982. Quelques données de traîne à Vanuatu. comm. pers.
6. - ANONYME - 1966. Dix années d'observations météorologiques aux Nouvelles Hébrides. Service météorologique de Nouvelle-Calédonie.
7. - ROCHEFORD - 1977. The surface salinity regime of the Tasman and Coral seas Report C.S.I.R.O. n° 84
8. - HENIN (C.), CHABERT (L.), GUILLERM (J.M.) - 1982. Observation de surface à bord du N.O. VAUBAN R S T n° 25. ORSTOM. Nouméa.
9. - HENIN (C.) et al.- 1980. Résultats de la campagne hydrothon 03 R S T n°10 ORSTOM. Nouméa.
10. - PETIT (M.) et GOHIN (F.) - 1982. Radiométrie aérienne et prospection thonière Nouvelle-Calédonie. Rapport de Convention. Centre ORSTOM de Nouméa.
11. - MARCILLE (J.) et BOUR (W.) - 1981. La pêche des thons à la senne et à la canne dans l'océan Pacifique tropical. Travaux et documents de l'ORSTOM n° 134.
12. - ROCHEFORD - 1977. The surface salinity regime of the Tasman and Coral seas. Report C.S.I.R.O. n° 84.
13. - GRANDPERRIN (R.) - 1982. Les pêcheries à Vanuatu : état actuel et perspectives de développement et de recherches. Notes et doc. n°1. ORSTOM. Port-Vila.
14. - GRANDPERRIN (R.), GILLET (B.), De REVIERS (X.), THERIAULT (M.) - 1982. Appât vivant à Vanuatu, campagne explorative Livebait n° 2. ORSTOM.
15. - ANONYME - 1974 à 1979). Annual report of effort and catch statistics by area. Japanese skipjack baiboat fishery.
16. - ANONYME - 1980. Effort de pêche et prises de bonites réalisées de 1972 à 1978 par la flotille de canneurs japonais dans la zone des 200 milles des pays situés dans la zone d'action de la CPS. Programme bonite, R.T. n°2.

17. - KEARNEY (R.E.), LEWIS (A.D.), HALLIER (J.P.). 1978. Rapport intérieur sur les activités au titre du programme d'étude et d'évaluation des stocks de bonites dans les eaux des Nouvelles-Hébrides. Rapport préliminaire n°4. C.P.S.
18. - ANONYME - 1982. Mise à jour de l'évaluation des ressources en bonites et en poissons d'appâts. Programme bonite. Conf. de la C.P.S. Juillet 82, doc. de travail n°11.
19. - CHAMPAGNAT (C.) - 1974. Structure de la population d'albacores de l'Atlantique Tropicale Orientale CRO. Dakar. Archive n°9.

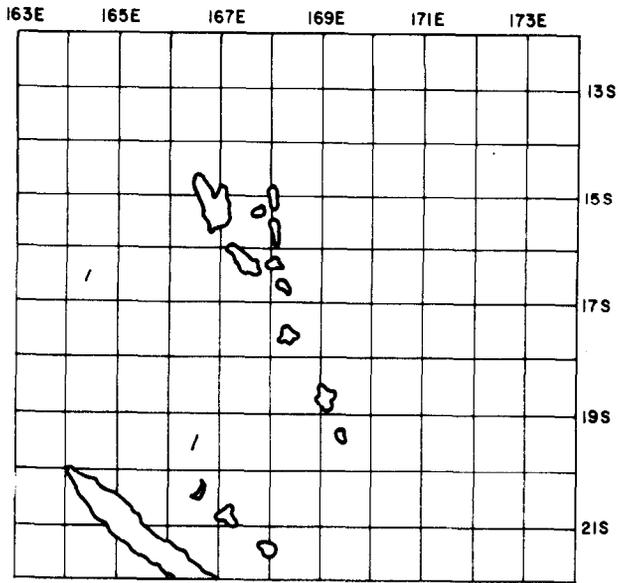
ANNEXE A. - Prises des canneurs japonais dans la zone d'étude
de 1974 à 1979. (15).

Catches of Japanese pole-and-liners in the study zone from
1974 to 1979 (15)

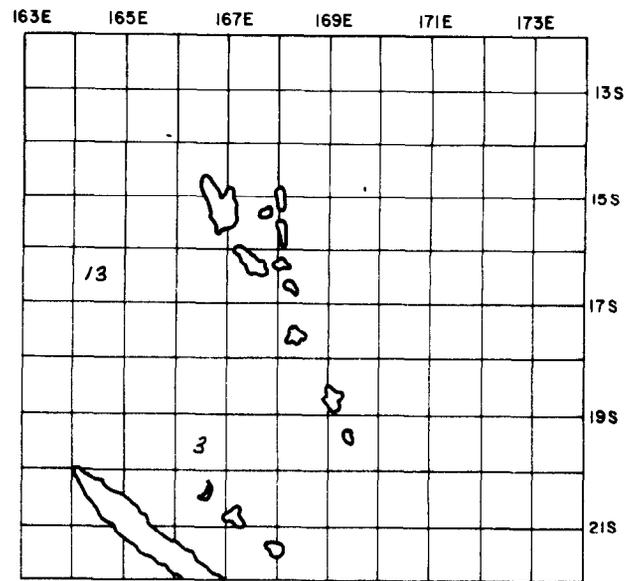
PRISES MENSUELLES ENTRE MARS 1974 ET DECEMBRE 1979
MONTHLY CATCHES BETWEEN MARCH 1974 AND DECEMBRE 1979

E = EFFORT DE PÊCHE (JOUR-BATEAU)
FISHING EFFORT (DAY-BOAT)

Q = PRISES (TONNES)
CATCHES (TONS)

