

## 5.4 Pêcheries de thons tropicaux de l'océan Indien occidental

Francis MARSAC  
Antenne ORSTOM  
Victoria-Mahé Seychelles

### I. – SOURCE DES DONNEES

Ce chapitre confronte des données de pêche et des observations sur le milieu océanique. Les données de pêche proviennent des bases constituées par l'ORSTOM (Antenne des Seychelles) et la Seychelles Fishing Authority (SFA), à partir de livres de bord des thoniers senners français, ivoiriens, espagnols et mauricien opérant dans la région. L'ensemble des informations couvrant la période 1983-1986 est utilisé dans la première partie du chapitre, sur une base trimestrielle. La seconde partie, qui s'intéresse aux relations entre rendements de pêche et conditions de surface, requiert des statistiques fines et seules les données françaises et ivoiriennes seront traitées (1983-1986). Les observations sur l'environnement, limitées à la température de surface et au vent, proviennent également des livres de bord français et ivoiriens.

### II. – DISTRIBUTION DES PRISES ET DES RENDEMENTS DES SENNEURS INDUSTRIELS

Les résultats des captures et des prises par unité d'effort (PUE) obtenues par les senners industriels sont rassemblées dans les tableaux 1 à 3, et leur distribution trimestrielle représentée dans les figures 1 et 2.

Les cartes trimestrielles mettent bien en évidence le déplacement saisonnier de l'activité de pêche de ces premières années d'exploitation, les Seychelles (4°30'S, 55°E) se trouvant quasiment au centre géographique de la pêcherie.

Durant le premier trimestre, les flottilles se concentrent dans l'est des Seychelles, entre 60°E et 65°E et entre 3°S et 5°S. Il est intéressant de noter que cette zone est alors traversée d'ouest en est par le contre-courant équatorial sud. Les prises sont principalement constituées d'albacore (69 %), et l'activité de pêche est prédominante sur les mattes libres (78 % des prises). Plus au sud, la zone frontière entre le courant équatorial sud et le contre-courant déjà cité, siège d'un dôme de la thermocline (de 8°S à 10°S), constitue par endroits un secteur de fortes captures. Pendant ce trimestre, les PUE obtenues sont relativement homogènes et la moyenne sur les quatre années examinées s'établit à 13,9 t/j.

**Tableau 1 :** Prises totales (en tonnes) des flottilles française, ivoirienne, espagnole et mauricienne, dans l'océan Indien occidental, de 1983 à 1986.

	TRIM 1	TRIM 2	TRIM 3	TRIM 4	TOTAL
1983 .....	4 345	3 373	2 506	11 976	22 200
1984 .....	19 204	17 989	23 994	45 473	106 660
1985 .....	35 286	23 470	30 328	39 525	128 609
1986 .....	40 033	26 906	38 062	38 098	143 099
TOTAL....	98 868	71 738	94 890	135 072	400 568

**Tableau 2 :** Prises d'albacore et de listao (en tonnes) des flottilles française, ivoirienne et mauricienne, dans l'océan Indien occidental, de 1983 à 1986.

	TRIM 1	TRIM 2	TRIM 3	TRIM 4	TOTAL
1983 .....	1 388	886	1 397	6 984	10 655
1984 .....	13 827	10 552	9 815	19 407	53 601
1985 .....	25 688	14 281	10 201	9 512	59 682
1986 .....	27 530	5 320	14 381	9 551	56 782
TOTAL....	68 433	31 039	35 794	45 454	180 720
1983 .....	2 150	1 708	594	3 737	8 189
1984 .....	3 305	5 605	11 682	21 095	41 687
1985 .....	9 555	8 890	20 126	29 675	68 246
1986 .....	12 006	21 551	22 987	27 690	84 234
TOTAL....	27 016	37 754	55 389	82 197	202 356

**Tableau 3 :** Prises par unité d'effort (en tonnes/jour de pêche) des flottilles française, ivoirienne, espagnole et mauricienne, dans l'océan Indien occidental, de 1983 à 1986.

	TRIM 1	TRIM 2	TRIM 3	TRIM 4	MOYENNE
1983 .....	14.5	10.2	7.6	15.4	12.8
1984 .....	18.3	8.6	11.8	16.5	13.4
1985 .....	11.3	9.3	17.4	15.0	12.8
1986 .....	15.3	12.3	18.1	15.6	15.3
MOYENNE	13.9	10.1	15.3	15.7	13.8

Les plus faibles niveaux de prises et de P.U.E. sont enregistrés au cours du second trimestre (71 700 t et 10,1 t/j). L'activité de pêche couvre une large zone

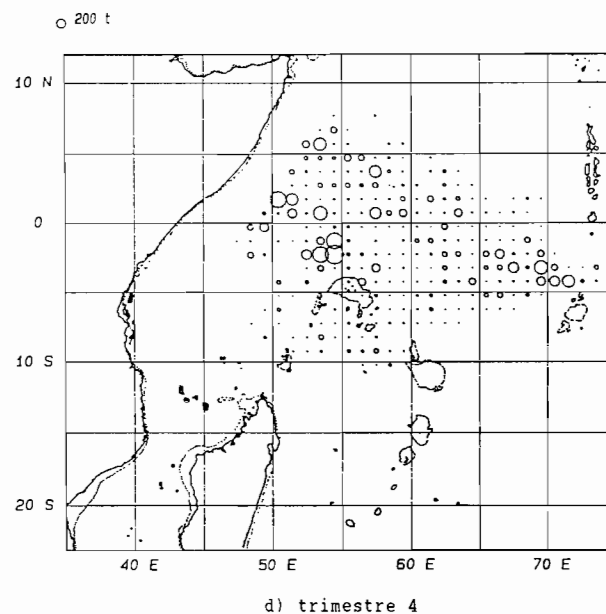
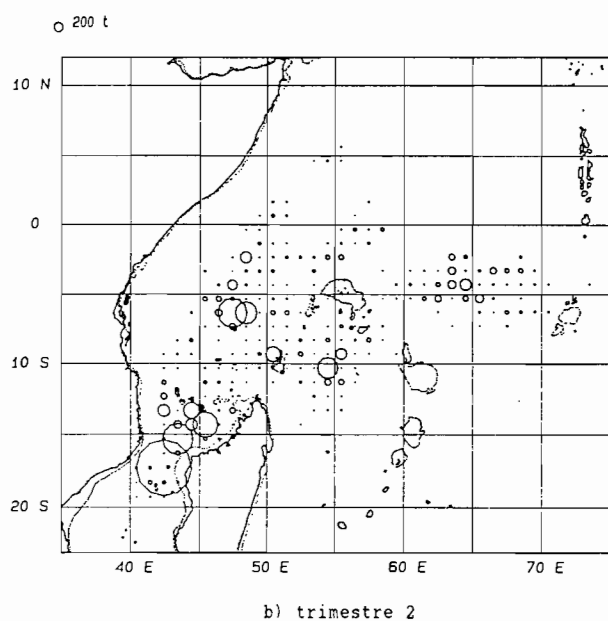
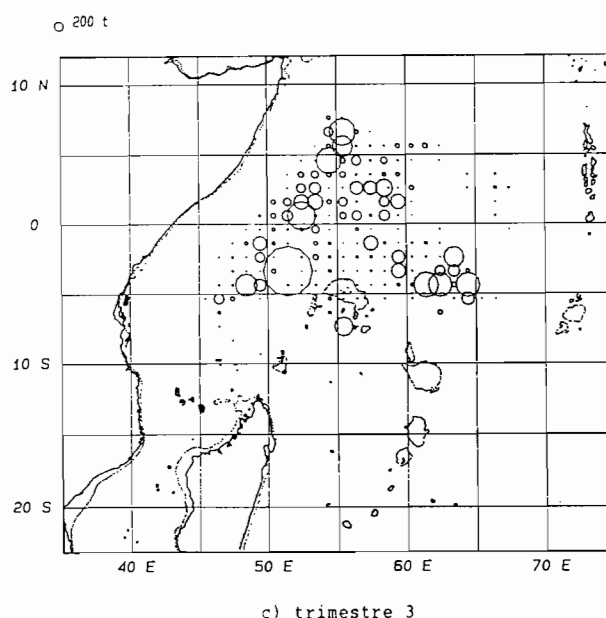
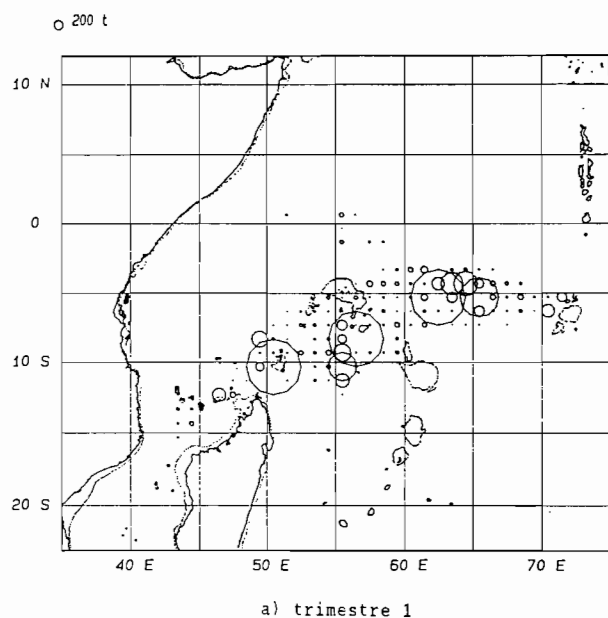


Fig. 1 — Répartition par degré et par trimestre des prises (en tonnes) des thoniers sennears industriels dans l'Océan Indien occidental, de 1983 à 1986.

Fig. 1 (suite)

allant de l'équateur à 13°S dans l'est de Madagascar et jusqu'à 24°S dans le canal de Mozambique, et de 40°E à 70°E. Les plus fortes prises et P.U.E. sont obtenues principalement dans le canal de Mozambique, à la fois autour d'épaves dérivantes et sur des mattes libres. Le listao devient prédominant par rapport à l'albacore.

Au cours du troisième trimestre, les prises totales augmentent de nouveau, de même que les PUE qui dépassent leur niveau du premier trimestre (15,3 t/j). Les zones de pêche se situent alors de 7°N à 5°S, à l'est de 65°E. De très forts rendements apparaissent en particulier au large de la Somalie (où se produit un upwelling côtier), d'une part, et au nord et à l'est des Seychelles, d'autre part. Ils résultent d'une activité principalement portée sur épaves dérivantes (75 %) procurant un fort taux de succès des coups de filets (90 à 95 % de coups non nuls). Le listao se trouve alors fortement représenté dans ces prises (61 %).

