

# 33 • Approche modélisatrice des fluctuations d'abondance des sardines sur la côte nord-atlantique marocaine

ABDELLATIF ORBI

Institut Scientifique des Pêches Maritimes, 2 rue de Tiznit, Casablanca, Maroc

ALI AGOUMI

GHAZI BEN JANNET

SAIDA TAZI

Ecole Hassania des Travaux Publics. B.P.8108, Oasis, Casablanca, Maroc

## RÉSUMÉ

D'importantes fluctuations de CPUE (Captures Par Unité d'Effort) de sardines (*Sardina pilchardus*) sont observées depuis les années soixante sur la côte nord atlantique marocaine. Les upwelling ou résurgences d'eaux froides riches en sels nutritifs sont caractéristiques de cette zone. Ils ont un impact important sur la productivité des milieux et leur intensité est variable d'une année à l'autre. La première partie de cette étude est consacrée à l'analyse de l'évolution saisonnière de ce phénomène, en relation avec celle des CPUE mensuelles de sardines de la zone A (Safi, Essaouira et Agadir). La deuxième partie porte sur la réponse du stock à l'échelle annuelle entre 1968 et 1981 à la variabilité de l'upwelling. Un modèle simulant les fluctuations annuelles de la pêche sardinière en fonction des conditions climatiques et des efforts de pêche est élaboré. Ce modèle permet de décrire les fluctuations des CPUE annuelles, tout en soulevant un certain nombre de questions quant aux mécanismes de régulation des populations mis en jeu.

## ABSTRACT

*Considerable fluctuations of CPUE (Catch per Unit of Effort) of sardines (*Sardina pilchardus*) are observed since the sixties off the Northern part of the Moroccan Atlantic coast. Upwellings of cold and nutrient rich subsurface waters characterize the oceanographic regime of this area. They have a significant effect on the biological productivity of this area and are variable from one year to another. The first part of this study considers the seasonality of the upwelling and its effect on the monthly CPUE of sardines in the coastal zone A (Safi, Essaouira and Agadir). The second part analyses the response of the stock to the annual upwelling intensity from 1968 to 1981. A simulation model is developed to study the relation between the annual fluctuations in the sardine fisheries and the changes in oceanographic conditions and fishing effort. This model explains rather well the fluctuations of CPUE but it rises many questions dealing with fish population regulation.*

## INTRODUCTION

Le littoral marocain s'étend sur plus de 3 500 kilomètres avec un potentiel halieutique considérable. Ces ressources sont amenées à prendre de plus en plus d'importance dans un proche futur. Par ailleurs, le recours à ces ressources au niveau des échanges économiques internationaux va s'accroître. Le secteur de la pêche se présente aujourd'hui comme l'un des piliers de l'éco-

nomie marocaine. Mieux valoriser les ressources halieutiques nécessite une bonne connaissance des phénomènes climatiques et biologiques qui interagissent et qui parfois gouvernent la dynamique des populations de poisson, notamment celle des poissons pélagiques fortement instable.

La sardine (*Sardina pilchardus*) est l'espèce la plus abondante le long des côtes marocaines de l'Atlantique. Elle constitue en grande partie les captures de la pêche traditionnelle le long de ce littoral. De fortes fluctuations de la pêche sardinière ont été constatées à partir des données rassemblées et traitées par l'ISPM (Institut Scientifique des Pêches Maritimes) pour la période 1968-1988. Une première analyse indique une baisse des rendements de cette pêche dans la région Safi-Essaouira-Agadir entre les années 1960 et 1980. La question posée alors est la suivante: cette diminution est-elle due à une surpêche locale du stock ou à une évolution climatique régionale ?

Divers travaux de recherche ont été menés sur la sardine marocaine (Furneston 1953, 1957, 1959, 1970; Belvèze et Erzini, 1983; Belvèze, 1984; Fréon, 1988). Ils ont confirmé que cette ressource était concentrée dans les régions d'upwelling. C'est le cas de la zone A (Safi, Essaouira et Agadir) (fig. 1). Dans cette zone, Belvèze (1984) a analysé la réponse annuelle des populations de sardine à la variabilité de l'upwelling entre 1968 et 1982. Dans cette approche, l'upwelling a été caractérisé par une estimation moyenne annuelle de la vitesse du vent de la région d'Essaouira.

Afin d'améliorer notre connaissance de la dynamique des populations de sardine du Maroc en interaction avec leur environnement marin, nous avons fixé trois objectifs:

- étudier la réponse à l'échelle mensuelle des différentes populations de sardines de la zone A au phénomène d'upwelling, l'indicateur du niveau de ce phénomène ne se limitant plus, comme dans l'étude de Belvèze (1984), à la vitesse du vent mais intégrant cette fois un indice de l'intensité de l'upwelling estimé à partir du transport d'Ekman;
- étudier l'interaction entre ce phénomène physique et la pêche au niveau annuel (1968-1981);
- établir un modèle permettant de mieux appréhender la dynamique des stocks.

#### DONNÉES UTILISÉES

Les données relatives à la zone A ont été utilisées pour plusieurs raisons:

- existence d'une base de données météorologiques continue depuis 1952 à Essaouira (source: Météorologie Nationale);
- connaissance préalable des phénomènes d'upwelling dans cette zone (Grall *et al.*, 1974; Tréguer et Le Corre, 1979; Grall *et al.*, 1982; Minas *et al.*, 1982)
- existence d'une base de données sur la pêche à partir des statistiques des trois principaux ports du Maroc: Safi, Essaouira et Agadir (source: ISPM).

Les données utilisées sont de deux types (tab.1):

- données de vent en intensité ( $m.s^{-1}$ ) et en direction (degré), ce sont des enregistrements relevés à la station d'Essaouira toutes les 6 heures (8h, 12h, 18h) de 1952 à 1988;

- données de pêche indiquant l'évolution moyenne mensuelle des CPUE (captures par unité d'effort) des sardines dans la zone A de 1968 à 1982. Par ailleurs, nous disposons aussi des captures de 1963 à 1987, ces dernières mesures restent cependant difficilement utilisables car elles n'intègrent pas comme c'est le cas des CPUE la variation possible de l'effort de pêche (nombre de bateaux, capacité, performance...).

A l'aide des mesures de vents relevées à la station d'Essaouira de 1952 à 1988, un indice d'upwelling moyen journalier (en tonne par mètre et par seconde) a été calculé en faisant le rapport du module de la composante de la tension du vent parallèle à la côte au paramètre de Coriolis (Ben Jannet et Tazi, 1989). Le calcul est limité aux valeurs positives qui intègrent l'effet de l'upwelling. Cet indice permet d'analyser les évolutions journalières ou d'étudier, à partir de moyennes, des strates temporelles plus étendues, saisonnières ou annuelles.

