



# Dynamique de l'upwelling et variabilité spatio-temporelle de la répartition de la sardine marocaine, *Sardina pilchardus* (Walbaum, 1792)

Upwelling  
Maroc  
Sardine  
Température de surface

Upwelling  
Morocco  
Sardine  
Sea surface temperature

Souad KIFANI <sup>a</sup> et Francis GOHIN <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Institut Scientifique des Pêches Maritimes, 2, rue Tiznit, Casablanca, Maroc.

<sup>b</sup> Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (IFREMER), DRO/OS, Centre de Brest, B.P. 70, 29280 Plouzané, France.

Reçu le 22/01/91, révisé le 21/10/91, accepté le 10/12/91.

## RÉSUMÉ

Une approche spatio-temporelle est proposée pour tenter de comprendre les variations de disponibilité de la sardine du stock central le long des côtes atlantiques marocaines. Considérant que celle-ci est directement liée à l'activité de l'upwelling (Belvèze et Erzini, 1983), les conséquences de la diminution de l'intensité des vents, que connut l'Atlantique en 1987 et 1989, sont analysées. La disponibilité de la sardine augmente dans l'aire de pêche de Safi, au détriment de celle d'Agadir, quand l'activité de l'upwelling est réduite. Deux hypothèses sont avancées pour tenter d'expliquer la divergence qui semble s'établir entre l'intensité de l'upwelling et la disponibilité de la sardine dans la pêche traditionnelle marocaine. L'une des hypothèses formulées se base sur les particularités hydrologiques de la région atlantique marocaine et l'autre sur le comportement grégaire et ses conséquences sur la distribution des petits pélagiques. Il semble probable que la modification du schéma de répartition de la sardine observée ces dernières années, résulte : 1) de la réduction de l'aire de distribution du stock ; et 2) du changement des conditions environnementales qui poussent la sardine à se réfugier dans certaines zones privilégiées.

*Oceanologica Acta*, 1992. 15, 2, 173-186.

## ABSTRACT

### Upwelling evolution and Moroccan sardine catches

A space-time approach is adopted in an attempt to understand changes in the availability of the central sardine stock along the northwestern Moroccan coast. The warming observed in 1987 and 1989, due to the decline in wind activity, seems to have some repercussions on sardine distribution. The decrease in upwelling activity seems to have favoured concentration in the vicinity of Safi, and thus rendered the sardines more vulnerable to the purse-seiners of this port. We seek to explain the failure of the link established by Belvèze and Erzini (1983) between sardine availability and upwelling activity in the northern area. Two hypotheses, taking into account the local hydrology or the tendency of pelagic species to aggregate in time and space, have been put forward. We believe that the modification of the space-time distribution of the sardine may have two origins: 1) change in stock size and range of distribution; and 2) prevailing environmental conditions which force the sardines to concentrate in favourable areas.

*Oceanologica Acta*, 1992. 15, 2, 173-186.

## INTRODUCTION

La dynamique spatio-temporelle des champs thermiques de surface révèle la variabilité dans le temps et l'espace des résurgences d'eaux profondes contribuant, dans les écosystèmes d'upwelling, à l'enrichissement du milieu peuplé de petits pélagiques inféodés à ces systèmes. La modification de l'aire d'habitat constitue un des aspects que revêt la dynamique de ces populations face au changement des conditions environnementales et à la pression de pêche. Cet aspect conduit, dans certains cas, à l'accroissement de la vulnérabilité du stock à la pêche suite à la double concentration du poisson sous l'effet des contraintes environnementales et de l'effort de pêche (Saville, 1980 ; Csirke, 1989). L'exemple le plus spectaculaire est le cas bien connu de l'anchois du Pérou qui, sous l'effet de l'épisode de 1971-1972 du phénomène El Niño, a vu son aire de distribution se cantonner aux foyers résiduels d'upwelling. Ceci a eu pour double conséquence un effondrement de ce stock et le remplacement de l'anchois par la sardine (Valdivia, 1978 ; Zuzunaga, 1985 ; Sharp, 1987 ; Csirke, 1988 ; 1989 ; Muck, 1989). D'autres exemples peuvent être cités, notamment les cas de la sardine de Californie (MacCall, 1976 ; 1983), de la sardine d'Afrique du sud (Crawford *et al.*, 1983 ; Shelton et Armstrong, 1983) ou encore le stock de sardine du Japon (Hayasi, 1983) et le stock de hareng de la mer du Nord (Saville et Bailey, 1980).

La façade atlantique marocaine, élément du système nord-ouest africain d'upwelling, constitue un milieu hydroclimatique aussi variable que dans les autres régions d'upwelling ; variabilité spatio-temporelle saisonnière mais également interannuelle et décennale (Belvèze, 1983). Cette région connaît, depuis la seconde moitié de la décennie 70, d'importants changements (Binet, 1988), aussi bien au niveau de l'environnement que de la dynamique des ressources pélagiques, en particulier la sardine qui domine les captures depuis le début de l'exploitation, et le maquereau.

L'objectif de ce qui suit est de tenter, par une approche spatio-temporelle, de mettre en évidence certaines relations liant l'évolution hydroclimatique observée sur plusieurs années à la répartition des captures de sardine le long des côtes marocaines, en particulier dans la zone délimitée par les ports de Safi au Nord et d'Agadir au Sud (fig. 1).

## RÉPARTITION SPATIO-TEMPORELLE DE LA SARDINE

## Répartition géographique

La sardine du plateau continental nord-ouest africain fait partie des espèces pélagiques inféodées aux upwellings du courant des Canaries qui sont étroitement dépendants du système de hautes pressions des Açores et des vents alizés (Nord-Est) qu'il engendre. Un certain nombre de travaux, portant sur des paramètres tels que les caractères méristiques et biométriques, les paramètres de croissance, (Belvèze, 1984 ; Belvèze et Rami, 1978 ; Domanevsky et Barkova, 1976 ; Furnestin et Furnestin, 1970), la composition biochimique du cristallin (Biaz, 1978) et la localisation des aires de distribution et de ponte (Belvèze, 1984), ont permis de diviser le peuplement sardinier nord-ouest africain en trois unités de population. La population centrale qui intéresse cette étude se situe entre 27°N et 32°30'N (fig. 2A). Cette population supporte, sur sa marge septentrionale, une pêcherie sardinière marocaine dite "traditionnelle" qui s'est développée dans la région comprise entre Safi et Agadir. Elle est également exploitée entre 27°N et 29°30'N, dans sa partie méridionale, par les flottilles espagnole et marocaine, opérant respectivement à partir des Canaries et de Tan Tan. Les campagnes de prospection acoustique ont montré que les concentrations de sardines sont permanentes dans ce secteur. La pêcherie traditionnelle est alimentée en été par une fraction du stock central qui migre du sud de la baie d'Agadir, région où s'effectue l'essentiel de la ponte en hiver, vers le nord où elle fait l'objet d'une pêche par les flottilles d'Agadir, Essaouira et Safi (Furnestin et Furnestin, 1970). Ces migrations correspondent, selon Belvèze et Erzini (1983) et Belvèze (1984), à des phénomènes saisonniers d'extension et de contraction de la population, en relation avec le développement de l'upwelling au nord entre les caps Cantin et Ghir. Outre ses migrations le long de côte, la sardine se déplace également dans le sens côte-large selon un rythme saisonnier, en relation avec la ponte (Furnestin et Furnestin, 1970 ; Furnestin et Furnestin, 1959). Elle migre au printemps et en hiver vers le large au niveau des fonds de 50 à 100 m et se concentre à la côte en été et en automne sur des fonds de 20 à 50 m (fig. 2B).

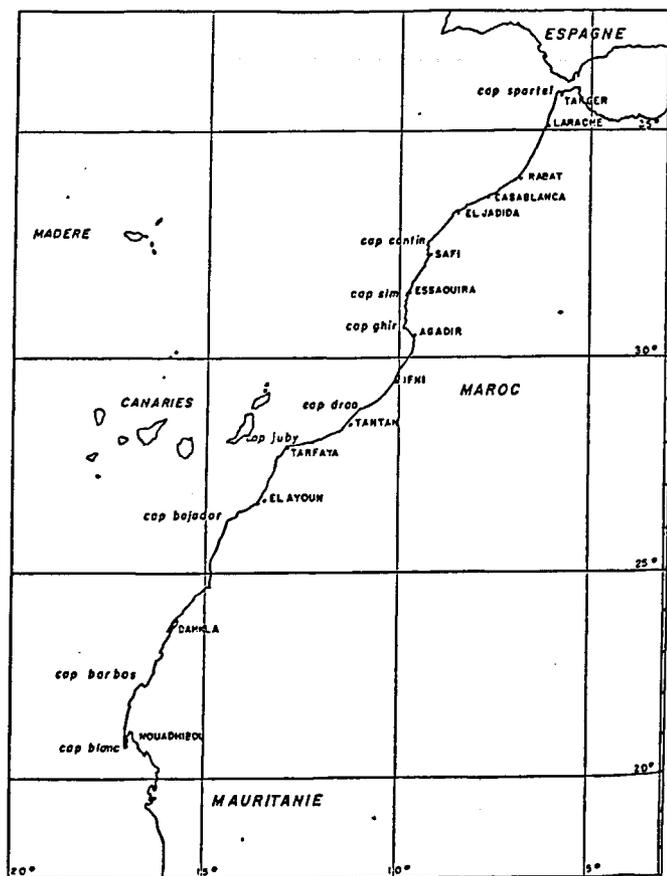


Figure 1

Situation géographique des principales localités.

Map of main localities.

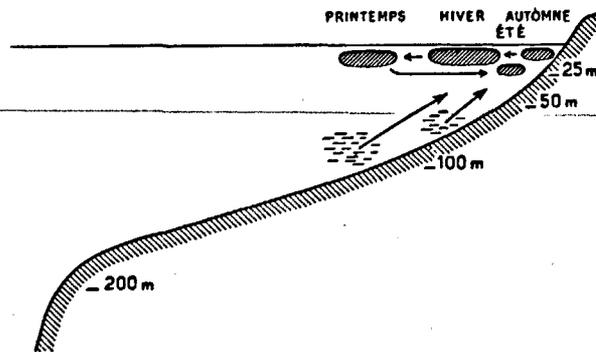
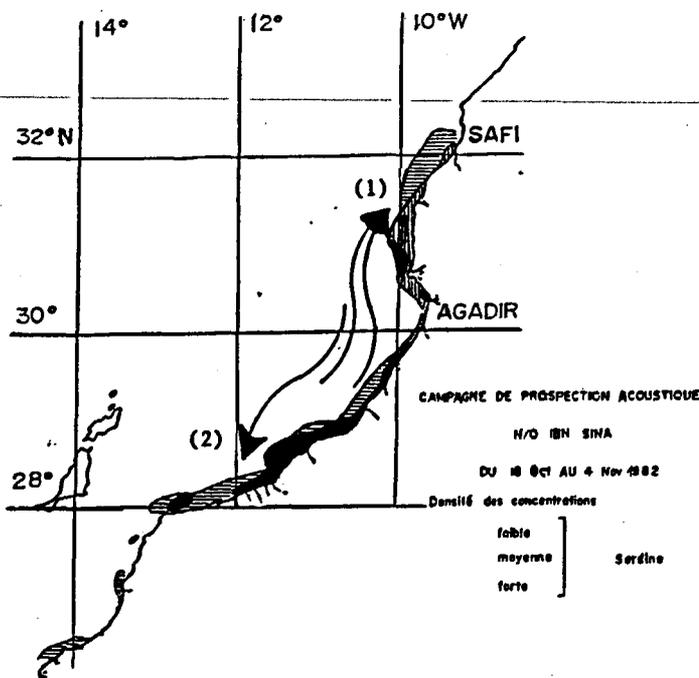


Figure 2

Distribution des concentrations de sardine du stock central marocain. A) distribution longitudinale et sens des migrations saisonnières, printemps-été (1) et automne-hiver (2) [modifiée d'après Lamboeuf *et al.* 1984] ; B) distribution saisonnière par rapport à la côte des concentrations de ponte de sardine (modifiée d'après Furnestin et Furnestin, 1970).