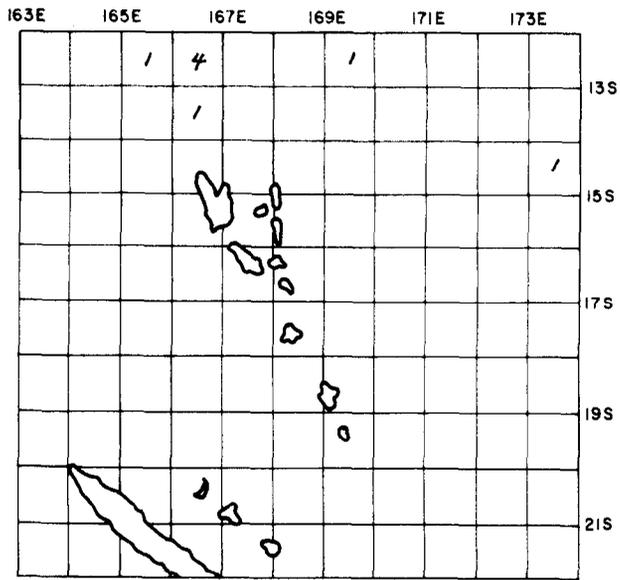


$E = 2$

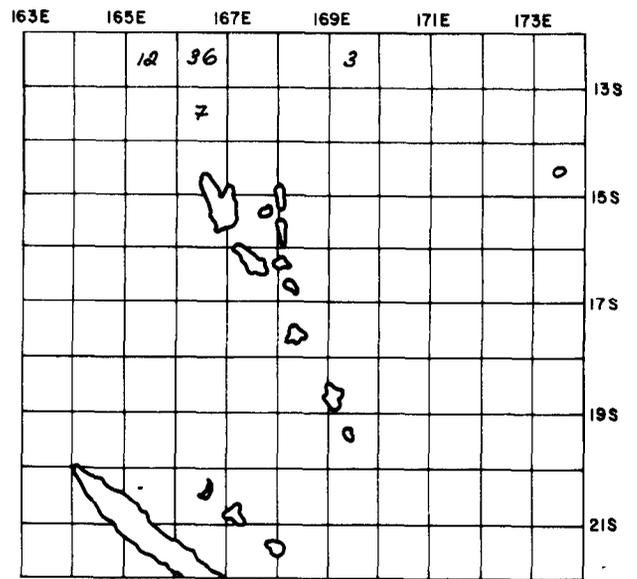


$Q = 16$

Mars 74

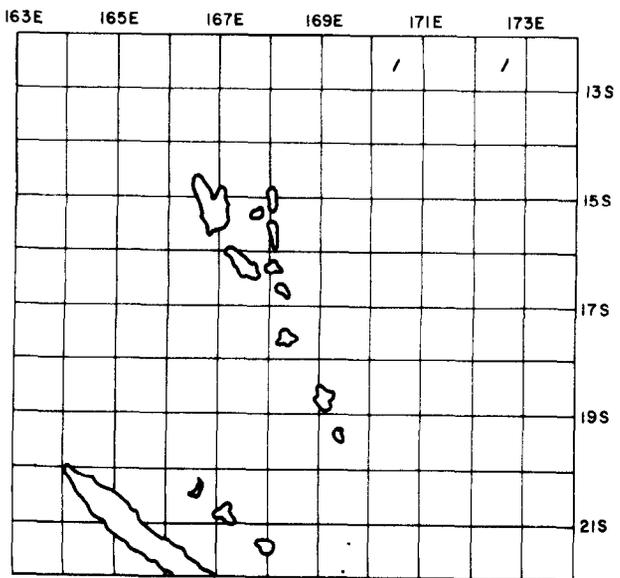


$E = 8$

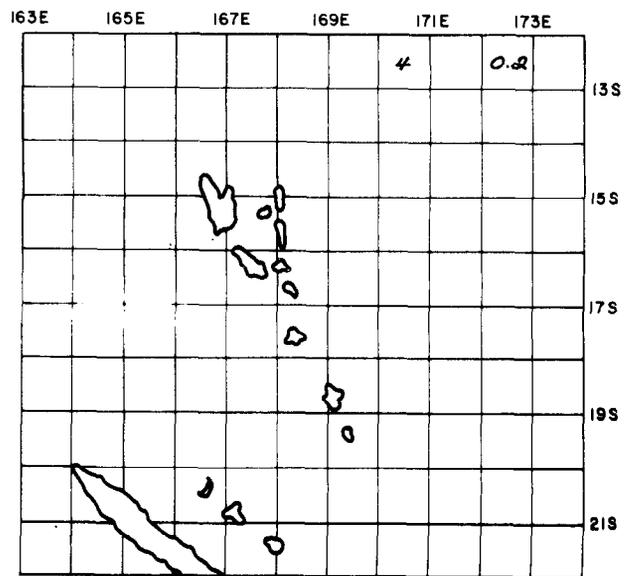


$Q = 58$

Avr. 75

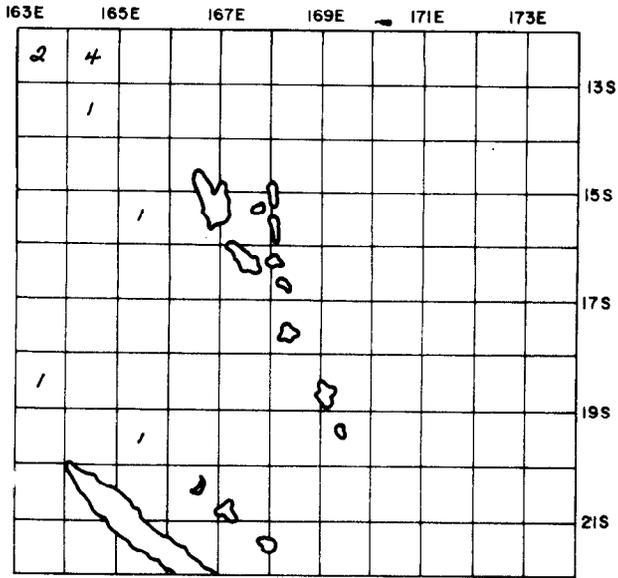


$E = 2$

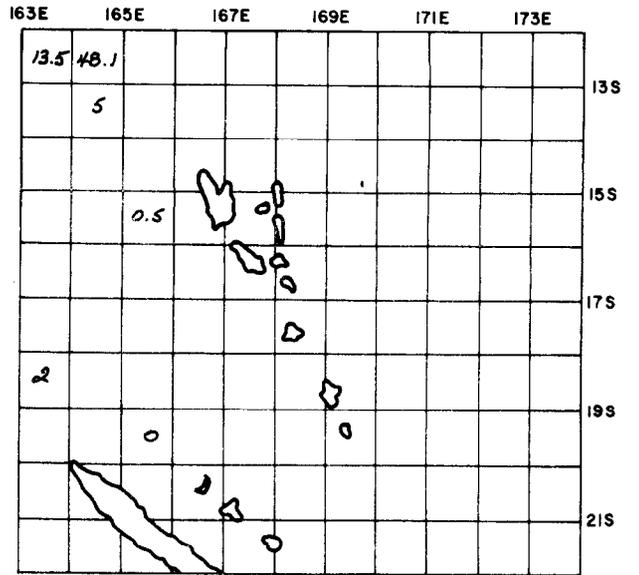


$Q = 4.2$

Sep. 75

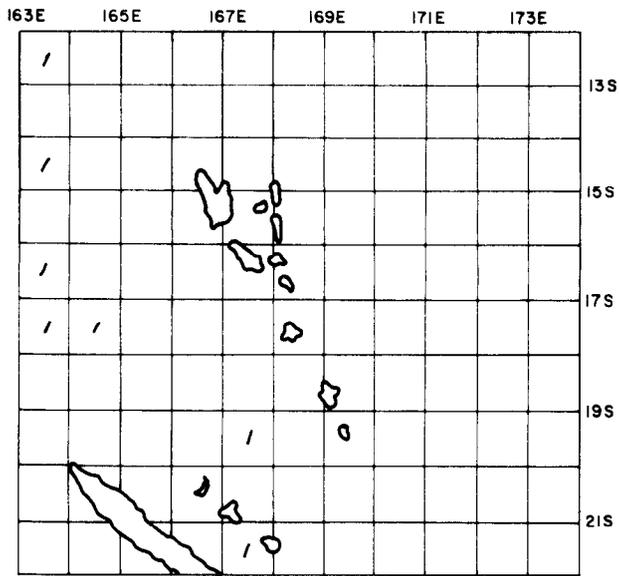


$E = 10$

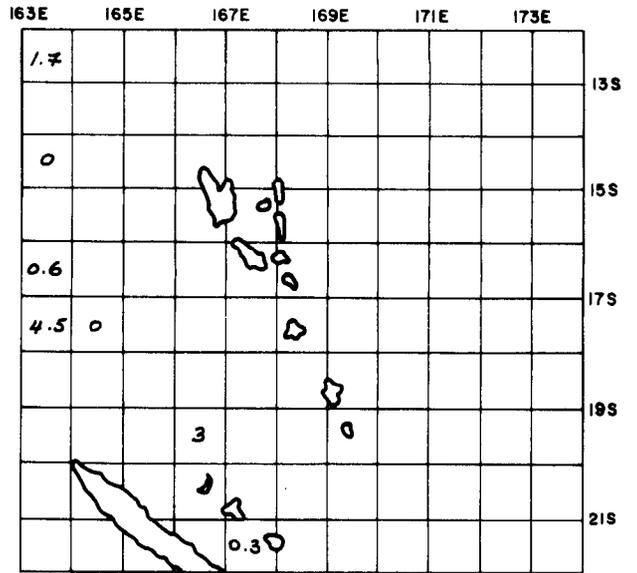


$Q = 69.1$

Oct. 75

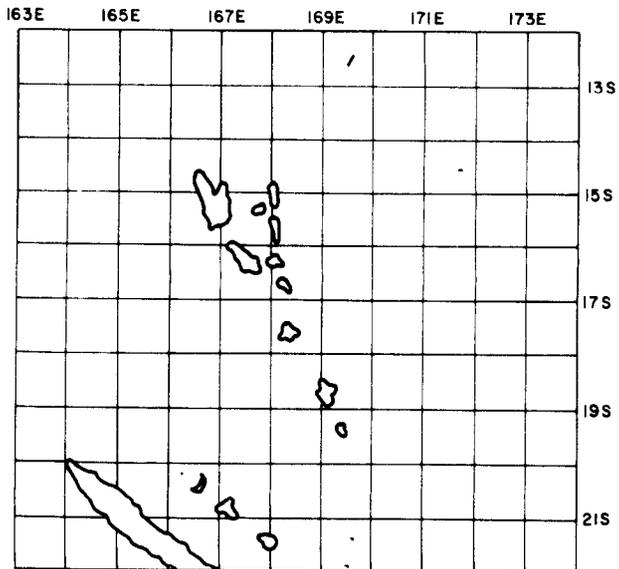


$E = 6$

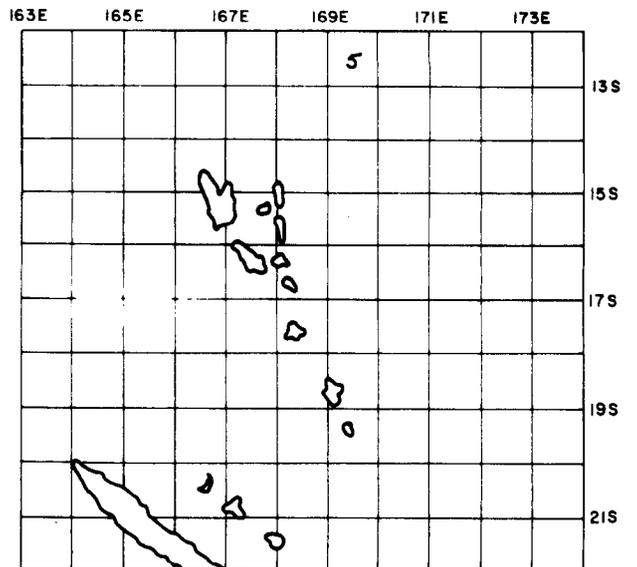


$Q = 10.1$

Nov. 75

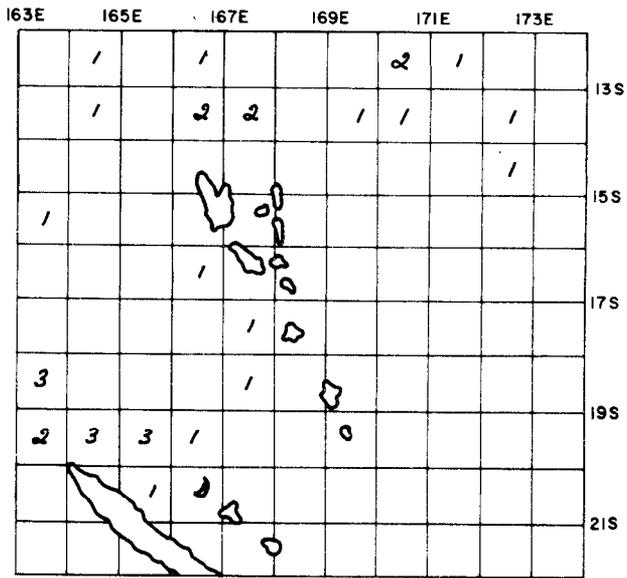


$E = 1$

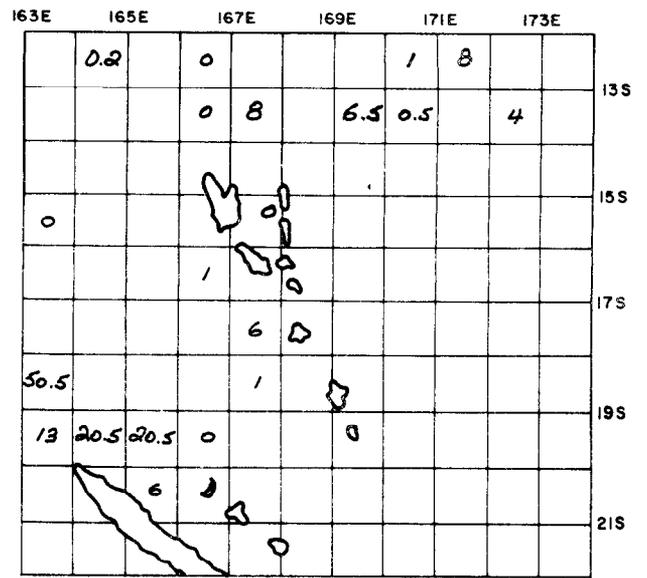


$Q = 5$

Janv. 75

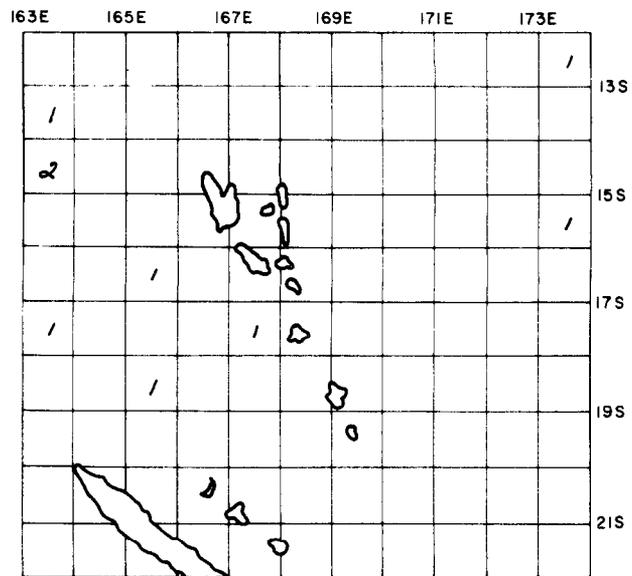


$E = 31$