#### VARIABILITÉ SAISONNIÈRE

Le calcul du cycle moyen de l'indice d'upwelling par jour a permis de tracer l'évolution climatique moyenne (fig. 2).

Tableau 1

Effort de pêche (en nombre de sorties \* tjb), captures (en tonnes), CPUE (tonnes par unité d'effort), indice d'upwelling: IU ( $t.m^{-1}.s^{-1}$ ) et pluviométrie: PLUV(mm)

Année	Effort	Captures	CPUE	IU	PLUV
1966		237657		0,50	383
1967		286595		0,42	917
1968	932,5	155397	166,65	0,42	799
1969	876,8	157169	179,25	0,32	961
1970	1140,4	150095	131,62	0,43	698
1971	1466,7	172976	117,94	0,40	748
1972	1469,7	159202	108,32	0,36	815
1973	1633,5	331261	202,79	0,56	462
1974	1441,0	204267	141,75	0,57	419
1975	1463,9	146614	100,15	0,32	440
1976	1545,0	176162	114,02	0,10	724
1977	1487,7	101877	68,48	0,23	748
1978	1522,0	91141	59,88	0,23	458
1979	1762,6	163442	92,73	0,19	454
1980	1914,9	181198	94,63	0,24	469
1981	1959,5	200395	102,27	0,31	276
1982	1547,2	104738	67,70	0,39	

Fig. 1

Situation géographique de la côte nord-ouest africaine.

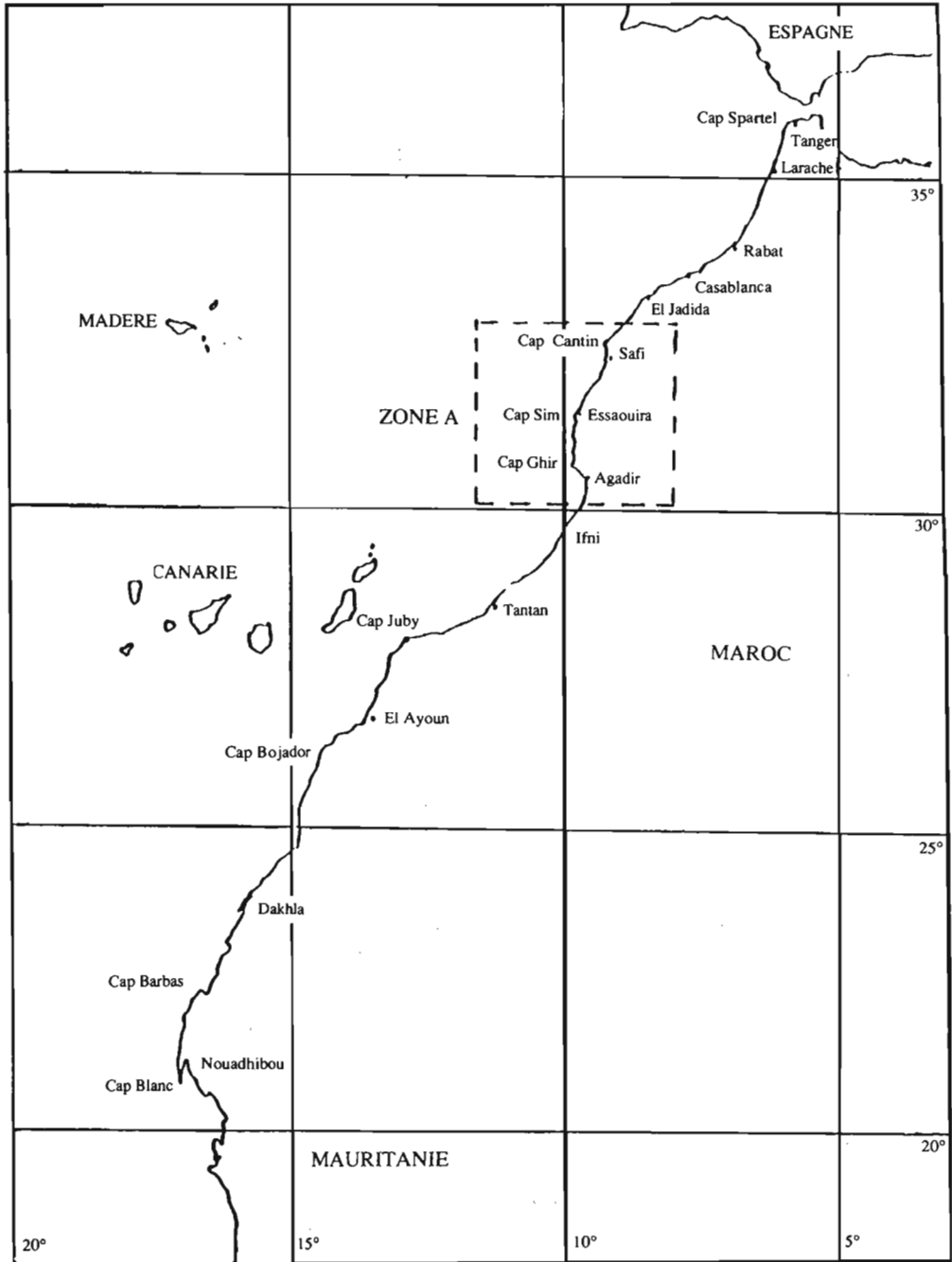
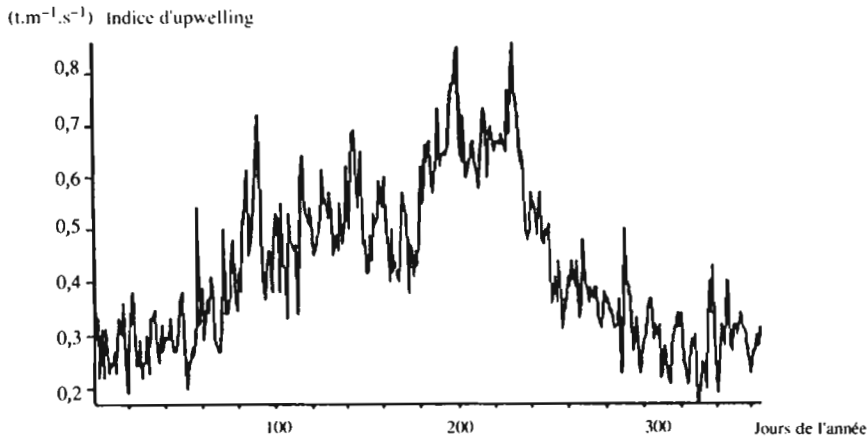


Fig. 2

Cycle annuel moyen par jour de l'indice d'upwelling à Essaouira ( $t.m^{-1}.s^{-1}$ ).