*Distribution of the central Moroccan sardine stock: A) distribution and direction of the seasonal migrations; spring-summer (1) and autumn-winter (2); B) seasonal distribution of the spawning area.*

**Variabilité à long terme**

En raison de son faible rayon d'action, la flottille de pêche traditionnelle est tributaire de la portion du stock qui migre saisonnièrement vers son aire de pêche. Belvèze et Erzini (1983), Fréon (1986) et Fréon *et al.* (1990) soulignent que la disponibilité de la sardine au nord dépend en premier lieu de l'intensité des alizés et de l'upwelling estival subséquent entre 30°N et 32°N : l'importance des migrations dépend de l'efficacité de cet upwelling à générer et entretenir une productivité primaire dans cette région et l'influence de l'abondance réelle du stock ne se ferait sentir que de manière sous-jacente.

Une tendance à l'affaiblissement des vents alizés et de l'upwelling a été observée au cours des années 1960 et 1970. Cet affaiblissement s'est accentué pendant la seconde moitié de la décennie 70 (à partir de 1975), qui semble s'être accompagné d'une chute des rendements sardiniens des senneurs marocains au nord (fig. 3 et 4). La décennie 80 a été marquée par une reprise erratique de l'activité des vents qui ne s'accompagna toutefois pas d'une reprise des captures. Il s'avère par ailleurs, que si les migrations saisonnières de la sardine continuent à répondre au schéma proposé à ce jour, la correspondance établie à l'échelle interannuelle entre l'upwelling et la capture de sardine au nord n'est plus valable pour les années récentes. Le lien établi entre les captures de sardine dans la pêcherie traditionnelle et l'upwelling concomitant semble s'être inversé depuis 1976 et, fait troublant, une corrélation positive semble par contre s'établir entre l'upwelling et les captures de maquereau (fig. 5). Ceci n'est pas sans rappeler le cas de stocks d'espèces subordonnées dont le développement, au détriment de l'espèce dominante, a été favorisé par un changement climatique combiné, dans certains cas, à la sur-pêche de l'espèce dominante (Shannon *et al.*, 1988 ; Gulland, 1987 ; Crawford, 1987 ; Zuzunaga, 1985 ; Tanaka, 1983 ; MacCall, 1983 ; Skud, 1982 ; Daan, 1980).

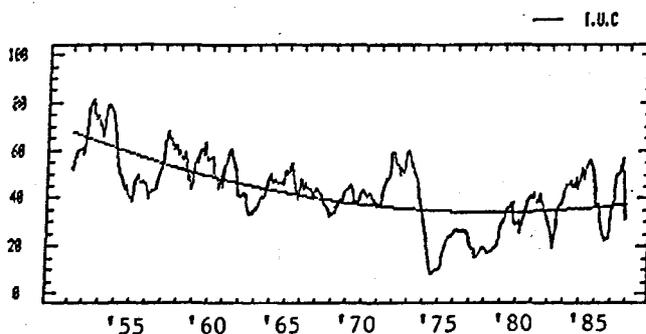


Figure 3

Variabilité interannuelle des CPUE (nombre total de sorties TJB.103) dans la pêcherie marocaine traditionnelle de 1968 à 1988. Série désaisonnalisée et tendance (polynôme de degré 1).

*Interannual variability of the Catch Per Unit of Effort (CPUE).*

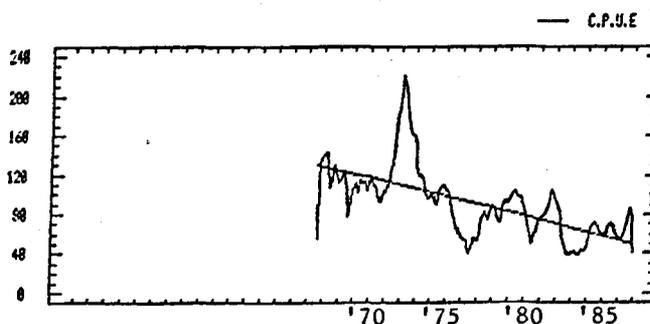


Figure 4

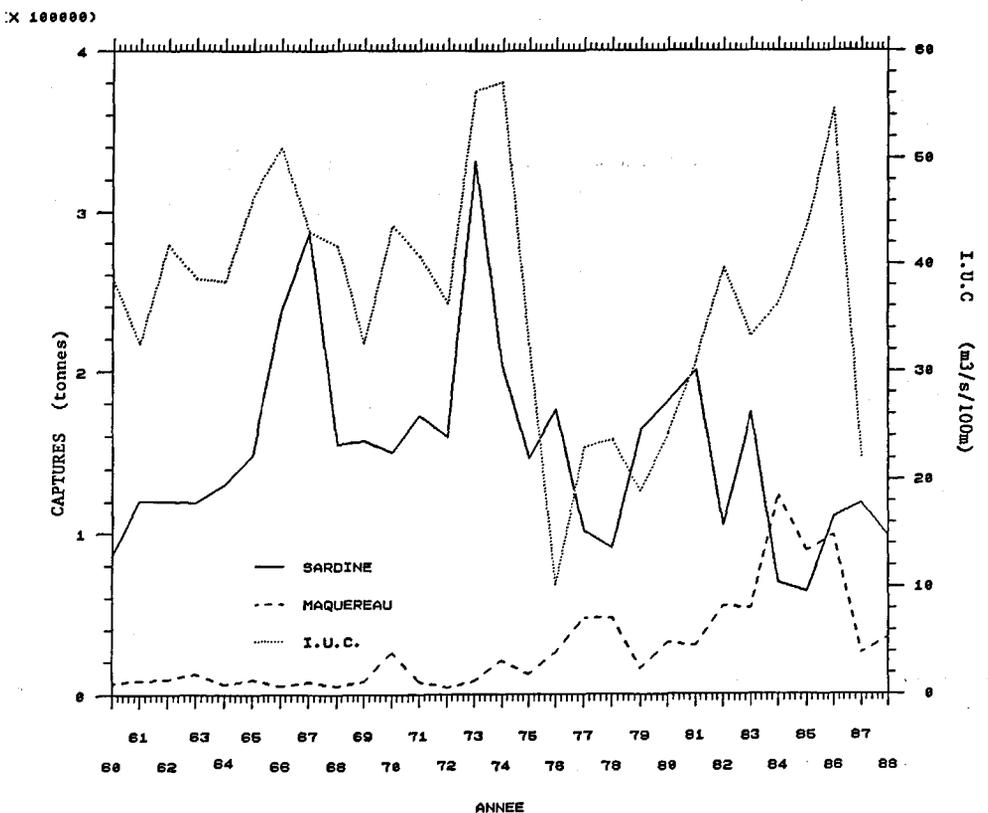
Variabilité interannuelle de l'activité hydroclimatique (représentée par un indice d'upwelling côtier IUC calculé selon le modèle de Bakun, 1973 et exprimé en m<sup>3</sup>/s/100 mètres linéaires de côte) au niveau du littoral marocain de 1952 à 1988. Série désaisonnalisée par une moyenne mobile et tendance (polynôme de degré 2).

*Interannual variability of the hydroclimatic activity, represented by a Coastal Upwelling Index.*

Figure 5

Évolutions comparées de l'indice d'upwelling côtier annuel et des captures de sardine et de maquereau réalisées par la pêche traditionnelle marocaine. A noter le comportement des captures de chacune des espèces en fonction de l'upwelling après 1975.

Compared evolutions of the mean annual Coastal Upwelling Index and the sardine and mackerel catches.



## LES OUTILS D'OBSERVATION DU MILIEU

La température de surface de la mer (TSM) est utilisée ici comme un indice de la variabilité hydroclimatique de l'Atlantique marocain. La cartographie des champs thermiques de surface présente en effet l'avantage de caractériser aussi bien dans le temps que dans l'espace des paramètres tels que la localisation et l'extension des masses d'eaux d'upwelling associées à d'importants processus biologiques. Deux types de données, provenant de mesures prises en mer et par télédétection, sont utilisés.

### L'observation instantanée par télédétection

Les données satellitaires utilisées proviennent du Centre de Météorologie Spatiale de Lannion. Le principe physique est le suivant : le rayonnement électro-magnétique situé dans les longueurs d'onde de l'infra-rouge thermique, reçu par le radiomètre AVHRR des satellites océanographiques défilants (NOAA-9 et NOAA-11) de la NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration), permet de restituer la température de la pellicule de la surface océanique. Le signal est cependant soumis à une absorption lors du trajet dans l'atmosphère. Un algorithme simple permet, par combinaison linéaire des températures radiatives  $T_4$  et  $T_5$  déduites des canaux 4 et 5 de l'AVHRR, de filtrer une grande partie des effets atmosphériques et de restituer avec une très faible erreur la température de surface de la mer en condition de ciel clair (Deschamps et Phulpin, 1980).

$$T_s = 3T_4 - 2T_5 + C_0$$

$C_0$  est une constante évaluée par calibration de l'image étudiée sur un jeu de données *in situ*.  $C_0$  varie de 0,5 à 1,5 °C selon la saison.  $C_0$  est en général plus faible l'hiver que

l'été sur la région. La largeur du pixel est d'environ 1 500 mètres, la limite inférieure 1 100 m étant atteinte sous la trace du satellite. Après correction géométrique, l'image est parfaitement positionnée.

Ce type de données présente un grand avantage pour la restitution des champs thermiques instantanés mais a l'inconvénient d'être peu efficace pour un suivi régulier de l'upwelling. Ainsi, aucune image claire n'a pu être obtenue au cours des mois de juillet de 1986 à 1990, ce qui pose un problème d'autant plus crucial que ce mois correspond justement au plus fort développement de l'upwelling et de la pêche.