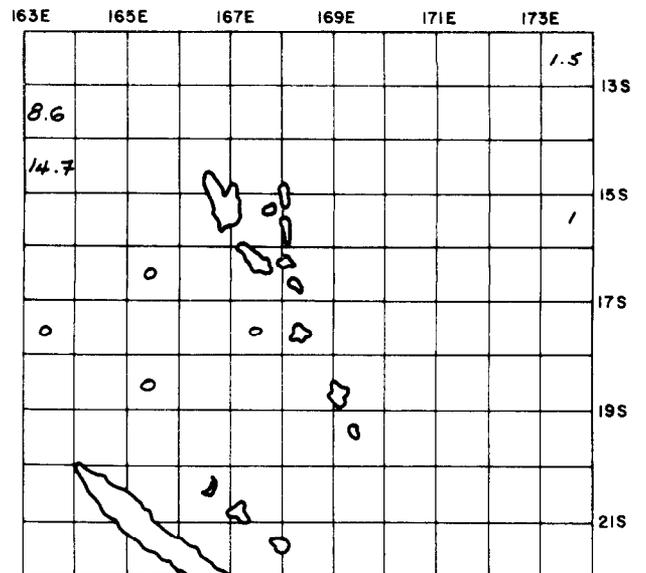


$Q = 146.7$

Fév. 75

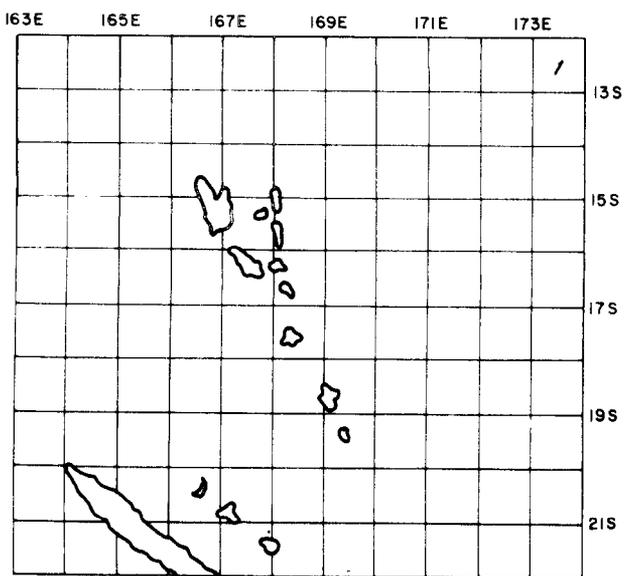


$E = 9$

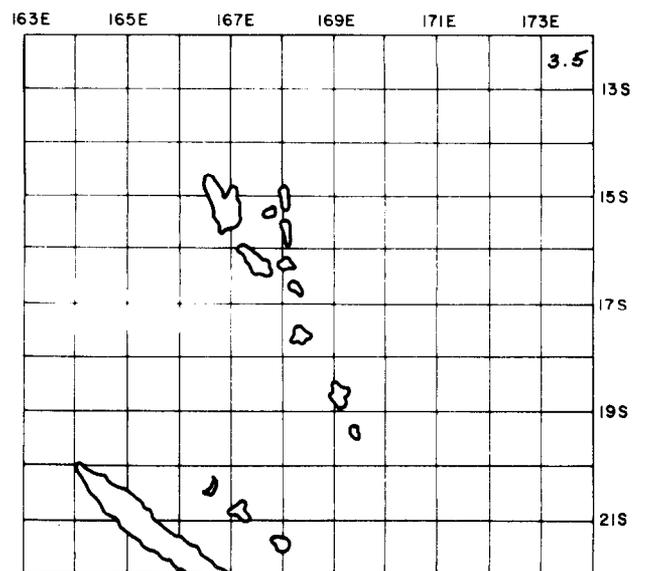


$Q = 24.3$

Mars 75

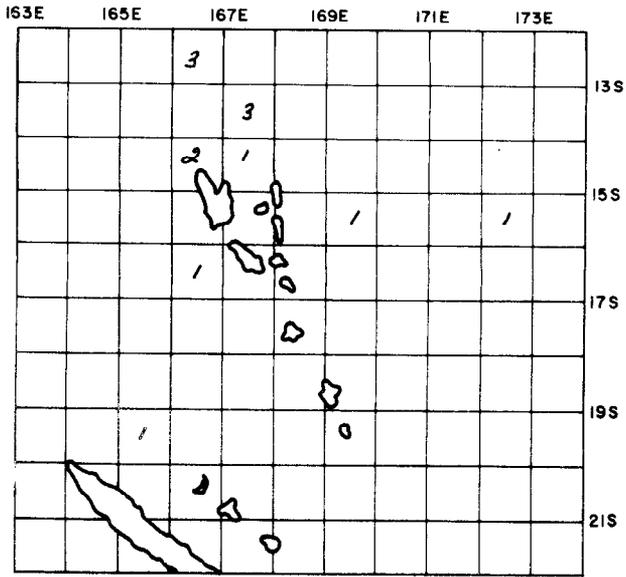


$E = 1$

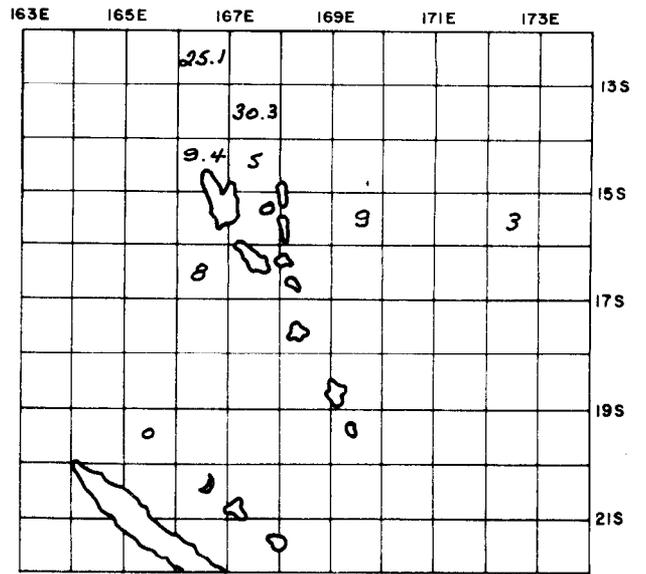


$Q = 3.5$

Nov. 76

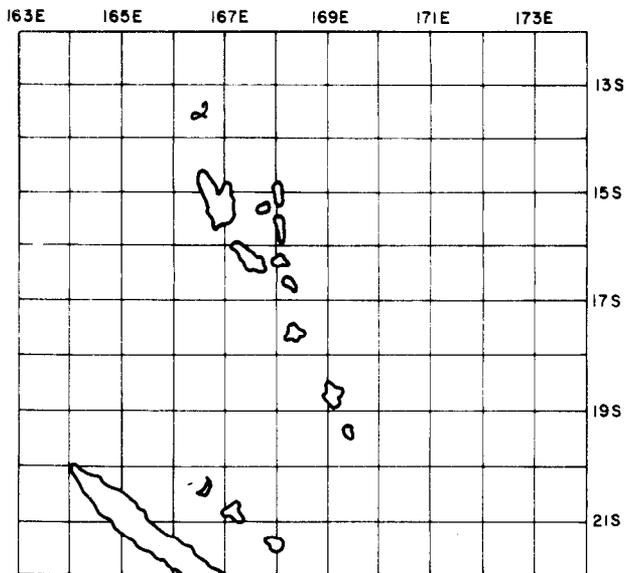


$E = 13$

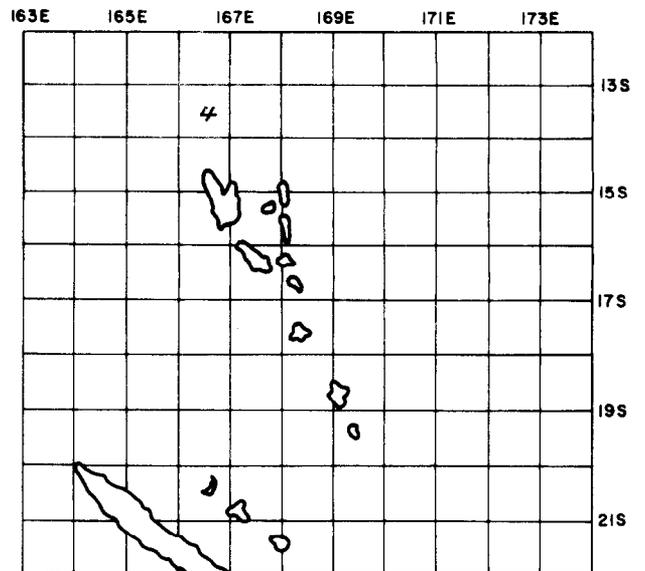


$Q = 89.8$

Déc. 76

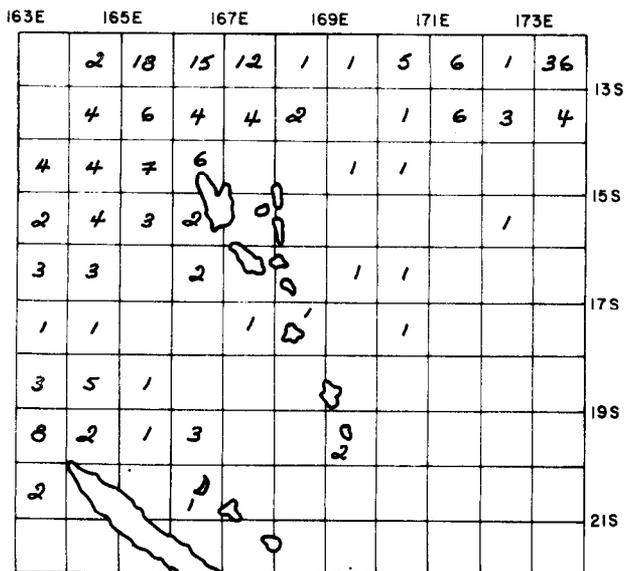


$E = 2$

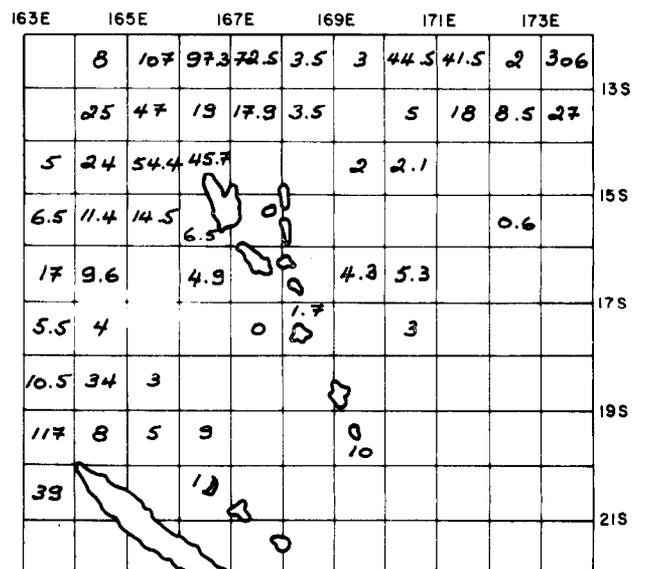


$Q = 4$

Janv. 77

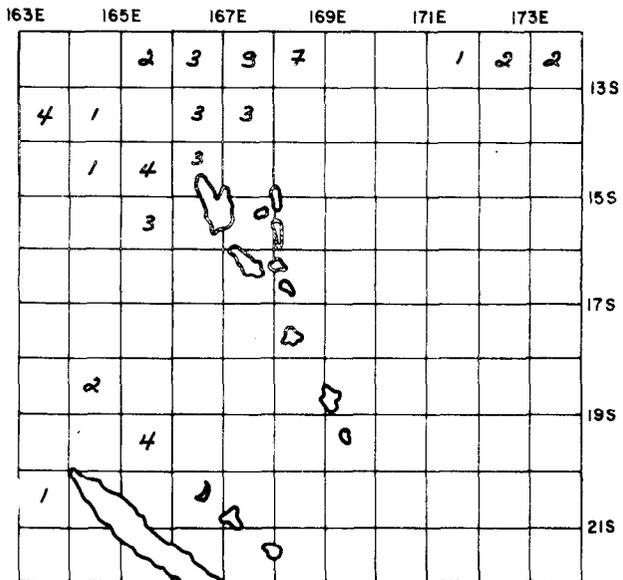


$E = 209$

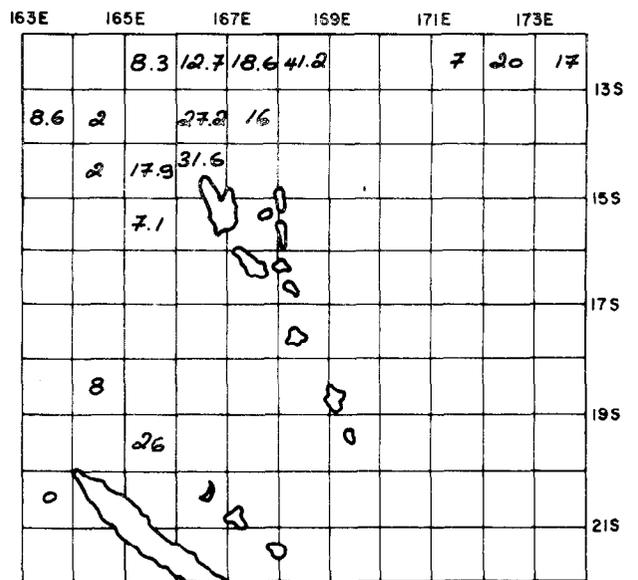


$Q = 1320.7$

Fév. 77

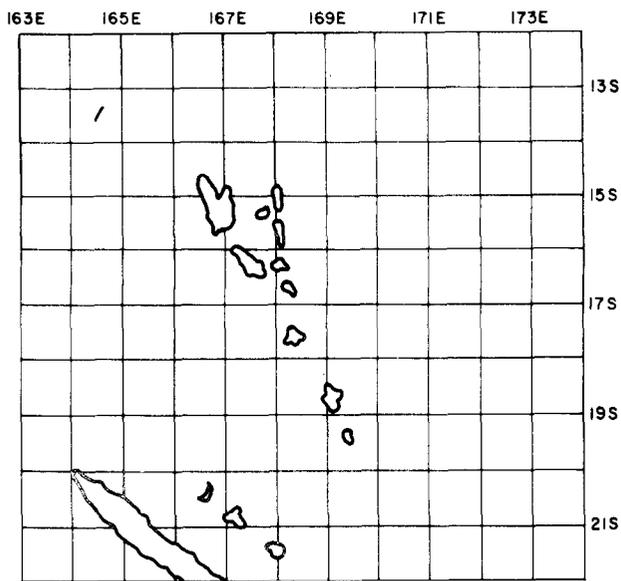


$E = 55$

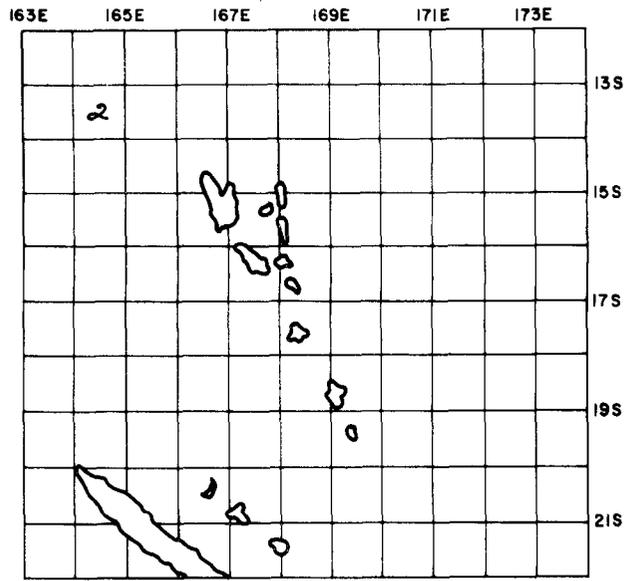


$Q = 271.2$