L'ordre de grandeur de l'indice d'upwelling est de 0,2 à 0,3  $t.m^{-1}.s^{-1}$  pendant l'été. L'upwelling débute vers le mois de mars (autour du 60<sup>ème</sup> jour) pour atteindre son niveau le plus élevé durant les mois de juillet-août (180 à 260<sup>ème</sup> jour); à partir de septembre l'upwelling s'affaiblit.

On constate cependant que certaines années s'écartent fortement de cette évolution moyenne (fig. 3a). En 1973, le niveau de cet indice est de l'ordre de 3 à 4  $t.m^{-1}.s^{-1}$  plusieurs fois dans l'année. En 1976, cet indice reste nul entre mai et début août avec des maxima inférieurs à 0,6 (fig. 3b). En 1984, l'installation de l'upwelling n'a débuté qu'à partir de fin juin; l'indice est resté compris entre 0,5 et 1,5 pendant une période assez courte (fig. 3c). Cette première analyse montre que l'évolution saisonnière de l'upwelling présente une grande variabilité d'une année à l'autre. Cette variabilité peut affecter la pêcherie tant au niveau du calendrier de la pêche qu'au niveau de l'abondance de la ressource.

La dynamique des populations de sardines telle qu'elle a été étudiée par Belvèze (1984, présent volume) indique une répartition régionale assez large. Un même stock serait réparti dans la zone A (Safi, Essaouira et Agadir). D'autre part, les flottilles de chacun des ports ne semblent pas se limiter uniquement aux ressources proches du port d'attache. Ce sont là deux arguments qui autorisent une comparaison entre les indices moyens mensuels d'upwelling et les CPUE calculées dans les trois ports. Les CPUE connaissent un niveau élevé un à deux mois après l'accroissement de l'IU (Indice d'Upwelling)

(fig. 4a). L'année 1970 est représentative de ce phénomène: on y distingue un premier pic d'upwelling en février, suivi d'un pic des CPUE en mars; un second pic d'upwelling en avril, suivi d'un pic de pêche en juillet. Le décalage entre le processus physique qui apporte les nutriments à l'écosystème et la présence de poisson indiquée par une forte CPUE semble être de l'ordre de un à trois mois. Cet intervalle de temps intègre une augmentation de la production primaire, de la production secondaire et enfin un accroissement apparent de l'abondance du poisson. Cet ordre de grandeur semble correspondre à la période nécessaire pour passer au stade zooplancton, à partir d'un accroissement de nutriments (Agoumi, 1985). Ce décalage est vraisemblablement variable selon les périodes de l'année; il dépend des conditions de lumière, de la température de l'eau, de la maturité biologique du système au moment où l'upwelling apparaît.

Les effets sur la pêche des années contrastées au niveau climatique sont mis en évidence en considérant les années 1973 et 1976 (fig. 4b et 4c). En 1973, l'indice d'upwelling est fort pendant une grande partie de l'année. La pêche a connu un développement progressif et important du mois de février au mois de novembre avec des CPUE entre 120 et 280 tonnes/unité d'effort. En 1976, on trouve ce décalage de 1 à 2 mois entre les pics d'IU et les pics de CPUE. Par ailleurs, cette année de très faible upwelling est associée avec une pêche d'un niveau très bas jusqu'au mois de juillet, avec des maxima de CPUE de l'ordre de 150 tonnes/unité d'effort.

Fig. 3

Indice d'upwelling journalier à Essaouira, en 1973 (a), en 1976 (b) et en 1984 (c).