### L'observation en mer

Ces données sont acquises en temps réel auprès des services de Météo France et correspondent aux relevés de température effectués par les navires marchands collaborant au Système Mondial de Transmission. Dans la plupart des cas, la température mesurée par les navires est celle de l'eau servant à refroidir les moteurs. Elle est donc prise à une profondeur très variable suivant le type de bateau. La profondeur moyenne est de 4 m environ. A cette variabilité en profondeur se joignent une dispersion temporelle (les mesures étant enregistrées à tout moment de la journée) et surtout des erreurs de transmission, de localisation et de calibration des thermomètres. Il est donc important de faire un tri des données aberrantes ; c'est à dire des observations visiblement en dehors du champ du possible. Par exemple sur le secteur étudié, s'étendant de 36°N à 21°N et de 22°W à 5°50'W, environ 2 % des 2 000 données mensuelles acquises sont situées sur la terre. Pour les autres données douteuses, plus difficilement décelables mais dont l'élimination est nécessaire, la procédure consiste en un tri

rigoureux. Après avoir effectué une analyse structurale de la variabilité de la température de surface, chaque observation d'un même navire est estimée par interpolation suivant

une méthode géostatistique dite du «krigeage» (Gohin, 1987) à partir des observations des navires du voisinage en excluant les autres observations de ce même bateau. Lorsque l'écart entre les valeurs observées et estimées est supérieur à trois fois la valeur de l'écart-type théorique du système de krigage, la donnée est retirée du fichier. On retire aussi toutes les données d'un bateau lorsque, généralement en conséquence d'un biais constant dû à une mauvaise calibration du thermomètre, le pourcentage des différences supérieures à 2,5 fois l'écart type de krigage correspondant dépasse 30 %.

## RECHERCHE D'UNE BASE MINIMALE POUR DÉCRIRE LE MILIEU

### Les éléments du milieu déterminants pour la pêche

L'activité de la pêcherie sardinière traditionnelle est essentiellement estivale. Elle débute au printemps à Agadir, avec le déclenchement des migrations vers le nord, puis s'étend ensuite à Essaouira et Safi au cours de l'été. Un second pic de capture, associé au retour de la fraction de la population en migration, est observé à Agadir en automne. Autour de ce schéma moyen la variation est grande. Il existe en effet plusieurs échelles de variabilité temporelle liant les processus hydroclimatiques, entre autres par le biais de la production primaire, à l'abondance et à la distribution du stock.

L'objectif de ce travail est de dégager des relations moyennes, intégrant plusieurs échelles de variabilité, qui lient les fluctuations hydroclimatiques constatées sur plusieurs années à la répartition des concentrations de sardine au niveau de l'aire de pêche traditionnelle. Autrement dit, on se propose d'évaluer l'importance de la relation qui lie la localisation saisonnière des captures et l'intensité moyenne de l'upwelling. Un upwelling faible favoriserait les captures de la région de Safi en confinant le secteur productif dans lequel évolue la sardine, aux limites des foyers de résurgence. Ceci se ferait au désavantage de la baie d'Agadir qui bénéficie en temps normal de l'extension vers le sud d'eaux issues de l'upwelling du nord (entre les caps Sim et Taflnay), portées par le courant des Canaries vers le sud-ouest et associées à un tourbillon cyclonique, sous l'influence de la topographie du fond, approximativement à la latitude du cap Ghir (Mittelstaedt, 1987 dans Kifani et Gohin, 1991). L'affaiblissement de l'upwelling ne permettrait plus cette arrivée d'eaux froides plus riches dans la baie d'Agadir ce qui créerait une discontinuité entre les régions d'upwelling nord et sud (fig. 6B). L'arrivée dans la baie d'Agadir des eaux dérivant de l'upwelling du nord permet de former une sorte de pont hydrologique entre les secteurs du sud et du nord (fig. 6A)

Disposant des captures mensuelles durant plusieurs années, débarquées dans les différents ports, il convient d'abord de définir un indice simple permettant de caractériser l'activité moyenne de l'upwelling sur une durée et selon une périodicité identique. Les observations pendant les deux années 1986 et 1987, particulièrement contrastées du point de vue thermique, révèlent l'aptitude des données des

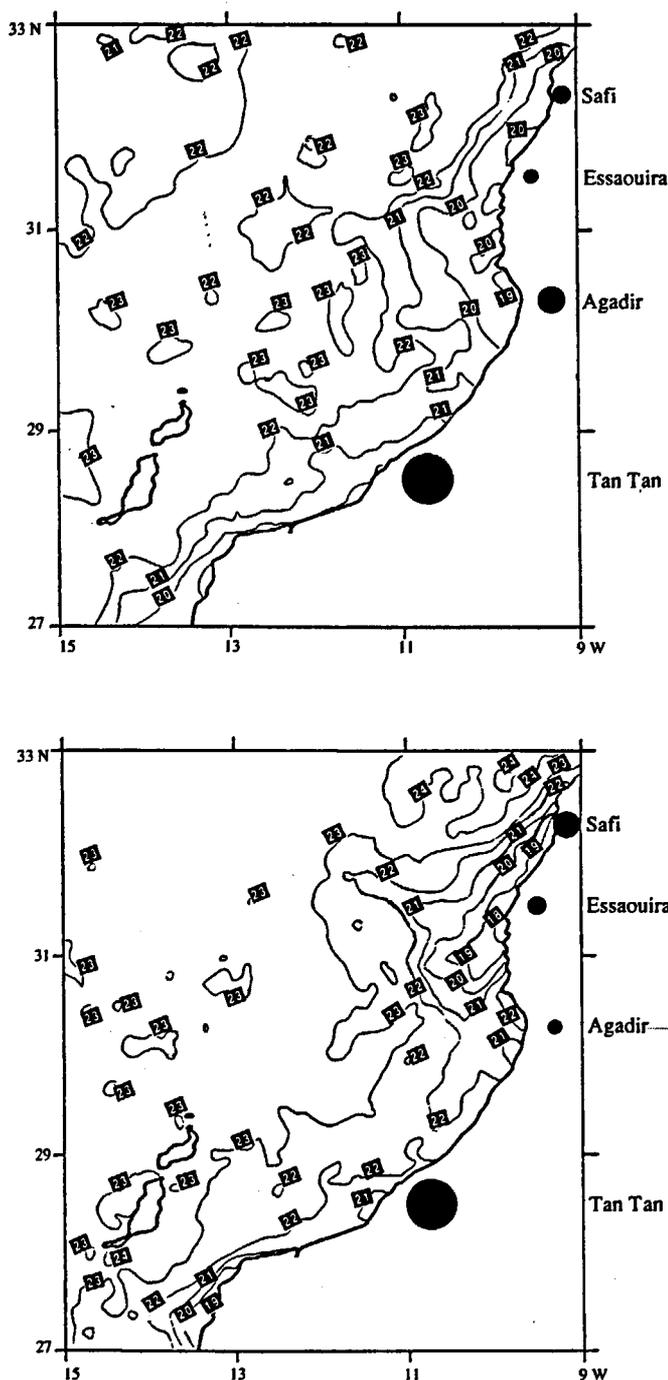


Figure 6

Structures thermiques observées en conditions claires (satellite NOAA 9) et débarquements de sardine à Safi, Essaouira, Agadir et Tan-Tan : A) situation du 13 septembre 1986 ; B) situation du 10 septembre 1987. La surface des cercles est proportionnelle aux débarquements de l'ensemble du mois dans les différents ports. A cette saison, les captures sont toujours importantes dans le secteur de Tan-Tan où le stock se concentre en hiver. Mais, suivant l'activité de l'upwelling, un basculement semble s'opérer entre Safi et Agadir (en 1986 au profit d'Agadir et en 1987 au profit de Safi).

*Thermal structures observed by the NOAA-9 satellite and the sardine catches.*

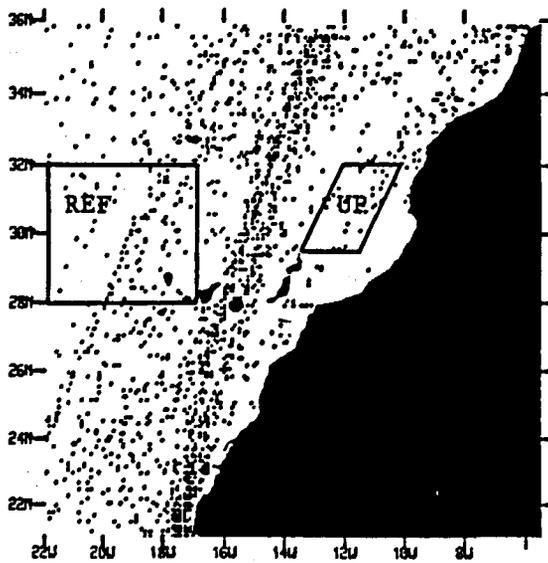


Figure 7

Localisation des observations *in situ* du 4 août 1986 et limites du secteur proche de l'upwelling («UP»), sur lequel sont calculées les températures mensuelles moyennes, ainsi que celles du secteur de référence («REF»).

*In situ measurements localizations from 4 August to 26 September 1986 and limits of the reference sector "REF" and the upwelling area "UP" on which are calculated the monthly temperatures.*

bateaux à rendre compte des caractéristiques hydrologiques de l'upwelling. Une température moyenne mensuelle sera alors calculée sur la base des températures mesurées sur les lignes de navigation croisant le secteur que nous dénommerons «UP» (fig. 7).

## RÉPARTITION DES GRADIENTS ENTRE LE LARGE ET LA CÔTE

### Définition

Les données des bateaux  $T(x_i, t_i)$ , sur toute la zone, vont subir une transformation visant à restituer l'écart avec la température observée au même instant  $t_i$  sur une zone de référence («REF»). Cette zone, choisie pour son caractère de stabilité thermique, est située au nord-ouest des îles Canaries (fig. 7). Une nouvelle variable  $T'(x_i)$  est définie à partir de  $T(x_i, t_i)$  :

$$T'(x_i) = T(x_i, t_i) - T_m(t_i)$$

$T_m(t_i)$  est la température moyenne de la zone de référence calculée sur une période de  $\pm 4$  jours autour de la date  $t_i$ .

### Analyse structurale et interpolation

La zone est séparée en deux secteurs de caractéristiques structurales très différentes. La variabilité de la zone du large est beaucoup moins importante que celle de la région côtière. On définit les régions «large» et «côte» de part et d'autre de l'axe  $36^\circ\text{N}$ ,  $7^\circ 30'\text{W}$  et  $21^\circ\text{N}$ ,  $20^\circ\text{W}$ . L'analyse structurale est effectuée par calcul des demi-variogrammes expérimentaux (Gohin, 1987) sur les deux zones. Le demi-

variogramme est une modélisation de la variance des écarts de  $T'$ , supposée suivre une fonction aléatoire sur laquelle sont faites les hypothèses de stationnarité suivantes :

a) Les accroissements sont de moyenne nulle.

$$E[T'(x+h) - T'(x)] = 0$$

où  $x$  et  $x+h$  sont deux points distants de  $h$ .

b) La variance des accroissements ne dépend que de la distance entre les points.

$$V(h) = 1/2 E [T'(x+h) - T'(x)]^2$$

Les demi-variogrammes expérimentaux sont calculés à partir de couples de mesures issues de bateaux distincts. L'interpolation est faite sur un réseau régulier. Aux noeuds du réseau situé en  $x$ , l'interpolateur  $T^k(x)$  est défini par :

$$T^k(x) = \sum_{i=1}^N l_i T'(x_i) \quad N = 8$$

où

$T'(x_i)$  sont des observations du voisinage.