Le quatrième trimestre rassemble la plus grosse fraction de la production annuelle (34 % du total 1983-1986). Ce trimestre couvre à la fois la fin de la saison de pêche sur épaves, au large de la Somalie (de 0° à 10°N) et le début de l'activité de pêche sur mattes, dans l'est des Seychelles. Les PUE sont d'ailleurs plus élevées au nord de l'équateur (pêche sur épaves) que dans la zone sud-équatoriale. La prédominance des prises sur épaves se traduit par une large majorité de listao constituant 67 % du total capturé. Le rendement de ce trimestre est, en moyenne, le plus élevé de l'année (15,7 t/j sur les années 1983-1986).

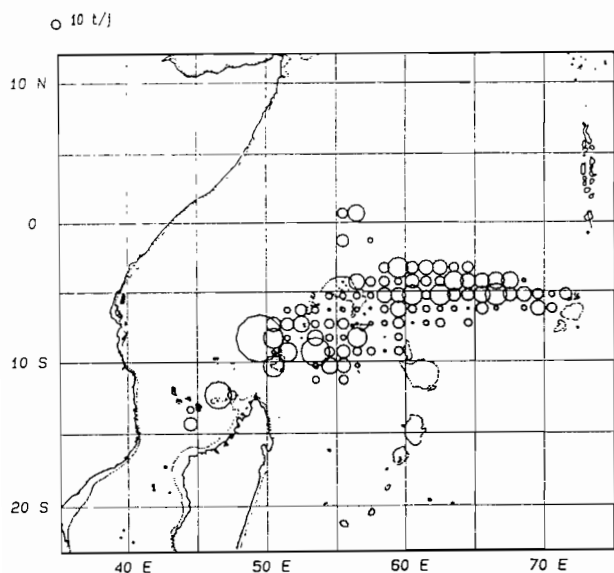
Un examen plus général des prises par espèce fait apparaître que 55 % des prises d'albacore sont effectuées durant le premier semestre, alors que les prises de listao (61 % du total annuel de cette espèce) prédominent durant le second semestre. On constate donc une cer-

taine « spécificité saisonnière » des prises, très dépendante du mode d'activité de pêche. Les pêches sur mattes libres principalement réalisées dans l'ouest et dans l'est des Seychelles, de 0° à 10°S, pendant le premier semestre, produisent surtout de l'albacore. A l'inverse, les prises sur épaves, effectuées au large de la Somalie (0° à 10°N) durant le second semestre entraînent une prédominance du listao.

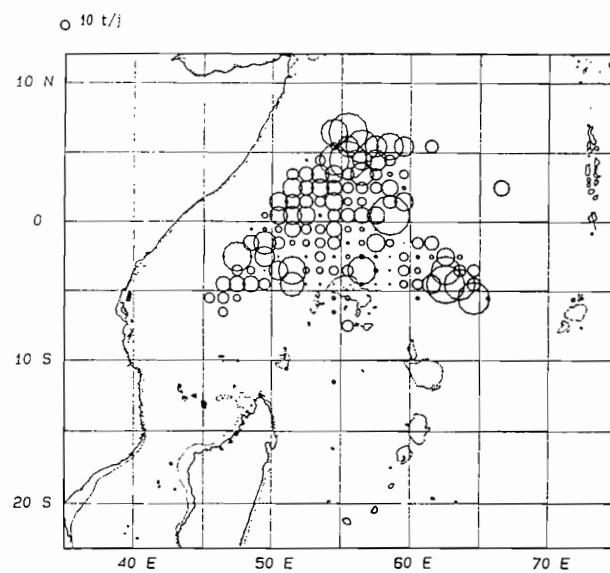
### III. – RELATIONS ENTRE RENDEMENTS DE PECHE ET CONDITIONS DE SURFACE

#### III.1. Définition de la problématique

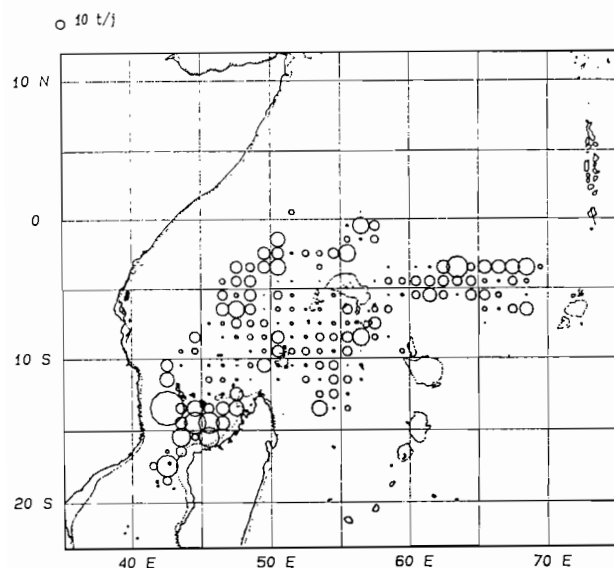
Au stade actuel des recherches dans l'océan Indien occidental, la problématique est contenue dans la question suivante : peut-on, à l'aide de paramètres de l'environnement,



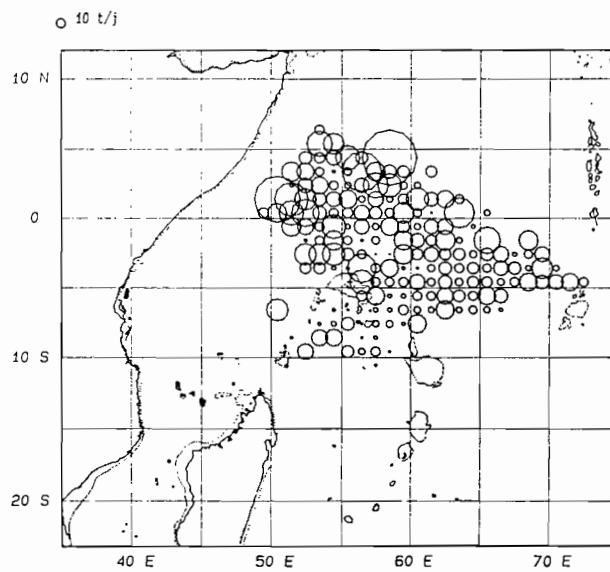
a) trimestre 1



c) trimestre 3



b) trimestre 2



d) trimestre 4

Fig. 2 — Répartition par degré et par trimestre des prises par unité d'effort (en tonnes par jour) des thoniers senners industriels dans l'Océan Indien occidental, de 1983 à 1986.

Fig. 2 (suite)

ronnement aisément mesurables, discerner des aires où le thon irait préférentiellement se concentrer ? On dépasse ainsi un premier stade limité à la disponibilité de la ressource : en effet, les conditions moyennes du milieu en zone tropicale permettent une répartition spatiale très large des espèces qui nous concernent. Définir les zones propices aux regroupements introduit

le stade suivant, à savoir celui de la vulnérabilité de la ressource, étant entendu que le thon ne peut être exploité efficacement au moyen de techniques de surface que s'il est concentré.

L'utilisation des éventuelles relations entre le regroupement de bancs de thon et l'environnement pour

conduire une flottille, nécessite une bonne connaissance des conditions d'accessibilité à la ressource, ou plus exactement des facteurs limitant l'emploi des engins de pêche. La conduite opérationnelle de flottille recherchera l'intersection des deux grands ensembles vulnérabilité et accessibilité, au fil des saisons, et selon les zones d'intérêt (fig. 3).

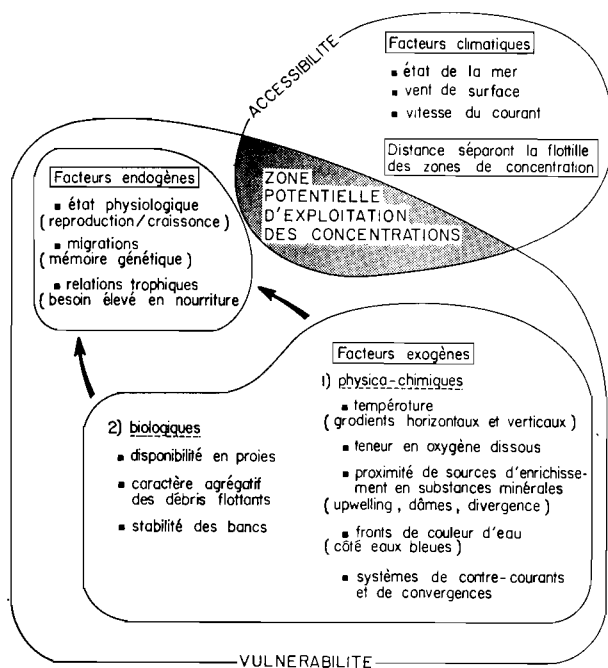


Fig. 3 — Eléments intervenus dans la conduite de flottille thonière.

La réponse à la question initiale passe par une analyse approfondie des degrés de correspondance entre paramètres (ou conjonction de paramètres) hydrologiques et abondance en thon, dans un même volume espace-temps. Cet ouvrage étant dédié aux techniques de télédétection, seuls la température et le vent, facteurs directement mesurables à partir de satellites, seront examinés et les paramètres de subsurface intentionnellement occultés.

### III.2. Méthode

#### a) Préparation des données :

Les données analysées proviennent des observations des senneurs français recueillies entre 1983 et 1986. Selon les périodes, deux zones sont considérées : le canal de Mozambique (8°S-23°S/35°E-50°E) d'avril à juin, et la zone nord-équatoriale (0°-12°N/43°E-60°E) d'août à novembre. Afin de disposer d'un nombre suffisant d'observations, nous avons retenu des strates de 5°/quinzaine.

Les données de pêche ont été triées de manière à séparer l'activité sur épaves dérivantes de l'activité sur épaves dérivantes de l'activité sur mattes libres. Trois fichiers ont ainsi été constitués : l'un rassemblant les résultats des pêches sur épaves, le second les pêches sur mattes et le troisième regroupant les deux premiers. Les paramètres retenus sont les suivants :

– prises (en tonnes),

- rendement par coup de filet, positif ou nul (en tonnes),
- rendement par coup de filet positif (en tonnes); et uniquement pour le fichier global (épaves + mattes) :
- prises par unité d'effort (en tonnes/jour de pêche).