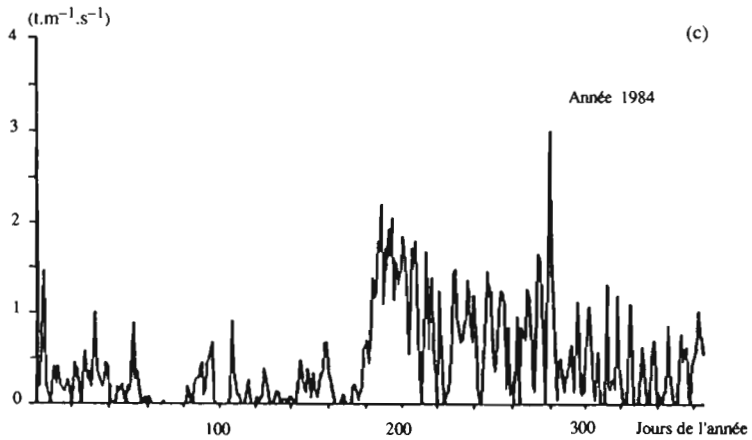
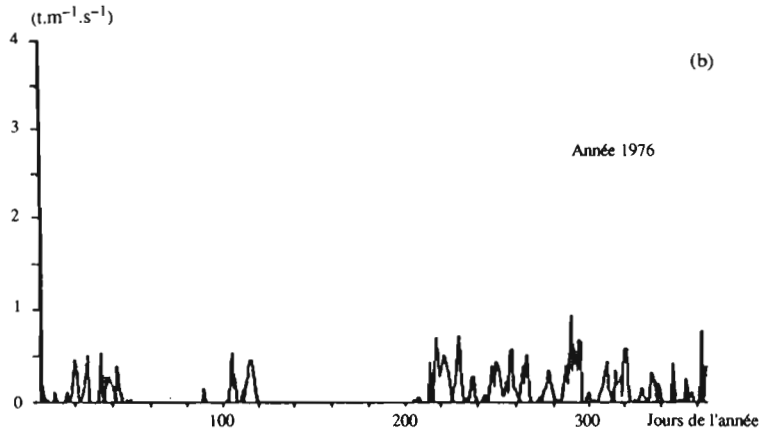
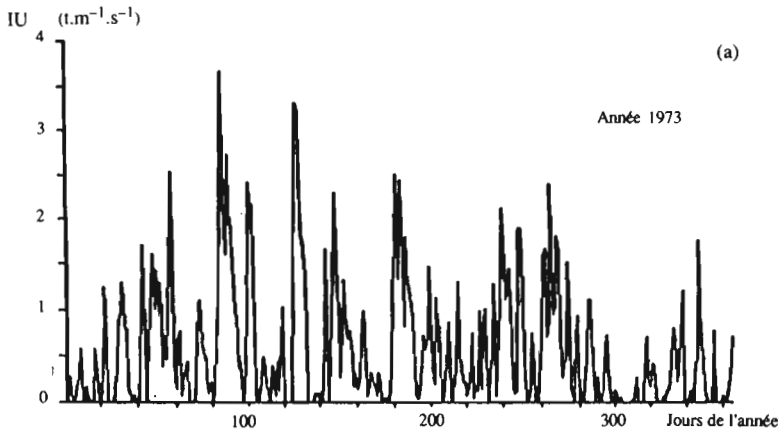
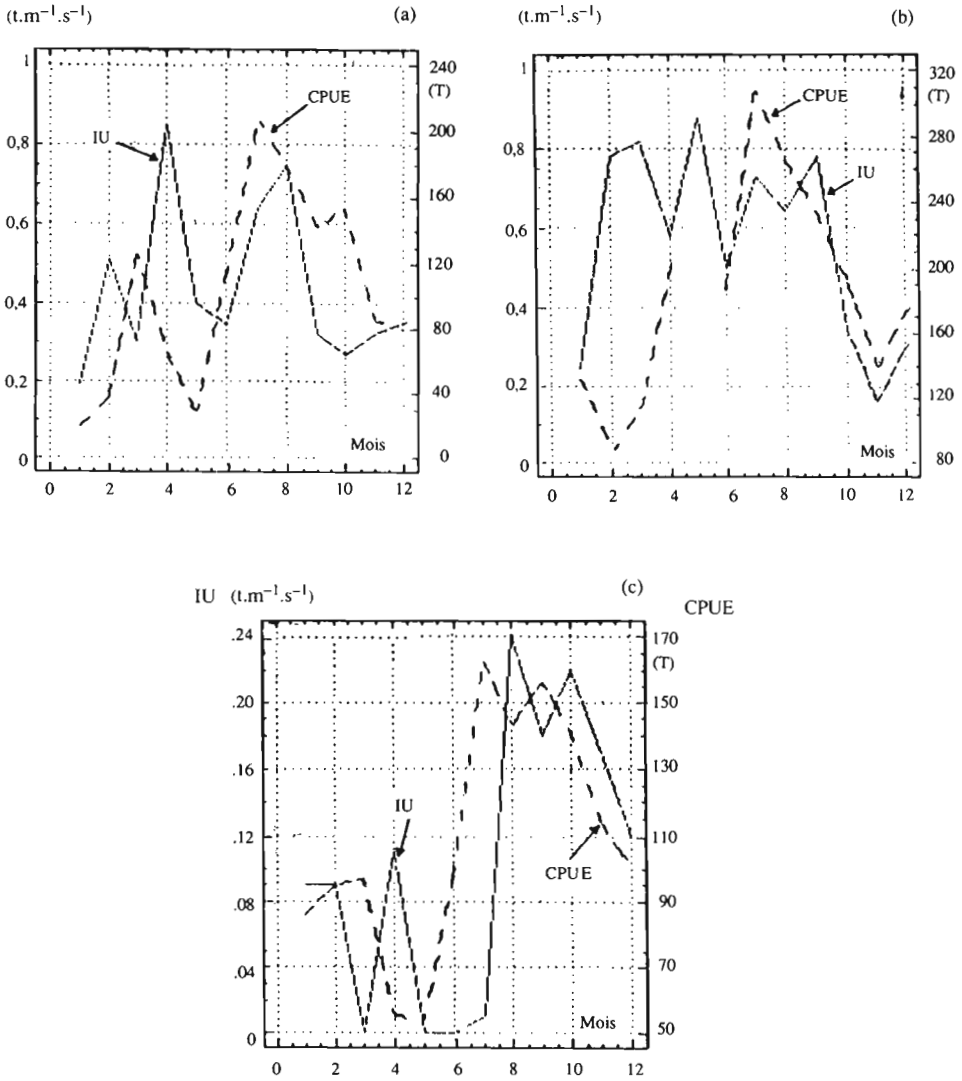


Fig. 4

Indice d'upwelling à Essaouira et CPUE dans la zone  
A par mois en 1970 (a), en 1973 (b) et en 1976 (c).



## VARIABILITÉ ANNUELLE

Les données de vent relevées à la station d'Essaouira couvrent la période 1952-1988. Le calcul de l'indice d'upwelling à l'aide de ces données a permis d'associer à chacune de ces années un indice moyen annuel (fig. 5). Pour les 37 années considérées, la moyenne annuelle est de l'ordre de  $0,43 \text{ t.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ . Avant 1975, le niveau de l'upwelling est souvent supérieur à la moyenne; après 1976 l'activité de l'upwelling est généralement faible sauf en 1985 et 1986. On peut ainsi séparer au niveau climatique la période 1952-1988 en deux: 1952-1975 avec un indice d'upwelling moyen de l'ordre de  $0,49 \text{ t.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$  et 1976-1988 avec un indice d'upwelling moyen plus faible de l'ordre de  $0,32 \text{ t.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ . Cette évolution se retrouve sur la figure 6 présentant les modules des vitesses moyennes annuelles. Durant la première période, ce module est pratiquement toujours supérieur à  $4,5 \text{ m.s}^{-1}$ , alors qu'il est très souvent inférieur à cette valeur par la suite

La direction moyenne annuelle du vent (fig. 7) montre que durant toute la période d'étude la direction des vents reste stable avec des vents du Nord. Par contre, l'évolution de l'indice d'upwelling et celle du module du vecteur vitesse sont similaires (fig. 8). Une droite de régression calculée entre ces deux séries donne un coefficient de corrélation de 0,93 (fig. 9).

Les fluctuations annuelles de l'indice d'upwelling ont été comparées à un autre facteur climatique qui est la pluviométrie enregistrée à Essaouira et Safi (fig. 10).