Les paramètres recherchés  $l_i$  sont tels que  $T^k(x)$  est sans biais et de variance minimale. Le non biais est assuré par  $\sum l_i = 1$ . La variance minimale est obtenue pour les  $l_i$  solutions du système linéaire dit du «krigeage» (Matheron, 1970).

$N$  est fixé arbitrairement à huit observations.

### Cartographie des gradients

Pour une période s'étendant du 5 août au 26 septembre, et après élimination des données erronées, 2 102 et 2 558 observations sont conservées en 1986 et 1987 respectivement. Sur chacun des secteurs, deux variogrammes sont calculés suivant des axes nord-sud (à longitude fixée) ou est-ouest (à latitude fixée) avec une tolérance d'angle de répartition des couples autour des axes de  $10^\circ$ . Les demi-variogrammes expérimentaux (fig. 8) révèlent une très nette anisotropie à la côte et une variabilité supérieure dans la direction est-ouest, correspondant aux gradients thermiques de l'upwelling. Pour prendre en compte les écarts de variabilité sur les axes Est-Ouest et Nord-Sud, une correction d'anisotropie est effectuée en contractant les distances entre les observations d'un facteur 0,1 sur la direction Nord-Sud. Le demi-variogramme expérimental établi sur des distances ainsi transformées a une allure linéaire. Si l'on regarde plus finement son comportement à l'origine, on constate qu'il croît moins vite que sur les grandes distances. Cet aspect est conforme aux déformations attendues d'un variogramme théorique linéaire en cas d'erreur de positionnement et de variabilité temporelle (Chiles, 1977).

Les ajustements proposés des demi-variogrammes sont les suivants :

$$V(h) = 190 + 2h \quad (\text{côte})$$

$$V(h) = 190 + h \quad (\text{large})$$

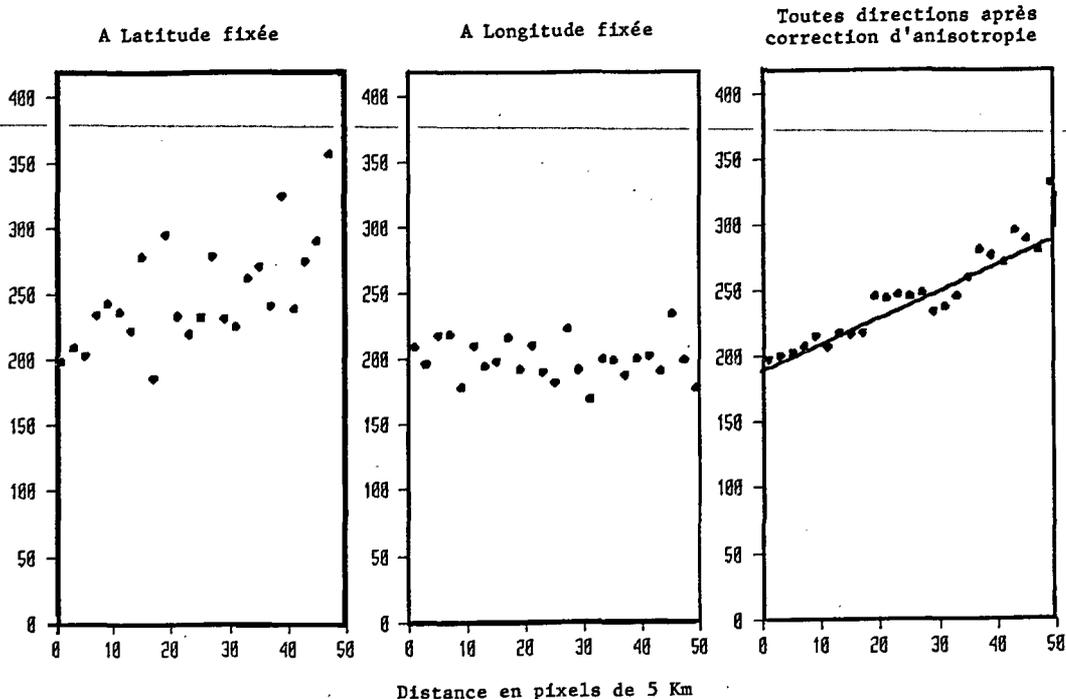
où  $h$  est exprimé en pixels de 5 km et  $V$  en  $0.1^\circ\text{C}^2$ .

A l'aide de ces demi-variogrammes, les gradients sont estimés par krigage local (huit points du voisinage sont utili-

Figure 8

Demi-variogrammes expérimentaux.

Experimental semi-variogram.



sés pour l'estimation) sur un réseau régulier de 20 km de maillage (Gohin, 1987).

On constate (fig. 9 et 10) que les gradients sont très puissants au Nord en 1986, alors qu'ils sont localisés au Sud en 1987. Les valeurs atteintes par les gradients sont très fortes, de l'ordre de 4°C, ce qui est d'autant plus considérable que ce sont des valeurs moyennes, calculées sur une période de deux mois.

INDICE MENSUEL DE LA TEMPÉRATURE

Une fois constaté l'intérêt des données *in situ* pour représenter les gradients côtiers, un indice mensuel de température a été calculé pour le secteur «UP» au cours d'une saison allant de mai à septembre. Chaque mois est divisé en périodes de six jours sur lesquelles on calcule la valeur moyenne des mesures de température faites par des bateaux

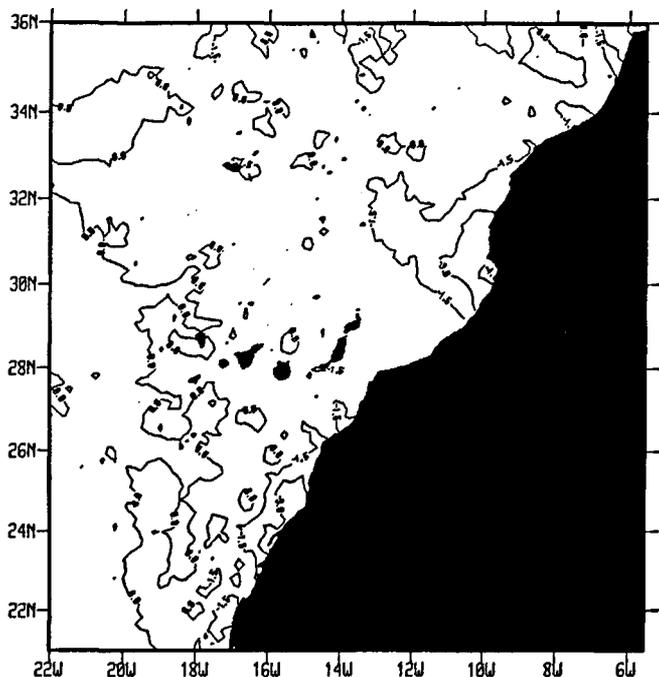


Figure 9

Gradients thermiques côte-large en 1986. Les structures sont fortes dans la région nord, où l'upwelling est en moyenne bien développé.

Thermal gradients in 1986. Strong structures appear in the northern region where the upwelling is active.

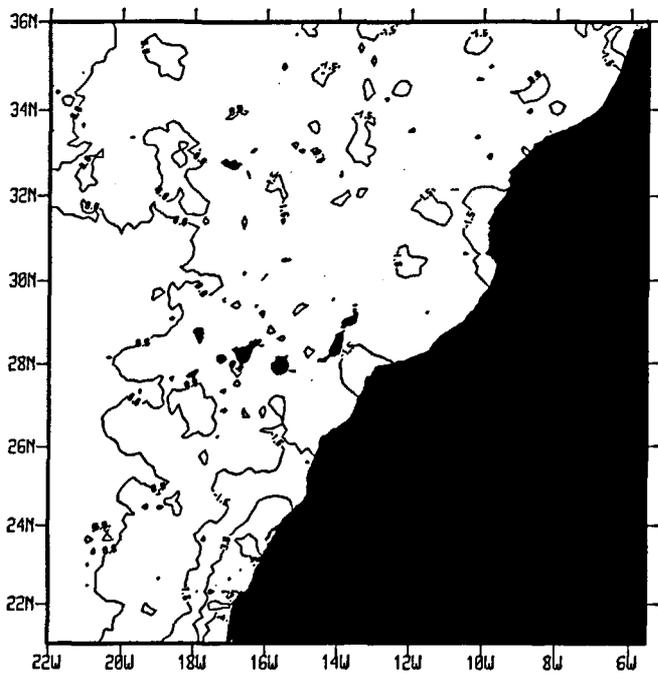


Figure 10

Gradients thermiques côte-large en 1987. Les structures sont plus marquées sur les côtes sahariennes et très faibles au Nord.

Thermal gradients in 1987. The strongest structures appear along the Saharian coast.

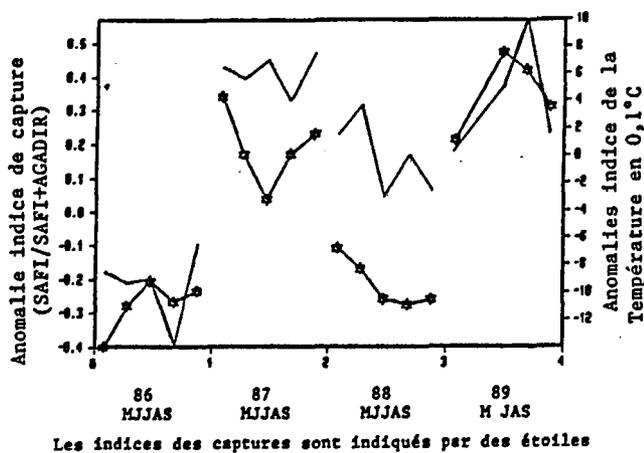


Figure 11

Évolution des captures et des indices mensuels relatifs de températures.

*Evolution of the local abundance indices and temperatures.*

différents. Ces valeurs sont ensuite moyennées pour donner l'indice mensuel de la température. La valeur de juin 1989 n'a pu être calculée du fait de l'absence de distribution de données par Météo France à cette époque. Pour tenir compte de l'effet saisonnier, c'est-à-dire de l'augmentation des températures moyennes de mai à septembre, les valeurs sont exprimées par rapport aux moyennes mensuelles calculées sur les quatre années étudiées.