Dans ces mêmes strates, des moyennes de température et de force du vent (en degré Beaufort) ont été calculées. S'agissant des données d'environnement, nous avons préféré considérer celles acquises par les senneurs plutôt que des valeurs moyennes disponibles par d'autres sources pour s'assurer d'une parfaite concordance entre les positions des mesures et celles des pêches.

En outre, des tableaux de contingence ont été calculés indépendamment des strates « 5°/quinzaine », c'est-à-dire en regroupant l'ensemble des informations, dans chacune des deux zones étudiées.

Une première série de tableaux contient les fréquences de classes de rendements par coup de filet et de rendements par coup positif en fonction de la température, d'une part, et de la force du vent, d'autre part. Une seconde série regroupe les valeurs des rendements par coup de filet et des rendements par coup positif en fonction de la température et de la force du vent simultanément.

#### b) Méthode d'analyse :

Les relations environnement-pêche sont généralement étudiées au moyen de corrélations (simples ou multiples). Dès lors que l'on s'adresse à de grands prédateurs situés à des niveaux trophiques élevés, il peut être intéressant de calculer des corrélations croisées qui intègrent un déphasage entre un événement hydrologique et l'éventuel impact sur la production biologique. Nous comparerons ainsi les résultats de corrélations directes (quinzaines correspondantes) à ceux de corrélations croisées (pêche de la quinzaine Q + 1 en fonction de la température et de la force du vent de la quinzaine Q).

Tableau 4 : Réduction des fichiers par élimination des strates ayant moins de 5 coups de filet. (Ni : nombre initial de strates; Nf : nombre final de strates).

#### a) sélection pour traitement par corrélations directes

ZONE	EPAVES		MATTES		GLOBAL	
	Ni	Nf	Ni	Nf	Ni	Nf
Nord-Équatoriale. . . .	36	28	30	17	39	31
Canal Mozambique. . .	24	18	26	22	29	26

#### b) sélection pour traitement par corrélations croisés.

ZONE	EPAVES		MATTES		GLOBAL	
	Ni	Nf	Ni	Nf	Ni	Nf
Nord-Équatoriale. . . .	32	25	28	17	35	27
Canal Mozambique. . .	20	15	20	18	23	21

Pour chacun de ces traitements, les fichiers de base (cf. paragraphe précédent) sont réexaminés de manière à éliminer les strates comprenant moins de cinq coups de filet, pour ne retenir que des estimations de rendement significatives. Le nombre de strates considérées pour chaque traitement est indiqué dans les tableaux 4 a et 4 b. Le tableau 5 met en évidence la variabilité du nombre d'observations de température et de vent par strate qui traduisent en fait les séjours plus ou moins longs des navires dans ces strates. On constatera, d'après le tableau 6, que la présente étude s'appuie sur un nombre relativement élevé de coups de filet (maximum de 2 007 en zone nord-équatoriale et de 1 310 dans le canal de Mozambique) et sur des niveaux de captures substantiels (maximum de 65 623 tonnes en zone nord-équatoriale et de 17 361 tonnes dans le canal de Mozambique).

**TABLEAU 5 :** Nombre d'observations de température et de vent, par strate de 5°/quinzaine, retenues dans l'analyse, selon le type d'activité et les zones.

a) Sélection pour traitement par corrélations directes

Zone et Type d'activité		Température surface			Force du vent		
		Nmin	Nmax	Nmoy	Nmin	Nmax	Nmoy
Nord- Equatoriale	Epaves	5	262	95	5	257	93
	Mattes	8	262	134	7	257	130
	Global	5	262	87	5	257	85
Canal Mozambique	Epaves	6	137	47	8	156	51
	Mattes	5	137	39	2	156	42
	Global	5	137	36	2	156	38

b) Sélection pour traitement par corrélations croisées

Zone et Type d'activité		Température surface			Force du vent		
		Nmin	Nmax	Nmoy	Nmin	Nmax	Nmoy
Nord- Equatoriale	Epaves	4	262	99	4	257	96
	Mattes	4	262	122	4	257	116
	Global	4	262	96	4	257	92
Canal Mozambique	Epaves	5	137	40	2	156	40
	Mattes	5	137	41	2	156	44
	Global	5	137	39	2	156	41

### III.3. RESULTATS

a) Aperçu général :

Au préalable, les situations hydrologiques des deux zones étudiées doivent être explicitées. Dans la région

nord-équatoriale, on assiste, d'août à novembre, à un réchauffement de l'eau superficielle dû à la disparition progressive de l'upwelling somalien en fin de mousson de sud-ouest (atténuation du vent) puis à l'inter-mousson qui précède l'arrivée de la mousson de nord-est. Durant les trois mois d'activité plus ou moins forte de l'upwelling (juin, juillet, août), le secteur a subi un enrichissement de la couche euphotique en substances nutritives minérales. Dans le canal de Mozambique, on observe, d'avril à juillet, un refroidissement sur place en raison d'une faible advection d'eaux sud-équatoriale et subtropicale. Cette chute des températures est liée à l'établissement de l'hiver austral, avec un renforcement du vent de sud-est. Les sources d'enrichissement en sels nutritifs résultant de l'apparition sporadique de petits upwellings, restent moins marquées que dans la région sous influence de l'upwelling somalien.

L'évolution des pêches est donc examinée dans deux contextes évolutifs distincts, l'un étant un réchauffement post-upwelling, l'autre un refroidissement hivernal classique.

Un premier examen des évolutions respectives de la température de surface, de la force du vent, des rendements par coup de filet et des prises par unité d'effort, par quinzaine (fig. 4), fait apparaître :

- une relation inverse entre la force du vent et la température (peu surprenante);
- une certaine hétérogénéité dans l'évolution des paramètres pêche, que l'on tentera d'expliquer plus loin;
- la mise en évidence d'une « fenêtre optimale » des conditions d'environnement, conformément à la définition de Cury et Roy (1988), regroupant les meilleurs résultats de pêche.

On peut assigner aux paramètres pêche retenus trois significations :

1) Le rendement par coup de filet peut être perçu comme un estimateur de la disponibilité de la ressource sans préjuger pour autant de sa vulnérabilité vis-à-vis de la senne.

2) Le rendement par coup de filet positif renseigne sur la taille des bancs (au moins, leur fraction capturable). Il intègre donc le facteur vulnérabilité.

3) La prise par unité d'effort, uniquement calculée pour la combinaison des activités sur épaves et sur mattes libres, est un estimateur global de la ressource vulnérable, indépendamment de la taille des bancs.

Les courbes de la figure 4 font ressortir des évolutions similaires des deux derniers paramètres, ayant en commun le facteur vulnérabilité, alors que le premier montre une évolution spécifique.

Enfin, la « fenêtre environnementale optimale » semble plus dépendre des conditions de vent que de la température, les premières pouvant devenir des facteurs limitants de l'activité de pêche. Les meilleures conditions semblent être les vents modérés (force 2 et 3), en particulier ceux faisant suite à des périodes de vent fort (cf. zone nord-équatoriale).

b) Analyse des corrélations environnement-pêche :

La distribution non normale des paramètres et l'utilisation d'une échelle qualitative pour le vent, nous ont

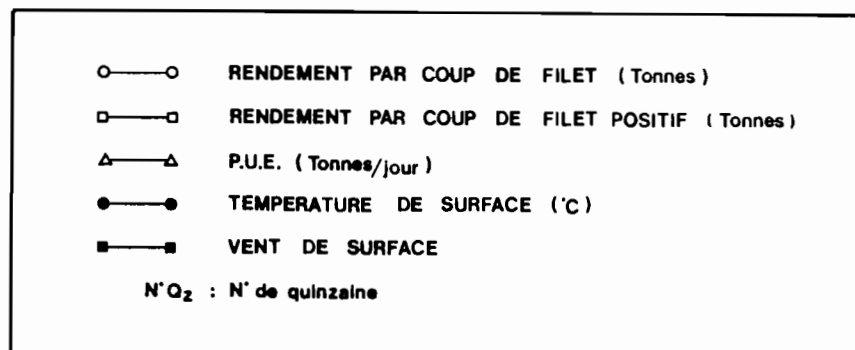
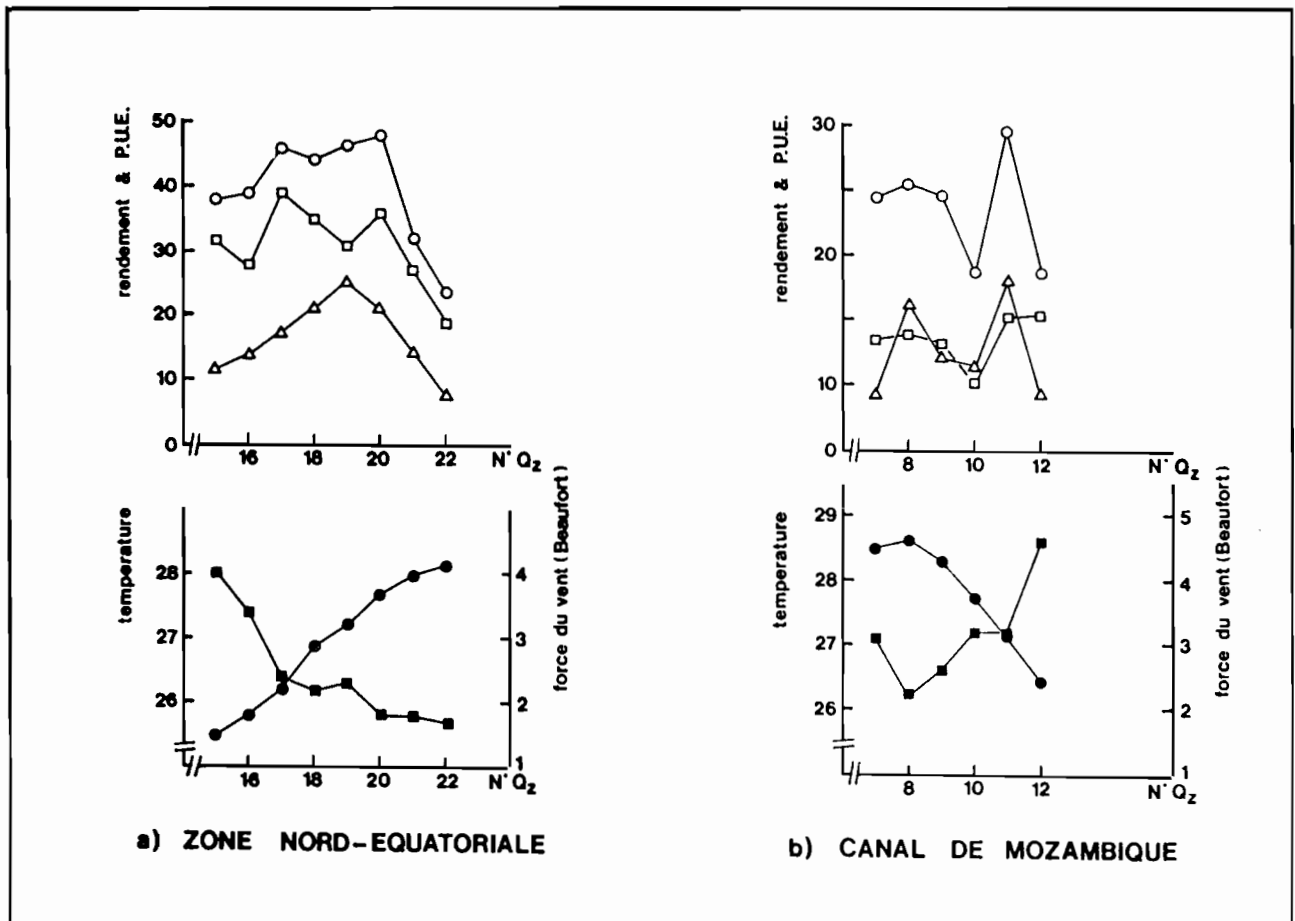