Les années de sécheresse à faible pluviométrie correspondent systématiquement à des indices d'upwelling élevés: de 1957 à 1961, en 1966 et de 1973 à 1976, la pluviométrie est de l'ordre de 700 mm et l'indice d'upwelling de l'ordre de  $0,55 \text{ t.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ . Inversement, les années pluvieuses sont des années où l'upwelling est faible, notamment la période 1962-64, 66-71 et 74-80. Ceci vient confirmer la dépendance de l'évolution climatique des côtes marocaines envers l'anticyclone des Açores. Les années de sécheresse sont des années à fort upwelling pendant lesquelles l'anticyclone s'est maintenu longtemps au nord, engendrant des alizés sur une plus longue période de l'année et, de ce fait, empêchant le développement des vents du secteur sud-ouest chargés de pluies. Inversement, pendant les années pluvieuses, l'anticyclone se stabilise au niveau des îles Canaries, la période d'alizés est réduite et l'intensité de l'upwelling est faible.

Sur la figure 11 sont présentées les variations des CPUE (zone A) et de l'indice d'upwelling calculées pendant la période 1968-1981. Les tendances des fluctuations de l'indice d'upwelling annuel et des CPUE semblent évoluer de façon similaire. Une première période de décroissance allant de 1969 jusqu'à 1972 est suivie par un accroissement entre 1972 et 1973, avec un niveau maximum de l'upwelling et des CPUE en 1973. Une baisse des deux variables est constatée de 1973 et jusqu'en 1978 et enfin un léger redressement pendant les années 1979-1980-1981. Le coefficient de corré-

Fig. 5

Indice d'upwelling moyen annuel de 1952 à 1988 à Essaouira.

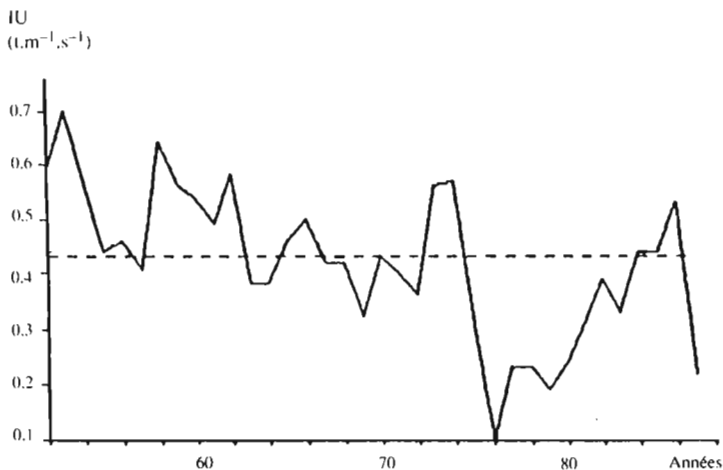


Fig. 6

Vitesse moyenne annuelle du vent de 1952 à 1988 à  
Essaouira

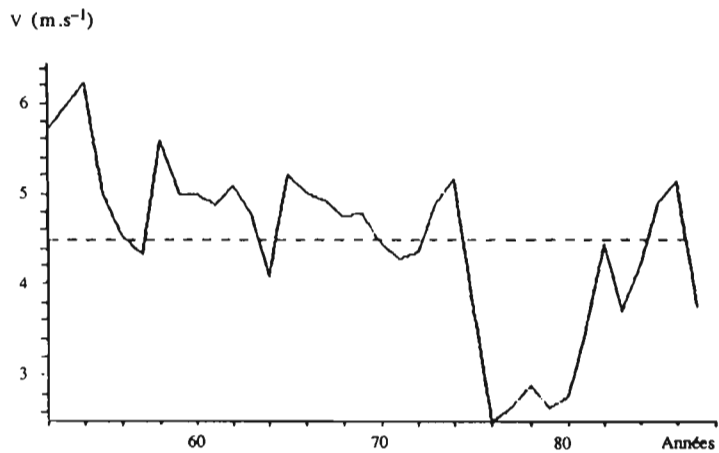


Fig. 7

Direction du vent (moyenne annuelle) de 1952 à 1988  
à Essaouira.

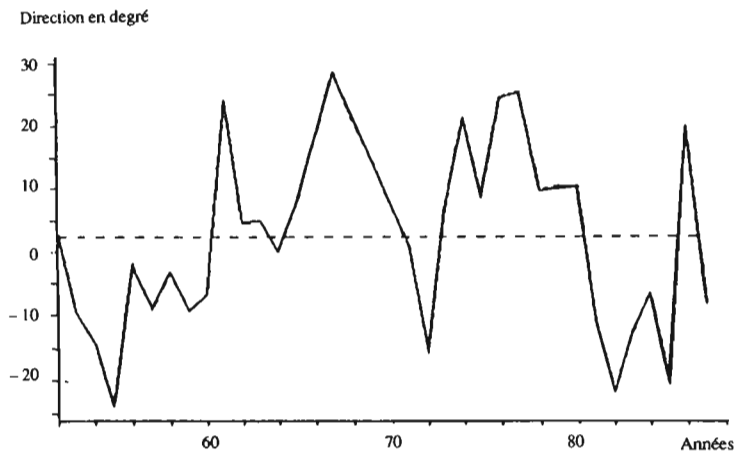




Fig. 8

Vitesse et indice d'upwelling (moyennes annuelles) de 1952 à 1988 à Essaouira.

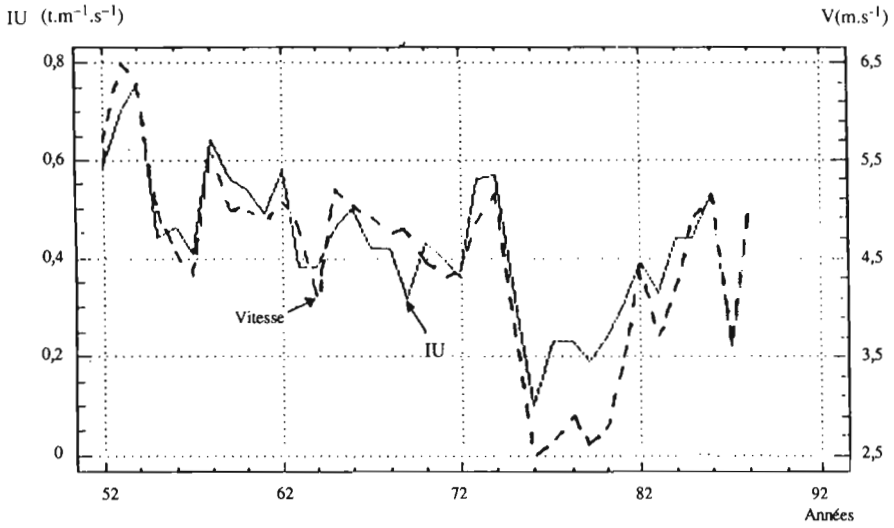
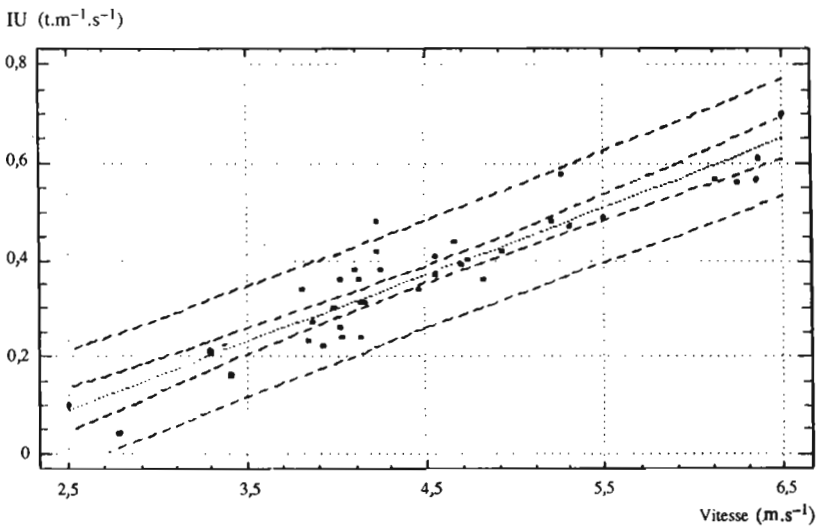