Mars 77

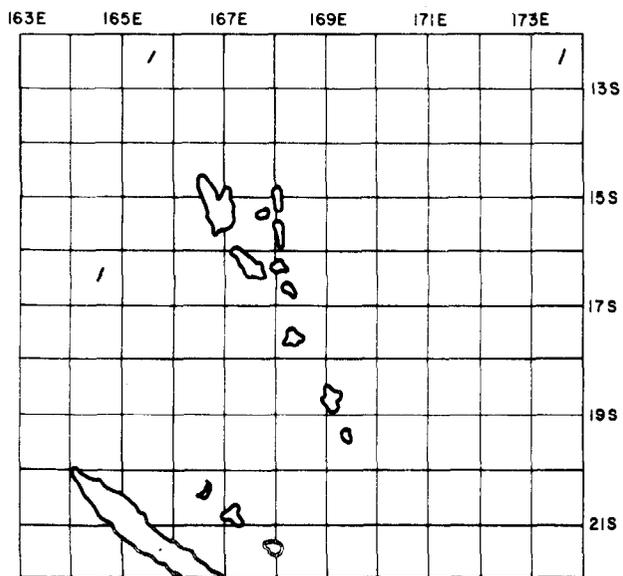


$E = 1$

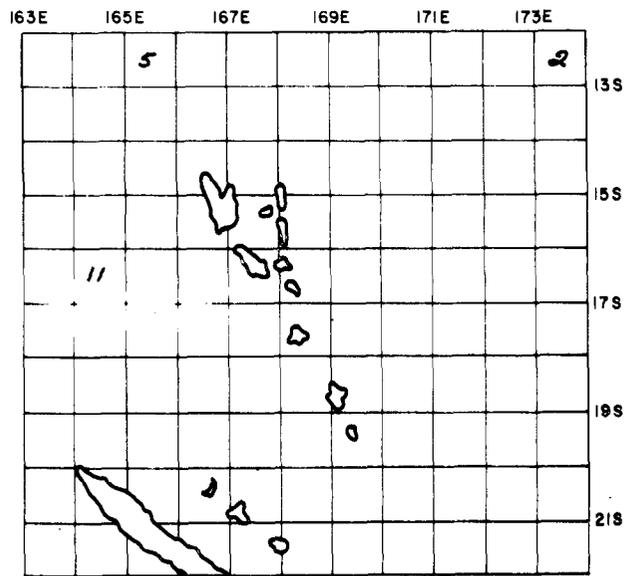


$Q = 2$

Sep. 77

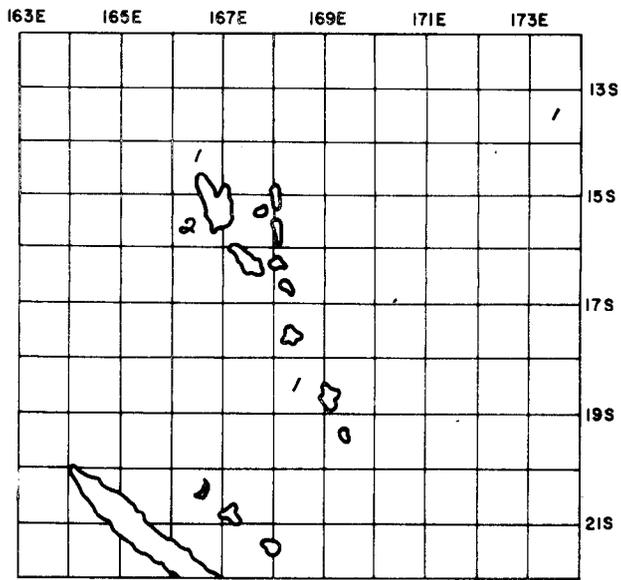


$E = 3$

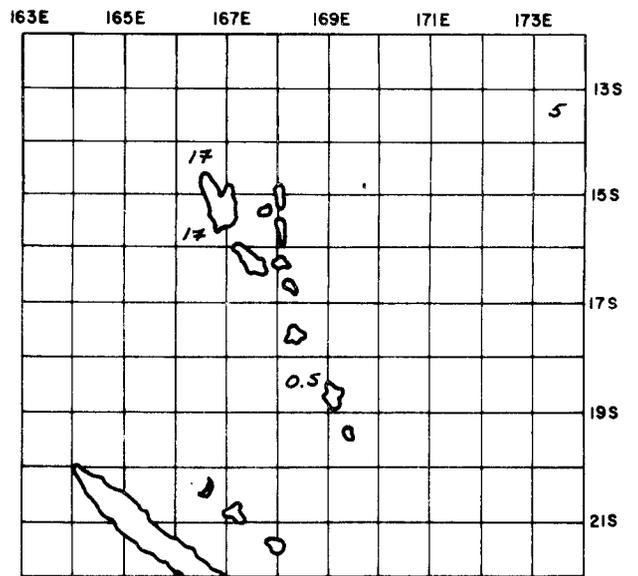


$Q = 18$

Janv. 78

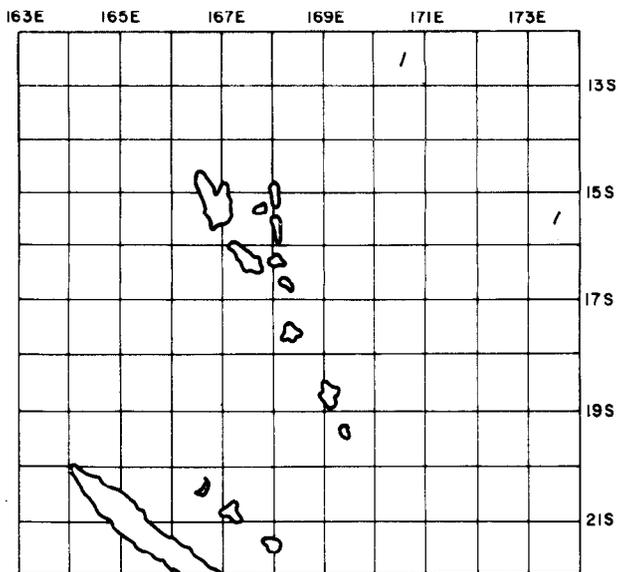


$E = 5$

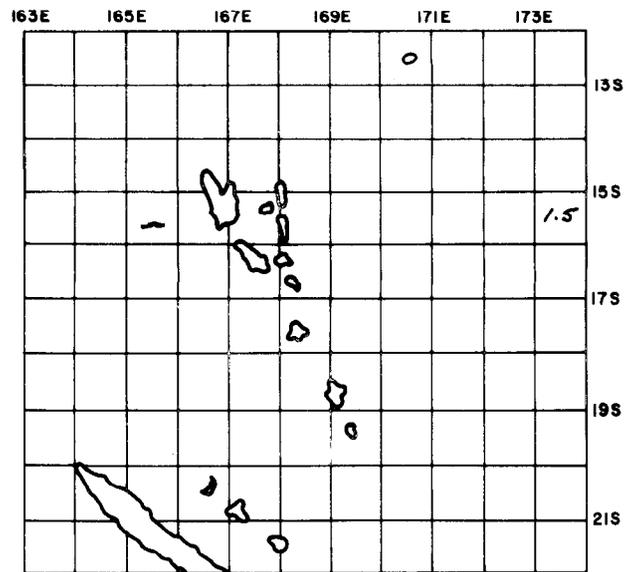


$Q = 39.5$

Fév. 78

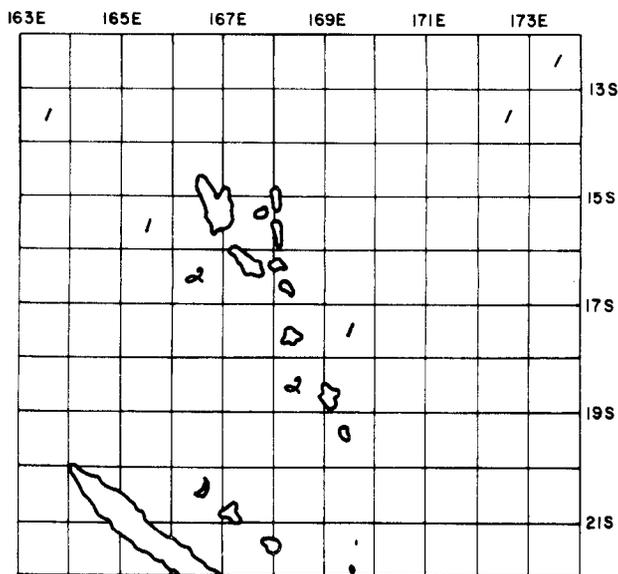


$E = 2$

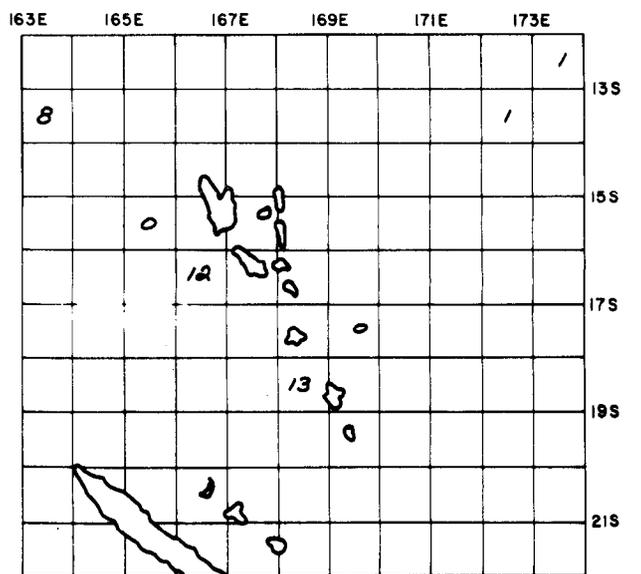


$Q = 1.5$

Jan. 79



$E = 9$



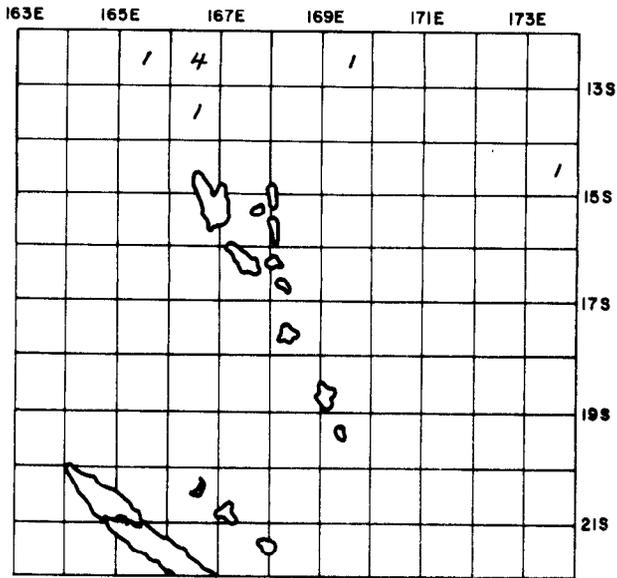
$Q = 35$

Fév. 79

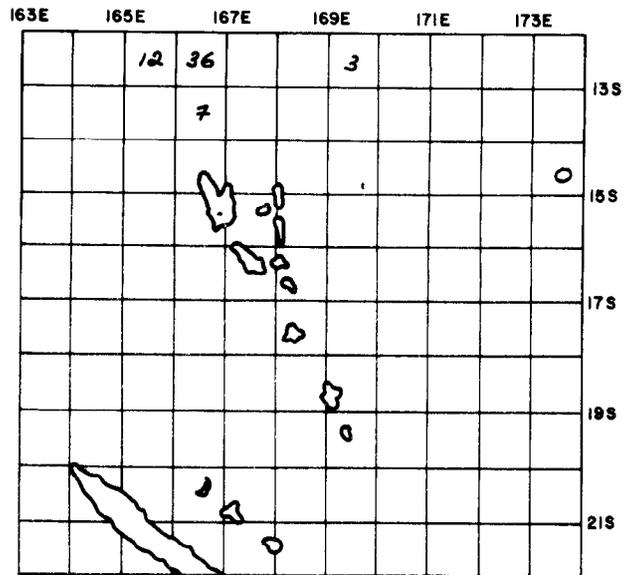
PRISES MENSUELLES CUMULEES PAR MOIS
MONTHLY CUMULATIVE CATCHES PER MONTH

E = EFFORT DE PÊCHE (JOUR-BATEAU)
FISHING EFFORT (DAY-BOAT)

Q = PRISES (TONNES)
CATCHES (TONS)