## INDICE DE RÉPARTITION DES ABONDANCES LOCALES

Cet indice est calculé sur la base des captures mensuelles du port de Safi par rapport à l'ensemble (Safi + Agadir). De la même manière que pour les températures, on s'affranchit de l'effet saisonnier en soustrayant des captures les moyennes mensuelles calculées sur quatre ans. Le choix de la «capture», au lieu de la «CPUE», comme indice de l'abondance apparente est conditionné, d'une part par le fait qu'au cours de ces quatre années l'effort de pêche (exprimé en nombre de sorties multiplié par le tonnage moyen de jauge brute) est resté relativement stable au niveau de l'ensemble de la pêcherie, et que d'autre part, les fluctuations de l'effort de pêche de chaque flottille sont déterminées par la disponibilité locale du poisson qui entraîne, en plus des mouvements de bateaux d'un port à l'autre, des variations dans le nombre de sorties effectuées. Les variations des captures totales amplifient donc les fluctuations que l'on pourrait mesurer par les CPUE en ayant par rapport à celles-ci l'avantage d'intégrer les effets des variations de l'effort qui ne sont pas sans lien avec la disponibilité des sardines.

## RÉSULTATS ET DISCUSSION

La figure 11, illustrant les évolutions des écarts mensuels des indices d'abondance locale et de température, met en

évidence un parallélisme entre la répartition des captures et les températures mensuelles du secteur «UP» pendant la période 1986-1989. Contrairement à celles d'Agadir qui connaissent une relative diminution, les captures de sardine dans l'aire de pêche de Safi semblent d'autant plus élevées que le gradient thermique côte-large est localisé sur une aire restreinte, *i. e.* que l'année est chaude du point de vue hydrologique (fig. 12A et 12B). Les sardines migrent rapidement vers le nord et s'y maintiennent tardivement. Il est donc probable, comme le suggèrent Muck *et al.* (1989) pour l'anchois du Pérou, qu'une modification survenant dans la répartition (le long de la côte et dans leur extension vers le large) des eaux d'upwelling influence le schéma de migration et de concentration de la sardine. Selon les observations de Lee (1961) et de Furnestin et Furnestin (1970), la sardine se réfugie dans des eaux correspondant à ses préférences thermiques tout en se maintenant à la limite de son biotope dans des zones de gradient où elle dispose de bonnes conditions trophiques. Par sa position marginale par rapport à la situation géographique du foyer d'upwelling, l'aire de pêche de Safi semble représenter, en situation d'upwelling faible qui s'accompagne d'une extension limitée des eaux froides enrichies, une zone privilégiée pour la concentration de la sardine. Les captures relativement élevées réalisées à Safi, paradoxalement quand l'upwelling est faible, s'expliqueraient par une disponibilité accrue de la sardine dans ce secteur. Les résultats de la prospection acoustique effectuée dans le secteur, du 27 août au 18 septembre 1989 par le N/O Dr. Fridtjof Nansen, semblent confirmer cette hypothèse (fig. 13A et 13B).

Il est cependant nécessaire de s'interroger sur la robustesse à long terme de la relation décrite ici. Il est en effet certain que le schéma avancé souffre, si ce n'est d'une simplification grossière des processus complexes conduisant à la variabilité des captures, du moins de la brièveté de la durée d'observation. Les résultats présentés vont dans un sens à l'encontre de ceux admis jusqu'à présent notamment les conclusions de Belvèze et Erzini (1983) sur la diminution de la disponibilité de la sardine dans la zone de pêche de Safi-Essaouira dont ils attribuent la cause à l'affaiblissement de l'activité de l'upwelling. En effet si le lien établi par ces auteurs entre la disponibilité et l'activité de l'upwelling semblait cohérent durant la période précédant 1976, il ne semble plus se justifier pour ces dernières années. Ce qui nous conduit à envisager deux éventualités. La première serait de considérer que ce lien est un phénomène conjoncturel. Selon Cury (1989), la réaction d'un système vivant au changement du milieu peut être différente selon l'état dans lequel il se trouve. Ce qui amène à considérer un changement à long terme dans l'abondance globale de la population, en l'occurrence une diminution de celle-ci, comme une deuxième éventualité. Cette hypothèse, dictée par l'observation d'une tendance à l'augmentation de l'abondance apparente au sud, centre de gravité de la population (Belvèze 1984) et la diminution de celle-ci dans l'aire de pêche traditionnelle (fig. 14) ne paraît pas être, *a priori*, à exclure. De telles observations concordent avec celles effectuées sur des stocks de petits pélagiques dont l'abondance globale présente une tendance à la diminution (Csirke, 1988 ; Hayasi, 1983 ; Troadec *et al.*, 1980 ; MacCall, 1980 ; Saville, 1980). Cette diminution de

l'abondance se traduit, d'une part, par une contraction de l'aire de distribution et d'autre part par un maintien de l'abondance au centre de la population dans un état relativement constant (MacCall, 1984). A cet effet, Sharp (1980 a) estime que l'aire de distribution et l'abondance ou la concentration du poisson dans cette aire sont probablement les meilleurs paramètres indiquant l'état de la ressource. Le changement de la densité d'une espèce à comportement grégaire implique souvent un changement de l'abondance et/ou de la superficie de l'aire de distribution (Muck *et al.* 1989). Cette cinétique peut se faire par suite d'une diminution de l'abondance sous l'effet de la pression de pêche et/ou d'une réduction de la superficie des zones où les conditions environnementales sont les plus favorables. Selon Doucet et Garcia (1983), le stock de sardine marocaine aurait été pleinement exploité de 1977 à 1979. Les mécanismes par lesquels s'effectue un changement de la distribution (concentration) découleraient du comportement même du poisson qui tend à suivre les gradients trophiques croissants (MacCall, 1980). Il paraît probable qu'au cours de ces dernières décennies, la sardine ait réduit son habitat en se repliant vers les régions les plus productives, notamment au sud où elle se trouve de manière permanente. Mathisen (1989) fait état d'une constatation similaire pour le stock d'anchois du Pérou après son effondrement. La vulnérabilité

de la fraction du stock qui migre saisonnièrement vers le nord à la flottille dans l'aire de pêche traditionnelle, dépendra en effet des conditions environnementales, mais la réponse ne serait plus la même que celle constatée par Belvèze et Erzini (1983). Si la part de la population se retrouvant au nord est proportionnelle à l'abondance totale, comme le laisserait supposer la stratégie démographique des populations de Clupeidés (type r) selon laquelle l'espèce tend à occuper les strates spatio-temporelles où les conditions leurs sont favorables (Fréon, 1986), on peut concevoir que la vulnérabilité du poisson évoluerait de manière inverse à l'intensité de l'upwelling au nord. En ce sens qu'un upwelling faible favoriserait la concentration à la côte et donc l'augmentation de la vulnérabilité, alors qu'un upwelling fort disperse les bancs de poissons et les rend ainsi moins vulnérables à la flottille traditionnelle.

Le paradoxe qui subsiste cependant réside dans le fait que la divergence observée entre les captures des flottilles de Safi et d'Agadir semble être un phénomène récent qui ne concerne que la fin de la décennie 80. En effet, pendant la période antérieure à 1985, ces captures évoluaient d'une manière synchrone, avec une suprématie pour celles d'Agadir (fig. 15). Cette constatation tendrait à contredire l'hypothèse avancée. Toutefois, l'évolution des températures de surface de la mer (fig. 16) montre que les années

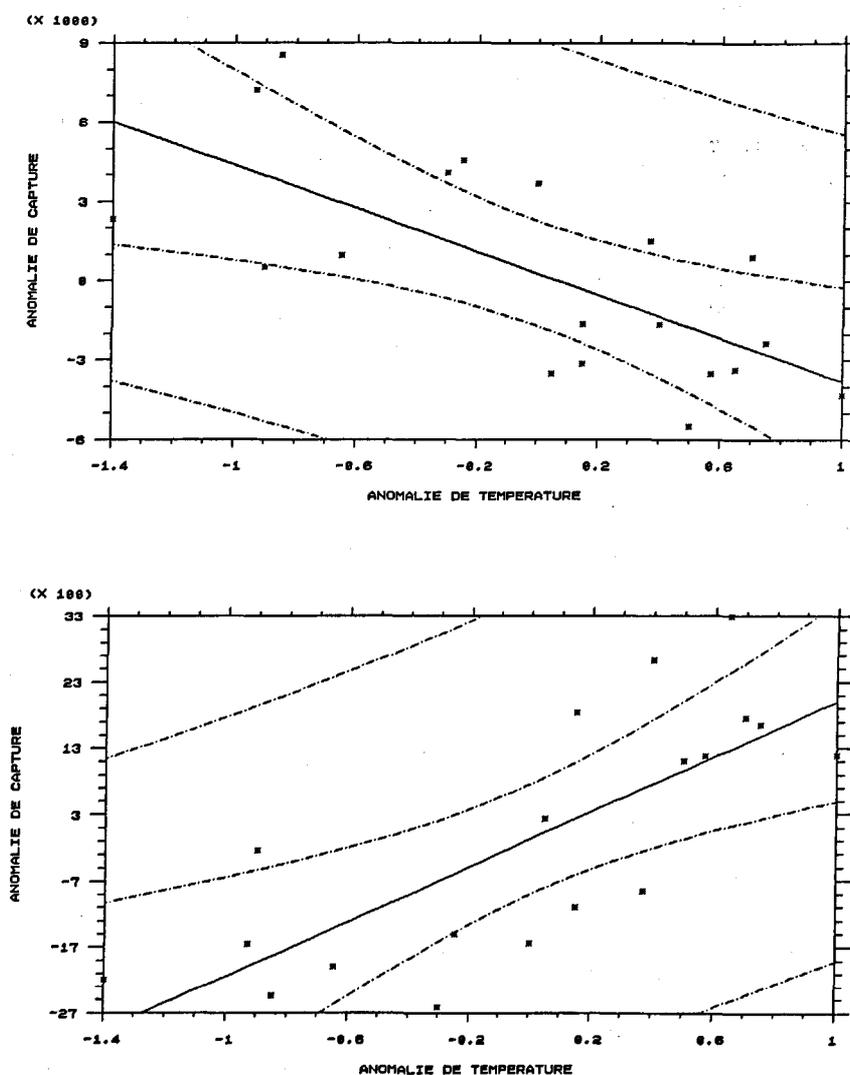


Figure 12

Anomalies mensuelles de capture en fonction des anomalies de température pendant les saisons de pêche de la période 1986 à 1989. A) flottille d'Agadir ( $r = -0,69$  et  $P = 0,001$ ) ; B) flottille de Safi ( $r = 0,76$  et  $P < 0,001$ ).

Monthly catches anomalies as function of the temperature during the fishing season, period 1986 to 1989. A) Agadir fishing fleet; B) Safi fishing fleet.