Fig. 4 — Evolution comparée de la température de surface (en °C), du vent (force Beaufort), du rendement par coup de filet, du rendement par coup de filet positif et des P.U.E.

conduit à utiliser un coefficient de corrélation de rang (Spearman). Ces méthodes non paramétriques sont particulièrement bien adaptées aux données présentant des évolutions monotones (croissantes ou décroissantes), telles que celles décrites dans cette étude.

— Zone nord-équatoriale (fig. 5) :

Les valeurs maximales de rendement par coup de filet sont plus fortes dans les carrés 7 et 8 (60 t) que dans les carrés situés plus au sud (10, 11, 12 : 40 t). La plus grande intensité de l'upwelling dans sa partie nord (8°N à 12°N) expliquerait cette différence de production.

Néanmoins, un effet inverse peut se produire au début de la saison d'upwelling, en juin, lorsque des eaux froides apparaissent brutalement en surface, d'une semaine à l'autre, pouvant alors enfermer des populations dans un piège thermique léthal. Foxton (1965) avait d'ailleurs observé à cette période des mortalités massives de poissons pélagiques au large de la Somalie.

La corrélation entre la force du vent et la température est hautement significative dans les deux cas de figures envisagés, à savoir à quinzaines correspondantes ( $r = -0.644$ ,  $\alpha < 1\%$ ) et à quinzaines décalées ( $r = -0.721$ ,  $\alpha < 1\%$ ).

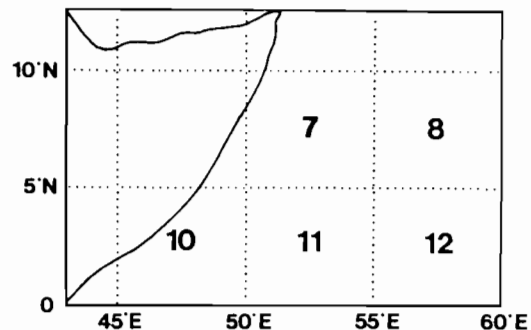
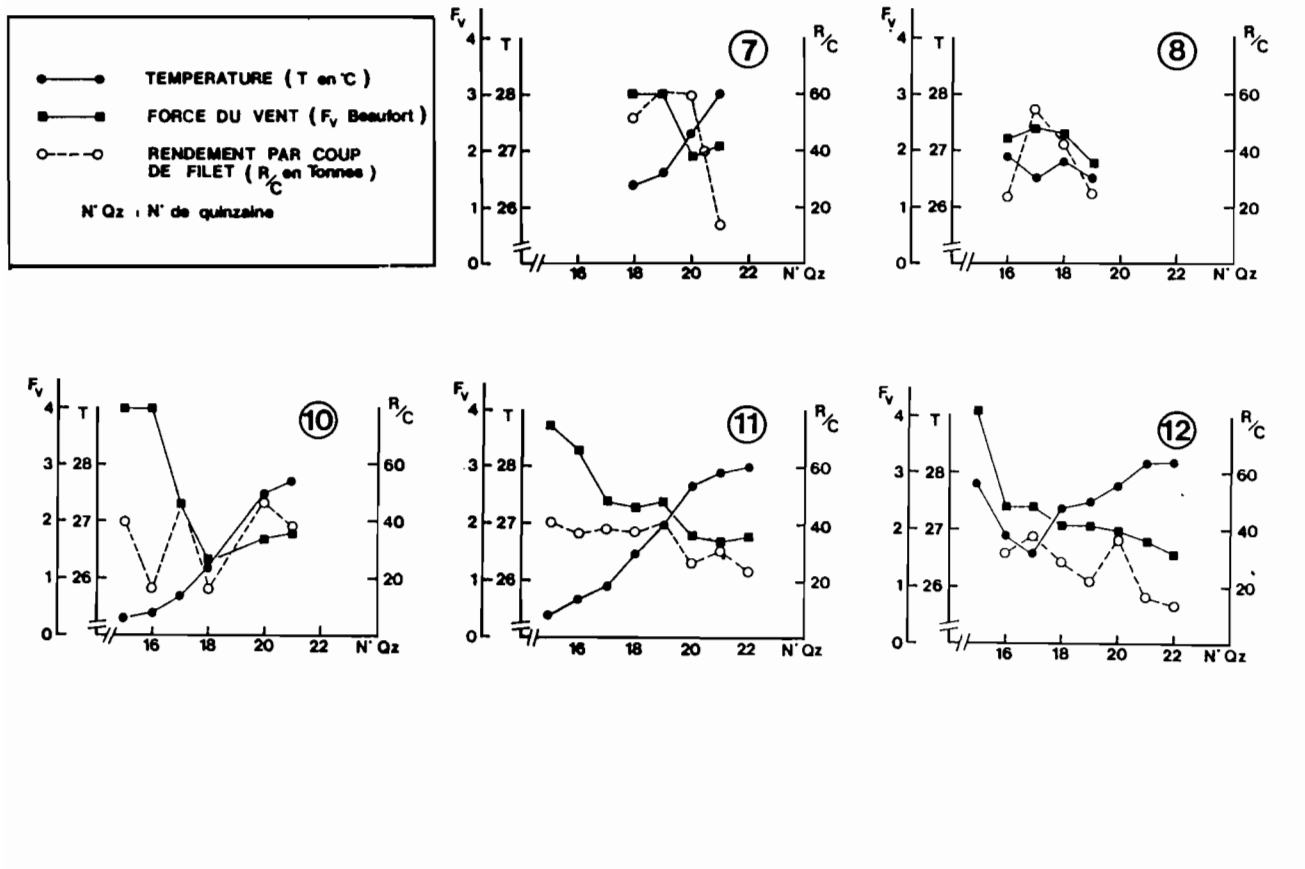


Fig. 5 — Evolution comparée de la température de surface (en °C), du vent (force Beaufort) et du rendement par coup de filet (en tonnes) regroupant épaves et mattes libres, par quinzaine et par carré de 5° x 5°, d'août à novembre dans la zone nord-équatoriale.

**TABEAU 6 :** Résumé des statistiques de pêche par zone et par type d'activité.

a) Sélection pour traitement par corrélations directes

Zone et Type d'activité		Captures totales (tonnes)	Nbre coups total	Nbre coups positifs
Nord-Equatoriale	Epaves	59 258	1 384	1 248
	Mattes	5 751	593	259
	Global	65 623	2 007	1 527
Canal Mozambique	Epaves	10 050	437	361
	Mattes	7 075	855	343
	Global	17 361	1 310	718

b) Sélection pour traitement par corrélations croisées

Zone et Type d'activité		Captures totales (tonnes)	Nbre coups total	Nbre coups positifs
Nord-Equatoriale	Epaves	57 844	1 346	1 210
	Mattes	6 279	631	288
	Global	64 632	2 004	1 515
Canal Mozambique	Epaves	9 050	381	320
	Mattes	6 180	771	308
	Global	15 451	1 167	640

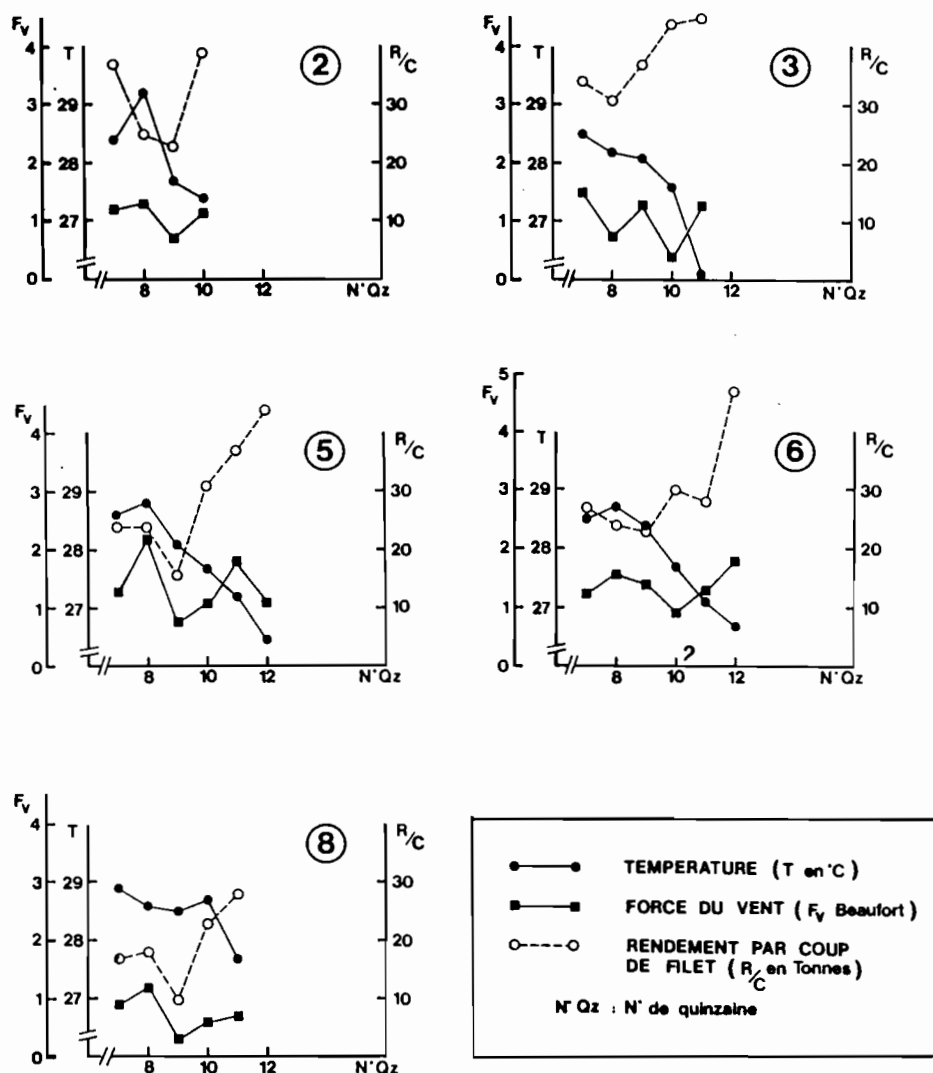


Fig. 6 — Evolution comparée de la température de surface (en °C), du vent (force Beaufort) et du rendement par coup de filet (en tonnes) regroupant épaves et mattes libres, par quinzaine et par carré de  $5^\circ$ , d'avril à juin dans le canal de Mozambique.