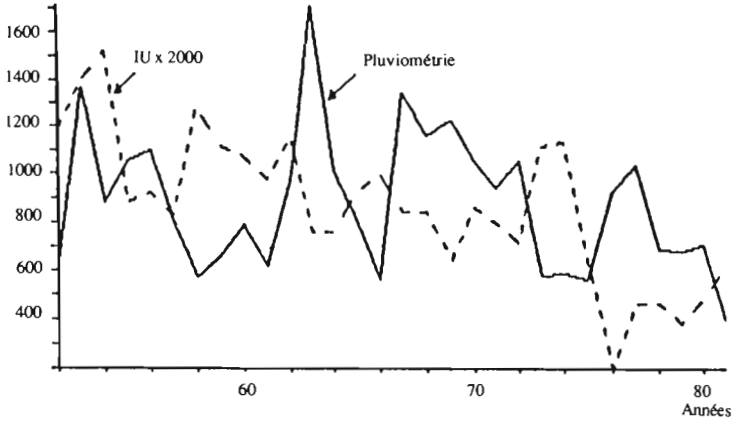
Fig. 9

Régression linéaire entre l'indice d'upwelling et la vitesse du vent (moyennes annuelles) de 1952 à 1988 à Essaouira.



**Fig. 10**

Indice d'upwelling à Essaouira et pluviométrie à Essaouira et Safi (moyennes annuelles) de 1952 à 1981.



**Fig. 11**

CPUE dans la zone A et indice d'upwelling à Essaouira (moyennes annuelles) de 1968 à 1981.

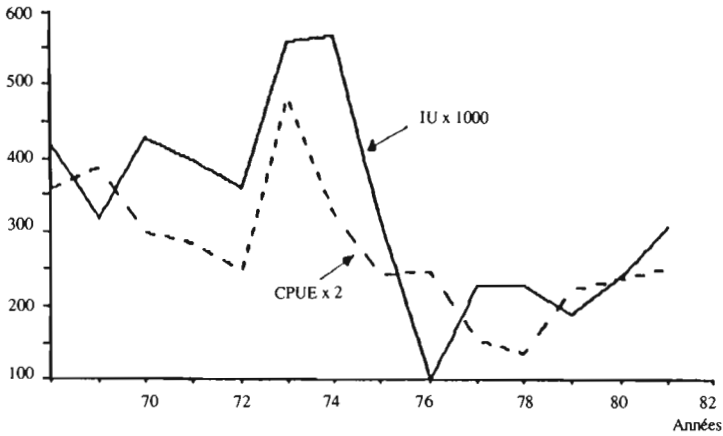
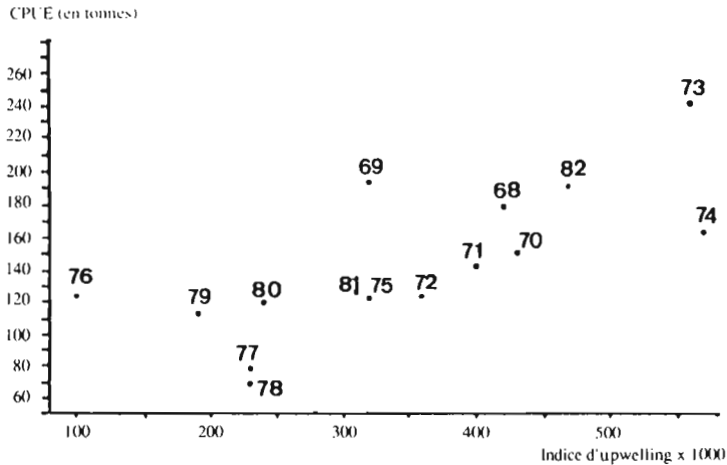


Fig. 12

Relation entre CPUE dans la zone A et indice d'upwelling à Essaouira (moyennes annuelles) de 1968 à 1982.



lation obtenu entre les deux séries reste faible (0,64) (fig. 12). Ce résultat peut être justifié, étant donné que les CPUE d'une année devraient logiquement dépendre des conditions climatiques ayant prévalu l'année en question mais aussi les années précédentes (Fréon, 1988; Cury et Roy, 1987)

Ce constat nous a amené à nous orienter vers une recherche d'une relation (pas nécessairement linéaire) permettant d'estimer les CPUE à partir de différents facteurs hydroclimatiques et de pêche.

#### APPROCHE MODÉLISTRICE

L'objectif visé par cette tentative de modélisation a été de mettre au point un modèle représentant pour une année donnée les CPUE en fonction de paramètres caractérisant l'évolution climatique et celle de la pêche. La mise au point de ce modèle a été faite de façon progressive en tenant compte de notre connaissance des interactions entre les éléments précités.