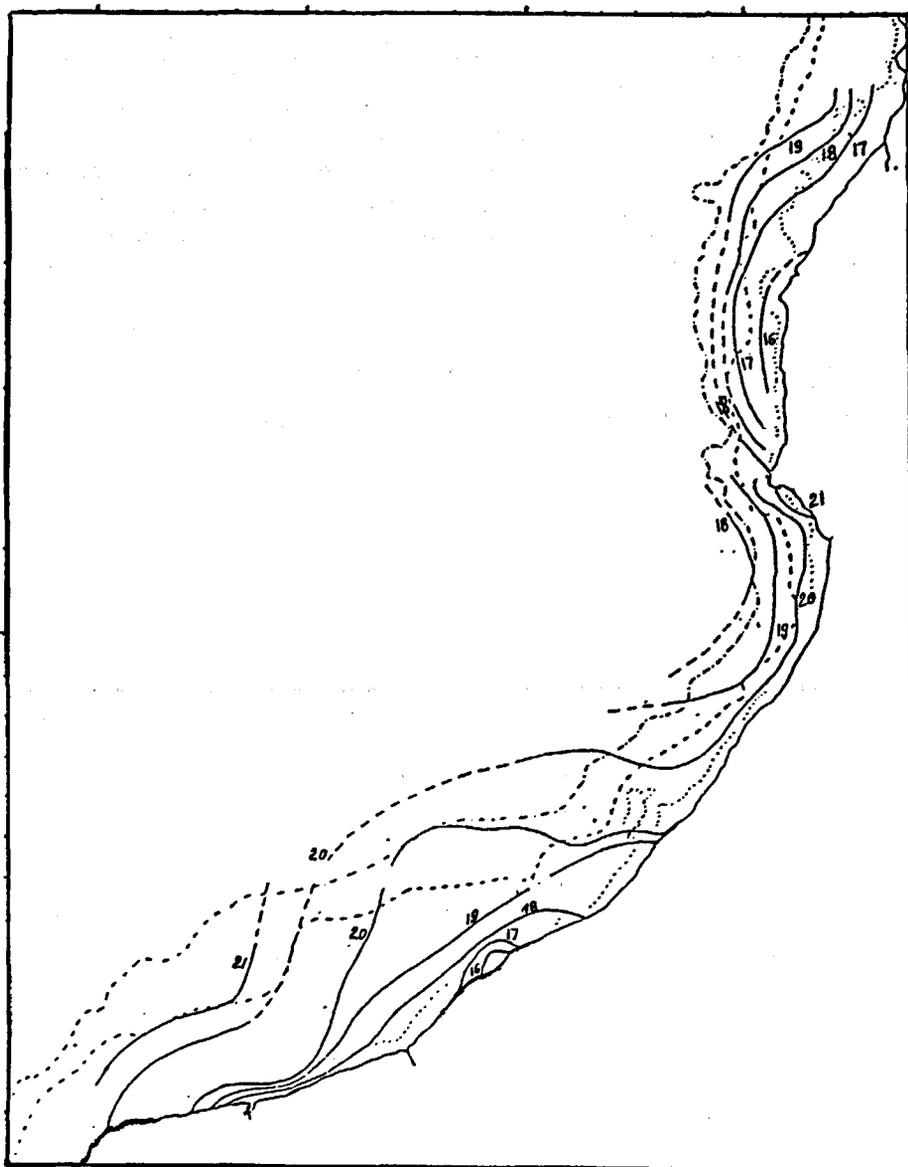


Figure 13 a

Répartition des champs thermiques de surface (A) et des concentrations de sardines le long des côtes marocaines. Résultats de la campagne de prospection acoustique du N/O Dr. Fridtjof Nansen, 31 août au 9 septembre 1989.

1987 et 1989 apparaissent comme des années relativement chaudes par rapport à la période de 1964 à 1989. Il est probable que la concentration de la sardine, dans le secteur de Safi au détriment d'Agadir, ait été accentuée par le réchauffement survenu en 1985 mais surtout en 1987 et 1989. La sardine est inféodée, en moyenne, à des températures de 16° à 19°C (Fréon et Stequert, 1979 ; Furnestin et Furnestin, 1970). L'effet de l'augmentation de la température se présente comme un épiphénomène venant se greffer sur l'abondance réelle du stock.

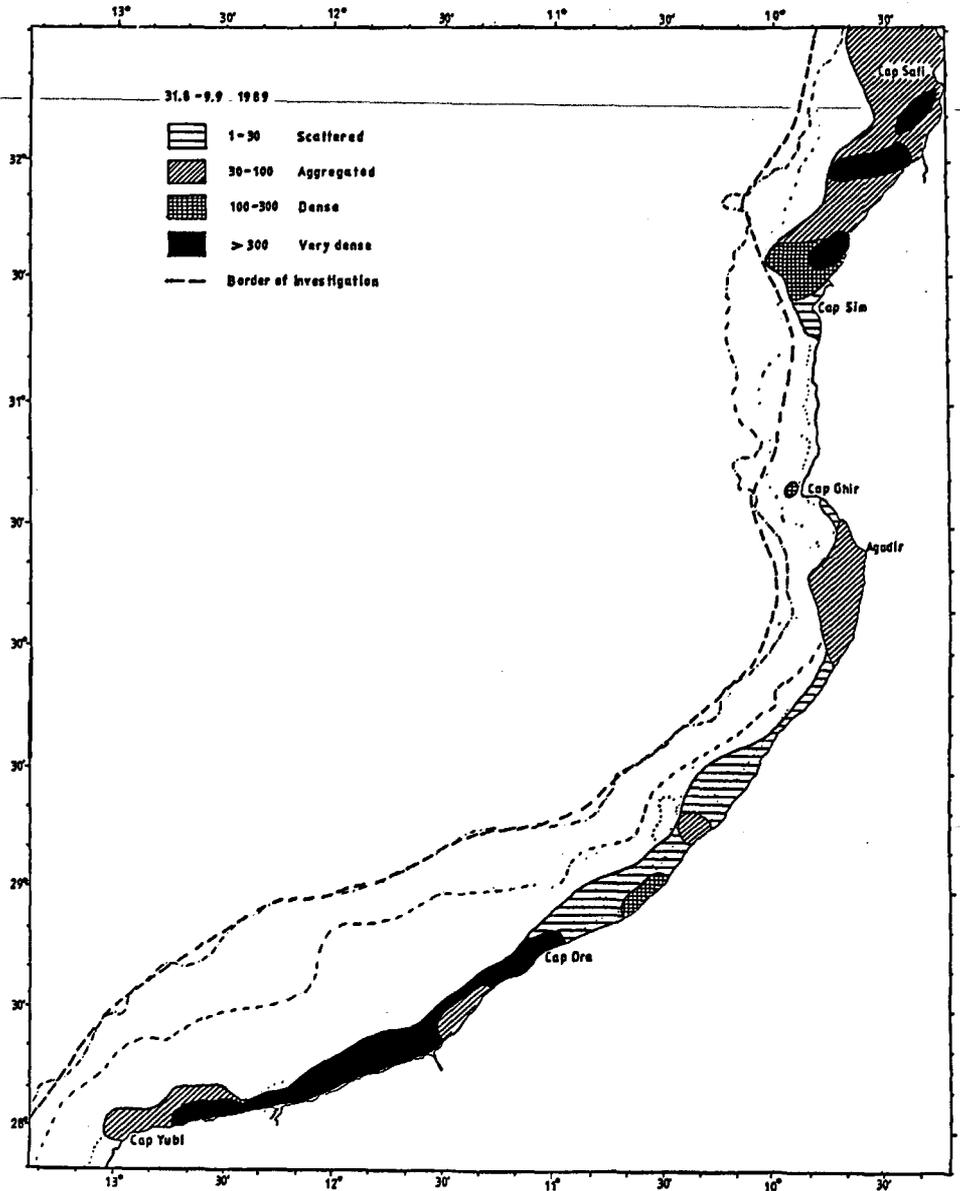
Conformément à notre hypothèse de départ, basée sur des travaux antérieurs, nous avons considéré le stock comme une population unique dont l'extension spatiale et la répartition locale, sous forme de bancs plus ou moins concentrés, se ferait à partir d'une zone située au sud d'Agadir où règne une plus grande stabilité hydrologique. Mais il est possible que le stock ne soit pas une entité aussi parfaite et qu'il existe des sous-populations locales. On assisterait alors, durant la période de pêche, à des migrations du large vers la côte qui pourraient ne pas être négligeables face à celles du Sud vers le Nord. Cela ne change cependant rien aux constatations faites et à la crédibilité des hypothèses

relatives à la disponibilité. Si ces populations étaient distinctes, les fluctuations de l'upwelling pourraient, comme dans le cas de la sardine ibérique (Wyatt et Perez-Gandaras, 1986), avoir des effets variés sur les recrutements. Notre propos ne concerne que la période estivale et la capturabilité.

Csirke (1988 ; 1989) met l'accent sur les dangers que peuvent présenter de tels changements de distribution, aussi bien en fonction de l'environnement que de la taille de la population, sur les stocks de petits pélagiques. Le principal risque réside dans la modification du coefficient de capturabilité qui relie l'abondance apparente (CPUE) à l'abondance réelle (Csirke, 1989 ; Sharp, 1980 a ; Gulland, 1977 ; MacCall, 1976 ; Radovich, 1976 ; Fox, 1974 ; Paloheimo et Dickie, 1964). Dans le cas du stock de sardine marocaine, le véritable danger est représenté par la pression de pêche exercée sur le stock dans un secteur où il est présent en permanence (le sud), où la capturabilité du poisson est plus élevée qu'au nord. Face à la diminution de rentabilité au nord, un report partiel de l'effort de pêche marocain du nord vers le sud est effectué depuis le début des années 80. Malgré la réduction de l'effort de pêche espagnol et

Figure 13 b

Sea-surface temperature field (A) and sardine concentration (B). Results of the acoustic prospection cruise of the O/S Dr. Fridtjof Nansen, 31 August to 9 September 1989.



l'allocation d'un quota de capture

plafonné à

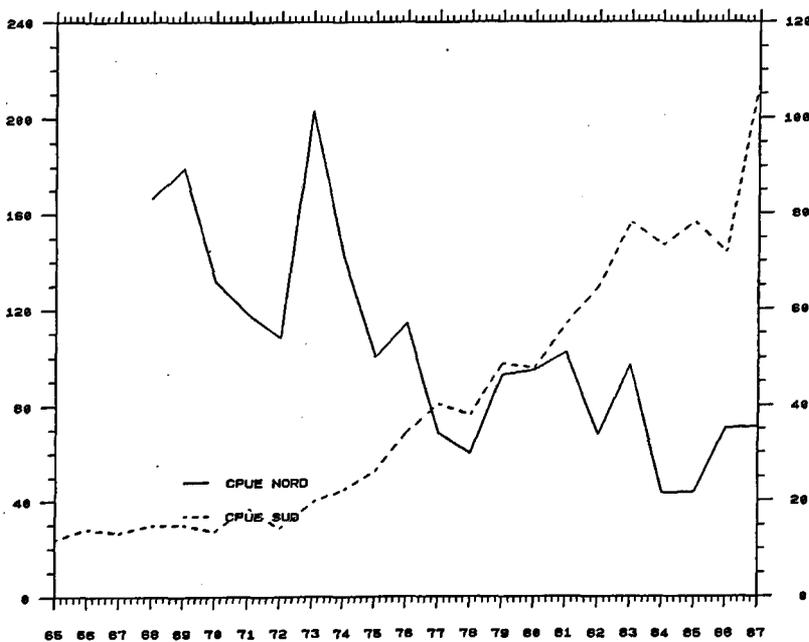


Figure 14

Évolution interannuelle des CPUE marocaines (—) au Nord et des CPUE espagnoles (---) au Sud. A noter l'accroissement des CPUE au Sud parallèlement à la régression de celles-ci au Nord, et le maximum enregistré pour les CPUE canariennes en 1987.