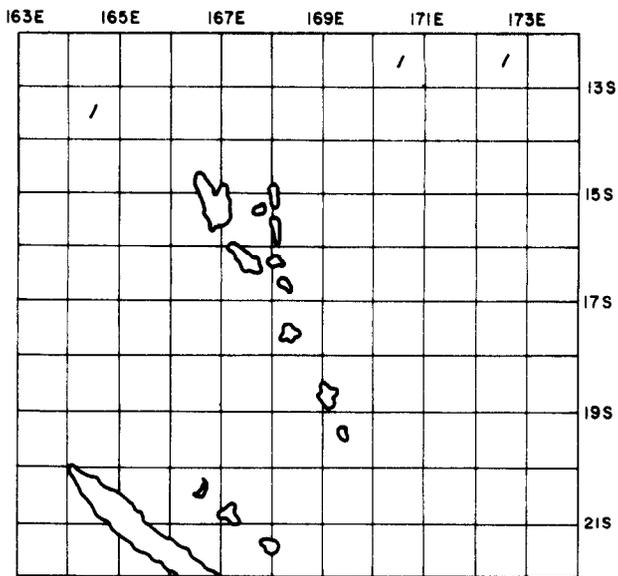


E = 8

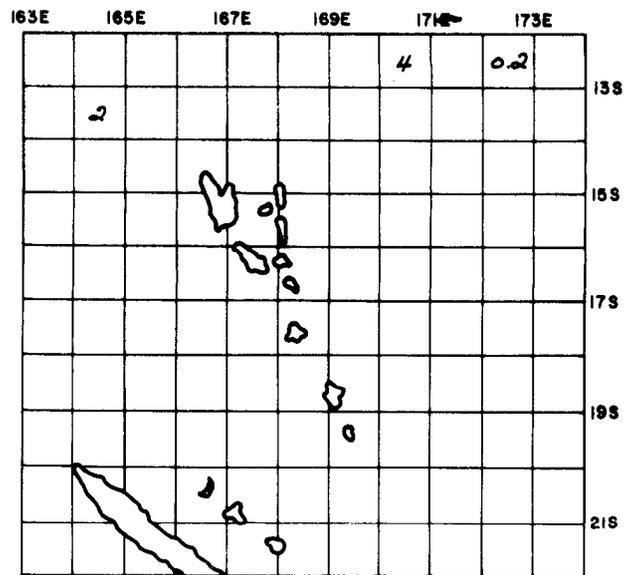


Q = 58

Avril

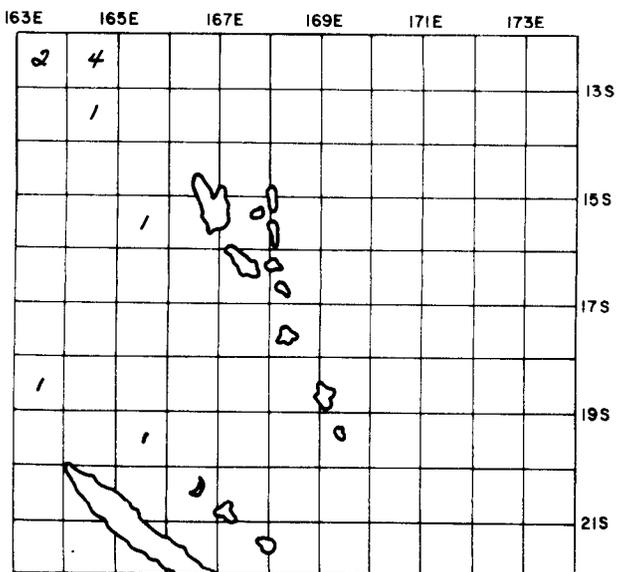


E = 3

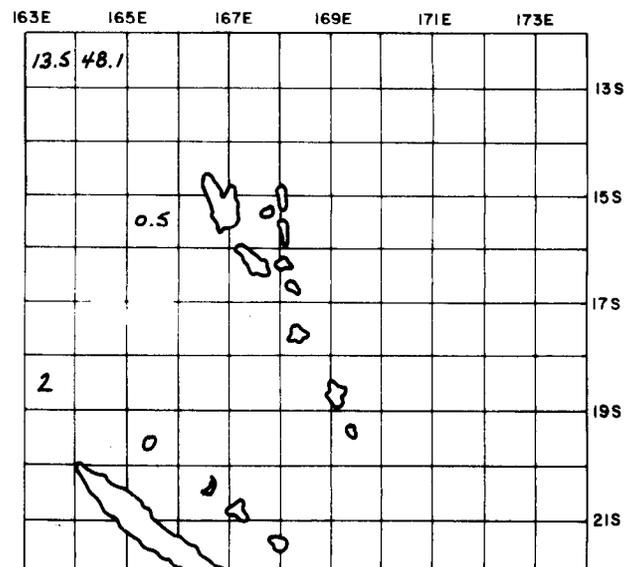


Q = 6,2

Septembre

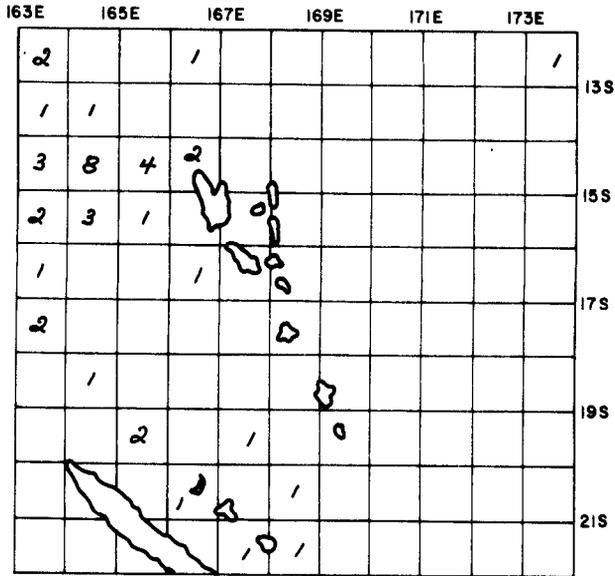


E = 10

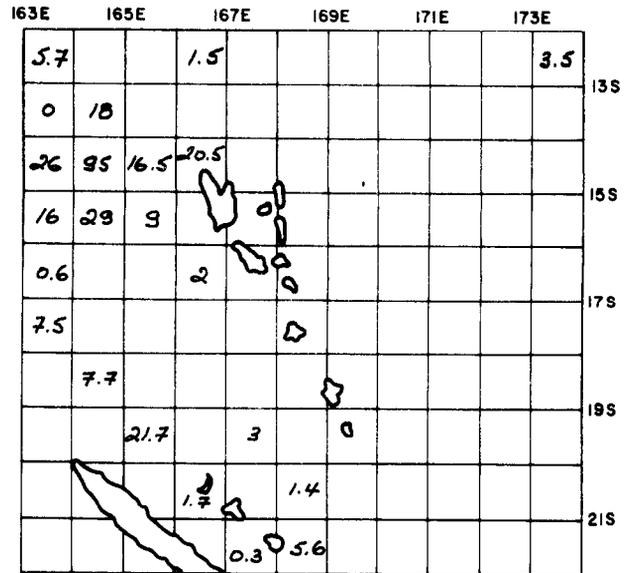


Q = 69,1

Octobre

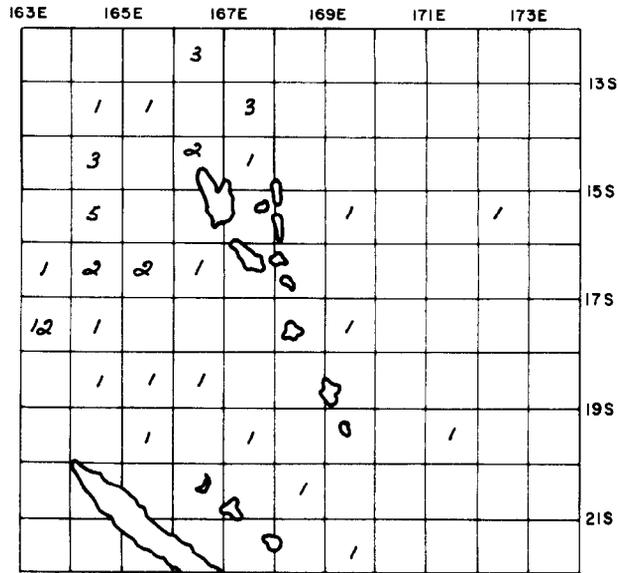


E = 41

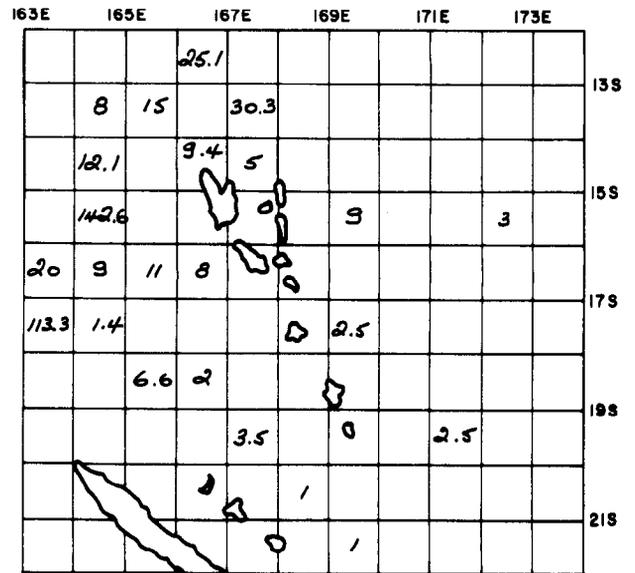


Q = 292,2

Novembre



E = 49

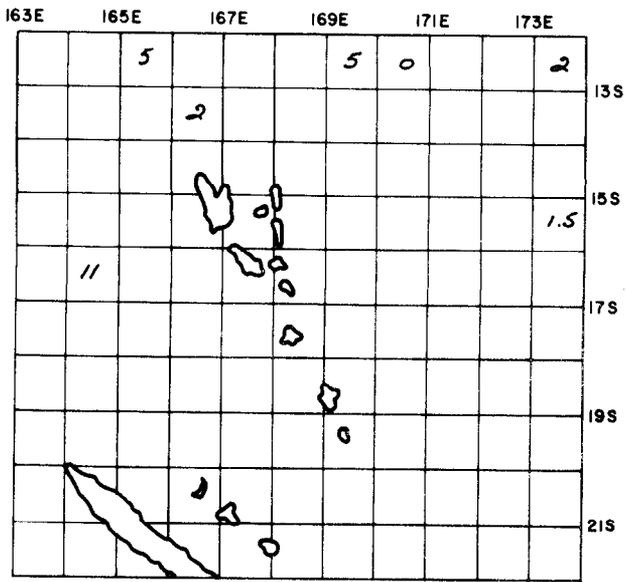


Q = 427,8

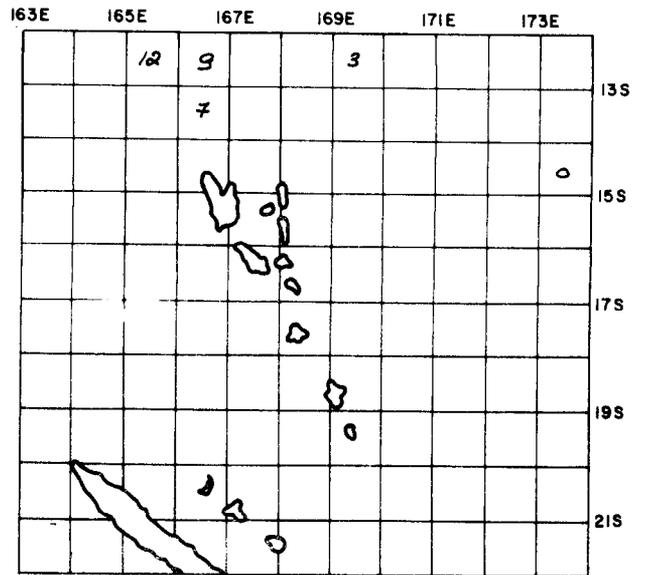
Décembre

RENDEMENT PAR MOIS (PRISES CUMULÉES) Q/E

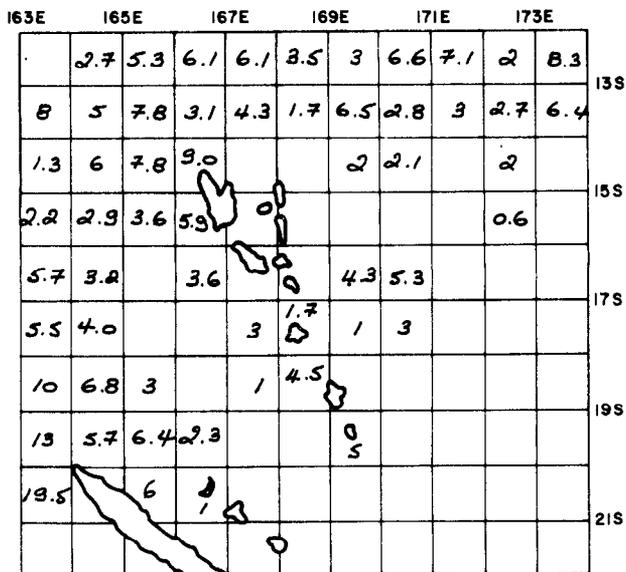
MONTHLY YIELD (CUMULATIVE CATCHES) Q/E



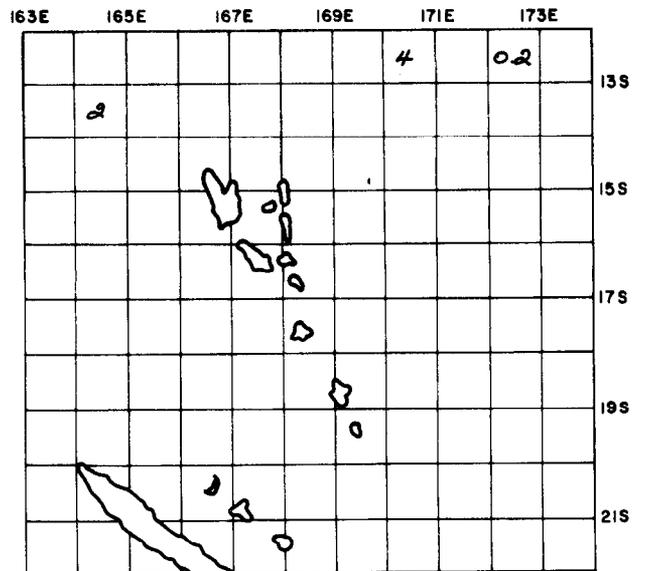
Janvier



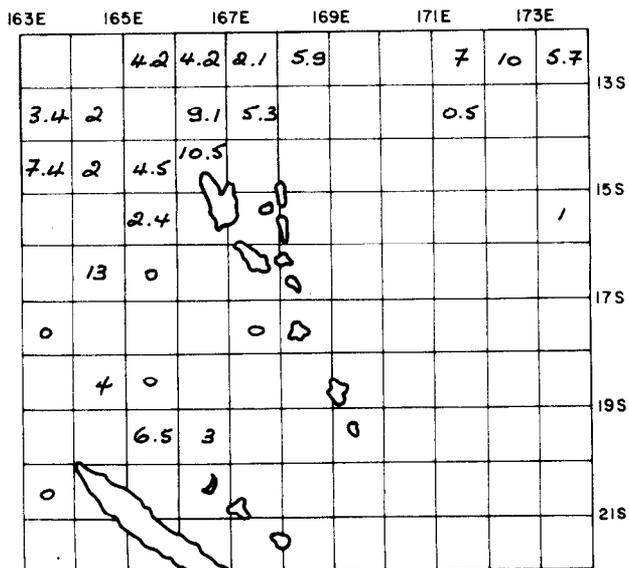
Avril



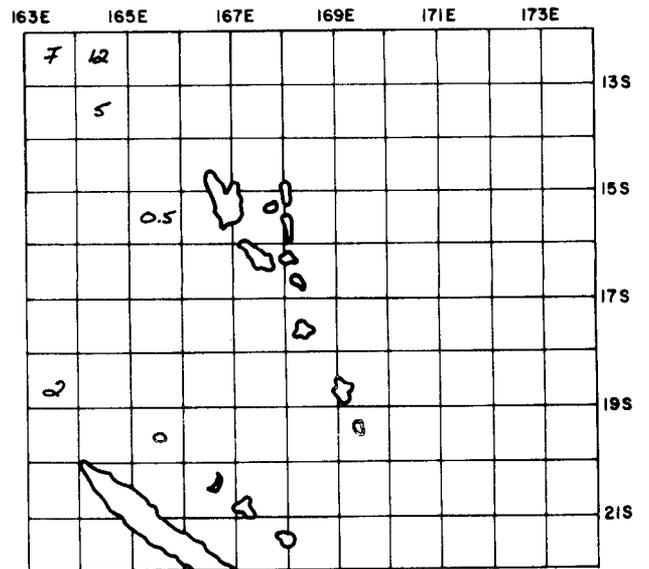
Février



Septembre

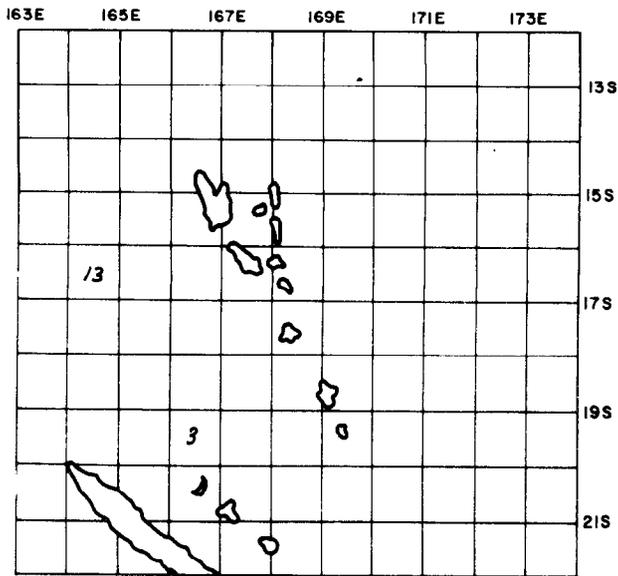


Mars

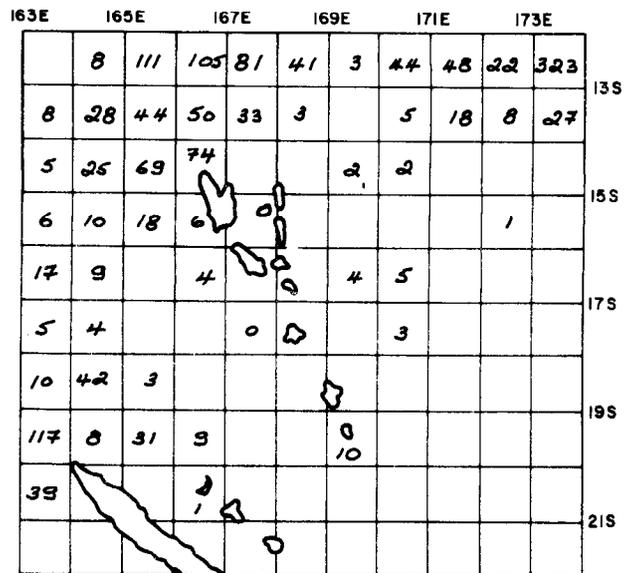


Octobre

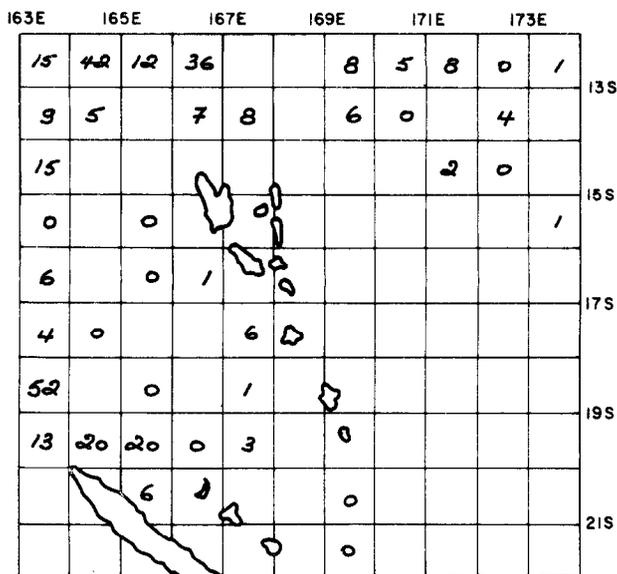
PRISES MENSUELLES CUMULEES PAR AN
MONTHLY CUMULATIVE CATCHES PER YEAR



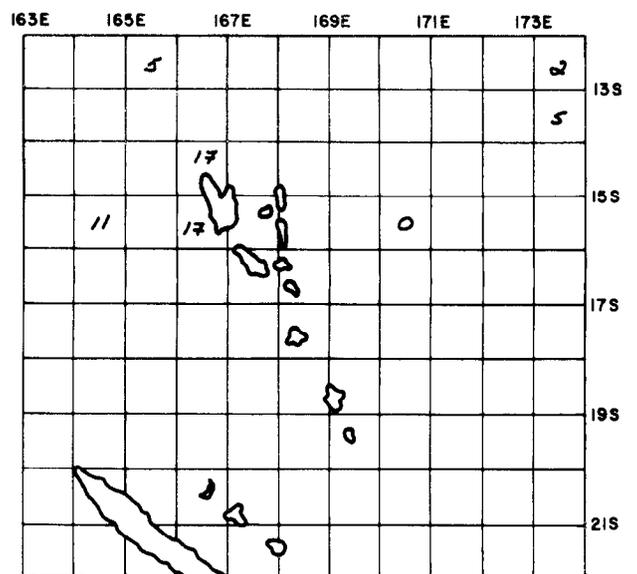
1974 : 16 tonnes



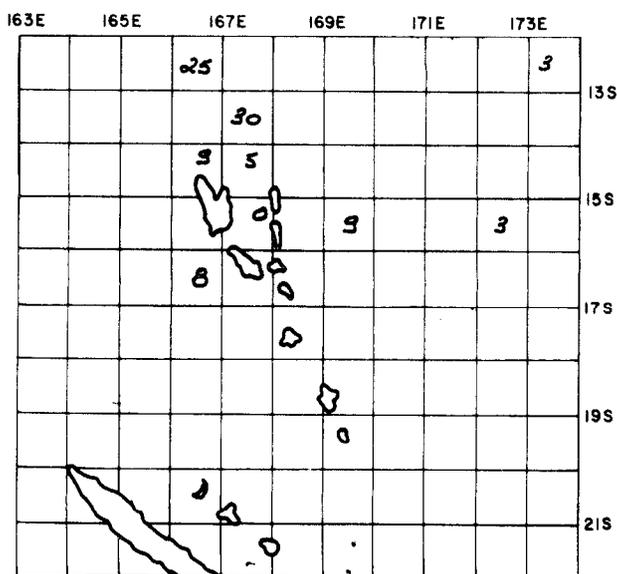
1977 : 1549 tonnes



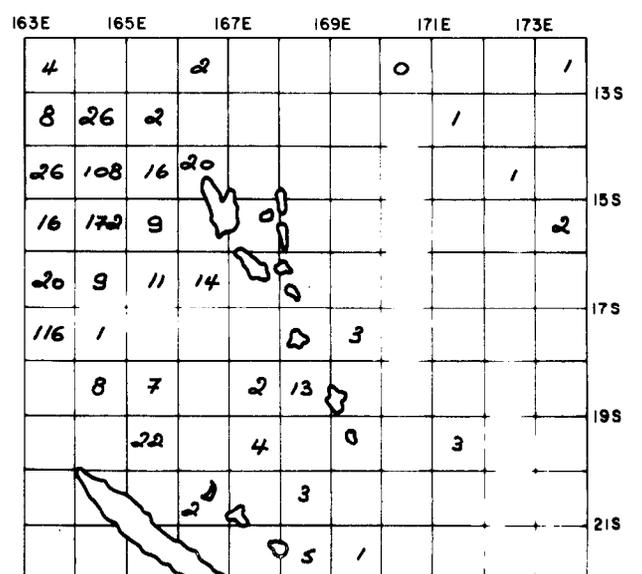
1975 : 316 tonnes



1978 : 57 tonnes



1976 : 92 tonnes



1979 : 658 tonnes

ANNEXE B. - Modèle mathématique employé pour le traitement des données.

Mathematical model used for data processing.

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

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

°
° °

The model outlined gives each one of the factors (thermal gradient, geographic area, time of day, state of the sea, season) a multiplying effect on the probability of sighting a tuna school in the course of a flight. There is no point in comparing the factors with one another, and this is not attempted ; our purpose is rather to compare the effects of different levels within the same factor. Thus for example, the effect of the late afternoon will be compared with that of the morning, and not with that of the geographic area.

This method, with its numerous assumptions and approximations, does not claim to be a way of calculating the optimum statistical value for each of the coefficients, only useful values, for which it would be quite unreasonable to try and establish a confidence interval moreover, in view of the large number of factors and the small number of sightings (less than 200).

°
° °

C A L C U L

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

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

2. Calcul des valeurs proportionnelles aux coefficients $a(i), b(j), c(k), d(l), e(m)$

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

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

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

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

3. Calcul de $R(i)$

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

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