#### Effort de pêche

L'effort de pêche d'une année donnée doit conditionner les CPUE de celle-ci en réduisant les biomasses exploitables. Pour cette interaction, nous avons opté pour une loi exponentielle (Fréon, 1988) qui semble assez bien traduire l'évolution d'une biomasse exploitée. Sous cette hypothèse, les CPUE s'écrivent:

$$CPUE_i = a \exp(b * (E - E_i / E))$$

$CPUE_i$  : CPUE de l'année  $i$

$E$  : effort de pêche moyen pour la période 1968-81

$E_i$  : effort de pêche de l'année  $i$

$a, b$  : constantes

Une relation de ce type a été ajustée sur la période 1968-1981 (13 ans). Une comparaison entre CPUE ajustées et observées est présentée sur la figure 13. La tendance générale à la baisse des CPUE pendant la période considérée est décrite mais cette configuration ne peut pas expliquer les fluctuations importantes.

#### Indice d'upwelling de l'année $i$

L'abondance apparente du stock de sardines l'année  $i$ , en particulier l'été, sera liée à l'intensité de l'upwelling de l'année en cours, par l'intermédiaire de deux facteurs:

- température: ce paramètre conditionne l'ensemble des cinétiques de transfert d'un stade à un autre (croissance, fécondité...) et les migrations de la population;

- nutriments: ces éléments favorisent la production primaire, secondaire et donc la mise à disposition de nourriture pour les sardines.

Cette relation entre  $CPUE_i$  en fonction de l'indice d'upwelling peut être exprimée par une relation linéaire simple. La forme retenue est la suivante:

$$CPUE_i = a(b + I_i * CPUE/I) \exp(c(E - E_i/E))$$

$CPUE_i$  : CPUE de l'année  $i$   
 $I_i$  : indice d'upwelling de l'année  $i$   
 $E_i$  : effort de pêche de l'année  $i$   
 $CPUE$  : CPUE moyen de la période 1968-81  
 $E$  : effort moyen de la période 1968-81  
 $I$  : indice d'upwelling moyen calculé sur la période 1968-81  
 $a, b, c$  : constantes

Les valeurs calculées par la formule précédente ne permettent pas de décrire de façon satisfaisante les pics de CPUE observés (fig. 14).

#### Indice d'upwelling de l'année $i-1$

Les conditions hydroclimatiques de l'année précédant celle de la pêche (année  $i-1$ ) ont un impact sur la croissance de la population mais aussi sur le recrutement. Il est donc logique d'insérer dans cette relation un facteur permettant de tenir compte de l'upwelling pour l'année  $i-1$ . La formule retenue est de type:

$$CPUE_i = a(b + (I_i + d * I_{i-1})) * CPUE / I \exp^{(c(E_i - E_i/E))}$$

$I_i$  : indice d'upwelling de l'année  $i$   
 $E_i$  : effort de pêche de l'année  $i$   
 $I_{i-1}$  : indice d'upwelling de l'année  $i-1$   
 $I$  : indice d'upwelling moyen calculé sur la période 1968-81

$CPUE$  : CPUE moyen sur la période 1968-81  
 $E$  : effort de pêche moyen sur la période 1968-81  
 $a, b, c, d$  : constantes

La formulation suivante peut être retenue:

$$CPUE_i = 3,2 (12 + (0,2I_i + 0,1 I_{i-1})) * CPUE / I \exp^{(0,21(E_i - E_i/E))}$$

La comparaison entre les valeurs calculées et observées (fig. 15) montre un déphasage entre les deux séries qui rend le résidu important certaines années.

#### DISCUSSION

Cette étude nous a permis de confirmer le comportement saisonnier de l'upwelling dans cette zone, avec un début d'upwelling au printemps et un niveau maximum pendant l'été. L'importance des fluctuations observées certaines années a été soulignée: des écarts importants par rapport à une année «moyenne» ont été constatés pour des années particulières telles 1973, 1976 ou 1984. Une comparaison a été effectuée entre l'indice d'upwelling mensuel et les CPUE mensuelles sur la période 68-81. Cette confrontation a mis en évidence l'existence d'une réponse biologique systématique du milieu (pêche) au forcing climatique (upwelling), avec

Fig. 13

Modèle intégrant uniquement l'effort de pêche.

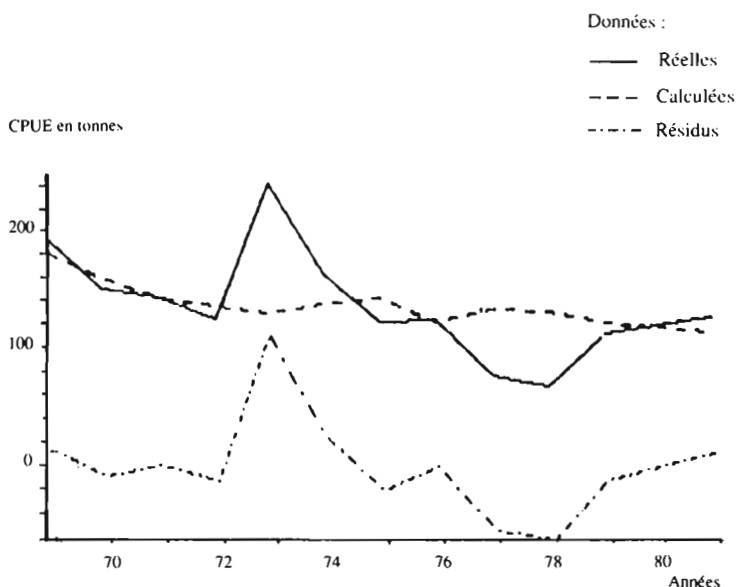


Fig. 14

Modèle intégrant l'effort de pêche et l'indice d'upwelling de l'année en cours.