Interannual evolutions of the Moroccan (North) and Spanish (South) CPUE.

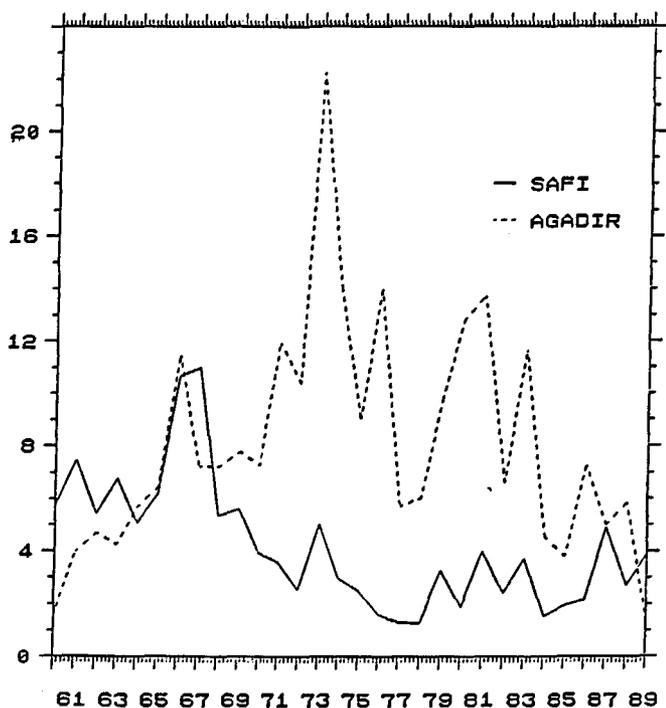


Figure 15  
Évolution interannuelle des captures ( $10^4$ .t) des flottilles de Safi et d'Agadir.  
*Interannual evolution of the Safi and Agadir fleet catches.*

l'allocation d'un quota de capture plafonné à 80 000 t, si la diminution de la disponibilité au nord correspond effectivement à un affaiblissement de l'abondance, il est à craindre que le taux d'exploitation de ce stock n'arrive à un niveau critique, en particulier si des conditions climatiques, telles

que le réchauffement observé ces dernières années, viennent s'y superposer pour augmenter la capturabilité comme le laisse suspecter l'augmentation des CPUE canariennes en 1987 (fig. 14). Ces mêmes conditions environnementales qui conduisent à un accroissement de la capturabilité peuvent affecter le recrutement par le biais du changement de la capacité biotique du milieu (Muck, 1989 ; Muck *et al.*, 1989 ; Hammann *et al.*, 1988 ; Sharp, 1980 *b*). L'impact combiné de ce double changement peut avoir de profondes répercussions sur l'abondance du stock et les pêcheries qu'il supporte, comme le prouve l'exemple de l'anchois péruvien.

CONCLUSION

L'objectif de ce travail n'a pas été d'analyser l'ensemble du processus liant l'hydroclimat à la dynamique de la population de sardine étudiée mais de tenter, par une approche spatio-temporelle, de comprendre les différences observées dans la répartition du stock face à certains scénarios hydroclimatiques. Pendant la période antérieure à 1976, la relation hydroclimat-captures dans la pêche marocaine traditionnelle apparaissait relativement simple. Ce schéma ne semble plus se vérifier après 1976. Gulland (1978) remarquait, en effet, que peu de corrélations de ce type résistent au «test» du temps. L'échec de ces corrélations ne signifie pas nécessairement que l'hypothèse originelle ne soit pas valide du point de vue biologique, mais ce changement doit conduire à reconsidérer les facteurs qui peuvent avoir influencé la relation (Skud, 1983). Les écosystèmes d'upwelling sont des systèmes variables dans le temps et dans l'espace. En se plaçant à l'échelle du poisson, une population, en tant qu'élément de cet écosystème, est un système adaptable (Roy, 1990 ; Cury, 1989) , et ce, dans la

26N-30N / 14W-16W

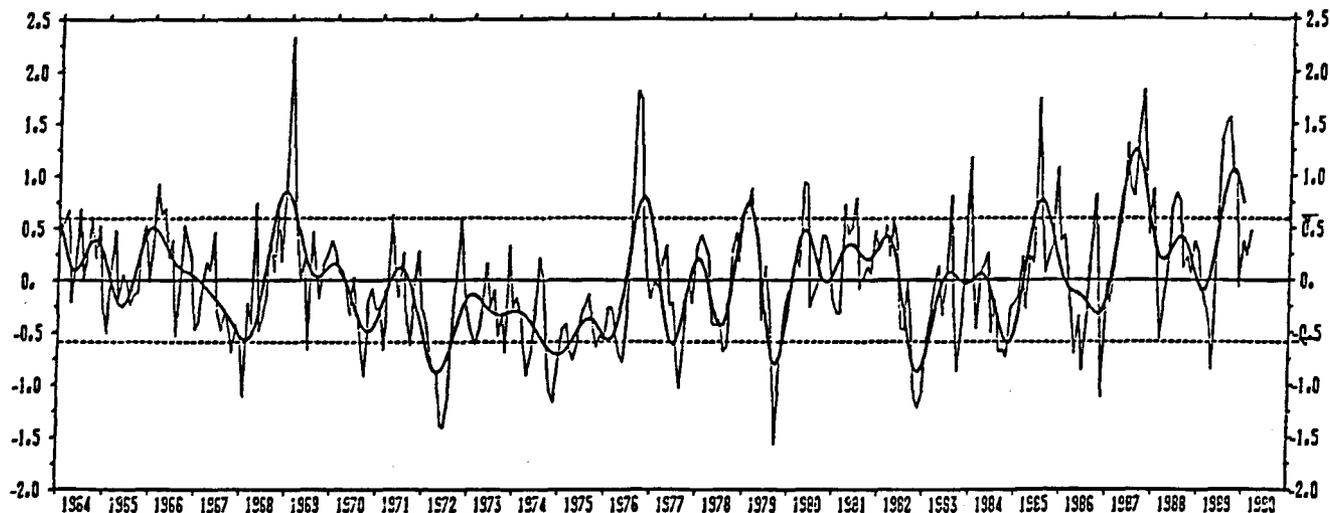


Figure 16  
Évolution interannuelle des températures de surface de la mer dans le secteur 26°N-30°N et 14°W-16°W de 1964 au début de 1990 (communiqué par J. Servain, ORSTOM/Brest).  
*Interannual evolution of the sea-surface temperatures in the area 26°-30°N and 14°-16°W from 1964 to the beginning of 1990 (Servain, ORSTOM/Brest, pers. comm.).*

mesure où les individus qui la constituent recherchent dans le milieu des conditions favorisant leur survie. En admettant cette hypothèse on conçoit qu'à terme, les relations de cause à effet perçues par l'homme changent. On peut de ce fait admettre que les variations spatio-temporelles de la disponibilité de la sardine marocaine sont purement dictées par des impératifs visant à perpétuer la population, i.e. par la contraction du stock, et à assurer son alimentation, i. e. en se concentrant dans les zones les

plus productives, comme le montre la réaction du stock ces dernières années.

## REFERENCES

- Bakun A.** (1973). Coastal Upwelling Indices, West coast of North America, 1946-71, NOAA Technical Report NMFS SSRF-671.
- Belvèze H.** (1983). Commentaires sur la consultation technique sur les changements d'abondance et de composition spécifique des stocks de poissons néritiques : philosophie pour une gestion du stock sardinier marocain. Note d'information n°4. Institut Scientifique des Pêches Maritimes, Casablanca.
- Belvèze H.** (1984). Biologie et dynamique des populations de sardine peuplant les côtes atlantiques marocaines et propositions pour un aménagement des pêcheries. *Thèse de Doctorat d'État, Université de Bretagne Occidentale, Brest*. 532 pp.
- Belvèze H. et M. Rami** (1978). Détermination de l'âge de la sardine marocaine (*Sardina pilchardus* Walb) : éléments de croissance comparés. *Bull. Inst. scient. Pêches marit., Casablanca*, **23**, 57-81.
- Belvèze H. et K. Erzini** (1983). Influence of hydroclimatic factors on the availability of sardine (*Sardina pilchardus* Walb) in the Moroccan fisheries in the Atlantic. in : Proceeding of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources. San José, Costa Rica, 18-29 April, 1983. G.D. Sharp et J. Csirke, éditeurs. *FAO Fish. Rept.*, **291**, 2, 285-328.
- Biaz R.** (1978). Mise au point d'une méthode d'identification des populations de sardines par électrophorèse des protéines solubles du noyau du cristallin. *Bull. Inst. Pêches marit.*, **23**, 3-55.
- Binet D.** (1988). Rôle possible d'une intensification des alizés sur le changement de répartition des sardines et sardinelles le long de la côte ouest-africaine. *Aquat. Liv. Resour.*, **1**, 115-132.
- Chiles J.P.** (1977). Géostatistique des phénomènes non stationnaires. *Thèse de docteur-ingénieur. Université de Nancy I, France*, 153 pp.
- Crawford R.J.M.** (1987). Food and population variability in five regions supporting large stocks of Anchovy, Sardine and Horse mackerel. in : The Benguela and comparable ecosystems. A.I.L. Payne, J.A. Gulland et K.H. Brink, éditeurs. *S. Afr. J. mar. Sci.*, **5**, 735-757.
- Crawford R.J.M., P.A. Shelton et L. Hutchings** (1983). Aspect of variability of some neritic stocks in the Southern Benguela system. in : Proceeding of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources. San José, Costa Rica, 18-29 April, 1983. G.D. Sharp et J. Csirke, éditeurs. *FAO Fish. Rept.*, **291**, 2, 407-448.
- Csirke J.** (1988). Small schooling pelagic fish stocks. in : *Fish population dynamics. Second edition*. J.A. Gulland, éditeur. Wiley and Sons Ltd, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore. 422 pp.
- Csirke J.** (1989). Changes in the catchability coefficient in the Peruvian Anchoveta (*Engraulis ringens*) fishery. in : *The Peruvian upwelling ecosystem : dynamics and interactions. ICLARM Conference Proceedings*, D. Pauly, P. Muck, J. Mendo et I. Tsukayama, éditeurs. IMARPE, Callao, Peru, GTZ, Eschborn, Federal Republic of Germany, and ICLARM, Manila, Philippines, **18**, 207-219.
- Cury P.** (1989). Approches modélisatrices des relations à court, moyen et long terme entre la dynamique des stocks de poissons pélagiques côtiers et les fluctuations climatiques. *Thèse de Doctorat. Université Paris VII*, 259 pp.
- Daan N.** (1980). A review of replacement of depleted stocks by other species and the mechanisms underlying such replacement. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. perm. int. Explor. Mer*, **177**, 405-421.
- Deschamps P.Y. et T. Phulpin** (1980). Atmospheric correction of infrared measurements of sea surface temperature using channels at 3.7, 11 and 12  $\mu\text{m}$ . *Boundary-layer Met.*, **18**, 131-143.
- Domanevsky L.N. et N.A. Barkova** (1976). Some peculiarities of sardine (*Sardina pilchardus* Walbum) distribution and spawning along the Northwest Africa. ICES, CM 1976/J, 6, 15 pp.
- Doucet F. et S. Garcia** (1983). Aménagement et développement des pêches au Maroc. FAO, Rome, FI: GCP/INT/398 (NOR), 128 pp.
- Fox W.** (1974). An overview of production modelling, *Collect. Val. Sci, Pap. ICCAT*, **3**, 142-156.
- Fréon P.** (1986). Réponses et adaptations des stocks de clupéidés d'Afrique de l'Ouest à la variabilité du milieu et de l'exploitation : analyse et réflexion à partir de l'exemple du Sénégal. *Études et thèses, ORSTOM*, 287 pp.
- Fréon P. et B. Stequert** (1979). Note sur la présence de *Sardina pilchardus* Walb. au Sénégal : étude de la biométrie et interprétation, 3<sup>ème</sup> série, 6, *Cybiurn*, 65-90.
- Fréon P., F. Gerlotto et C. Mullon** (1990). Les changements d'échelle en halieutique : l'exemple des petits pélagiques côtiers. *Compte-rendu du congrès SEMINFOR 4, Le transfert d'échelle*, Éditions de l'ORSTOM, 343-364.
- Furnestin J. et M.L. Furnestin** (1959). La reproduction de la sardine et de l'anchois des côtes atlantiques du Maroc. *Revue Trav. Inst. Pêche. marit.*, **23**, 1, 79-104.
- Furnestin J. et M.L. Furnestin** (1970). La sardine marocaine et sa pêche. Migrations trophique et génétique en relation avec l'hydrologie et le plancton. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. perm. int. Explor. Mer*, **159**, 165-175.
- Gohin F.** (1987). Analyse géostatistique des champs thermiques de surface de la mer. *Thèse de Docteur Ingénieur. École des Mines de Paris*, 103 pp.
- Gulland J.A.** (1977). The stability of fish stocks, *J. Cons. int. Explor. Mer*, **37**, 199-204.
- Gulland J.A.** (1978). Problems and progress in oceanography relevant to fisheries. *FAO Fish. Rept.*, **206**, 9-21.
- Gulland J.A.** (1987). The effect of fishing on the community structure. The Benguela and comparable ecosystem, A.I.L. Payne, J.A. Gulland et K.H. Brinks, éditeurs. *S. Afr. J. mar. Sci.*, **5**, 839-849.
- Hammann M.G., T.R. Baumgartner et A. Badan-Dagon** (1988). Coupling Pacific sardine (*Sardinops sagax caeruleus*) life cycle with the gulf of California pelagic environment, *CalCOFI. Rept.*, **29**, 102-109.