$$n^\circ(o, j, k, l, m) = \sum_i n^\circ(i', j, k, l, m)$$

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

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

et par extension

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

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

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

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

la répartition des $n^o(i,j,k,l,m)$ étant supposé binomiale et $p(i,j,k,l,m)$ petit.

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

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

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

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

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

Calculations

1. - The probability $P(i, j, k, l, m)$ was defined in Chapter II.

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

2. - Calculation of the value proportional to the coefficients $a(i)$, $b(j)$, $c(k)$, $d(l)$, $e(m)$.

The model makes each of the factors a multiplier. It has not been attempted to estimate the coefficients of each of the factors directly, only their ratio to the mean. For instance, for $a(i)$:

$$R(i) = \frac{a(i)}{\bar{a}} \quad \text{where } \bar{a} \text{ is the mean value of } a(i)$$

$$\bar{a} = \sum_i (a(i) \times \frac{E(n_i)}{N}) \quad \text{where } N \text{ is the set of recordings and } (n_i \text{ the number of those having the characteristic } i).$$

3. - Calculation of $R(i)$

We considered the flights conducted in conditions (i, j, k, l, m) and calculated :

$$\hat{R}(i) = P(i, j, k, l, m) \quad (\hat{R} = \text{estimator of } R)$$

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

$$n^\circ(i, j, k, l, m) = \sum_{i'} n^\circ(i', j, k, l, m)$$

where $n^\circ(i', j, k, l, m)$ is the number of sightings in conditions i', j, k, l, m and $n(i, j, k, l, m)$ is the number of recordings in conditions i, j, k, l, m .

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

and by extension

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

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

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

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

the distribution of the $n^o(i, j, k, l, m)$ is assumed to be binomial and $p(i, j, k, l, m)$ small.

It can be considered that $p(i, j, k, l, m) = p(o, j, k, l, m)$, in other words that for a given j, k, l, m the i effect is negligible ; we now have :

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

$\hat{R}(i)$ is defined for each quadruplet (j, k, l, m)
 j, k, l, m

If we consider a mean $\hat{R}(i)$ by calculating a mean $\hat{R}(i)$ weighted by j, k, l, m
 an approximation of the inverse of their standard deviation, we take :

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

Annexe C : Bilan des opérations sur le terrain.

Annexe C : *Summary of field operations.*

I. - RAPPEL