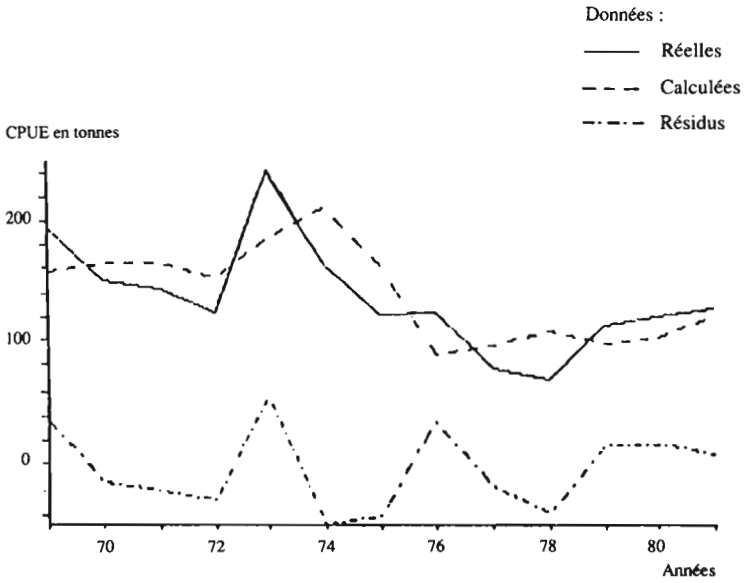
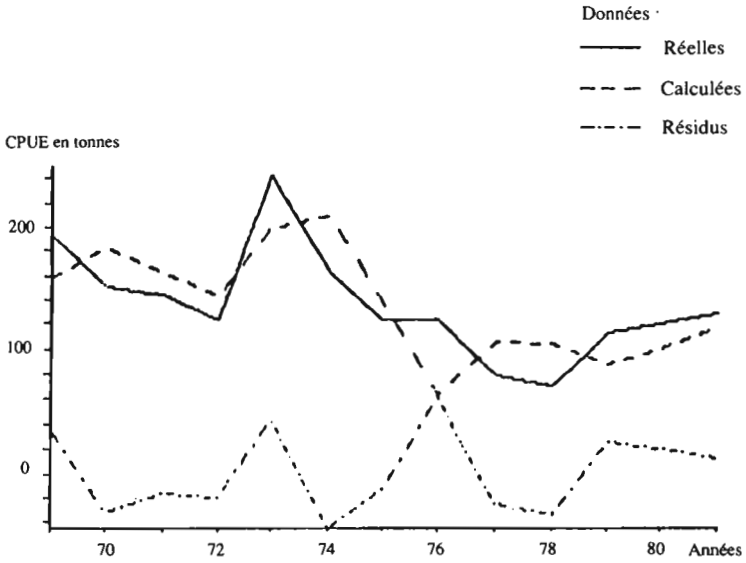


Fig. 15

Modèle intégrant l'effort de pêche, l'indice d'upwelling de l'année en cours et celui de l'année précédente.



un décalage moyen de l'ordre de quelques mois (un à trois mois). Ce décalage pourrait intégrer l'intervalle de temps nécessaire pour le transfert des nutriments à travers les différents niveaux trophiques.

L'étude globale de l'évolution interannuelle du vent pour la période 1952-1988 montre une baisse d'intensité à partir de 1975 des vents du nord, dominants dans la zone A. L'intensité de l'upwelling est tributaire de la position de l'anticyclone des Açores. Lorsque cet anticyclone se maintient au niveau des îles Canaries, il engendre des vents de secteur sud (chargés de pluies) et par là même empêche le développement de l'upwelling. La situation inverse est aussi rencontrée: les années de sécheresse sont dominées par des vents de secteur nord, favorables à l'upwelling et bénéfiques pour la pêche. Par ailleurs, nous avons cherché à établir une corrélation linéaire entre les CPUE de la zone A de 1968 à 1981 et le transport d'Ekman de la même année calculé à Essauira. La confrontation de ces deux séries a montré que les grandes tendances de l'évolution du niveau de la pêche sont retrouvées dans les fluctuations de l'intensité de l'upwelling. La diminution des rendements de la pêche sardinière constatée au cours de la période semble être expliquée en partie par la diminution du niveau des alizés.

Les conditions hydroclimatiques de l'année en cours ne peuvent expliquer à elles seules les variations de CPUE. Les conditions hydroclimatiques des années précédentes doivent jouer aussi un rôle, sur le recrutement notamment. Un modèle tenant compte de ces différents paramètres a permis de décrire les fluctuations observées sur les CPUE de la zone A sans pour autant améliorer les estimations certaines années. L'ajustement de ce modèle a été fait sur la période 1968-1981. Une validation de celui-ci sur une autre période serait souhaitable, en particulier pour la période 1982-1988. De même, la validité de ce modèle est limitée car un nombre assez grand de paramètres par rapport au nombre d'années d'observation a été utilisé.

## BIBLIOGRAPHIE

- Agoumi A. 1985. Modélisation de l'écosystème pélagique en Manche. Etude de l'influence des phénomènes physiques sur le système planctonique. thèse de Doct. Univ. Pierre et Marie Curie. Paris VI.
- Ben Jannet G. et Tazi S. 1989. Pêche-climat en zone d'upwelling (côte atlantique marocaine). Projet de fin d'étude. Ecole Hassania de Travaux publics, 140p.
- Belvèze H. and Erzini K. 1983. Influence of hydroclimatic factors in the availability of sardine (*Sardina pilchardus* Walb.) in the Moroccan fisheries in the Atlantic. In Sharp G. and J. Csirke (eds). Expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neretic stocks, paper n°25, San Jose, Costa Rica.
- Belvèze H. 1984. Biologie et dynamique des populations de sardine, *Sardina pilchardus* Walb., peuplant les côtes atlantiques marocaines et proposition pour un aménagement des pêcheries. Thèse Université de Bretagne Occidentale, Brest, France, 532p.
- Cury P. et Roy C. 1987. Upwelling et pêche des espèces pélagiques côtières de côte d'Ivoire: une approche globale. Oceanol. Acta. Vol. 10 (3): 347-357.
- Fréon P. 1988. 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. Etudes et Thèses ORSTOM, Paris.
- Fumestini J. 1953. Ultra-sons et pêche de la sardine au Maroc. Bull. Inst. sci. Pêches. Maroc. N°1.
- Fumestini J., Fumestini M.L. 1970. La sardine marocaine et sa pêche. Migration trophique et génétique en relation avec l'hydrologie et le plancton. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 159: 165-175.
- Fumestini J. 1957. Le milieu. Revue. Trav. Inst. Pech. marit., 21: (1 et 2): 19-38.
- Fumestini J. 1959. Hydrologie du Maroc Atlantique. Revue Trav. Inst. Pech. marit., 23: (1) 5-77.
- Grall J.R., Le Corre P. et Tréguer P., 1982. Short term variability off primary production in costal upwelling off Morocco. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 180: 221-227.
- Grall J. R. P. Laborde, P. Le Corre, J. Neveux, P. Tréguer et A. Thiriou, 1974. Caractéristiques trophiques et production planctonique dans la région Sud de l'Atlantique marocain. Résultats des campagnes CINECA-CHARCOT I et III. TETHYS 6, (1-12): 11-28.
- Minas H.J., L.A. Codiposti and R.C. Dugdale. 1982. Nutrients and primary production in the upwelling region off Northwest Africa. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 180: 148-183.
- Tréguer P. and Le Corre P. 1979, The ratios of nitrates, phosphates and silicates during uptake and regeneration phases of the Moroccan upwelling regime. Deep Sea Res. 26: 163-184.