Les corrélations directes entre température, force du vent et pêche (tabl. 7 a) restent non significatives sauf dans le cas du rendement global par coup de filet en fonction de la température.

Les corrélations croisées entre température, force du vent et pêche sur épaves (tabl. 8 a) sont par contre hautement significatives.

— Canal de Mozambique (fig. 6) :

Le vent et la température y sont fortement corrélés

( $r = -0.69$ ,  $\alpha < 1\%$  à quinzaines correspondantes;  $r = -0.490$ ,  $\alpha < 2.5\%$  à quinzaines décalées). Les rendements de pêche fluctuent beaucoup, les valeurs maximales étant du même ordre de grandeur dans le nord du Canal (15 à 20 t) et plus faibles au centre (carré 8, 10 à 12 t).

Les corrélations directes (tabl. 7 b) ne sont significatives qu'entre le rendement par coup de filet et le vent.



Il faut cependant noter que la corrélation, négative avec les épaves, devient positive dans le cas des mattes libres.

Les valeurs remarquables des corrélations croisées ne concernent que les mattes libres : les rendements par

**TABLEAU 7 :** Tableau de corrélation entre paramètres d'environnement et résultats des pêches, selon le type d'activité. Traitement par quinzaines correspondantes (corr. directes). Coefficient de corrélation de Spearman.

a) Zone nord-équatoriale

		Prises	Rendt 1	Rendt 2	P.U.E
Epaves (n = 28)	Tempe.	0.044	- 0.281	- 0.228	—
	Vent.	- 0.025	0.247	0.178	—
Mattes (n = 17)	Tempe.	- 0.136	- 0.177	- 0.210	—
	Vent.	- 0.067	0.038	0.326	—
Global (n = 31)	Tempe.	0.078	- 0.419**	- 0.275	- 0.122
	Vent.	- 0.033	0.290	0.199	0.086

b) Canal de Mozambique

		Prises	Rendt 1	Rendt 2	P.U.E
Epaves (n = 28)	Tempe.	- 0.002	0.122	- 0.143	—
	Vent.	- 0.284	- 0.399*	- 0.367	—
Mattes (n = 17)	Tempe.	- 0.077	- 0.314	0.056	—
	Vent.	0.245	0.618***	0.262	—
Global (n = 26)	Tempe.	- 0.012	- 0.040	0.138	0.216
	Vent.	0.078	0.332*	- 0.140	- 0.297

Seuils de signification :

\* : 5 %  
 \*\* : 2,5 %  
 \*\*\* : < 1 %

Rendt 1 : rendement (en tonnes) par coup de filet;  
 Rendt 2 : rendement (en tonnes) par coup de filet positif.

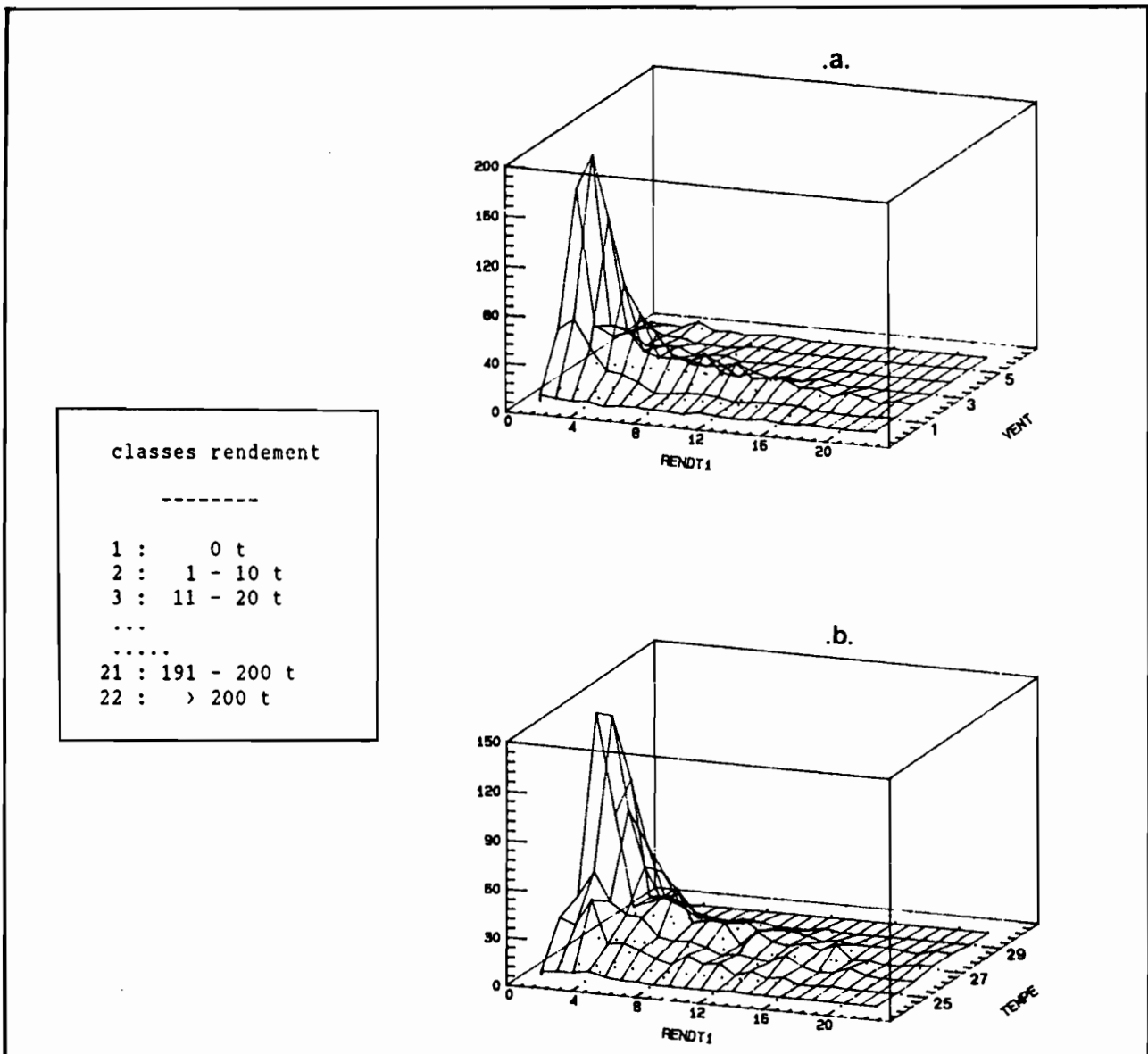


Fig. 7 — Distribution des niveaux de rendements par coup de filet (classes de 10 t) en fonction du vent (a) et de la température de surface (b) dans la zone nord-équatoriale (août à novembre, 1983-1986).