Le financement de l'opération est assuré par le Gouvernement du Vanuatu après signature de l'accord passé entre le Gouvernement et l'ORSTOM, le 18 mars 1980.

II. - LOGISTIQUE AVION ET MATERIEL SCIENTIFIQUE

L'avion utilisé est un Britten Norman BN II A (F-OCFQ) équipé spécialement pour ce travail de réservoirs supplémentaires et de convoyage (autonomie : 9 heures), d'un pilote automatique et d'une radio BLU marine. Cet avion est mis à la disposition de l'ORSTOM depuis la signature d'une Convention Commerciale passée entre TAXICAL (S.A.R.L.) et l'ORSTOM.

Le matériel scientifique, en partie prêté par le CNEOX, se compose d'un radiomètre infra-rouge (8-14 μm) alimenté par un onduleur, d'un enregistreur sur papier, d'une sortie digitale. Les données sont désormais acquises automatiquement au moyen d'un micro-ordinateur embarqué (HP-85). Un ensemble radiométrique compact et fiable a ainsi pu être conçu.

III. - PERSONNEL

Nombre d'heures de vol effectuées entre avril 80 et novembre 81 : 248 H.

- a) TAXICAL :
- | | | | |
|-------------|---|-----|---------------|
| E. SOUCAZE | : | 218 | heures de vol |
| A. ARDIMANI | : | 30 | " " " |
- b) ORSTOM :
- | | | | |
|--------------|---|--------|---------------|
| W. BOUR | : | 29, 30 | heures de vol |
| H. FERRER | : | 14 | " " " |
| F. GOHIN | : | 26 | " " " |
| C. HOFFSCHIR | : | 6,30 | " " " |
| J. MARCHAND | : | 28 | " " " |
| J. MARCILLE | : | 23 | " " " |
| F. MARSAC | : | 172,30 | " " " |
| M. PETIT | : | 116 | " " " |
- c) Observateurs. Experts.
- | | | | |
|----------|---|-------|---------------|
| G. BELL | : | 42 | heures de vol |
| P. LELAY | : | 36,30 | " " " |
- d) Invités
- W. BAKEO, L. DEVAMBEZ, J. CROSSLAND.

I. REMINDER

The survey was funded by the Vanuatu Government, after the Agreement drawn up between the Government and ORSTOM was signed on 28 March 1980.

II. AIRCRAFT AND SCIENTIFIC EQUIPMENT

The aircraft used was a Britten Norman BNII A (F-OC FQ), specially equipped for this work with long range tanks (maximum range : 9 hours), autopilot and SSB marine radio. This aircraft is being made available to ORSTOM under the terms of an Agreement drawn up between ORSTOM and TAXICAL (S.A.R.L.).

The scientific equipment, partly on loan from CNEXO, consisted of an infrared radiometer (8-14 μm) connected to a convertor, a paper recorder and a digital output. The data are now automatically processed by a micro-computer (HP-85) carried on board. A compact and reliable radiometric unit has thus been developed.

III. - STAFF

Number of flying hours from April 80 to November 81 : 248 H

a) Taxical : E. SOUCAZE : 218 flying hours
A. ARDIMANI : 30 " "

b) ORSTOM :

W. BOUR	29.30	flying	hours
H. FERRER	14	"	"
F. GOHIN	26	"	"
C. HOFFSCHIR	6.30	"	"
J. MARCHAND	28	"	"
J. MARCILLE	23	"	"
F. MARSAC	172.30	"	"
M. PETIT	116	"	"

c) observers experts : G. BELL 42 flying hours
P. LELAY 36.30 flying hours

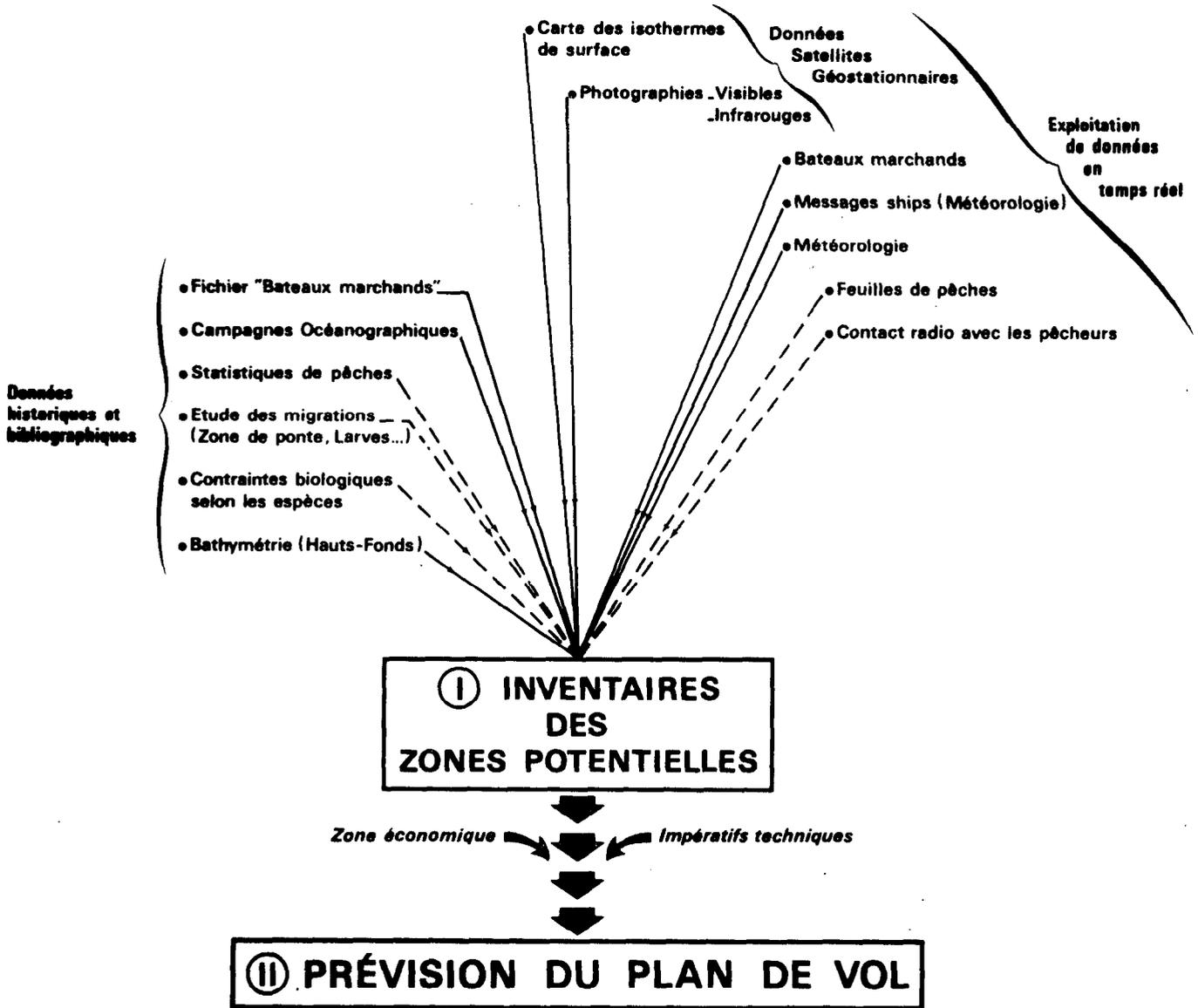
Guests

W. BAKEO, L. DEVAMBEZ, J. CROSSLAND.

ANNEXE D : Rappel : Organigramme de la méthode employée
en radiométrie aérienne et prospection
thonnière.