- Hayasi S.** (1983) : Some explanation for change in abundance of major neritic-pelagic stocks in the Northwestern Pacific Ocean. in : Proceeding of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources. San José, Costa Rica, 18-29 April, 1983. G.D. Sharp et J. Csirke, éditeurs. *FAO Fish. Rept.*, **291**, 2, 37-53.
- Kifani S. et F. Gohin** (1991). *Influence possible de la température sur les disponibilités locales et les déplacements de sardines du stock central marocain. Pêcheries ouest-africaines, variabilités, instabilités et changement.* P. Cury et C. Roy, éditeurs, Éditions de l'ORSTOM, 278-289.
- Lamboeuf M.S., S. Bencherifi et M. Chbani** (1984). Distribution et évaluation au sonar de la biomasse de sardine des côtes atlantiques du Maroc (résultats de dix prospections effectuées entre 1979 et 1984). *Trav. Doc. ISPM, Casablanca*, **43**, 27 pp.
- Lee J.Y.** (1961). La sardine du golfe du Lion (*Sardina pilchardus* Regan). *Revue Trav. Techn. Pêches marit.*, **25**, 4.
- MacCall A.D.** (1976). Density dependence of catchability coefficient in the California Pacific sardine (*Sardinops sagax caerulea*), purse seine fishery, *CalCOFI. Rept.*, **18**, 136-148.
- MacCall A.D.** (1980). The consequence of cannibalism in the stock-recruitment relationship. in : *Workshop on the effects of environmental variation on the survival of larval pelagic fishes.* Lima, Peru, 20 April-5 May 1980. *IOC Workshop Rep.*, G.D. Sharp, éditeur, **28**, 201-220.
- MacCall A.D.** (1983). Variability of pelagic fish stocks off California. in : Proceeding of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources. San José, Costa Rica, 18-29 April, 1983. G.D. Sharp et J. Csirke, éditeurs. *FAO Fish. Rept.*, **291**, 2, 101-112.
- MacCall A.D.** (1984). Report of the working on resources study monitoring. in : Proceeding of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources. G.D. Sharp et J. Csirke, éditeurs. *FAO Fish. Rept.*, **291**, 1, 9-39.
- Mathisen O.A.** (1989). Adaptation of the anchoveta (*Engraulis ringens*) to the Peruvian upwelling system. in : *The Peruvian upwelling ecosystem : dynamics and interactions.* ICLARM Conference Proceedings, IMARPE, Callao, Peru, GTZ, Eschborn, Federal Republic of Germany, and ICLARM, Manila, Philippines, D. Pauly, P. Muck, J. Mendo et I. Tsukayama, éditeurs. **18**, 438 pp.
- Matheron G.** (1970). La théorie des variables régionalisées. *Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau*. 212 pp.
- Muck P.** (1989). Major trends in the pelagic ecosystem off Peru and their implications for management. in : *The Peruvian upwelling ecosystem : dynamics and interactions.* ICLARM Conference Proceedings, IMARPE, Callao, Peru, GTZ, Eschborn, Federal Republic of Germany, and ICLARM, Manila, Philippines, D. Pauly, P. Muck, J. Mendo et I. Tsukayama, éditeurs. **18**, 438 pp.
- Muck P., A. Zafra de Morena et C. Aranda** (1989). The seasonal dynamics of sea surface temperature and its impact on Anchoveta distribution off Peru. in : *The Peruvian upwelling ecosystem : dynamics and interactions.* ICLARM Conference Proceedings, **18**, 438pp: 33-44. IMARPE, Callao, Peru, GTZ, Eschborn, Federal Republic of Germany, and ICLARM, Manila, Philippines. D. Pauly, P. Muck, J. Mendo et I. Tsukayama, éditeurs.
- Paloheimo J.E. and L.M. Dickie** (1964). Abundance and fishing success, *Rapp. P.-v. Réun. Cons. perm. int. Explor. Mer*, **155**, 152-163
- Radovich J.** (1976). Catch-per-unit-of-effort : fact, fiction, or dogma, *CalCOFI. Rept.*, **18**, 31-33.
- Roy C.** (1990). Réponses des stocks de poissons pélagiques à la dynamique des upwellings en Afrique de l'Ouest : analyse et modélisation. *Thèse de Doctorat. Université de Bretagne Occidentale, Brest*. 149 pp.
- Saville A.** (1980). The assessment and management of pelagic fish stocks. A Symposium held in Aberdeen, 3-7 July 1978, *Rapp. P.-v. Réun. Cons. perm. int. Explor. Mer*, **177**, 517 pp.
- Saville A and R.S. Bailey** (1980). The assessment and management of the herring stocks in the North Sea and the West of Scotland, *Rapp. P.-v. Réun. Cons. perm.; int. Explor. Mer*, **177**, 112-142.
- Shannon L.V., R.J.M. Crawford, G.B. Brundrit et L.G. Underhill** (1988). Responses of fish populations in the Benguela ecosystem to environmental changes. *J. Cons. int. Explor. Mer*, **45**, 5-12.
- Sharp G.D., éditeur** (1980 a). Workshop on the effects of environmental variation on the survival of larval pelagic fishes. Lima, Peru, 20 April-5 May 1980. *IOC Workshop Rept.*, **28**.
- Sharp G.D.** (1980 b). Colonisation : modes of opportunism in the ocean. in : Workshop on the effects of environmental variation on the survival of larval pelagic fishes. Lima, Peru, 20 April-5 May 1980. G.D. Sharp, éditeur. *IOC Workshop Rept.*, **28**, 143-166.
- Sharp G.D.** (1987). Climate and fisheries : cause and effect or managing the long and short of it. in : The Benguela and comparable ecosystems. A.I.L. Payne, J.A. Gulland et K.H. Brink, éditeurs. *S. Afr. J. mar. Sci.*, **5**, 811-838.
- Shelton P.A et M.J. Armstrong** (1983). Variation in parent stock and recruitment of pilchard and anchovy population in the southern Benguela system. in : Proceeding of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources. San José, Costa Rica, 18-29 April, 1983. G.D. Sharp et J. Csirke, éditeurs. *FAO Fish. Rept.*, **291**, 3, 1113-1132.
- Skud B.E.** (1983). Interactions of pelagic fishes and the relation between environmental factors and abundance. in : Proceeding of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources. San José, Costa Rica, 18-29 April, 1983. G.D. Sharp et J. Csirke, éditeurs. *FAO Fish. Rept.*, **291**, 3, 1133-1140.
- Skud B.E.** (1982). Dominance in fishes : the relation between environment and abundance. *Science*, **216**, 144-149.
- Tanaka S.** (1983). Variation of pelagic fish stocks in waters around Japan. in : Proceeding of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources. San José, Costa Rica, 18-24 April, 1983. G.D. Sharp et J. Csirke, éditeurs. *FAO Fish. Rept.*, **291**, 2, 17-36.
- Troade J.-P., W.G. Clark and G.A. Gulland** (1980). A review of some pelagic fish stocks in other areas. *Rapp. Réun. Cons. perm. int. Explor. Mer*, **177**, 252-277.
- Valdivia J.E.G.** (1978). The anchoveta and El Niño. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. perm. int. Explor. Mer*, **173**, 196-202.
- Wyatt T. et G. Perez-Gandaras** (1986). Ekman transport and sardine yields in western Iberia. *International Symposium on Long-Term Changes of Marine fish population*, 125-138.
- Zuzunaga J.** (1985). Cambios del equilibrio poblacional entre la anchoveta (*Engraulis ringens*) y la sardina (*Sardinops sagax*) en el sistema de afloramiento frente al Perú. in : El Niño, su impacto en la fauna marina, W. Arntz, A. Landa et J. Tarazona, éditeurs. *IMARPE, Callao, Peru, Boletin volumen extraordinario*, 107-117.