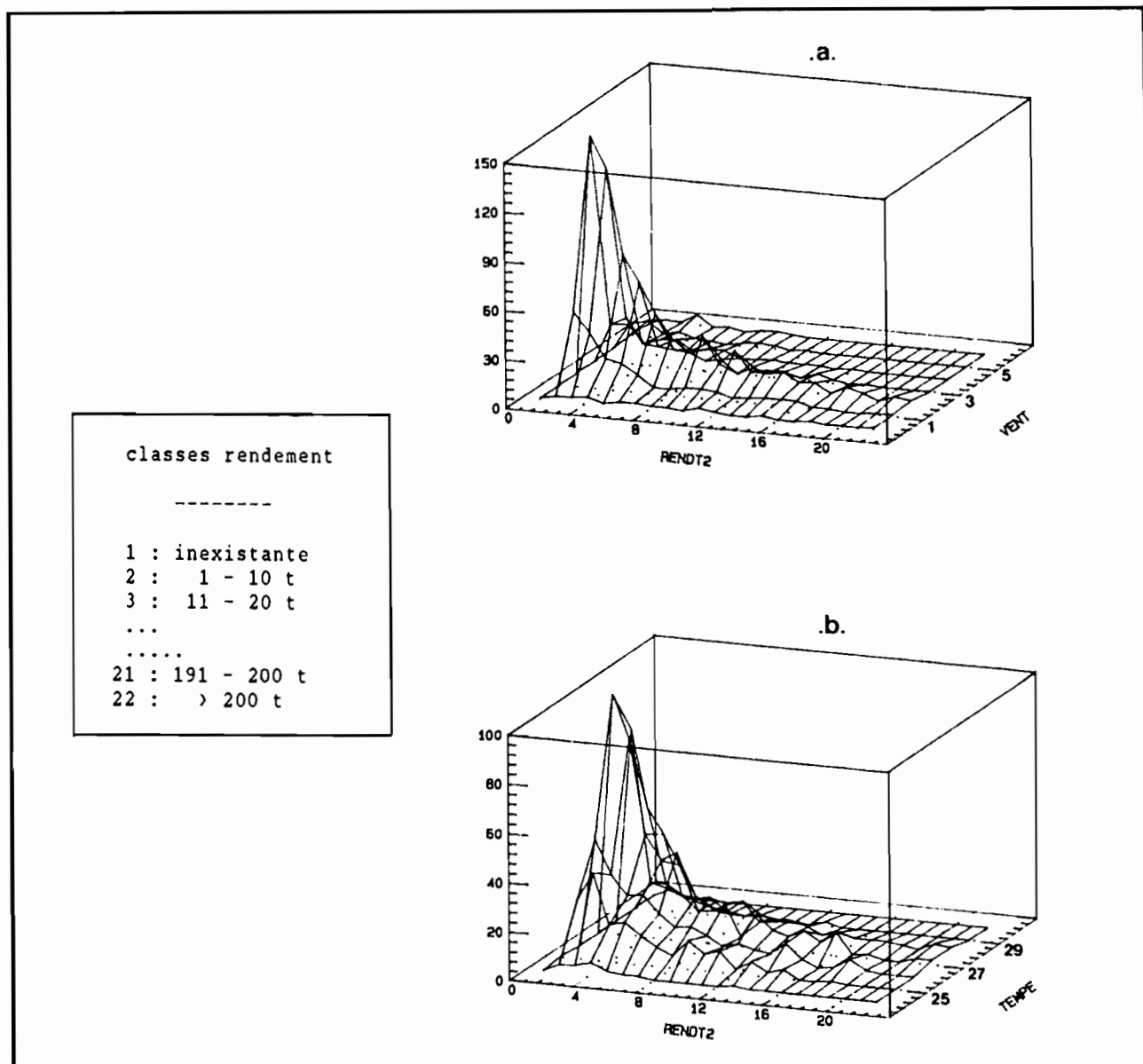


Fig. 8 — Distribution des niveaux de rendements par coup de filet positif (classes de 10 t) en fonction du vent (a) et de la température de surface (b) dans la zone nord-équatoriale (août à novembre, 1983-1986).

coup de filet sont hautement significatifs ( $\alpha = 1\%$ ) en fonction de la température et de la force du vent, alors que les rendements par coup positif ne sont corrélés qu'au vent.

c) Analyse des tableaux de contingence :

La première série de tableaux est traduite sous forme de diagrammes à trois dimensions. La topographie de la surface correspond à la fréquence de chaque couple rendement-température et rendement-vent. Les rendements par coup de filet ont été rangés en classes de 10 t, la température en classes de 1°C et la force du vent est exprimée en degré Beaufort.

— Zone nord-équatoriale (fig. 7 et 8) :

Les deux types de rendements (par coup : RENDT 1, et par coup positif: RENDT 2) forment une crête marquée le long des forces de vent comprises entre 2 et 3 Beaufort. En fonction de la température, on obtient deux crêtes, l'une à 25°C, l'autre à 27°C. Ceci confirme

une plus forte dépendance des rendements par rapport au vent que par rapport à la température, constatation déjà faite au paragraphe III.3.a. On s'aperçoit également que la fenêtre environnementale optimale reste la même, quel que soit le niveau de rendement.

— Canal de Mozambique (fig. 9 et 10) :

Les relations rendement-milieu sont légèrement différentes dans cette région. En effet, pour des rendements inférieurs à 30 tonnes, on constate deux créneaux favorisant la pêche, mieux différenciés dans la relation avec la force du vent (modes à 2 et à 5 Beaufort) que dans la relation avec la température (modes à 28°C et à 30°C). Lorsque la thermocline est marquée, ce qui est le cas dans le Canal à cette saison (Piton *et al.*, 1981), un vent fort va provoquer une diminution du gradient de densité, favorisant la diffusion verticale de substances nutritives vers la surface. Il est probable que les bonnes pêches associées au vent fort résultent d'un tel proces-

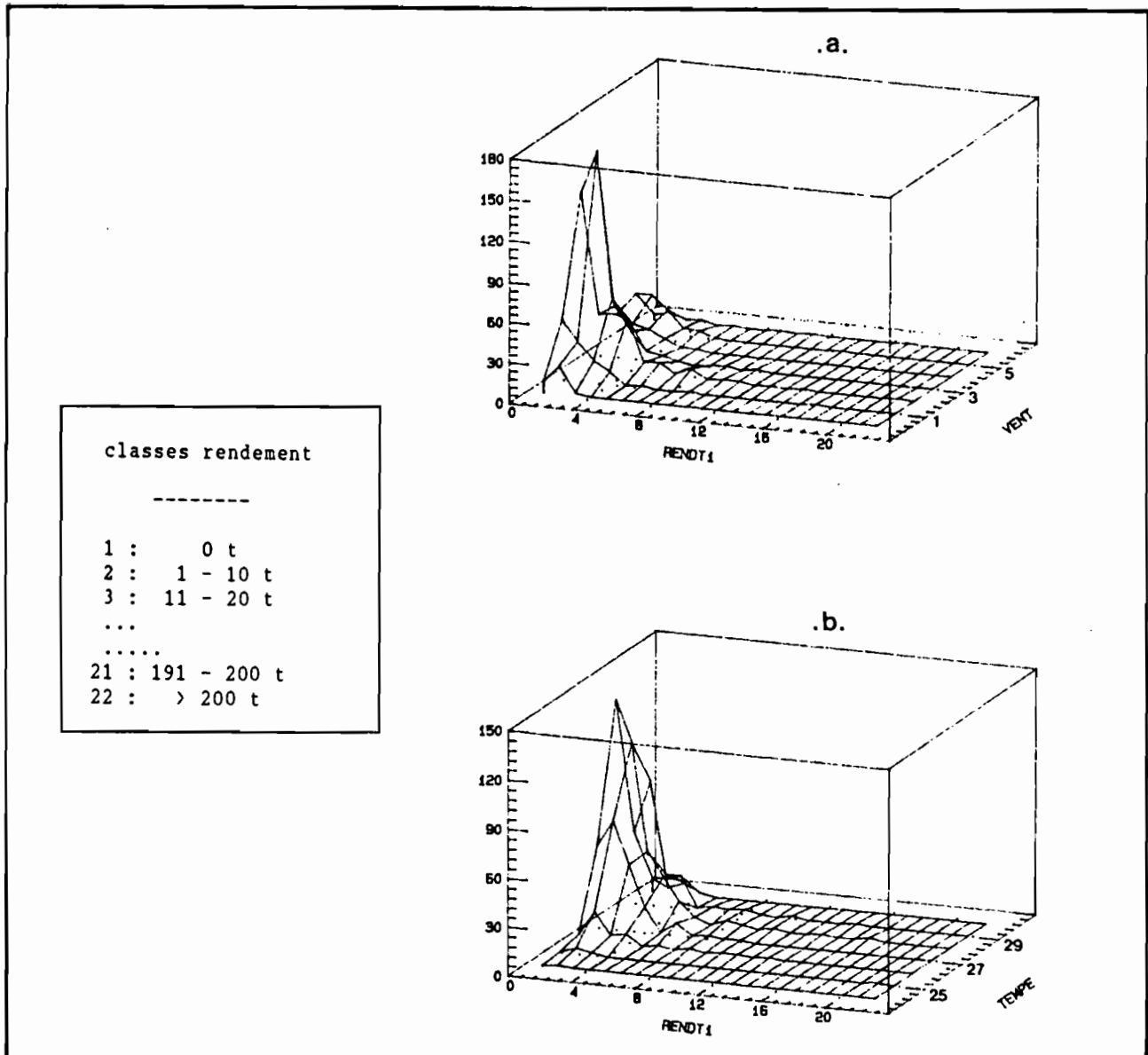


Fig. 9 – Distribution des niveaux de rendements par coup de filet (classes de 10 t) en fonction du vent (a) et de la température de surface (b) dans le canal de Mozambique (avril à juin, 1983-1986)

sus. C'est toute la différence entre cette zone où l'enrichissement des couches de surface nécessite des coups de vents ponctuels et la région nord-équatoriale, ayant été sous influence d'upwelling pendant plusieurs mois, qui reste productive pendant quelques semaines, en phase post-upwelling.

La deuxième série de tableaux traduites sous forme de diagramme simple, fixe un peu mieux les valeurs limites, en température et en force de vent, de la fenêtre environnementale optimale.

– Zone nord-équatoriale (fig. 11a) :

La fenêtre dans laquelle se trouve concentré le maximum de la ressource (rendement par coup > 40 t) se rétrécit progressivement, au fur et à mesure que l'on avance dans la saison de pêche et que l'on quitte la phase post-upwelling. L'intensité du regroupement en larges bancs (rendements par coup positif > 50 t) est

particulièrement marquée entre 26° et 27°C, pour des vents compris entre 3 et 10 nœuds (force 1 à 3).

– Canal de Mozambique (fig. 11 b) :

La fenêtre environnementale présente une forme particulière. La disponibilité maximale (rendement > 10 t) ne suit pas une évolution constante pendant la saison de pêche. Néanmoins, là encore, les eaux les moins chaudes (26° à 27°C) semblent favorables au rassemblement des thons. La zone des plus fortes tailles de bancs (rendement par coup positif > 20 t) sort du champ de la fenêtre « disponibilité », au niveau des faibles valeurs de vent, où l'on trouvera des conditions plus propices à une pêche efficace. Le créneau où les deux zones ne se chevauchent pas (28°C > T > 29°C, 1 > vent > 10 nœuds) correspondant vraisemblablement à des secteurs où les bancs sont peu nombreux mais de taille relativement importante.