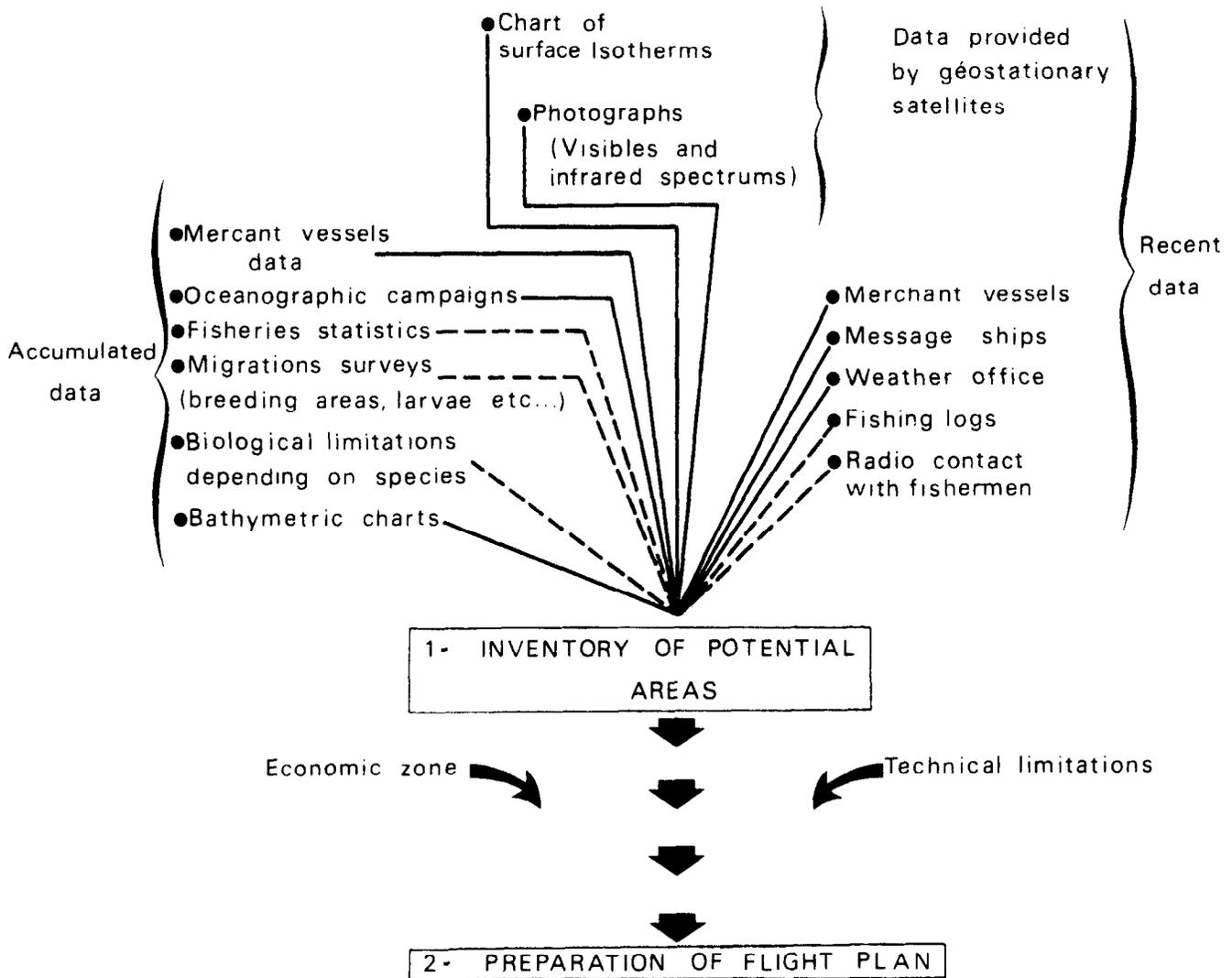
ANNEX D : Reminder : *Flow chart of aerial radiometry and
tuna survey operations.*

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



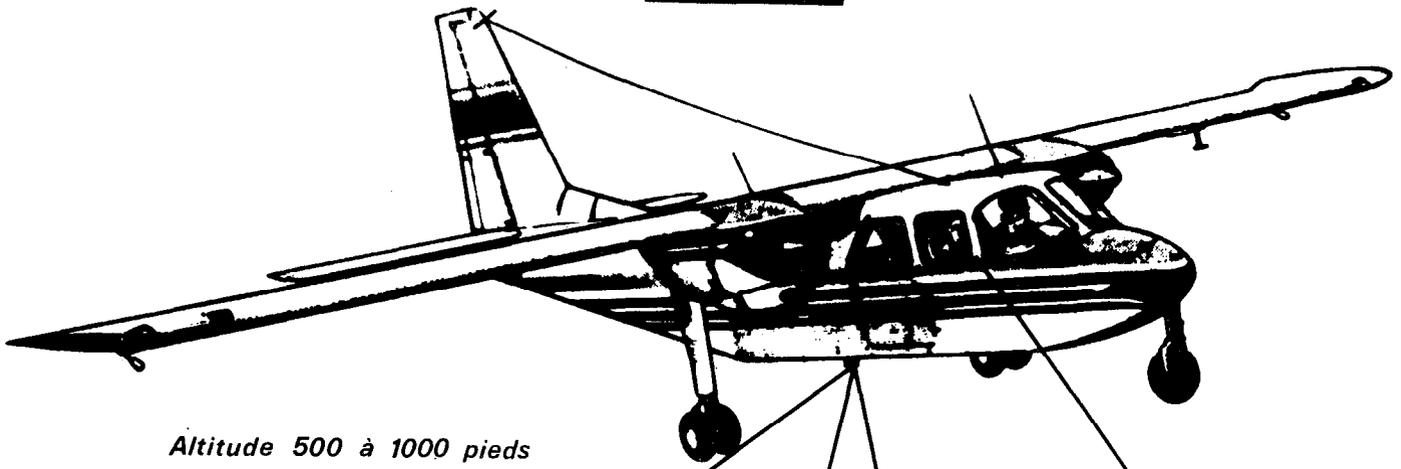
----- Biological data

———— Physical data
(Température, current etc...)



- Organigram of a radiometric operation

III VOL



Altitude 500 à 1000 pieds

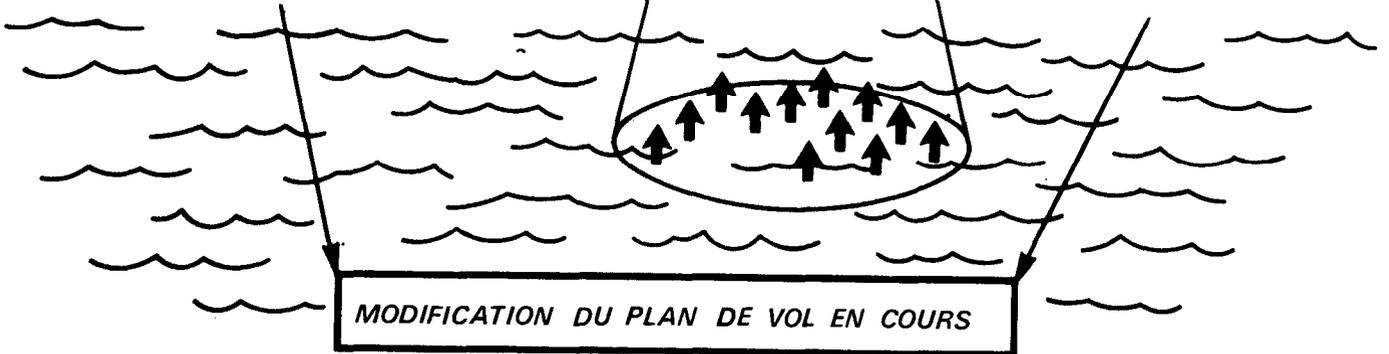
III₂ Relevés Thermiques

- FRONTS THERMIQUES
- POCHEs D'EAU

Rayonnement I.R.

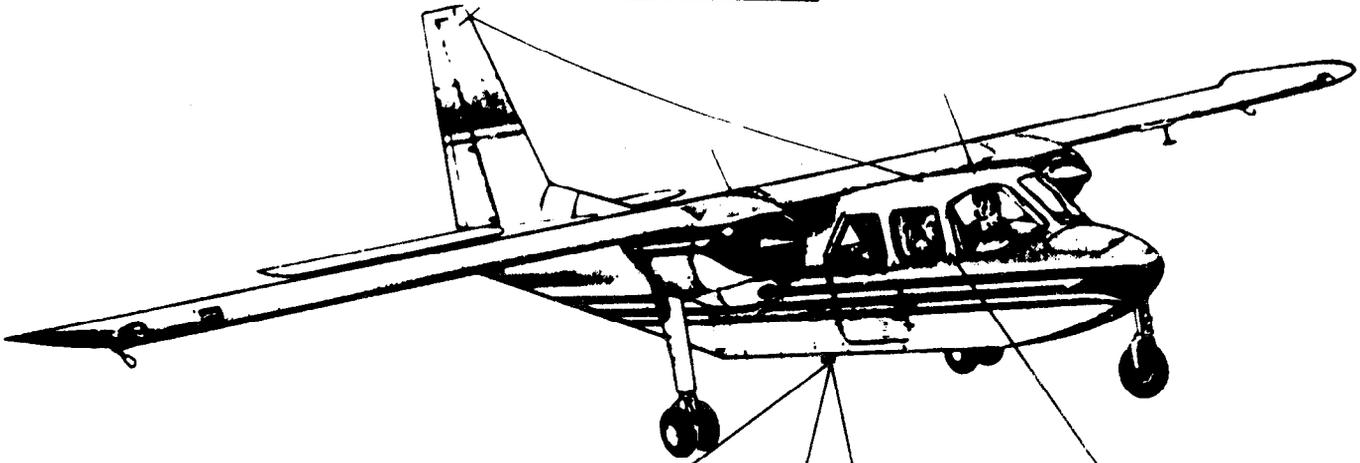
III₃ Détection à vue

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



MODIFICATION DU PLAN DE VOL EN COURS

III FLIGHT

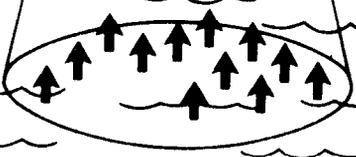


ALTITUDE 500 TO 1000 FEET

III₂ THERMAL RECORDINGS
· THERMAL FRONT
· WATER POCKETS

III₃ VISUAL SPOT. PHOTOGRAPHS
· FISH
· FLOTSAM
· COLOUR OF WATER
· HAZE
· SHIPS

INFRA-RED RADIATIONS



IN-FLIGHT MODIFICATION OF FLIGHT PLAN