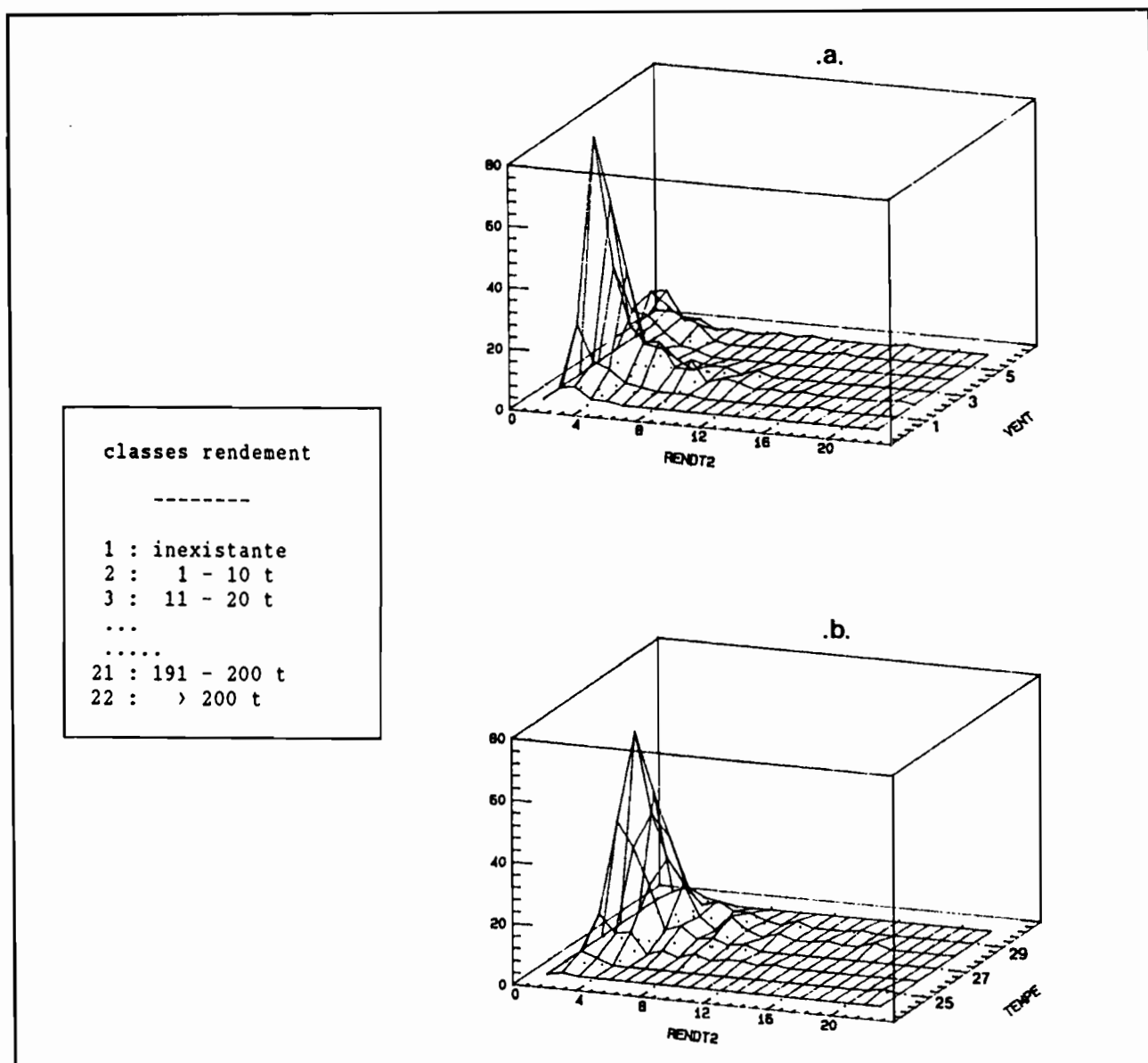


Fig. 10 — Distribution des niveaux de rendements par coup de filet positif

### III.4 CONCLUSIONS

Cette analyse confirme l'existence d'un déphasage entre évolution des conditions de surface et production thonière. On constate en effet des corrélations significatives entre situation hydrologique (température et vent) d'une quinzaine donnée et rendements de pêche de la quinzaine suivante, quelle que soit la zone considérée. Dans la zone nord-équatoriale, disponibilité en thon et taille des bancs diminuent lorsque la température augmente et que le vent faiblit. Ceci traduit probablement l'appauvrissement progressif en proies au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la saison d'upwelling. Les observations se rapportent aux bancs liés aux épaves dérivantes, prédominants dans cette zone. Dans le canal de Mozambique, seule l'activité de pêche sur mattes libres montre des corrélations hautement significatives. Les coups de vent qui tendent à briser la structure thermique verticale, refroidissent la surface tout en faisant remonter des matières nutritives dans la couche

euphotique. Ils ont pour effet, au sein de la quinzaine durant laquelle s'est produit cet événement, mais surtout dans la quinzaine suivante, d'accroître la disponibilité du poisson et de favoriser le regroupement en bancs de grande taille. Le fait qu'aucune corrélation significative n'ait été obtenue avec les PUE peut s'expliquer de diverses façons :

- La combinaison des activités sur épaves et mattes ne produit pas un estimateur fiable de la ressource dans des zones où s'appliquent des stratégies de pêche fort différentes (épaves et mattes); il s'avère indispensable de calculer des PUE relatives à chaque type de pêche, moyennant un algorithme qui reste à définir.
- Il est également fort probable que la seule prise en compte de la température et du vent de surface soit très insuffisante pour expliquer le niveau d'abondance d'une ressource occupant un large volume compris entre 0 et 200-300 m de profondeur. L'inté-

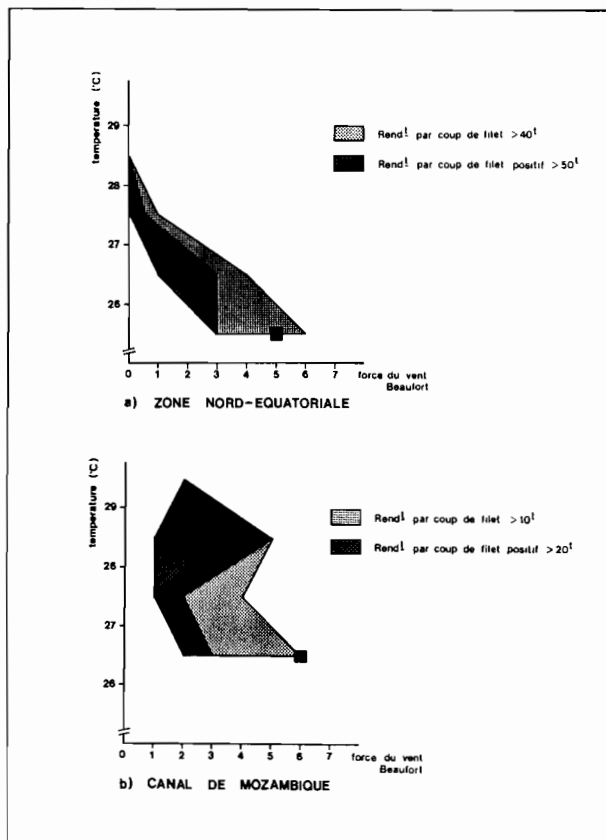


Fig. 11 — Fenêtres environnementales optimales des rendements par coup de filet (disponibilité de la ressource) et des rendements par coup positif (fraction vulnérable à la senne).

gration des structures subsuperficielles en particulier immersion et gradient thermique de la thermodyne devient alors nécessaire.

Un élément commun aux observations faites dans chaque zone est la concentration de la ressource dans les eaux les moins chaudes (25° à 26°C dans la zone nord-équatoriale, 26° à 27°C dans le canal de Mozambique). En outre, des vents trop forts (vitesse > 20 nœuds) nuisent à la vulnérabilité des bancs. Un compromis reste donc à trouver. Au nord de l'équateur, il peut être intéressant de surveiller l'évolution du vent à partir du mois d'août pour être prêt à pêcher dès qu'il diminue en-dessous d'un certain seuil (17 à 20 nœuds). Ensuite, lorsque les eaux dépassent 28°C, la saison de pêche touche à sa fin dans cette zone. Dans le canal de Mozambique, l'évolution est moins typique. Il faudra de préférence rechercher les secteurs ayant été soumis pendant les deux ou trois semaines précédentes à des coups de vent ponctuels.

Il ressort de ceci la nécessité de disposer rapidement (à l'échelle de la semaine) d'un minimum de données de température et de vent. L'analyse des champs thermiques de surface à partir de satellites défilants, dans l'océan Indien occidental, a été conduite à partir d'une méthode mise au point par Gohin (1987) faisant appel à la théorie des variables régionalisées (Matheron, 1965). Fondée sur une analyse de la structure du champ des valeurs de température, elle permet de calculer une valeur du paramètre et l'erreur associée aux nœuds d'un réseau maillé à partir d'observations inégalement répar-

ties dans l'espace. Cette méthode d'estimation est connue sous le nom de « krigeage ». C'est ainsi qu'une cartographie de l'upwelling somalien a pu être réalisée à partir de données GAC (Global Area Coverage) délivrées par le satellite NOAA-9, auxquelles ont été incorporées des données de température mesurées par des bateaux marchands (Gohin et Marsac, 1988). La carte du 8 au 15 juin 1985 (fig. 12) fait nettement apparaître deux pôles de refroidissement le long de la côte somalienne, sur 4°N et 10°N. Ils s'étendent en cône vers le large sous l'effort du courant qui forme deux cellules anticycloniques développant des convergences en leur centre. De telles images produites en séquence à partir d'une station de réception régionale aideraient à localiser des zones cibles dont les conditions correspondraient à celles qui viennent d'être décrites. En complément, des expériences encourageantes de thermographies du canal de Mozambique à partir de Meteosat sont en cours et pourraient être mises à profit.

Il est possible de réunir en une seule image de synthèse, couvrant une période de plusieurs jours, des données d'origines diverses (Meteosat, NOAA-Tiros, navires) afin de produire une thermographie réaliste dont la précision peut être évaluée grâce à l'approche géostatistique. Il faut cependant savoir que la région occidentale de l'océan Indien ne présente des contrastes thermiques en surface que de juin à octobre, ce qui limite à une période de six mois l'utilisation des thermographies satellitaires pour la conduite de flottille.

TABLEAU 8 : Tableau de corrélation entre paramètres d'environnement et résultats des pêches, selon le type d'activité. Traitement par quinzaines décalées (corr. croisées). Coefficient de corrélation de Spearman.

a) Zone nord-équatoriale

		Prises	Rend <sup>1</sup>	Rend <sup>2</sup>	P.U.E
Epaves (n = 25)	Tempe.	- 0.391**	- 0.479***	- 0.423**	—
	Vent.	0.294	0.582***	0.543***	—
Mattes (n = 17)	Tempe.	- 0.026	- 0.020	- 0.114	—
	Vent.	- 0.062	- 0.044	0.169	—
Global (n = 27)	Tempe.	- 0.164	- 0.462**	- 0.399**	- 0.222
	Vent.	0.194	0.517***	0.539***	0.313

b) Canal de Mozambique

		Prises	Rend <sup>1</sup>	Rend <sup>2</sup>	P.U.E
Epaves (n = 15)	Tempe.	0.172	0.378	0.433	—
	Vent.	- 0.027	- 0.127	- 0.172	—
Mattes (n = 18)	Tempe.	- 0.333	- 0.754***	- 0.283	—
	Vent.	- 0.045	0.619***	0.467**	—
Global (n = 21)	Tempe.	- 0.087	- 0.372*	0.171	0.022
	Vent.	- 0.229	0.203	- 0.126	- 0.328

Seuils de signification :

\* : 5 %

\*\* : 2,5 %

\*\*\* : < 1 %

Rend<sup>1</sup> : rendement (en tonnes) par coup de filet;

Rend<sup>2</sup> : rendement (en tonnes) par coup de filet positif.

# TEMPERATURES ESTIMEES PAR KRIGEAGE DU 8 AU 15 JUIN 1985

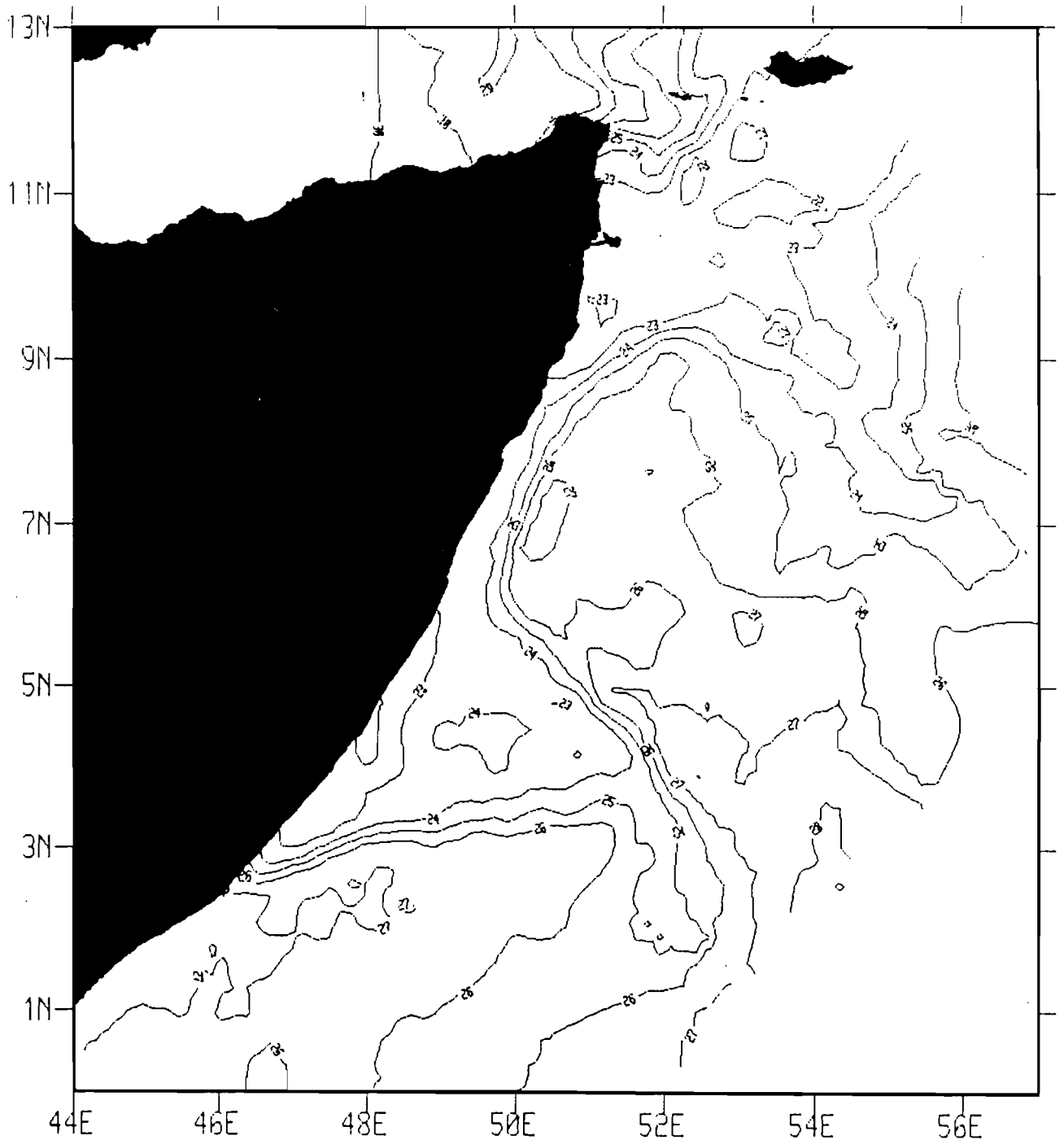


Fig. 12 — Carte de température de surface mettant en évidence l'upwelling de Somalie, du 8 au 15 juin 1985, réalisée par superposition de données satellitaires (AVHRR sous format GAC, NOAA-9) et de données in situ.

## IV. VERS UNE AIDE A LA PECHE OPERATIONNELLE DANS L'OCEAN INDIEN

Nous venons de voir que certaines conjonctions de vent et de température peuvent définir sommairement un environnement propice au regroupement des bancs de thons. Il semble toutefois que les relations varient d'une zone à l'autre, en fonction de leur spécificité hydrologique (la présence d'un upwelling, en particulier, en est une).

Néanmoins, il est évident que beaucoup d'autres facteurs doivent être considérés. A partir de profils thermiques de subsurface, on peut extraire plusieurs paramètres (épaisseur de la couche homogène, gradient thermique dans la thermocline, immersion de certains isothermes) qui peuvent être des variables explicatives de la vulnérabilité du thon. Les courants ont aussi leur importance pour la pêche thonière dans la mesure où ils transportent des débris flottants concentrant les pélagiques, qui s'accumulent dans des zones tourbillonnaires

(cas dans la zone nord-équatoriale) ou au niveau de convergences (à la bordure nord du contre-courant équatorial sud).

L'étude combinée de tous ces facteurs, au moyen d'analyses multivariées, permet d'extraire les degrés de correspondance entre plusieurs variables explicatives et les paramètres pêche, et conduira à l'élaboration de modèles d'aide à la pêche régionalisés. Construits sur une base empirique, ils pourront être testés sur les captures déjà faites. L'étape suivante est la phase opérationnelle qui requiert alors des moyens d'acquisition de données du milieu en temps réel. Les clés du système sont, d'une part, une réalisation aisée des mesures et, d'autre part, leur transmission rapide au centre de traitement. D'où l'effort à porter sur l'exploitation des données issues des satellites d'environnement et en particulier, ceux qualifiés d'océanographiques (les descendants de SEASAT : GEOSAT, NROSS, TOPEX). Outre la température de surface délivrée par les radiomètres infra-rouges, et déjà largement utilisée, il faut désormais compter avec les capteurs actifs (radars, altimètres, scatteromètres) qui décrivent les champs de vent, la hauteur des vagues, le déplacement des masses d'eau. Le problème qui subsiste encore, en 1988, est un accès aisé et rapide à ces données, en dehors des Etats-Unis.

On ne peut négliger le segment mer, déjà bien organisé, à partir des bouées dérivantes et des navires marchands. Dans l'océan Indien, des largages de bouées munies de chaînes de thermistance sont en cours dans le cadre du programme international TOGA. Des lignes de navires marchands équipés de bathythermographes à tête perdue (XBT) se mettent en place. On assiste actuellement à la mise en service des interfaces couplées à ces XBT et transmettant les données via le système ARGOS. Dans l'immédiat, on peut déjà disposer, au travers du réseau Transpac (ou Dompac) de bathymesages, profils réduits à une vingtaine de points significatifs transmis par radio après les lancers. Enfin, les « message-ships », comprenant les informations sur les conditions de surface (température, vent, dérive), transmises sur le système mondial de télécommunications, sont directement accessibles par les réseaux déjà mentionnés.

Un dernier point s'adresse aux systèmes de transmission d'informations du centre vers les flottilles, et inversement. La voie offerte par le système Telemer, utilisant le satellite de communication Inmarsat, s'avère très prometteuse. Elle permet la transmission de « pages » qui peuvent s'afficher sur l'écran, d'un micro-ordinateur, à bord du navire, et s'enregistrer sur un périphérique de stockage. Ces « pages » peuvent comporter des messages écrits (suggestions sur les zones à prospecter) ou des cartes à partir desquelles les patrons de navires peuvent bâtir leur propre stratégie de recherche. Un autre intérêt est le caractère « crypté » des transmissions dont ne bénéficieront que les navires autorisés.

On peut résumer comme suit la démarche logique qui devra conduire à une tentative de conduite opérationnelle de flottille dans l'océan Indien, à l'horizon 1990-1992 :

- Analyse des relations thon-environnement dans l'océan Indien, à partir des données récoltées depuis 1982 par les senneurs. Le contexte hydrologique moyen et la mise en évidence de fluctuations inter-annuelles s'appuient sur les atlas océanographiques et sur une base de données physico-chimiques remontant à 1906.
- Elaboration de modèles régionalisés calculant les probabilités de pêche en fonction des conditions du milieu. Ces modèles empiriques sont testés sur les pêches déjà effectuées de manière à évaluer leur robustesse et déceler les sources d'incertitudes.
- Premières tentatives de mise en application opérationnelle dans l'océan Indien occidental. Il sera nécessaire d'intégrer le plus rapidement possible les résultats des pêches en cours pour améliorer le caractère prédictif de ces modèles.

Ces conclusions, qui peuvent paraître optimistes, doivent cependant être interprétées avec mesure, car les expériences passées ont montré qu'il est difficile de descendre en-dessous d'un certain seuil de précision dans la définition des aires potentielles de pêche. Ponctuellement, des prévisions se sont même avérées totalement fausses, des navires ayant sillonné en vain des secteurs désignés comme favorables. Il faut donc connaître la limite des espérances que l'on peut mettre dans de tels projets.

---

## BIBLIOGRAPHIE

- CURY P. et C. ROY, 1988 — Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. Soumis à *Can. J. Aqu. Sci.*
- FOXTON P., 1965 — A mass fish mortality on the Somali Coast. *Deep Sea Res.* (12) : 17-19. .
- GOHIN F., 1987 — Analyse géostatistique des champs thermiques de surface de la mer. Thèse de Docteur-Ingénieur, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris.

- GOHIN F. et F. MARSAC, 1988 — Estimation de la température de surface de la mer à partir des données satellites AVHRR sous format GAC. Application à l'océan Indien occidental. En préparation;
- MATHERON, 1965 — Les variables régionalisées et leur estimation. Masson et Cie, Paris : 305 p.
- PITON B., J.H. POINTEAU et J.S. NGOUMBI, 1981 — Atlas hydrologique du canal de Mozambique (océan Indien). *Trav. Doc. ORSTOM*, Paris (132) : 41 p.